

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



PROYECTO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL  
EN METALURGIA EXTRACTIVA

**OPTIMIZACION DE TAMAÑOS DE  
TRANSFERENCIA EN CHANCADO Y  
MOLIENDA SEWELL MEDIANTE  
SIMULACION DE PROCESOS.  
CODELCO DIVISION EL TENIENTE**

**Javier Vicente Andre Segura Pavez**

Profesores Guías:

Dr. Gerson Sandoval  
Dr. Jocelyn Quinteros

**2016**

## RESUMEN

Actualmente la minería del cobre y sobretodo Codelco, se enfrenta a nuevos desafíos en la búsqueda de mayores tasas de procesamiento y ahorro de recursos, la División El Teniente y específicamente Sewell, planta de baja automatización y que data de principios del siglo XX, ya trabajan en favor de hacer frente a estos.

El objetivo del presente trabajo es optimizar las plantas de Chancado y Molienda Sewell a través de la simulación mediante el software JKSimMet. Para esto se llevó a cabo la recopilación de data historia de reportes de producción, junto con toma de muestras y balances en ambas plantas.

Se determinó que las variables críticas para la capacidad eran en el caso de la planta de Chancado la humedad del mineral y para la planta de Molienda la dureza y falta de recursos hídricos. A modo de ejemplo, durante el año 2014 el procesamiento promedio no superó las 16.000 TPD, muy por debajo de las 19.000 planificadas por la Gerencia de Plantas.

Por lo anterior, se simularon una serie de escenarios los cuales se dividieron según las condiciones del mineral; dureza (work index alto, work index bajo), humedad (baja, moderada, alta), como también un escenario de baja disponibilidad de recurso hídrico y escenarios complementarios con diversas alternativas operacionales.

Para los escenarios según humedad se determinó, mediante la simulación, que un aumento de slots de los harneros terciarios desde los 12 mm actuales a 16 o 19 mm dependiendo del nivel de humedad permitiría paliar la baja eficiencia de clasificación. En el caso del escenario de baja dureza de mineral se propuso una nueva condición de operación que aumenta la capacidad en un 28% manteniendo la granulometría del producto final, mientras que para el escenario de dureza alta se proponen modificaciones que eliminan el riesgo de embanques pero disminuyen la capacidad en un 8%. Por último, se proponen algunos cambios a los hidrociclones lo que permitiría reducir en un 30% el consumo de agua en el proceso.

Finalmente, se evaluó un año estimando tonelajes según estas modificaciones y se determinó que el tonelaje promedio rondaría las 20.000 tmsd, lo que permitiría cumplir con lo exigido a la Superintendencia Proceso Sewell.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: Sewell en 1960 _____   | 4  |
| Figura 2: Mapa referencial Sewell _____  | 3  |
| Figura 3: Planta Chancado Sewell _____   | 7  |
| Figura 4: Planta Molienda Sewell _____   | 9  |
| Figura 5: Mecanismos de Fractura _____   | 12 |
| Figura 6: Sección transversal de un chancador de mandíbulas _____              | 16 |
| Figura 7: Chancador cabeza estándar y Figura 8: Chancador cabeza corta _____   | 17 |
| Figura 9: Movimiento de la carga en un molino _____                            | 18 |
| Figura 10: Molino de barras _____  | 20 |
| Figura 11: Diagrama Proceso Harneado _____                                     | 23 |
| Figura 12: Detalle Partes Hidrociclón _____                                    | 25 |
| Figura 13: Tipos de flujos de descarga de hidrociclón _____                    | 27 |
| Figura 14: Diagrama de ejemplo de un modelo _____                              | 28 |
| Figura 15: Interfaz del simulador JKSimMet _____                               | 29 |
| Figura 16: Función de Apariencia Relaciones $t_{10}$ y $t_n$ _____             | 31 |
| Figura 17: Función Selección Modelo Lynch - Kavetsky de Molino de Barras _____ | 32 |
| Figura 18: Puntos de Muestreo planta Molienda: _____                           | 36 |
| Figura 19: Diagrama Puntos Muestreo Molienda: _____                            | 37 |
| Figura 20: Simulación Capacidad Moly Cop Tools _____                           | 39 |
| Figura 21: Simulación Operación Harneros Derrick _____                         | 45 |
| Figura 22: Detalle Correa 119 Planta Chancado _____                            | 46 |
| Figura 23: Detalle Alimentador JKSimMet _____                                  | 47 |
| Figura 24: Detalle Harnero JKSimMet _____                                      | 48 |
| Figura 25: Detalle Harnero Doble Parrilla JKSimMet _____                       | 48 |
| Figura 26: Detalle Chancador JKSimMet _____                                    | 49 |
| Figura 27: Detalle Molino Barras JKSimMet _____                                | 49 |
| Figura 28: Detalle Hidrociclón JKSimMet _____                                  | 50 |

## LISTA DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1: Parámetros de ciclones según autores .....                             | 26 |
| Tabla 2: Relación Du/Do y descarga de hidrociclón .....                         | 27 |
| Tabla 3: Potencia Consumida en vacío por chancadores (obtenidas en planta)..... | 40 |
| Tabla 4: Ahorro de agua según porcentaje de sólido.....                         | 45 |
| Tabla 5: Tonelaje de chancado a diferentes eficiencias y slots de mallas .....  | 54 |
| Tabla 6: P80 de chancado a diferentes eficiencias y slots de mallas.....        | 54 |
| Tabla 7: +.371# a diferentes eficiencias y slots de mallas.....                 | 55 |
| Tabla 8: +100# Producto Molienda Bolas .....                                    | 55 |
| Tabla 9: Resultados Simulación variando $W_i$ .....                             | 55 |
| Tabla 10: Resultados Simulación Aumento Capacidad Chancado .....                | 56 |
| Tabla 11: Resultados Simulación Reducción P80 Chancado .....                    | 57 |
| Tabla 12: +100# y P80 Molienda Bolas según Porcentaje de Sólidos .....          | 58 |
| Tabla 13: Condición Base de la Planta v/s Condición Optimizada .....            | 58 |
| Tabla 14: Resultados Simulación Harneros Derrick .....                          | 59 |
| Tabla 15: Tonelaje a distintas condiciones de Planta de Chancado .....          | 59 |
| Tabla 16: Resultados circuito inverso actual .....                              | 59 |
| Tabla 17: Resultados circuito exciclón (circuito directo).....                  | 60 |
| Tabla 18: Valores Mallas.....   | 61 |
| Tabla 19: Valores de Concentrado .....  | 61 |
| Tabla 20: Comparación Modificaciones Tonelaje Promedio Mes .....                | 62 |
| Tabla 21: Comparación Modificaciones Ingresos - Egresos 2014/2015 .....         | 63 |
| Tabla 22: Comparación VAN.....  | 63 |

OPTIMIZACIÓN DE TAMAÑOS DE TRANSFERENCIA EN CHANCADO Y MOLIENDA SEWELL MEDIANTE  
SIMULACIÓN

A Roxana que siempre ha dado todo por mis hermanos y yo

## AGRADECIMIENTOS

Hubiese sido imposible haber terminado este arduo camino y alcanzar el inicio del próximo sin la constante ayuda de mis seres queridos. En primer lugar agradecer a mis padres, Homero y Roxana que siempre me apoyaron en cada decisión que tomé, entregándome valores y enseñanzas que de ninguna otra persona podría haber obtenido, mis hermanos, Gabriel y Constanza que siempre creyeron en mí, dándome la seguridad que en ocasiones necesité.

Agradecer a grandes amigos que han estado en los momentos buenos y malos, Alonso, Cristian, Diego, Francisco, Álvaro, Sergio, Marcela, Karim y otras tantas personas que si no tengo la posibilidad de nombrar no es por no tener presente, personas que durante largos años estuvieron a mi lado entregándome lo mejor de su compañía y cariño, amigos que me motivaron cada día a dar lo mejor de mi persona.

A los profesores Amelia Dondero y Álvaro Aracena por sus enseñanzas en mis años de universidad, no sólo académicas sino también profesionales y de vida. Por supuesto también a mis tutores Gerson Sandoval y Jocelyn Quinteros quienes no dudaron en ayudarme con este proyecto y me apoyaron con sus conocimientos, experiencia y sobretodo disposición.

Y desde luego agradecer al personal de Sewell que me brindó apoyo y amistad en mi tiempo de memoria, mi tutor, Julio Giampaoli, jefes de turno, don Jorge Hormazábal, don Guillermo Galdámez, Mauricio Esperguel, Michael Cavieres, David Cifuentes y todos los viejitos de operación que jamás mostraron algún problema en prestarme una mano o aclarar alguna duda que tuviera.

Javier

## NOMENCLATURA

|          |                                       |
|----------|---------------------------------------|
| cm       | Centímetros                           |
| CHAS SH  | Chancador Cabeza Corta                |
| CHAM     | Chancador de Mandíbulas               |
| CHAS STD | Chancador Estándar                    |
| CEE      | Consumo de Energía Especifica         |
| DET      | División El Teniente                  |
| J        | Fracción de llenado de bolas          |
| Cy       | Hidrociclón                           |
| HP       | Horse Power (Caballos de Fuerza)      |
| kg       | Kilogramo                             |
| km       | Kilómetros                            |
| kWh/t    | Kilowatts-hora por tonelada           |
| Lifter   | Levantador                            |
| m        | Metro                                 |
| µm       | Micrones                              |
| min      | Minuto                                |
| MOBA     | Molino de Barras                      |
| MOBO     | Molino de Bolas                       |
| pie      | Pies                                  |
| %        | Porcentaje                            |
| pulg     | Pulgadas                              |
| RPM      | Revoluciones por minuto               |
| s        | Segundo                               |
| P80      | Tamaño 80% pasante en el producto     |
| F80      | Tamaño 80% pasante en la alimentación |
| #        | Tamiz / Malla                         |
| 100#     | Tamiz abertura 150 µm                 |
| t        | tonelada                              |
| tc       | Tonelada Corta                        |
| tmsd     | Tonelada metrica seca por dia         |
| tph      | Tonelada por hora                     |
| tma      | Toneladas por año                     |
| Wi       | Work Index (Indice de Trabajo)        |

