



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA

**OPTIMIZACIÓN DE CHANCADOR TERCIARIO: EVALUACIÓN DE
CAMBIO DE REVESTIMIENTOS DE UN PERFIL EXTRA FINO A FINO**

Trabajo de Titulación Presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título
de Ingeniero Civil en Metalurgia

Profesor Guía	:	Dr. Mario Santander Muñoz
Tutores	:	Ing. Diego Rojas Tesmer Ing. Oscar Herrera Donoso
Comisión	:	Dra. Ana Rivera Varas Ing. Ivonne López Campusano

Carlos Sebastián Ávalos Rivera
Copiapó, Chile 2022

OPTIMIZACIÓN DE CHANCADOR TERCIARIO: EVALUACIÓN DE CAMBIO DE REVESTIMIENTOS DE UN PERFIL EXTRA FINO A FINO

Este documento de Trabajo de Titulación fue aprobado por:

Nombre de la comisión	Calificación	Firma
Dr. Mario Santander Muñoz Departamento de Ingeniería en Metalurgia Universidad de Atacama Copiapó-Chile	7	
Dra. Ana Rivera Varas Departamento de Ingeniería en Metalurgia Universidad de Atacama Copiapó-Chile	6.9	
Ing. Ivonne López Campusano Departamento de Ingeniería en Metalurgia Universidad de Atacama Copiapó-Chile	6.9	

Dra. Ana Rivera Varas
Directora Departamento de Ingeniería en Metalurgia

Agradecimientos

Quiero agradecer a todos los que me acompañaron en este viaje, a mi familia que me apoyó en todo momento, pero en especial a mi padre que me instó a continuar a pesar de las dificultades y a mi madre que me escuchó y aconsejó siempre.

A mis profesores, en especial a aquellos que me dieron su consejo cuando lo necesitaba y respondían mis dudas más simples, al profesor Santander que estuvo durante todos estos meses ayudándome y aconsejando. A los compañeros de PSJ que me acompañaron en esta memoria: Camila, Miguel y Rodrigo, gracias por esas risas y por todo lo que me enseñaron, a don Diego que me permitió realizar este trabajo con él mientras estuvo conmigo y a Oscar que tomó el relevo y me apoyó hasta el último momento, a todos los que en esta instancia no se me vienen a la cabeza, pero que fueron parte de este proceso, MUCHAS GRACIAS.

Tabla de Contenido

Capítulo 1: Introducción	11
1.1.1 Antecedentes generales de la empresa	11
1.2 Objetivos	13
1.2.1 Objetivo general	13
1.2.2 Objetivos específicos	13
Capítulo 2: Descripción planta.....	14
2.1 Planta San José (PSJ)	14
2.1.1 Línea de proceso chancado (Área seca)	15
2.1.2 Línea de proceso flotación (Área húmeda)	18
Capítulo 3: Marco Teórico	20
3.1 Conminución	20
3.2 Chancado o trituración	20
3.2.1 Chancadores primarios.....	22
3.2.2 Chancadores secundarios	24
3.2.3 Chancadores terciarios	26
3.3 Harneros	28
3.3.1 Aplicaciones más comunes de los harneros	29
3.3.2 Procesos que posibilitan la clasificación.....	30
3.4 Pierre Gy.....	31
3.5 Consolidación de la información de proceso	32
Capítulo 4: Desarrollo experimental	36
4.1 Muestreo	36
4.2 Análisis granulométrico y cálculo de flujos másicos	40

4.3	Ajuste de balance de masas	41
4.4	Estandarización de harneros	42
4.5	Determinación de índice operacionales.....	43
Capítulo 5: Discusión de resultados muestreo a planta de chancado secundario/terciario.....		44
5.1	Ajuste de balance.....	44
5.2	Harneros bananas	46
5.3	Parámetros operacionales.	53
5.4	Evaluación cambio de revestimiento de extra fino a fino.	58
Capítulo 6: Conclusiones		64
Capítulo 7: Recomendaciones.....		66
Capítulo 8: Bibliografía		67
Capítulo 9: Anexos		69
9.1	Calculo de la masa mínima requerida según Pierre Gy.....	69
9.2	Resultados muestra mínima requerida según Pierre Gy.....	70
9.3	Análisis granulométricos.....	71
9.3.1	Muestreo enero 2022 porcentaje pasante sin ajustar.....	71
9.3.2	Muestreo agosto 2022 porcentaje pasante sin ajustar.	72
9.4	Análisis granulométrico ajustado.	73
9.4.1	Muestreo enero 2022 porcentaje pasante ajustado.....	73
9.4.2	Muestreo agosto 2022 porcentaje pasante ajustado.	74
9.5	Planilla de ajuste de balance por el método de Multiplicadores de Lagrange...	75
9.5.1	Ajuste de balance enero 2022	75
9.5.2	Ajuste de balance agosto 2022.....	76
9.5.3	Diagrama circuito de chancado 2°/3° ajustado enero 2022.	77

9.5.4	Diagrama circuito de chancado 2°/3° ajustado agosto 2022.....	78
9.5.5	Eficiencia de chancado en chancadores terciarios.	79
9.5.6	Eficiencia de clasificación por fracción granulométrica.	80
9.5.7	Resumen comportamiento de la granulometría de alimentación a molienda.	80

Índice de Figuras

Figura 2.1	Ubicación planta San José.	14
Figura 2.2	Diagrama general planta de chancado	17
Figura 2.3	Circuito flotación PSJ.	19
Figura 3.1	Circuito básico de chancado	21
Figura 3.2	(a) Circuito de chancado abierto, (b) Circuito de chancado cerrado.	21
Figura 3.3	Sección transversal chancador de mandíbula.	22
Figura 3.4	Esquema de funcionamiento chancador de mandíbula.....	23
Figura 3.5	Clasificaciones de un chancador de mandíbula.	23
Figura 3.6	Chancador Giratorio a) Diagrama de funcionamiento, b) Sección transversal.	24
Figura 3.7	Modelos Hidrocono Sandvik	25
Figura 3.8	Diagrama de componentes principales H6800 Hidrocono.	26
Figura 3.9	Tipos de perfiles cóncavo de un chancador de cono.	27
Figura 3.10	Ejemplo harnero Grizzly.	28
Figura 3.11	Componentes principales harnero vibratorio.....	29
Figura 3.12	Imagen representación Estratificación y etapas de la clasificación.....	31
Figura 4.1:	Puntos de muestreo planta de chancado secundario/terciario.	37
Figura 5.1	Configuración estandarizada harneros Banana.....	47

Figura 5.2 Configuración harnero Banana 1 muestreo enero 2022.	47
Figura 5.3 Configuración harnero Banana 2 muestreo enero 2022.	48
Figura 5.4 Configuración harnero Banana 1 muestreo agosto 2022.	50
Figura 5.5 Configuración harnero Banana 2 muestreo agosto 2022.	50
Figura 5.6 Progreso estandarización harneros terciarios.	51
Figura 5.7 Eficiencia de chancado por malla en chancadores terciarios muestreos enero y agosto	55
Figura 5.8 Distribución granulométrica alimentación y descarga chancadores terciarios.	56
Figura 5.9 Eficiencia de clasificación por fracción granulométrica harneros terciarios.	56
Figura 5.10 Curvas análisis granulométricos alimentación y descarga harneros Banana muestreos.	57
Figura 5.11 Tiempo de ajuste entre campañas.	60
Figura 5.12. Porcentaje pasante promedio y cumplimiento por mes PSJ.	61
Figura 5.13. Porcentaje pasante promedio y cumplimiento por mes BSC.	61
Figura 5.14 Dimensión A y tiempo con carga por campaña.	62

Índice de Tablas

Tabla 3-1 Características chancadores terciarios.	28
Tabla 3-2 Características harnero secundario.	29
Tabla 3-3 Características harneros terciarios.	29
Tabla 4-1 Puntos de muestreo planta de chancado secundario/terciario.	38
Tabla 4-2 Ecuaciones de balance flujos másicos totales.	41
Tabla 4-3 Ecuaciones de balance por malla.	42
Tabla 5-2 Flujos másicos ajustados y sin ajustar muestreos planta de chancado.	45

Tabla 5-3 Resumen porcentaje de estandarización y abertura ponderada harneros banana.	49
Tabla 5-4 Resumen índices operacionales de la planta de chancado secundario/terciario.	53
Tabla 5-5 Parámetros operacionales chancadores terciarios.....	53
Tabla 5-6 Tabla resumen porcentaje pasante bajo ¼” muestreos enero y agosto 2022...54	
Tabla 5-7 Resumen valores comparativos campañas con cóncavo EF y F.....	58

Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar las modificaciones recomendadas por parte de las empresas proveedoras MULTOTEC y SANDVIK, las que fueron implementadas al área de chancado secundario/ terciario de la planta San José perteneciente a la empresa Pucobre.

Estas modificaciones consistieron en alcanzar una estandarización definida de los módulos en los deck superiores e inferiores de los harneros terciarios Banana 1 y 2, así como la modificación del cóncavo de extra fino (EF) a fino (F) de uno de los chancadores terciarios (modelo H870i (1)) con los que se cuenta en la planta. Con estas modificaciones se buscaba solucionar las problemáticas presentadas por el área, las que eran a) bajo cumplimiento en la granulometría de alimentación a molienda y b) desgaste irregular entre los revestimientos de los chancadores terciarios.

Para poder evaluar las modificaciones recomendadas se propuso utilizar datos obtenidos a partir del proceso y realizar dos muestreos a la planta de chancado secundario/ terciario y posteriormente, confeccionar un balance de masas el que fue ajustado mediante la técnica de multiplicadores de Lagrange para así determinar los índices operacionales de la planta previos a las modificaciones y posteriores a estas. De esta manera se planteó generar una comparativa de ambos estados que permitieron evaluar las modificaciones y definir si las problemáticas habían sido resueltas.

A partir del ajuste de balance se concluyó que, con las condiciones operacionales recomendadas en el procedimiento de muestreo se logró alcanzar la granulometría solicitada de alimentación a molienda en el primer muestreo. Mediante el cambio de cóncavo de EF a F se consiguieron menores tiempos de ajuste en el chancador terciario y evidencia puntal de un mejor aprovechamiento de los revestimientos, sin embargo, no se pudo determinar mejorías en cuanto al rendimiento del proceso relacionados con los cambios realizados hasta ese momento. Finalmente, por situaciones externas al trabajo realizado no se pudo llevar a cabo la estandarización recomendada, ni tampoco se contó con los escáneres para evaluar el desgaste del cóncavo del chancador terciario H870i (1) por lo que no se consiguió generar la alimentación estable y con la granulometría solicitada a molienda, ni tampoco verificar si el cambio de cóncavo permitió igualar los perfiles de desgastes de los chancadores terciarios.

Abstract

The objective of this work was to evaluate the modifications recommended by MULTOTEC and Sandvik supplier companies, which were implemented in the secondary/tertiary crushing area of the San José plant belonging to the Pucobre company.

These modifications consisted of achieving a defined standardization of the modules in the upper and lower decks of the Banana 1 and 2 tertiary screens, as well as the modification of the concave from extra fine (EF) to fine (F) of one of the tertiary crushers (model H870i (1)) available in the plant. With these modifications, the aim was to solve the problems presented by the area, which were a) low compliance in the granulometry of the feed to the grinding and b) irregular wear between the linings of the tertiary crushers.

In order to evaluate the recommended modifications, it was proposed to use data obtained from the process and carry out two samplings at the secondary/ tertiary crushing plant and subsequently prepare a mass balance which was adjusted using the Lagrange multiplier technique in order to determine the operational indices of the plant before the modifications and after these. In this way, it was proposed to generate a comparison of both states that allowed the modifications to be evaluated and to define if the problems had been resolved.

From the balance adjustment, it was concluded that, with the operational conditions recommended in the sampling procedure, it was possible to achieve the granulometry requested for feeding to grinding in the first sampling. By changing the concave from EF to F, shorter adjustment times were achieved in the tertiary crusher and isolated evidence of better use of the linings. However, it was not possible to determine improvements in terms of process performance related to the changes made up to that moment. Finally, due to situations external to the work carried out, the recommended standardization could not be carried out, nor were the scanners available to evaluate the wear of the concave of the tertiary crusher H870i (1). Therefore, it was not possible to generate a stable feed with the granulometry requested for grinding nor to verify if the change of concave allowed to equalize the wear profiles of the tertiary crushers.

Capítulo 1: Introducción

1.1.1 Antecedentes generales de la empresa

Pucobre es una empresa de capital 100% nacional que basa sus operaciones, en la extracción y procesamiento de minerales de cobre. Pucobre se encuentra localizada en la región de Atacama y comenzó sus operaciones en el año 1989 con la explotación de la mina Punta del Cobre y cuyo primer hito importante, en el camino para pasar a ser una empresa de reconocimiento nacional e internacional, fue la construcción en el año de 1992 de su planta de Biolixiviación Biocobre, iniciando así la exportación de cátodos de cobre, el cual fue el primer producto comercial de la compañía. Esto dio comienzo, a una historia de crecimiento continuo y de excelencia en la industria minera nacional. Continuando en 1997, con la adquisición y ampliación de planta San José, que le permitió producir concentrado de cobre, elemento que se convirtió en el segundo y principal producto comercializado por la empresa, ya que, gracias a planta San José, pudo triplicar su capacidad. Pucobre continuó expandiéndose, adquiriendo distintos proyectos mineros, tales como: la mina a rajo abierto Venado Sur y mina Manto Negro. Además, de los proyectos mineros Mantos de Cobre (el cual contempla un contrato de explotación a largo plazo, que le entrega derecho exclusivo de explotación) y Granate (de propiedad de la empresa).

Actualmente, se encuentran en desarrollo dos nuevos proyectos: El Espino en la Región de Coquimbo y Tovaku, en la región de Antofagasta. Estos proyectos buscan expandir la empresa a otras regiones y de este modo, aumentar la capacidad de producción de la misma. También, se cuenta con la construcción del nuevo depósito de relaves Las Cruces II, el cual ya se encuentra en construcción y plantea extender el funcionamiento de planta San José por 30 años más.

Según la memoria 2021 de la empresa Pucobre, la producción fue de aproximadamente 38.000 toneladas de cobre fino, de las cuales un 89% corresponde a concentrado de cobre, provenientes de la planta San José y un 11% de a cátodos de cobre provenientes de la planta de Biolixiviación Biocobre. (Memoria anual Pucobre, 2021) Para mejorar estos resultados, es que toma relevancia este trabajo de titulación, ya que actualmente en la etapa de molienda no se alcanza la capacidad de tratamiento definida por diseño, debido

a problemas asociados al área de chancado de planta San José, en la cual, existe dificultad para conseguir la granulometría requerida para un buen funcionamiento de la etapa de molienda y otras etapas subsecuentes del proceso, donde el criterio óptimo para este parámetro, es de un 87 % bajo $\frac{1}{4}$ ", este producto es el resultado entre una mezcla compuesta, entre el mineral chancado por planta San José (PSJ) y una planta externa llamada Besalco (BSC) donde está última tiene un meta de 92% bajo $\frac{1}{4}$ ", para alcanzar una mezcla con una granulometría de 87% bajo $\frac{1}{4}$ ". En la actualidad planta San José, presenta dificultades para alcanzar granulometrías de 85 % bajo $\frac{1}{4}$ ". Por esto, la alimentación a la etapa de molienda con % $\frac{1}{4}$ " menor al requerido, disminuye su capacidad de tratamiento.

El área de chancado presenta los siguientes problemas a) los chancadores terciarios producen perfiles de desgaste en los revestimientos diferentes y b) la configuración de los módulos de los harneros secundarios y terciarios es diferente al recomendado por diseño, lo que provoca una alta variabilidad en el flujo de alimentación a molienda, además de % $\frac{1}{4}$ " menor al requerido.

Para resolver esto problemas, se realizaron las siguientes modificaciones en el circuito de chancado secundario y terciario a) cambio de cóncavo a uno de los chancadores terciarios para igualar los perfiles de desgaste de ambos equipos, pasando de un cóncavo de perfil extra fino a uno de perfil fino y b) estandarización de los módulos de los harneros secundario y terciarios, para de esta manera alcanzar los requerimientos de la etapa de molienda, estos son un flujo de alimentación estable y una granulometría desde PSJ de 85% $\frac{1}{4}$ ".

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Evaluar si el cambio de cóncavo en uno de los chancadores terciarios permite igualar el perfil de desgaste de ambos chancadores terciarios y la estandarización de los módulos de los harneros terciarios permite cumplir con los requerimientos granulométricos de la etapa de molienda.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar muestreos en la planta de chancado secundario y terciario bajo las actuales condiciones de operación y con las modificaciones realizadas.
- Consolidar la información obtenida en el muestreo, ajustando el balance de masa con la técnica de los Multiplicadores de Lagrange.
- Determinar, a partir de la información obtenida del muestreo, si las modificaciones realizadas en el circuito de chancado secundario y terciario permiten alimentar a la etapa de molienda un flujo de alimentación estable con una granulometría de 85% bajo 1/4” desde PSJ, para una alimentación compuesta PSJ y BSC de 87% -1/4”.
- En caso de cumplir con los requerimientos granulométricos de alimentación a molienda, evaluar si las modificaciones realizadas en el circuito de chancado secundario y terciario permiten mejorar el rendimiento de la etapa de molienda.

Capítulo 2: Descripción planta

2.1 Planta San José (PSJ)

PSJ es una planta concentradora que utiliza el proceso de flotación convencional. Se encuentra ubicada en la comuna de Tierra Amarilla, región de Atacama, a unos 20 km de la ciudad de Copiapó. La ubicación de la planta PSJ se puede observar en la Figura 2.1.



Figura 2.1 Ubicación planta San José.

Nota. Adaptado de Memoria anual Pucobre (p.13) por Pucobre, 2021.

PSJ fue adquirida por Pucobre en el año 1997. Y ésta cuenta con una capacidad de tratamiento de 15.000 tpd de mineral y una capacidad de producción de aproximadamente 11.000 tpm de concentrado de cobre, con una ley promedio de concentrado de 28%. Para esto, PSJ recibe y procesa el mineral proveniente de las minas Mantos de Cobre, Granate y Punta del Cobre. Cuya principal especie mineralógica es la calcopirita. El proceso

utilizado por PSJ considera una fase de conminución compuesta por etapas: de chancado primario, secundario, terciario y molienda convencional. En la fase de flotación, cuenta con una etapa Rougher, una etapa de limpieza mediante el uso de una celda columnar y celdas SFR, y una etapa Scavenger la cual recupera las colas provenientes de la etapa cleaner, seguido por una etapa de espesado y finalmente una de filtrado para la cual utiliza filtros cerámicos, esto se explica en mayor detalle a continuación.

2.1.1 Línea de proceso chancado (Área seca)

El proceso inicia desde la cancha de acopio, en donde se encuentra depositado todo el material proveniente de las diferentes minas que proveen a PSJ. El mineral es transportado mediante cargadores frontales hasta una tolva de descarga, la que provee a un alimentador de placas y ésta a su vez transporta el mineral hasta un harnero vibratorio Grizzly, alimentando al chancador primario de mandíbulas Metso C-160. El mineral ya chancado, es transportado mediante correas hasta el stock pile de gruesos, donde se acopia para contar con una reserva de mineral que asegure continuidad a la operación del chancado secundario/ terciario.

Desde el acopio de gruesos, el mineral pasa a través de tres alimentadores vibratorios los que están encargados de regular el flujo de alimentación al chancado secundario. Estos alimentadores descargan su flujo en una correa transportadora, la que lleva el mineral hasta un harnero Tyrock para su clasificación. Posterior a esto, el sobre tamaño es enviado al chancador secundario Sandvik H-6800, mientras que el bajo tamaño es descargado en un chute pantalón donde se separan dos flujos: El mineral de tamaño fino y el mineral de tamaño intermedio. Los finos son transportados por la correa 200-CV-10 a la correa 200-CV-11 para finalmente transportarlo hasta la correa 200-CV-08 la que transporta todo el material fino hasta el stock pile de finos. El mineral con un tamaño intermedio es descargado junto al mineral ya chancado por el chancador secundario, para ser transportado hasta dos harneros bananas de dos deck cada uno, los cuales clasifican el mineral. En este caso, el mineral fino es retirado del circuito hacia la correa 200-CV-08, mientras que el mineral de tamaño intermedio y grueso es descargado mediante correas

en dos tolvas las que descargan a su vez en dos alimentadores Sandvik, los que regulan la alimentación de los chancadores terciarios Sandvik H 870i. Finalmente, este mineral es recirculado mediante correas hasta los harneros banana para su clasificación. El mineral que cumple con la granulometría deseada, es transportado a través de la correa 200-CV-08 hasta el acopio de finos (stock pile de finos o silo mediante la correa 200-CV-12, según se requiera). Mientras que, el mineral grueso, es recirculado nuevamente hacia los chancadores terciarios. La Figura 2.2 es un diagrama que representa funcionamiento del proceso de conminución de la planta de chancado de PSJ.

