

Estudio del circuito molienda-clasificación de la planta concentradora de la Empresa Minera Colquiri

Enrique Huancapaza Condori

Empresa Minera Colquiri - COMIBOL
ehuancapaza@colquiri.gob.bo, quique_huan@hotmail.com

Napoleón Jacinto Eulate

Carrera de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales,
Universidad Técnica de Oruro
napojacinto@gmail.com

Resumen

El trabajo muestra los resultados del estudio técnico del circuito de molienda-clasificación de la planta concentradora de la Empresa Minera Colquiri para incrementar la capacidad de tratamiento de la planta. El estudio efectuado en función de la eficiencia de clasificación, carga circulante y el enfoque de las características funcionales de rendimiento del molino SAG, ha permitido aumentar la capacidad de tratamiento hasta 58,33 t/h.

Las pruebas metalúrgicas en laboratorio y en planta, muestran los siguientes resultados. La capacidad de planta concentradora aumenta significativamente hasta 58,33 t/h cuando el circuito de molienda clasificación trabaja en circuito abierto con parámetros muy específicos que se presentaron tales como: la dureza del mineral, incremento de potencia del motor del molino SAG que impide elevar la capacidad de tratamiento. Asimismo, el análisis de los resultados sugiere que es necesario aumentar la abertura del cedazo inferior del vibrador dúplex a 8 mm, al mismo tiempo aumentar el área total de la parrilla de descarga en el interior del molino SAG a un tamaño mayor a dos m² a objeto de controlar la potencia del motor del molino SAG.

Palabras clave: Molino SAG, circuito molienda clasificación, capacidad de planta.

Study of the grinding - classification circuit of the concentrator plant of the Colquiri Mining Enterprise

Abstract

This paper shows the results of the technical study of grinding-classification circuit of the concentrator plant of the Colquiri Mining Enterprise to increase the treatment capacity of the plant. The study in terms of classification efficiency, circulating load and focus on the functional performance characteristics of the SAG mill, has led to increase the treatment capacity up to 58.33 ton/hour.

The metallurgical tests at laboratory and plant show the following results. The concentrator capacity increases significantly to 58.33 ton/hour when the grinding circuit classification works in open circuit with very specific parameters that were presented such as ore hardness, increased motor power of the SAG mill which prevents increase capacity treatment. Also, analysis of the results suggest that it is necessary to increase the opening of the lower screen of the duplex vibrator to 8 mm, while increasing the total area of the grate discharge inside the SAG mill to a size larger than 2 m² in order to control the motor power of the SAG mill.

Keywords: SAG Mill, grinding-classification circuit, plant capacity

Estudo do circuito moagem-classificação da planta de concentração da Empresa Minera Colquiri

O artigo apresenta os resultados do estudo técnico do circuito de moagem-classificação da planta de concentração Empresa Minera Colquiri para aumentar a capacidade de tratamento da planta. O estudo feito em termos da eficiência de classificação, carregamento circulante e o enfoque das características funcionais de desempenho do moinho SAG, permitiu o aumento da capacidade de tratamento até 58,33 t/h.

Os testes metalúrgicos no laboratório e nas plantas mostram os seguintes resultados. A capacidade da planta de concentração é aumentada significativamente até 58,33 t/h quando o circuito de moagem-classificação funciona em circuito aberto com parâmetros muito específicos que foram apresentados, tais como dureza do mineral, incremento da potência do motor do moinho SAG que evita aumentar a capacidade de tratamento. Além disso, a análise dos resultados sugere que é necessária aumentar a abertura do crivo do vibrador duplex até 8 mm, enquanto a área total da grelha de descarga dentro do moinho SAG deve ser aumentada para um tamanho maior do que 2 m² para o controle da potência do motor do moinho SAG.

Palavras chave: Moinho SAG, circuito moagem-classificação, capacidade da planta.

Introducción

El Distrito Minero de Colquiri se encuentra ubicado en la Provincia Inquisivi [1], al sud este del departamento de La Paz, en las siguientes coordenadas: longitud sud 17°17'11", longitud oeste 67°07'05". Está a una altura de 4.200 msnm, formando parte de la Cordillera Oriental (Santa Vera Cruz), está conectado por caminos carreteros a las ciudades de Oruro, La Paz y Cochabamba. El yacimiento tiene la siguiente composición mineralógica: FeS₂, (Zn Fe)_xS_x, FeCO₃, FeO.H₂O, CuFeS₂, FeS, Cu₂FeSnS₄, SnO₂, SiO₂, Fe₂O₃, acompañado de cerusita, muscovita, fluorita, clorita y turmalina. A lo largo de algunas fallas transversales post-minerales se ha formado el mineral raro llamado creedita, que es una sal compleja de CaSO₄ con CaF₂ y AlF₃.

