

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería

Metalúrgica

Profesor Patrocinante

Dr. Fernando Betancourt Cerda

Ingeniero Supervisor

Luis Salinas Hermosilla

**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.**

MARÍA PÍA AZÓCAR CORVALÁN

Informe de Memoria de Título
para optar al Título de

Ingeniero Civil Metalúrgico

Agosto 2018

Agradecimientos

Agradecer en primer lugar a mi familia que siempre ha estado ahí para todo, en especial a mi mamá, Paulina Corvalán, por su apoyo incondicional y por su fortaleza al sacarnos adelante y darnos las herramientas para ser mejores personas en este mundo, a mis hermanas Jose y Paz por esas peleas y risas juntas, por dejar de lado sus planes de fin de semana cuando viajaba a Conce, gracias además a la Jose por darme un sobrino tan exquisito que me hizo viajar todos los fines de semana desde que nació para ir viendo como crecía y sus progresos.

A mis amigas del colegio, Liss, Caro, Laura, Massi, Dani y Clau, que aunque costó que nos juntáramos siempre algo salía, gracias por siempre estar ahí y por los muy buenos y graciosos momentos vividos juntas.

Agradecer también a los niños de la U, Fabian, Nelson, Galo, JP, Danor, Carla, Panchi, Clau y Mellado, sin ustedes mi paso por la udec no hubiese sido lo mismo, gracias por los carretes, paseos y vigiliats vividos.

A mi profesor guía Fernando Betancourt, por confiar en mis habilidades y por su disposición y apoyo durante la realización de este trabajo.

Por ultimo agradezco a Codelco división Andina por darme la oportunidad de realizar mi memoria en sus dependencias. A mi tutor Luis Salinas, por creer en mis capacidades y por su apoyo y dedicación a enseñarme cuando no entendía algo. A la gente que conocí en la división, en especial a los del laboratorio metalúrgico y a los practicantes y memoristas por incluirme en sus actividades haciendo que la estadía fuera de casa fuese más amena.

Resumen

El objetivo del presente informe es entregar alternativas de mejoramiento de la granulometría proveniente de la etapa de prechancado de la división Andina de Codelco, con el fin de alimentar al molino SAG con una granulometría más fina que la actual y así obtener un mayor tratamiento. Para esto se recopilamos datos de planta desde el año 2014 para así sentar la línea base del proyecto, con la revisión de estos datos se observó que el chancador de la planta de prechancado estaba funcionando con baja carga por efecto de una mala clasificación del harnero.

De acuerdo a esto se plantean dos alternativas de cambios en planta con respecto al funcionamiento del harnero, además de una tercera opción que implicaría un cambio de operación de la planta y un cambio de la coraza del chancador. Para evaluar estas alternativas se utilizó el programa simulador BRUNO de la compañía Metso, en el cual se ingresaron los datos de muestreos realizados en las correas de alimentación y producto de la etapa de prechancado, obteniendo así parámetros para las simulaciones en el nuevo escenario de un cambio de operación de normal a una operación by-pass.

La primera alternativa consiste en un cambio en el diseño del chute de alimentación al harnero con el fin de disminuir la velocidad de alimentación a éste, esta opción se consideró no factible por problemas operacionales que podría generar. La segunda es un cambio de los módulos del harnero aumentando el área libre de un 27.5% a un 36.7% en el deck superior, con esta modificación para un mineral de granulometría intermedia el tamaño d80 disminuye un 5.85% teniendo como base un tamaño de 69398 [um], esta disminución supondría un aumento de tratamiento en el molino SAG. Por último en la tercera alternativa se evaluó un cambio en la operación de la planta incorporando además un cambio de perfil de coraza del chancador. Lo que significó pasar de enviar sólo el sobretamaño del harnero a enviar el material intermedio más el sobretamaño al chancador, y pasar de utilizar un perfil de coraza fino y un css de 19 [mm] a usar un perfil medio con un css de 25 [mm] en el chancador. Lo anterior generó una disminución del tamaño d80 de un 23.3% que junto con la disminución del tamaño intermedio de un 18.1% a un 14.6%, indicaría un aumento de tratamiento en el SAG aun mayor que la segunda alternativa, por lo que se recomienda probar en planta la última propuesta y observar el comportamiento del SAG.

Abstract

The objective of this report is to provide alternatives for the improvement of the granulometry coming from the pre-crushing stage of the Codelco Andina division, in order to feed the SAG mill with a granulometry finer than the current one to obtain a greater treatment. Here plant data was collected from the year 2014 to establish the baseline of the project, with the review of this data, it was observed that the crusher of the pre-crushing plant was working with low load due to bad classification of the screen.

According to this, two alternatives of change in plant with respect to the operation of the screen are proposed, in addition to a third option that would imply a change of operation of the plant and a change of the shell of the crusher. To evaluate these alternatives, the simulation program BRUNO of the company Metso was used, in which the sampling data was entered in the feeding and product belts of the pre-crushing stage obtaining parameters for the simulations in the new scenario to bypass operation.

The first alternative consists of a change in the feeding chute design to the screen in order to decrease the feeding speed to it. This option was considered not feasible due to operational problems that could generate. The second one is a modification of the screen modules that increases the free area from 27.5% to 36.7% in the upper deck, with this change for a mineral of intermediate granulometry the size d_{80} decreases 5.85% having a base of size of 69398 [um], this decrease would mean an increase in the treatment of the SAG mill. Finally, in the third alternative, it was evaluated a change in the operation of the plant and also a change in the crusher shell profile. What meant sent only the oversize of the screen to send the intermediate material plus the oversize to the crusher, and use a thin shell profile and a css of 19 [mm] to use a medium profile with a css of 25 [mm] in the crusher. The above generated a decrease of the size d_{80} of 23.3% which together with the decrease of the intermediate size from 18.2% to 14.6%, would indicate an increase of treatment in SAG even greater than the second alternative, so it is recommended to test in plant the last alternative and observe the behavior of the SAG.

Índice

1.	Introducción.....	1
	Objetivo General.....	2
	Objetivos Específicos.....	2
2.	Antecedentes.....	3
2.1	Descripción de la Empresa.....	3
2.2	Descripción de la División.....	4
2.3	Descripción del Proceso.....	5
2.3.1	Chancado Primario.....	8
2.3.2	Etapa de Prechancado.....	8
2.3.3	Molienda SAG.....	10
2.4	Antecedentes Teóricos.....	12
2.4.1	Trituración.....	12
2.4.1.1	Parámetros Chancador.....	13
2.4.1.2	Razón de Reducción.....	14
2.4.1.3	Clasificación de Chancadores.....	14
2.4.1.3.1	Chancador de Cono.....	15
2.4.2	Molienda.....	16
2.4.3	Harneado.....	18
2.4.3.1	Harnero tipo Banana.....	20
2.4.4	Software BRUNO.....	20
2.4.4.1	Descripción de Equipos y Herramientas a utilizar.....	22
3.	Desarrollo.....	26
3.1	Data Operacional.....	26
3.1.1	Filtro de Datos.....	28
3.1.2	Gráficas.....	30
3.2	Muestreos en Correas.....	31
3.3	Análisis de Alternativas.....	32
3.3.1	Alternativa 1: Estudio del diseño del chute de alimentación.....	33
3.3.2	Alternativa 2: Estudio de cambio de módulos del harnero.....	34
3.3.3	Alternativa 3: Estudio de cambio de forma de operación de planta prechancado.....	35
3.4	Calibración del Software BRUNO.....	37

4. Resultados y Discusiones.....	39
4.1 Alternativa 1: Estudio del diseño del chute de alimentación	39
4.2 Alternativa 2: Estudio de cambio de módulos del harnero	40
4.3 Alternativa 3: Estudio de cambio de forma de operación de prechancado	43
5. Conclusiones y Recomendaciones	47
Bibliografía	49
Anexo A. Procedimiento de Muestreo	50
Anexo B. Corriente del Chancador en el Tiempo	53
Anexo C. Cálculo Área Harnero.....	55
Anexo D. Granulometrías Muestreos	56
Anexo E. Perfiles de Coraza del Chancador HP-800.....	60
Anexo F. Granulometría de Minerales Fino, Grueso e Intermedio.....	61



Índice de figuras

Figura 1. Ubicación geográfica de la división.	4
Figura 2. Diagrama de flujo de la planta.	7
Figura 3. Diagrama Planta Prechancado.	9
Figura 4. Diagrama de Molienda SAG.	11
Figura 5. Sección de un Equipo de Chancado.	13
Figura 6. Chancador de cono.	15
Figura 7. Perfiles de coraza de un chancador de cono.	16
Figura 8. Modelo de velocidad de Fractura versus tamaño de partícula, en un molino SAG.	18
Figura 9. Carga dentro de un molino SAG.	18
Figura 10. Harnero de Ángulo Variable.	20
Figura 11. Interfaz programa BRUNO.	21
Figura 12. Botones del Software.	22
Figura 13. Ventana de ingreso de información de la alimentación.	23
Figura 14. Ventana de ingreso de información del chancado.	24
Figura 15. Ventana de ingreso de información del harnero.	25
Figura 16. Curvas granulométricas para mineral más fino y grueso de acuerdo a muestreos.	26
Figura 17. Diagrama de balance en Harnero.	27
Figura 18. Histograma de tratamiento del molino SAG.	28
Figura 19. Histograma de tratamiento del molino SAG con datos filtrados.	29
Figura 20. Gráficas de tratamiento del molino SAG de acuerdo a % de tamaños críticos.	30
Figura 21. Granulometría A-9 v/s tratamiento SAG.	31
Figura 22. Esquema de las diferentes alternativas de cambios.	33
Figura 23. Diagrama para balance de masa prechancado/SAG.	36
Figura 24. Esquema de situación actual de camas de piedras en chute de alimentación.	39
Figura 25. Esquemas de módulos dentro de contrato para deck superior.	40
Figura 26. Diagrama de simulación en Bruno.	41
Figura 27. Curvas granulométricas simuladas en C-55 para cambio de %Área libre.	42
Figura 28. Diagramas para simulación en BRUNO para un cambio de operación y de perfil de coraza.	43
Figura 30. Curvas granulométricas simuladas en C-55 para cambio de operación y coraza del chancador.	44
Figura 31. Curvas granulométricas de alimentación al molino SAG.	45
Figura B.1. Gráficos de tratamiento planta prechancado y corriente chancador vs. Mes.	53
Figura B.2. Gráficas de caja de la corriente del chancador.	54
Figura C.1. Esquema de un módulo.	55
Figura D.1. Granulometrías simuladas y ajustadas para op. Normal a un css de 19[mm]. a) muestreo 1, b) muestreo 2 y c) muestreo 3.	58
Figura D.2. Granulometrías ajustadas para op. By-pass a un css de 38 [mm] y luego las simulaciones para op. By-pass a css de 25 [mm]. a) muestreo 3, b) muestreo 4 y c) muestreo 5.	59
Figura E.1. Ficha técnica revestimientos HP-800.	60
Figura F.1. Curvas de muestreos correa A-3 y C-52, para selección de mineral fino y grueso.	61

Índice de tablas

Tabla 1. Resumen Balance de masa en Harnero para granulometría fina y gruesa.....	27
Tabla 2. Criterios para filtro de data operacional.....	29
Tabla 3. Límites óptimos de % pasante en alimentación a SAG para mayores tratamientos.	31
Tabla 4. Tamaño de mallas y tamices utilizados para análisis granulométrico.....	32
Tabla 5. Condiciones de muestreos.....	32
Tabla 6. Tratamiento del Chancador HP800.....	32
Tabla 7. Datos de %Área libre de muestreos.	34
Tabla 8. Parámetros de ajuste de BRUNO para alternativa número 2.	38
Tabla 9. Parámetros de ajuste de BRUNO para alternativa número 3.	38
Tabla 10. Resultados de cambio de altura de camas de piedras.....	39
Tabla 11. Porcentajes Pasantes en alimentación al SAG, para un cambio de %Área libre.	42
Tabla 12. Porcentajes Pasantes en alimentación al SAG, para un cambio de operación y perfil de coraza del chancador.....	46
Tabla C.1. Ángulos de inclinación de cada fila del harnero.....	55
Tabla D.1. Granulometrías de alimentación y producto de planta prechancado.	56
Tabla F.1. Granulometrías simuladas en BRUNO para C-55 y del Balance para A-9 del mineral grueso, para cambio de %Área libre.	62
Tabla F.2. Granulometrías simuladas en BRUNO para C-55 y del Balance para A-9 del mineral fino, para cambio de %Área libre.	63
Tabla F.3. Granulometrías simuladas en BRUNO para C-55 y del Balance para A-9 del mineral intermedio, para cambio de %Área libre.	64
Tabla F.4. Granulometrías simuladas en BRUNO para C-55 y del Balance para A-9 del mineral grueso, para cambio de operación y perfil de coraza del chancador.	65
Tabla F.5. Granulometrías simuladas en BRUNO para C-55 y del Balance para A-9 del mineral fino, para cambio de operación y perfil de coraza del chancador.	66
Tabla F.6. Granulometrías simuladas en BRUNO para C-55 y del Balance para A-9 del mineral intermedio, para cambio de operación y perfil de coraza del chancador.	67

Nomenclatura

DAND:	División Andina
m.s.n.m:	metros sobre nivel del mar
SAG:	Semi Autogenous Grinding
ROM:	Run of Mine
css:	Close side setting
oss:	Open side setting
HP:	Unidad de medida de potencia, Horsepower
rpm:	Revoluciones por minuto
A:	Unidad de medida de corriente, Ampere
Tmf:	Toneladas métricas finas
Tph:	Toneladas por hora
Tpd:	Toneladas por día
min:	Minuto
s:	Segundo
km:	Kilómetro
m:	Metro
cm:	Centímetro
mm:	Milímetro
ft:	Unidad de medida de longitud, pies
in:	Unidad de medida de longitud, pulgada
Ton:	Tonelada
kg:	Kilógramo
g:	Gramo



1. Introducción

En el procesamiento de minerales, la reducción de tamaños se realiza en una secuencia de etapas, así se permite una clasificación de los equipos y métodos empleados. Debido a que el mayor consumo de energía está en la conminución, nace la necesidad de buscar tecnologías de equipos o circuitos que sean más eficientes energéticamente.

Además se tiene que cualquier aumento de consumo de energía de las etapas dispuestas aguas arriba del circuito genera beneficios mayores en las etapas posteriores, así algunas alternativas para disminuir el consumo energético son, partiendo de la mina, mejorar la intensidad de la tronadura; utilizar circuitos con molienda HPGR, cambiar la configuración de circuitos de molienda SAG u optimizarla considerando una planta de pre-chancado. Esto dependiendo de características de competencia del mineral, vida útil del proyecto, capacidad de la planta, etc.^[9]

Una de las medidas adoptadas por división Andina de Codelco, en el año 2003, fue la implementación de una planta de prechancado con el objetivo de disminuir el tamaño de alimentación al molino SAG, logrando así bajar el consumo específico del molino SAG, al alimentarlo con una granulometría más fina, teniendo a la vez un aumento de tratamiento.

En la actualidad el molino SAG es alimentado principalmente por mineral proveniente del prechancado, se tiene en primera instancia una clasificación del mineral en donde el tamaño intermedio se envía al chancador, luego este mineral chancado junto con el sobre y bajo tamaño del harnero es dirigido al SAG. Dada estas condiciones se ha observado que la corriente del chancador se encuentra generalmente bajo los 50 [A], cuando lo óptimo es un trabajo entre los 70 y 90 [A], así se tiene que el chancador está trabajando con baja carga.

El presente informe busca entregar alternativas para una optimización de la etapa de prechancado logrando así un producto más fino, el cual será enviado al proceso de molienda posterior, con la misión de aumentar el tratamiento efectivo.

Para la realización de la investigación se procedió a realizar una recopilación de datos de planta, muestreos en correas de alimentación y producto y su posterior análisis granulométrico, además se realizaron simulaciones con el software BRUNO, de la compañía Metso.

Objetivo General

Realizar un análisis de alternativas para ajustar la banda granulométrica de alimentación al molino SAG, mediante el producto de la etapa de prechancado, buscando un aumento del tratamiento efectivo de la planta.

Objetivos Específicos

- Realizar en primera instancia una evaluación del desempeño de la planta prechancado de la división.
- Realizar Muestreos en correas correspondientes y con diferentes condiciones de operación con el fin de encontrar parámetros de simulación.
- Utilizar programa simulador BRUNO.
- Entregar y analizar alternativas de cambios en planta que puedan entregar un producto más fino al molino SAG.

2. Antecedentes

2.1 Descripción de la Empresa

El nombre Codelco representa a la Corporación Nacional del Cobre de Chile, es una empresa autónoma de propiedad del Estado Chileno. Su principal negocio es explorar, explotar y comercializar los recursos mineros del cobre refinado y sus subproductos, lo cual lo realiza a través de siete divisiones: Andina, Chuquicamata, El Teniente, Gabriela Mistral, Ministro Hales, Radomiro Tomic y Salvador, a las que se suma la Fundición y Refinería Ventanas. Todas están ubicadas entre la Región de Antofagasta y la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. Su estrategia corporativa es coordinada y encabezada desde la Casa Matriz ubicada en Santiago de Chile, por el directorio formado por nueve integrantes y la presidencia ejecutiva.

Codelco es el productor de cobre de mina más grande del mundo y la empresa que más contribuye a la economía chilena. Durante el año 2016, su producción totalizó 1827 miles de tmf (incluidas sus participaciones en El Abra y Anglo American Sur), cifra récord histórica que representa un 10% de la producción mundial y un 33% de la producción nacional.

Es una empresa 100% estatal, posee el mayor nivel de reservas y recursos de cobre conocidos en el planeta concentrando el 7% de las reservas globales de cobre contenidas en yacimientos de clase mundial y, con una participación de 10%, es el segundo mayor productor de molibdeno. Además se estima que, con los actuales niveles de producción, los yacimientos que hoy explota proyectan más de 65 años de vida útil.

La Corporación participa además en la propiedad de importantes empresas mineras como El Abra, en la cual posee el 49%, Anglo American Sur donde participa en 20% de la propiedad desde el año 2012 y otras asociaciones mineras orientadas a la exploración geológica, investigación y desarrollo tecnológico, tanto en Chile como en el exterior.

El principal producto de Codelco es el cobre refinado en la forma de cátodos de cobre con 99.99% de pureza. La Corporación también produce concentrados de cobre, cobre blíster, ánodos de cobre y lingotes RAF (refinados a fuego), además de subproductos, como concentrado y óxido de

molibdeno, barros anódicos y ácido sulfúrico. La empresa exporta cobre a los principales mercados del mundo, priorizando las ventas directas de cobre refinado a fabricantes de productos semielaborados.

2.2 Descripción de la División

División Andina opera el yacimiento Río Blanco, cuya riqueza es conocida desde 1920. Los intentos por iniciar su explotación no se concretaron hasta medio siglo después, en 1970, con la creación de la Compañía Minera Andina.

Se encuentra ubicada a 80 km al noreste de Santiago, en la región de Valparaíso a 50 km de la ciudad de Los Andes, entre los 3700 y 4200 m.s.n.m. La división tiene un método de explotación mixto, es decir, subterráneo y a rajo abierto explotando los yacimientos Río Blanco y Sur-Sur respectivamente.



Figura 1. Ubicación geográfica de la división.

El mineral que se extrae de la mina contiene principalmente Calcopirita (Cp), Calcosina (Cc), Pirita (Py) y Molibdenita (MoS_2). Los recursos de Andina, poseen una ley de corte 0.5% Cu, alcanzando 4450 millones de toneladas de mineral, con una ley media de Cobre de 0.83% Cu y 0.022% de Molibdeno.

División Andina cuenta con las reservas minerales más importantes de Codelco. Sin embargo, para alargar su vida útil requiere expandir la capacidad de tratamiento de la operación. Por eso, durante 2016 avanzó en los estudios de prefactibilidad para el proyecto Desarrollo Futuro Andina. El proyecto equilibraría la necesidad de aprovechar los recursos de mineral que posee la división, con un caso de negocio con menor inversión, menor tiempo de construcción y ajustado a la realidad del escenario medioambiental actual.

En 2016 División Andina produjo 193 mil toneladas de cobre y su dotación fue de 1682 personas al 31 de diciembre de 2016.

2.3 Descripción del Proceso

Una vez realizada la etapa de extracción, en las minas a cielo abierto y subterránea de Andina, el mineral se envía a la planta de chancado primario, donde es triturado y, posteriormente, conducido por correas hasta las instalaciones de molienda y flotación colectiva en la Planta Concentradora.

La etapa de molienda se realiza mediante tres sistemas paralelos: molienda convencional, molienda unitaria y molienda SAG. Su objetivo es disminuir el tamaño de las partículas de mineral y prepararlo para el siguiente proceso, de flotación.

La flotación genera la separación de las partículas sulfuradas de cobre y molibdeno desde la roca estéril, proceso por el cual se obtiene un concentrado colectivo de cobre y molibdeno cuyas leyes alcanzan al 30% y 0.39%, respectivamente.

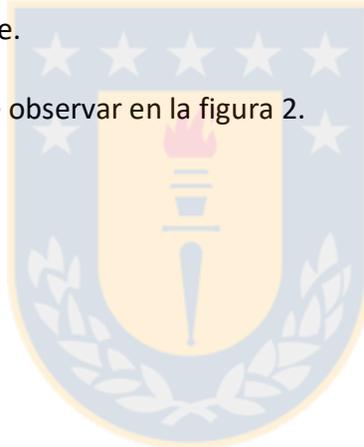
Este concentrado colectivo se conduce por cañerías hasta una planta en superficie (en Saladillo, 30 kilómetros al oeste de la mina subterránea) para las etapas de flotación selectiva, en la cual se separa el cobre del molibdeno, y de filtrado.

El concentrado de cobre se somete a un proceso de secado que disminuye la humedad del producto hasta un 9% o menos, y finalmente es transportado por ferrocarril hacia el Puerto de Ventanas, desde donde se despacha a diversas fundiciones de Chile y el extranjero.

El concentrado de molibdeno se seca hasta que su humedad sea inferior al 8%. Luego de una etapa de descubrición se obtiene un concentrado de Bajo Cobre hasta con un 0.4% de este metal, y una pequeña cantidad de concentrado con 48% de molibdeno y 4.3% de cobre.

Por otra parte, los relaves del proceso en el Concentrador se envían a dos espesadores, en donde se recupera hasta el 60% del agua contenida y se reenvía hacia la molienda y flotación. El resto del material se transporta, a través de una canaleta de 80 kilómetros de longitud, hacia el nuevo embalse de relaves Ovejería, ubicado en Huechún, Región Metropolitana, para su depositación segura y permanente.

El proceso general se puede observar en la figura 2.