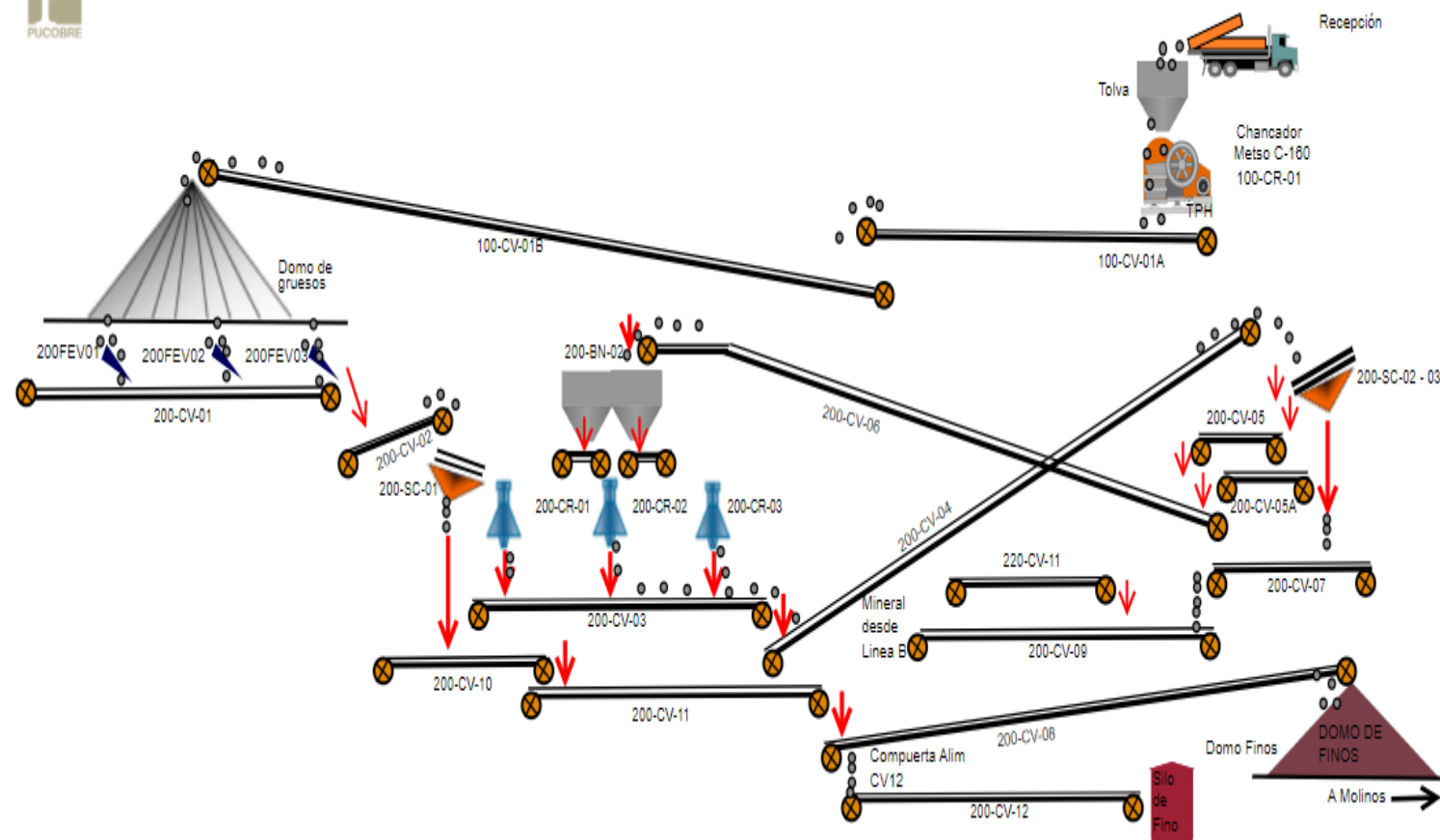


Figura 2.2 Diagrama general planta de chancado

Nota. Creación propia.

2.1.2 Línea de proceso flotación (Área húmeda)

Se cuenta con tres molinos de bolas, dos en funcionamiento normal con dimensiones de 16,5x28 [pies] y otro de 16,5x29 [pies] respectivamente, y un tercero en “stand by” de dimensiones 13x18 [pies], el cual se pone en servicio en caso de falla o detención programada de alguno de los dos molinos principales. El producto de los molinos es descargado en cubas a las que se adiciona agua para diluir la pulpa, desde donde es bombeada hasta dos baterías de hidrociclones de 4 y 8 ciclones (respectivamente) para su clasificación. De aquí se obtienen dos flujos: el overflow es enviado directamente a las celdas de flotación Rougher, para las cuales se utilizan dos celdas OK de 160 [m³], que corresponden a un banco cada celda y cinco celdas OK de 100 [m³], que conforman los dos últimos bancos, uno de dos y otro de tres celdas, mientras que el underflow se recircula a los molinos. El concentrado de las celdas Rougher, es enviado a una cuba en donde se une al concentrado Scavenger y a la descarga del molino de remolienda (dimensiones 10,5 [pies] de ancho y 14 [pies] de largo), esta pulpa es bombeada desde la cuba a una batería de hidrociclones para su clasificación, desde la cual el underflow es descargado nuevamente al molino de remolienda y el overflow es dividido en dos flujos: uno que va a la celda columnar de 4 [m] de diámetro y 11 [m] de altura, este funciona como etapa cleaner, mientras que el segundo flujo se envía a un circuito de 4 celdas SFR. En este caso la cola del circuito es enviado a las celdas Scavenger. En cuanto al concentrado de las celdas SFR, puede ser enviado a la celda columnar o a la cuba que alimenta al hidrociclón de remolienda dependiendo de la ley de este concentrado. El concentrado de la celda columnar es enviado al espesador de concentrado y desde aquí es enviado a los filtros cerámicos, la cola de la celda columnar es enviada a una línea de celdas Scavenger, compuesta por diez celdas WENCO, subdivididas en cinco bancos de dos celdas cada uno. El concentrado de esta etapa, es recirculado al molino de remolienda, mientras que el relave de esta etapa se une al relave de la etapa Rougher y se elimina al espesador de relaves, en donde se recupera parte del agua para reutilizarla en el proceso, mientras que el relave de este espesador es finalmente enviado al tranque de relaves Las Cruces para su deposición. En la Figura 2.3 se presenta un diagrama del circuito de flotación de PSJ.

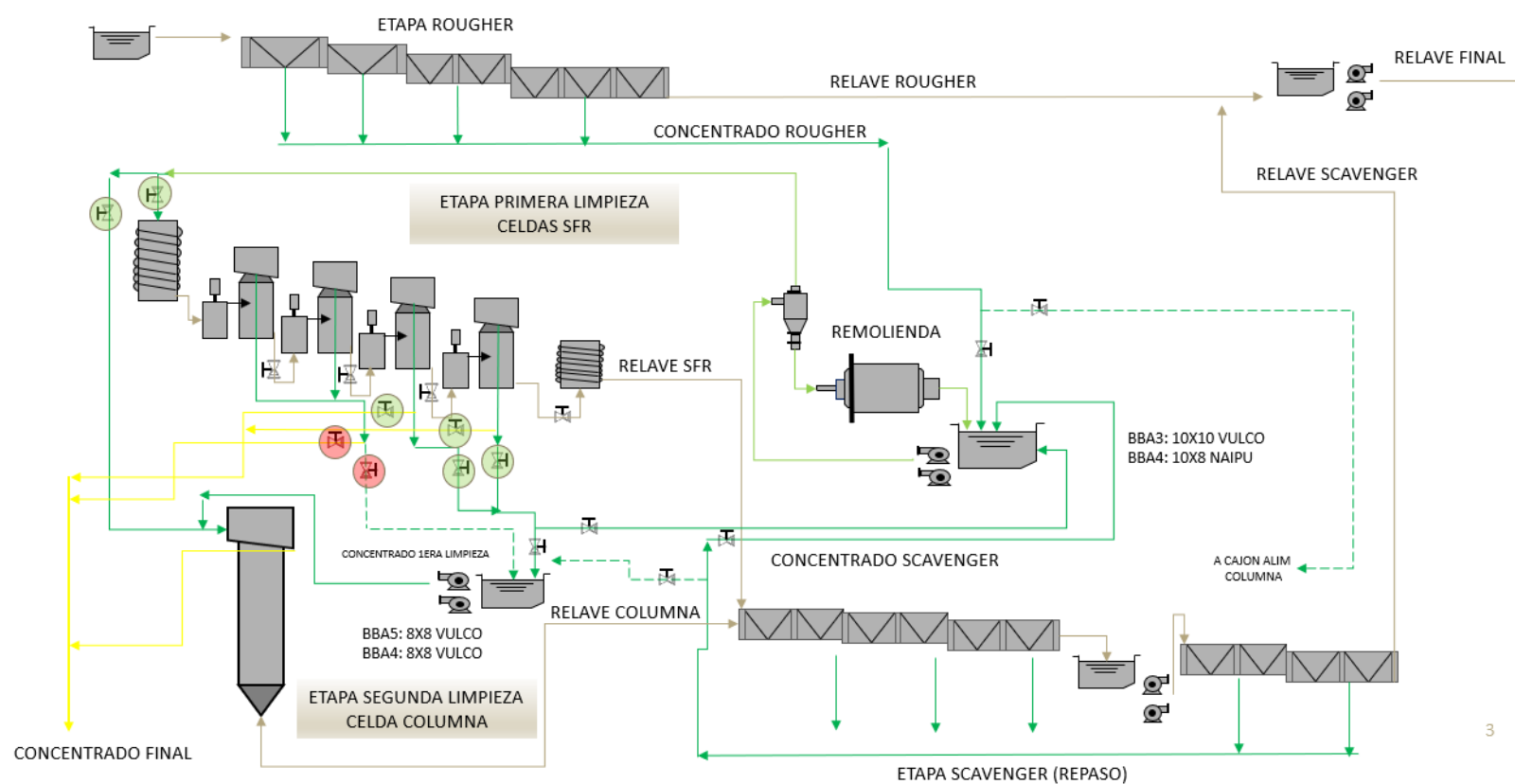


Figura 2.3 Circuito flotación PSJ.
Nota. Adaptado de reunión jefes de turno, Pucobre, 2022.

Capítulo 3: Marco Teórico

3.1 Conminución

Según Wills (2006), debido a que la mayoría de los minerales se encuentran diseminados y asociados con la ganga, estos deben ser inicialmente liberados, antes de que la separación o concentración pueda ser llevada a cabo. Para esto es aplicada la conminución, en donde el tamaño de la partícula se reduce progresivamente hasta conseguir que la partícula sea liberada. La conminución, por tanto, se puede considerar que inicia desde la tronadura donde el mineral es extraído del macizo rocoso mediante explosivos para reducirlo a un tamaño manejable, por el cual pueda ser transportado y luego tratado, por los diferentes procesos disponibles en la industria minero metalúrgica, los cuales continúan con la tarea de reducir el tamaño del mineral y para lo cual se requieren diferentes etapas de chancado y molienda.

3.2 Chancado o trituración

El chancado corresponde a la primera etapa de operación mecánica en los procesos de reducción de tamaño y es utilizado para reducir el tamaño de un mineral hasta alcanzar ya sea la granulometría adecuada para alimentar un circuito de molienda, o incrementar la superficie de contacto, hasta alcanzar la granulometría requerida para un proceso determinado, como en el caso de los procesos de lixiviación donde la granulometría requerida es cercana a la $\frac{1}{2}$ " o el de los procesos de concentración donde para alimentar a molienda se requieren granulometrías de aproximadamente $\frac{1}{4}$ ". Las etapas de chancado pueden estar compuesta por uno o más equipos según sea necesario y a su vez, pueden existir diferentes números de etapas según el proceso y las características físico-químicas del mineral que lo requieran. Por ejemplo, se puede contar con las etapas de chancado primario, secundario, terciario, cuaternario (ver Figura 3.1). Además de esto los circuitos se pueden clasificar como abiertos o cerrados, según el producto del chancador se una al bajo tamaño del harnero y este sea enviado a la siguiente etapa del circuito (circuito abierto), o el caso contrario, donde el producto del chancador es enviado directamente al harnero para asegurar que todo el sobre tamaño sea recirculado al chancador. Esto se puede observar en la Figura 3.2

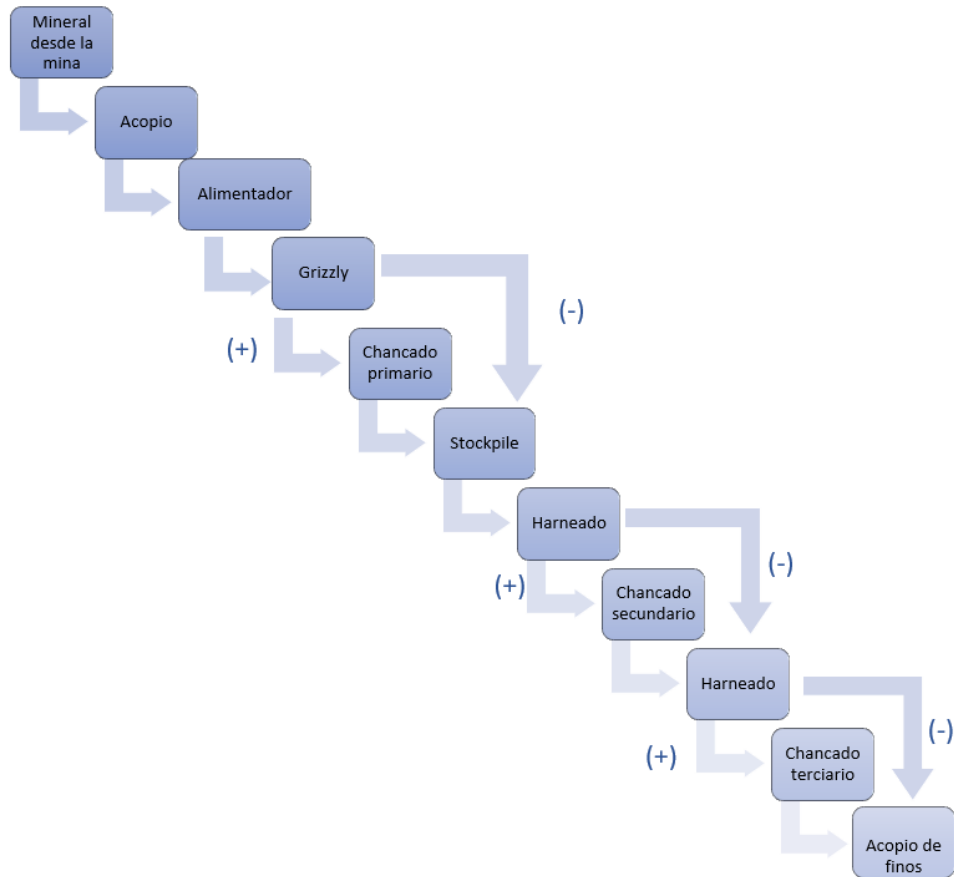


Figura 3.1 Circuito básico de chancado

Nota. Creación propia

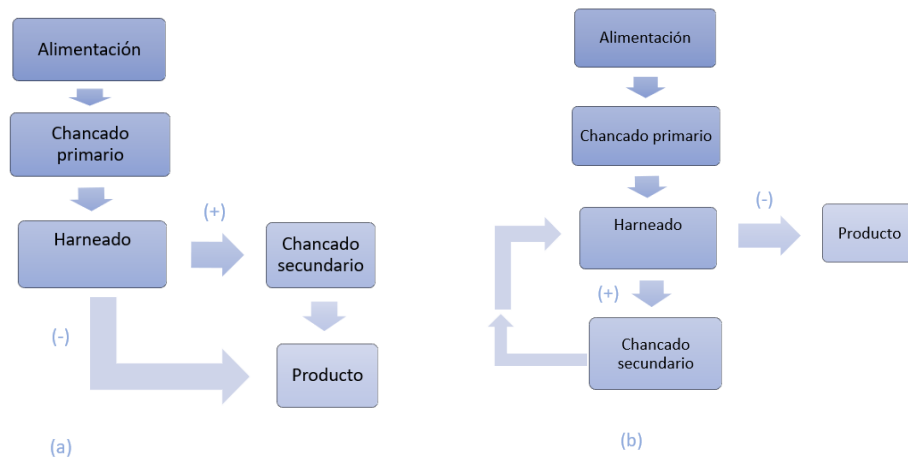


Figura 3.2 (a) Circuito de chancado abierto, (b) Circuito de chancado cerrado.

Nota. Creación propia

3.2.1 Chancadores primarios

Según Wills (2006) los chancadores primarios suelen ser equipos de grandes dimensiones que se utilizan para tratar el mineral que viene directamente de la mina, reduciéndolo a dimensiones adecuadas para transportar y alimentar una etapa de chancado secundario. Estos son operados en circuito abierto y se pueden acompañar de harneros tipo Grizzly. Existen dos tipos principales de chancadores primarios: los chancadores de mandíbula y los chancadores giratorios. Éstos se diferencian principalmente por sus dimensiones, costo, forma, mecanismo de chancado y capacidades de tratamiento. En PSJ, por ejemplo, se utiliza como chancador primario un chancador de mandíbula que cuenta con un harnero vibratorio Grizzlyly y previo a este un alimentador de placas.

- Chancadores de mandíbula:

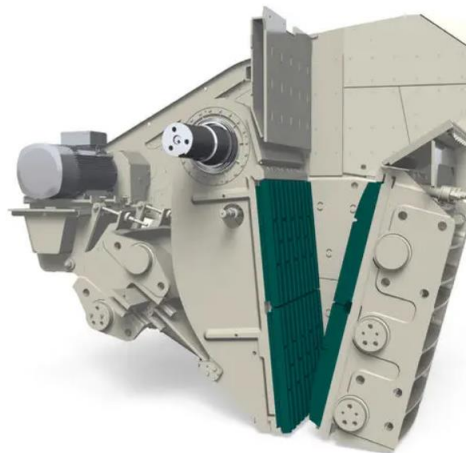


Figura 3.3 Sección transversal chancador de mandíbula.

Nota. Adaptado de sitio web metso corporation, Directindustry, (s.f.)
(<https://www.directindustry.es/prod/metso-corporation/product-9344-1478889.html>)

Los chancadores de mandíbulas cuentan con dos mandíbulas una fija y otra móvil la que pivotea fracturando el mineral por fuerzas compresivas. El mineral alimentado a través de estas mandíbulas es impactado a lo largo de la cámara de chancado, hasta que finalmente cae a través de la abertura de descarga del equipo. El esquema de funcionamiento principal de un chancador de mandíbula se puede observar en la Figura 3.4.

Estos equipos se suelen clasificar según el punto en que se produce el pivoteo de la mandíbula móvil. Según este criterio se pueden clasificar en Blake, Dodge, y universal. (Ver Figura 3.5)

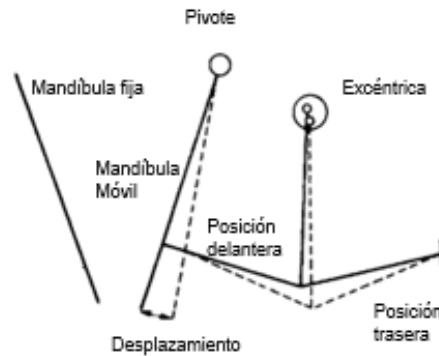


Figura 3.4 Esquema de funcionamiento chancador de mandíbula.