La mina Colquiri fue conocida y explotada por minerales de plata y plomo [1, 2], desde tiempos de la colonia española (antes de 1825). La explotación de estaño y zinc en pequeña escala, data recién desde el año 1880. En 1930 la Compañía de Minas Colquiri dependiente del grupo minero Hoschild, instaló una planta concentradora gravimétrica para tratar 350 tpd, cuya capacidad se incrementó a 700 toneladas en el año 1942.

En 1952, la Compañía paso a formar parte de la Corporación Minera de Bolivia COMIBOL, por el Decreto de Nacionalización de las grandes empresas mineras, llegando a ser la segunda empresa más grande en el país como productora de estaño y zinc.

Desde la nacionalización de las minas, la mina Colquiri ha ido trabajando con altibajos en la producción de concentrados de zinc y estaño, en algunos años se ha paralizado temporalmente la operación minera por diversos problemas de carácter técnico, económico y social.

Actualmente, la mina Colquiri nuevamente forma parte de la COMIBOL, después de varios problemas que han estado ocurriendo, como ser; la baja cotización del mineral, hecho que provocó que se privatice en el año 2000 pasando a depender en ese entonces de COMSUR, luego hubo problemas con una de las cooperativas mineras en el 2004, causa que provocó el cambio de razón social a nombre de Sinchi-Wayra, hasta que ocurrió el último problema en junio del 2012 nuevamente con la misma cooperativa minera la cual dio origen a que Colquiri pase nuevamente ser administrada por COMIBOL.

A objeto de atenuar el incremento de los costos de operación, disminución del contenido de metales valiosos en el producto de la mina, y la disminución de los ingresos por la disminución de las cotizaciones de estaño y zinc en el mercado internacional, se ha decidido realizar un estudio técnico para ampliar la capacidad de tratamiento de la planta concentradora de 1.000 a 1.400 t/d, con la instalación actual de equipos y maquinaria con que cuenta la planta. Para ello, el estudio se ha dividido en varias partes. En el presente trabajo de investigación, se presenta el estudio del circuito de molienda-classificación [2], para determinar si es posible incrementar la capacidad de tratamiento de esta etapa con los equipos instalados en la planta, y de esta manera incrementar al mismo tiempo la producción de concentrados de zinc y estaño.

Descripción de la planta concentradora

La planta concentradora de la Empresa Minera Colquiri tiene una capacidad de tratamiento de 41,67 t/h y produce concentrados de zinc y estaño [2]. La figura 1, muestra el flujograma de bloques simplificado de la planta. En la primera etapa se tiene el circuito de reducción de tamaño de partículas para lograr la liberación de los minerales valiosos. Para la producción de concentrados de zinc, la planta utiliza la tecnología de flotación de minerales sulfurados, y para la

producción de concentrados de estaño utiliza la tecnología de concentración gravimétrica.

La alimentación de mineral proviene de la extracción de la mina, se almacena en dos tolvas de paso, de las cuales en forma individual se alimenta la carga a un alimentador de placas de oruga, seguidamente se alimenta a una chancadora de quijadas de 24" x 36", posteriormente a una correa transportadora de 30" de ancho, y finalmente el mineral pasa a una zaranda

COMESA 4' x 8' de doble piso con abertura de 3/4" y 6 mm, respectivamente, los productos sobre-tamaño de la zaranda ingresan al molino SAG MILL 5' x 16', mientras que el producto sub-tamaño se descarga al cajón de descarga del molino SAG. La pulpa fresca de clasificación y molienda se envía hasta otra zaranda COMESA 4' x 8', de donde el producto sobre-tamaño va al molino de barras y el producto sub-tamaño al proceso de gravimetría.