# ÍNDICE

|  |    |
|--|----|
| CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....                        | 1  |
| 1.1 CONTEXTO.....                                    | 1  |
| 1.2 OBJETIVOS .....                                  | 1  |
| 1.2.1 Objetivo General.....                          | 1  |
| 1.2.2 Objetivos Específicos .....                    | 1  |
| 1.3 HIPOTESIS .....                                  | 2  |
| 1.4 ALCANCES DE LA MEMORIA .....                     | 2  |
| CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES DE LA EMPRESA .....         | 3  |
| 2.1 HISTORIA de SEWELL Y DIVISION EL TENIENTE .....  | 3  |
| 2.2 DESCRIPCION PLANTAS PROCESO SEWELL .....         | 5  |
| 2.2.1 Planta de Chancado .....                       | 5  |
| 2.2.2 Planta de Molienda.....                        | 10 |
| CAPÍTULO 3: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....              | 11 |
| 3.1 CONMINUCION.....                                 | 11 |
| 3.1.1 Mecanismos de Fractura.....                    | 12 |
| 3.1.2 Teorías De La Conminución .....                | 13 |
| 3.2 ETAPA DE CHANCADO.....                           | 15 |
| 3.2.1 Chancador de Mandíbulas .....                  | 15 |
| 3.2.2 Chancador de Cono .....                        | 16 |
| 3.3 ETAPA DE MOLIENDA.....                           | 17 |
| 3.3.1 Movimiento de la Carga en el Molino.....       | 17 |
| 3.3.2 Partes de un Molino.....                       | 19 |
| 3.3.3 Molinos de Barras.....                         | 20 |
| 3.3.4 Molinos de Bolas .....                         | 21 |
| 3.4 CLASIFICACION .....                              | 22 |
| 3.4.1 Harneado.....                                  | 22 |
| 3.5 HIDROCICLONES .....                              | 25 |
| 3.5.1 Dimensiones Típicas de un Hidrociclón.....     | 26 |
| 3.6 MODELACIÓN Y SIMULACIÓN.....                     | 27 |
| 3.7 JKSIMMET: DESCRIPCION GENERAL DEL SOFTWARE ..... | 28 |

|                               |   |    |
|-------------------------------|---|----|
| 3.8                           | MODELOS UTILIZADOS POR JKSIMMET .....                               | 30 |
| 3.8.1                         | Modelo Curva Eficiencia para Harneros .....                         | 30 |
| 3.8.2                         | Modelo Anderson-Whiten para Chancado .....                          | 30 |
| 3.8.3                         | Modelo Lynch/Kavetsky para Molienda .....                           | 32 |
| 3.8.4                         | Modelo Nagaswararao para Hidrociclón .....                          | 33 |
| 3.8.5                         | Modelo Perfect Mixing Ball Mill .....                               | 33 |
| 3.9                           | CONCLUSION REVISION BIBLIOGRAFICA .....                             | 34 |
| CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA ..... |   | 35 |
| 4.1                           | COLECCIÓN DE DATA .....   | 35 |
| 4.1.1                         | Procedimiento Muestreo Molienda .....                               | 35 |
| 4.1.2                         | Muestras Producto Chancado – Alimentación Molienda Barras.....      | 37 |
| 4.1.3                         | Procedimiento muestreo chancado .....                               | 37 |
| 4.2                           | METODOLOGIA SIMULACION MOLYCOP TOOLS .....                          | 38 |
| 4.3                           | METODOLOGIA SIMULACION JKSIMMET .....                               | 39 |
| 4.3.1                         | Simulación Caso Base .....  | 39 |
| 4.3.2                         | Carga De Alta Humedad.....  | 41 |
| 4.3.3                         | Simulaciones para diferentes valores de $W_i$ .....                 | 42 |
| 4.3.4                         | Reducción Consumo De Recursos Hídrico .....                         | 44 |
| 4.3.5                         | Simulación Casos Complementarios .....                              | 45 |
| 4.4                           | DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS A UTILIZAR EN JKSIMMET .....             | 47 |
| 4.5                           | RESUMEN METODOLOGÍA .....   | 51 |
| CAPÍTULO 5: RESULTADOS .....  |   | 52 |
| 5.1                           | RESULTADOS SIMULACION CAPACIDAD PLANTA MOLIENDA MOLYCOP TOOLS ..... | 52 |
| 5.2                           | AJUSTE GRANULOMETRIAS SIMULACION .....                              | 52 |
| 5.3                           | RESULTADOS ALTA HUMEDAD .....                                       | 54 |
| 5.4                           | RESULTADOS SEGÚN VARIACIONES DE $W_i$ .....                         | 55 |
| 5.4.1                         | Resultados Bajo $W_i$ , Aumento De Tonelaje.....                    | 56 |
| 5.4.2                         | Resultados Alto $W_i$ , Reducción P80 Planta Chancado .....         | 57 |
| 5.5                           | RESULTADO REDUCCION CONSUMO DE AGUA .....                           | 58 |
| 5.6                           | RESULTADOS CASOS COMPLEMENTARIOS .....                              | 59 |
| 5.6.1                         | Harneros Derrick .....  | 59 |

|   |   |           |
|---|---|-----------|
| 5.6.2   | Chancador Chat 10 .....                   | 59        |
| 5.6.3   | Circuito Exciclon.....                    | 59        |
| 5.6.4   | Modificación Correa 119.....              | 60        |
| <b>CAPÍTULO 6: CONSIDERACIONES ECONÓMICAS .....</b>           |   | <b>61</b> |
| <b>CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>       |   | <b>65</b> |
| 7.1   | CONCLUSIONES .....                        | 65        |
| 7.1.1   | Escenario Invierno.....                   | 65        |
| 7.1.2   | Aumento Capacidad Planta Chancado .....   | 65        |
| 7.1.3   | Reducción P80 Planta Chancado.....        | 66        |
| 7.1.4   | Reducción Consumo de Recurso Hídrico..... | 66        |
| 7.1.5   | Casos Complementarios .....               | 66        |
| 7.2   | RECOMENDACIONES.....                      | 67        |
| 7.2.1   | Chancado .....                            | 67        |
| 7.2.2   | Buzones y Compuertas .....                | 67        |
| 7.2.3   | Piso Primario .....                       | 67        |
| 7.2.4   | Piso Lower.....                           | 68        |
| <b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>                                     |   | <b>70</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>   |   | <b>71</b> |
| ANEXO A: PARÁMETROS de modelos utilizados por simulador ..... |   | 71        |
| ANEXO B: Diagrama Planta Chancado Sewell.....                 |   | 73        |
| ANEXO C: Diagrama Planta Molienda Sewell.....                 |   | 74        |
| ANEXO D: Procedure for JKTech Drop Weight Breakage Test ..... |   | 75        |
| ANEXO E: Resultados Pruebas SMC Mineral Rajo Sur .....        |   | 77        |
| ANEXO F: Reportes Simulación JKSimMet .....                   |   | 78        |
| ANEXO G: Granulometrías obtenidas en muestreos .....          |   | 90        |
| ANEXO H: Orientaciones Comerciales .....                      |   | 104       |

# Capítulo 1: INTRODUCCIÓN

## 1.1 CONTEXTO

Actualmente las plantas de chancado y molienda Sewell se encuentran enfrentadas al mismo desafío que enfrentan todas las divisiones de Codelco que es el continuo mejoramiento de sus procesos como también el aumento de capacidad de tratamiento.

Sin embargo, para las plantas del proceso Sewell este desafío es aún mayor, ya que son plantas antiguas que cuentan con baja automatización y tienen una alta sensibilidad a los cambios en las características del mineral, ya sea la dureza, la humedad o granulometría, por lo sistemáticamente que no cumple con la planificación anual de procesamiento de 19000 tmsd promedio y solo alcanza las 15200 tmsd

El presente trabajo busca optimizar ambas plantas mediante la simulación de estas a través del software JKSimMet, con el objetivo de proponer posibles modificaciones que ayuden a enfrentar la demanda de un aumento de capacidad de tratamiento, como también las condiciones actuales a las cuales se enfrenta la Superintendencia Proceso Sewell.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo General

Obtener los condiciones de operación para optimizar los procesos de conminución en las Plantas de Chancado y Molienda Sewell mediante la simulación de estas utilizando software JKSimMet.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Diagnosticar las condiciones de operación actuales a las cuales opera el proceso Sewell.
- b) Obtener parámetros de operación de equipos de los circuitos del proceso Sewell mediante un muestro general de la planta y su posterior análisis.
- c) Simular plantas de chancado y molienda en condiciones actuales, tales como parámetros de operación de equipos como características físicas y mineralogías del mineral.

- d) Sensibilizar la simulación a Work Index del mineral, Granulometría y Humedad de Alimentación
- e) Simular escenarios posibles con diferentes condiciones de operación de ambas plantas
- f) Generar recomendaciones con respecto a la operación de ambas plantas de tal forma de maximizar el tonelaje en una forma rentable y sustentable.

### **1.3 HIPOTESIS**

Variando los parámetros de operación en las plantas del proceso Sewell tales como slots de harneros, settings de chancadores y geometría de hidrociclones a través del software JKSimMet, es posible maximizar el tratamiento diario de ambas plantas desde un valor promedio obtenido el año 2014 de 15200 tmsd y alcanzar valores superiores al plan anual de producción, 19000 tmsd. Además, es posible de disminuir el consumo de energía específica y recurso hídrico brindando mayor estabilidad operacional a las plantas y sustentabilidad.

### **1.4 ALCANCES DE LA MEMORIA**

La presente memoria busca una estimación de los tamaños de clasificación óptimos entre las etapas de conminución del proceso Sewell. Esto se llevó a cabo mediante simulación a través del software JKSimMet. Los parámetros de la simulación fueron sensibilizados para tres variables; Work Index, Humedad de Alimentación y Granulometría.

En la simulación de la Planta de Chancado se consideró la manipulación de abertura de harneros y settings de chancadores, mientras que en el caso de la Planta de Molienda fue manipulada la geometría de los hidrociclones.

En el trabajo desarrollado no se consideró la simulación de la canal de 9 (km) que existe desde Sewell a la planta de flotación en Colón Bajo la que transporta la pulpa como tampoco la simulación de correas transportadoras usadas principalmente en la Planta de Chancado y el transporte a la Planta de Molienda.



en cinco horas de viaje y el aumento de la demanda de cobre por la Primera Guerra Mundial.