Nota. Adaptado de *Minerals Processing Technology* (p.120) por Wills, 2006 (traducción)

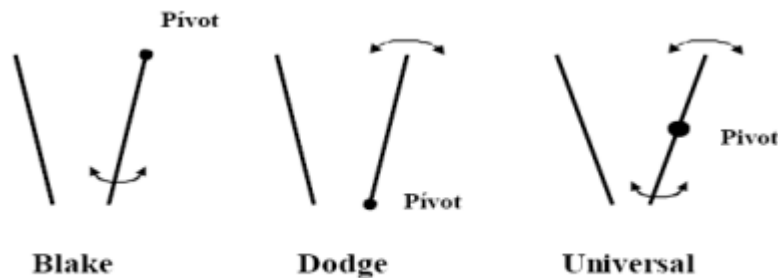


Figura 3.5 Clasificaciones de un chancador de mandíbula.

Nota. Adaptado de *Minerals Processing Technology* (p.120) por Wills, 2006.

- Chancadores giratorios

Según Wills (2006) los chancadores giratorios son utilizados cuando se requieren grandes capacidades de tratamiento, ya que estos poseen una mayor capacidad en comparación a un chancador de mandíbula. Estos chancadores están compuestos por un largo eje vertical, que tiene por elemento de conminución un cono triturador que se asienta en un mango excéntrico. El conjunto eje- cono se encuentra

suspendido de una araña y genera un movimiento rotatorio chancando todo lo que ingresa en la cámara del chancador, al igual que en un chancador de mandíbula, cuando éste se encuentra en su máximo desplazamiento es el momento en que ocurre la descarga y en la zona en que se encuentra en su desplazamiento mínimo se produce la reducción de tamaño o conminución. Como el cono se encuentra en rotación ejerce esfuerzos de compresión y cizalle sobre el mineral, el cual es presionado entre el cono y la coraza del chancador para generar la fractura, esto ocurre de forma cíclica dando como resultado la fractura y descarga del mineral, esto se puede observar en la Figura 3.6

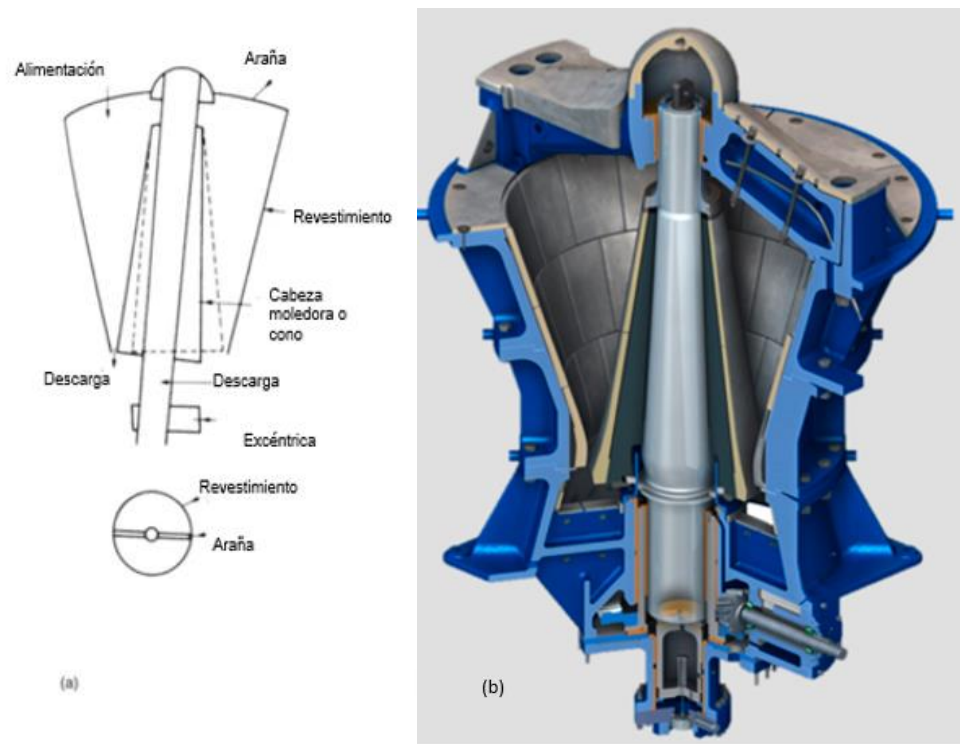


Figura 3.6 Chancador Giratorio a) Diagrama de funcionamiento, b) Sección transversal.

Nota. Imagen (a) adaptada de Mineral Processing Technology (p.124) Wills, 2006. (b) Imagen adaptada de crushersparts, (s.f.), (<http://www.crushersparts.cl/es/chancador-giratorio.php>).

3.2.2 Chancadores secundarios

Los chancadores secundarios reciben como alimentación el mineral proveniente de los chancadores primarios, que suele tener un tamaño de 15 a 10 [cm] de diámetro. Por esta

razón dichos equipos son de menor tamaño o envergadura. La función de estos equipos es la de reducir de tamaño el mineral hasta una granulometría adecuada para un proceso de molienda, esto cuando los minerales son blandos y se cuentan con razones de reducción elevadas. En operaciones en las cuales los minerales son demasiado duros y se requiere de más etapas consecutivas de chancado, el propósito del chancado secundario se limita a alcanzar una granulometría adecuada para la siguiente etapa de chancado. Los equipos más comunes utilizados como chancadores secundarios son el chancador de cono, que consiste en una adaptación del chancador giratorio y entre los chancadores de cono más utilizados se encuentran los chancadores de cono estándar y cono cabeza corta. Éstos cuentan con una cámara achatada para maximizar la capacidad de tratamiento.

En el caso de PSJ, el chancado secundario se encuentra a cargo de un chancador hidrocono Sandvik H6800. El modelo hidrocono corresponde a una patente comercial de la empresa Sandvik, que cuenta con dos modelos: el S y el H (Figura 3.7), esto hace referencia a la concavidad del revestimiento interior del chancador, siendo menos agudo en el caso del modelo H, lo que le entrega mayor presión de trituración descendente a este último (Sandvik, 2003, p. 2,20). En la Figura 3.8 se muestra un corte transversal con los principales componentes de este equipo.

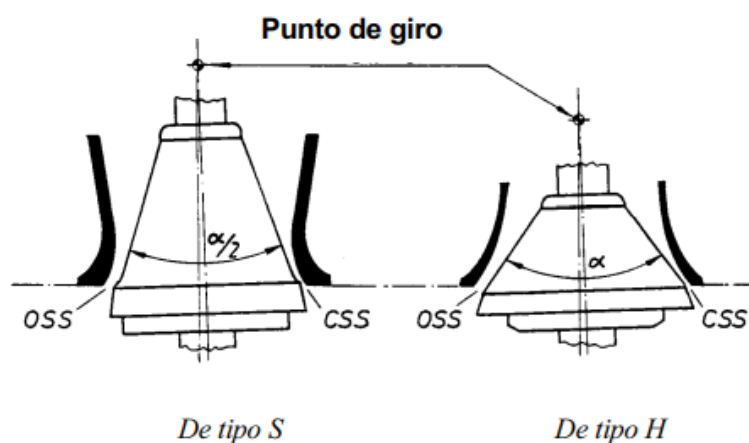


Figura 3.7 Modelos Hidrocono Sandvik

Nota. Adaptado de *Instrucciones de mantenimiento* (p. 2,20), por SANDVIK, 2003

- | | | |
|-----------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| 1. Talón de apoyo | 8. Parte superior del bastidor | 15. Excéntrica |
| 2. Anillo intermedio | 9. Parte inferior del bastidor | 16. Casquillo de excéntrica |
| 3. Tuerca del eje principal | 10. Manto | 17. Placas de presión |
| 4. Cubierta protectora | 11. Cono de apoyo | 18. Embolo |
| 5. Casquillo superior | 12. Anillo guardapolvo | 19. Eje propulsor |
| 6. Eje principal | 13. Arandela de cojinete | 20. Portacojinetes de collar |
| 7. Cóncavo | 14. Casquillo de bastidor | 21. Polea de correa |

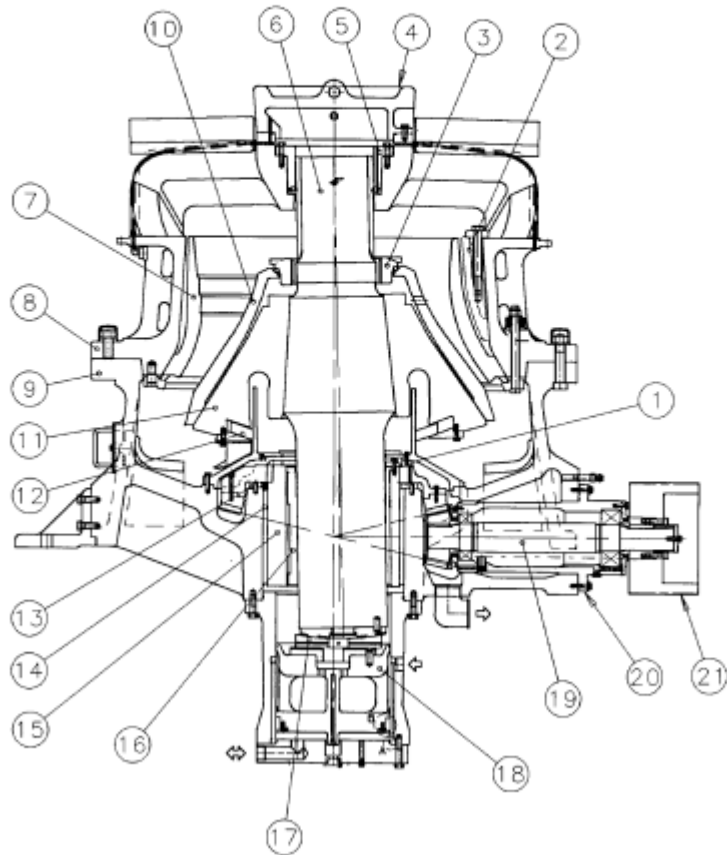


Figura 3.8 Diagrama de componentes principales H6800 Hidrocono.

Nota. Adaptado de *Instrucciones de mantenimiento* (p. 10,20), por SANDVIK, 2003

3.2.3 Chancadores terciarios

Los chancadores terciarios son utilizados cuando las tareas de conminución son muy demandantes, producto de minerales de alta dureza o porque con una etapa de chancado secundario no resulta suficiente para alcanzar los requerimientos granulométricos del proceso. Para esta etapa se suelen utilizar equipos muy similares a los de chancado secundario, como lo son los chancadores de cono, a los cuales con revestimientos adecuados y setting de operación más ajustados, pueden llevar a cabo la tarea sin problemas. Las principales diferencias entre los chancadores utilizados en chancado

secundario y terciario, son: el tamaño de la cámara, el largo del poste y el ángulo de la cabeza o cono. En el caso de PSJ, el chancado terciario está a cargo de dos chancadores hidrocono de la marca Sandvik modelo H870 i. En este equipo la energía se transfiere a través de una corona la cual se encarga de transmitir el movimiento desde el eje excéntrico hacia el poste, en el cual se encuentra el manto. El poste se encuentra suspendido sobre un cojinete y una película de aceite, la que se encarga mediante el sistema Hydroset de ajustar el setting subiendo o bajando según el equipo o el proceso lo requiera. Cuando se requiere ajustar el setting el sistema Hydroset inyecta aceite, elevando el poste y ajustando el setting, en caso contrario el sistema extrae el aceite permitiendo que el poste baje y aumente el setting. Dentro de la cámara de trituración se encuentran el cóncavo y el manto, las cuáles son las piezas de desgaste encargadas de la trituración del mineral y además protegen las paredes de la cámara. En el caso del cóncavo se cuentan con diferentes perfiles para su selección, dependiendo del tipo de producto que se desee obtener.

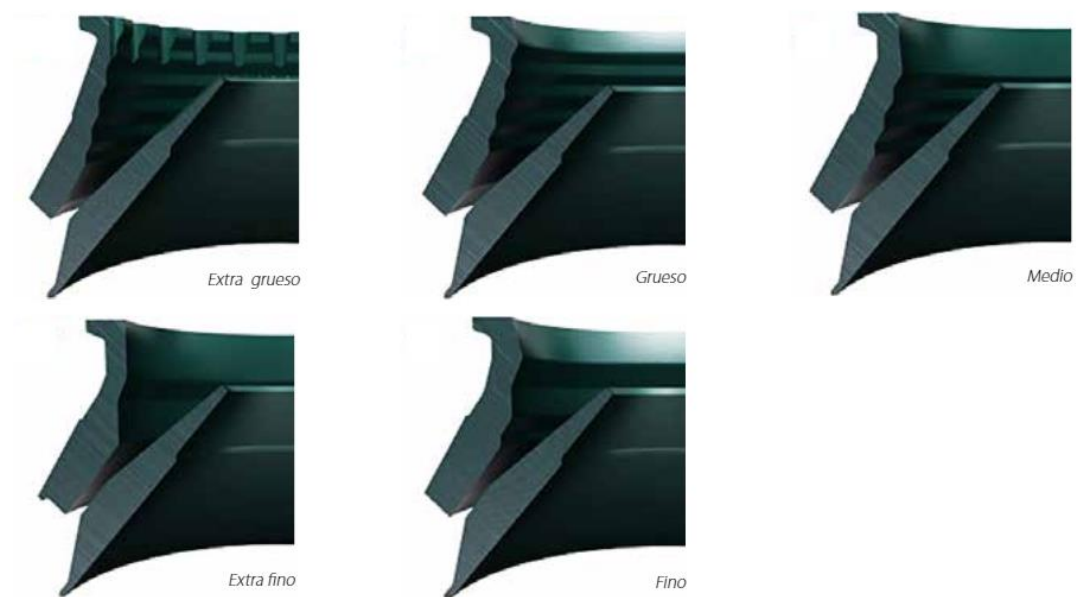


Figura 3.9 Tipos de perfiles cóncavo de un chancador de cono.

Nota. Adaptado de catálogo chancador de cono Nodberg (p. 9), metso,2013

Tabla 3-1 Características chancadores terciarios.

Características equipo	Ch-3°	
N° de Chancadores	2	
Tipo	Hidrocono	Hidrocono
Tamaño Max Alim (mm)	80-300	80-300
CSS (mm)	10-44	10-44
Potencia máx. (kW)	500	500
Presión (MPa)	4-5	4-5

3.3 Harneros

El harneo es un proceso probabilístico en el cual un flujo de material es depositado sobre una “malla” o superficie de clasificación, que está encargada de separar el material en dos flujos: un bajo tamaño y un sobre tamaño. Según Rivet (2015) los principales tipos de harneros que existen, son los harneros fijos y los harneros vibratorios. Los harneros estáticos se utilizan para separar materiales de más de 150 [mm] y se suelen recomendar cuando no se requiere de una clasificación muy certera, un ejemplo de este tipo de equipos son los harneros Grizzly (Figura 3.10). En el caso de los harneros vibratorios, éstos se caracterizan por contar con un sistema de accionamiento que se encarga de dos objetivos principales, primero estratificar y luego transportar el material por la superficie. Los componentes básicos de un harnero vibratorio se pueden observar en la Figura 3.11



Figura 3.10 Ejemplo harnero Grizzly.

Nota. Adaptado de *Catalogo Mallas, Cribas y Telas metálicas* (p. 6) por Rivet, 2015.

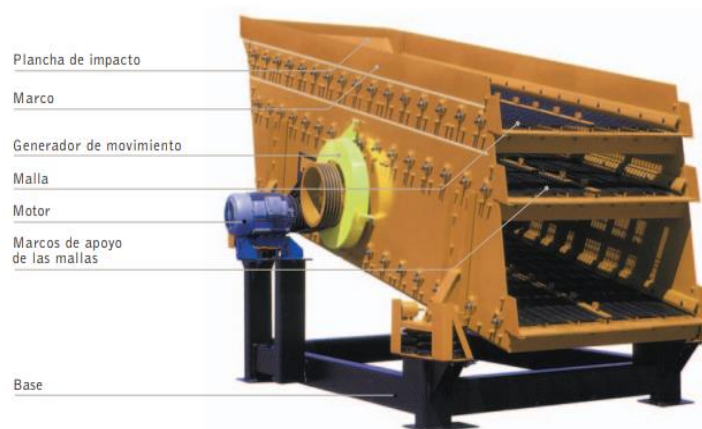


Figura 3.11 Componentes principales harnero vibratorio.

Nota. Adaptado de *Catalogo Mallas, Cribas y Telas metálicas* (p. 7) por Rivet, 2015.

Tabla 3-2 Características harnero secundario.

Equipo	Harnero Secundario
Marca	Metso
Modelo	Ty-rock
Dimensiones	8' x 16'
Nº de deck (Parrillas)	3

Tabla 3-3 Características harneros terciarios.

Equipo	Harnero Terciario
Marca	Metso
Modelo	Banana
Dimensiones	10' x 24'
Nº de deck (Parrillas)	2

3.3.1 Aplicaciones más comunes de los harneros

Según Rivet (2015) las aplicaciones más comunes para los harneros que podemos mencionar son las siguientes:

1. **Scalping o desbaste:** Se utiliza para retirar una parte del material grueso con que es alimentado un harnero, reduciendo la cantidad de partículas que llegan a la

mallas de corte. Se llama desbaste o scalping cuando el material a retirar es mayor al 5 %.

2. Despolvado: Se utiliza para eliminar el material fino de un producto grueso.

3. Clasificación: Se utiliza para obtener un producto dentro de un rango específico.

3.3.2 Procesos que posibilitan la clasificación

Estratificación: Se le denomina de esta manera al ordenamiento de las partículas que, producto del movimiento vibratorio, las partículas gruesas se desplazan hacia la superficie, mientras que las partículas finas caen y se depositan en la parte inferior del flujo a través de los espacios intersticiales entre las partículas. Los factores que intervienen en la estratificación son:

1. Velocidad de flujo de material: una función de la estratificación del material, espesor de la capa, característica de la carrera, e inclinación de la criba.

2. Características de la carrera: Amplitud, dirección, rotación, tipo de movimiento y frecuencia.

3. Humedad superficial: Un contenido alto de humedad dificulta la estratificación.

La clasificación dentro de un harnero se puede dividir en dos etapas principales. La primera ocurre en el primer tercio de la malla y se denomina clasificación por saturación, ya que la malla se satura con partículas finas que intentan pasar a través de las aberturas al mismo instante. La segunda etapa corresponde a la clasificación por repetición, al desplazarse por la superficie de la malla, las partículas tratan de pasar por la malla, repitiéndose este proceso por prueba y error hasta ser descargados al final de la malla. En la Figura 3.12 se muestra una representación gráfica de las etapas explicadas anteriormente.

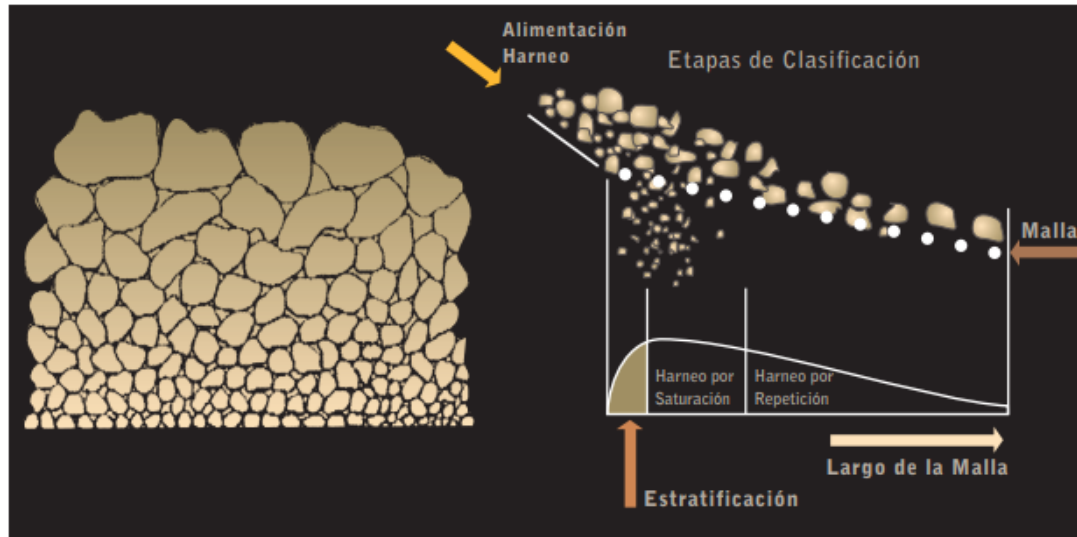


Figura 3.12 Imagen representación Estratificación y etapas de la clasificación.