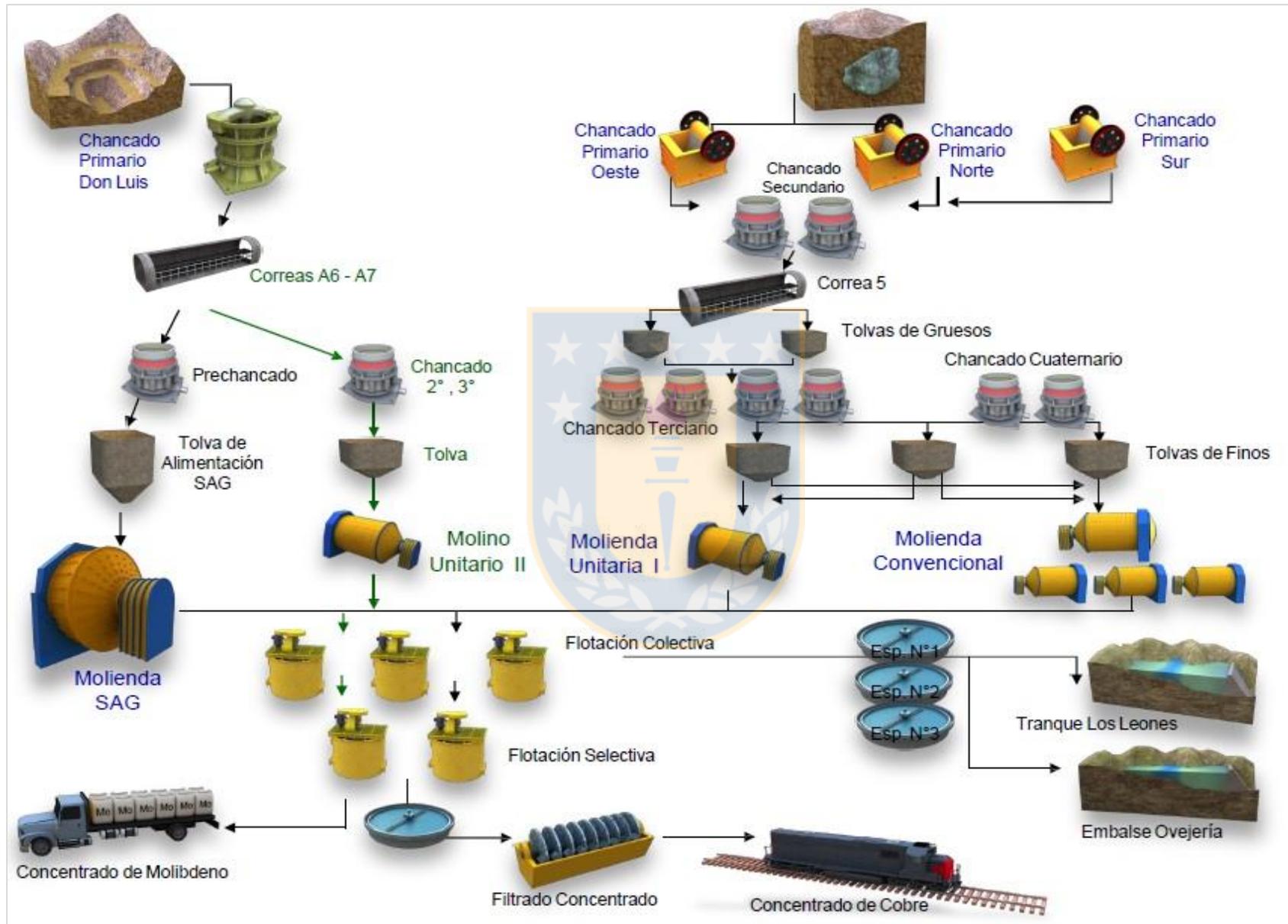


Figura 2. Diagrama de flujo de la planta.

2.3.1 Chancado primario

La planta de chancado primario Don Luis es alimentada mediante camiones con mineral proveniente de la mina subterránea (III panel) y de la mina a rajo abierto. Ambos minerales son recepcionados en dos tolvas reguladoras provistas de dos alimentadores de placas, A-1/1 y A-1/2, que alimentan a un chancador giratorio de 54"x74" de 600 [Hp].

El producto del chancador primario descarga en una tolva de 300 toneladas desde la cual el mineral es extraído mediante un alimentador de correa A-2 para ser transportado hacia una tolva intermedia de 7000 toneladas por medio de un sistema de dos correas en serie: A-3 y A-4.

2.3.2 Etapa de Prechancado

El prechancado comienza en la descarga de la correa A-7, donde se encuentra un chute neumático con doble compuerta con opción de enviar el mineral al circuito de Prechancado (correa 51) o a la tolva de la planta SAG.

La correa 51, ubicada a continuación de la A-7, descarga a través de un pique en una tolva de traspaso provista de un alimentador de correa de protegido con cadenas. Este alimentador abastece de mineral a la correa 52, la que alimenta al harnero del circuito de prechancado y está provista de un pesómetro para control de tonelaje y electroimán para control de metales.

El circuito considera un harnero tipo banana de doble bandeja de 10'x20' y 100 [Hp] el que clasifica el mineral de alimentación en tres productos: sobre 4", entre 2.5"- 4" y menor a 2.5". El producto intermedio es alimentado a un chancador de cono Metso HP-800 de 800 [Hp].

Los productos fino y grueso del harnero más el producto del chancador descargan en la correa 54 la cual descarga a la correa 55 a través de la Estación de Transferencia N°1. La correa 55 descarga a través de un chute neumático de doble compuerta en la correa 57, la que conduce el mineral a la tolva del SAG, o en la correa 56, por la cual se conduce el mineral a la tolva de gruesos de chancado 3º-4º. La descarga de la correa 55 a la 56 y 57 se realiza en la Estación de Transferencia N°2. Proceso que se puede ver en el siguiente flowsheet:

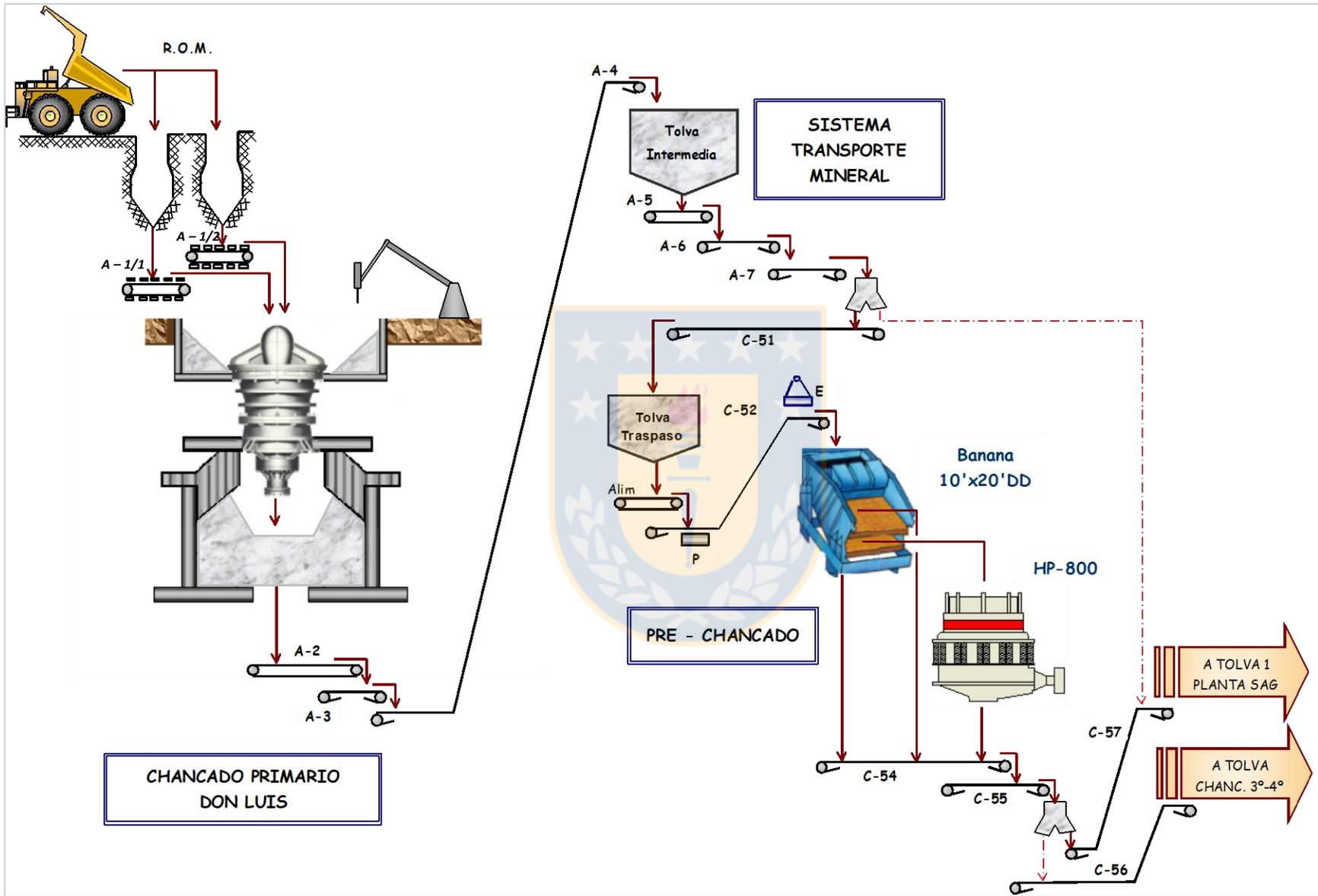
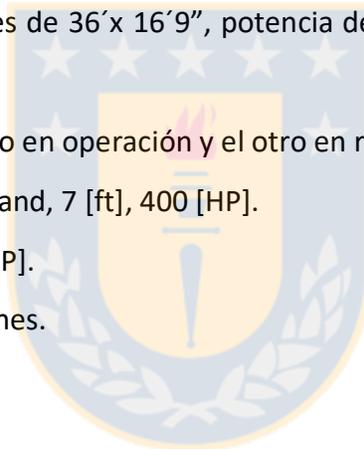


Figura 3. Diagrama Planta Prechancado (situación actual).

2.3.3 Molienda SAG

La alimentación al molino SAG, es efectuada por una correa transportadora inclinada A-9, la que descarga en el chute de alimentación del molino, el producto molido es recolectado en el chute de descarga de doble compuerta que distribuye la carga a uno o el otro harnero (de acuerdo a las necesidades de operación) de doble bandeja de 10'x20', donde el sobre tamaño se extrae mediante la correa A-10 dirigiéndose el mineral a chancado de pebles, y el bajo tamaño por medio de bombas centrífugas, en circuito abierto que impulsan directamente a los dos molinos de bolas de 20'x30' a través de un cajón distribuidor, o bien en circuito cerrado impulsan el mineral a las baterías de hidrociclones, los cuales clasifican y envían el sobretamaño de vuelta al SAG y el bajo tamaño hacia la flotación colectiva.

- ♣ Molino SAG de dimensiones de 36'x 16'9", potencia de 16000 [HP], y de velocidad variable entre 0 y 9.5 [rpm].
- ♣ 2 Harneros marca Tyler, uno en operación y el otro en reserva, de mallas 1 1/2" y 3/4".
- ♣ 2 Chancadores Nordberg-Rand, 7 [ft], 400 [HP].
- ♣ 2 Molinos de bolas 7500 [HP].
- ♣ 2 Baterías de 10 Hidrociclones.



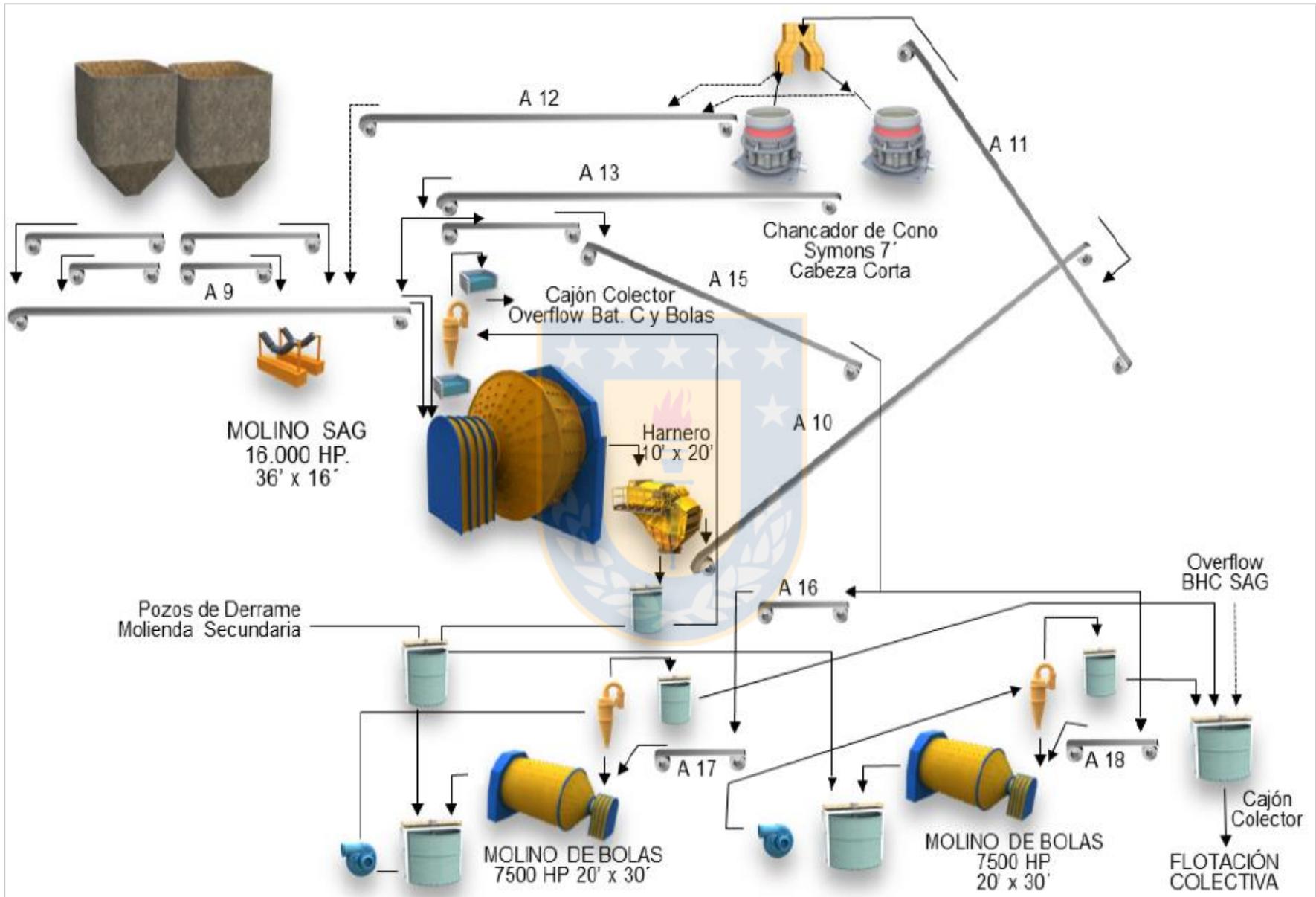


Figura 4. Diagrama de Molienda SAG.

2.4 Antecedentes teóricos

La meta en el procesamiento de minerales es producir el valor máximo de un material en bruto dado. Esta meta puede ser un producto chancado con cierto tamaño y forma, la recuperación máxima de metales desde un mineral metálico complejo, etc.

Cabe destacar que la etapa de chancado y harneado es la primera etapa del proceso de reducción controlada de tamaño.

2.4.1 Trituración

El primer paso en el beneficio de las menas de un mineral es normalmente la trituración, la cual ha sido definida “como la operación requerida para reducir el mineral de la mina a un tamaño de alimentación al molino”.

En el proceso de trituración, o también conocido como proceso de chancado, podemos encontrar tres etapas de trituración de mineral, existiendo en algunos casos hasta cuatro (primaria, secundaria, terciaria y cuaternaria), las cuales se van diferenciando netamente por los equipos chancadores que se van utilizando en cada etapa.

La principal consideración en cada etapa para una máxima producción es un eficiente cálculo de potencia. Hay un óptimo cierre para cada chancador y un óptimo número de etapas requeridas para la máxima producción de una planta basada en las características individuales del material que va a ser triturado. Sobrecargar el chancador no incrementa la producción y es contraproducente porque acorta la vida de los componentes mecánicos. Lo ideal es que el tamaño máximo reciba de 4 a 5 golpes durante su trayectoria en la cámara de trituración, esto supone una combinación de reducción en la parte superior de los revestimientos así como en la zona paralela. El chancador debe ser alimentado y trabajar en condiciones próximas a la máxima carga de potencia. Operar con el chancador a un cierre demasiado estrecho reduce la capacidad y crea un excesiva desgaste. Una abertura demasiado ancha, en proporción al tamaño máximo de alimentación, puede estorbar a la trituración en la zona superior y provocar un consumo excesivo de potencia. El consumo de potencia por tonelada de alimentación al chancador no es por sí sola una medida de productividad. La eficiente utilización de la potencia, a través de una aplicación adecuada de la cámara, de acuerdo con la alimentación y productos

requeridos, determinarán la óptima producción por HP consumido. El rango de los tamaños de alimentación y productos, para cada etapa de trituración, se solapan algo entre las etapas anteriores y siguientes. Esto permite una flexibilidad en el ajuste de cada etapa para un óptimo de producción de todo el sistema. Esto también presenta la opción de eliminar una etapa cuando sea ventajoso.

No hay que olvidar que la finalidad de la conminución es de efectuar una adecuada liberación de los componentes deseables entre ellos y del estéril de forma que, subsiguientemente, pueden ser separados eficazmente por medio de la flotación u otro proceso.

2.4.1.1 Parámetros Chancador

La figura siguiente muestra un diagrama esquemático de una sección de un equipo de Chancado de cono:

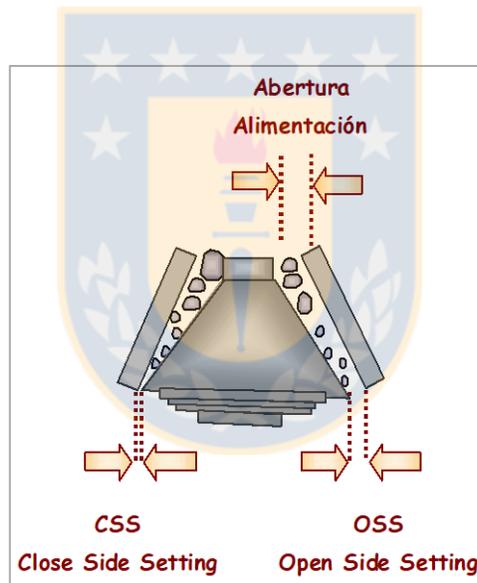


Figura 5. Sección de un Equipo de Chancado de Cono.

El tamaño de un equipo de chancado define una abertura de alimentación lo que, a su vez, define el tamaño máximo de alimentación. Como situación óptima se considera que el tamaño de las rocas más grandes no debiera sobrepasar el 85% de la boca de alimentación del chancador.

El tamaño del producto chancado quedará definido por la abertura de descarga: open side setting (oss) o closed side setting (css). El css o abertura del lado cerrado corresponde a la distancia entre el manto y el casco del equipo en la zona de descarga en el momento de la compresión, mientras

el espacio o abertura del lado abierto corresponde a la distancia entre el manto y el casco del equipo en la zona de descarga en el momento de la descompresión.

2.4.1.2 Razón de Reducción

La razón de reducción es una medida del grado de conminución del equipo de chancado. Se determina como la razón entre el tamaño del producto y el tamaño de alimentación. Este es un factor importante para determinar la eficiencia de chancado y puede controlarse por medio del ajuste del setting del chancador y el llenado de la cámara.

Una forma común de estimar la razón de reducción es con los valores de F_{80} y P_{80} , esto es, con el tamaño bajo el cual se encuentra el 80% del mineral en la alimentación y descarga, respectivamente:

$$R_{80} = \frac{F_{80}}{P_{80}} \quad (1)$$

2.4.1.3 Clasificación de Chancadores

Existe una gran variedad de equipos de chancado, cada uno de los cuales tiene un trabajo específico, ya sea en la fragmentación de grandes rocas (giratorios, mandíbula, impacto), en la fragmentación de material intermedio (cono, rodillos) o en la fragmentación de tamaños pequeños (cono, rodillos, martillos, de eje vertical)

Los chancadores pueden clasificarse básicamente de acuerdo al tamaño del material tratado con algunas subdivisiones en cada tamaño de acuerdo a la manera en que se aplica la fuerza.

- ♣ Chancador primario: trata el mineral que viene de la mina, con trozos máximos de hasta 1.5 [m] (60'') y lo reduce a un producto en el rango de 16 a 10 [cm] (6.5 a 4'').
- ♣ Chancador secundario: toma el producto de la chancadora primaria y lo reduce a su vez a un producto de 2 a 10 [cm] (¾ a 4'').
- ♣ Chancador terciario: toma el producto de la chancadora secundaria y lo reduce a su vez a un producto de 12 [mm] (½''), que normalmente va a la etapa de molienda o, en algunos casos, va a una etapa de chancado cuaternario.

2.4.1.3.1 Chancador de Cono

Un chancador de cono es un chancador giratorio modificado, donde la principal diferencia es el diseño aplanado de la cámara de chancado para dar alta capacidad y alta razón de reducción. Además el eje es más corto y no está suspendido sino soportado en un soporte universal. Dentro de sus partes se encuentra la cabeza (elemento de reducción de tamaño de forma cónica), esta está revestida por el manto, gracias al cual se describe el movimiento excéntrico generando la compresión de las rocas contra la cámara de chancado (casco).



Figura 6. Chancador de cono.

Dentro de la cámara de trituración se encuentran la coraza y el manto que son piezas de desgaste permanente, por mecanismos de abrasión y fatiga principalmente, esto dependiendo prácticamente del tamaño de la alimentación. Así estas piezas deben ser cambiadas constantemente, en el caso de la coraza existen diferentes perfiles de acuerdo al producto que se quiera obtener, por ejemplo, un perfil fino es utilizado para obtener un producto más fino en comparación a un perfil medio o grueso, estos perfiles se pueden observar en la siguiente figura:

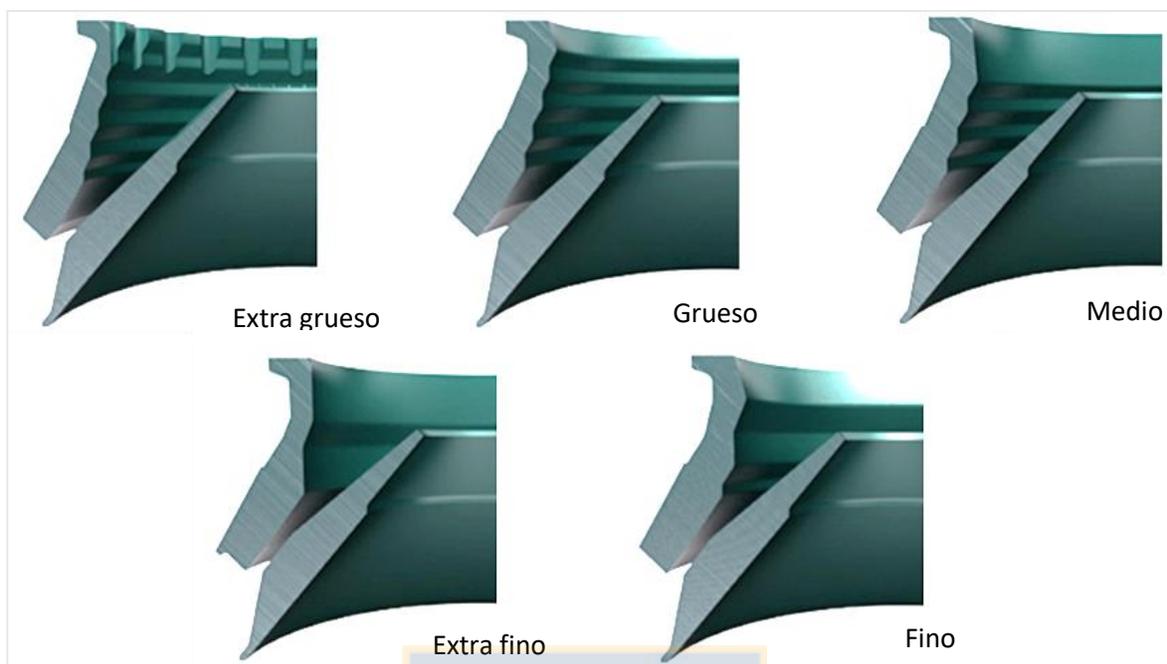


Figura 7. Perfiles de coraza de un chancador de cono.

2.4.2 Molienda

El objetivo del proceso de molienda es la reducción del tamaño de las partículas provenientes desde el proceso de chancado, con la finalidad de producir un tamaño de partícula que permita la liberación de la especie de interés en partículas individuales, las cuales puedan ser recuperadas en el posterior proceso de flotación.

La molienda se realiza utilizando grandes equipos giratorios o molinos de forma cilíndrica, en dos formas diferentes: molienda convencional o molienda SAG (molienda semi autógena).

En esta etapa, al material mineralizado se le agregan agua en cantidades suficientes para formar un fluido lechoso y los reactivos necesarios para realizar el proceso siguiente que es la flotación.

En la molienda convencional, el producto obtenido en la etapa terciaria de chancado ingresa al molino de barras, siendo la descarga de esta primera etapa de molienda dirigida hacia cajones de descarga desde donde es bombeada hacia la etapa de clasificación, así el overflow es enviado a flotación y el underflow a la segunda etapa de molienda realizada en molinos de bolas, la descarga de estos molinos se junta con la del molino de barras y juntas van a la etapa de clasificación.

En la molienda SAG a diferencia de la convencional no hay molinos de barras, siendo el SAG el que reemplaza esta etapa; por otra parte también sustituye las etapas de chancado secundario y terciario.

Al igual que en la molienda convencional la descarga del molino SAG es bombeada hacia la etapa de clasificación, retornando el underflow de los hidrociclones hacia la molienda fina de bolas.

Cabe destacar que la operación de los molinos SAG, comúnmente van asociada con un proceso de chancado de pebbles (tamaño característico de partícula que actúa como de dureza mayor al resto).