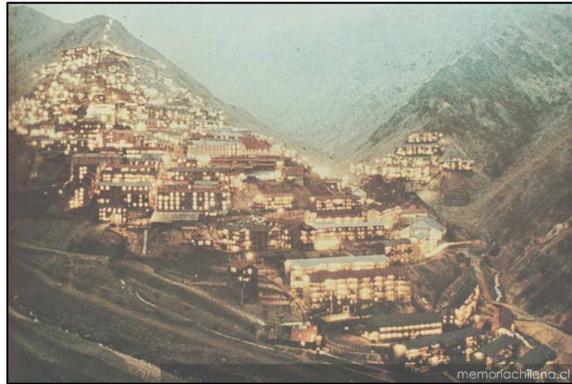


Figura 2: Sewell en 1960 (Web Memoria Chilena)

Con este auge la ciudad creció hasta llegar a más de cien edificios en los cuales vivían trabajadores, mineros, técnicos e ingenieros, chilenos y estadounidenses. Por sus características geográficas, económicas y culturales la ciudad sobresalió por su particularidad para la época. Sewell contaba con el Hospital más avanzado del país e incluso por algún tiempo el de Sudamérica, un Cine en el cual se estrenaban las películas incluso antes que en Santiago, un Gimnasio con piscina temperada, Clubes Sociales, canchas de bowling. Tanto la educación, la salud y la vivienda eran gratuitas y la población estaba fuertemente segregada entre norteamericanos y chilenos, y casados y solteros.

En la década de los 60 la ciudad alcanzó su máximo esplendor, albergando a más de 15.000 habitantes. Sin embargo, en 1967, con la nacionalización del cobre, el Gobierno compró gran parte de la Compañía Braden y comenzó la “Operación Valle” que consistió en trasladar a los habitantes del lugar a Rancagua, lo que se vio fortalecido gracias a la construcción de una carretera que unía ambas ciudades. Así, lentamente, la ciudadela comenzó a ser despoblada, lo que se acentuó más aún con el fin del funcionamiento del ferrocarril en 1976.

En 1998, el campamento minero Sewell fue declarado monumento nacional y en julio del año 2006, fue declarado por la UNESCO como Patrimonio de la Humanidad, destacándose por ser un ejemplo de las ciudades industriales de principios del siglo XX.

Actualmente la mina El Teniente es la mina subterránea más grande del mundo, siendo explotada por el método de hundimiento de bloques en que la fuerza de gravedad apoya sustancialmente la extracción minera. El proceso Sewell aún sigue operativo, aunque sin la etapa de flotación la que fue trasladada a Colón. Las etapas de chancado y molienda superan los 100 años de existencia y siguen siendo un aporte real a la producción total de la División El Teniente.

Por todo lo anteriormente señalado es importante comentar que la importancia de Sewell no solo radica en su producción sino que también tiene una importancia cultural y social de esta mítica ciudad

## **2.2 DESCRIPCION PLANTAS PROCESO SEWELL**

Con más de 100 años de historia sobre sus hombros el proceso Sewell ronda las 20.000 TPD de procesamiento. El material es transportado mediante ferrocarril desde la mina hasta la estación Punta Rieles. El mineral descargado en las tolvas de Punta Rieles es alimentado a la Planta de Chancado de Sewell, donde es procesado hasta obtener una granulometría cercana al 80% bajo 10(mm). Luego, el material chancado es transportado por correa a la Planta de Molienda de Sewell, donde se realiza el procesamiento del mineral a través de etapas de molienda primaria y secundaria, hasta alcanzar una granulometría cercana al 80% bajo 150 ( $\mu$ m). Finalmente, el mineral molido es conducido por un sistema de transporte de pulpa hasta el área de Colón, específicamente a la etapa de flotación ácida.

### **2.2.1 Planta de Chancado**

La planta de chancado, como se muestra en la Figura 3 consta de 3 etapas, chancado primario, secundario y terciario. La alimentación es recibida en el Buzón Grueso que se encuentra bajo Punta Rieles, la carga recibida tiene un F80 que ronda los 343(mm) con un Work Index de aproximadamente 18(kWh/tc).

#### **2.2.1.1 Chancado primario**

El material descargado desde los buzones se alimenta a la planta mediante cinco líneas (1, 2, 3, 4 y 5). La línea 1, 2 y 3 alimentan al Clasificador de Barras “Grizzly” el que tiene un setting entre 4 y 6 pulgadas. El sobretamaño del Clasificador Grizzly se alimenta al

OPTIMIZACIÓN DE TAMAÑOS DE TRANSFERENCIA EN CHANCADO Y MOLIENDA SEWELL MEDIANTE SIMULACIÓN

Chancador de Mandíbula CHAM-1 de 300(HP), mientras que el bajotamaño se une a la descarga del CHAM para alimentar al chancado secundario.

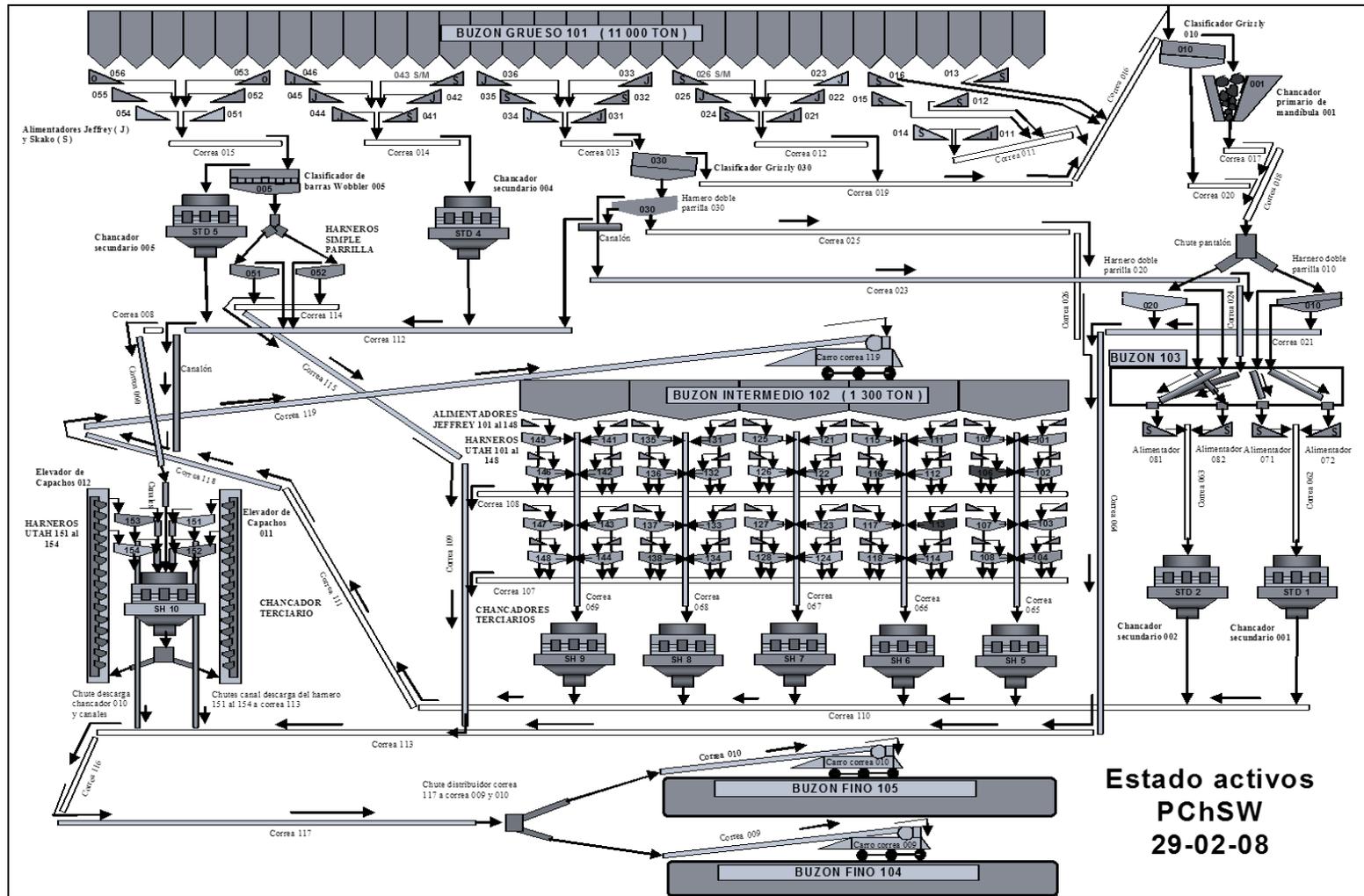


Figura 3: Planta Chancado Sewell

#### 2.2.1.2 Chancado secundario

El material de las líneas 1-2-3 pasa una etapa de clasificación en donde se divide mediante un chute pantalón y se alimenta a dos harneros doble parrilla “HPD” donde el primer deck tiene una abertura de 1.5(pulg) y el segundo deck de 8(mm), el bajotamaño es considerado producto final (a molienda) y el sobretamaño es alimentando a los chancadores secundarios, Chancadores de Cono Estándar CHAS 1 y 2, STD Symons 7’ de 300(HP), cada uno con setting 1.25pulg).

Por otro lado, la carga alimentada por las líneas 4 y 5 alimentan entra directamente a un harnero de rodillos Wobbler por cada línea desde el cual el sobretamaño pasa a los Chancadores de Cono Estándar CHAS 4 y 5 (STD Symons 7’) de 300(HP) cada uno con un setting de 1.5 (pulg). El bajotamaño del clasificador Wobbler es alimentado a dos harneros simple parrilla (7(pulg) de abertura), el sobretamaño de esta clasificación se junta con la descarga del chancador y es alimentada mediante una correa a chancado terciario mientras que el bajotamaño es considerado producto final y enviado a molienda.

#### 2.2.1.3 Chancado terciario

El material tratado por los chancadores CHAS 1, 2, 4 y 5 se descarga mediante correas al buzón del circuito de chancado terciario desde el cual se alimenta una etapa de clasificación a través de cinco líneas con 8 harneros simples (UTHA 7(mm)) y un chancador de cono cabeza corta, Sh Symons 7’ de 300(HP) (setting de 7mm) en cada línea. El bajo tamaño de los harneros es producto final, mientras que el sobretamaño es alimentado a los chancadores recirculando hacia el buzón la descarga de estos, formando el circuito cerrado. El producto final de este circuito tiene un P80 variable en torno a 10(mm).

Por otro lado el material tratado por los CHAS 4 y 5 puede ser alimentado al buzón 102 como también puede ser alimentando a un circuito paralelo de chancado terciario, el cual consiste en un chancador terciario CHAT 10, Sh Symons 7’ de 300(HP). El producto de este chancador es recirculado a una batería de cuatro (4) harneros simples (UTHA 1919 mm x 902 mm), cuyo bajo tamaño conforma parte del producto final de chancado, mientras que el sobre tamaño es reprocesado en el chancador CHAT 10.