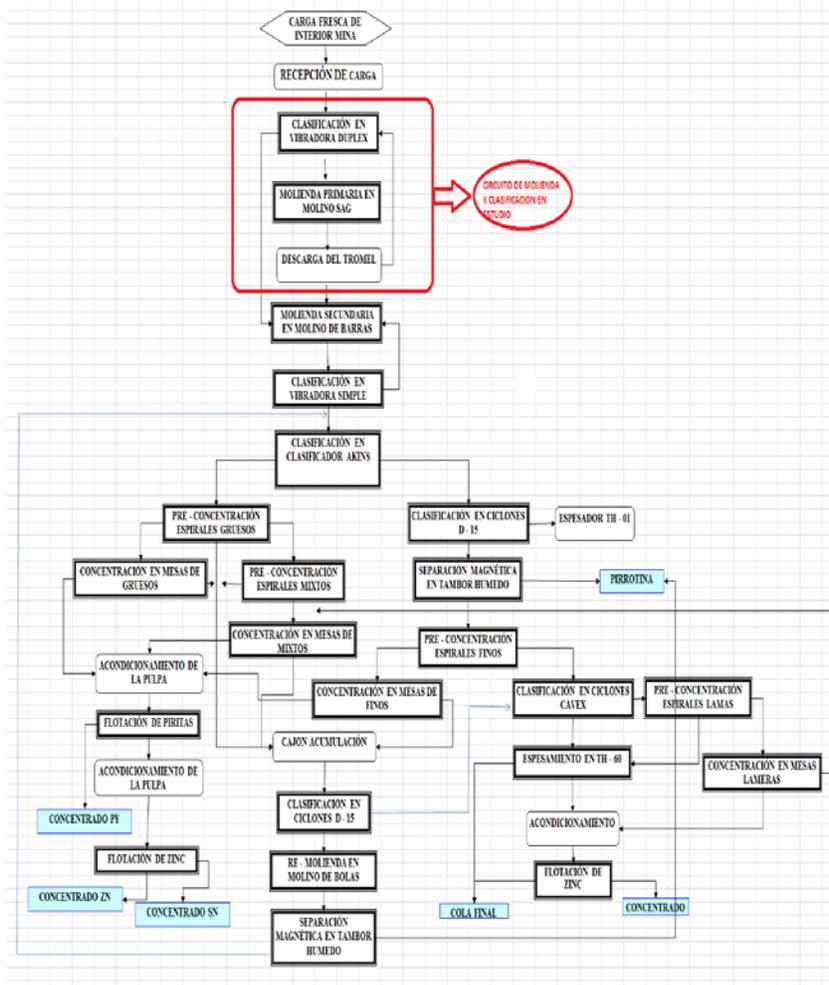


Figura 1. Flujograma de la planta concentradora.

Diagnóstico del circuito molienda-clasificación en la planta concentradora

El circuito de molienda-clasificación, que trabaja en circuito cerrado, tiene una capacidad de tratamiento de 900 hasta 1.000 t/d, según los reportes diarios de operación. El circuito de molienda clasificación puede trabajar con una capacidad de tratamiento máxima de 1.020 t/d, pero con los problemas metalúrgicos que se detallan a continuación [2].

1. Existe sobrecarga de mineral en el circuito de molienda - clasificación ocasionando subida de potencia del motor del molino SAG de 280 a 370 kW, y por lo tanto, se para la alimentación de carga a la planta hasta que disminuya la carga circulante en el circuito y la potencia del motor del molino SAG.
2. La sobrecarga de mineral en el circuito molienda clasificación es generada por la dureza del mineral que se alimenta a la planta.

3. La carga circulante del circuito (sobre-tamaño del trommel), que retorna al molino SAG ocasiona paradas por potencia alta en el molino SAG.
4. Las frecuentes paradas por sobrecarga del circuito disminuyen la capacidad de tratamiento de la planta.
5. Las paradas por sobrecarga del circuito de alimentación tienen una duración de 1 hasta 4 horas. Cuando aumenta la carga circulante en el circuito ocasiona el aumento de volumen de carga en el interior del molino SAG, generando descarga de mineral en grandes cantidades por el sector de la alimentación al molino.
6. Cuando existen paradas por sobrecarga del circuito de molienda clasificación, disminuye notablemente la producción de concentrados de estaño y zinc.
7. Las recuperaciones de estaño y zinc en los concentrados disminuyen hasta en un 50%.

8. Finalmente, la capacidad de tratamiento de los equipos en los circuitos de gravimetría y flotación disminuyen sustancialmente.