Nota. Adaptado de *Catalogo Mallas, Cribas y Telas metálicas* (p. 9) por Rivet, 2015.

3.4 Pierre Gy

La ecuación de Pierre Gy es empleada para determinar la cantidad mínima de muestra que se debe coleccionar para que esta sea representativa de una muestra mayor, para poder determinar esta muestra mínima se utiliza la ecuación (1).

$$W = \frac{1}{Sa^2} * d^3 * l * f * h \quad (1)$$

Para poder utilizar esta ecuación es necesario determinar las constantes que la conforman, para esto se cuenta con las ecuaciones (2), (3) y (4).

$$Ea = \pm t_{(k*n-1; (1-\frac{\alpha}{2}))} * \frac{Sa}{\sqrt{k}} \quad (2)$$

$$l = \sqrt{\frac{d_0}{d}} \quad (3)$$

$$Q = x * (100 - x) * \left[\frac{x}{100} * \rho_A + \frac{(100-x)}{100} * \rho_B \right] \quad (4)$$

Donde:

W = Masa de muestra mínima requerida según Pierre Gy.

d = Diámetro máximo de partícula en la muestra en cm.

Ea = Error absoluto respecto de la ley del mineral.

f = Factor de forma, el valor es 0,5 a excepción de las menas de oro donde se utiliza el valor de 0,2 cuando el oro está liberado.

h = Factor de distribución de tamaño, normalmente se utiliza 0,25.

Q = Factor de composición mineralógica se mide en $[\frac{g}{cm^3}]$.

x = Proporción en peso del componente crítico o de valor en la mena.

l = Factor de liberación, además, d representa el tamaño de liberación del mineral y d_0 el tamaño máximo en la distribución o d_{95}

S_a = Varianza relativa al error fundamental de muestreo.

3.5 Consolidación de la información de proceso

Para realizar cualquier procedimiento de análisis de proceso o modificación, es necesario adquirir información experimental de la planta. En la mayoría de los casos, la información requerida es de estado estacionario. Es decir, durante la adquisición de datos, no deben existir cambios en las entradas o salidas del sistema. A pesar de lo anterior, y aunque se tomen las mayores precauciones en los procedimientos de muestreo, preparación de las muestras y análisis químicos, mineralógicos o granulométricos, siempre existe algún grado de incertidumbre en los valores de las variables medidas. Por lo tanto, para disponer de información consistente para evaluar el funcionamiento de una planta es necesario consolidar la información de proceso obtenida de la planta y esto se logra ajustando el balance de masa.

Para ajustar el balance de masa se utiliza la técnica de los multiplicadores de Lagrange. El ajuste balance en sí, considera toda la información experimental disponible, incluso la redundante. La influencia de cada variable en el balance está dada por el error asociado a cada medición.

De esta manera, es de esperar que las variables compuestas por datos que poseen un mayor error cambien más que las variables cuyos datos son más confiables. La forma de incorporar este concepto al balance de masas es a través de un ponderador que es inversamente proporcional al error o varianza de los datos, es decir

$$W_i = \frac{1}{S_i^2} \quad (5)$$

Donde

W_i = Factor ponderador de la variable i

S_i^2 = Varianza o error asociado a la variable i

La resolución del balance debe satisfacer que:

- Las variables ajustadas se parezcan lo más posible, a las variables originales o medidas.
- La diferencia entre los valores medidos y ajustados esté dentro de un rango de esperado de dispersión de los valores medidos.
- Que las relaciones de balance de masa se cumplan.

Para conseguir lo anterior, se plantea una función objetivo que consiste en la sumatoria de los cuadrados de las variables medidas y calculadas ponderadas por factores de peso W_i .

$$\Phi = \sum_{i=1}^m W_i (f_i - F_i)^2 \quad (6)$$

Sujeto a las restricciones de balance de n nodos, es decir

$$\sum_{i=1}^m K_{ji} F_i = 0 \quad \text{para } j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (7)$$

Donde:

n = Número de nodos

m = Número de variables independientes

f_i = Valores medido o experimental del flujo i

F_i = Valor ajustado del flujo i

K_{ji} = Parámetro o coeficiente de la j -ésima restricción en el flujo i

Para resolver este sistema lineal, se utiliza el método de los multiplicadores de Lagrange. Éste consiste en definir una nueva función objetivo, que se forma a partir de la original más las restricciones multiplicadas por un parámetro λ (multiplicador de Lagrange), el número de multiplicadores de Lagrange dependerá de la cantidad de restricciones que tenga el sistema ($n + np$). Donde p = número de restricciones adicionales, en este caso es 0.

Para obtener la función optimizada con restricciones, se debe minimizar ϕ . Para lo cual se definen las nuevas variables ya mencionadas, multiplicadores de Lagrange. La nueva función objetivo extendida es:

$$\phi(F_1, F_2, \dots; F_m, \lambda'_1, \lambda'_2, \dots, \lambda'_n) = \sum_{i=1}^m W_i (f_i - F_i)^2 + \sum_{j=1}^n \lambda'_j \sum_{i=1}^m K_{ji} F_i \quad (8)$$

La condición de mínimo de la función ϕ implica que todas las primeras derivadas de la función deben ser nulas. Esto es:

$$\frac{\partial \phi}{\partial F_i} = 0 \quad \text{para } i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (9)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial \lambda'_j} = 0 \quad \text{para } j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (10)$$

Es decir:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial F_i} = -2 \sum_{i=1}^m W_i (f_i - F_i) + \sum_{j=1}^n \lambda'_j \sum_{i=1}^m K_{ji} = 0 \quad (11)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \lambda'_j} = \sum_{i=1}^m K_{ji} F_i = 0 \quad (12)$$

Para mayor simplicidad es posible acomodar la ecuación 7 de la siguiente forma.

$$2 \sum_{i=1}^m W_i F_i + \sum_{j=1}^n \lambda'_j \sum_{i=1}^m K_{ji} = 2 \sum_{i=1}^m W_i f_i \quad (13)$$

Podemos dividir la ecuación anterior por dos y definir la nueva variable $\lambda = \frac{\lambda'}{2}$, se tiene la siguiente ecuación matricial.

$$A \bullet B = C \quad (14)$$

Donde las dimensiones de las matrices son

$$A = (m + n) \times (m + n)$$

$$B = (m + n) \times 1$$

$$C = (m + n) \times 1$$

Simplificando la matriz de la ecuación se tiene

$$\begin{pmatrix} w_{m \times m} & K_{m \times n}^t \\ K_{n \times m} & \Phi_{n \times n} \end{pmatrix} \bullet \begin{pmatrix} F_{m \times 1} \\ \lambda_{n \times 1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} W f_{m \times 1} \\ \Phi_{n \times 1} \end{pmatrix} \quad (15)$$

El vector $\begin{pmatrix} F_{m \times 1} \\ \lambda_{n \times 1} \end{pmatrix}$, que es la incógnita se puede obtener directamente invirtiendo la matriz, del primer término de la ecuación 11.

$$\begin{pmatrix} F_{m \times 1} \\ \lambda_{n \times 1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_{m \times m} & K_{m \times n}^t \\ K_{n \times m} & \Phi_{n \times n} \end{pmatrix}^{-1} \bullet \begin{pmatrix} W f_{m \times 1} \\ \Phi_{n \times 1} \end{pmatrix} \quad (16)$$

Capítulo 4: Desarrollo experimental

Para cumplir con los objetivos planteados se propuso realizar dos muestreos al circuito de chancado de PSJ, los cuales incluyen el chancado secundario y terciario y sus correspondientes etapas de clasificación, ver Figura 4.1. El primer muestro se realizó con el propósito de caracterizar la situación actual de la planta y generar así una línea base y el segundo muestreo se ejecutó con la finalidad de evaluar primero, si el cambio de cóncavo de un perfil extra fino a fino en el chancador terciario H870i (1) igualaba el perfil de desgaste de ambos chancadores terciarios y en segundo lugar, si la estandarización de los módulos de los harneros terciarios permitía alimentar el circuito de molienda con la granulometría requerida, esto es 87% pasante $\frac{1}{4}$ " resultado de la mezcla entre ambas planta de chancado (PSJ y BSC).

A partir de la información obtenida de los muestreos se determinó las distribuciones granulométricas y flujos máscos de alimentación y descarga de los chancadores y harnero, se calculó y ajusto el balance de masas con el propósito determinar la distribución granulométrica de alimentación a molienda, además de evaluar el impacto de las modificaciones realizadas en condiciones operacionales del circuito de chancado secundario y terciario, tales como perfil granulométrico de los chancadores terciarios, razón de reducción y eficiencias de harneado.

4.1 Muestreo

Los puntos donde fueron colectadas las muestras están identificados en la Figura 4.1 y descritos en la Tabla 4-1.

Área 200: Circuito chancado secundario /terciario

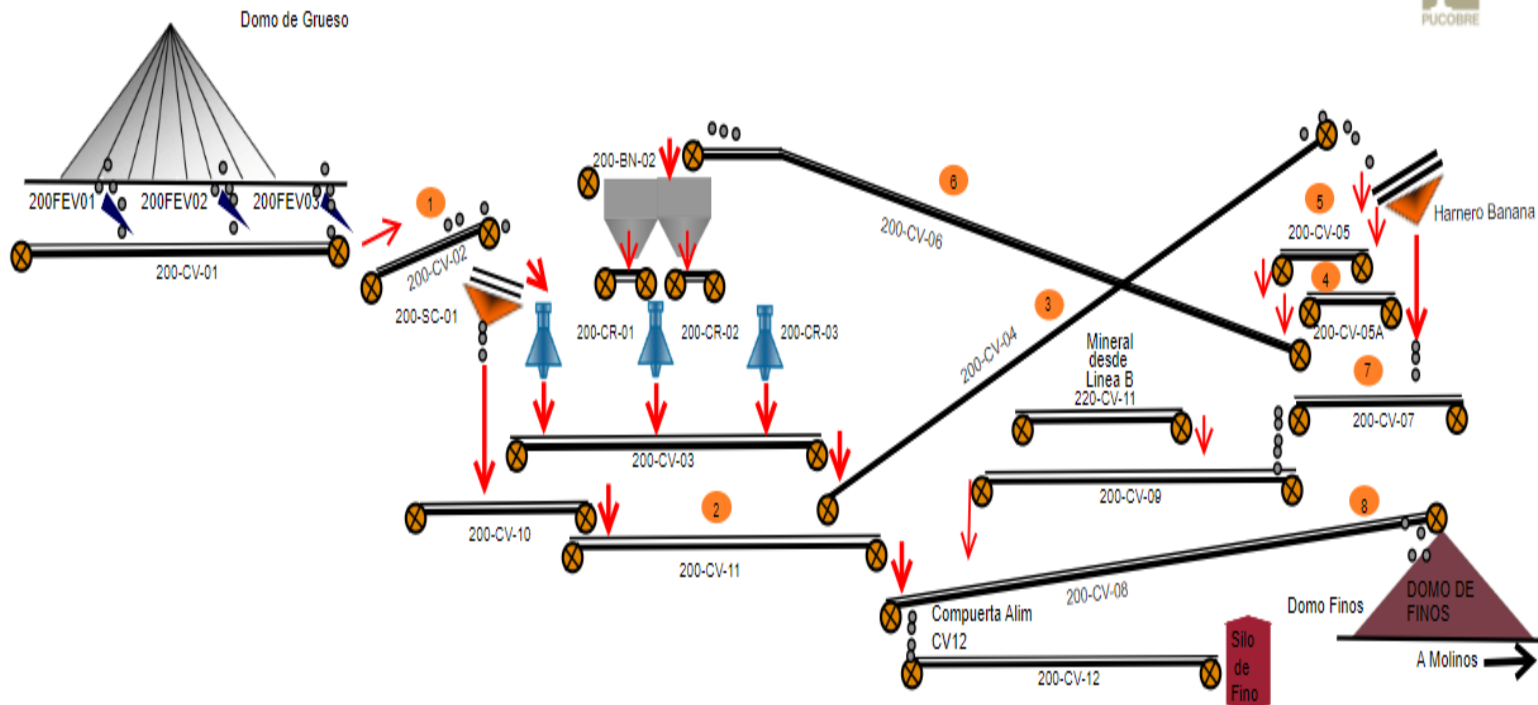


Figura 4.1 Puntos de muestreo planta de chancado secundario/terciario.

Nota. Creación propia.

Tabla 4-1 Puntos de muestreo planta de chancado secundario/terciario

N° de muestra	Flujo	Descripción y correa de muestreo
Muestra 1	F1	Alimentación harnero secundario (correa 200-CV-02)
Muestra 2	F2	Bajo tamaño harnero secundario (200-CV-11)
Muestra 3	F3	Alimentación harneros terciarios (200-CV-04)
Muestra 4	F4	Sobre tamaño harneros terciarios (200-CV-05A)
Muestra 5	F5	Descarga intermedia harneros terciarios (200-CV-05)
Muestra 6	F6	Alimentación chancadores terciarios (200-CV-06)
Muestra 7	F7	Bajo tamaño harneros terciarios (200-CV-07)
Muestra 8	F8	Producto planta de chancado secundario/terciario (200-CV-08)
Muestra 9	F9	Descarga chancador H6800 (200-CV-04)
Muestra 10	F10	Descarga chancador H870 i (1) (200-CV-04)
Muestra 11	F11	Descarga chancador H870 i (2) (200-CV-04)

Los muestreos se realizaron aplicando el protocolo desarrollado por la PSJ, el cual contiene las directrices básicas bajo las cuales se debe realizar el muestreo de la planta de chancado, además de las condiciones de operación bajo los cuales evaluaron los equipos (harneros y chancadores).

El muestreo está dividido en tres etapas que se describen a continuación:

a) Etapa 1: Levantamiento de información:

Previo al muestreo se debe realizar una inspección de cada uno de los puntos del muestreo para garantizar la seguridad de los trabajadores. Además, se deberá realizar una inspección del estado de los módulos de los harneros secundario y terciario. También se debe realizar la difusión del protocolo entre todos los participantes del muestreo.

b) Etapa 2: Muestreo general:

El día del muestreo se debe llevar el área de chancado secundario/terciario a condiciones de operación normal hasta alcanzar el régimen. Para esto se debe alcanzar un rendimiento de 650 [ton/hora], el chancador secundario debe estar operando con un CSS de 30 [mm] y los chancadores terciarios con CSS de 20-22 [mm], una vez en este punto se deben detener todas las correas y realizar el respectivo procedimiento de bloqueo de equipos, según indican los procedimientos internos de la empresa. Además, se deben registrar rendimiento de las correas 200-CV-08, 200-CV-11 y la potencia de los chancadores con carga. Posteriormente se procederá a la toma de muestras a partir de las correas en los puntos especificados en la Tabla 4-1 y Figura 4.1. Para tomar las muestras M-1, M-2, M-3, M-4, M-5, M-6, M-7 y M-8 los responsables deberán subir a las correas y extraer 1 [m] de correa, para esto la muestra se depositará en baldes debidamente identificados para cada muestra, no debiendo contener más de 20 [Kg] por balde para evitar sobrecargar al personal durante el transporte y acopio de éstos.

c) Etapa 3: Muestreo de equipos:

Para la obtención de las muestras M-9, M-10 y M-11, en primera instancia se debe realizar: a) un vaciado de las tolvas de alimentación al chancado terciario manteniendo estos en operación, luego se debe: b) detener los chancadores terciarios y poner en servicio el chancador secundario, asegurando un CSS de 30 [mm]. c) Se debe detener el chancado secundario cuando se alcance un nivel de llenado de 60% en las tolvas de alimentación a los chancadores terciarios. d) Alcanzado el punto anterior, se procede a muestrear el punto que indica la Tabla 4-1 para la obtención de la muestra M-9, extrayendo 1[m] de correa.

Finalizado el proceso de muestreo del chancador secundario, se procede con el muestreo de la etapa terciaria M-10 y M-11. Para esto, se debe poner en funcionamiento el área por

20 [min], para realizar una limpieza del circuito de los remanentes del muestreo de la etapa secundaria de la correa 200-CV-04. Para conseguirlo: a) se pone en servicio, desde la correa 200-CV-03 a la 200-CV-09 y los harneros banana. Esto hasta asegurarse de retirar todo el material de la prueba anterior. b) A continuación, y transcurrido el tiempo indicado, se procede a poner en servicio solamente el chancador terciario que se desea evaluar y el alimentador correspondiente a este, manteniendo un CSS de entre 20-22 [mm], c) luego de esto se detiene el equipo, d) se realiza el bloqueo y e) la toma 1 [m] de muestra en el punto designado según la Tabla 4-1 y se vuelve a repetir este proceso para el siguiente chancador terciario, repitiendo los pasos a), b), c), d) y e). Terminado el muestreo, se procede a desbloquear el área y se reanuda la operación.

4.2 Análisis granulométrico y cálculo de flujos másicos

Una vez colectadas todas las muestras, éstas fueron enviadas a un laboratorio externo (IDICTEC) para la obtención de la distribución granulométrica. Las mallas que fueron consideradas para los análisis granulométricos son desde la abertura 9" hasta ¼" para las muestras colectada en las correas 200-CV-02, 04, 05, 05 A y 06 mientras que para las muestras colectadas en las correas 200-CV-07 a la 200-CV-11 se consideraron desde la # 4 hasta la #6. Para determinar las mallas inferiores a ¼", se utilizó la ecuación de Schuman (ver ecuación 17) esto para determinar la distribución granulométrica para las correas que no se solicitó el análisis granulométrico para las aberturas #4 y #6.

$$F(x) = \left(\frac{x}{x_0}\right)^m \quad (17)$$

Donde:

x : Los diferentes tamaños de abertura en la distribución.

x_0 : Tamaño máximo de la distribución de tamaño.

Con el objetivo de calcular los flujos másicos necesarios para realizar el balance, se multiplicó la masa de muestra colectada en el muestreo por la velocidad de la correa. De esta manera se obtuvieron los flujos másicos para las correas que no contaban con pesómetro o medidor de flujo en línea.

4.3 Ajuste de balance de masas

El balance de masa de flujos totales y por fracción granulométrica calculado con los datos experimentales generalmente no ajusta, es decir, los flujos másicos de entrada son distintos a los flujos másicos de salida, debido a que tienen asociado errores de muestreo, preparación y análisis. Para cuadrar dichos balances y de esta manera obtener información consistente para evaluar los diferentes equipos involucrados en la planta de chancado se aplicó el método de los Multiplicadores de Lagrange y se adoptara el siguiente procedimiento:

- a) Ajuste de los flujos másicos totales medidos (calculados multiplicando la masa de muestra colectada por unidad de longitud de correa por la velocidad de la correa).

Para ajustar el balance de flujos másicos totales se planteó una función objetivo de la forma.

$$F.O = f_{p_1} \left(\frac{F_1 - F''_1}{F_1} \right)^2 + f_{p_1} \left(\frac{F_2 - F''_2}{F_2} \right)^2 \dots + f_{p_6} \left(\frac{F_6 - F''_6}{F_6} \right)^2$$

- b) A partir de esta función objetivo se determina un Langrangiano sujeto a las restricciones determinadas por las ecuaciones que se muestran en la Tabla 4-2.

Tabla 4-2 Ecuaciones de balance flujos másicos totales.

Nodo	Ecuación
1	$F_1 = F_2 + F_9$
2	$F_9 + F_{10} + F_{11} = F_3$
3	$F_3 = F_4 + F_5 + F_7$
4	$F_4 + F_5 = F_6$
5	$F_6 = F_{10} + F_{11}$
6	$F_2 + F_7 = F_8$

- c) Cálculo de los flujos másicos por fracción granulométrica sin ajustar a partir de las distribuciones granulométricas medidas (determinada a partir de los análisis

granulométricos de las diferentes muestras colectadas) y los flujos másicos totales ajustados. Para esto, al igual que en el caso anterior, se determina una función objetivo, pero en este caso de la forma:

$$F.O = \sum_1^i \sum_1^j (f_{p_{i,j}} \left(\frac{F_{i,j} - F''_{i,j}}{F_{i,j}} \right)^2)$$

Donde, $i = 1 \dots n^\circ \text{ de flujos}$ y $j = 1 \dots n^\circ \text{ de mallas}$. Considerados en el ajuste de balance por fracción granulométrica.