Planta Molienda Sewell

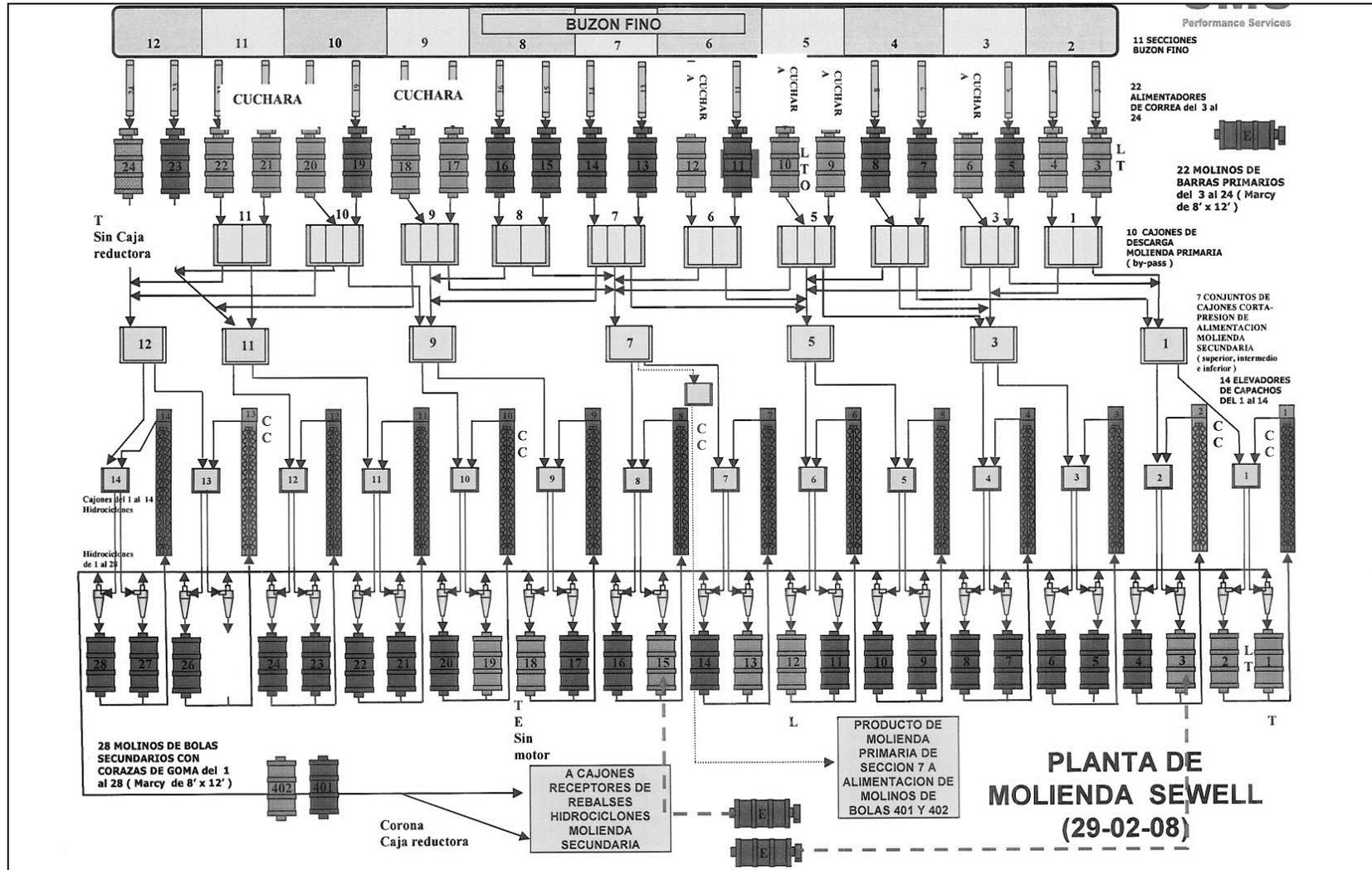


Figura 4: Planta Molienda Sewell

## 2.2.2 Planta de Molienda

La planta de molienda de Sewell está conformada por una etapa de molienda a través de molinos de barras (piso primario) y otra mediante molinos de bolas (piso lower), tal como se muestra en la Figura 4.

### 2.2.2.1 Molienda barras

El material producido en la planta de chancado (F80 de 10mm) es alimentando a un buzón (Buzón Fino) que suministra el material para la primera etapa de molienda. Esta etapa se lleva a cabo mediante 22 molinos de barras 8'x12' de 400(HP) cada uno (11 secciones con 2 molinos en cada sección). El producto de estos molinos, de un P80 cercano a 1.2 (mm) (1200 ( $\mu\text{m}$ )), se alimenta a 10 cajones de descarga donde se redistribuye la carga a 7 cajones corta-presión de alimentación a la molienda secundaria.

### 2.2.2.2 Molienda bolas

Los 7 cajones corta-presión alimentan a 14 cajones de alimentación de hidrociclones. Cada cajón alimenta a dos líneas de molienda con un hidrociclón y un molino de bolas (28 molinos de bolas en total, MOBO 1 al MOBO 28.) 8'x12' de 400(HP) cada uno. La descarga de ambos molinos es recirculada al cajón de alimentación de hidrociclones a través de un elevador de capachos. El P80 del producto enviado a la planta de flotación es de unos 145( $\mu\text{m}$ ).

Adicionalmente, existen dos (2) molinos de bolas (MOBO 401 y 402), ubicados en otro sector de la planta (ex – etapa de retratamiento), que se incorporan al circuito de molienda secundaria desde el cajón corta-presión n°7. Cada uno de estos molinos es antecedido por un hidrociclón, operando en sistema directo cerrado, el rebose del hidrociclón conforma parte del producto final de molienda y es impulsado por una bomba centrífuga al sector de molienda secundaria; mientras que la descarga del hidrociclón es alimentada al molino de bolas respectivo.

## Capítulo 3: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 3.1 CONMINUCION

En forma natural, generalmente los minerales de interés se encuentran asociados y atrapados por materiales de ganga, lo que dificulta su concentración, la forma más simple de pelear esta situación es reducir de tamaño el material que contiene mineral de interés de tal forma que se tengan partículas constituidas en su mayor parte o completamente por mineral, de tal forma de hacer más sencillo el proceso de concentración. Estos procesos de reducción de tamaño, o de conminución, tienen como único objetivo el reducir el tamaño de alimentación hasta un tamaño óptimo para la alimentación del proceso posterior.

Es importante considerar que los mayores consumos de energía dentro de las etapas del procesamiento de minerales están dados en la conminución (de forma específica en la molienda), por lo que es necesaria la determinación del tamaño óptimo a alimentar en los procesos posteriores de tal forma de no conminuir más allá de este punto. Para ejemplificar lo anterior, en los procesos de lixiviación se necesita que el tamaño de partícula ronde la ½ pulgada, mientras que para la flotación los 100 micrones, por lo que para lixiviación solo se llevara a cabo un chancado primario y secundario, mientras que para la flotación se agregara a lo anterior chancado terciario (dependiendo del circuito) y la molienda.

Los minerales son materiales cristalinos, los cuales tienen sus átomos unidos por enlaces químicos y a su vez estos cristales se encuentran unidos por fuerzas físicas. Cuando se lleva a cabo la reducción de tamaño de partículas de mineral son estas fuerzas las que tienen que ser sobrepasadas por los esfuerzos de compresión o tensión que sufren las partículas. En su mayoría, los materiales, incluso encontrándose en la naturaleza, se ven continuamente sometidos a diferentes fuerzas lo que implica que contengan diferentes defectos y grietas en las estructuras que forman, esto sumado a la diversidad de minerales que se encuentran asociados constituye una ventaja a la hora de la reducción de tamaño, ya que heterogeniza la resistencia que tiene el material a ser conminuido.

Cuando las fuerzas de tensión o compresión no son suficientes para reducir de tamaño al material y crear nueva área superficial muchas veces si se crean fracturas o grietas intersticiales que ayudan en los procesos posteriores de reducción de tamaño.

### 3.1.1 Mecanismos de Fractura

La heterogeneidad de materiales que se encuentran en una partícula, la presencia de fallas y grietas y las distintas maneras en las que se aplica la fuerza determinaran mediante cual mecanismo se fracturara la partícula (ver Figura 5):

- a) **Compresión:** Se produce cuando existen fuerzas compresivas que actúan a baja velocidad sobre la partícula, produciendo mayormente partículas gruesas y algunas de finas. El mejor ejemplo es la acción compresiva que ocurre entre las lanas de un chancador, ya que este no impacta la roca si no que la comprime.
- b) **Impacto:** Ocurre cuando la fuerza aplicada excede la necesaria para la simple reducción de tamaño y se produce una gran cantidad de partículas con un amplio rango de tamaños. Un ejemplo de esto es cuando las bolas caen directamente sobre una partícula dentro de un molino.
- c) **Abrasión:** Sucede al existir fuerzas cortantes que actúan principalmente a lo largo de la superficie de la partícula. Forman principalmente dos tamaños de partículas, uno muy cercano a la partícula original y por otro lado un material fino. Dentro de los molinos por ejemplo, este mecanismo se produce principalmente al roce entre las mismas partículas como también con los cuerpos moledores.

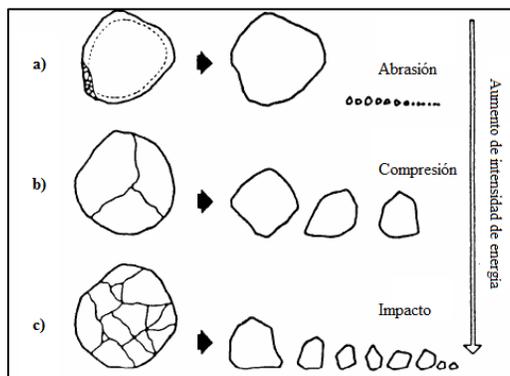


Figura 5: Mecanismos de Fractura [1]

### 3.1.2 Teorías De La Conminución

Los procesos de conminución son procesos altamente ineficientes, un porcentaje muy menor de la energía suministrada a los equipos de conminución se utiliza específicamente en la reducción de tamaño y la gran parte de esta se consume en el movimiento de los equipos, resistencias de fricción, resistencias elásticas, etc. Se han postulado diversas teorías que relacionan la reducción de tamaño de las partículas con la energía necesaria para esto, determinando la energía específica de la tarea de molienda, buscando mejorar los procesos y elevar la eficiencia de estos. Las teorías más reconocidas son las tres teorías de la conminución que propusieron separadamente Rittenger, Kick y Bond.