La variabilidad característica de la operación de un molino semiautógeno está definida por las oscilaciones que presenta el nivel de llenado de carga total, esto debido a la imposibilidad de mantener un nivel constante de mineral al interior del molino. Esta variabilidad tiene diferentes causas, como son cambios de: granulometría de alimentación, granulometría de la carga interna, proporción de agua y mineral en el interior y de características de moliendabilidad del mineral ^[8]. Donde las primeras provocan variaciones importantes en la capacidad de levante de la carga por la rotación del molino, afectando la capacidad de molienda del molino, además de su capacidad de evacuación, esto se puede apreciar en la figura 8, donde se observa que para partículas más pequeñas (región 1) la velocidad de fractura es alta debido a que al igual que en la molienda convencional, nada da razones para suponer que las partículas pequeñas sean reducidas por bolas grandes siendo evacuadas rápidamente del molino, en la región 2 podemos ver una notable disminución de esta velocidad haciendo ineficiente el proceso, llamando a esta sección del modelo una zona de fractura "anormal", donde encontramos los Pebbles, que son partículas que no actúan como medios de molienda y no se dejan moler, incluso con las bolas más grandes disponibles, estos utilizan espacio en la carga que afecta la productividad del molino, como medida correctiva, se ha dispuesto que dichos Guijarros dejen la carga a través de la rejilla del molino, clasificándolos y aplastándolos por métodos convencionales, por ende, son destinadas a los chancadores de pebles; luego en la región 3 se ve que vuelve a aumentar la velocidad de fractura para partículas de gran tamaño, ya que se produce la auto-fractura, en donde estas partículas actúan como medio moledor dentro del molino al mismo tiempo en que ellas se fracturan ya sea por impacto o abrasión ^[1].

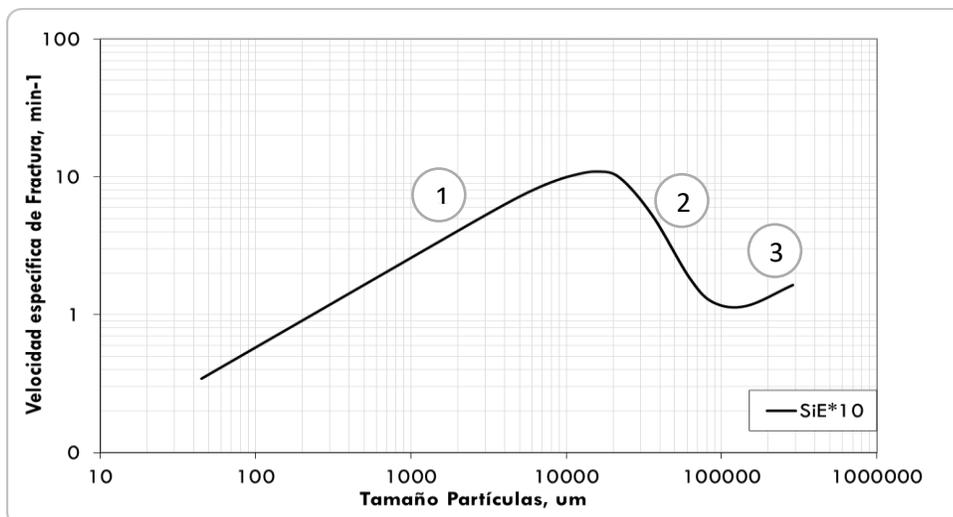


Figura 8. Modelo de velocidad de Fractura versus tamaño de partícula, en un molino SAG.

Así mantener un nivel adecuado de carga en el molino y una granulometría óptima (dada por los requerimientos de cada planta) es uno de los elementos más importantes para una molienda eficiente, mejorando el tema de capacidad del molino y protección de los revestimientos de este.

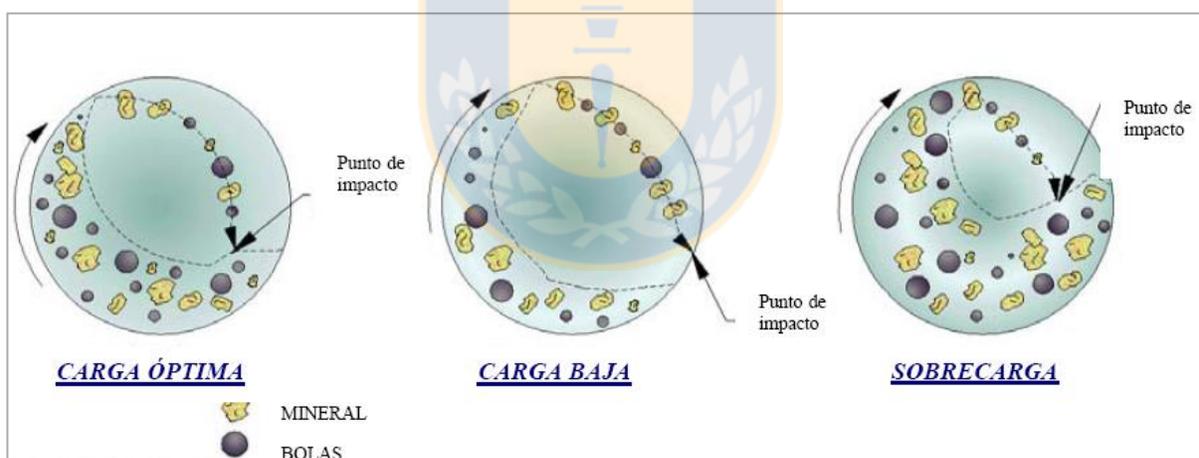


Figura 9. Carga dentro de un molino SAG.

2.4.3 Harneado

Harneado se denomina a la operación unitaria que permite separar un volumen de mineral en dos o más flujos en base a su tamaño, mediante la formación de un lecho de partículas de mineral que se desplaza con movimiento vibratorio vertical sobre una superficie perforada.

Idealmente se supone que todas aquellas partículas que tengan un tamaño superior al de la superficie separadora quedarán retenidas, en tanto que las partículas menores pasarán a través de dicha superficie. Sin embargo esto dependerá de la eficiencia de clasificación. El material retenido en la malla se denomina sobre tamaño (oversize) mientras que el material que pasa a través de las aberturas se denomina bajo tamaño (undersize). En el caso que existan dos superficies separadoras, el tamaño que pasa la primera superficie y queda retenida en la segunda se denomina tamaño intermedio.

El proceso de harneado se utiliza generalmente para separación de tamaño en conjunto con operaciones de chancado y molienda. Sus objetivos pueden ser:

- ♣ Impedir que el material que no ha sido reducido lo suficiente pase a otra etapa de reducción (sobre tamaño)
- ♣ Preparar material con un rango estrecho de tamaño para alimentar ciertos procesos de concentración.
- ♣ Extraer desde la alimentación a un equipo aquel material que ya cumple con las especificaciones del producto, de modo de aumentar la capacidad y eficiencia de la máquina.
- ♣ Separar el material en una serie de productos finales de tamaño específico.

Los factores que influyen en el proceso de estratificación, afectando a la eficiencia de clasificación son:

- ♣ Velocidad de alimentación
- ♣ Tipo de movimiento del Harnero y pendiente
- ♣ Humedad del material
- ♣ % Área abierta
- ♣ Tipo de material (dureza, forma, peso específico)

2.4.3.1 Harnero tipo Banana

Los harneros banana tienen la particularidad de variar el ángulo de inclinación a lo largo de la superficie de harneado comenzando con alta inclinación en la zona de alimentación para llegar a una baja inclinación en la zona de descarga.



Figura 10. Harnero de Ángulo Variable.

En general, los harneros banana presentan una capacidad superior a la de un harnero plano de igual área. La mayor capacidad del equipo es lograda gracias al retiro rápido del material fino de la superficie de harneado. En efecto, la primera zona de la superficie (mayor inclinación) verifica la mayor extracción de finos quedando gran parte del área de harneado disponible para el procesamiento del resto de mineral alimentado. Por otro lado, la disminución gradual del ángulo de inclinación permite mantener una adecuada altura del lecho de mineral para el desarrollo de un proceso eficiente.

2.4.4 Software BRUNO ^[11]

Para la modelación y simulación de la planta de prechancado, se utilizará el software Bruno de la empresa METSO, llamado así en honor al señor Bruno V. Nordberg, fundador de la empresa Nordberg Manufacturing Company. Este programa es una herramienta para la simulación de procesos de chancado, el cual tiene una base de datos con el rendimiento nominal de chancadores, harneros y alimentadores. Bruno realiza básicamente el mismo trabajo que se realiza de manera manual pero de forma automática, con la diferencia que este considera el efecto sobre el rendimiento de un número mayor de parámetros. Para obtener un buen resultado de la simulación, el software es calibrado con resultados de pruebas experimentales, como en el caso de esta memoria es la evaluación de la planta mediante muestreo. Bruno no indica si el proceso es práctico o no, pero entrega indicaciones si es que el proceso presenta problemas graves de operaciones, frente a lo cual es labor del ingeniero dirimir

que tan graves son las indicaciones presentadas por Bruno y buscar soluciones a los problemas. El principio base del programa es que el usuario especifica los equipos, parámetros y alimentación del proceso y se los entrega al programa. Luego, el programa calcula todos los flujos de material, cargas y descargas de los equipos y se los presenta al usuario. Bruno no estima si el proceso es imposible de llevar a cabo en la práctica, pero si entrega indicaciones si el proceso por ejemplo no es viable por la alimentación. Las indicaciones pueden ser por ejemplo baja capacidad del equipo o sobrecarga. Para esto, es importante que el usuario esté familiarizado con diagramas y plantas de chancado.

La interfaz del programa es bastante simple y gráfica, en donde se pueden ver 4 ventanas independientes: Flowsheet (diagrama del proceso): en donde se realiza el trabajo de ingresar datos y equipos, Fraction Curve (curva granulométrica), Results (resultados) y Warnings (advertencias). Además, como todo programa común, posee una barra de herramientas en donde podemos encontrar opciones de acceso rápido a diversas herramientas en Bruno como lo son abrir documento, guardar, copiar, cortar, imprimir, etc. Posee además una paleta de botones color amarillo que sirven para agregar equipos al diagrama, los cuales se conectan con la herramienta de conexión.

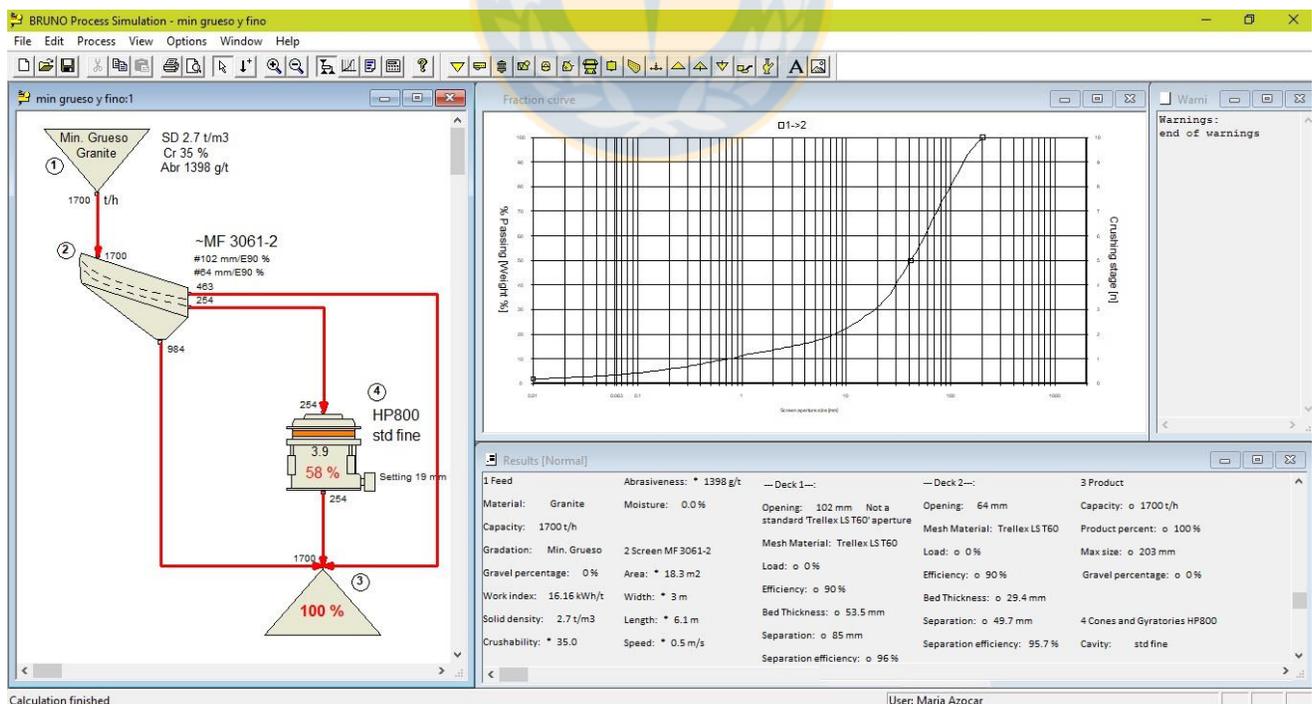


Figura 11. Interfaz programa BRUNO.

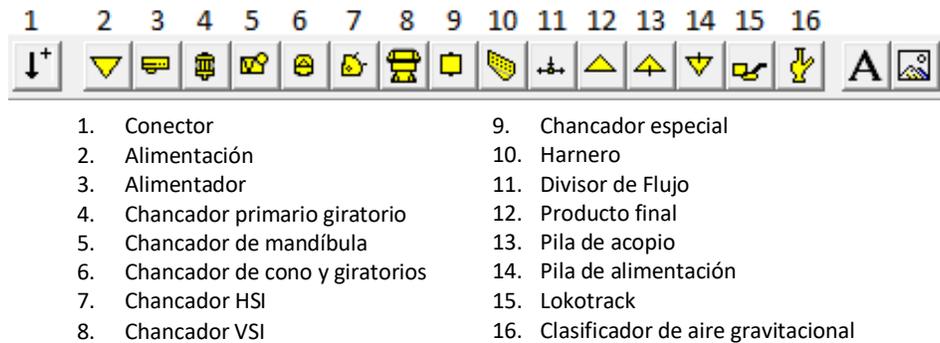


Figura 12. Botones del Software.

2.4.4.1 Descripción de equipos y herramientas a utilizar.

Como se mencionó en la sección anterior, Bruno cuenta con diversos equipos para la etapa de chancado, lo cual es ideal para la simulación requerida. Estos equipos requieren el ingreso de parámetros, los cuales serán en parte recolectados de información operacional actual de la planta y otros obtenidos mediante el muestreo de la planta, este ingreso de datos se realiza al hacer doble click en cada unidad del proceso. La descripción de los principales equipos utilizados en la simulación Bruno se realiza a continuación:

1. Alimentación

Punto inicial de todo diagrama, en el cual se definen las condiciones de entrada al proceso. Estos datos se pueden dividir en 3 puntos:

- Velocidad de alimentación: Especifica el grado de alimentación en toneladas por hora. Si este valor se define como 0, Bruno buscará la máxima capacidad de tratamiento del proceso relacionado con dicha alimentación.
- Material: En este punto se definen características propias del material. Se puede seleccionar el tipo de material de una lista con datos teóricos o se puede definir un material propio seleccionado la opción “My Material” dando o modificando características de un material en particular.
- Granulometría: Se define la granulometría del material, la cual se puede seleccionar de una lista o puede ser personalizada. En el caso de la simulación será obtenida directamente de los muestreos en planta.

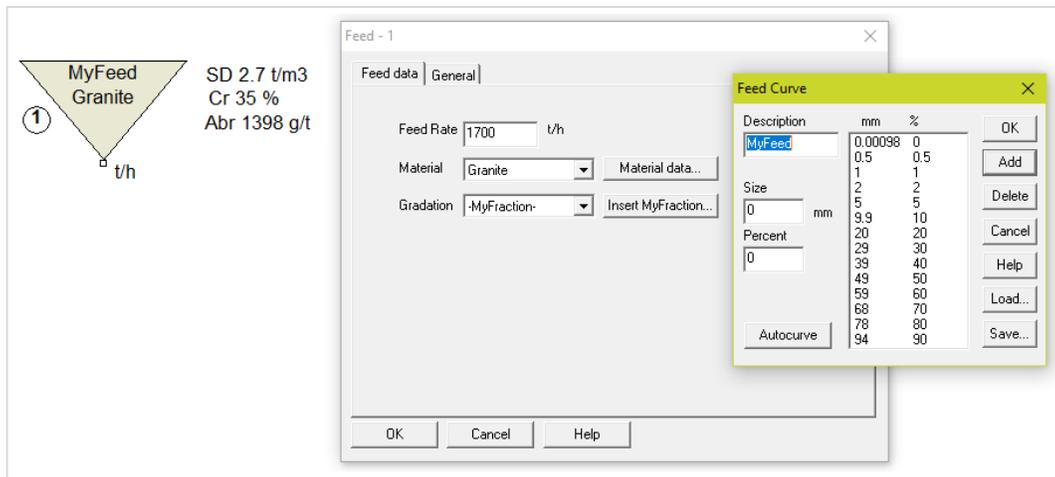


Figura 13. Ventana de ingreso de información de la alimentación.

2. Chancadores de Cono.

La planta de prechancado posee un chancador de cono, modelo que se puede seleccionar de una lista en el programa o ingresar datos específicos de él. Los datos requeridos por el chancador se agrupan en las siguientes 4 pestañas de la ventana de dialogo de ingreso se datos:

- **General:** ingreso de la información básica del equipo, en donde se deben seleccionar datos como el tipo de chancador (giratorio, cono, obsoleto, etc.), modelo de chancador disponible, tipo de cavidad (gruesa, media, fina, extra fina, etc.), y CSS. Al elegir un chancador que se encuentre dentro de los modelos disponibles de equipo, se entregará una lista de datos del chancador, donde podemos encontrar datos de setting máximo y mínimo, máxima potencia, rpm, entre otros. En el caso de que el chancador no se encuentre disponible en la lista de modelos disponibles, Bruno da la posibilidad de crear un chancador, para lo cual se requiere información adicional del equipo como la granulometría de descarga, capacidad, máxima potencia, entre otros.
- **Load:** en esta pestaña se ingresa información sobre la capacidad de carga del chancador, la cual para el caso de crear un chancador se debe ingresar la capacidad del equipo, pero en caso de utilizar un equipo conocido, solo se puede modificar el factor de capacidad. Además, permite ingresar la humedad del mineral.

- Gradation: granulometría de descarga del chancador. En caso de operar con un chancador conocido, solo se puede modificar el factor de granulometría, pero en caso de crear un chancador, se debe conocer si o si la granulometría del producto.
- Power: potencia del chancador al 100% de carga, para lo cual los chancadores conocidos tienen un valor definido, pero al momento de crear un chancador este factor se debe definir.

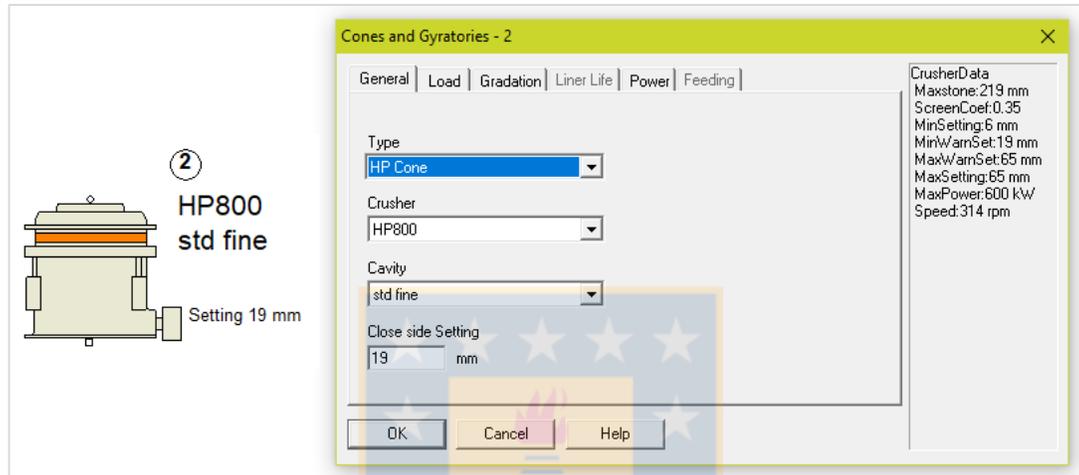


Figura 14. Ventana de ingreso de información del chancado.

3. Harneros

El harnero de la planta de prechancado es del tipo banana, información a considerar al momento de ingresar la información del equipo a Bruno. Los datos requeridos por el programa se agrupan en dos pestañas, las cuales se describen a continuación:

- General: se ingresa la información general del harnero. Su interfaz y modo de ingreso de datos es bastante parecida a la interfaz de los chancadores. Es necesario ingresar el tipo y modelo del harnero, si es que opera en húmedo, la abertura o separación de los Deck del harnero y el número de harneros operando en paralelo para una misma alimentación. En el caso de no encontrar un harnero similar al deseado, Bruno da la opción de crear un harnero, para lo cual pide datos extras a los mencionados como lo son velocidad, largo y ancho del harnero.
- Deck: en esta pestaña se debe ingresar el tipo de panel utilizado en el harnero, además de la forma de la apertura, relación del largo/ancho de los slots y área abierta disponible para el harneado en el equipo.

La operación del harnero puede ser de las siguientes maneras:

- Simulate: el equipo simula y calcula la eficiencia de clasificación, flujos de sobre y bajo tamaño, todo esto de acuerdo a la alimentación de entrada.
- Calculate área: el equipo determina el área necesaria de harnado, para lo cual el circuito debe estar completo.
- 100% Efficiency: esta opción no considera los cálculos del harnero y utiliza valores de corte nominales para el equipo.
- 90% Efficiency: fuerza al equipo a operar a un 90% de eficiencia, lo que significa que 10% del bajo tamaño abandona el equipo por la corriente de sobre tamaño.

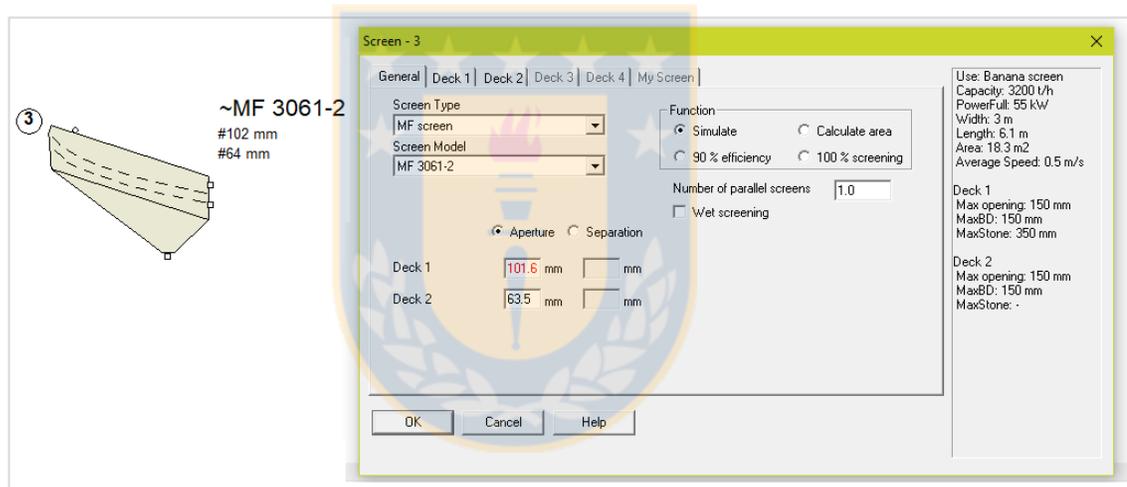


Figura 15. Ventana de ingreso de información del harnero.

3. Desarrollo

Como fue mencionado con anterioridad la etapa de prechancado fue implementada en DAND con el objetivo de mejorar el tratamiento del molino SAG al tener una granulometría más fina de alimentación al molino. En el presente trabajo se plantearon alternativas de mejoramiento de la etapa de prechancado buscando una alimentación más fina al SAG, para obtener un mayor tratamiento.

Para el análisis de las alternativas a evaluar se realizó un estudio del desempeño de la planta de prechancado, a través de la revisión de estudios hechos con anterioridad y data operacional.

3.1 Data operacional

Mediante el análisis de datos obtenidos por el programa PI ProcessBook y revisión de muestreos en planta realizados con anterioridad se logró sentar la línea base del proyecto determinando las curvas características de alimentación al molino SAG.