- d) Al igual que en el caso de la función objetivo para el ajuste de balance de flujos másicos totales, a partir de esta función objetivo se determina un Langrangiano sujeto a las restricciones determinadas por las ecuaciones que se muestran en la Tabla 4-3.

Tabla 4-3 Ecuaciones de balance por malla.

Nodo	Ecuación
2	$F_{9,j} + F_{10,j} + F_{11,j} = F_{3,j}$
3	$F_{3,j} = F_{4,j} + F_{5,j} + F_{7,j}$
4	$F_{4,j} + F_{5,j} = F_{6,j}$
6	$F_{2,j} + F_{7,j} = F_{8,j}$

- e) Ajuste de los flujos másicos por fracción granulométrica.

4.4 Estandarización de harneros

Se realizó de forma semanal un control de las modificaciones de módulos en los distintos harneros con los que cuenta la planta, para evaluar el avance respecto de la estandarización de los módulos de cada deck o parrilla, dado que esto afecta directamente al desempeño de estos equipos, intentando alcanzar la estandarización recomendada y generar una relación entre el avance y el impacto de este en el producto final del área.

La estandarización de los módulos se encuentra a cargo del área de operaciones y la actual configuración fue recomendada por la empresa proveedora MULTOTEC, la cual se

encarga de proveer los módulos para los harneros de PSJ. La planta se encontraba en un proceso de transición y las modificaciones se realizaban por desgaste, deformación o rotura, por lo que, cuando un módulo alcanzaba alguna de estas condiciones, era reemplazado por uno nuevo para lograr la configuración recomendada.

4.5 Determinación de índice operacionales

Con la información de flujos másicos totales y flujos másicos por fracción granulométrica ajustados se evaluaron los chancadores y harneros del área de chancado secundario y terciario a través de los siguientes índices operacionales:

- a) Eficiencia de chancado, calculada como la diferencia relativa entre la fracción o porcentaje acumulado retenido en la alimentación y la descarga del chancador.
- b) Consumo específico de energía, calculado como la razón entre la potencia demanda por los chancadores y el tonelaje procesado.
- c) Razón de reducción, R80, calculada como la razón entre tamaño 80% pasante en la alimentación y el tamaño 80% pasante en la descarga.
- d) Eficiencia bajo tamaño rechazado, calculada como la razón entre flujo másico de sobre tamaño en la alimentación al harnero y la masa de sobre tamaño.
- e) Eficiencia por fracción granulométrica, calculada como la razón entre el flujo másico por fracción granulométrica en el sobre tamaño y flujo másico por fracción granulométrica en la alimentación.
- f) Porcentaje de tamaño críticos, cantidad de material el cual resulta difícil de clasificar, calculado como el porcentaje en el intervalo de tamaño $\pm 25\%$ la abertura del harnero.
- g) Carga circulante, calculada como la razón entre el flujo de alimentación al equipo de reducción de tamaño y el flujo de alimentación fresca al circuito de chancado-harneado.

Capítulo 5: Discusión de resultados muestreo a planta de chancado secundario/terciario.

A partir de los muestreos hechos a la planta de chancado secundario/terciario, se consiguió obtener una imagen de la situación de la planta antes y después de los cambios realizados. Para esto, se llevó a cabo dos muestreos generales del área. De tal manera, se intenta poder caracterizar de mejor forma el posible impacto de las modificaciones realizadas: el cambio del revestimiento cóncavo del chancador terciario H 870 i (1) de EF a F, junto a la progresiva actualización en la estandarización de la configuración de los módulos en los harneros terciarios y así determinar si estos generaron mejoras respecto de la situación inicial. Para realizar el balance se decidió en conjunto con PSJ utilizar los flujos másicos medidos por pesómetro para las correas que contaran con uno.

5.1 Ajuste de balance

A continuación, se presentan los valores ajustados y sin ajustar obtenidos a partir de los muestreos realizados a la planta de chancado secundario/terciario de PSJ. En la Tabla 5-1 se muestra una comparación entre los valores correspondientes a los flujos másicos de los diferentes puntos muestreados utilizados para la confección del ajuste de balance y los obtenidos a partir del mismo balance llevado a cabo con la técnica de los multiplicadores de Lagrange. Además, para cada muestreo se calculó la diferencia entre el flujo másico sin ajustar y el flujo másico ajustado, esto para evidenciar la forma en que el método de ajuste por multiplicadores de Lagrange modificó cada uno de los flujos y cómo redistribuyó el tonelaje entre éstos para conseguir que el balance quede correctamente ajustado. Esta “diferencia” se muestra en la columna central de cada muestreo en la Tabla 5-1 Flujos másicos ajustados y sin ajustar muestreos planta de chancado.

Tabla 5-1 Flujos másicos ajustados y sin ajustar muestreos planta de chancado.

Correa	Flujo	Enero			Agosto		
		Sin ajustar (t/h)	Diferencia (t/h)	Ajustado (t/h)	Sin ajustar (t/h)	Diferencia (t/h)	Ajustado (t/h)
200CV02	F1	650	10	640	659	17	642
200CV04	F3	1716	-105	1821	2221	94	2127
200CV05A	F4	506	44	462	300	9	291
200CV05	F5	1015	176	839	1444	190	1254
200CV06	F6	1346	45	1301	1638	93	1545
200CV07	F7	240	-280	520	278	-304	582
200CV08	F8	630	-10	640	627	-15	642
200CV11	F2	120	0	120	60	0	60
H6800	F9	550	30	520	481	-101	582
H870i (1)	F10	589	-56	645	727	-77	804
H870i (2)	F11	599	-57	656	675	-66	741

Podemos observar que existen diferencias entre los flujos másicos sin ajustar o calculados y los ajustados por balance, esto dado que los primeros poseen errores que se presentan por fallas cometidas durante la etapa de muestreo y es el impacto de éstos en los cálculos lo que da pie a estas diferencias y es mediante el ajuste por multiplicadores de Lagrange que se busca disminuir el impacto del error de muestreo en los cálculos realizados. Existen distintos motivos por los que se generan, por ejemplo, pueden aparecer debido a error durante la toma de muestra por la manipulación o intervención humana, a diferencias entre la masa de muestra colectada y la masa mínima requerida calculada por Pierre Gy, como en el caso del flujo F1, F3 y F4 en el muestreo de enero o en los flujos F1, F2, F3 y F4 en el muestreo de agosto, donde la muestra que se obtuvo a partir del muestreo es inferior a la requerida, esto por la decisión de que solo se tomaría 1 [m] de correa, lo que no era suficiente para obtener la masa de muestra requerida en esos casos. Otros posibles motivos podrían ser que exista algún error en la medición de la velocidad de las correas utilizadas para el cálculo de los flujos másicos, o que la muestra no haya sido colectada completamente, que no se haya dado el tiempo necesario entre detenciones a lo largo del muestreo para permitir que todas las correas alcanzaran el régimen de operación, lo que podría generar también fluctuaciones en la carga de las correas o segregación en las mismas, provocando que al momento de colectar la muestra hubiera menos carga. Cualquiera de estos motivos indicados podría perjudicar la calidad de las muestras obtenidas, resultando en variaciones en los cálculos realizados y mermando la exactitud

de los resultados obtenidos. Al observar la columna de “diferencia” en la Tabla 5-1 Flujos másicos ajustados y sin ajustar muestreos planta de chancado, podemos ver el comportamiento del balance y cómo éste distribuye los tonelajes para poder realizar el ajuste. A partir de esta columna podemos ver que el flujo que mayor diferencia posee en ambos muestreos es el F7, por lo que para poder ajustar las entradas y salidas el balance disminuye la masa en los flujos F5, F4 y F3 para poder incrementar la masa en el F7, de esta manera permite balancear el circuito igualando la entrada con la salida del mismo. Además, para poder justificar este incremento el tonelaje tratado por los chancadores terciarios también es incrementado. La menor diferencia presentada por los flujos F1, F2 y F8 se explica por el mismo funcionamiento del balance, esto dado que los pesómetros entregan mediciones o valores de mayor confianza, se les asocia un factor de peso dentro del balance mucho mayor en comparación a los demás flujos y es por esto que se puede ver en la columna “diferencia” que esta es muy baja y en el caso del F2 esta es “0” para ambos muestreos, esto debido a que dentro del balance, el método mantiene estos valores y modifica a aquellos con un menor factor de peso para lograr que los flujos se ajusten a los de mayor confianza.

5.2 Harneros bananas

La estandarización se llevó a cabo por personal de operaciones de PSJ y los criterios de cambio durante el periodo de este trabajo fueron los siguientes: módulos que se encontraran visualmente fatigados, deformados o con exceso de desgaste, debían ser reemplazados por el módulo correspondiente a su posición. Para esto, se realizaban inspecciones semanales, donde se hacía un reconocimiento visual del estado de los deck y se retiraban aquellos módulos que cumplieran con alguno de los criterios señalados. Además, se contaba con el apoyo de personal técnico de la empresa MULTOTEC, los que realizaban inspecciones más profundas, entregando informes correspondientes a estas inspecciones: mapas de calor que indicaban el estado de fatiga y desgaste de los módulos, también ofrecían recomendaciones sobre cambios o puntos cruciales a intervenir. En la Figura 5.1 se muestra la representación gráfica de la configuración estandarizada que se desea alcanzar en los harneros bananas recomendada por MULTOTEC.

DECK SUPERIOR										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6
2	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6
3	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6
4	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6
5	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6
6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6
7	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6
8	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6
9	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
10	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
11	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
12	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
13	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
14	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
15	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
16	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
17	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
18	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
19	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
20	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
21	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
22	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
23	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
24	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7

DECK INFERIOR										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	T5	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T5
2	T5	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T5
3	T5	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T5
4	T5	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T5
5	T5	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T5
6	T5	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T5
7	T5	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T5
8	T5	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T5
9	T5	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T5
10	T5	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T5
11	T5	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T5
12	T5	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T5
13	T5	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T5
14	T5	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T5
15	T5	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T5
16	T5	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T5
17	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5
18	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5
19	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5
20	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5
21	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5
22	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5
23	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5
24	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5

Módulo	Abertura (mm)
T1	64x64
T2	30x30
T3	9x25
T4	9x9
T5	6x18
T6	15x30
T7	15x15
T8	7x20
	CIEGO
T9	4.5x22

Figura 5.1 Configuración estandarizada harneros Banana

Nota. Creación propia.

En la figura anterior se puede ver, al lado izquierdo, el orden y el tipo de módulo correspondiente a cada posición del deck superior del harnero, mientras que a la derecha se presenta el orden y tipo de módulo correspondiente a cada posición del deck inferior de los harneros bananas. En la misma imagen se cuenta con una tabla que muestra el tipo de módulo y las dimensiones de las aberturas del mismo. Además, en la Figura 5.2 y Figura 5.3 se muestran la configuración con que se contaba en los harneros bananas al momento del muestreo del mes de enero de 2022.

DECK SUPERIOR										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6
2	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6
3	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6
4	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6
5	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6
6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6
7	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6
8	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6
9	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
10	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
11	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
12	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
13	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
14	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
15	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
16	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
17	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
18	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
19	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
20	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
21	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
22	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
23	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
24	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7

DECK INFERIOR										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	T5	T3	T8	T8	T3	T3	T3	T3	T3	T8
2	T5	T3	T3	T3	T3	T3	T5	T3	T3	T8
3	T5	T3	T3	T3	T5	T3	T3	T3	T3	T8
4	T3	T3	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T5
5	T5	T8	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T8
6	T5	T8	T4	T4	T5	T4	T4	T4	T4	T8
7	T8	T8	T3	T3	T8	T5	T3	T5	T5	T3
8	T8	T8	T8	T3	T8	T8	T5	T8	T8	T8
9	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8
10	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8
11	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8
12	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8
13	T5	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8
14	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5
15	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5
16	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5
17	T5	T5	T5	T5	T8	T8	T5	T5	T5	T5
18	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5
19	T5	T8	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T8	T6
20	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5
21	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5
22	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3
23	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5
24	T5	T5	T5	T5	T5	T8	T5	T5	T8	T5

Módulo	Abertura (mm)
T1	64x64
T2	30x30
T3	9x25
T4	9x9
T5	6x18
T6	15x30
T7	15x15
T8	7x20
	CIEGO
T9	4.5x22

Figura 5.2 Configuración harnero Banana 1 muestreo enero 2022.

Nota. Creación propia.

DECK SUPERIOR										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T7	T6	T6	T6
2	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6
3	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6
4	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6
5	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6
6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6
7	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6
8	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6
9	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
10	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
11	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
12	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
13	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
14	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
15	T7	T6	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
16	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
17	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
18	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
19	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
20	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
21	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
22	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
23	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
24	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7

DECK INFERIOR										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3
2	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3
3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3
4	T3	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T5
5	T3	T3	T3	T4	T4	T3	T3	T3	T3	T3
6	T3	T3	T4	T3	T3	T5	T3	T3	T3	T3
7	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3
8	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3
9	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3
10	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3
11	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3
12	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3
13	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3
14	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3
15	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3
16	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3
17	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3
18	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3
19	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3
20	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3
21	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3
22	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3
23	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3
24	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3

Módulo	Abertura (mm)
T1	64x64
T2	30x30
T3	9x9
T4	9x9
T5	6x18
T6	15x30
T7	15x15
T8	7x20
T9	CIEGO

Figura 5.3 Configuración harnero Banana 2 muestreo enero 2022.

Nota. Creación propia.

Al comparar con la configuración recomendada se puede observar inmediatamente las diferencias presentadas al menos en el ordenamiento de los módulos, lo que provoca problemas en la distribución al momento de desplazarse la carga a lo largo del deck. Esto también genera una diferencia entre las aberturas ponderadas, estas diferencias se pueden observar en la Tabla 5-2 en ella se ve que al momento del muestreo del mes de enero existía una diferencia de 0.21 y 0.18 [mm] para los harneros banana 1 y 2 respecto de la abertura ponderada para la configuración recomendada. Además de que en ambos harneros se presentan módulos T9 los cuales no deberían estar según la configuración recomendada, estos módulos cuentan con unas dimensiones de la abertura mucho menores a las de los módulos T5 que corresponden a esa posición, lo que favorecía a que la abertura fuera inferior a la recomendada. Como se mencionó anteriormente en la Tabla 5-2 se presenta un resumen de la estandarización y la abertura ponderada de los harneros banana 1 y 2. Esta información se obtuvo a partir de los muestreos semanales con los cuales se realizaban los cálculos para determinar la evolución de la abertura y la estandarización. Se puede ver que el mes de febrero no se considera, esto se debe a que por falta de personal durante ese mes no se pudieron realizar los controles.

Tabla 5-2 Resumen porcentaje de estandarización y abertura ponderada harneros banana.

Resumen Porcentaje de estandarización harneros								
Harnero		Enero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Banana 1	Inferior (mm)	68,75	69,17	70,83	70,83	73,75	75,00	69,58
	Superior (mm)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Banana 2	Inferior	57,92	57,92	59,17	59,17	65,42	67,50	64,58
	Superior	99,17	99,17	97,92	97,92	98,33	99,17	99,17

Abertura ponderada harneros								
Harnero		Enero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Banana Est.	Inferior (mm)	7,54	7,54	7,54	7,54	7,54	7,54	7,54
	Superior (mm)	15,50	15,50	15,50	15,50	15,50	15,50	15,50
Banana 1	Inferior (mm)	7,33	7,28	7,41	7,41	7,38	7,43	7,51
	Superior (mm)	15,50	15,50	15,50	15,50	15,50	15,50	15,50
Banana 2	Inferior	7,36	7,36	7,54	7,54	7,46	7,48	7,44
	Superior	15,51	15,51	15,51	15,51	15,51	15,49	15,49

En la Figura 5.4 y Figura 5.5 se muestra la configuración al momento del muestreo de agosto 2022. En esta se puede observar el progreso mostrado en la Tabla 5-2, principalmente en los deck inferiores de ambos harneros. Aquí se puede ver la mejora presentada principalmente en la sección superior de ambos deck inferiores, la que se destaca con el rectángulo rojo, es apreciable la mejora sobre todo en el harnero banana 2.

harnero banana 1, en ésta se puede ver el retroceso producido entre julio y agosto producto del cual la estandarización regresó prácticamente al mismo valor de enero.

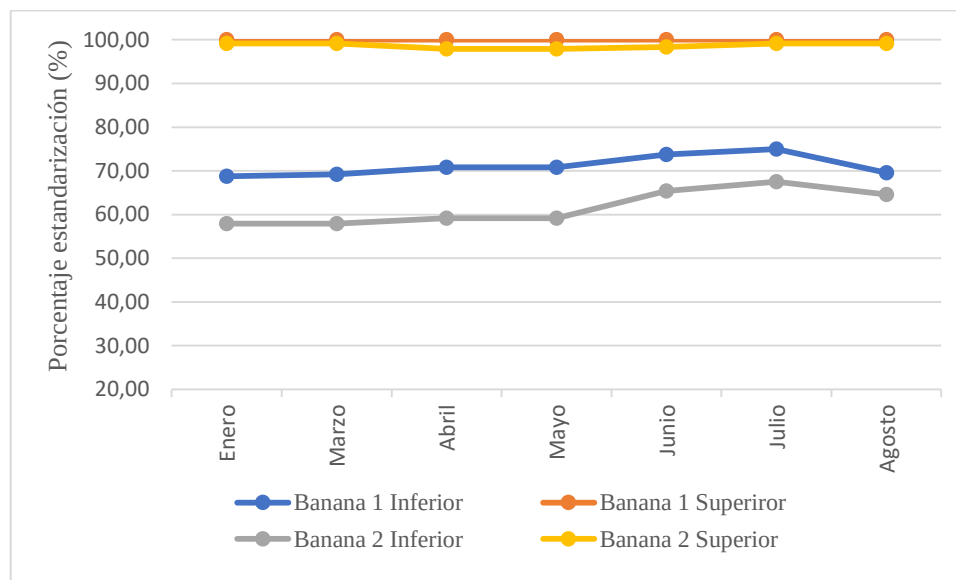


Figura 5.6 Progreso estandarización harneros terciarios.

Nota. Creación propia.

El retroceso se explica, principalmente, debido a la falta de stock de módulos, por lo que se optó por reemplazarlos con aquellos con los que se contaba en el momento, en vez de los que correspondía para continuar con la estandarización. Además de errores puntuales a la hora de reemplazar los módulos por parte de los operadores, esto posiblemente por desconocimiento, situación en la cual, en vez de reemplazar un módulo desgastado por el correspondiente según la estandarización, eran reemplazados por el mismo tipo de módulo que se retiraba o por otro con el que se contara sin tener en cuenta la configuración. En el deck superior del harnero banana 2 (Figura 5.5) se puede ver un ejemplo de un reemplazo incorrecto de módulos donde, a pesar de haber reemplazado los módulos que estaban mal ubicados en enero, se cambiaron dos módulos en la sección superior por otros que no corresponden a la configuración. Además, el bajo progreso en la estandarización en general se explica a que los módulos más desgastados y por ende los que se cambiaban con mayor frecuencia, solían ser los mismos, por lo que aun cuando se hacían cambios de manera periódica, el efecto de estos en el progreso de la estandarización era bajo. A partir de la tabla también se puede mencionar que a pesar de que el porcentaje de estandarización mejoró o se mantuvo en el caso del deck inferior del harnero banana 1, se debe destacar

que en cuanto a la abertura ponderada en ambos casos mejoró acercándose a la abertura ponderada de la configuración recomendada, por lo que al momento del muestreo de agosto se contaba con una diferencia de 0,03 y 0,1 [mm] para los deck inferiores de los harneros banana 1 y 2 respectivamente. También se debe mencionar que en caso de los deck superiores el harnero banana 1 se mantuvo 100% estandarizado durante todo el tiempo y de esta manera la abertura ponderada fue igual a la abertura recomendada. En el caso del deck superior del harnero banana 2, a pesar de que el porcentaje de estandarización sufrió variaciones, al final volvió al mismo porcentaje inicial de 99,17%, mientras que la abertura ponderada de este deck tuvo una variación de $\pm 0,01$ [mm], para terminar con en el mes de agosto con una diferencia de -0,01 [mm]. También podemos mencionar que existe una contradicción entre la eficiencia por bajo tamaño rechazado y la eficiencia de clasificación por malla. Esta se puede explicar por el propio balance, dado que a pesar de que este busca disminuir los errores arrastrados desde el muestreo, debido a la baja calidad de las muestras obtenidas donde, como se mencionó anteriormente en ambos muestreos, se cuenta con al menos tres flujos en los que la muestra colectada es inferior a la requerida puede resultar en incongruencias como esta, donde la eficiencia de bajo tamaño rechazado aumenta de un muestreo a otro mientras que la otra disminuye, ya que la eficiencia por bajo tamaño rechazado considera principalmente los flujos másicos, por lo que si el balance al ser ajustado aumenta demasiado el tonelaje del flujo F7 tenderá a generar eficiencias superiores a las esperables.