Rittenger (1867) postuló una relación entre el área superficial creada en los procesos de conminución y la energía específica consumida por este proceso. Estableció que: “La energía específica consumida en la reducción de tamaño de un sólido es directamente proporcional a la nueva superficie creada” considerando la energía necesaria para producir la ruptura de cuerpos solidos ideales una vez que el material alcanzó su deformación crítica o límite de ruptura.

$$E_R = K_R \left( \frac{1}{P_{80}} - \frac{1}{F_{80}} \right), kWh/t \quad (1)$$

Donde  $E_R$  corresponde a la energía específica de acuerdo al postulado de Rittenger,  $F_{80}$  y  $P_{80}$  ( $\mu\text{m}$ , micrones) son los tamaños del 80% pasante acumulado en la alimentación y producto respectivamente y  $K_R$  a la constante de Rittenger.

Kick (1885) propuso una segunda teoría: “La energía requerida para producir cambios análogos en el tamaño de cuerpos geoméricamente similares es proporcional al volumen de estos cuerpos”. Consideró que la energía utilizada en la fractura de una partícula ideal era solo aquella necesaria para deformar el sólido hasta su límite de ruptura, despreciando la energía adicional para producir la ruptura del mismo.

Expresándolo de la siguiente forma:

$$E_k = K_k \log\left(\frac{F_{80}}{P_{80}}\right), \quad kWh/t \quad (2)$$

Donde  $E_K$  corresponde a la energía específica y  $K_K$  es la constante de Kick.

Si bien el postulado de Kick al igual que el de Rittenger no contó con un respaldo experimental se ha demostrado en la práctica que el postulado de Kick se acerca a la realidad en la molienda de partículas finas, mientras que el postulado de Rittenger al chancado de partículas de gran tamaño.

Por ultimo Bond (1952) [2] postula la ley conocida como la “Tercera Ley de la Conminución” o “Ley de Bond”, la que establece que: “La energía consumida para reducir el tamaño 80% de un material, es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del tamaño 80%; siendo este último igual a la abertura del tamiz (en micrones) que deja pasar el 80% en peso de las partículas” Estableciendo:

$$E_B = K_B \left( \frac{1}{\sqrt{d_P}} - \frac{1}{\sqrt{d_F}} \right), kWh/t \quad (3)$$

Donde  $E_B$  es el consume específico de energía (Kwh/t),  $K_B$  es la constante de Bond y  $d_P$  y  $d_F$  son los tamaños característicos de producto y alimentación del mineral fracturado, los que Bond estableció como el tamaño por el cual pasa el 80% del mineral (pasante acumulado), en micrones.

Luego de esto Bond estableció una prueba de molienda estandarizada la cual entrega un dato sobre el trabajo que se debe aplicar a una tonelada corta de material para reducirlo desde un tamaño infinito a un tamaño tal que el  $P_{80}$  sea de 100  $\mu m$ , expresado en kWh/tc:

$$W_i = K_B \left( \frac{1}{\sqrt{100}} - \frac{1}{\sqrt{\infty}} \right) = \frac{K_B}{10}, kWh/tc \quad (4)$$

Y tras reemplazar  $K_B$  en la ecuación (3) quedaría:

$$E_B = W_i \left( \frac{10}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80}}} \right), kWh/t \quad (5)$$

Esta ecuación es de vital importancia para el dimensionamiento de equipos y circuitos de reducción de tamaño. El dato de  $W_i$  es un dato experimental que dependerá tanto del mineral como del equipo a utilizar.

## **3.2 ETAPA DE CHANCADO**

El chancado es el proceso de reducción de tamaño que se realiza una vez obtenido el mineral desde el yacimiento minero (incluso muchas veces se tiene un chancado primario dentro del yacimiento) y tiene como objetivo reducir el tamaño desde un tamaño ROM (run of mine) hasta el tamaño de alimentación de la molienda. Dependiendo de mineral a tratar y de la granulometría deseada para la alimentación de la molienda el chancado puede tener dos, tres y en algunos casos hasta cuatro etapas.

En el chancado primario existen dos chancadores frecuentemente utilizados, chancadores giratorios y chancadores de mandíbulas, los que dependiendo de las condiciones de trabajo serán elegidos para el proceso. En la Planta de Chancado de Sewell el chancador primario que se utiliza es el chancador de mandíbulas.

### **3.2.1 Chancador de Mandíbulas**

El chancador de mandíbulas, tal como se muestra en la Figura 6, consiste básicamente en un bastidor en forma de caja con dos placas, una frente a otra con un cierto ángulo de inclinación, una de estas se encuentra fija y la otra móvil, la primera se acerca y aleja continuamente aprisionando el material contra la otra tal como lo hacen las mandíbulas, de allí su nombre. El material mientras es aprisionado es conminuido y luego cuando las mandíbulas se alejan este cae hacia un espacio más confinado entre las mandíbulas para que con un nuevo acercamiento sufra una nueva fragmentación, permitiéndole finalmente caer por la abertura de la descarga cuando ya haya alcanzado el tamaño deseado. Estos equipos son elegidos por su capacidad de ser alimentados por colpas de gran tamaño.

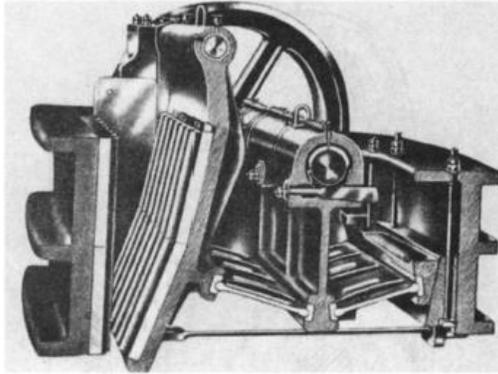


Figura 6: Sección transversal de un chancador de mandíbulas [3]

Los chancadores de mandíbulas se clasifican según la forma en la cual la placa móvil se encuentra pivoteada, esta puede estar pivoteada en la parte superior, inferior o media. En los chancadores pivoteados en la parte superior se tiene una área de alimentación fija y una descargar variable y son los que se utilizan en la mayor parte de la industria. El tamaño máximo de la descarga de estos chancadores está dado por la abertura en la parte inferior entre las mandíbulas llamada setting del chancador,

### 3.2.2 Chancador de Cono

En la etapa de chancado secundario y terciario en la planta de Sewell como también casi universalmente son usados los chancadores de cono, los que están formados por un cuerpo fijo en forma de embudo y dentro de este un cuerpo móvil con forma de cono. El cuerpo móvil se mueve en forma excéntrica dentro del cuerpo fijo, de tal forma que el mineral que va cayendo por los costados va reduciéndose de tamaño y luego cayendo a la descarga del chancador.

Los chancadores de cono más utilizados en la industria son los chancadores Symons, que son producidos en dos tipos, Standard y Short-Head (ver Figura 7 y Figura 8), que son utilizados en chancado secundario y terciario respectivamente. Se diferencian principalmente en el chamber del chancador. El chancador Standard tiene lanas escalonadas, lo que le permite tratar una mayor cantidad de gruesos que un Short-Head, por otro lado el Short-Head tiene un ángulo de cabeza más escalonado lo que le previene el atollo con material más fino que es tratado. Un factor importante en la operación de estos chancadores es el factor de llenado en el que trabajan, si se tiene un porcentaje mayor de la

cavidad con material se hará más fácil el chancado de este, debido a que entre el mismo material actuaran fuerzas de compresión que ayudaran con la disminución de tamaño.

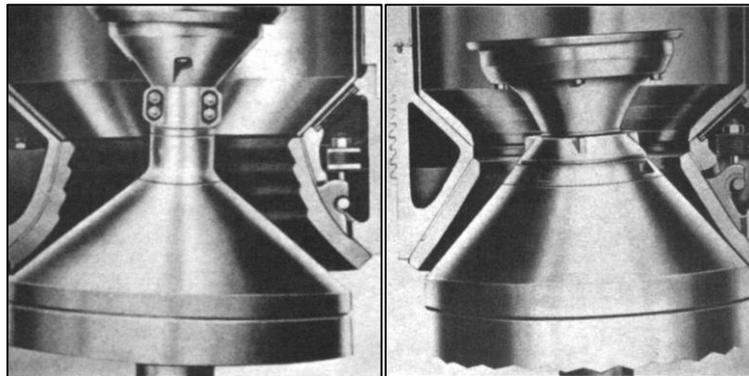


Figura 7: Chancador cabeza estándar [3]      Figura 8: Chancador cabeza corta [3]

### 3.3 ETAPA DE MOLIENDA

La molienda es la etapa final de la conminución; en esta etapa las partículas son reducidas de tamaño por una combinación de los mecanismos de impacto y abrasión. En el mayor de los casos la molienda se lleva a cabo a través de molinos que consisten básicamente en cilindros que contienen medios molidores que se encuentran libres los que reducen de tamaño al material. Los medios molidores pueden ser barras, bolas e incluso las mismas partículas de mayor tamaño del material. Por lo general el rango de trabajo de los molinos se encuentra desde 5 y 0.25 mm en la alimentación, produciendo tamaños entre 40 y 300  $\mu\text{m}$ . Los factores más relevantes dentro de la molienda son el tamaño de partícula, el tonelaje, el tipo de movimiento dentro del molino y los espacios entre los cuerpos molidores. Lo más frecuente es que la molienda se lleva a cabo agregando agua al proceso y tratando al material como una pulpa.

Cabe recordar que la mayor parte de la energía entregada al molino se pierde en forma de en la cinética del cilindro, además del calor y ruido entre otras formas de energía y una pequeña fracción es empleada para la reducción de tamaño propiamente tal.

#### 3.3.1 Movimiento de la Carga en el Molino

Lo más característico en los molinos de la minería son los medios de molienda que son utilizados, los cuales son grandes, pesados y duros en comparación con las partículas

pero pequeños en comparación con el volumen del molino. Debido a la rotación y la fricción de la coraza del molino los cuerpos moledores son levantados siguiendo el mismo movimiento de rotación del molino hasta que el punto de equilibrio de las fuerzas es alcanzado y el cuerpo molidor cae sobre el resto de los cuerpos moledores o idealmente sobre las partículas. El cuerpo molidor puede moverse de tres formas posibles, rotación sobre su propio eje, caída en cascada (los medios bajan rodando por la superficie de los otros cuerpos) y caída en catarata que corresponde a la caída libre de los medios de molienda sobre el “pie” de descarga, lo anterior dependerá de la velocidad a la cual gira el molino y del tipo de revestimiento de este.