En primera instancia se revisaron muestreos de la correa A-3 (producto de chancador primario) comprendidos entre el año 2014 y 2017 (Anexo F), con esto se determinó las curvas granulométricas de alimentación al chancador HP800, mostrando las curvas del mineral más fino y más grueso de los muestreos. Con estas curvas se logra sentar la línea base del estudio, determinando, por medio de un balance de masa, cuanto mineral debería ingresar al chancador de prechancado de acuerdo a la granulometría más fina y más gruesa.

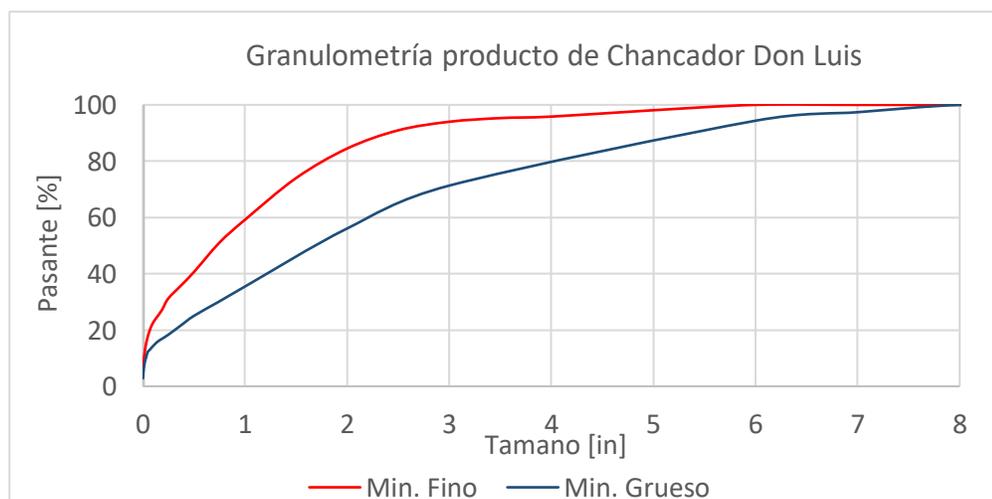


Figura 16. Curvas granulométricas para mineral más fino y grueso de acuerdo a muestreos.

Con estas curvas, de alimentación a la planta de prechancado, se determinó cuanto mineral como máximo podría entrar al chancador HP800, de acuerdo a las granulometrías fina y gruesa. Esto en base a una alimentación de 1700 [tph] a la planta de prechancado y con una eficiencia de clasificación en cada deck del harnero de 90% (por ende una eficiencia global de harneado de 81%). Para la realización de estos cálculos se utilizó la ecuación 2 que detalla el cálculo de eficiencia de clasificación ^[11].

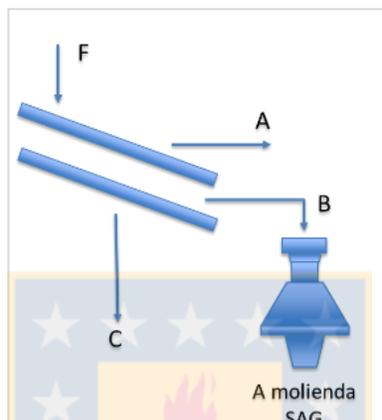


Figura 17. Diagrama de balance en Harnero

$$Eficiencia = 100 * \frac{\text{material que pasa por la malla}}{\text{material bajo tamaño de la apertura en alimentación}} \quad (2)$$

Tabla 1. Resumen Balance de masa en Harnero para granulometría fina y gruesa.

Flujo	Min. Fino	D80 [um]	Min. Grueso	D80 [um]
<i>F [tph]</i>	1700	44944	1700	98946
<i>A [tph]</i>	232	117013	463	154850
<i>B [tph]</i>	217	60798	350	75570
<i>C [tph]</i>	1251	27378	887	36581

De la tabla se aprecia que con las granulometrías existentes podría entrar al chancador entre 217 y 350 [tph]. Como información adicional se tiene que por catálogo el tonelaje que puede procesar el chancador HP800 con una coraza de perfil fino a un css de 19 [mm] va de 435 a 545 [tph]^[12], por lo que por razones de granulometría ROM, queda restringido el tratamiento del Chancador.

3.1.1 Filtro de datos

El sistema PI no discrimina cuando las mediciones son cero o la planta se encuentra en mantención o simplemente no registró bien el dato, por esto hay que analizar por separado cada una de las variables en juego y determinar la frecuencia de datos que posee, analizar los puntos típicos y atípicos para así filtrar los datos de tal forma que la data final obtenida sea representativa y refleje un funcionamiento normal de esta.

Una forma rápida y eficiente para lograr observar la frecuencia de los datos es por medio de histogramas. Éstos son la representación gráfica de una variable en forma de barras donde la superficie de cada barra es proporcional a la frecuencia de los valores representados. Así, por ejemplo, para el tonelaje del molino SAG se obtiene el siguiente histograma:

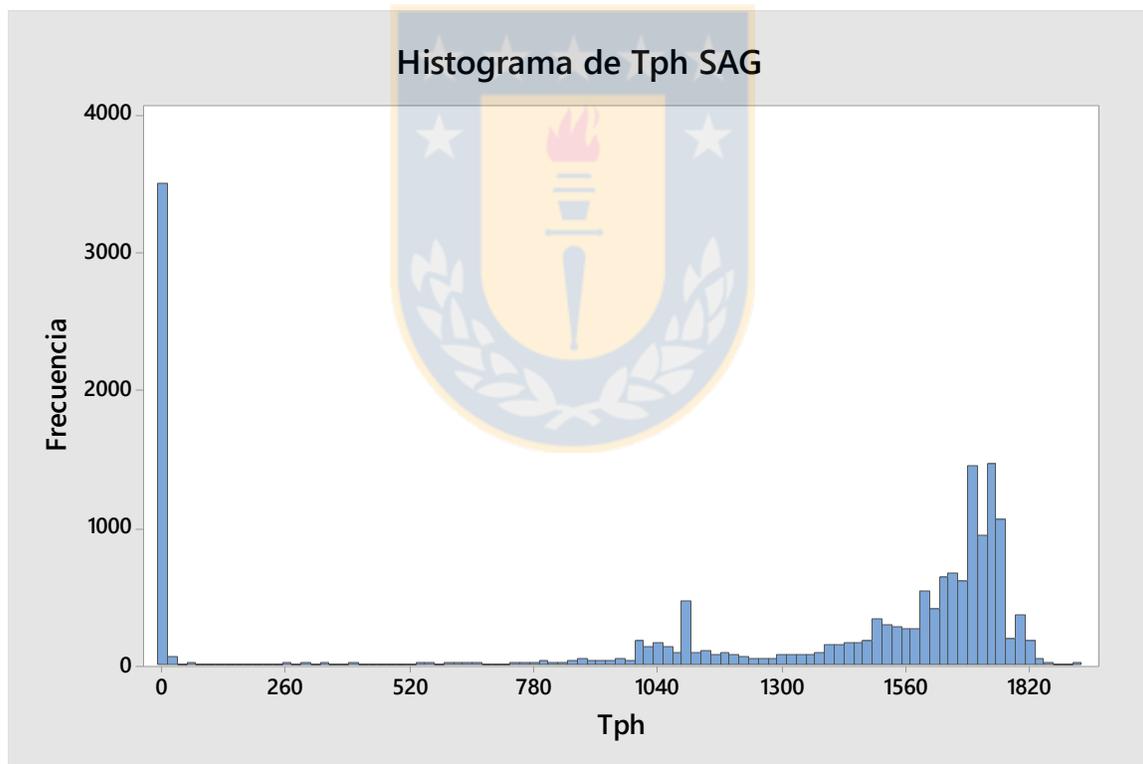


Figura 18. Histograma de tratamiento del molino SAG.

En la Figura 18 se puede ver claramente que hay numerosos datos con un valor cero. Esto puede significar que en ese momento el molino SAG no se encontraba en funcionamiento, estaba en mantención o que había algún tipo de problema operacional, además se observa que sobre las

1100 [tph], el tratamiento tiene un comportamiento normal, así aplicando este filtro a los datos se tiene:

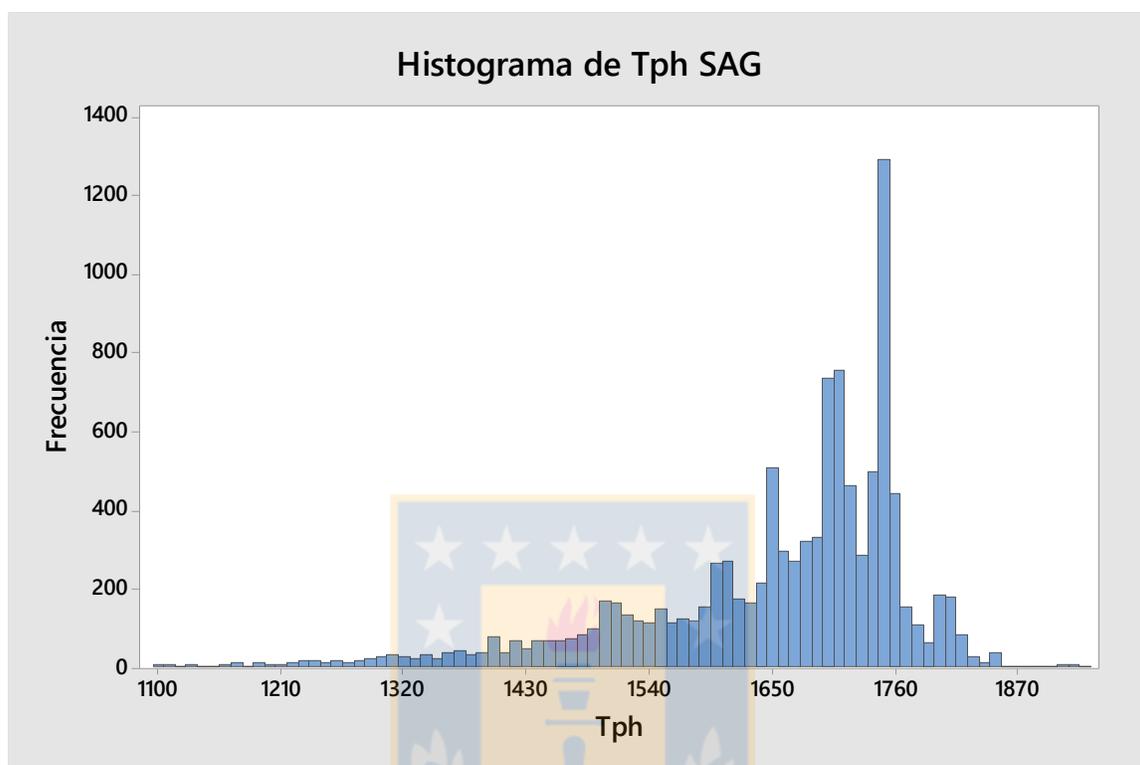


Figura 19. Histograma de tratamiento del molino SAG con datos filtrados.

Finalmente se aplicó este análisis a las otras variables de operación, determinando los criterios para el filtro de toda la data operacional.

Tabla 2. Criterios para filtro de data operacional.

	Variable operacional	Criterio
Tonelaje	Molino SAG	Mayor a 1100 [tph]
	Molino SAG	Mayor a 9500 [kW]
Potencia	Molino de bolas 1	Mayor a 5000 [kW]
	Molino de bolas 2	Mayor a 5000 [kW]
Velocidad	Molino SAG	Mayor a 8.5 [rpm]

3.1.2 Gráficas

Gracias a datos de Split online en la correa A-9 obtenidos a través de PI ProcessBook, se obtuvieron límites de % pasante en cada tamaño crítico de acuerdo a tratamientos del molino SAG.

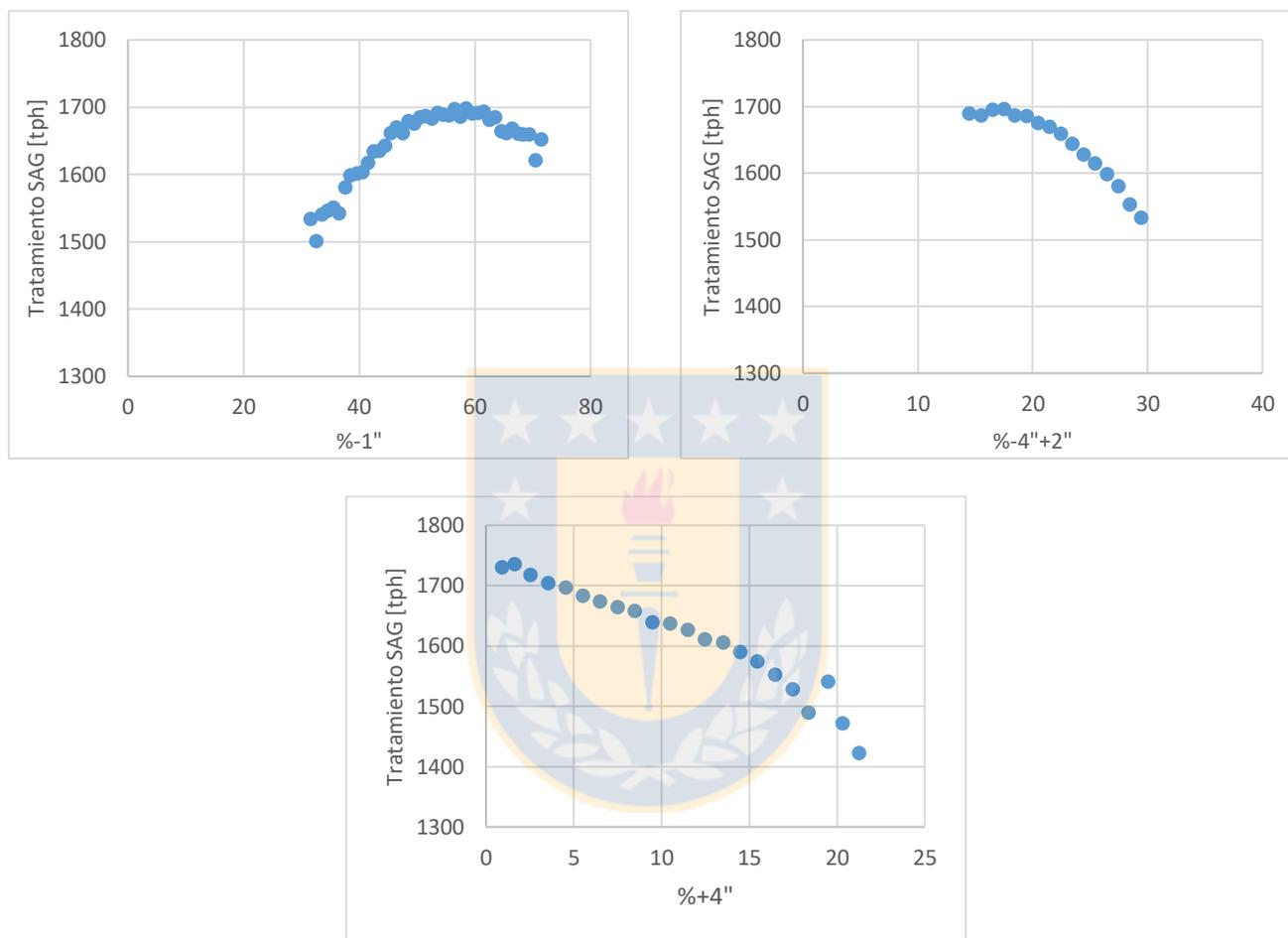


Figura 20. Gráficas de tratamiento del molino SAG de acuerdo a % de tamaños críticos.

De las gráficas anteriores se observa con qué porcentajes de los tamaños $-1''$, $-4''+2''$ y $+4''$ en la correa A-9 (alimentación SAG) se tiene un mayor tratamiento en el molino, indicando estos límites óptimos en la siguiente tabla:

Tabla 3. Límites óptimos de % pasante en alimentación a SAG para mayores tratamientos.

Tamaño	Porcentaje
+4"	Entre 1 y 5 %
-4"+2"	Menor a 17%
-2"+1"	Entre 24 y 30%
-1"	Entre 50 y 65 %

Además se determinó la curva característica de alimentación al SAG en función del tonelaje tratado, en donde se observa que a una granulometría más fina el tratamiento del molino es mayor.

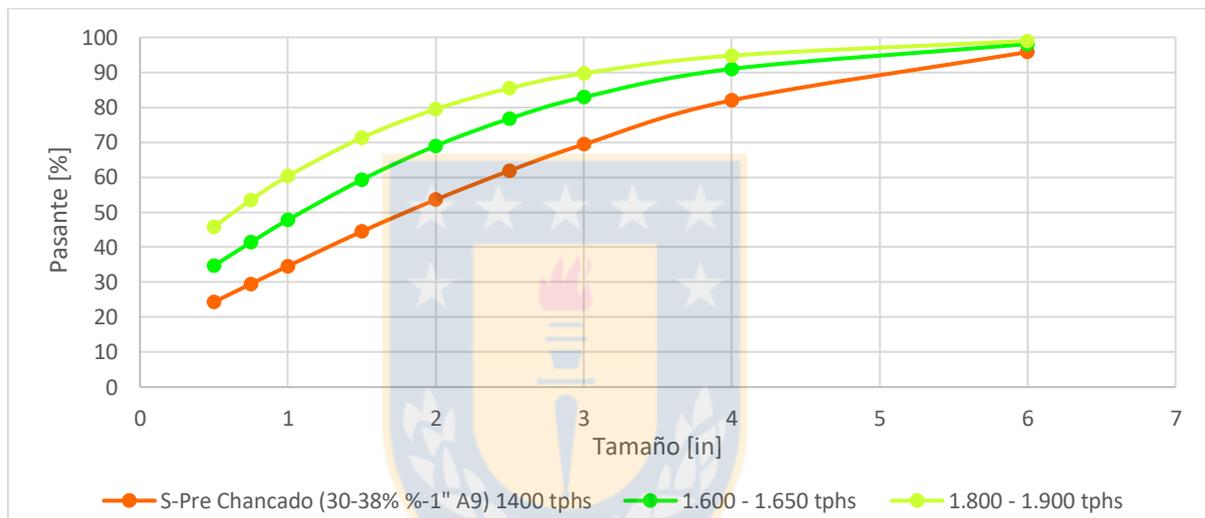


Figura 21. Granulometría A-9 v/s tratamiento SAG

3.2 Muestras en correas

Se realizaron muestreos en correas C-52 (alimentación a chancador) y C-55 (producto chancador), con el fin de encontrar parámetros para el simulador. Estos muestreos se realizaron con el apoyo de personal CESMEC del laboratorio metalúrgico de acuerdo a procedimientos y protocolos de la división (Anexo A). Cabe señalar que se muestrearon 2 [m] de cada correa solicitada.

Posteriormente las muestras son trasladadas al laboratorio para su análisis granulométrico, en el cual se utilizaron 2 equipos, primero el harnero Gilson con su set de mallas y luego el Ro-tap con su set de tamices. En el primero se ingresa todo el mineral muestreado por tandas de no más de 10 [kg], luego el bajo tamaño (-#4) se homogeniza y se toma una muestra representativa de aproximadamente

700 [g], la cual después de un proceso de deslamado con malla #200 y de secado se lleva al ro-tap por un tiempo de 15 [min].

Tabla 4. Tamaño de mallas y tamices utilizados para análisis granulométrico.

Set de Mallas	6"	5"	4"	3.5"	3"	2.5"	2"	1.5"	1"	0.75"	0.5"	0.375"	0.25"	#4
Set de Tamices	#6	#8	#12	#16	#20	#30	#40	#50	#70	#100	#140	#200	-	-

Tabla 5. Condiciones de muestreos

Fecha muestreo	N°	C-52	C-55	
			Css Chancador: 19 [mm] (Op. Normal)	Css Chancador: 38 [mm] (Op. By-pass)
08-01-2016	1	X	X	
31-05-2016	2	X	X	
31-08-2017	3	X	X	X
12-09-2017	4	X		X
30-10-2017	5	x		x

3.3 Análisis de alternativas

De acuerdo a la revisión de muestreos realizados en planta para las correas C-52 y C-55 con un css en el chancador de 19 [mm] (operación Normal), se observa que hay un bajo ingreso de carga al chancador.

Tabla 6. Tratamiento del Chancador HP800.

Fecha	Tratamiento [tph]	-4"+2"			Tratamiento chancador [tph]
		C-52	C-55	C52-C55	
12-11-2015	1400	39.60	31.30	8.30	116
08-01-2016	1700	26.48	13.60	12.88	219
31-05-2016	1850	25.09	21.00	4.09	76
31-08-2017	1670	20.52	15.08	5.44	91

Esta baja carga también se puede corroborar con la baja corriente que ha tenido el chancador, la cual debería encontrarse entre 70 y 90 [A] y sólo alcanza valores de alrededor de los 50 [A] (Anexo B), de aquí se ve que los cambios que se deben realizar deberán ser a nivel de la clasificación, buscando una mayor reducción del tamaño intermedio.

Dentro de los factores que afectan la eficiencia de clasificación del harnero, se tiene que las variables que podrían ser modificadas son la velocidad de alimentación al harnero y el porcentaje de área libre. Por lo tanto estas serán dos alternativas a evaluar además de una tercera que implica un cambio en la forma de operar la planta de prechancado, alternativas que pueden observarse en la siguiente figura:



Figura 22. Esquema de las diferentes alternativas de cambios.

3.3.1 Alternativa 1: Estudio del diseño del chute de alimentación

Actualmente el mineral que va desde la correa C-52 al harnero pasa por un chute de alimentación, en el cual hay presentes tres camas de piedras, que fueron instaladas con el objetivo de disminuir la velocidad de alimentación al harnero. Estas camas se comenzaron a instalar en noviembre del año 2015 en donde se tenía que la carga llegaba al harnero con una velocidad de 9.38 [m/s].

Para el estudio de esta alternativa, se consideró el principio de conservación de la energía mecánica, donde,

$$E^{\circ}_{c1} + E^{\circ}_{p1} = E^{\circ}_{c2} + E^{\circ}_{p2} \quad (3)$$

$$E^{\circ}_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad (4)$$

$$E^{\circ}_p = mgh \quad (5)$$

E°_c : Energía Cinética

E°_p : Energía Potencial

m : masa [ton]

v : velocidad [m/s]

g : aceleración de gravedad, 9.8 [m/s²]

h : altura [m]

De acuerdo a la ecuación 3, se calculó la velocidad de llegada del mineral al harnero en diferentes escenarios, cambiando la altura de todas las camas de piedras o solo de algunas con la restricción de que la velocidad en cada cama de piedras fuese disminuyendo de una a la otra.

3.3.2 Alternativa 2: Estudio de cambio de módulos del harnero

Con un cambio de módulos se puede modificar el % de área libre. Para esto primero se utilizó el software Bruno ingresando los muestreos 2, 3 y 4; en los cuales al buscar los parámetros de calibración nos señala que se debe aumentar el área libre del deck superior y disminuir la del deck inferior.

Tabla 7. Datos de %Área libre de muestreos.

		%Área libre (Muestreo)	%Área libre (BRUNO)	Diferencia	Aumento de %Área libre total
08-01-2016	Deck 1	27.47	30.0	2.53	10.58
	Deck 2	23.25	31.3	8.05	
31-05-2016	Deck 1	27.31	30.0	2.69	11.11
	Deck 2	21.68	30.1	8.42	
31-08-2017	Deck 1	27.47	30.5	3.03	12.18
	Deck 2	23.25	32.4	9.15	

Posteriormente se evaluó sólo modificar el deck superior ya que en planta se observó que el mineral fino se dirige directamente hacia la tolva de grueso, sin ser clasificado. De esta forma se requiere aumentar en aproximadamente un 11% el área libre del deck superior.

En el caso de los harneros con inclinación, se tiene que por concepto de “sombra”, generado por el ángulo de inclinación y por el espesor del módulo, existe una disminución del largo efectivo de la abertura del módulo, por lo cual se tiene un largo proyectado con el cual se calcula el área efectiva de harneado, donde:

$$l_{proyectado} = \text{Cos}(\alpha) * [l - (e * \text{Tan}(\alpha))] \quad (6)$$

l: Largo de Abertura

e: espesor del módulo

α : Ángulo de inclinación



3.3.3 Alternativa 3: Estudio de cambio de forma de operación de planta prechancado

Actualmente la planta de prechancado opera enviando el mineral de tamaño intermedio (-4”+2.5”) al chancador, con el objetivo de reducir esta fracción, ya que estos tamaños generan las partículas denominadas pebbles, las cuales interfieren en la molienda SAG, afectando al tratamiento del molino. En la práctica se ha visto que la reducción de esta fracción entre la correa C-52 y C-55 es muy baja, siendo en el mejor de los muestreos de un 50%, cuando debería estar cercana al 90%. Es por esto que nace la idea de modificar la operación pasando de la operación normal (css chancador 19 [mm]) a una operación con by-pass (css chancador 38 [mm]), en la cual se ingresa al chancador tanto el mineral intermedio como el sobre tamaño del harnero.