5.3 Parámetros operacionales.

En la Tabla 5-3 se muestra un resumen de los índices operacionales de la planta de chancado secundario/terciario los que son: Razón de reducción (R80) y consumo específico de energía de los chancadores terciarios, eficiencia de bajo tamaño rechazado y tamaños críticos de los harneros terciarios y la carga circulante (CC). Además, en la Tabla 5-4 se muestran los parámetros operacionales de los chancadores terciarios, al momento de realizarse cada uno de los muestreos.

Tabla 5-3 Resumen índices operacionales de la planta de chancado secundario/terciario.

Índices operacionales	Enero		Agosto	
	H 870 i (1)	H 870 i (2)	H 870 i (1)	H 870 i (2)
R80	1,44	1,75	1,58	1,76
Consumo específico (kW/h)	0,62	0,73	0,39	0,66
Eficiencia de bajo tamaño rechazado (%)	94,16		98,50	
Tamaños críticos (%)	13,34		10,90	
CC	2,50		2,66	

Tabla 5-4 Parámetros operacionales chancadores terciarios.

Parámetros operacionales	Enero		Agosto	
	H 870i (1)	H870i (2)	H 870i (1)	H870i (2)
CSS (mm)	22,00	23,00	27,46	31,34
Potencia (kW)	400,00	480,00	312,54	491,86
Presión (MPa)	4,30	4,00	3,31	2,84

Como se puede ver, en la Tabla 5-4, los parámetros operacionales durante los dos muestreos generales no fueron iguales, esto se debió principalmente a la dificultad presentada por parte de los equipos de alcanzar los parámetros del primer muestreo. Esto se asoció a un posible aumento de la dureza del mineral o a alguna falla en el funcionamiento del sistema Hydroset de los equipos, pero esto no se pudo aclarar dentro del periodo de duración de este trabajo, por lo que se debió proceder bajo estas condiciones. Esto debido a que, a mediados esta campaña, se tuvieron problemas para lograr alcanzar CSS de 22 a 23 [mm]. Producto de estas diferencias y junto al aumento en el flujo másico introducido al circuito en el muestreo de agosto (ver Tabla 5-1), podemos corroborar un aumento en la carga circulante en comparación con el primer muestreo realizado (ver Tabla 5-3), ya que al operar con un mayor CSS el producto resultante es de

mayor tamaño, disminuyendo el porcentaje de mineral con granulometría - ¼". Esto es visible en los análisis granulométricos realizados, donde el porcentaje pasante disminuyó si comparamos los muestreos de enero y agosto, esto se muestra en la Tabla 5-5 donde para el muestreo de enero el porcentaje pasante 85,00% para el flujo F7 y disminuyó en el muestreo de agosto a 83,34% para el mismo F7. El aumento que se observa en el F8 en ambos casos se explica por la adición del F2 al F8, esto provoca que se afine ya que el mineral del flujo F2 tiende a ser de granulometría más fina que el proveniente del flujo F7. Además, en la Tabla 5-3 se presenta una disminución en el consumo específico de energía entre ambos muestreos, esto principalmente por el mismo aumento de tonelaje en la alimentación al circuito presentada durante el muestreo de agosto y el aumento en el setting de trabajo mencionado anteriormente, es lo que explicaría la disminución, dado que al aumentar el rendimiento del equipo pero sin existir un incremento de la energía consumida debido al aumento de setting el consumo específico de energía disminuye.

Tabla 5-5 Tabla resumen porcentaje pasante bajo ¼" muestreos enero y agosto 2022.

Muestreo	Abertura	% Pasante F2	% Pasante F7	%Pasante F8
Enero	¼"	90,18	85,00	85,97
Agosto	¼"	96,08	83,34	84,54

También hubo una disminución en la eficiencia de chancado por malla, asociado de igual forma al CSS ver Figura 5.7. En esta figura se muestra el comportamiento de la eficiencia de chancado en cada muestreo, aquí se puede ver la caída de la eficiencia en el desplazamiento de las curvas hacia la derecha al comparar entre el muestreo de enero y agosto.

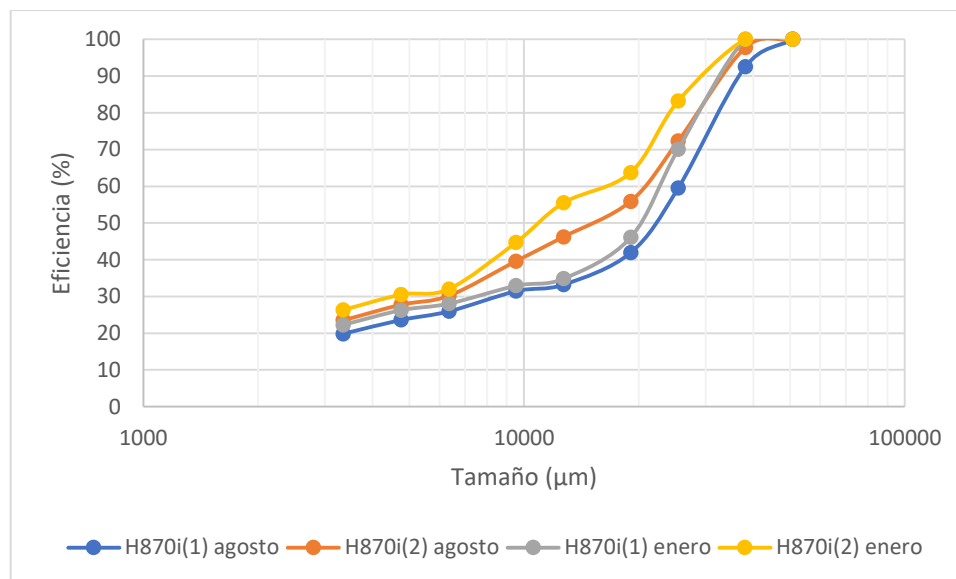


Figura 5.7 Eficiencia de chancado por malla en chancadores terciarios muestreos enero y agosto

Nota. Creación propia.

Además, se observa una disminución de presencia de mineral con tamaño crítico (Tabla 5-3) esto podría estar influenciado por el cambio de cóncavo, donde debido al nuevo perfil del revestimiento este ofrece una mayor pendiente o ángulo de inclinación, lo que genera un aumento en el espacio disponible en la cámara, también posee mayor rugosidad, es por lo que disminuiría la generación de finos y a la vez se vería mermada la presencia de tamaños críticos. A pesar de esto, el trabajar con un setting tan alto de igual forma disminuye la eficiencia de chancado del equipo en el rango superior entre 19 y 38 [mm] dado que el setting al momento del muestreo era demasiado cercano al de la etapa secundaria, sin embargo y producto al aumento del D95 presentado en el segundo muestreo el que es visible al comparar los análisis granulométricos de la alimentación de ambos muestreos en la correa F1 o 200-CV-02, es que se produjo un aumento en el R80 de los chancadores terciarios, esto se ve en la Figura 5.8 donde el aumento en la granulometría se aprecia en el desplazamiento de la curva que representa la alimentación a los harneros terciarios en el muestreo de agosto hacia la derecha. En el caso del consumo de energía, la disminución se explica por el aumento en el tonelaje ingresado en el circuito y el aumento en la carga circulante, donde al aumentar el tonelaje de mineral tratado y disminuir la potencia requerida por el equipo, el consumo disminuye.

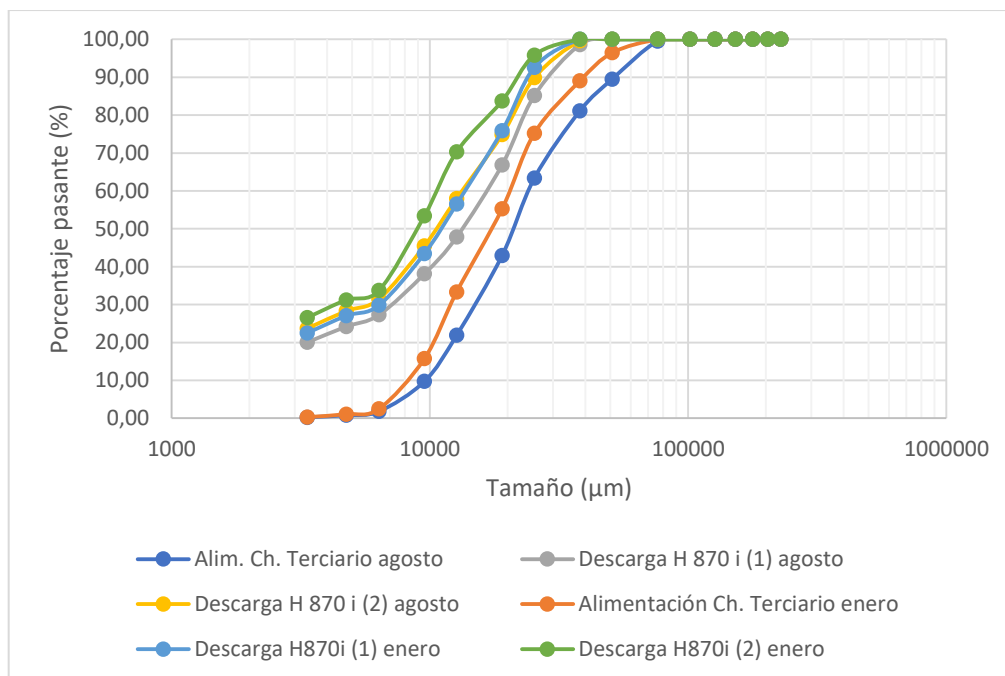


Figura 5.8 Distribución granulométrica alimentación y descarga chancadores terciarios.

Nota. Creación propia.

En la Figura 5.9 se muestra la eficiencia de clasificación por mallas para los muestreos de enero y agosto.

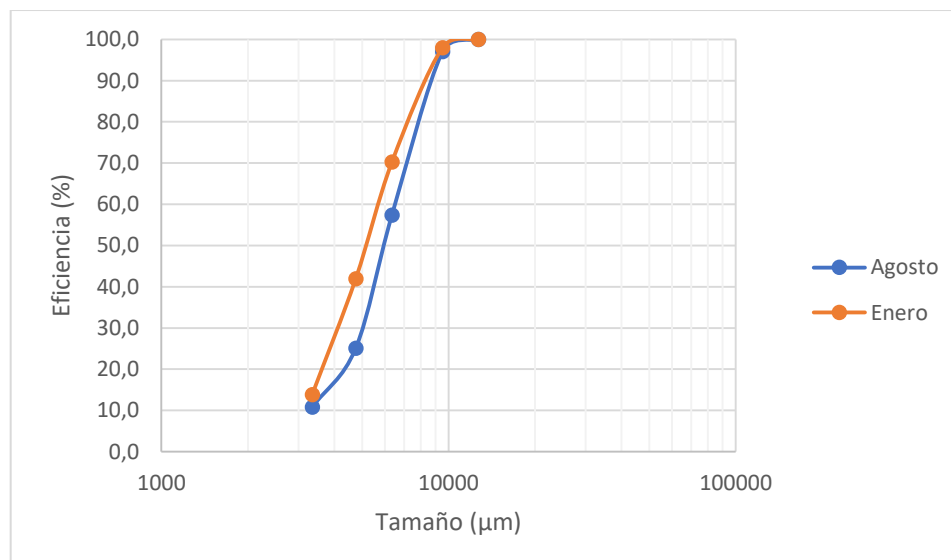


Figura 5.9 Eficiencia de clasificación por fracción granulométrica harneros terciarios.

Nota. Creación propia.

En la figura anterior se observa que la eficiencia para los tamaños de 6,3 [mm] es bastante alta en el primer muestreo cercana al 70% y también en el caso de los tamaños inferiores, siendo superior al segundo muestreo. Esta diferencia se explica posiblemente debido al aumento del tonelaje alimentado a los harneros terciarios, producto del incremento en el setting de trabajo de los chancadores terciarios, lo que generó mayor disponibilidad en la cámara del equipo y una disminución en la reducción de tamaño de los mismos. Esto se refleja principalmente en la disminución de la eficiencia de chancado y, acompañado con el incremento del tonelaje, podría generar un incremento en el espesor del lecho, terminando con un aumento del arrastre de los finos hacia los sobre tamaños, lo que explicaría la drástica caída en la eficiencia de clasificación en todo el rango de tamaños, pero significativamente más entre los 6,35 y 4,75 [mm] donde la disminución de la eficiencia es de aproximadamente un 20 %. Esto estaría indicando que existe un arrastre significativo de mineral fino en el sobre tamaño, lo que podría estar justificado por lo mencionado anteriormente. Esto se puede corroborar con la Figura 5.10 donde podemos ver como la curva de los flujos F4 y F5 en ambos muestreos se extienden hasta los tamaños 3,4 [mm] y a pesar de existe una disminución porcentual en los análisis granulométricos debido al aumento del flujo másico en general la cantidad de mineral arrastrado aumentó de un muestreo a otro.

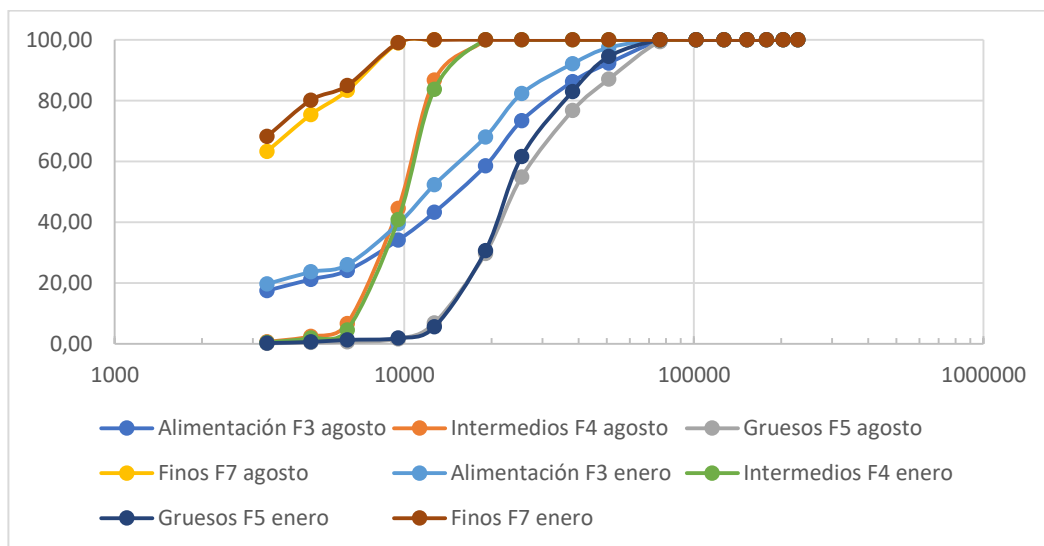


Figura 5.10 Curvas análisis granulométricos alimentación y descarga harneros Banana muestreos.

Nota. Creación propia.

5.4 Evaluación cambio de revestimiento de extra fino a fino.

Para evaluar el impacto del cambio realizado en el chancador terciario H870i (1) se buscó identificar distintos enfoques que permitieran definir si había una mejora o no a partir de la modificación. Para esto se evaluó si hubo un aumento en el cumplimiento del área de chancado respecto a alcanzar la meta de 87% pasante como producto de alimentación a molienda, como se mencionó en el punto anterior, el tiempo de acondicionamiento o ajuste entre campañas, la dimensión A y distintas relaciones con las que se intentó generar una comparación entre las campañas con el revestimiento EF y las campañas con el revestimiento F, para de esta forma determinar que revestimiento tiene un mejor desempeño. Cabe destacar que esta comparativa se llevó a cabo solamente con la información disponible dado que aún mientras se redactaba este trabajo se encontraban pendientes algunos resultados de pruebas solicitadas, por problemas presentados por las empresas responsables de estas. Para esto en la Tabla 5-6 se encuentra un resumen de los datos utilizados para realizar la comparación entre las campañas con coraza EF y F.

Tabla 5-6 Resumen valores comparativos campañas con cóncavo EF y F.

Campaña			Días Camp	200CV02 Ton/campaña	200CV02 Tph/ Campaña	Tiempo ajuste	%Utilización	Dim A (mm)	Posición	Tiempo con carga (hrs)
Inicio	Fin	Nº								
13-ene	17-feb	Nº1 EF	36	337760	583	152:40:00	67	110	103	600
17-feb	31-mar	Nº2 EF	43	416687	621	80:00:00	65	112	99	661
31-mar	17-may	Nº3 EF	48	509340	641	61:40:00	69	108	105	798
Promedio			42	421262	615	-	67	110	-	686
17-ma	23-jun	Nº4 F	38	404219	642	153:00:00	69	100	113	600
23-jun	20-jul	Nº5 F	28	277394	598	62:30:00	69	133	80	465
20-jul	03-sep	Nº6 F	41	380782	595	18:50:00	65	88	125	616
Promedio			36	354132	612	-	68	107	-	560

En ésta se puede ver que los días de campaña varían, esto se explica por el funcionamiento de PSJ donde el cambio de revestimiento se realiza en función de la dimensión A, es

mediante este indicador que se proyecta la fecha de cambio y según esto se planifica teniendo en consideración los minerales que se van a procesar, como se mencionó en el inicio de este trabajo, PSJ recibe minerales de diferentes minas y a su vez, compra minerales de minas externas, por lo que su proceso se ajusta en función de esto, por ese motivo los días de campaña no resultan en un buen indicador para definir el impacto positivo o negativo de la modificación de cóncavo, pero de igual forma se puede ver que el promedio de las campañas con cóncavo F es inferior a las campañas con coraza EF siendo 36 y 42 [días] respectivamente, esto se repite tanto para el promedio de tiempo con carga, tonelaje por la correa 200-CV-02, como también en el tonelaje por hora pasado por la correa 200-CV-02 y tiempo con carga. Esto, sin embargo, cambia respecto de la utilización. Ésta en promedio fue similar para ambos tipos de cóncavo solo un 1% mayor para las campañas con cóncavo F. En la Figura 5.11 se presenta el tiempo de ajuste desde la 1° campaña hasta la 3° para cada tipo de cóncavo utilizado, aquí nos encontramos que en ambos casos los tiempos de ajuste tienden a disminuir a medida que transcurren las campañas, esto posiblemente por la familiarización de los operados con el nuevo comportamiento del equipo, pero se destaca que en el caso del revestimiento F en la tercera campaña con este revestimiento el tiempo de ajuste es significativamente menor que a su equivalente con revestimiento EF, lo que permitiría que el equipo pueda comenzar a operar con normalidad o en régimen mucho antes. Este comportamiento sigue la misma tendencia en las tres campañas que se realizaron con cóncavo F, a pesar de esto, el tiempo con carga promedio es inferior en las campañas con cóncavo F que en las campañas con cóncavo EF, posiblemente dado que las campañas con revestimiento F tuvieron en promedio menos días de duración.