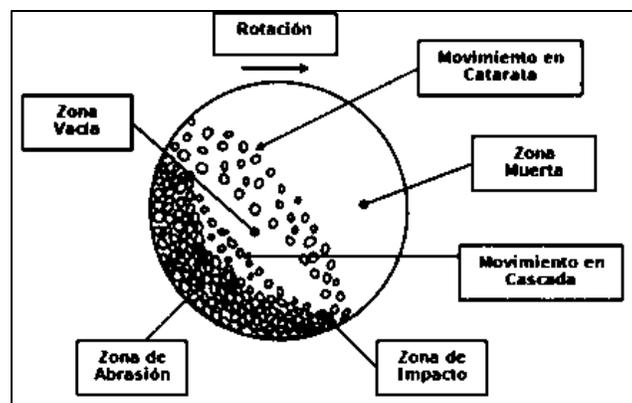


Figura 9: Movimiento de la carga en un molino [1]

Tal como se muestra en la Figura 9, si se trabaja con una velocidad baja los medios de molienda tenderán a caer en un movimiento de cascada rodando hacia el “pie” de descarga produciendo principalmente una conminución abrasiva lo que generará una gran cantidad de finos y gran desgaste de los revestimientos. Por otro lado, una mayor velocidad del molino producirá una caída de catarata, proyectando los cuerpos moledores en parábolas que caerán en el “pie” de descarga del molino, provocando una conminución por impacto lo que entregará un producto de tamaños más gruesos y con menor descaste de los revestimientos.

La velocidad a la cual se alcanza el equilibrio de fuerzas y el cuerpo molidor no cae es llamada velocidad crítica y es determinada de la siguiente forma:

$$N_c = \frac{42.3}{\sqrt{D - d}}, rev/min \quad (6)$$

Donde  $N_c$  es la velocidad crítica del molino,  $D$  es el diámetro interior del molino y  $d$  es el diámetro de la barra o bola ocupada como medio moledor.

En la práctica los molinos son operados entre el 50 y 90% de la velocidad crítica, esta decisión es influenciada por consideraciones económicas. Aumentar la velocidad aumenta la capacidad pero se pierde cierta eficiencia por sobre los 50%.

### 3.3.2 Partes de un Molino

En forma básica los molinos consisten en un tambor soportado en muñones huecos y fijos a las paredes laterales de modo que puede girar en torno a su eje. Sus partes fundamentales son: casco, revestimiento, rejillas, cuerpos moledores, dispositivos de carga y descarga y mando del molino.

- Muñón de entrada: Conducto por el cual se alimenta el material a procesar
- Descansos: Soportes del molino y la base sobre la que gira el molino
- Piñón: Engranajes que transmiten el movimiento. El motor del molino acciona un contra-eje al que está adosado el piñón, este es encargado de accionar la catalina la que proporciona movimiento al molino, dicha catalina es de acero fundido con dientes fresados
- Casco: Es el tambor principal del molino, está diseñada para soportar impactos y grandes tonelajes, es construido por placas de acero forjadas y soldadas.
- Revestimiento: Protegen el casco del molino resistiendo el impacto de los cuerpos moledores y a su vez tienen distintas formas para adicionar más levantamiento a los cuerpos.
- Trunnión de descarga: Conducto por el cual se descarga la pulpa
- Cucharón de alimentación: Sistema que forma parte del muñón de entrada al molino que recoge la pulpa desde una bomba a través de una o más cucharas.
- Trommel: Retiene las bolas desgastadas como también rocas que no pudieron ser reducidas de tamaño que abandonan el molino de tal forma que no caigan al clasificador o bombas y generen problemas aguas abajo.

### 3.3.3 Molinos de Barras

Son considerados equipos de un chancado fino o molienda gruesa. Son capaces de ser alimentados por partículas de un tamaño de 50mm produciendo material tan fino como 300 $\mu$ m, entregando un factor de reducción de valores entre 15-20.

Por lo general el largo de los molinos es entre 1.5 a 2.5 veces el diámetro, lo que es importante debido a que el largo de las barras es solo algunos centímetros más corto que el del casco (Figura 10), ya que se debe tener precaución de un posible atascamiento de alguna barra a lo ancho del molino, mientras que por otro lado se debe tener cuidado con aumentar demasiado esta razón ya que aumentan las posibilidades de una deformación o quiebre de las barras.

Los molinos de barras son clasificados por la forma en que descargan la pulpa, descargan perimetral central, descarga perimetral final y descarga por rebose. Siendo el más usado en la industria minera el de descarga por rebose.

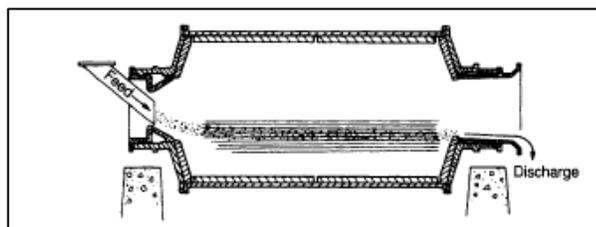


Figura 10: Molino de barras [3]

En este tipo de molinos el trunnión de descarga tiene de 10 a 20 cm más de diámetro lo que produce un gradiente de flujo. Este trunnión de descarga frecuentemente se encuentra con una placa espiral que ayuda a retirar el material vagabundo. La velocidad de los molinos de barras generalmente se encuentra entre el 50 y 65% de la velocidad crítica, de tal forma que se tenga un más movimiento de cascada que de catarata. Usualmente la pulpa alimentada se encuentra entre el 65 y 85% de sólidos. La acción de fractura se debe al contacto lineal que existe entre las barras y las partículas; las barras tumban en forma paralela entre si y además giran. La carga gruesa tiende a separar las barras en la entrada de alimentación, lo que produce un arreglo en forma de cono de las barras lo que ayuda a la molienda de gruesos en el extremo de alimentación y previene la formación de material

muy fino, es por esto que estos molinos entregan un rango de tamaño de partícula bastante estrecho.

### **3.3.4 Molinos de Bolas**

Debido a la mayor área superficial de las bolas en comparación con las barras en molienda de tamaños finos son utilizados los molinos de bolas. La razón entre el largo y el diámetro de los molinos de bolas se encuentra entre 1 y 1.5, si bien existen molinos con razones mayores a esta estos cuentan como distintos compartimientos a lo largo del molino, los que tienen diferentes cuerpos moledores y se utilizan principalmente para molienda en seco de materiales no metálicos.

Los molinos de bolas al trabajar en la última etapa de molienda deben cumplir con cierta granulometría de producción, es por esto que en el mayor parte de los casos los molinos funcionan en un circuito cerrado, es decir, con un clasificador a la descarga del molino, de tal forma de asegurar la finesa del producto.

La molienda dentro de los molinos es efecto del punto de contacto entre las bolas y las partículas del material, sumado a esto el tiempo, cualquier grado de finesa podría ser alcanzado. El proceso es completamente al azar – la probabilidad de que una partícula fina sea impactada por una bola es la misma que tiene una partícula gruesa, siguiendo esta idea, en un molino de bolas funcionando en circuito abierto se obtendrá un rango de tamaños de partículas bastante amplio. Por lo anterior y sumado a que los molinos de bolas operan en la etapa final de molienda y deben entregar un producto con cierta granulometría hace necesario en la mayor parte de los casos los molinos deban trabajar en circuitos cerrados, es decir, con un clasificador en la descarga del molino de tal forma de asegurar la finesa requerida.

Son varios los factores que influyen en la eficiencia de los molinos de bolas. La densidad de pulpa debería ser lo más alta posible, siempre y cuando asegurando la fluidez de la carga dentro del molino. Es fundamental que en las bolas se forme una capa de material para disminuir el contacto de metal con metal lo que aumenta el consumo de acero y reduce la eficiencia. El porcentaje de sólidos dentro del molino debería variar entre 65 y 80% de sólidos, dependiendo del material a tratar.

### 3.4 CLASIFICACION

“Se denomina clasificación a la operación de separación de los componentes de una mezcla de partículas en dos o más fracciones de acuerdo a su tamaño” [4] Para el caso de las plantas de la Division El Teniente, y en particular en el caso de las plantas de Chancado y Molienda Sewell los equipos utilizados para la clasificación son los harneros y los hidrociclones.

#### 3.4.1 Harneado

En forma simple, un harnero es una superficie que cuenta con una gran cantidad de aperturas, normalmente con dimensiones uniformes. Las partículas al encontrarse con esta superficie tendrán dos alternativas, ser retenidas por esta o atravesarla a través de alguna de estas aperturas, esto estará determinado por si las partículas son mayores o menores a la abertura del harnero. La eficiencia de clasificación del harnero estará determinada por el grado de separación del material fino y/o grueso a su esperado destino, es decir, si una partícula es de menor tamaño que la abertura se espera que atraviese la superficie del harnero y lo no así para una partícula de tamaño mayor.

##### 3.4.1.1 Tipos de Harneros

- a) Parrilla estacionaria: Superficie de barras fijas diseñadas para carga pesada, utilizadas en etapa primaria antes de chancador primario.
- b) Parrilla de rodillos: Al igual que la parrilla estacionaria se ocupan antes de chancador primario y consiste en una serie de rodillos perpendiculares al sentido de alimentación los cuales giran para mover la carga.
- c) Superficies curvadas: Son utilizados para pulpa con agua, en este tipo la pulpa es alimentada verticalmente sobre barras horizontales que forman una curva pronunciada, dejando una ranura entre cada barra por donde pasan las partículas finas.
- d) Cribas Vibratorias: Existen de un plano o varios planos inclinados, un ejemplo de estos últimos son los harneros tipo “banana”. Son los más utilizados en las etapas de chancado secundario y terciario.