Por otro lado, al tener un ingreso de tamaños de mayor magnitud la capacidad de tratamiento del chancador disminuye de 1700 [tph] a 1000[tph], es por esto que se plantea un cambio de perfil de coraza de fino a medio con un css en el chancador de 25 [mm] alcanzando un tratamiento de 1500 [tph].

Para esta alternativa se utilizó el software BRUNO mediante el ingreso de los muestreos 3, 4 y 5, muestreos en los cuales se tenía una condición de by-pass en la planta, con un css en el chancador de 38 [mm]. En primer lugar se debe ingresar al simulador la granulometría de la correa C-52 y luego comparar la granulometría de salida con la del muestreo en la correa C-55, buscando que estas se acerquen o igualen cambiando parámetros en el harnero como apertura de los decks y/o modificando el % de área libre. Teniendo estos parámetros ya se puede comenzar a simular el cambio de coraza con un setting en el chancador de 25 [mm].

Finalmente con la granulometría obtenida con el programa se realizó un balance de masa, con el objetivo de calcular que granulometría ingresaría al molino SAG y ver así como ésta afecta en el tratamiento del molino.

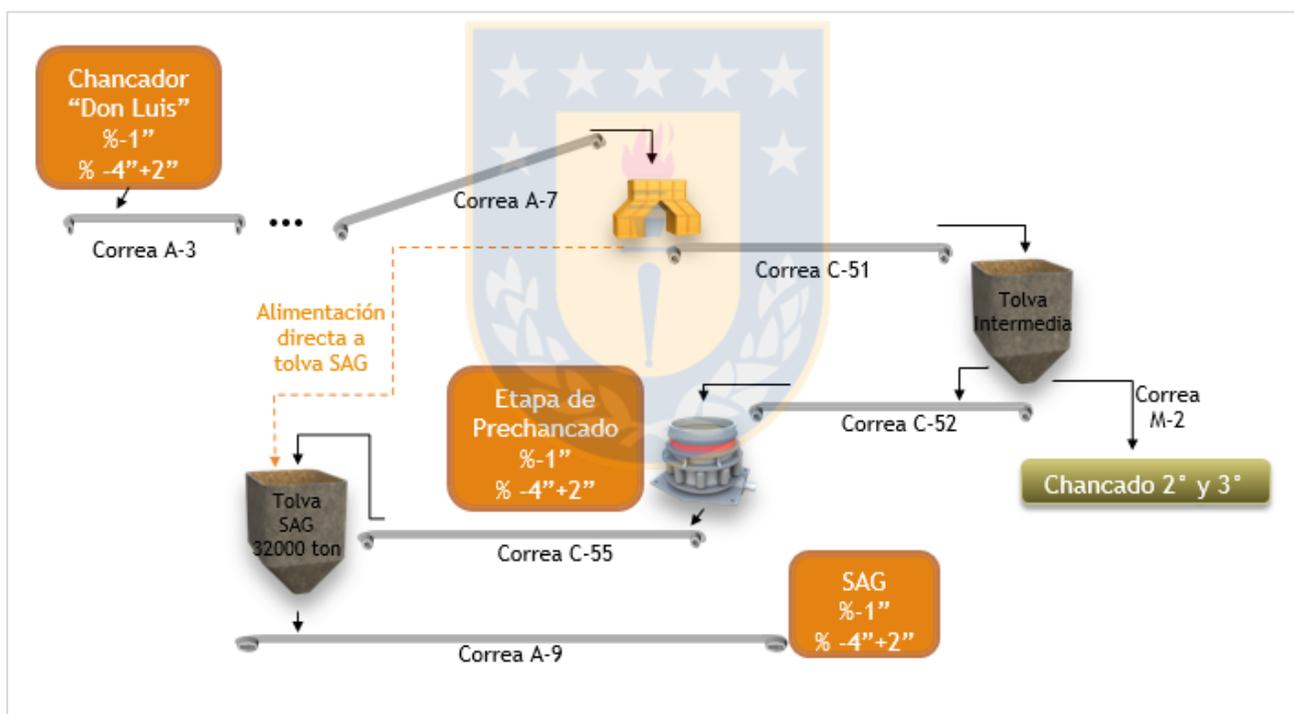


Figura 23. Diagrama para balance de masa prechancado/SAG.

$$M_{(A-9)} * \%_{(A-9)} = md * \%_{(C-52)} + M_{(C-55)} * \%_{(C-55)} \quad (7)$$

$$md = M_{(A-9)} - M_{(C-55)} \quad (8)$$

Donde,

$M_{(A-9)}$: Tratamiento del molino SAG, 39000 [tpd]

$M_{(C-55)}$: Tratamiento planta de Prechancado [tph]

$\%_{(A-9)}$: Porcentaje pasante de un tamaño determinado en correa A-9

$\%_{(C-52)}$: Porcentaje pasante de un tamaño determinado en correa C-52

$\%_{(C-55)}$: Porcentaje pasante de un tamaño determinado en correa C-55

md : Alimentación directa a tolva SAG [tph]

3.4 Calibración del Software BRUNO

Para el desarrollo de las alternativas 2 y 3 se usó el programa simulador BRUNO, con el cual el primer paso para su utilización fue calibrarlo mediante muestreos correspondientes, así para la alternativa dos se utilizaron los muestreos 1, 2 y 3 con una operación normal y un css en el chancador de 19 [mm], y para la alternativa número tres se emplearon los muestreos 3, 4 y 5 con una operación by-pass y un css de 38 [mm] en el chancador.

La calibración consistió, en primer lugar, en dibujar el diagrama de operación correspondiente con las condiciones de operación de cada muestreo, luego se ingresó en la alimentación los datos de granulometría de la correa C-52 y se comparó el producto entregado por BRUNO con los datos de la correa C-55 entregados por el laboratorio metalúrgico, así mediante la modificación de los tamaños de abertura de cada deck se buscó que las curvas simuladas y las curvas de los muestreos se acercaran lo más posible (Anexo D), entregando los parámetros de ajuste en las tablas 8 y 9.

Tabla 8. Parámetros de ajuste de BRUNO para alternativa número 2.

	Condiciones Muestreo		Parámetros Ajuste	
	Deck 1 [mm]	Deck 2 [mm]	Deck 1 [mm]	Deck 2 [mm]
<i>Muestreo 1</i>	101.6	63.5	101.6	68.0
<i>Muestreo 2</i>	101.6	63.5	95.0	78.0
<i>Muestreo 3</i>	101.6	63.5	70.0	54.0

Tabla 9. Parámetros de ajuste de BRUNO para alternativa número 3.

	Condiciones Muestreo		Parámetros Ajuste	
	Deck 1 [mm]	Deck 2 [mm]	Deck 1 [mm]	Deck 2 [mm]
<i>Muestreo 3</i>	101.6	63.5	101.6	63.5
<i>Muestreo 4</i>	101.6	63.5	101.6	63.5
<i>Muestreo 5</i>	101.6	63.5	101.6	63.5

4. Resultados y Discusiones

4.1 Alternativa 1: Estudio del diseño del chute de alimentación

Se realizó un análisis de la velocidad con la cual llega el mineral al harnero, considerando que la velocidad inicial en los puntos 2, 3 y 4 es de 0 [m/s]. Actualmente con las camas de piedras que se encuentran al interior del chute se tiene una velocidad de alimentación de 3.83 [m/s], la cual es considerada alta ya que esta debiese encontrarse entre 1 y 3 [m/s]. En planta se tiene la restricción de que la distancia mínima entre la última cama de piedras y el harnero debe ser de 60 [cm] por posibles problemas de atochamiento del equipo por acción de lajas provenientes del chancado primario, con esta distancia la velocidad en el punto 5 es de 3.43 [m/s], como esta velocidad se encuentra fuera del rango óptimo se buscaron modificaciones en las alturas de las camas de piedras buscando que esta velocidad fuese menor o igual a 3 [m/s].

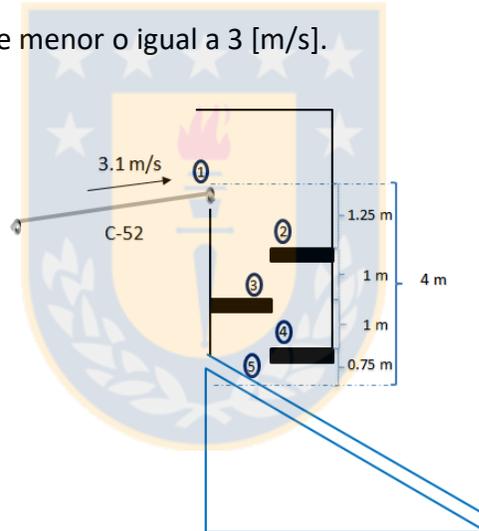


Figura 24. Esquema de situación actual de camas de piedras en chute de alimentación.

Tabla 10. Resultados de cambio de altura de camas de piedras.

	Caso Actual		Caso con Restricción		Caso 1		Caso 2		Caso 3	
	h [m]	v [m/s]	h [m]	v [m/s]	h [m]	v [m/s]	h [m]	v [m/s]	h [m]	v [m/s]
1	4.00	3.10	4.00	3.10	4.00	3.10	4.00	3.10	4.00	3.10
2	2.75	5.84	2.75	5.84	3	5.40	2.75	5.84	2.75	5.84
3	1.75	4.43	1.75	4.43	1.5	5.42	1.6	4.75	1.5	4.95
4	0.75	4.43	0.60	4.75	0.45	4.54	0.46	4.73	0.32	4.81
5	0	3.83	0	3.43	0	2.97	0	3.00	0	2.50

De la tabla 10 se aprecia que ninguna alternativa cumple la restricción de los 60 [cm], aun así se quiso analizar con que altura de la última cama de piedras se cumpliría el rango óptimo de velocidad de alimentación la mejor opción sería el caso número 3 en donde la velocidad de llegada al harnero es de 2.5 [m/s], pero por temas operacionales en ocasiones en la planta existen partículas denominadas lajas, que tienen forma alargada de aproximadamente 30 [cm] de largo, por lo cual con una distancia tan baja entre la última cama de piedras y el harnero podría ocurrir un “atochamiento” del equipo por entrecruzamiento de estas partículas, luego el caso 1 pareciese ser la mejor opción con una distancia entre harnero y cama de piedras de 45 [cm] y una velocidad de alimentación de 2.97 [m/s]

4.2 Alternativa 2: Estudio de cambio de módulos del harnero

En esta alternativa se evaluó sólo cambiar los módulos del deck superior, lo que lleva consigo aumentar el área libre en un 11%. Actualmente el primer deck tiene módulos de 4”x4” y de 80 [mm] de espesor, así su área libre es de 27.5% ya que la primera fila posee módulos ciegos.

Por lo tanto se buscaron módulos que estuviesen dentro del contrato asociados a la planta de prechancado que cumplieren con esta área libre de aproximadamente 38%.

Los paneles asociados a la planta de prechancado, en el contrato marco, son:

- 4” x 4”, espesor 80 [mm]
- 9” x 5”, espesor 80 [mm]
- 5” x 5”, espesor 80 [mm]

Con los cuales se tendrían las siguientes áreas libres:

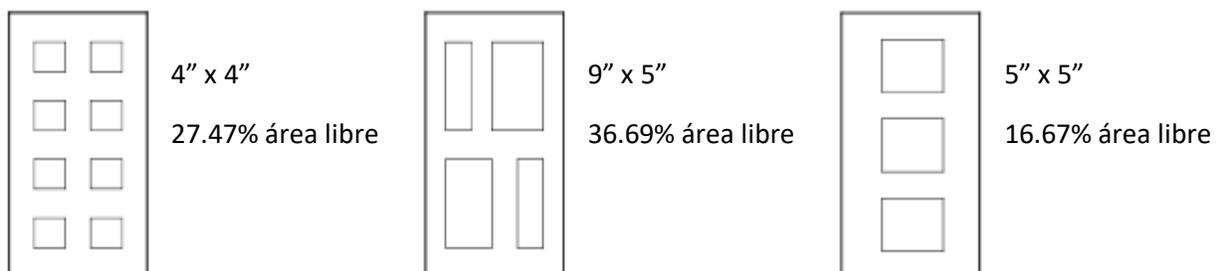


Figura 25. Esquemas de módulos dentro de contrato para deck superior.

Dentro de esto la mejor opción es el de 9" x 5", la cual si bien no llega al área libre de 38% si es cercana por lo cual se supondría que debiese entrar más carga al chancador. Un inconveniente de este módulo es la abertura más pequeña la cual tiene un ancho de 2.5", ya que sería una abertura que no serviría para clasificar tamaños cercanos a 4". Así otra opción de módulos, y que se realizó con anterioridad, es cortar los módulos ya existentes transformándolos en 4" x 11.5" aumentando el área libre a un 38.23%, opción que actualmente por razones de seguridad no se puede realizar dentro de las instalaciones de Andina, es por esto que sería necesario consultar a una empresa externa las posibilidades de esta transformación o ver otras opciones de módulos y licitar por ellos.

Para efectos de cálculos se utilizó el módulo de 9" x 5" para simular en BRUNO, así se graficaron las curvas granulométricas mostradas en la figura 27, que corresponden al producto obtenido en la correa C-55 para un mineral fino, grueso e intermedio.

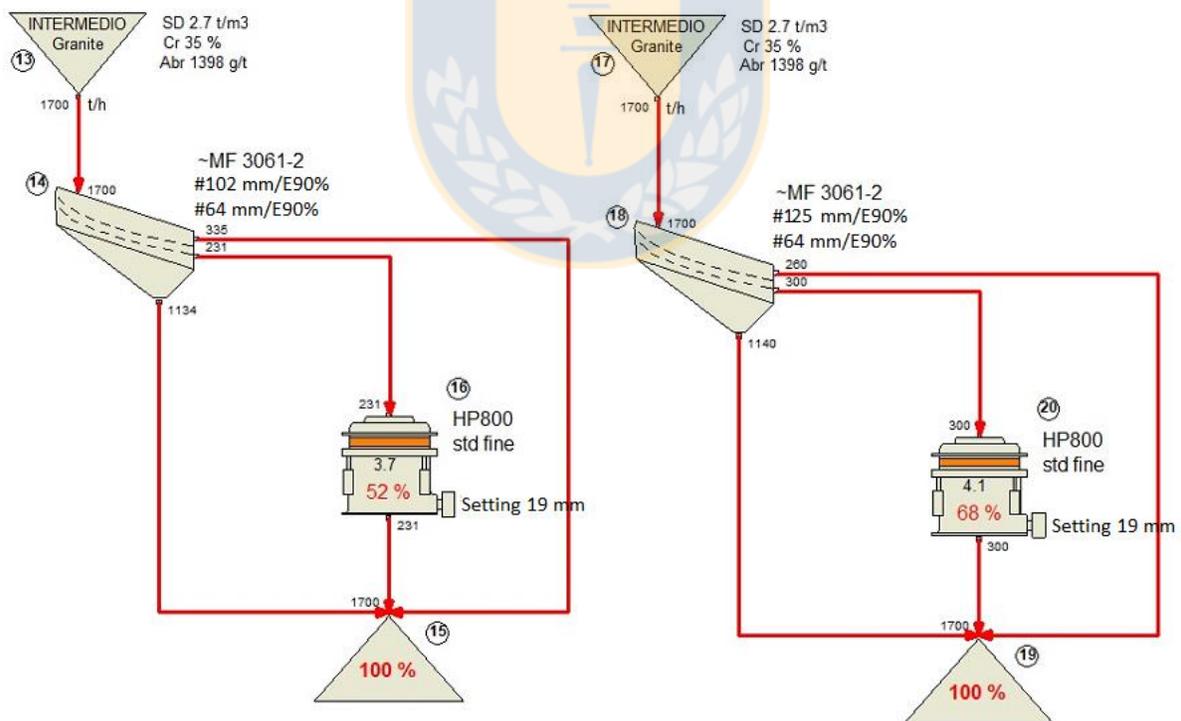


Figura 26. Diagrama de simulación en Bruno.

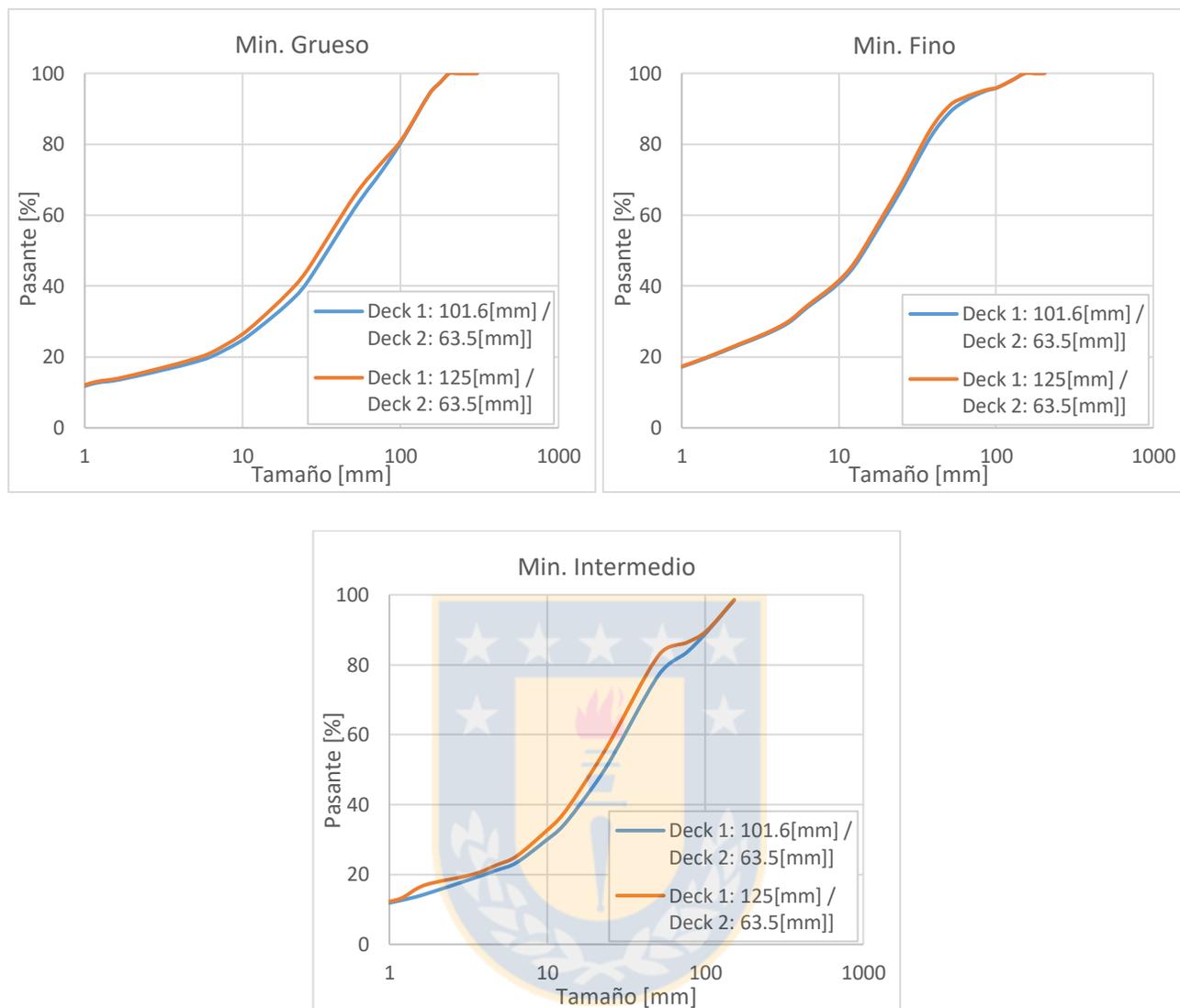


Figura 27. Curvas granulométricas simuladas en C-55 para cambio de %Área libre.

Finalmente con el balance de masa detallado en el punto 3.3.3 se determinaron los porcentajes pasantes en los tamaños de +4", -4"+2" y -1"; para la alimentación al molino SAG.

Tabla 11. Porcentajes Pasantes en alimentación al SAG, para un cambio de %Área libre.

	Min. Grueso		Min. Fino		Min. Intermedio	
	Módulo 4" x 4"	Módulo 9" x 5"	Módulo 4" x 4"	Módulo 9" x 5"	Módulo 4" x 4"	Módulo 9" x 5"
+4"	19.12	18.67	4.13	4.09	10.8	10.61
-4"+2"	19.15	16.05	9.37	8.51	18.05	15.71
-1"	40.82	44.22	63.03	63.77	47.11	49.57
D80 [μm]	98701	95916	41386	40098	69398	65337

Basándose en los resultados del mineral intermedio, se puede observar que con el cambio de módulos se produciría una disminución del D80 de 5.85%, con lo que se supone que habría un aumento de tratamiento en el molino SAG.

Sin embargo, no se cumplen los rangos de granulometría deseados por lo que el aumento de tratamiento del SAG no sería tan significativo, esto debido a que el tamaño mayor a 4" está muy fuera del rango deseado lo que dentro del molino podría generar más partículas de tamaño intermedio afectando la capacidad de este.

Estos resultados se pueden deber a que en BRUNO no se permite ingresar dos o más tamaños de aberturas para un mismo módulo, ni módulos distintos para un mismo deck, así sólo se ingresó el módulo de mayor tamaño y se modificó el área libre del nuevo módulo.

4.3 Alternativa 3: Estudio de cambio de forma de operación de prechancado

Con el ingreso de los muestreos al software BRUNO, se obtuvo que para la condición de by-pass a 38 [mm] el ajuste mejor fue dejando las aberturas actuales del harnero, es decir, 4" en deck superior y 2.5" en el inferior, luego con esta condición se simuló el cambio de perfil de fino con css de 38 [mm] a un perfil medio con un css de 25 [mm] para los casos de granulometría fina, gruesa e intermedia.

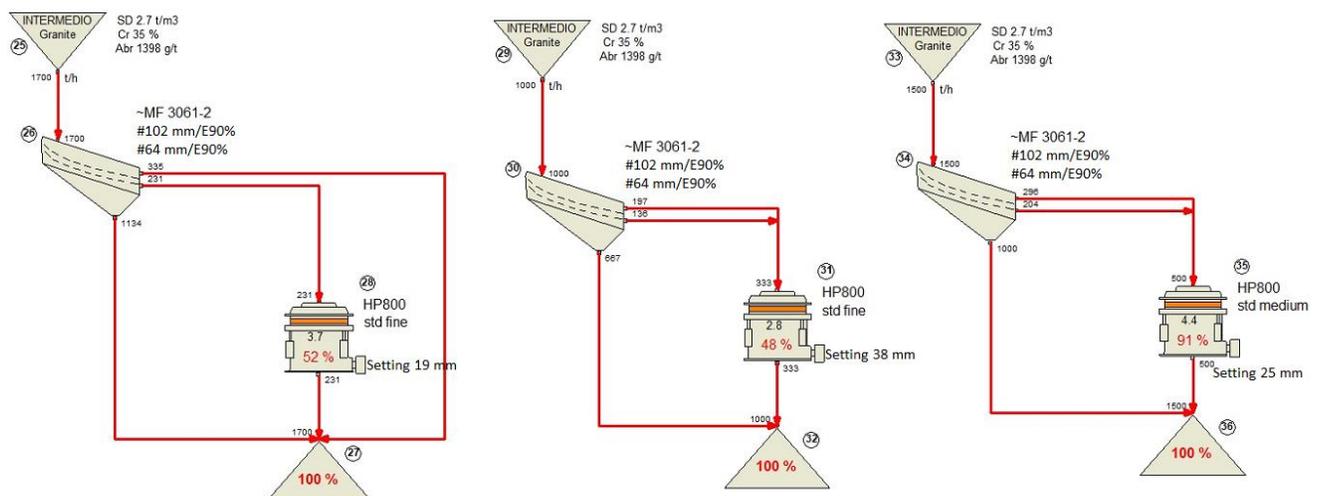


Figura 28. Diagramas para simulación en BRUNO para un cambio de operación y de perfil de coraza.