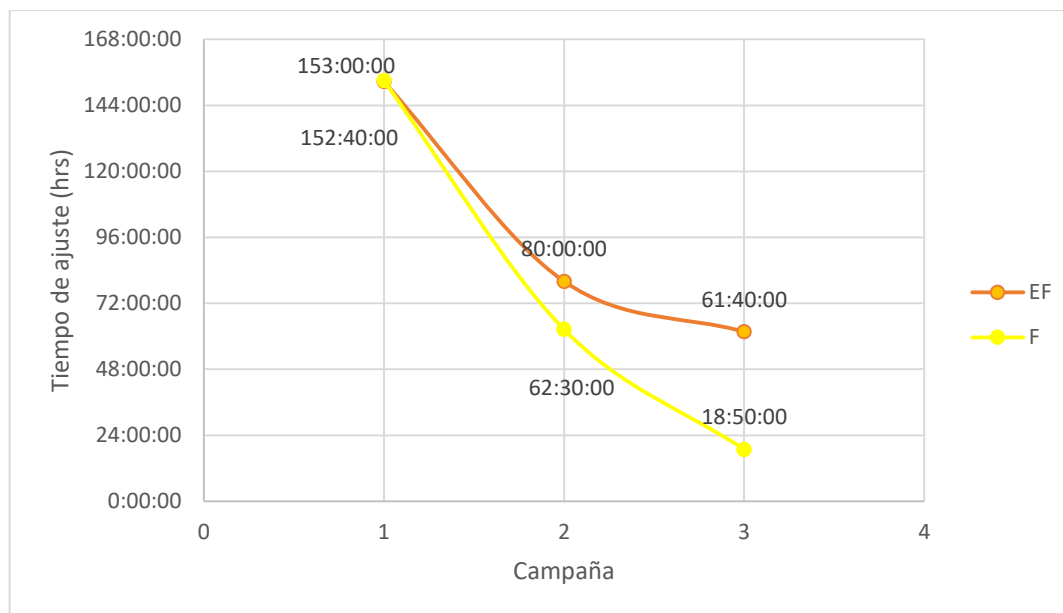


Figura 5.11 Tiempo de ajuste entre campañas.

Nota. Creación propia.

Además, se consideró el posible impacto de la modificación de cóncavo en cumplimiento granulométrico del área como se mencionó en el punto 5.3, para esto se puede observar la Figura 5.12 donde se puede ver que el número de días en que la muestra alcanzó o igualó el 87% de porcentaje pasante no aumentó significativamente, de hecho, como se mencionó anteriormente el número de días o muestras que alcanzaron la meta se mantuvo en el mismo rango durante todo el periodo, entre 1 y 3 muestras por mes. De igual manera el porcentaje pasante o granulometría promedio por mes, no alcanzó la meta de 87% y teniendo en consideración que BSM tiene un cumplimiento de 100% como se indica en la Figura 5.13, el incumplimiento se asocia directamente a la planta de chancado de PSJ, dado que la mezcla de ambos productos debería dar como resultado este porcentaje fijado como meta. Este incumplimiento se asocia principalmente a la abertura de los módulos dado que, si se desea asegurar que el producto cumpla, se podría disminuir el tamaño o abertura de los módulos utilizados para de esta manera afinar el producto de los harneros terciarios y así asegurar el cumplimiento del área de chancado, ya que con el mismo desgaste producido por el funcionamiento de los equipos se ve comprometida esta meta.

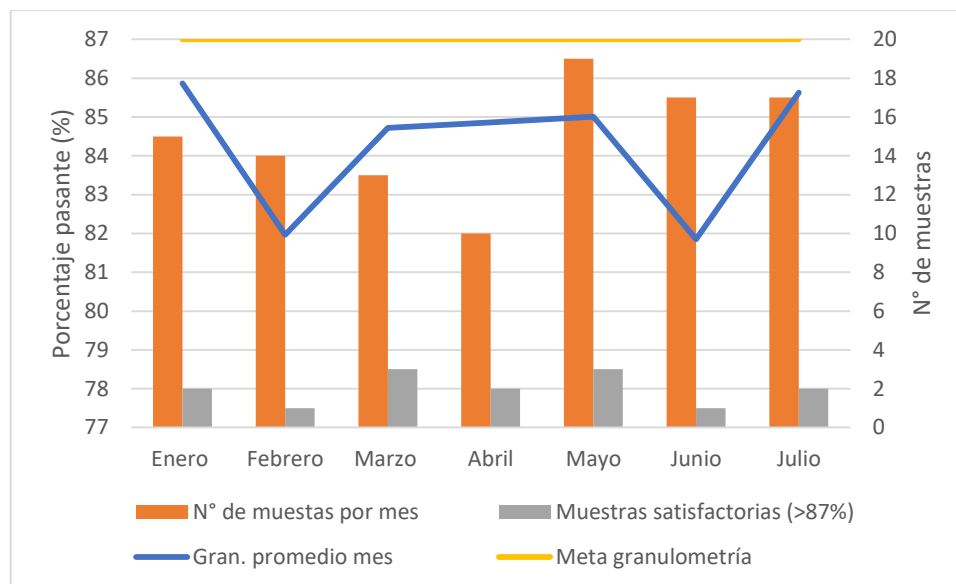


Figura 5.12. Porcentaje pasante promedio y cumplimiento por mes PSJ.

Nota. Creación propia.

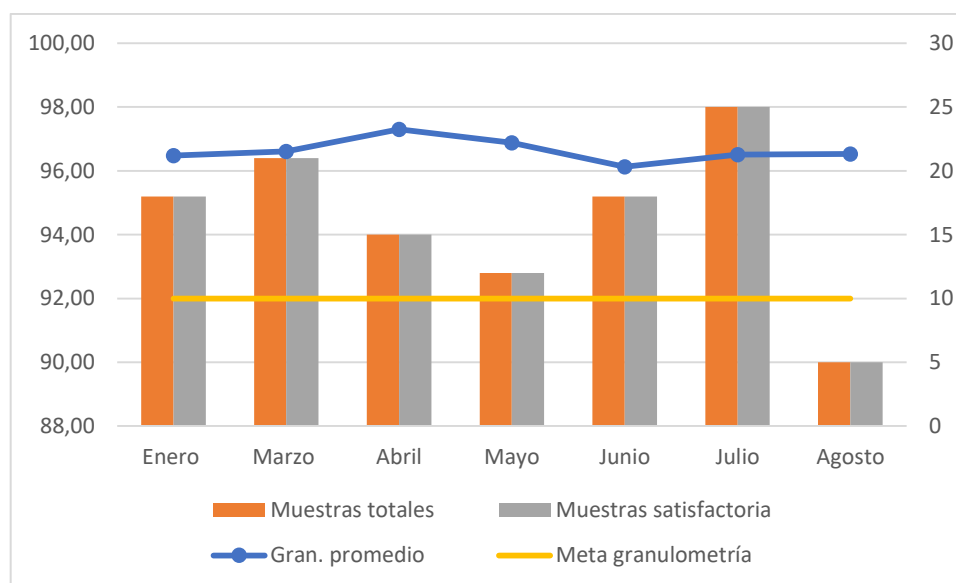


Figura 5.13. Porcentaje pasante promedio y cumplimiento por mes BSC.

Nota. Creación propia.

Otro criterio empleado fue la “dimensión A”, ésta expresa la evolución del desplazamiento del poste a lo largo del tiempo y se relaciona con el uso o desgaste que sufrieron los revestimientos durante la campaña, en este caso se puede ver una tendencia donde a mayor tiempo con carga menor “dimensión A”, lo que implicaría un mejor aprovechamiento de los revestimientos, pero si comparamos las campañas n°1 y n°4 en la Figura 5.14 podemos

observar que para el mismo tiempo con carga la “dimensión A” disminuyó 10 [mm], pero si esto lo relacionamos a su vez con el tonelaje tratado por la correa 200CV02 la que corresponde a la alimentación del área de chancado Tabla 5-6, podemos ver que en la campaña n°4 se trataron 70.000 toneladas más aproximadamente, por lo que es un desempeño muy positivo lo que indicaría que hubo un aumento del mineral tratado lo que justificaría el mayor desgaste de los revestimientos y esa variación de 10 [mm], pero también hablaría de un mejor aprovechamiento de los mismos, ya que siempre se busca utilizar al máximo los revestimientos sin superar el límite fijado por fabricante. La baja presentada en la campaña n°5 estaría justificada por la menor duración de este periodo, lo que provocó un menor tiempo de duración y esto a su vez condicionó la disminución en el tonelaje tratado durante la campaña, así como el aumento de la “dimensión A” en el mismo periodo, dado que al tratar menos mineral el desgaste de los revestimientos fue menor.

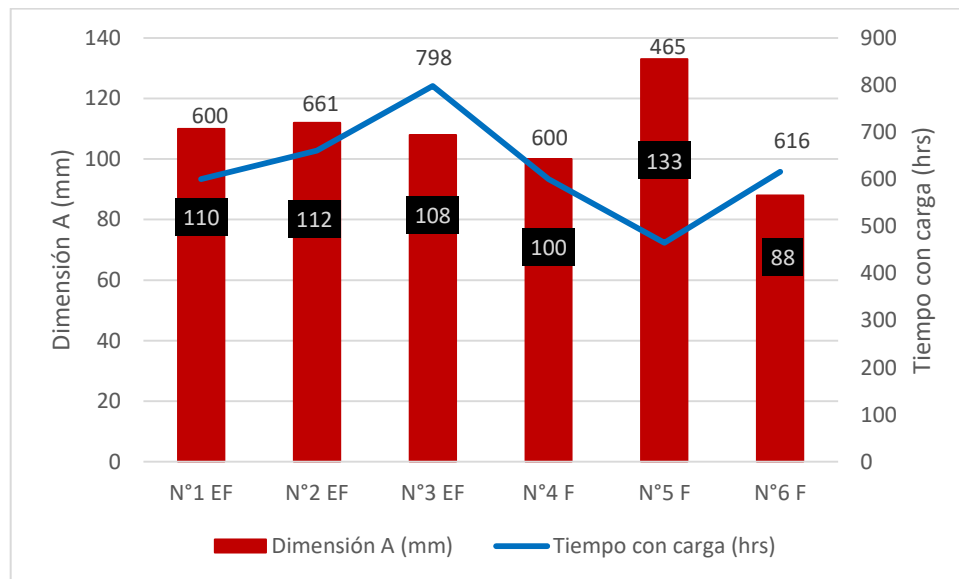


Figura 5.14 Dimensión A y tiempo con carga por campaña.

Nota. Creación propia.

Caso muy distinto al observado en la campaña n°6 donde se aprecia una disminución considerable en la “dimensión A” de 12 [mm] respecto de la campaña n°4 la que es más similar ya que corresponde al mismo tipo de coraza y donde el tiempo con carga es bastante similar al de la campaña n°1 y n°4 de igual forma pasa con el tonelaje tratado donde se trataron solamente 20.000 toneladas más en la campaña n°6 que en la n°4, esto

reforzaría la teoría del aumento de dureza presentada en esta campaña que, según se planteó, podría haber ocurrido por cambios en la mineralogía o dureza del mineral tratado, esto no se pudo corroborar ya que al momento de redactar este trabajo los resultados de las pruebas aún no eran entregadas.

Capítulo 6: Conclusiones

A pesar de los cambios realizados no se consiguió que el producto de alimentación a molienda alcanzara el 87% pasante. Se pudo demostrar que, en las condiciones operacionales de enero, sí se consiguió que el producto de alimentación a molienda alcanzara el 85% bajo $\frac{1}{4}$ " por PSJ, a pesar de que en el muestreo de agosto no se lograra, se asocia a que fue debido a las condiciones operacionales del área y la mayor granulometría de la alimentación que se presentó en ese momento.

La estandarización propuesta no fue alcanzada, pero sí se consiguió avanzar en cuanto a la abertura ponderada donde se redujo la diferencia desde 0,21 y 0,18 a 0,03 y 0,1[mm] para los harneros Banana 1 y 2 respectivamente. Esto finalmente no tuvo un impacto significativo en el proceso, ya que no mejoró el cumplimiento del área, manteniendo el rango entre 1 y 3 muestras por mes iguales o superiores a 87% bajo $\frac{1}{4}$ " y la granulometría promedio se mantuvo entre 80 % y 86% bajo $\frac{1}{4}$ " por mes.

Queda en evidencia en el muestreo de enero que, bajo las condiciones de operación recomendadas sí se consiguió alcanzar la granulometría de alimentación solicitada de 85% bajo $\frac{1}{4}$ " para la planta de chancado secundario/ terciario de PSJ, por lo que el incumplimiento podría estar asociado al aumento de la abertura producto de las modificaciones realizadas.

Dado que al momento de finalizar este proyecto aún no se recibieron los resultados de las pruebas para determinar el perfil de desgaste de los revestimientos, no se pudo determinar si se consiguió igualar las curvas de desgaste de ambos chancadores terciarios, por lo que sería positivo continuar con esos estudios en trabajos posteriores.

En relación con los resultados respecto del impacto del cambio de coraza en el funcionamiento del equipo H870i (1), podemos mencionar lo siguiente:

- Hubo una disminución promedio de la duración en días de las campañas al pasar de la coraza EF a F, además de una disminución promedio del tiempo con carga y el rendimiento en [ton/hora], sin embargo, no se puede asegurar que haya sido producto del cambio de revestimiento

- Se observó una disminución significativa del tiempo de ajuste entre campañas, obteniendo mejor desempeño en todas las campañas que se utilizó la coraza F, logrando el menor tiempo de ajuste en la tercera campaña con coraza F donde el tiempo fue de 18 horas 50 minutos.
- Al comparar la campaña n°4 con la campaña n°1 se presenta un mayor consumo de revestimiento esto producto de que la “dimensión A” alcanzada fue menor en el caso de la campaña con revestimiento F. Esto tampoco fue concluyente producto de que en las campañas sucesivas no se contó con resultados que siguieran esta tendencia, debido a que la campaña n°5 fue más corta y que en la campaña n°6 se presentaron dificultades para la operación del área presumiblemente por un incremento puntual del mineral tratado. Esto no se puede asegurar porque no se contaba con los resultados de las pruebas al momento de finalizar este trabajo.

Debido a que los cambios realizados no lograron generar un producto de alimentación a molienda con las características requeridas, no se evaluó el impacto de las modificaciones en el rendimiento de molienda, ya que si hubiera algún cambio o mejora este no se debería a la granulometría de alimentación a molienda.

Capítulo 7: Recomendaciones.

Para lograr una estandarización más eficiente se recomienda ajustar los criterios de cambio de módulos, así como realizar una difusión de los criterios actualizados, para asegurar la correcta aplicación de éstos.

Además, se recomienda evaluar la disminución de la abertura de corte ponderada de los deck inferiores de los harneros terciarios para que de esta forma se pueda asegurar la granulometría de alimentación a molienda de 87% bajo $\frac{1}{4}$ ". Esto debería ir acompañado de un estudio que busque evaluar si la modificación se puede llevar a cabo con los equipos actuales, o si se debería agregar otro harnero y/o chancador terciario, dado que disminuir la abertura de corte de los harneros terciarios debería generar un incremento de la carga circulante.

También se debe tener en consideración si las correas 200CV04 y 200CV06 estarían en condiciones de cumplir con el aumento de la carga, ya que estas serían el cuello de botella que podría tener la posible implementación de las modificaciones antes mencionadas.

Capítulo 8: Bibliografía

1. Azócar, M. (2018) *Estudio técnico de mejoramiento de granulometría de alimentación al molino SAG a través de alternativas de cambios en la etapa de prechancado de división Andina CODELCO* [Informe de Memoria de Título para optar al Título de Ingeniero Civil Metalúrgico] http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/385/1/Tesis_Estudio_tecnico_de_mejoramiento_de_granulometria.pdf
2. Crushersparts (s.f.). Repuestos Premium para Chancadores Giratorios. <http://www.crushersparts.cl/es/chancador-giratorio.php>
3. Directindustry (s.f.). Machacadora de mandíbula Nordberg C150. <https://www.directindustry.es/prod/metso-corporation/product-9344-1478889.html>
4. Industria metalmecánica Rivet (2015). La importancia del harneo, *Catálogo Harnero Mallas, Cribas y Telas Metálicas*. <https://rivet.cl/wp-content/uploads/2015/07/Rivet-Catalogo-Mallas.pdf>
5. Metso (2013). Trituradoras de cono Nordberg serie HP Guía de aplicación de piezas de desgaste. <https://docplayer.es/88949760-Trituradoras-de-cono-nordberg-serie-hp-guia-de-aplicacion-de-piezas-de-desgaste.html>
6. Sociedad Punta del cobre [PUCOBRE] (2021). Memoria Anual 2021. <https://www.pucobre.cl/common/asp/pagAtachadorVisualizador.asp?argCryptedData=GP1TkTXdhRJAS2Wp3v88hAYo%2BFHHq9CSLHuP0xzj%2FoA%3D&argModo=&argOrigen=BD&argFlagYaGrabados=&argArchivoId=46367>
7. Sandvick Rock Processing (2003). Instrucciones de mantenimiento con Lista de piezas de recambio.

8. Rojas, S. (2015) *OPTIMIZACIÓN PLANTA DE CHANCADO SECUNDARIO/TERCIARIO EN DIVISIÓN EL TENIENTE* [Proyecto para optar al Título de ingeniero civil en metalurgia extractiva. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso]. http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-5500/UCD5754_01.pdf
9. Multiplicadores de Lagrange, Santander. M/ Modelación y simulación de procesos (p.24-p.31) Universidad de Atacama.
10. Introducción al Muestreo (2020) Santander. M/ Modelación y simulación de procesos. Universidad de Atacama.
11. Wills, B. y Napier-Munn, T. (2006) *Mineral Processing Technology*. Elsevier Science & Technology Books.

Capítulo 9: Anexos

9.1 Cálculo de la masa mínima requerida según Pierre Gy.

Para este caso se utilizó como ejemplo los valores para la correa 200CV02. Este procedimiento se repitió para todas las correas.

$$x = \frac{\text{Ley de mineral}}{\text{Ley de cobre en la especie mineralógica}} * 100$$

$$x = \frac{0,8}{34,65} * 100 = 2,31 \%$$

$$Q = x * (100 - x) * \left[\frac{x}{100} * \rho_A + \frac{(100 - x)}{100} * \rho_B \right]$$

$$Q = 2,31 * (100 - 2,31) * \left[\frac{2,31}{100} * 4,19 \frac{g}{cm^3} + \frac{(100 - 2,31)}{100} * 2,7 \frac{g}{cm^3} \right]$$

$$Q = 616,79 \left[\frac{g}{cm^3} \right]$$

$$Ea = \pm t_{(k * n - 1; (1 - \frac{\alpha}{2}))} * \frac{Sa}{\sqrt{k}}$$

$$0,3 = 1,65 * \frac{Sa}{\sqrt{1}}$$

$$Sa = 0,18$$

$$l = \sqrt{\frac{d_0}{d}}$$

$$l = \sqrt{\frac{0,0216}{139,00}} = 0,04$$

***Obs.** La diferencia que se presenta entre este ejemplo y el valor presentado en la tabla a continuación se debe solamente al uso de decimales.

Utilizamos $f = 0,5$ y $h = 0,25$

$$W = \frac{1}{Sa^2} * d^3 * l * f * h$$

$$W = \frac{1}{0,18^2} * 13,9^3 \left[\frac{cm^3}{g} \right] * 616,79 \left[\frac{g}{cm^3} \right] * 0,04 * 0,5 * 0,25$$

$$= 255.626,99[g] * \frac{1 [Kg]}{1000[g]} = 255,62 [Kg]$$

9.2 Resultados muestra mínima requerida según Pierre Gy

Correa	200CV0 2	200CV0 4	200CV0 5	200CV0 5A	200CV0 6	200CV 07	200CV 08	200CV 11
Tamaño máx. partícula [mm]	139,00	43,80	66,00	16,50	50,50	8,60	8,50	8,10
Peso Atómico Cu	63,54	63,54	63,54	63,54	63,54	63,54	63,54	63,54
PM Calcopirita	183,39	183,39	183,39	183,39	183,39	183,39	183,39	183,39
% de Cu en la especie Mineralógica	34,65	34,65	34,65	34,65	34,65	34,65	34,65	34,65
X = ley CuFeS ₂	2,31	2,31	2,31	2,31	2,31	2,31	2,31	2,31
Q(g/cm ³)	616,79	616,79	616,79	616,79	616,79	616,79	616,79	616,79
l (adimensional)	0,04	0,07	0,06	0,11	0,07	0,16	0,16	0,16
f (adimensional)	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
h (adimensional)	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
k (N° de Muestras)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
n (N° de partículas que componen la muestra)	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
Ea [%]	0,30	0,10	0,20	0,05	0,15	0,05	0,05	0,05
Nivel de confianza	0,90	0,99	0,94	0,99	0,97	0,99	0,99	0,99
α	0,10	0,01	0,06	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01
t (k*n-1, $\alpha/2$)	1,65	2,58	1,96	2,58	2,33	2,58	2,58	2,58
Sa	0,18	0,04	0,10	0,02	0,06	0,02	0,02	0,02
W [g]	245413,77	301890,62	121782,43	105180,25	156148,56	20628,63	20034,18	17759,75
W [Kg]	245,41	301,89	121,78	105,18	156,15	20,63	20,03	17,76

***Obs.** Los valores destacados en amarillo, corresponden a la información con la que se debe contar para poder determinar las incógnitas o constantes de la ecuación de Pierre Gy.