Experimentación

La toma de muestras se realizó en cinco puntos del circuito molienda-clasificación, para realizar las pruebas metalúrgicas en el Laboratorio Metalúrgico de la Empresa, con el objeto de determinar las características físicas, químicas e índices metalúrgicos [2].

La figura 2 muestra los siguientes puntos de muestreo: (1) alimentación fresca a planta, (2) sobre-tamaño de la vibradora duplex, (3) sub-tamaño de la vibradora duplex, (4) sobre-tamaño del trommel de molino SAG, y (5) sub-tamaño del trommel del molino SAG.

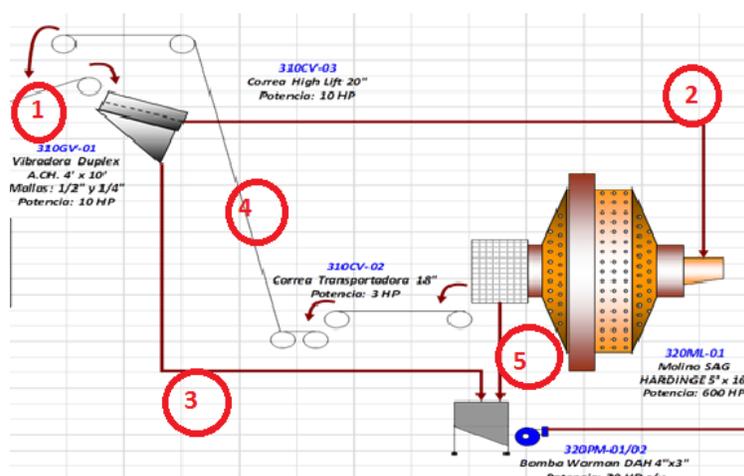


Figura 2. Puntos de muestreo del circuito molienda – clasificación.

Las muestras obtenidas fueron sometidas a diferentes ensayos para determinar las siguientes características: contenido de metales valiosos, dureza relativa Denver, peso específico relativo, granulometría e índice de trabajo de Bond de operación del molino SAG.

Luego, se realizaron pruebas experimentales en planta, principalmente en el circuito de molienda-clasificación, para observar el efecto del incremento de la capacidad de tratamiento de la planta.

Resultados

Análisis químico

El mineral alimentado a la planta concentradora contiene leyes de 0,95 a 1,50% Sn y 5 a 8% Zn. Cuando las leyes de cabeza

varían, también ocurren fluctuaciones en el proceso y las consecuencias son más notables en la producción y calidad de los concentrados.

Dureza relativa Denver

La dureza relativa se determinó por el método de la Denver, para ello se utilizó un molino de bolas de 15" x 5", que trabaja a 54 rpm. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 1. Con los resultados de las mediciones de las fracciones -200 # para diferentes tiempos de molienda, se trazó la curva correspondiente en el papel tiempo de molienda versus -200 # de la Denver y por comparación con las curvas estándares, se encontró que el mineral de alimentación a la planta tiene una dureza "Medio Duro".

Peso específico relativo

La determinación del peso específico relativo de las muestras se realizó por el método de la Fiola. Los resultados de las mediciones se muestran en la tabla 2.

Como se puede observar en la tabla 2, el peso específico relativo promedio de los puntos muestreados del circuito de molienda clasificación es de **3,20**.

Análisis granulométrico

Se realizó análisis granulométrico de las muestras obtenidas en los puntos (2), (3), (4) y (5), del circuito de molienda clasificación para determinar el tamaño del 80% de las partículas (D_{80}), durante 4 días. El resumen de los resultados se muestra en la tabla 3.

Tabla 1. Dureza relativa (Denver) del mineral de alimentación a la planta.

Tamaño	Tiempo de Molienda, peso fracción -200 # y distribución porcentual						
	0 min.	3min.	6 min.	9 min.	12 min.	15 min.	18 min.
-200 #	43,2 g	50,8 g	78,0 g	79,9 g	83,6 g	89 g	96,8 g
+200 #	248,2 g	223,6 g	165,6 g	146,9 g	113,7 g	90,6 g	71,5 g
Total	291,4 g	274,4 g	243,6 g	226,8 g	197,3 g	179,6 g	168,3 g
(%) -200 #	14,82	18,51	32,02	35,23	42,37	49,55	57,52
(%) +200 #	85,18	81,49	67,98	64,77	57,63	50,45	42,48
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabla 2. Pesos específicos relativos de las muestras del circuito-molienda clasificación.