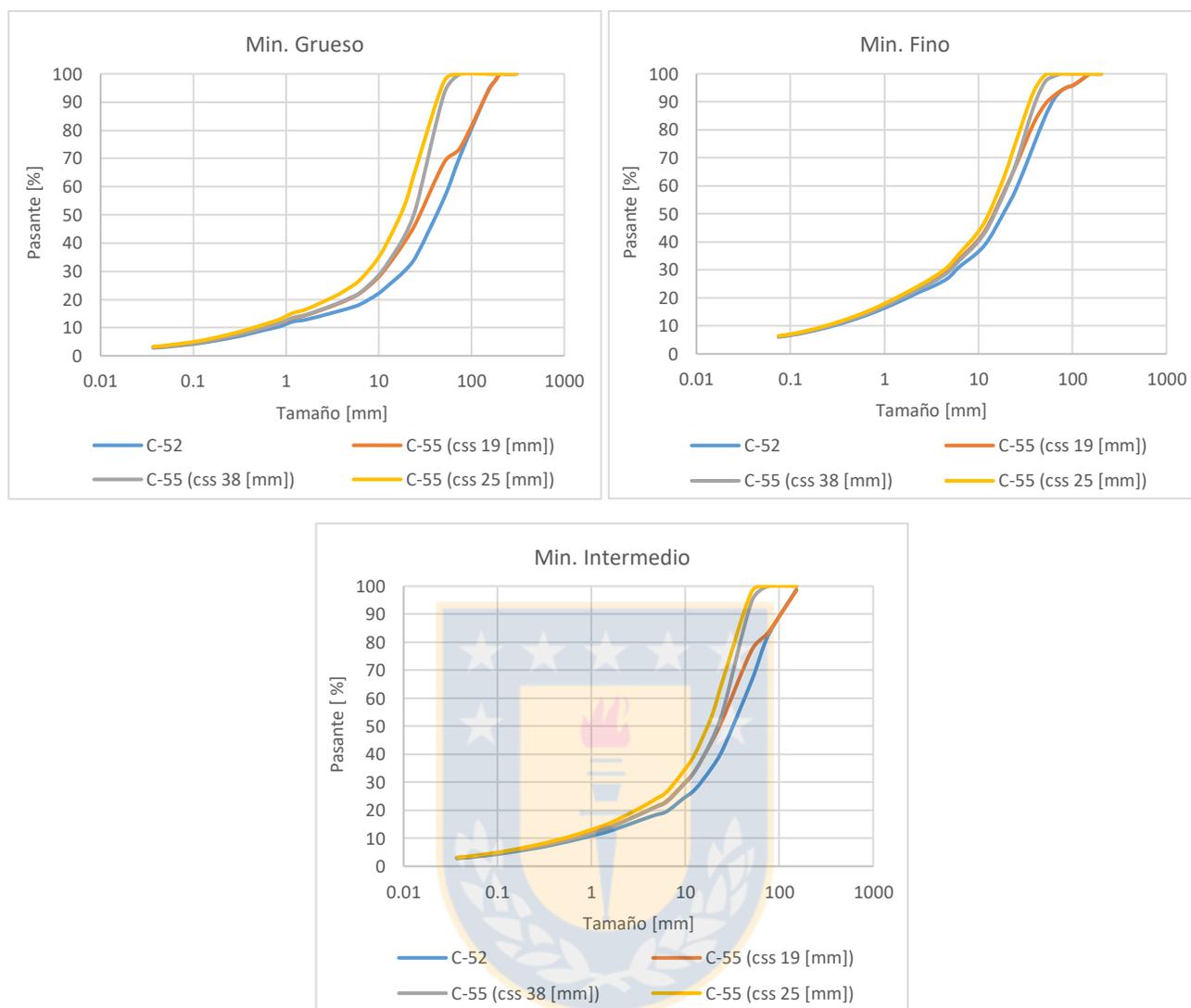


Figura 29. Curvas granulométricas simuladas en C-55 (producto) para cambio de operación y coraza del chancador.

De la figura 29 claramente se observa que sólo con el cambio de operación de la planta se obtiene un producto más fino, luego al simular el cambio de perfil se vuelve aún más fino y con la ventaja además que con este cambio de perfil se aumenta el tratamiento efectivo de la planta de prechancado con respecto al perfil fino con un css de 38 [mm] en el chancador, pasando de 1000 a 1500 [tph] de tratamiento.

Finalmente con estas curvas simuladas se realizó el balance de masa para ver cómo afecta esta granulometría en el molino SAG. Cabe señalar que el coeficiente de marcha de la planta de prechancado es de un 43% en promedio el año 2017, luego se utilizó este dato para la realización de los cálculos (Ver Anexo F).

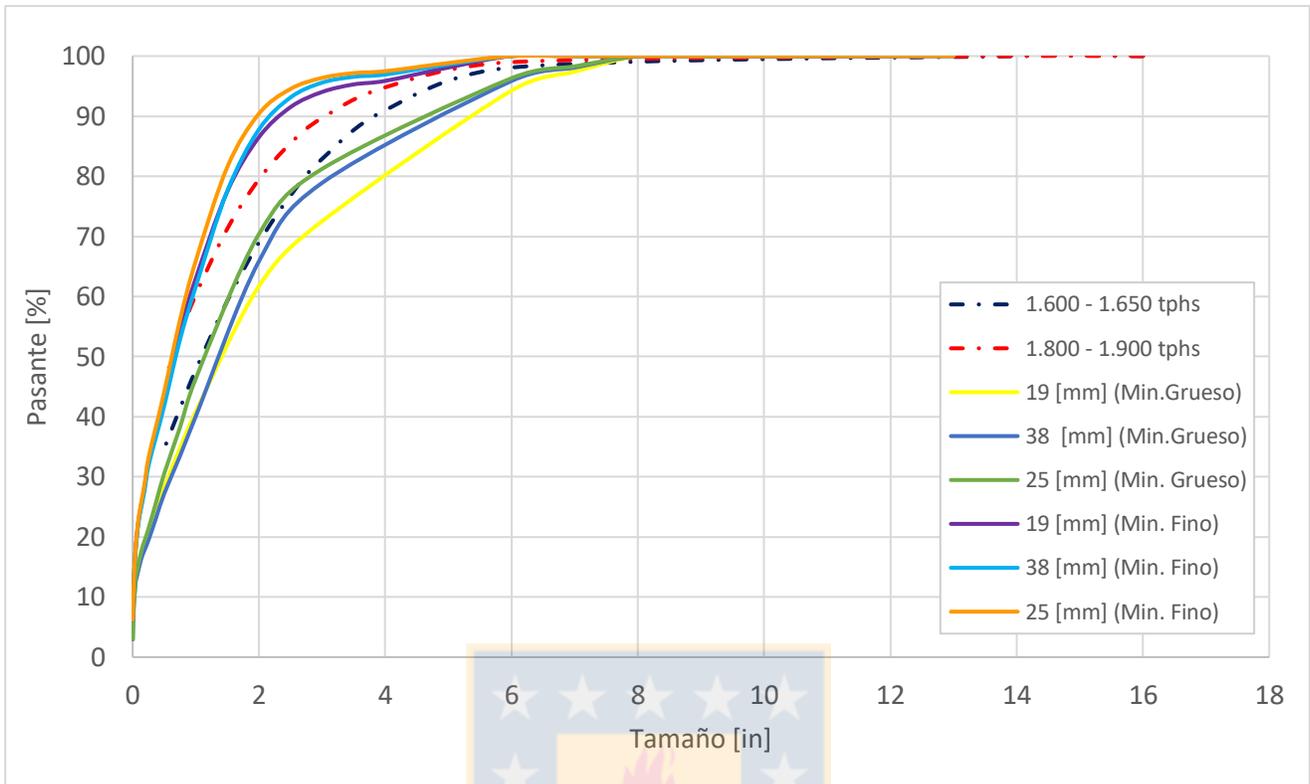


Figura 30. Curvas granulométricas de alimentación al molino SAG.

De la gráfica se observa que entre más cercana sea la curva con el eje y se tendrá un mayor tratamiento en el molino SAG, luego claramente se ve que la mejor opción es trabajar con by-pass en la planta y con un perfil de coraza medio en el chancador con un setting de 25 [mm]. Además en planta el trabajo con by-pass implica una mayor seguridad para los trabajadores, ya que el cambio de la compuerta dentro del harnero se realiza manualmente, así con el cambio de operación no se debería cambiar más la operación del harnero sirviendo esta opción tanto para la planta SAG como para la de chancado 3° y 4°. Para esta última planta solo debería cambiarse el css del chancador de acuerdo a las necesidades de granulometría de ésta.

Cabe señalar que con el cambio de operación y perfil la granulometría de alimentación al molino SAG debería encontrarse entremedio de las curvas verde y naranja, ya que estas son la representación de las granulometrías extremas de los muestreos.

Tabla 12. Porcentajes Pasantes en alimentación al SAG, para un cambio de operación y perfil de coraza del chancador.

	Min. Grueso			Min. Fino			Min. intermedio		
	19 [mm]	38 [mm]	25 [mm]	19 [mm]	38 [mm]	25 [mm]	19 [mm]	38 [mm]	25 [mm]
%+4"	19.12	14.06	12.51	4.12	3.07	2.51	10.80	7.94	6.52
%-4"+2"	19.15	20.07	17.10	9.37	9.14	7.07	18.05	18.33	14.64
%-1"	40.82	40.08	46.35	63.03	61.64	65.96	47.11	45.87	52.10
D80[μm]	98701	79831	72974	41386	40918	36708	69398	62032	53252

Además del balance realizado para la correa A-9 se observa en la tabla 12 que para el mineral de granulometría más fina se cumplen todos los parámetros de límites dados con anterioridad, es decir, %+4" entre 1 y 5%, %-4"+2" menor al 17% y %-1" entre un 50 y 65%. Como en planta se tienen curvas entre el mineral grueso y fino, se tomó un mineral con granulometría intermedia con la cual se observa que en general igual se cumplen estos límites, a excepción del tamaño +4", pero a pesar de esto con esta alternativa se tendría una disminución del D80 de un 23.3%, con lo cual se espera un aumento del tratamiento del molino SAG, el cual estaría dado básicamente por aumento de partículas de tamaño inferior a 1" y a la disminución del tamaño intermedio.

5. Conclusiones y recomendaciones

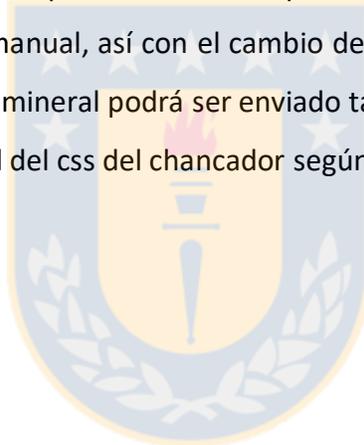
De acuerdo al análisis de datos de planta se observó que existía un problema en la etapa de prechancado, por el hecho de un bajo ingreso de mineral al chancador basados en la granulometría de entrada a la etapa, se tiene que debiese entrar entre 220 y 350 [tph] pero en promedio hay un ingreso de 130 [tph] al chancador. Además, esto se puede observar continuamente por el medidor de corriente del chancador, donde si aumenta la carga en el chancador aumenta la corriente de este, lo que no se ha visto a través del tiempo, ya que se tiene en promedio una corriente de 45 [A] debiendo esta estar entre 70 y 90 [A] para tener una operación óptima. Luego se plantearon tres alternativas con el objetivo de aumentar la carga del chancador para así tener una mayor fineza del producto entregado.

De las alternativas planteadas la primera que consiste en un cambio del diseño del chute de alimentación al harnero se consideró como no factible. Se tiene que si bien la instalación de las camas de piedras disminuye notablemente la velocidad de alimentación, esta sigue siendo bastante alta, teniendo que buscar alternativas de un cambio de altura de las camas de piedras, donde se vio que prácticamente la que tiene injerencia en la velocidad de alimentación es la última cama, la cual debiese estar ubicada a unos 45 [cm] del harnero, distancia que es considerada de peligro por un tema operacional, en el cual si vienen lascas desde el chancado primario podría ocasionar un atochamiento del harnero lo que implicaría una detención la planta por largo periodo de tiempo, afectando el tratamiento del molino SAG.

La segunda alternativa planteada, busca aumentar al área libre de harneado mediante una modificación de los módulos. Aquí se observó en planta que el mineral se estaba yendo por el chute de grueso, por lo cual se buscó aumentar el área libre del deck superior en un 11%. Luego se concluye que se deberían usar módulos de 9" x 5", con los cuales el área libre aumentaría de 27.5% a un 36.6%. Basándose en un mineral de granulometría intermedia se obtuvo, a través de las simulaciones, que si bien no se cumplen los requisitos de granulometría si hubo una disminución del D80 de un 5.85% en la alimentación al SAG, lo cual indicaría un aumento de tratamiento del molino.

La tercera alternativa que consiste en un cambio de operación y perfil de coraza del chancador, generaría un producto más fino con un D80 de 32607 [um] en la correa C-55, lo que se traduce en la alimentación al SAG en una disminución del D80 de 69398 [um] a 53252 [um], indicando que el molino SAG debiese tratar más mineral con esta opción.

Finalmente, se recomienda la tercera opción, es decir, trabajar con by-pass en el harnero y en el chancador tener un perfil de coraza medio y un css de 25 [mm], de acuerdo a esto se sugiere solicitar en préstamo una coraza de perfil medio a la planta de chancado 2° para realizar una prueba con el cambio de operación a by-pass y la nueva coraza, y así luego analizar una compra y un cambio definitivo de la coraza. Con esta opción además de generar un mayor tratamiento en el molino SAG, se tendrían mejores condiciones de seguridad para los trabajadores por el hecho de que actualmente cuando se requiere enviar el mineral prechancado a la planta de chancado fino se debe mover la compuerta del harnero de forma manual, así con el cambio de forma de operación descrito no será necesario mover la compuerta y el mineral podrá ser enviado tanto a la planta SAG y de chancado 3° y 4° sólo realizando cambios a nivel del css del chancador según los requerimientos de cada planta.



Bibliografía

- [1] **AUSTIN, L., CONCHA, F.**, *Diseño y simulación de circuitos de molienda y clasificación*, 1994.
- [2] **CODELCO CHILE**, *Memoria Anual 2016*, 2017.
- [3] **CODELCO CHILE DIVISIÓN ANDINA**, *Análisis de proceso opciones utilización Prechancado*, 2016
- [4] **CODELCO CHILE DIVISION ANDINA**, *Manual de proceso Prechacado*, 2003.
- [5] **CODELCO CHILE DIVISION ANDINA**, *Manual específico molino SAG y equipos anexos, Proyecto expansión Concentrador*, 1998.
- [6] **CRISTIAN RIQUELME CONTRERAS**, *Entrevista Minecrush 2016: “Alternativas de Chancado para optimizar un circuito de molienda SAG”*, Julio 2016.
- [7] **MAGNE, L., BARRIA, J., AMÉSTICA, R., MENACHO, J.**, *Evaluación de variables de operación en molienda Semiautógena*, Remetallica.
- [8] **MAGNE, L., TITICHOCA, G., VELASQUEZ, C.**, *Operación de plantas de molienda SAG: Una dura Realidad, Parte 3: Variables de Proceso*, VI SHMMT/XVIII ENTMME, Rio de Janeiro, Brasil, 2001.
- [9] **TITICHOCA, G., MAGNE, L., PEREIRA, G., ANDRADE, G., MOLINET, P.**, *Evaluación del concepto Mina- Planta, en la planta de molienda Semiautógena de división Andina de CODELCO Chile*, Remetallica, 2008.
- [10] **METSO MINERALS**, *Guía de aplicación de piezas de desgaste para trituradoras de cono Nordberg serie HP*, 2013.
- [11] **METSO MINERALS**, *Manual del usuario BRUNO Process Simulation*, 2014.
- [12] **METSO MINERALS**, *Molinos de cono Nordberg serie HP*, 2002.
- [13] **SOTO, W.**, *Process plant team presentation M2P – DAND Chile*, Orica, 2016.

Anexo A. Procedimiento de Muestreo

EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL REQUERIDO	MATERIALES Y EQUIPOS REQUERIDOS
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Calzado de seguridad. ▪ Casco de seguridad y lámpara ▪ Cinturón de seguridad y auto rescatador ▪ Arnés y Cola de seguridad ▪ Guantes de trabajo (cuero) ▪ Buzo piloto. ▪ Protector respiratorio con filtros para polvo. ▪ Gafas de seguridad transparentes. ▪ Protector auditivo. 	<p>Materiales:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Palas ▪ Bolsas o sacos plásticos ▪ Escobillón

INSTRUCCIONES A SEGUIR
<p>De acuerdo a programa del laboratorio, se debe coordinar entre la supervisión y el experimentador respecto de las muestras a tomar.</p> <p>Instruir al personal sobre la actividad a efectuar. Realizar charla de 5 minutos sobre el instructivo de trabajo a aplicar.</p> <p>Verificar que se tome conocimiento de los riesgos asociados al realizar dicha actividad.</p> <p>Antes de iniciar cualquier actividad, limpiar, ordenar y despejar el área de trabajo. Verificar que los materiales utilizar no estén sucios con restos de muestras anteriores, caso contrario prepararlos nuevamente. Verificar que las herramientas y accesorios se encuentren en buenas condiciones. Retirar todo obstáculo que dificulte sus movimientos en su área de trabajo. Verificar que en terreno el piso, plataformas, etc. Se encuentran en buenas condiciones, sin sustancias resbalosas como pulpa, agua, aceite, etc.</p> <p>1. Generalidades</p> <p>Previo a la toma de muestras se procede a solicitar autorización al jefe de turno, posteriormente coordinar con operadores del panel de Planta Prechancado las detenciones de correas 52 y 55, siendo esta parada del tipo DETENCIÓN CON CARGA. Para este efecto se debe tirar de la cuerda ROPE SWITCH. Las correas deben ser DESENERGIZADAS Y BLOQUEADAS antes de ingresar a tomar muestras sobre ellas; para este efecto se requiere la participación de un electricista autorizado para desenergizar y energizar equipos, disponible durante todo el período de muestreo.</p> <p>Además del muestreo propiamente tal es preciso registrar las condiciones operacionales del momento en que se lleva a cabo esta actividad. En los anexos de este instructivo se encuentra una tabla que incluye los datos que serán relevantes para este muestreo.</p>

1. Coordinación con personal de operaciones y solicitud de información sobre posibles detenciones.

- Previo a la toma de muestras se procede a solicitar autorización al jefe de turno.
- Posteriormente se coordina con los operadores del panel de Prechancado y se les informa el tiempo que durará el muestreo y las correas que se requieren detener. Es importante que ambas correas sean muestreadas al mismo tiempo ya que así se minimiza el tiempo de detención de la planta.
- Informarles una vez haya terminado el muestreo para que retomen la operación normal.
- Averiguar si existe alguna detención programada de la Planta de Prechancado.
- Averiguar si existen condiciones operacionales aguas arriba que pueda generar alguna detención no programada, en el lapso que se realizará el muestreo.

2. Toma de muestra de mineral de correa de Alimentación Planta Prechancado (Correa 52)

- Verificar condiciones de seguridad en la zona de toma de muestra.
- Se debe coordinar con los operadores la detención las correas a muestrear.
- Detener mediante Rope Switch, desenergizar y bloquear la correa 52, utilizando un candado con tarjeta por cada persona que ingrese a esta.
- Ingresar a la correa 52 y considerar la longitud de correa que indique el supervisor, como muestra.
- Utilizar una pala muestreadora, con ellas una persona retirará el mineral de la correa, tomando cuidado de que el paleo abarque todo el ancho de la correa y todo el espesor del lecho de mineral. Los finos se retiran barriéndolos con un escobillón.
- Depositar la muestra en bolsas, asegurando que todo el material quede en su interior, identificando y rotulándola claramente.
- Se corta una sola muestra.

3. Toma de muestra de mineral de correa de Producto Planta Prechancado (Correa 55).

- Verificar condiciones de seguridad en la zona de toma de muestra.
- Se debe coordinar con los operadores la detención la correa 55.
- Detener mediante Rope Switch, desenergizar y bloquear la correa 55, utilizando un candado con tarjeta por cada persona que ingrese a esta.
- Ingresar a la correa 55 y considerar la longitud de correa que indique el supervisor, como muestra.
- Utilizar una pala muestreadora, con ellas una persona retirará el mineral de la correa, tomando cuidado de que el paleo abarque todo el ancho de la correa y

todo el espesor del lecho de mineral. Los finos se retiran barriéndolos con un escobillón. Depositar la muestra en bolsas, asegurando que todo el material quede en su interior, identificando y rotulándola claramente.

- Se corta una sola muestra.

4. Informar de la finalización de la toma de muestra

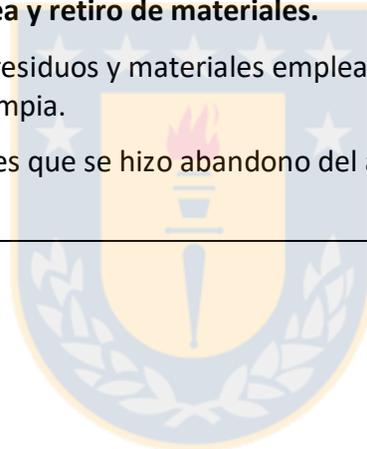
- Inmediatamente tomadas las muestras correspondientes de cada producto, el encargado del muestreo debe verificar y comunicar al operador de panel la finalización del muestreo para el reinicio de la operación normal.

5. Traslado y análisis de muestras sólidas al sector habilitado para el tratamiento

- Las muestras deben ser ubicadas en un lugar preparado para ello con una identificación clara de cada una de las muestras para evitar
- Realizar cuidadosamente los análisis granulométricos tratando de no perder parte de las muestras.

6. Realizar abandono del área y retiro de materiales.

- Recoger todos los residuos y materiales empleados en el muestreo, para dejar el área despejada y limpia.
- Avisar a operaciones que se hizo abandono del área de muestreo.



Anexo B. Corriente del chancador en el tiempo

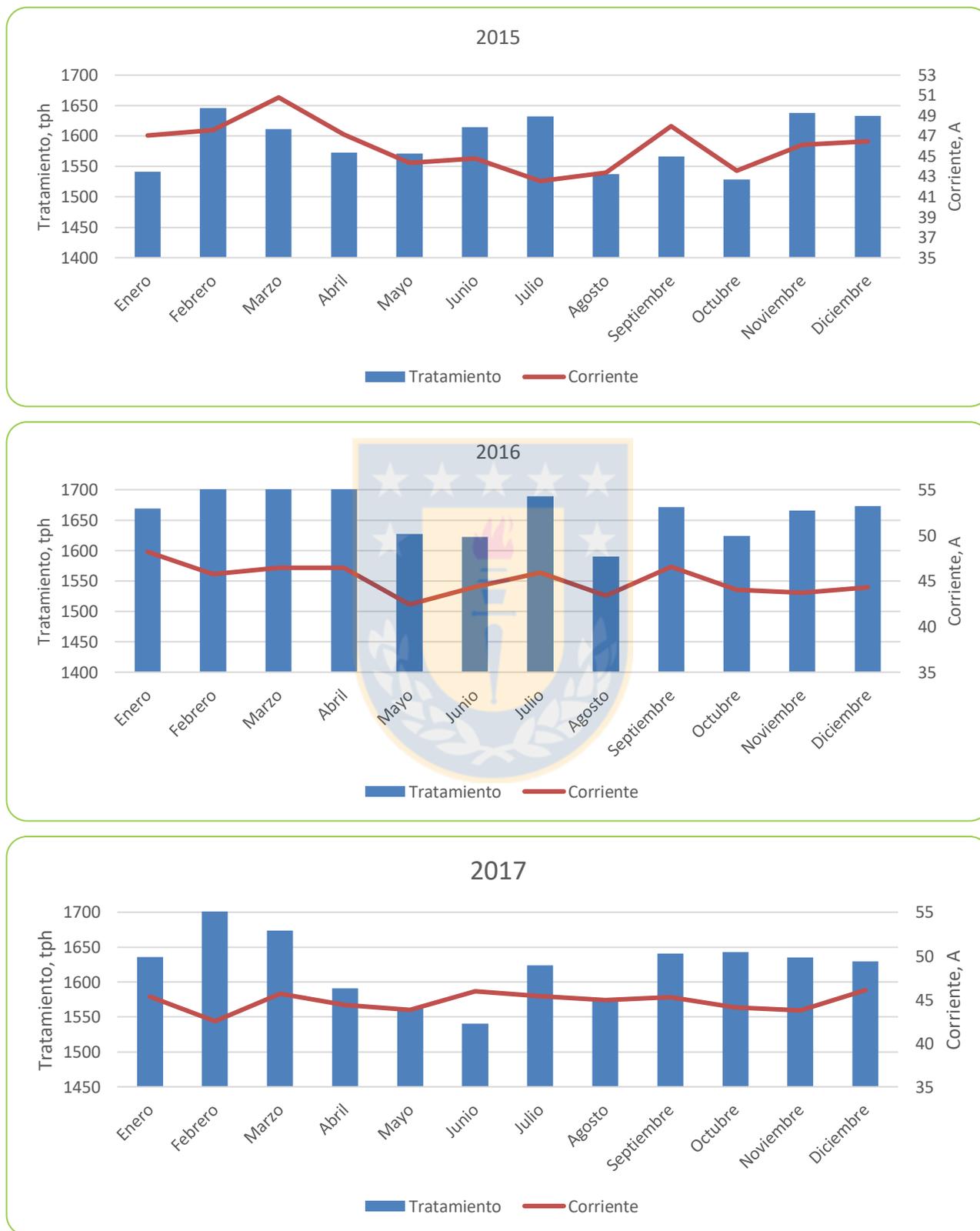


Figura B.1. Gráficos de tratamiento planta prechancado y corriente chancador vs. Mes.