### 3.4.1.2 Eficiencia de separación

La eficiencia está determinada por la optimización de la separación del material en dos fracciones, un sobretamaño (C) y un bajotamaño (U), como se aprecia en la Figura 11, el balance de masa será de la siguiente forma:

$$F = U + C \quad (7)$$

Dónde:

F: Material alimentado al harnero

U: Material en el producto bajotamaño

C: Material en el producto sobretamaño

$f$ : Fracción de mineral en la alimentación al harnero que tiene un tamaño mayor a la abertura del harnero

$u$ : Fracción del mineral en el bajotamaño que tiene un tamaño mayor a la abertura del harnero

$c$ : Fracción del mineral en el sobretamaño que tiene un tamaño mayor a la abertura del harnero

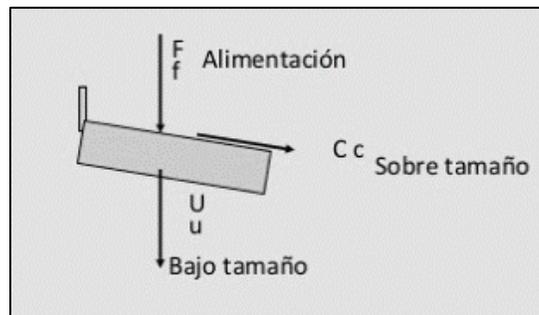


Figura 11: Diagrama Proceso Harneado

Ahora si este balance de masa lo llevamos a la fracción de gruesos (partículas mayores a la abertura del harnero) queda de la siguiente forma:

$$Ff = Uu + Cc \quad (8)$$

Podemos llegar entonces a la que la eficiencia de clasificación (dada por la recuperación de material fino en el bajotamaño) estará descrita de la siguiente forma:

$$\eta = \frac{\% \text{ o flujo de finos en bajo tamaño}}{\% \text{ o flujo de finos en alimentacion}} = \frac{U(1 - u)}{F(1 - f)} \quad (9)$$

Combinando esta ecuación con el balance de masa nos queda:

$$\eta_{us} = \frac{(1 - u)(c - f)}{(1 - f)(c - u)} \quad (10)$$

Para el caso de la recuperación de material grueso en el sobretamaño la eficiencia será:

$$\eta_{os} = \frac{c(f - u)}{f(c - u)} \quad (11)$$

#### 3.4.1.3 Factores que afectan la eficiencia de clasificación:

- Tasa de alimentación: Si un harnero es alimentado con un gran cantidad de material este no tendrá suficiente tiempo para ser clasificado.
- Tipo de harnero a utilizar: Distintos tipos de harneros son utilizados con distintos objetivos,.
- Angulo del harnero: Un ángulo menor de harnero podrá incrementar el tiempo de residencia de la partícula pero podrá incrementar la probabilidad de atollo.
- Forma de la partícula: En su mayoría las partículas no son esféricas lo que puede dificultar la clasificación.
- Humedad de la partícula: Un material húmedo disminuye significativamente la eficiencia de clasificación ya que no fluye correctamente a través de la superficie y puede llegar a producir enlampes.
- Área Abierta
- Vibración del harnero
- Distribución granulométrica del material a clasificar

### 3.5 HIDROCICLONES

Los hidrociclones son equipos de clasificación de operación continua que utilizan la fuerza centrífuga para acelerar las partículas, es uno de los equipos más importantes en la industria minera ya que tienen una elevada eficiencia en la clasificación de partículas finas.

Un ciclón, como se distingue en la Figura 12, consiste básicamente en un cono con una abertura inferior conocida como “ápex” unido a una sección cilíndrica en donde es alimentado el mineral por una entrada tangencial llamada “inlet”. En la parte superior de la sección cilíndrica se encuentra un plato que la cierra y este a su vez es atravesado axialmente por una tubería, esta tubería se extiende dentro del cuerpo del ciclón por una sección removible llamada “vortex”

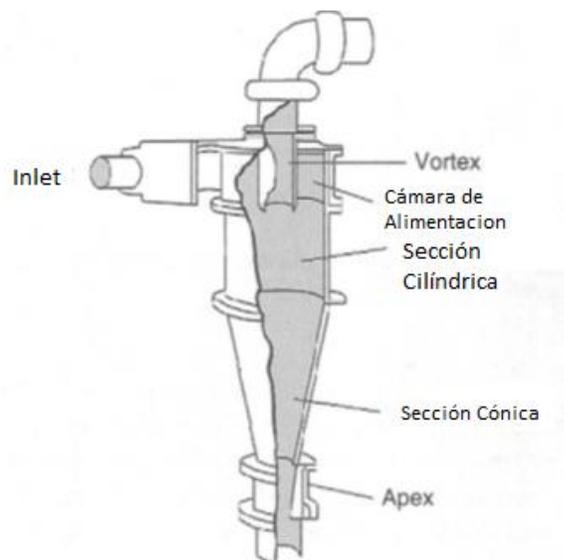


Figura 12: Detalle Partes Hidrociclón [4]

La alimentación se ingresa al equipo bajo presión a través de la entrada tangencial “inlet” la que imparte un movimiento de remolino a la pulpa. Este movimiento genera un vortex en el ciclón de baja presión a lo largo del eje vertical lo que crea un flujo ascendente de aire desde el apex (que se encuentra conectado a la atmosfera) hacia la parte superior del ciclón, mientras que en la parte exterior del ciclón se produce un flujo descendente con movimiento tangencial. Gracias a estos dos movimientos se produce la separación de partículas, las de mayor tamaño y por ende más pesadas se mueven en la parte externa del

ciclón bajando hacia el apex, y las partículas pequeñas y por ende más livianas son elevadas por el flujo ascendente y liberadas por el vortex.

### 3.5.1 Dimensiones Típicas de un Hidrociclón

Tal como se muestra en la Tabla 1 existen variadas teorías con respecto a las dimensiones que debería poseer un hidrociclón, estas varían según su objetivo como también del autor, algunas se pueden ver a continuación:

Tabla 1: Parámetros de ciclones según autores

| Parámetros de Hidrociclón             | Mular y Jull [5]   | Arterburn  |
|---------------------------------------|--|--|
| Área sección transversal alimentación | 6-8% de la cámara de alimentación                              | $(0,015-0,02)\pi D_c^2$  |
| Vortex, $D_o$                         | 35%-40% de $D_c$   | $0,35D_c$  |
| Angulo del Cono                       | 12° para $D_c < 250\text{mm}$<br>20° para $D_c > 250\text{mm}$ | 12° para $D_c < 250\text{mm}$<br>20° para $D_c > 250\text{mm}$ |
| Diámetro del Apex                     | $> 0,25 D_o$   | $> 0,10 D_o$   |

En forma general se tienen las siguientes reglas:

- La sección del inlet es alrededor de 70% de la sección de la cámara de alimentación.
- El diámetro del vortex debe ser entre el 20 y 40% del diámetro del ciclón,
- El diámetro del apex 25% del diámetro del vortex.

Por otro lado se tienen algunas relaciones entre la geometría del ciclón con el  $d_{50C}$  obtenido:

- $d_{50C}$  incrementa con un incremento del diámetro del vortex
- $d_{50C}$  incrementa con una disminución del diámetro del apex
- $d_{50C}$  incrementa con un incremento en el diámetro del inlet
- $d_{50C}$  disminuye con un incremento en el largo del ciclón

Desde el punto de vista operacional se encontró que la relación entre los diámetros de apex ( $D_u$ ) y vortex ( $D_o$ ) tiene una alta relevancia en el tipo de descarga del ciclón, lo que se muestra en la Tabla 2: Relación  $D_u/D_o$  y descarga de hidrociclón Tabla 2 y Figura 13:

Tabla 2: Relación  $D_u/D_o$  y descarga de hidrociclón

| Autor          | $D_u/D_o$     | Condición |
|----------------|---------------|-----------|
| Bustamante [6] | $< 0,34$      | Atollo    |
|                | $0,34 - 0,5$  | Correcto  |
|                | $> 0,5$       | Spray     |
| Concha [7]     | $< 0,45$      | Atollo    |
|                | $0,45 - 0,56$ | Correcto  |
|                | $> 0,56$      | Spray     |

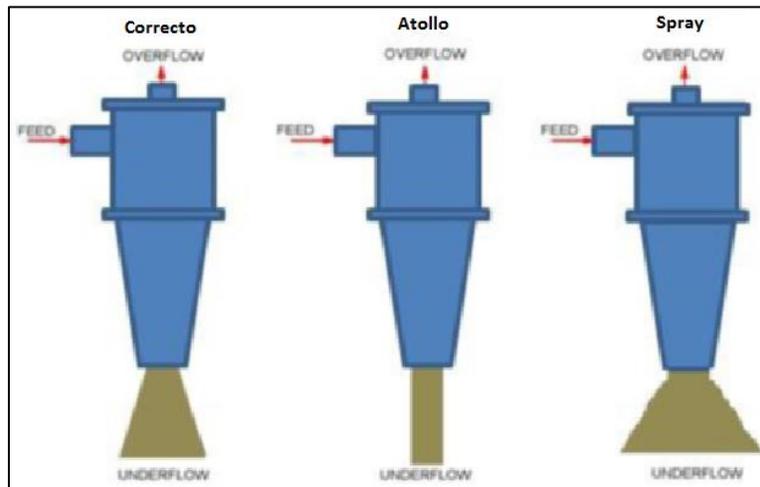


Figura 13: Tipos de flujos de descarga de hidrociclón [8]

### 3.6 MODELACIÓN Y SIMULACIÓN

La modelación es un procedimiento matemático con el cual se busca entregar valores de cierto proceso de la forma lo más cercana posible a la realidad a través fórmulas matemáticas que necesitarán de datos medibles del sistema a modelar como también de datos intrínsecos del proceso, como por ejemplo características del mineral a conminuir y velocidad de quiebre generado por el equipo.

El objetivo de la modelación es la posterior construcción de una simulación del proceso, con la cual puedan ser evaluadas nuevas condiciones de operación de tal forma de optimizar el proceso o bien el estudio de diferentes diseños de proceso ya sea para la creación de circuitos nuevos o de modificaciones a circuitos existentes. Un ejemplo de esta idea se representa a través de la Figura 14.

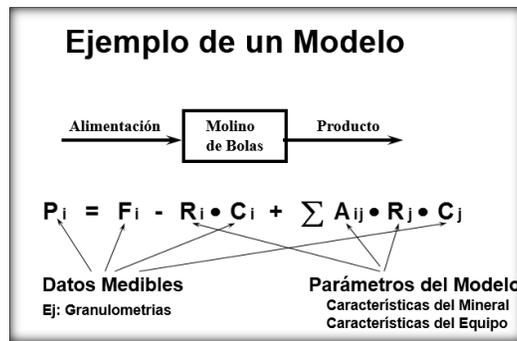


Figura 14: Diagrama de ejemplo de un modelo

En el caso de la simulación de una planta de chancado o molienda son necesarios los modelos de los procesos de conminución que están involucrados como también los modelos de clasificación. Es importante destacar que tal como existen diferentes simuladores que son utilizados para este tipo de procesos existen a su vez diferentes modelaciones en las que están basados los simuladores.