Muestra	Peso mineral	Peso de Fiola + H2O + mineral	Peso Fiola + H2O	Peso específico relativo
Sub-tamaño Vib. duplex	97,0	407,7	341,3	3,17
Sub-tamaño trommel SAG	74,0	394,5	343,3	3,25
Alimentación a planta	83,0	399,1	341,3	3,29
Sobre-tamaño Vib. duplex	85,0	401,5	343,3	3,17
Sobre-tamaño trommel SAG	94,0	405,9	341,3	3,20

Tabla 3. Resumen de D_{80} (mm) de las muestras del circuito-molienda clasificación.

Fecha	Sobre-tamaño vibradora Duplex	Sub-tamaño vibradora Duplex	Sub-tamaño trommel SAG	Sobre-tamaño trommel SAG
26/08/2013	178,86	2,09	2,86	25,15
27/08/2013	180,11	2,60	2,87	25,46
28/08/2013	178,43	1,67	3,43	25,06
29/08/2013	176,59	2,09	2,60	25,00
30/08/2013	174,87	2,37	2,54	25,22
Promedio	177,77	2,16	2,86	25,18

Índice de trabajo de Bond

El índice de trabajo de Bond de operación del molino SAG se determinó utilizando la ecuación de Bond, para ello se

efectuaron mediciones del consumo de potencia y capacidad de tratamiento durante 4 horas; además, se efectuaron los respectivos análisis granulométricos en la alimentación y descarga del molino. Los resultados de las mediciones son:

potencia consumida = 248,79 kW, capacidad = 40,13 t/h, $F_{80} = 96.440,37 \mu\text{m}$ y $P_{80} = 1.150,49 \mu\text{m}$. Realizado el cálculo del índice de trabajo de Bond de operación del molino SAG se obtiene el siguiente resultado: $w_{i(op)} = 23,61 \text{ kWh/t}$.

Balance sólido-líquido del circuito molienda clasificación

Se realizó toma de muestras en los puntos de muestreo (2), (3), (4) y (5), determinando densidades de pulpa, aforos de pulpa y registrando potencia consumida por el molino SAG. Los resultados se muestran en la figura 3.