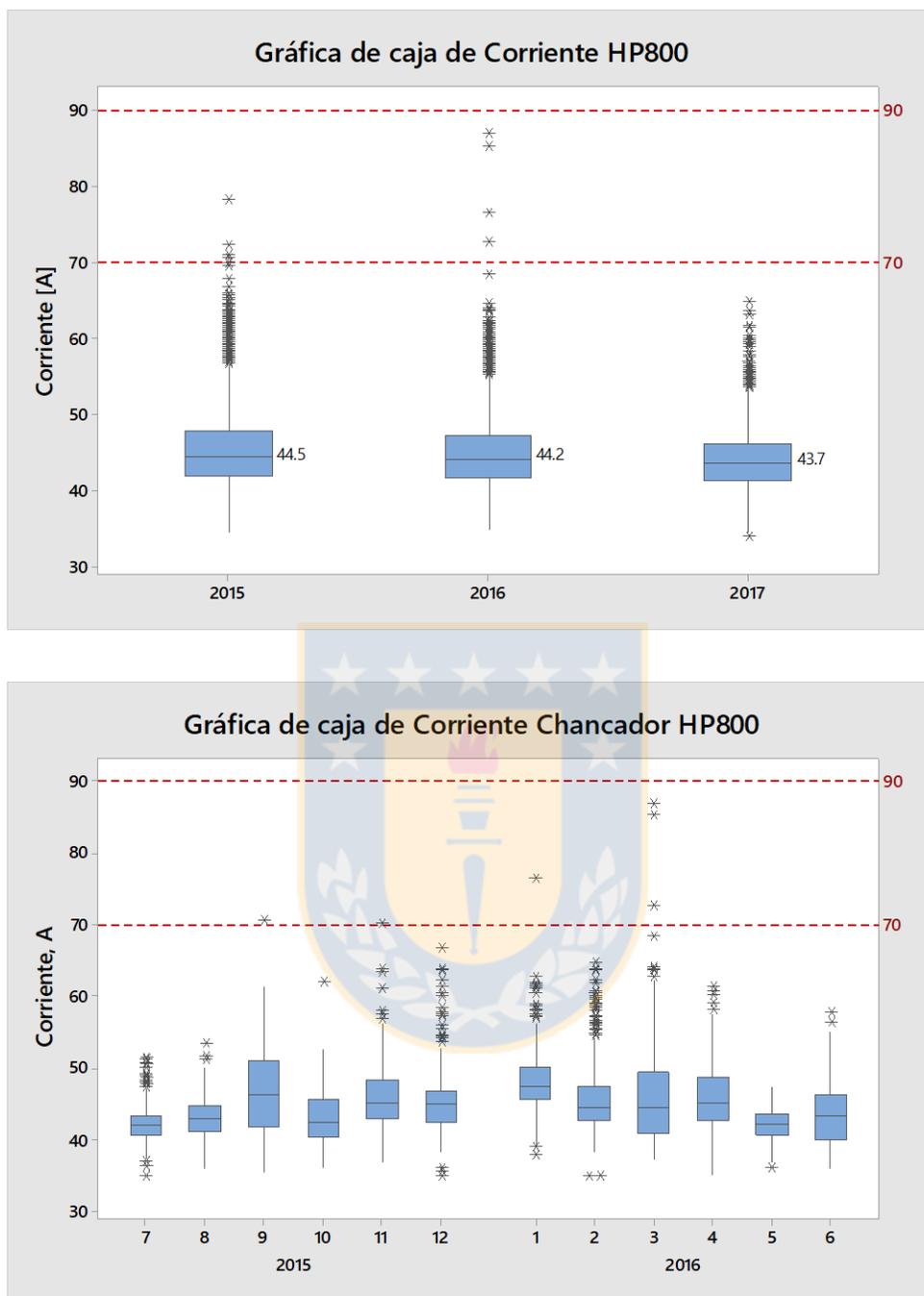


Figura B.2. Gráficas de caja de la corriente del chancador.

Anexo C. Cálculo Área harnero

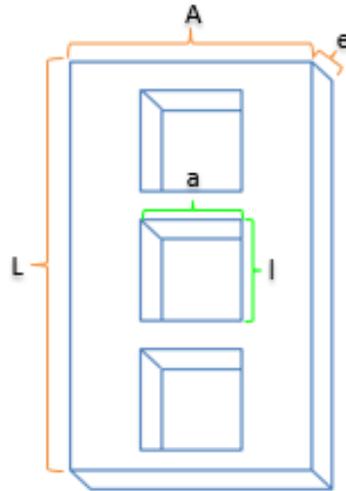


Figura C.1. Esquema de un módulo.

$$l_{\text{proyectado}} = \cos(\alpha) * [l - (e * \tan(\alpha))]$$

$$\text{Área libre}_{\text{slot}} = l_{\text{proyectado}} * a$$

$$\text{Área libre}_{\text{módulo}} = \text{Área libre}_{\text{slot}} * N^{\circ} \text{ Aberturas}$$

$$\text{Área libre}_{\text{fila}} = \text{Área libre}_{\text{módulo}} * N^{\circ} \text{ Filas en Harnero}$$

$$\% \text{Área libre}_{\text{deck}} = \frac{\sum \text{Área libre}_{\text{fila}}}{\text{Área Harnero}} * 100$$

El harnero banana de la planta de prechancado es de 10' de ancho por 20' de longitud, en el cual los módulos utilizados son de 1'x2', por ende, posee 10 filas y 10 columnas de módulos.

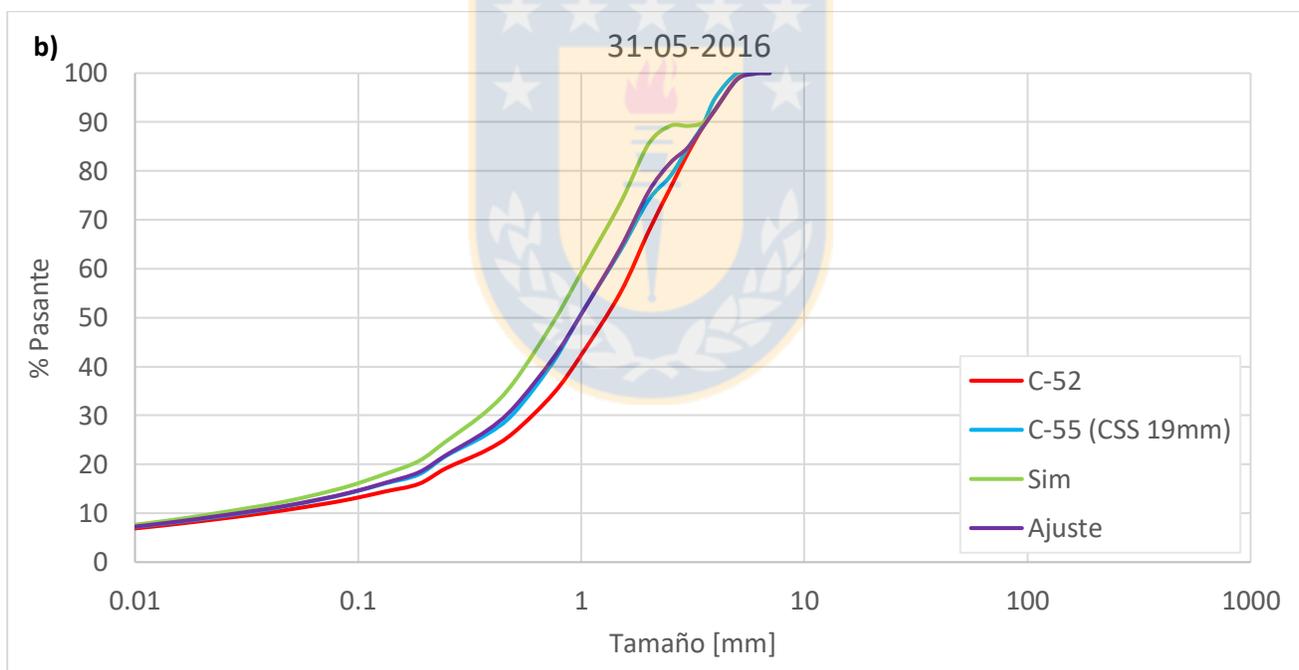
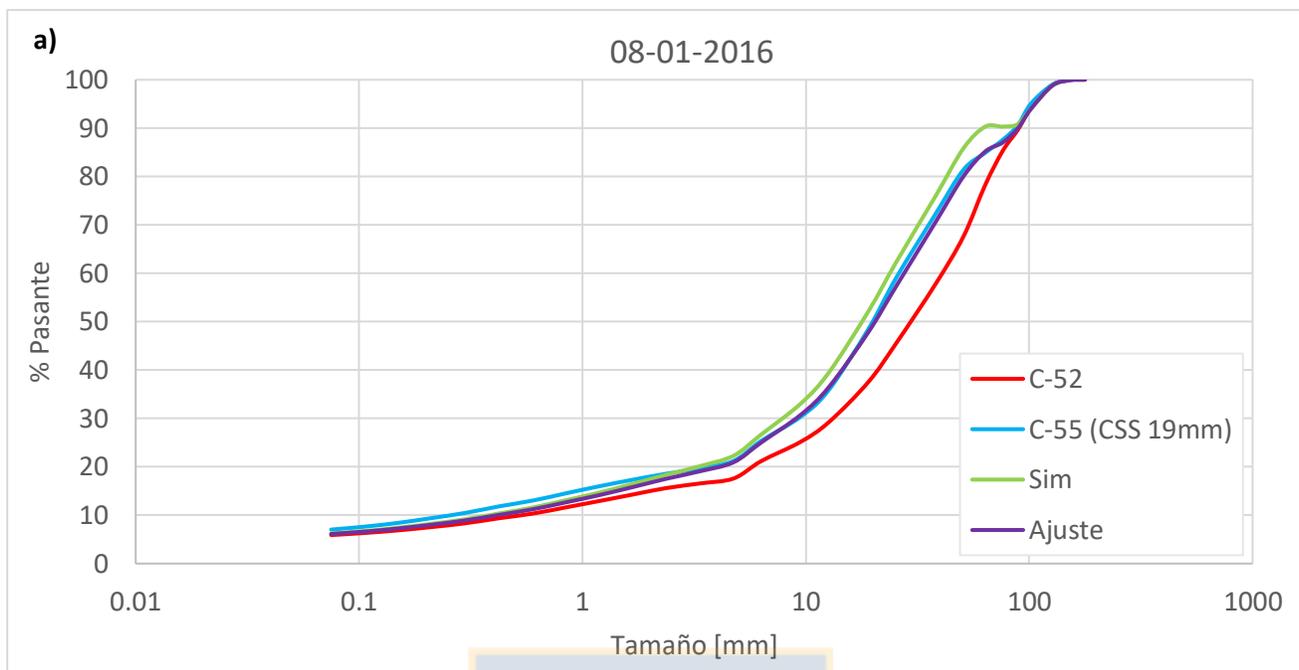
Tabla C.1. Ángulos de inclinación de cada fila del harnero.

FILA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
α	30	30	25	25	20	20	15	15	10	10

Anexo D. Granulometrías Muestreos

Tabla D.113. Granulometrías de alimentación y producto de planta prechancado.

Mesh #	Mesh Opening	08-01-2016		31-05-2016		31-08-2017			12-09-2017		30-10-2017	
		C52	C55 19mm	C52	C55 19mm	C52	C55 19mm	C55 38mm	C52	C55 38mm	C52	C55 38mm
6	152400	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	94.85	100.00	100.00	100.00
5	127000	98.91	99.01	98.87	100.00	96.40	100.00	100.00	93.39	100.00	93.93	100.00
4	101600	94.11	95.02	92.65	95.04	94.95	92.65	100.00	89.98	100.00	90.02	100.00
3 1/2	88900	89.63	90.58	88.91	89.31	91.62	88.36	100.00	86.58	100.00	84.43	100.00
3"	76200	85.33	87.60	83.55	84.63	87.94	85.08	100.00	85.44	100.00	76.65	100.00
2 1/2 "	63500	78.23	84.89	76.39	78.88	82.17	80.79	99.76	81.18	99.05	64.04	99.24
2"	50800	67.63	81.41	67.56	74.00	74.43	77.57	95.32	73.78	93.69	54.02	87.82
1 1/2"	38100	57.80	72.28	55.15	63.75	63.49	71.35	80.70	63.64	78.21	41.95	61.42
1"	25400	45.57	59.10	42.37	50.80	52.02	59.99	59.41	48.66	60.26	28.47	40.52
3/4"	19050	37.54	48.47	34.47	41.01	46.58	53.13	50.32	40.96	51.29	23.68	32.23
1/2"	12700	29.27	35.94	26.56	30.51	37.74	42.40	38.44	30.60	39.63	17.86	23.40
3/8"	9500	25.19	30.37	22.84	26.03	33.97	36.61	33.07	25.93	34.80	15.48	19.59
1/4"	6300	21.16	25.35	19.21	21.74	30.56	30.38	28.39	21.61	30.57	13.31	16.49
4	4750	17.59	21.24	16.00	17.93	26.83	26.30	24.07	17.57	26.08	11.55	13.84
6	3350	16.56	19.68	14.44	16.08	24.84	23.15	20.79	16.64	23.63	10.50	12.31
8	2360	15.59	18.56	12.90	14.19	22.94	20.84	18.09	15.43	21.83	9.93	11.14
12	1700	14.32	17.38	11.75	12.73	20.55	18.22	15.28	14.10	19.64	9.36	9.99
16	1180	12.90	15.95	10.60	11.35	18.51	16.34	13.22	12.75	17.72	8.76	9.02
20	850	11.65	14.55	9.69	10.29	16.70	14.79	11.66	11.57	16.02	8.18	8.23
30	600	10.34	13.03	8.82	9.28	15.05	13.42	10.42	10.37	14.47	7.60	7.46
40	425	9.39	11.84	8.00	8.38	13.48	12.09	9.32	9.21	12.93	6.96	6.74
50	300	8.35	10.49	7.24	7.57	11.94	10.77	8.31	8.21	11.45	6.44	6.18
70	212	7.56	9.42	6.56	6.87	10.65	9.64	7.45	7.25	10.20	5.88	5.45
100	150	6.88	8.42	5.91	6.20	9.51	8.53	6.68	6.46	9.05	5.40	4.88
140	106	6.33	7.64	5.35	5.64	8.55	7.79	6.10	5.70	8.07	4.99	4.36
200	75	5.90	7.03	4.88	5.15	7.63	6.92	5.42	5.18	7.25	4.66	3.91
-200	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	TPH d80 [um]	1700 66545 48700		1850 69756 65855		1670 59784 60173 37661			1700 61374 39498		620 81575 47127	



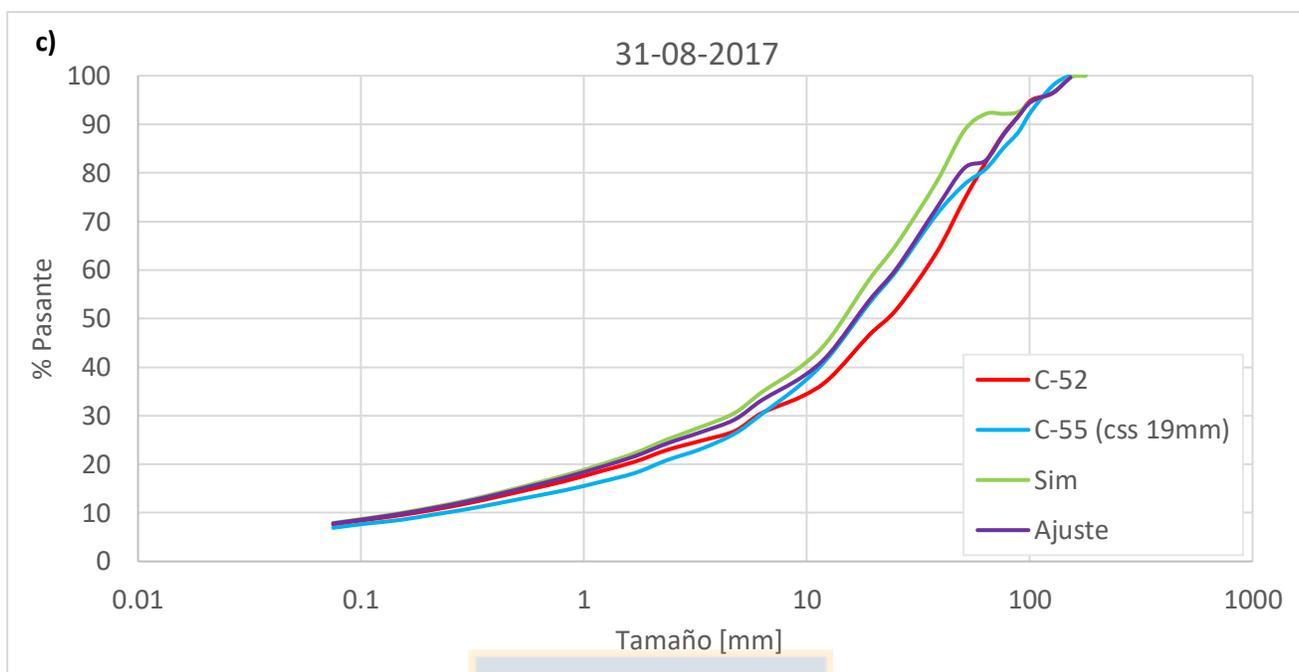
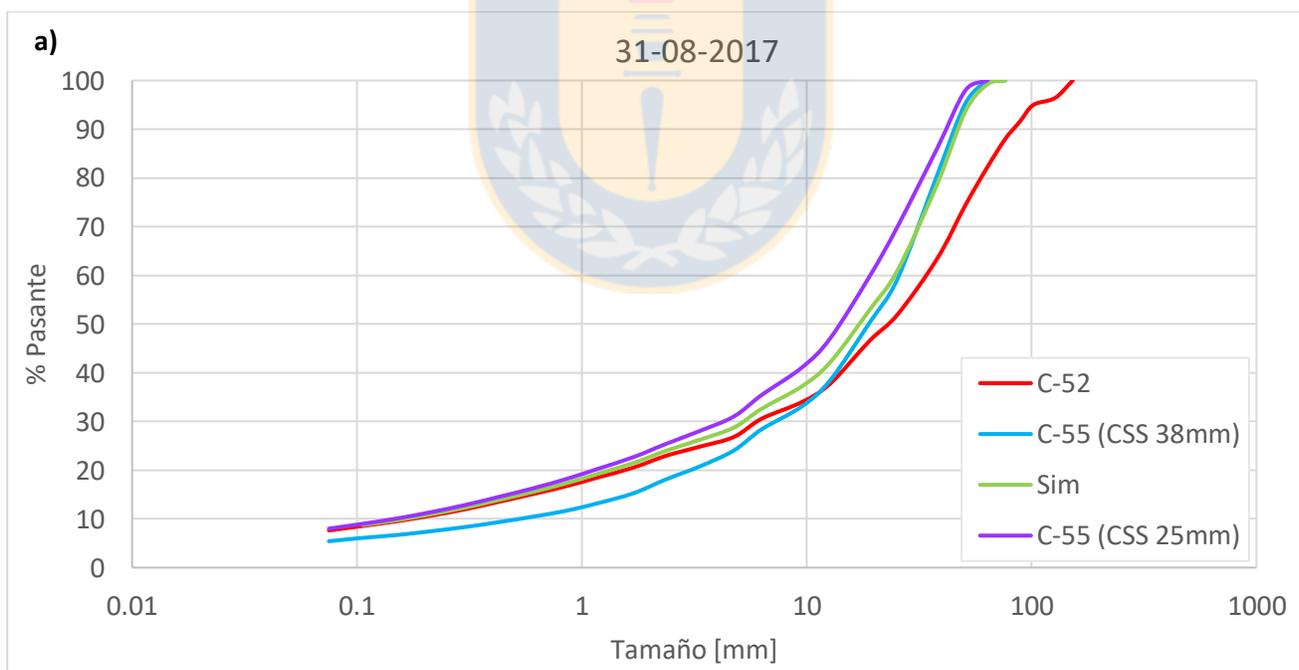


Figura D.1. Granulometrías simuladas y ajustadas para op. Normal a un css de 19[mm]. a) muestreo 1, b) muestreo 2 y c) muestreo 3.



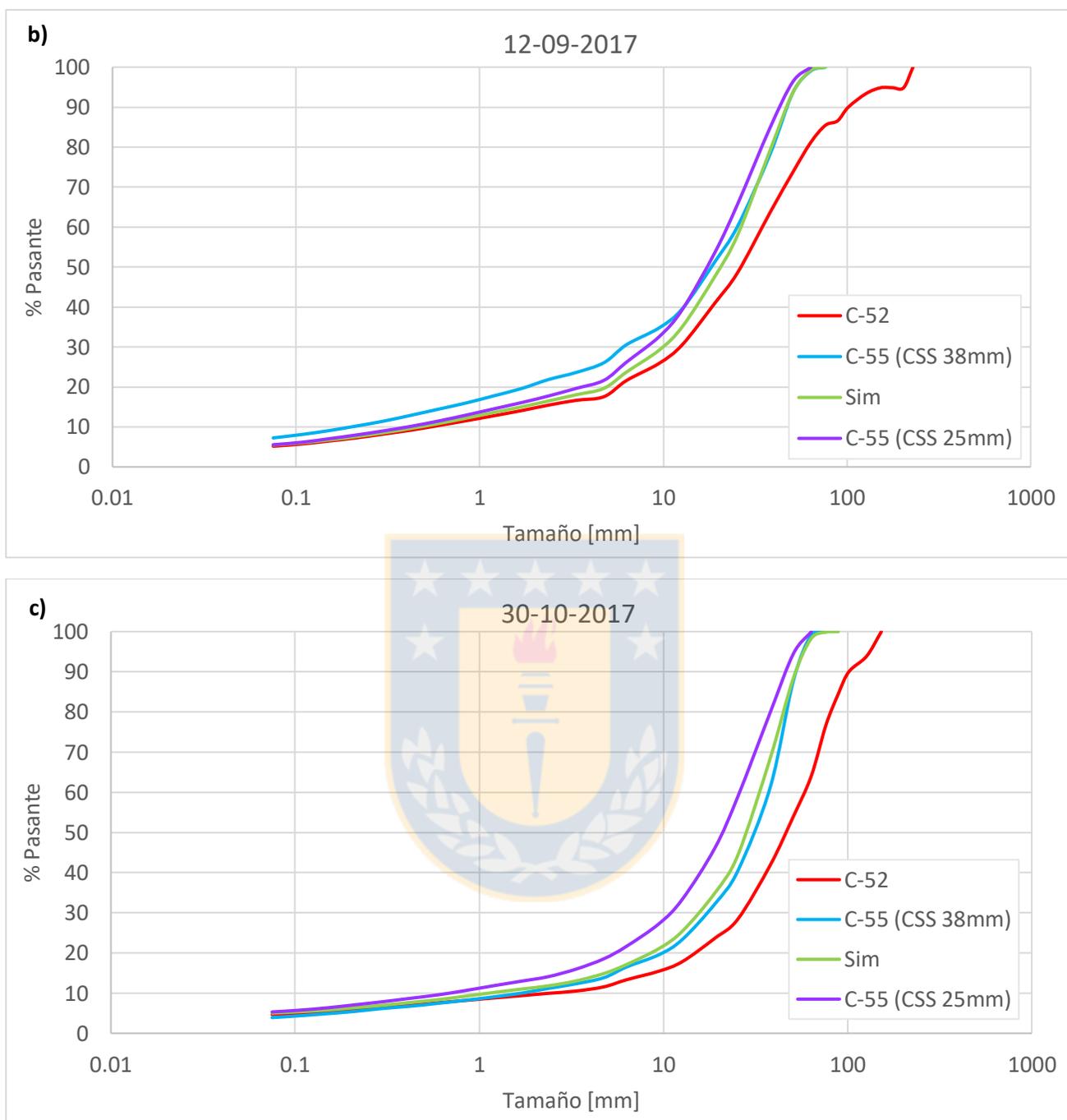


Figura D.2. Granulometrías ajustadas para op. By-pass a un css de 38 [mm] y luego las simulaciones para op. By-pass a css de 25 [mm]. a) muestreo 3, b) muestreo 4 y c) muestreo 5.