9.3 Análisis granulométricos.

9.3.1 Muestreo enero 2022 porcentaje pasante sin ajustar.

	Flujo	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11
Correa 200CV/Chancador		02	11	04	05 A	05	06	07	08	H6800	H870i (1)	H870i (2)
Abertura	Abertura [μm]	F3(x)%	F3(x)%	F3(x)%	F3(x)%	F3(x)%	F3(x)%	F3(x)%	F3(x)%	F3(x)%	F3(x)%	F3(x)%
9"	228600	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
8"	203200	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
7"	177800	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
6"	152400	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
5"	127000	90,54	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
4"	101600	77,70	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
3"	76200	66,88	100,00	100,00	100,00	99,26	100,00	100,00	100,00	98,65	100,00	100,00
2"	50800	53,00	100,00	98,22	100,00	88,68	95,18	100,00	100,00	86,39	100,00	100,00
1.5"	38100	42,83	100,00	92,41	100,00	77,37	87,44	100,00	100,00	67,62	100,00	100,00
1"	25400	32,62	100,00	80,87	100,00	57,59	73,94	100,00	100,00	46,53	91,15	95,33
3/4"	19050	26,43	100,00	67,77	100,00	33,84	55,19	100,00	100,00	35,31	76,78	84,12
1/2"	12700	20,49	100,00	49,19	87,41	6,88	29,82	100,00	100,00	22,55	54,41	67,74
3/8"	9525	17,27	98,81	37,66	47,30	2,28	14,39	99,09	99,01	15,91	42,07	50,89
1/4"	6350	13,82	90,17	25,30	8,32	1,72	2,48	85,58	86,12	10,95	29,68	32,42
4	4750	11,17	84,45	23,99	3,37	0,89	0,94	77,05	77,93	8,91	23,75	28,41
6	3350	8,94	78,05	19,07	1,01	0,42	0,26	67,91	69,11	6,44	17,82	21,71
-6	-3350	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0,00
Peso Total [Kg]		70,72	19,33	214,43	67,53	122,60	162,88	44,03	35,37	68,77	73,55	74,81

***Obs.** En rojo se destaca los flujos máxicos en que la muestra colectada es inferior a la muestra mínima requerida según Pierre Gy

9.3.2 Muestreo agosto 2022 porcentaje pasante sin ajustar.

Flujo		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11
Correa 200CV/Chancador		02	11	04	05 A	05	06	07	08	H6800	H870i (1)	H870i (2)
Abertura	Abertura [μm]	F3(x)%	F3(x)%	F3(x)%	F3(x)%	F3(x)%	F3(x)%	F3(x)%	F3(x)%	F3(x)%	F3(x)%	F3(x)%
9"	228600	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
8"	203200	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
7"	177800	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
6"	152400	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
5"	127000	86,05	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
4"	101600	78,66	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
3"	76200	58,54	100,00	99,75	100,00	97,39	97,29	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
2"	50800	43,26	100,00	91,97	100,00	86,08	89,32	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1.5"	38100	34,71	100,00	85,03	100,00	73,54	81,12	100,00	100,00	100,00	98,61	99,58
1"	25400	26,17	100,00	71,21	100,00	48,69	63,90	100,00	100,00	95,33	85,80	90,23
3/4"	19050	20,64	100,00	59,62	100,00	27,13	47,06	100,00	100,00	84,12	70,35	77,21
1/2"	12700	15,19	100,00	43,71	85,73	6,16	25,58	100,00	100,00	67,74	51,03	60,38
3/8"	9525	12,57	100,00	33,42	46,28	1,63	12,09	98,90	99,17	50,89	39,46	45,08
1/4"	6350	10,04	96,07	22,85	6,68	0,68	2,17	84,54	85,27	32,42	28,46	30,93
4	4750	7,58	93,35	21,06	2,54	0,43	0,82	75,56	76,53	28,41	22,70	26,00
6	3350	5,85	90,18	16,64	0,68	0,18	0,23	66,01	67,20	21,71	17,15	19,84
-6	-3350	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Peso Total [Kg]		88,92	11,70	277,49	40,00	174,39	198,26	50,82	37,47	60,08	90,90	84,30

***Obs.** En rojo se destaca los flujos másicos en que la muestra colectada es inferior a la muestra mínima requerida según Pierre Gy.

9.4 Análisis granulométrico ajustado.

9.4.1 Muestreo enero 2022 porcentaje pasante ajustado.

Flujo		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11
Correa 200CV/Chancador		02	11	04	05 A	05	06	07	08	H6800	H870i (1)	H870i (2)
Abertura	Abertura [μm]	F3(x)%	F3(x)%	F3(x)%	F3(x)%	F3(x)%	F3(x)%	F3(x)%	F3(x)%	F3(x)%	F3(x)%	F3(x)%
9"	228600	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
8"	203200	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
7"	177800	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
6"	152400	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
5"	127000	90,54	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
4"	101600	77,70	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
3"	76200	66,88	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
2"	50800	53,00	100,00	97,47	100,00	94,50	96,46	100,00	100,00	91,13	100,00	100,00
1.5"	38100	42,83	100,00	92,17	100,00	83,01	89,04	100,00	100,00	72,57	100,00	100,00
1"	25400	32,62	100,00	82,30	100,00	61,59	75,24	100,00	100,00	52,43	92,59	95,85
3/4"	19050	26,43	100,00	68,05	100,00	30,65	55,29	100,00	100,00	38,45	75,88	83,78
1/2"	12700	20,49	100,00	52,35	83,70	5,56	33,32	100,00	100,00	24,42	56,55	70,33
3/8"	9525	17,27	98,81	39,51	40,88	1,85	15,72	99,08	99,03	17,04	43,46	53,40
1/4"	6350	13,82	90,18	26,02	4,56	1,31	2,46	85,00	85,97	11,60	29,82	33,70
4	4750	11,17	84,17	23,64	1,88	0,62	1,07	80,16	80,92	9,82	27,05	31,24
6	3350	8,94	77,98	19,67	0,43	0,23	0,30	68,18	70,02	7,46	22,51	26,56
-6	-3350	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Peso Total [Kg]		70,72	19,33	214,43	67,53	122,60	162,88	44,03	35,37	68,77	73,55	74,81

***Obs.** La columna destacada no pudo ser ajustada en el balance por mallas.

***Obs.** En rojo se destaca los flujos máxicos en que la muestra colectada es inferior a la muestra mínima requerida según Pierre Gy.

9.4.2 Muestreo agosto 2022 porcentaje pasante ajustado.

Flujo		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11
Correa 200CV/Chancador		02	11	04	05 A	05	06	07	08	H6800	H870i (1)	H870i (2)
Abertura	Abertura [μm]	F3(x)%	F3(x)%	F3(x)%	F3(x)%	F3(x)%	F3(x)%	F3(x)%	F3(x)%	F3(x)%	F3(x)%	F3(x)%
9"	228600	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
8"	203200	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
7"	177800	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
6"	152400	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
5"	127000	86,05	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
4"	101600	78,66	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
3"	76200	58,54	100,00	99,66	100,00	99,42	99,53	100,00	100,00	98,74	100,00	100,00
2"	50800	43,26	100,00	92,38	100,00	87,08	89,51	100,00	100,00	72,15	100,00	100,00
1.5"	38100	34,71	100,00	86,28	100,00	76,73	81,12	100,00	100,00	52,34	98,59	99,58
1"	25400	26,17	100,00	73,41	100,00	54,89	63,40	100,00	100,00	36,19	85,18	89,87
3/4"	19050	20,64	100,00	58,57	100,00	29,71	42,96	100,00	100,00	26,35	66,87	74,85
1/2"	12700	15,19	100,00	43,27	86,72	6,84	21,90	100,00	100,00	18,17	47,84	58,01
3/8"	9525	12,57	100,00	34,14	44,54	1,63	9,72	99,00	99,09	14,24	38,10	45,48
1/4"	6350	10,04	96,08	24,10	6,68	0,66	1,80	83,34	84,54	10,36	27,28	31,46
4	4750	7,58	93,35	21,21	2,45	0,41	0,80	75,42	77,10	8,01	24,21	28,33
6	3350	5,85	90,20	17,49	0,61	0,16	0,24	63,28	65,80	6,08	20,03	23,69
-6	-3350	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Peso Total [Kg]		88,92	11,70	277,49	40,00	174,39	198,26	50,82	37,47	60,08	90,90	84,30

***Obs.** La columna destacada no pudo ser ajustada en el balance por mallas.

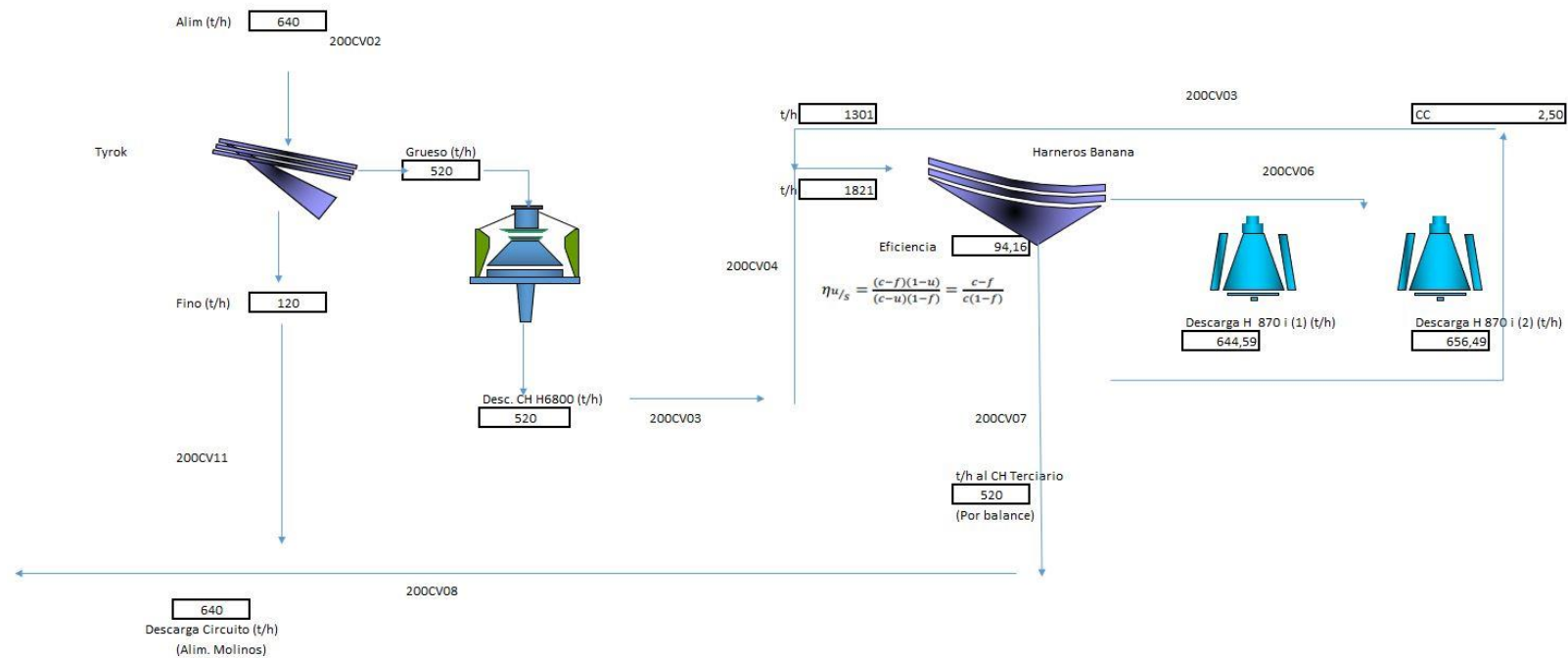
***Obs.** En rojo se destaca los flujos másicos en que la muestra colectada es inferior a la muestra mínima requerida según Pierre Gy.

9.5.1 Ajuste de balance enero 2022

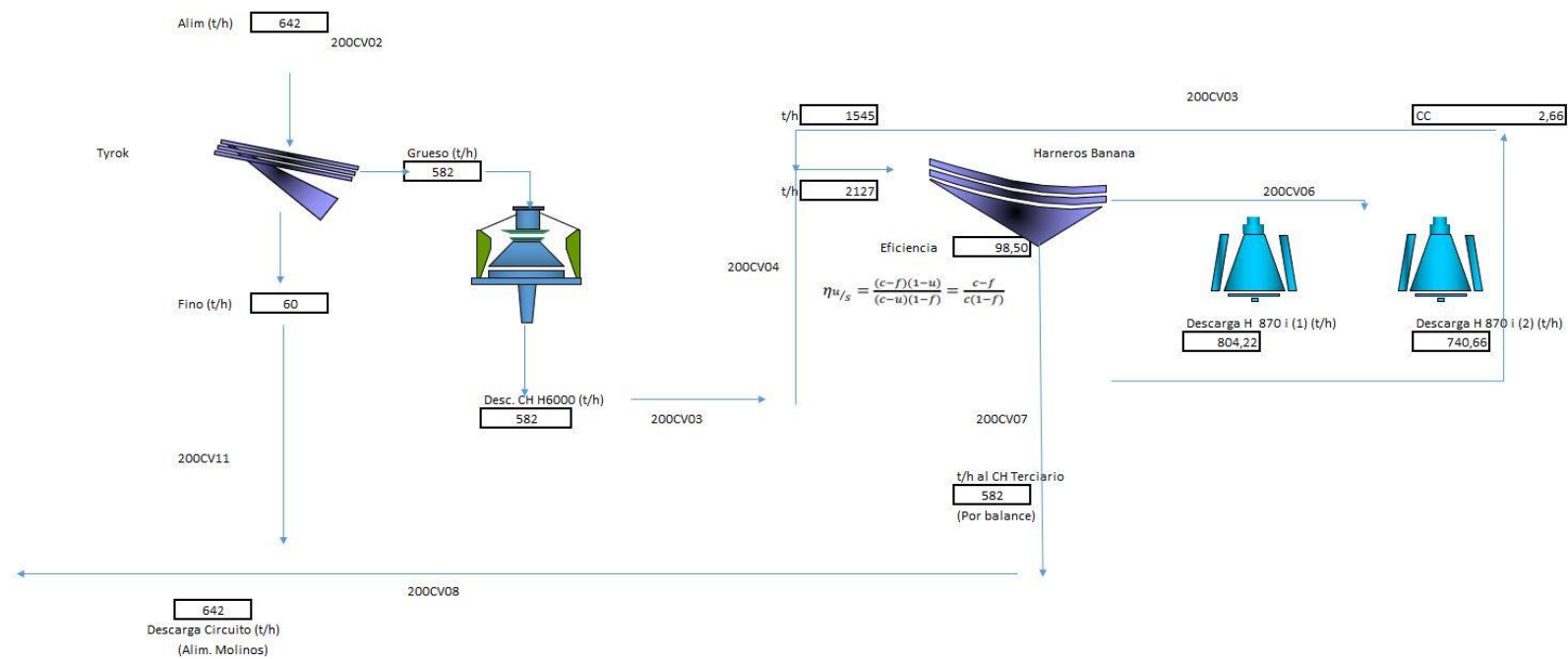
75

NºM NF	17		10		Ajuste Balance de masas flujos masicos totales																				Ajuste de balances de flujos masicos fracción granulométrica [%]																			
	F1(s/a)	FP	F1(c/a)	F2(s/a)	FP	F2(c/a)	F3(s/a)	FP	F3(c/a)	F4(s/a)	FP	F4(c/a)	F5(s/a)	FP	F5(c/a)	F6(s/a)	FP	F6(c/a)	F7(s/a)	FP	F7(c/a)	F8(s/a)	FP	F8(c/a)	F9(s/a)	FP	F9(c/a)	F10(s/a)	FP	F10(c/a)	F11(s/a)	FP	F11(c/a)											
Flujo Sólidos, t/h	659	10000	642	60	10000	60	2221	1	2127	300	1	291	1444	1	1254	1638	1	1645	278	1	582	627	10000	642	481	1	592	727	1	804	675	1	741											
Abertura [mm]	F1(s/a)	FP	F1(c/a)	F2(s/a)	FP	F2(c/a)	F3(s/a)	FP	F3(c/a)	F4(s/a)	FP	F4(c/a)	F5(s/a)	FP	F5(c/a)	F6(s/a)	FP	F6(c/a)	F7(s/a)	FP	F7(c/a)	F8(s/a)	FP	F8(c/a)	F9(s/a)	FP	F9(c/a)	F10(s/a)	FP	F10(c/a)	F11(s/a)	FP	F11(c/a)											
228.600	0,00			0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00										
203.200	0,00			0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00										
177.800	0,00			0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00										
152.400	0,00			0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00										
127.000	13,95			0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00										
101.600	7,39			0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00										
76.200	20,12			0,00		0,00	0,25		0,34	0,00		0,00	2,61		0,58	2,71		0,47	0,00		0,00	0,00		0,00	5,89		1,26	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00										
50.800	15,28			0,00		0,00	7,78		7,27	0,00		0,00	11,31		12,34	7,97		10,01	0,00		0,00	0,00		0,00	32,54		26,59	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00										
38.100	8,55			0,00		0,00	6,94		6,10	0,00		0,00	12,54		10,35	8,20		8,39	0,00		0,00	0,00		0,00	16,05		19,81	1,39		1,41	0,42		0,42	0,42										
25.400	8,54			0,00		0,00	13,82		12,87	0,00		0,00	24,85		21,84	17,22		17,72	0,00		0,00	0,00		0,00	13,18		16,15	12,82		13,41	9,35		9,71	9,71										
19.050	5,53			0,00		0,00	11,59		14,85	0,00		0,00	21,56		18,84	20,44		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	8,26		9,84	15,45		18,31	13,02		15,02	15,02										
12.700	5,45			0,00		0,00	15,91		15,30	14,28		13,28	20,97		22,87	21,48		21,06	0,00		0,00	0,00		0,00	7,42		8,19	19,32		19,03	16,83		16,84	16,84										
9.525	2,62			0,00	</																																							

9.5.3 Diagrama circuito de chancado 2º/3º ajustado enero 2022.



9.5.4 Diagrama circuito de chancado 2°/3° ajustado agosto 2022.



9.5.5 Eficiencia de chancado en chancadores terciarios.

Índices operacionales	Enero		Agosto	
	Eficiencia de chancado (%)		Eficiencia de chancado (%)	
	Tamaño (µm)	H 870 i (1)	H 870 i (2)	H 870 i (1)
				H 870 i (2)
	50800	100	100	100
	38100	100	100	93
	25400	70	83	60
	19050	46	64	42
	12700	35	56	34
	9525	33	45	32
	6350	28	32	26
	4750	26	30	24
	3350	22	26	18
	-3350	0	0	0

9.5.6 Eficiencia de clasificación por fracción granulométrica.

Índices operacionales	Enero	Agosto
	Eficiencia de clasificación (%)	
	Tamaño (µm)	Harneros Banana
	50800	100,0
	38100	100,0
	25400	100,0
	19050	100,0
	12700	100,0
	9525	97,9
	6350	70,2
	4750	41,9
	3350	13,8
	-3350	1,1

9.5.7 Resumen comportamiento de la granulometría de alimentación a molienda.

Mes	Gran. promedio	Muestras totales	Muestras satisfactorias
Enero	85,87	15	2
Febrero	81,97	14	1
Marzo	84,72	13	3
Abril	84,86	10	2
Mayo	85,01	19	3
Junio	81,85	17	1
Julio	85,63	17	2
Agosto	80,32	7	1