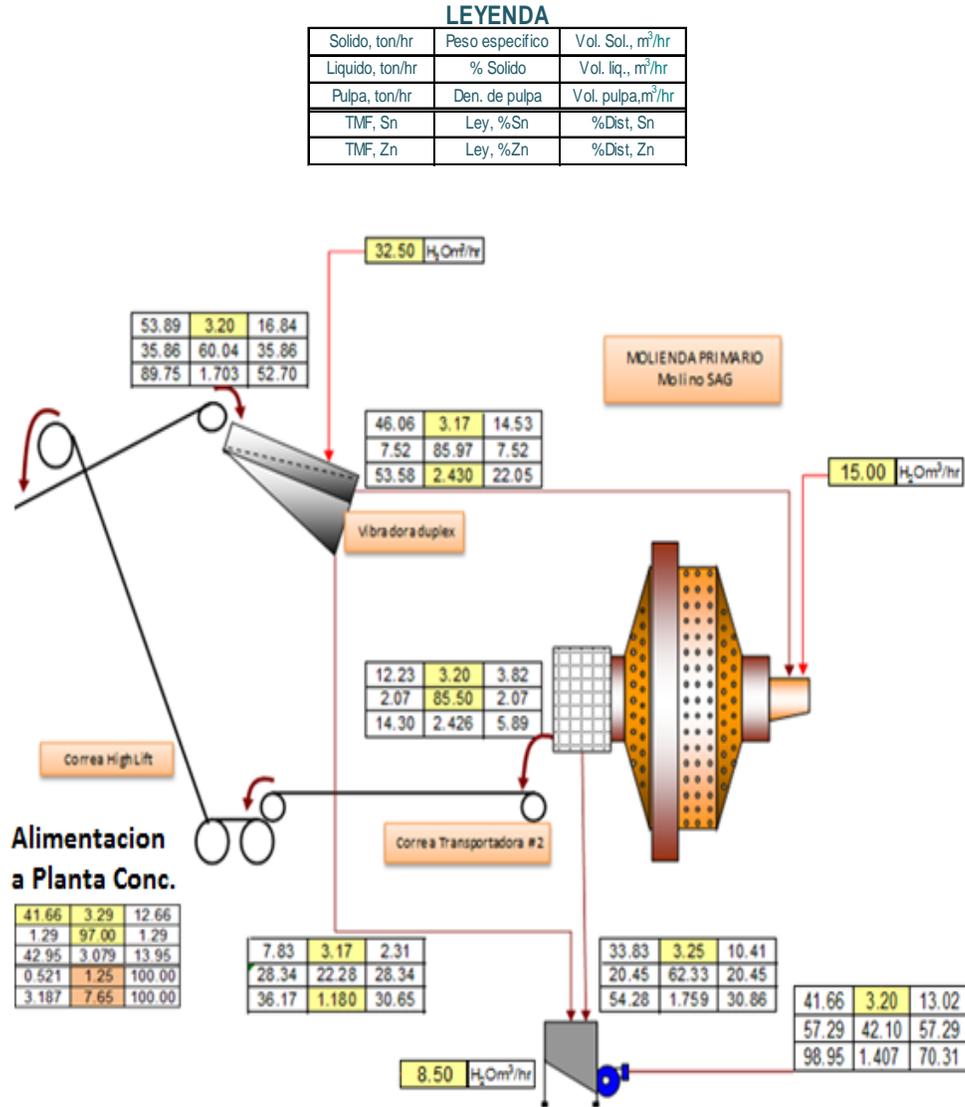


Figura 3. Balance sólido líquido del circuito de molienda-clasificación.

Balance metalúrgico de la planta

Con la información obtenida en el balance sólido-líquido y los resultados de análisis químico, se ha elaborado el balance metalúrgico de la planta concentradora, el cual se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Balance Metalúrgico Planta Concentradora.

Producto	Tratamiento t/hora	Leyes		Finos		Distribución, %	
		% Sn	% Zn	T.M.F. Sn	T.M.F. Zn	Sn	Zn
Alimentación	41.66	1.35	7.40	0.56	3.08	100.00	100.00
Concentrado de Sn	0.73	47.00	1.21	0.34	0.01	60.90	0.29
Concentrado de Zn	4.40	0.83	45.28	0.04	1.99	6.50	64.64
Cola Final (calculada)	36.53	0.50	2.96	0.18	1.08	32.61	35.07

Pruebas operativas en planta concentradora

En primer lugar, se realizaron pruebas operativas con un incremento de la alimentación a la planta a 48 t/h con circuito abierto durante 2 horas, obteniéndose los siguientes resultados: un incremento del producto sobre-tamaño del trommel del molino SAG, incremento de densidad en el producto sub-tamaño del trommel del SAG, disminución del caudal de pulpa de la bomba 320-PM-01/02, no teniendo problemas operativos en el circuito molienda clasificación y otros circuitos posteriores.

En segundo lugar, se realizaron pruebas operativas con un incremento de la alimentación a la planta a 53 t/h con circuito abierto durante 4 horas, obteniéndose los siguientes resultados: incremento considerable de producto sobre-tamaño del trommel del SAG, incremento de peso específico relativo del producto sub-tamaño del trommel del SAG a 1,95, incremento del caudal de pulpa de la bomba 320-PM-01/02, incremento del volumen de carga en el interior de molino SAG,

el ascenso considerable de la potencia del motor del molino SAG, de 280 a 320 kW, fue otro factor muy importante para mantener la alimentación a la planta 53 t/h.

Rediseño del circuito y redimensionamiento de los equipos

De acuerdo al balance másico del circuito de molienda-clasificación, se detecta que el producto sobre-tamaño del trommel de molino SAG tiene una elevada dureza que ocasiona una sobrecarga del circuito en 12,23 t/h de material con tenor de 0,5% Sn y 0,9% Zn. Con la finalidad de incrementar la capacidad de tratamiento de la planta hasta 58,33 t/h, se ha propuesto cambiar el circuito cerrado molienda clasificación a circuito abierto, descartando el material del producto sobre-tamaño del trommel del SAG, manteniendo en operación los mismos equipos que existen en la planta, tal como se observa en la figura 4.