Anexo E. Perfiles de Coraza del chancador HP-800

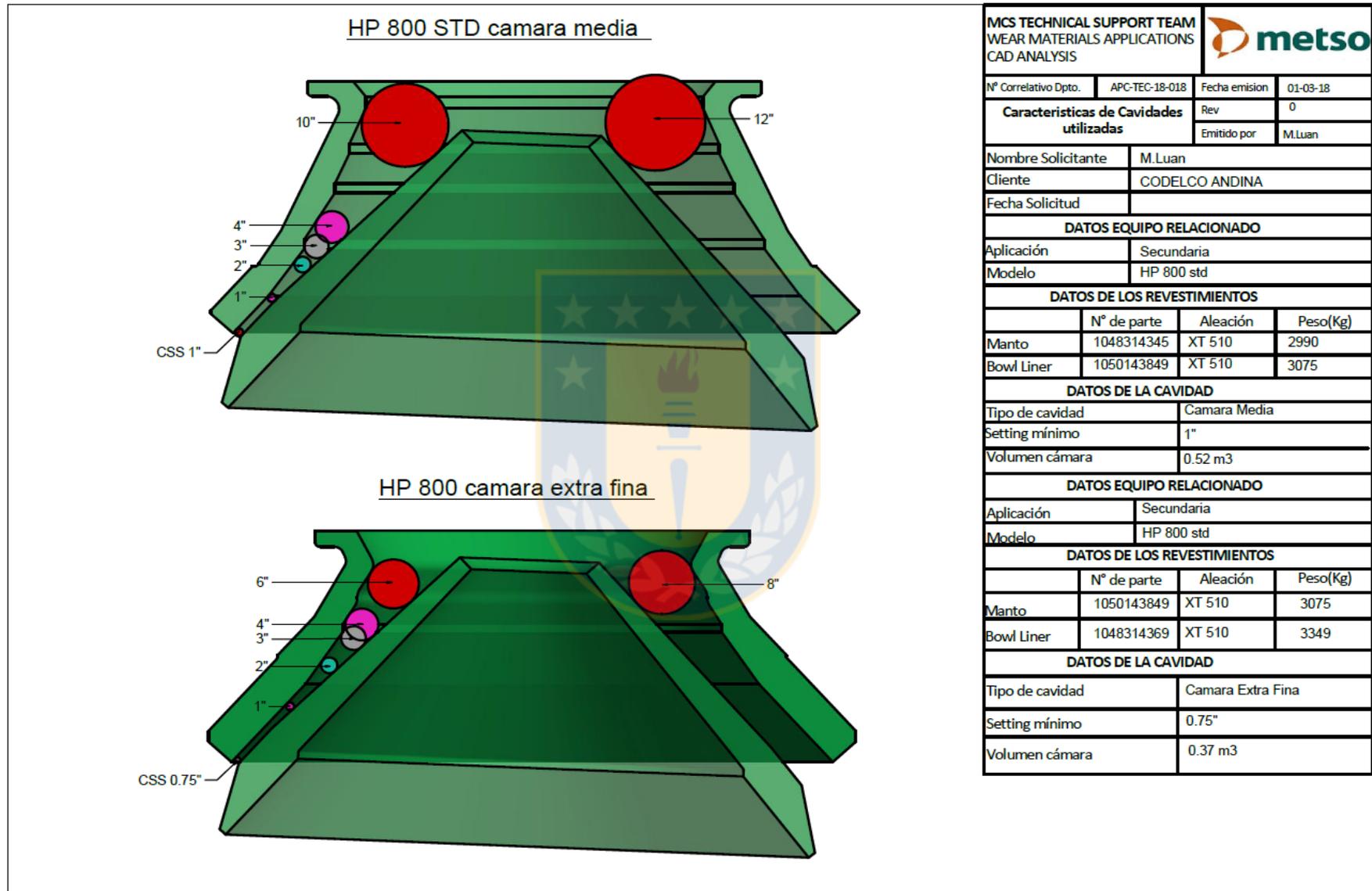


Figura E.1. Ficha técnica revestimientos HP-800.

Anexo F. Granulometría de minerales fino y grueso e Intermedio.

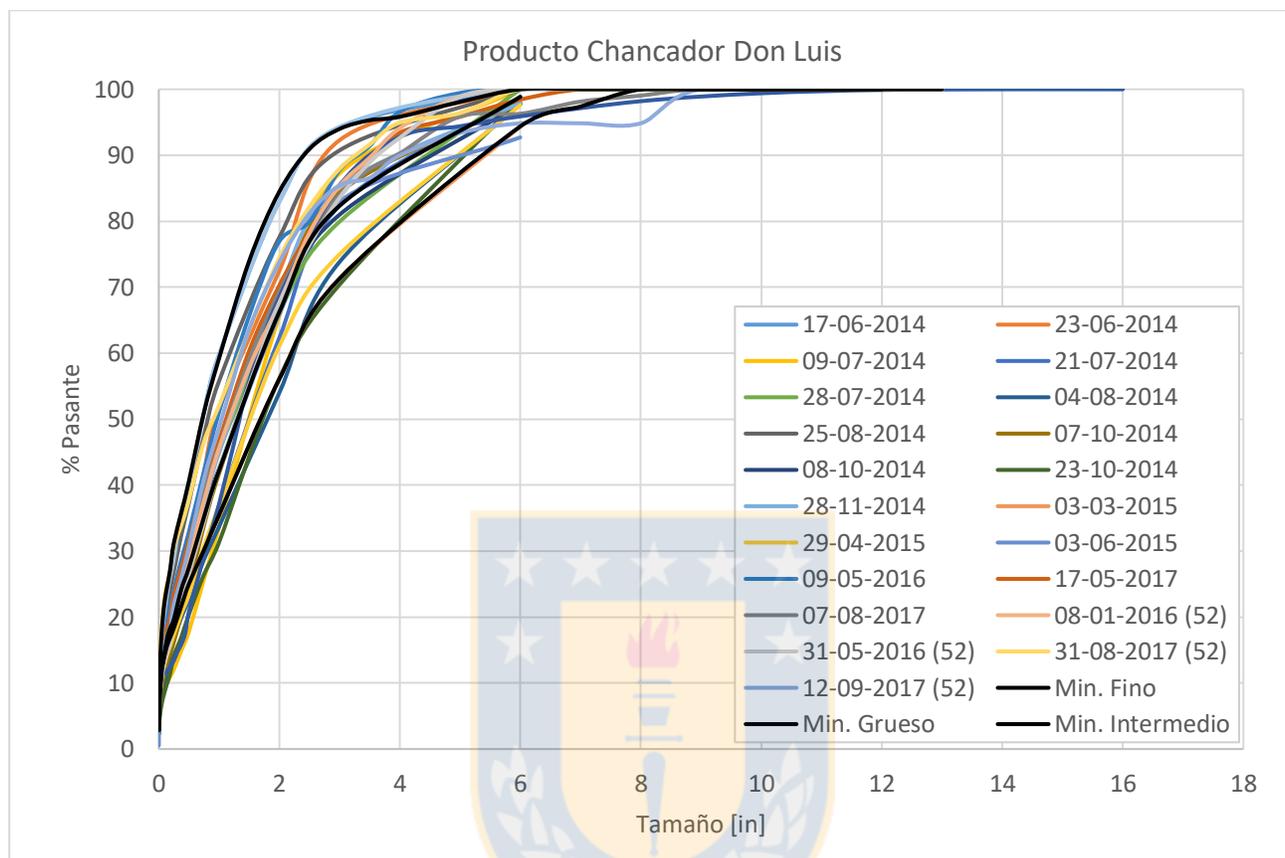


Figura F.1. Curvas de muestreos correa A-3 y C-52, para selección de mineral fino y grueso.

Tabla F.1. Granulometrías simuladas en BRUNO para C-55 y del Balance para A-9 del mineral grueso, para cambio de %Área libre.

mm	C-52	C-55		A-9	
	Min. Grueso	Deck1: 101.6 [mm] Deck2: 63.5 [mm]	Deck1: 125 [mm] Deck2: 63.5 [mm]	Deck1: 101.6 [mm] Deck2: 63.5 [mm]	Deck1: 125 [mm] Deck2: 63.5 [mm]
203.2	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
177.8	97.39	97.39	97.39	97.39	97.39
152.4	94.37	94.13	94.13	94.27	94.27
101.6	80.88	80.89	81.89	80.88	81.33
76.2	71.31	74.02	79.25	72.53	74.88
50.8	56.06	68.66	76.56	61.73	65.28
25.4	35.44	47.40	54.96	40.82	44.22
19.05	30.17	40.46	46.99	34.80	37.74
12.7	25.02	32.21	36.81	28.26	30.32
9.525	21.69	27.28	30.82	24.20	25.80
6.35	18.33	22.31	24.82	20.12	21.25
4.76	16.87	20.09	22.15	18.32	19.24
3.35	15.48	18.00	19.62	16.62	17.34
1.68	12.91	14.48	15.47	13.62	14.06
1.18	12.12	13.29	14.07	12.64	13.00
0.85	10.39	11.47	12.14	10.88	11.18
0.6	9.25	10.12	10.68	9.64	9.89
0.425	8.02	8.72	9.17	8.33	8.53
0.3	6.85	7.43	7.80	7.11	7.28
0.212	5.91	6.39	6.70	6.12	6.26
0.15	5.05	5.44	5.68	5.22	5.33
0.106	4.31	4.60	4.78	4.44	4.52
0.074	3.74	3.98	4.13	3.85	3.92
0.053	3.26	3.48	3.61	3.36	3.42
0.044	3.04	3.24	3.37	3.13	3.19
0.037	2.85	3.04	3.16	2.94	2.99
D80 [um]	98946	98917	88654	98701	95916
TPH		1700	1700		
%+4"				19.12	18.67
%-4"+2"				19.15	16.05
%-1"				40.82	44.22

Tabla F.2. Granulometrías simuladas en BRUNO para C-55 y del Balance para A-9 del mineral fino, para cambio de %Área libre.

mm	C-52	C-55		A-9	
	Min. Fino	Deck1: 101.6 [mm] Deck2: 63.5 [mm]	Deck1: 125 [mm] Deck2: 63.5 [mm]	Deck1: 101.6 [mm] Deck2: 63.5 [mm]	Deck1: 125 [mm] Deck2: 63.5 [mm]
152.4	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
127	98.10	98.10	98.10	98.10	98.10
101.6	95.83	95.93	96.00	95.87	95.91
88.9	95.31	95.26	95.44	95.29	95.37
76.2	93.99	94.08	94.57	94.03	94.25
63.5	90.95	92.20	93.28	91.51	92.00
50.8	84.47	88.99	90.97	86.51	87.39
38.1	73.97	81.85	84.01	77.51	78.49
25.4	59.17	67.75	69.39	63.03	63.77
19.05	51.03	58.50	59.82	54.39	54.98
12.7	40.58	45.96	46.88	43.00	43.42
9.5	35.83	39.94	40.65	37.68	38.00
6.3	31.16	33.96	34.46	32.42	32.64
4.75	27.10	29.54	29.96	28.20	28.38
3.35	24.30	26.17	26.49	25.14	25.28
2.36	22.11	23.51	23.76	22.74	22.85
1.7	19.81	20.94	21.14	20.32	20.41
1.18	17.41	18.31	18.46	17.81	17.88
0.85	15.40	16.18	16.31	15.75	15.81
0.6	13.49	14.13	14.25	13.78	13.83
0.425	11.76	12.28	12.37	11.99	12.04
0.3	10.25	10.68	10.75	10.44	10.47
0.212	8.93	9.28	9.35	9.09	9.12
0.15	7.76	8.05	8.10	7.89	7.91
0.106	6.79	7.01	7.05	6.89	6.90
0.075	6.07	6.25	6.29	6.15	6.17
D80 [um]	44944	35208	33840	41386	40098
TPH		1700	1700		
%+4"				4.13	4.09
%-4"+2"				9.37	8.51
%-1"				63.03	63.77

Tabla F.3. Granulometrías simuladas en BRUNO para C-55 y del Balance para A-9 del mineral intermedio, para cambio de %Área libre.

mm	C-52	C-55		A-9	
	Min. Intermedio	Deck1: 101.6 [mm] Deck2: 63.5 [mm]	Deck1: 125 [mm] Deck2: 63.5 [mm]	Deck1: 101.6 [mm] Deck2: 63.5 [mm]	Deck1: 125 [mm] Deck2: 63.5 [mm]
152.4	98.86	98.52	98.52	98.70	98.70
101.6	89.20	89.20	89.62	89.20	89.39
76.2	82.34	83.50	86.32	82.86	84.13
50.8	66.24	77.14	82.76	71.14	73.67
25.4	42.20	53.11	58.59	47.11	49.57
19.05	35.11	44.51	49.25	39.34	41.47
12.7	27.48	34.14	37.48	30.48	31.98
9.525	24.23	29.28	31.85	26.50	27.66
6.35	19.63	23.32	25.14	21.29	22.11
4.76	18.27	21.19	22.68	19.59	20.26
3.35	16.50	18.79	19.97	17.53	18.06
1.68	12.91	14.34	16.97	13.55	14.74
1.18	11.43	12.55	13.12	11.94	12.19
0.85	10.26	11.22	11.71	10.69	10.91
0.6	9.07	9.87	10.27	9.43	9.61
0.425	7.96	8.60	8.92	8.25	8.39
0.3	6.89	7.42	7.69	7.13	7.25
0.212	6.03	6.47	6.69	6.22	6.32
0.15	5.23	5.58	5.76	5.39	5.47
0.106	4.46	4.73	4.86	4.58	4.64
0.074	3.85	4.07	4.18	3.94	3.99
0.053	3.27	3.47	3.57	3.36	3.41
0.044	3.04	3.22	3.32	3.12	3.16
0.037	2.85	3.03	3.11	2.93	2.97
D80 [um]	71839	54889	45866	69398	65337
TPH		1700	1700		
%+4"				10.80	10.61
%-4"+2"				18.05	15.71
%-1"				47.11	49.57

Tabla F.4. Granulometrías simuladas en BRUNO para C-55 y del Balance para A-9 del mineral grueso, para cambio de operación y perfil de coraza del chancador.

mm	C-52	C-55			A-9		
	Min. Grueso	19 [mm]	38 [mm]	25 [mm]	19 [mm]	38 [mm]	25 [mm]
203.2	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
177.8	97.39	97.39	100.00	100.00	97.39	98.08	98.29
152.4	94.37	94.13	100.00	100.00	94.27	95.86	96.32
101.6	80.88	80.89	100.00	100.00	80.88	85.94	87.49
76.2	71.31	74.02	100.00	100.00	72.53	78.90	81.23
50.8	56.06	68.66	93.11	97.49	61.73	65.87	70.39
25.4	35.44	47.40	52.99	66.99	40.82	40.08	46.35
19.05	30.17	40.46	42.68	53.51	34.80	33.48	38.24
12.7	25.02	32.21	33.28	41.04	28.26	27.21	30.56
9.525	21.69	27.28	27.86	33.99	24.20	23.32	25.94
6.35	18.33	22.31	22.53	27.10	20.12	19.45	21.36
4.76	16.87	20.09	20.40	24.04	18.32	17.80	19.35
3.35	15.48	18.00	18.22	21.11	16.62	16.21	17.43
1.68	12.91	14.48	14.69	16.62	13.62	13.38	14.20
1.18	12.12	13.29	13.52	15.17	12.64	12.49	13.17
0.85	10.39	11.47	11.58	12.97	10.88	10.71	11.28
0.6	9.25	10.12	10.11	11.29	9.64	9.48	9.95
0.425	8.02	8.72	8.76	9.80	8.33	8.21	8.63
0.3	6.85	7.43	7.49	8.36	7.11	7.02	7.37
0.212	5.91	6.39	6.43	7.15	6.12	6.05	6.34
0.15	5.05	5.44	5.47	6.02	5.22	5.16	5.39
0.106	4.31	4.60	4.71	5.09	4.44	4.42	4.58
0.074	3.74	3.98	4.10	4.37	3.85	3.84	3.96
0.053	3.26	3.48	3.60	3.75	3.36	3.35	3.43
0.044	3.04	3.24	3.36	3.46	3.13	3.12	3.18
0.037	2.85	3.04	3.16	3.26	2.94	2.93	2.99
D80[um]	98946	98917	39925	32787	98701	79831	72974
TPH		1700	1000	1307			
%+4"					19.12	14.06	12.51
%-4"+2"					19.15	20.07	17.10
%-1"					40.82	40.08	46.35

Tabla F.5. Granulometrías simuladas en BRUNO para C-55 y del Balance para A-9 del mineral fino, para cambio de operación y perfil de coraza del chancador.

mm	C-52	C-55			A-9		
	Min. Fino	19 [mm]	38 [mm]	25 [mm]	19 [mm]	38 [mm]	25 [mm]
152.4	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
127	98.10	98.10	100.00	100.00	98.10	98.60	98.85
101.6	95.83	95.93	100.00	100.00	95.87	96.93	97.49
88.9	95.31	95.26	100.00	100.00	95.29	96.55	97.17
76.2	93.99	94.08	100.00	100.00	94.03	95.58	96.38
63.5	90.95	92.20	99.15	100.00	91.51	93.12	94.54
50.8	84.47	88.99	97.02	99.46	86.51	87.79	90.42
38.1	73.97	81.85	87.64	93.14	77.51	77.58	81.58
25.4	59.17	67.75	68.50	76.28	63.03	61.64	65.96
19.05	51.03	58.50	57.85	63.85	54.39	52.83	56.12
12.7	40.58	45.96	45.31	49.62	43.00	41.83	44.17
9.5	35.83	39.94	39.31	42.73	37.68	36.75	38.57
6.3	31.16	33.96	33.41	35.94	32.42	31.75	33.05
4.75	27.10	29.54	29.16	31.19	28.20	27.64	28.72
3.35	24.30	26.17	25.85	27.47	25.14	24.71	25.56
2.36	22.11	23.51	23.23	24.49	22.74	22.41	23.06
1.7	19.81	20.94	20.79	21.88	20.32	20.07	20.63
1.18	17.41	18.31	18.22	19.14	17.81	17.63	18.10
0.85	15.40	16.18	16.06	16.83	15.75	15.57	15.97
0.6	13.49	14.13	13.98	14.64	13.78	13.62	13.94
0.425	11.76	12.28	12.18	12.76	11.99	11.87	12.16
0.3	10.25	10.68	10.61	11.10	10.44	10.34	10.58
0.212	8.93	9.28	9.23	9.63	9.09	9.01	9.21
0.15	7.76	8.05	8.00	8.31	7.89	7.83	7.98
0.106	6.79	7.01	7.02	7.23	6.89	6.85	6.96
0.075	6.07	6.25	6.28	6.43	6.15	6.13	6.21
D80[um]	44944	35208	32551	27488	41386	40918	36708
TPH		1700	1000	1500			
%+4"					4.13	3.07	2.51
%-4"+2"					9.37	9.14	7.07
%-1"					63.03	61.64	65.96

Tabla F.6. Granulometrías simuladas en BRUNO para C-55 y del Balance para A-9 del mineral intermedio, para cambio de operación y perfil de coraza del chancador.

mm	C-52	C-55			A-9		
	Min. Intermedio	19 [mm]	38 [mm]	25 [mm]	19 [mm]	38 [mm]	25 [mm]
152.4	98.86	98.52	100.00	100.00	98.70	99.16	99.31
101.6	89.20	89.20	100.00	100.00	89.20	92.06	93.48
76.2	82.34	83.50	100.00	100.00	82.86	87.02	89.35
50.8	66.24	77.14	94.53	97.99	71.14	73.73	78.84
25.4	42.20	53.11	56.08	67.15	47.11	45.87	52.10
19.05	35.11	44.51	45.02	53.58	39.34	37.74	42.44
12.7	27.48	34.14	34.11	40.24	30.48	29.23	32.55
9.525	24.23	29.28	29.06	33.90	26.50	25.51	28.07
6.35	19.63	23.32	23.02	26.62	21.29	20.52	22.40
4.76	18.27	21.19	21.04	23.92	19.59	19.01	20.51
3.35	16.50	18.79	18.66	20.95	17.53	17.07	18.27
1.68	12.91	14.34	14.31	15.84	13.55	13.28	14.08
1.18	11.43	12.55	12.58	13.89	11.94	11.74	12.41
0.85	10.26	11.22	11.18	12.28	10.69	10.50	11.06
0.6	9.07	9.87	9.76	10.69	9.43	9.25	9.71
0.425	7.96	8.60	8.55	9.36	8.25	8.11	8.52
0.3	6.89	7.42	7.40	8.09	7.13	7.03	7.37
0.212	6.03	6.47	6.44	7.01	6.22	6.14	6.42
0.15	5.23	5.58	5.56	6.00	5.39	5.32	5.54
0.106	4.46	4.73	4.78	5.08	4.58	4.55	4.71
0.074	3.85	4.07	4.13	4.34	3.94	3.92	4.04
0.053	3.27	3.47	3.54	3.67	3.36	3.34	3.43
0.044	3.04	3.22	3.29	3.37	3.12	3.10	3.17
0.037	2.85	3.03	3.09	3.17	2.93	2.92	2.98
D80[um]	71839	54889	383944	32607	69398	62032	53252
TPH		1700	1000	1500			
%+4"					10.80	7.94	6.52
%-4"+2"					18.05	18.33	14.64
%-1"					47.11	45.87	52.10

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN – FACULTAD DE INGENIERÍA
Departamento de Ingeniería Metalúrgica

Hoja Resumen Memoria de Título

Título: 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.

Nombre Memorista: María Pía Azócar Corvalán

Modalidad		Profesor(es) Patrocinante(s)
Concepto		
Calificación		
Fecha		
Prof. Eugenia Araneda H.		Prof. Fernando Betancourt C.
		Ingeniero Supervisor: Sr. Luis Salinas Hermosilla
		Institución: CODELCO, división Andina.

Comisión (Nombre y Firma)

Prof. Fernando Concha A.	Prof. René Gómez P.
--------------------------	---------------------

1. Resumen

El objetivo del presente informe es entregar alternativas de mejoramiento de la granulometría proveniente de la etapa de prechancado de la división Andina de Codelco, con el fin de alimentar al molino SAG con una granulometría más fina que la actual y así obtener un mayor tratamiento.

Por medio de análisis a datos de planta comprendidos entre 2014 y 2017, se determinó que el chancador estaba funcionando con baja carga debido a una baja eficiencia de clasificación. Por lo cual se plantean dos alternativas de cambios en planta con respecto al funcionamiento del harnero, además de una tercera opción que implicaría un cambio de operación de la planta y un cambio de la coraza del chancador.

La primera alternativa consiste en un cambio en el diseño del chute de alimentación al harnero con el fin de disminuir la velocidad de alimentación a éste, esta opción se consideró no factible por problemas operacionales que podría generar. La segunda es un cambio de los módulos del harnero aumentando el área libre de un 27.5% a un 36.7% en el deck superior, con esta modificación para un mineral de granulometría intermedia el tamaño d80 disminuye un 5.85% lo cual supondría un aumento de tratamiento en el molino SAG. Por último en la tercera alternativa se evaluó un cambio en la operación de la planta incorporando además un cambio de perfil de coraza del chancador, con las modificaciones se genera una disminución del tamaño d80 de un 23.3% que junto con la disminución del tamaño intermedio de un 18.1% a un 14.6%, indicaría un aumento de tratamiento en el SAG aun mayor que la segunda alternativa, por lo que se recomienda probar en planta la última propuesta y observar el comportamiento del SAG.