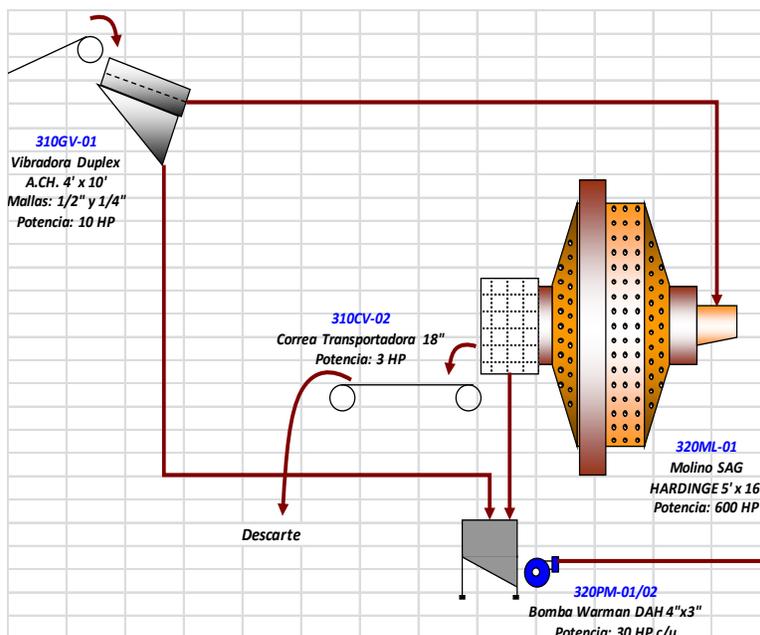


Figura 4. Flujograma propuesto de molienda clasificación.

También se realizaron cálculos y estimaciones mediante el balance másico actual del circuito molienda clasificación para una alimentación de mineral a la planta de 58,33 t/h; con el circuito abierto se demuestra que existe similitud en capacidad de los equipos que existen actualmente, al descartar el producto sobre-tamaño del trommel de 17,12 t/h fuera del circuito. Realizando una comparación del balance másico actual

con el balance másico estimado, se observa que: la alimentación a la vibradora duplex aumenta en 4,44 t/h, el producto de alimentación al molino SAG aumenta en 3,13 t/h, el producto sub-tamaño de la vibradora duplex aumenta en 1,31 t/h, el producto sub-tamaño del trommel del SAG disminuye en 1,76 t/h, y el flujo másico de pulpa al siguiente circuito disminuye en 5,45 t/h.

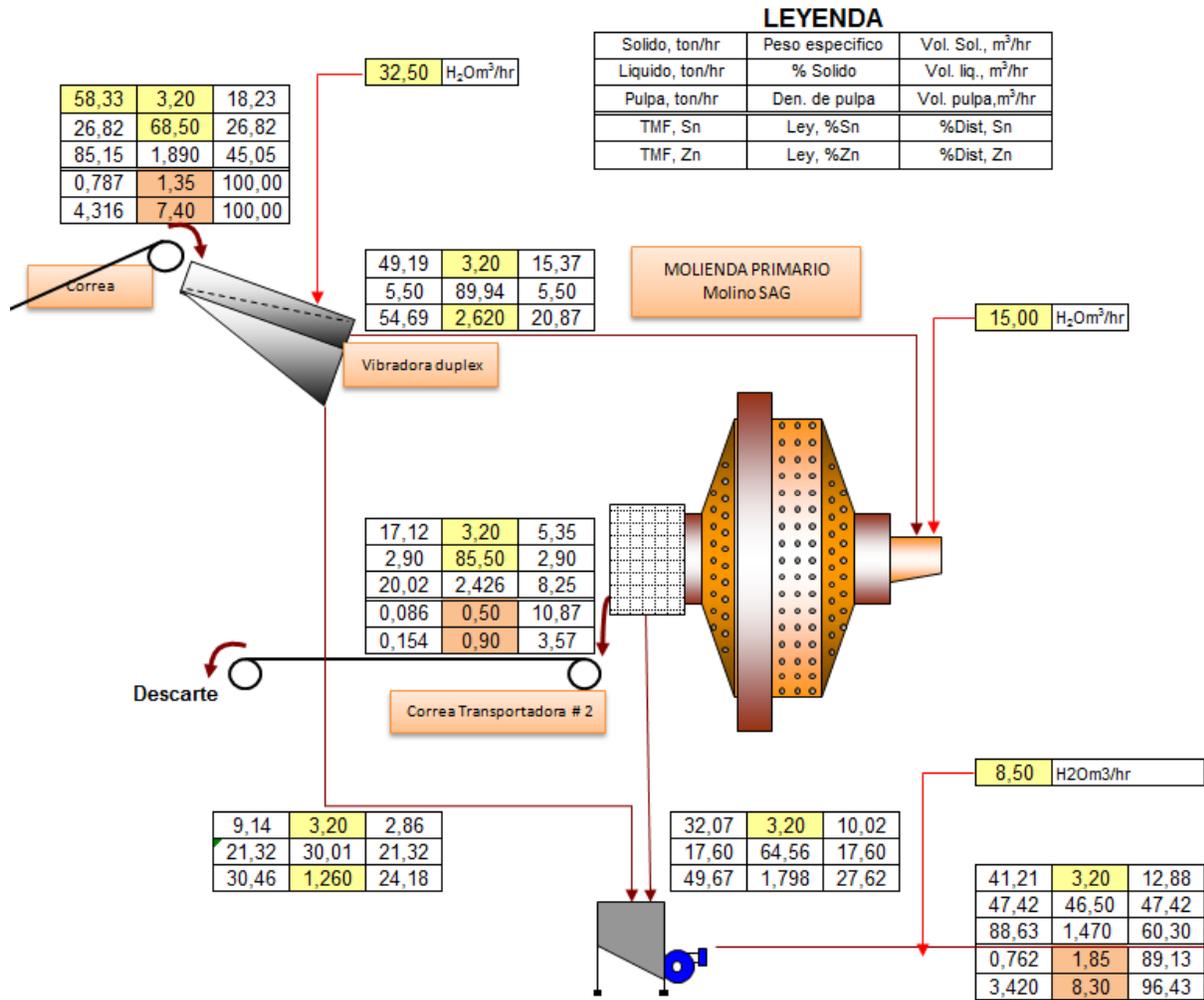


Figura 5. Balance másico estimado a 58.33 TPH del circuito de molienda-clasificación.

Posteriormente, se realizó el balance másico con densidades de pulpa tomadas del circuito actual de operación y se calculó en forma teórica para un tratamiento de 58,33 t/h. El circuito abierto (figura 5), muestra los siguientes resultados: el flujo másico de sólidos en la pulpa de la bomba 320-PM-01/02 es de 41,21 t/h, mantiene su capacidad actual, aumenta el producto sobre-tamaño del trommel del SAG a 17,12 t/h.

Conclusiones

Los resultados metalúrgicos obtenidos en laboratorio y pruebas operacionales en planta, muestran que se logró aumentar la capacidad de tratamiento de la planta concentradora hasta 53 t/h. Si se controla adecuadamente las variables: mineral con dureza variable e incremento de potencia del motor del molino

SAG, es posible incrementar la capacidad hasta llegar a 58,33 t/h.

Comparando el balance másico estimado y actual por similitud, se observa que existe un aumento en el tonelaje de alimentación a la vibradora dúplex, alimentación al molino SAG, producto sub-tamaño de la vibradora dúplex, si se ajustara en la operación la abertura del cedazo inferior de la vibradora dúplex aumentando a 8 mm.

Se propone eliminar del circuito molienda clasificación el material más duro (sobre-tamaño del trommel SAG) con alto contenido de cuarzo, piritas y asociados con bajos contenidos metálicos en estaño y zinc, con la finalidad de aumentar la capacidad de la planta y al mismo tiempo, aumentar el tiempo de vida de los impulsores de las bombas ante el desgaste muy rápido generado por el material duro.

De los resultados del balance metalúrgico actual y propuesto se observa que existe un aumento en la producción de concentrados de estaño y de zinc.

Actualmente la planta concentradora trabaja con 55.0 TPH (1.320 TPD) de tratamiento desde Abril 2015, con resultados óptimos en incremento de producción en concentrados de estaño y zinc.

Referencias

1. ZEBALLOS PEREZ, Demetrio. "Tratamiento de Minerales de Zn del Yacimiento Estañofero de la Empresa Minera Colquiri". Tesis de licenciatura. Oruro, Universidad Técnica de Oruro. Carrera de Ingeniería Metalúrgica, 1971.
2. HUANCAPAZA CONDORI, Enrique. "Estudio técnico de circuito molienda-clasificación de la planta concentradora de la Empresa Minera Colquiri para la ampliación a 1.400 TPD". Tesis de licenciatura. Tutor: Napoleón Jacinto Eulate. Oruro. Universidad Técnica de Oruro. Carrera de Ingeniería Metalúrgica, 2014.