### 3.7 JKSIMMET: DESCRIPCION GENERAL DEL SOFTWARE

JKSimMet es un simulador de plantas de procesamiento de mineral que da la posibilidad de simular circuitos de reducción de tamaño, incluyendo las etapas de clasificación. Algunos de los equipos que pueden ser simulados son; chancador de mandíbulas, chancador de cono, molinos de barras y bolas, harneros vibratorios, hidrociclones, etc. Una de las mayores ventajas que tiene este simulador es que es bastante amigable con el usuario (ver Figura 15) ya que no se necesitan conocimientos detallados en computación o modelación para su manejo.

El software puede ser utilizado en tres principales modos, Balance de Masa, Ajuste de Modelo y Simulación.

Dentro de las posibilidades que entrega JKSimMet es la de entregar las curvas granulométricas del material que se encuentre en determinada corriente o equipo, además de esto se puede graficar valores experimentales junto con los entregados por el simulador y así corroborar que la simulación se ajuste a la realidad.

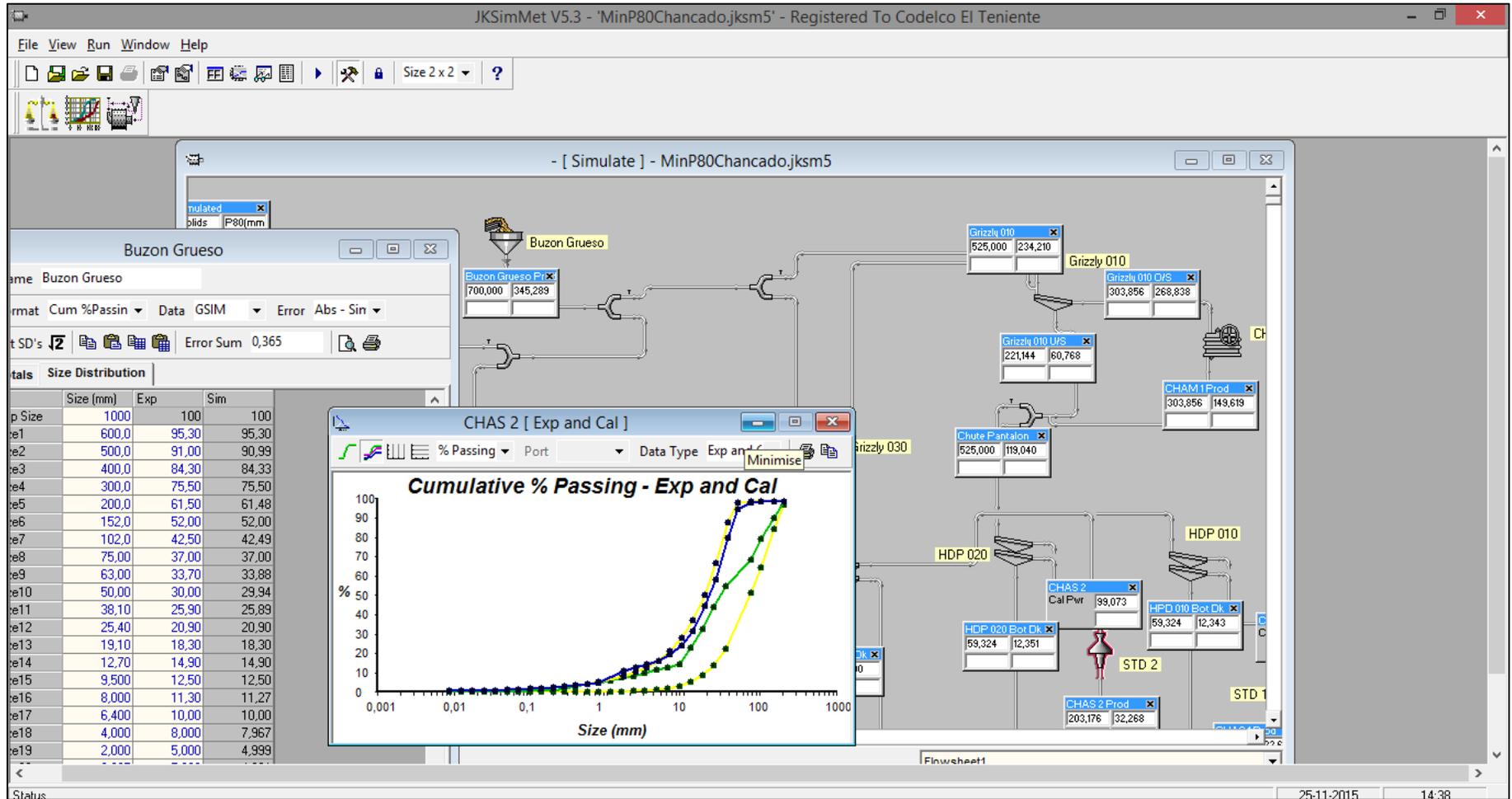


Figura 15: Interfaz del simulador JKSimMet

### 3.8 MODELOS UTILIZADOS POR JKSIMMET

#### 3.8.1 Modelo Curva Eficiencia para Harneros

La curva eficiencia para harneros esta descrita de la siguiente forma:

$$E_0\left(\frac{d}{d_{50}}\right) = C * \frac{(e^\alpha - 1)}{\left(e^{\alpha \frac{d}{d_{50}}}\right) + e^\alpha - 2} \quad (12)$$

Este modelo es fácil de ajustar y los parámetros a definir son el factor C (Water Split), alpha y d50c, los que en conjunto configuran la curva eficiencia.

#### 3.8.2 Modelo Anderson-Whiten para Chancado

Este modelo considera el proceso de chancado como dos sub-procesos:

a) Selección de las partículas que se fracturaran.

Este sub-proceso se modela mediante una función de clasificación C(x), que se representa mediante la siguiente formulación:

$$C(x) = 1 \text{ para } x < K_1 \quad (13)$$

$$C(x) = 1 - \left[\frac{K_2 - x}{K_2 - K_1}\right]^{K_3} \text{ para } K_1 < x < K_2 \quad (14)$$

$$C(x) = 1 \text{ para } x > K_2 \quad (15)$$

- El parámetro K<sub>1</sub> representa la partícula más grande que no será chancada.
- El parámetro K<sub>2</sub> representa la partícula más pequeña que será chancada.
- El parámetro K<sub>3</sub> representa la transición entre K<sub>1</sub> y K<sub>2</sub>.

Los parámetros K<sub>1</sub> y K<sub>2</sub> se modelan cada uno con funciones que dependen del CSS, tonelaje de alimentación y F80.

b) Rompimiento de las partículas seleccionadas

Este sub-proceso se modela mediante una función de aparición que representa la distribución granulométrica del producto chancado mediante el empleo de un conjunto de parámetros denominados t<sub>n</sub>.

Idealmente el mineral procesado en una planta debiese ser sometido a pruebas de JK Drop Weight Test, de modo de obtener las relaciones entre diferentes parámetros  $t_n$  y  $t_{10}$ , para diferentes consumos específicos de energía. En caso de no contar con estas pruebas metalúrgicas, el software JK cuenta con una base de datos obtenida de pruebas realizadas a minerales de diferentes procedencias.

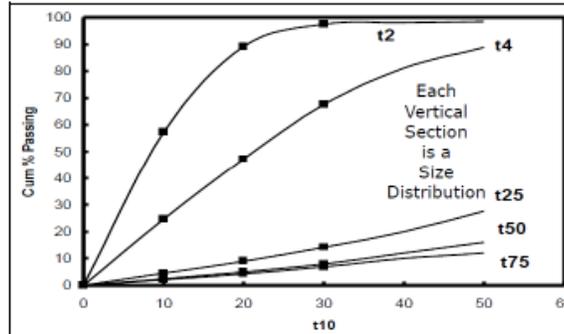


Figura 16: Función de Apariencia Relaciones  $t_{10}$  y  $t_n$  [9]

El parámetro  $t_{10}$  representa (ver Figura 16), para una partícula de determinado tamaño  $Y$ , el % de la alimentación que se ha reducido a una décima parte. Mediante el ajuste del parámetro  $t_{10}$  y las relaciones específicas de este parámetro con el resto de los  $t_n$  se representan las características de rompimiento del material.

El modelo del parámetro  $t_{10}$  se representa mediante la siguiente ecuación:

$$t_{10} = D_1 * CSS + D_2 * TPH + D_3 * F_{80} + D_4 \quad (16)$$

Predicción de Potencia:

El modelo Anderson-Whiten requiere información provista por pruebas de JK Drop Weight Test para realizar un adecuado pronóstico de la energía requerida para fracturar un determinado material a un determinado tamaño. Esta información depende de las características del mineral y corresponde a relaciones entre el consumo específico de energía ( $E_{cs}$ ) y el parámetro  $t_{10}$ .

Para el mineral de Sewell se realizaron pruebas metalúrgicas entre el año 2013 y 2014, entre las cuales se llevaron a cabo pruebas SMC, las que al igual que las pruebas JK

Drop Weight generan datos de Ecs en función del parámetro  $t_{10}$ . En el Anexo D se presenta una breve descripción de la prueba JK Drop Weight y en el Anexo E los resultados de las pruebas SMC realizadas al mineral de Sewell.

### 3.8.3 Modelo Lynch/Kavetsky para Molienda

Este modelo considera el proceso de molienda como tres sub-procesos que ocurren en forma cíclica en el interior del molino durante una determinada cantidad de etapas de fracturamiento. Esta cantidad de etapas depende directamente del flujo de alimentación al molino y se ajusta mediante el parámetro MC (Mill Constant). Los tres sub-procesos indicados anteriormente corresponden a:

- a) Selección de partículas que se fracturarán

Este sub-proceso se modela mediante una función selección  $S(x)$  (Figura 17), que se representa mediante la siguiente formulación:

$$S(x) = SL * x + IN \text{ para } x > XC \quad (17)$$

$$S(x) = SL * XC + IN \text{ para } x < XC \quad (18)$$

$$S(x) > 1 \rightarrow S(x) = 1 \quad (19)$$

$$S(x) < 0 \rightarrow S(x) = 0 \quad (20)$$

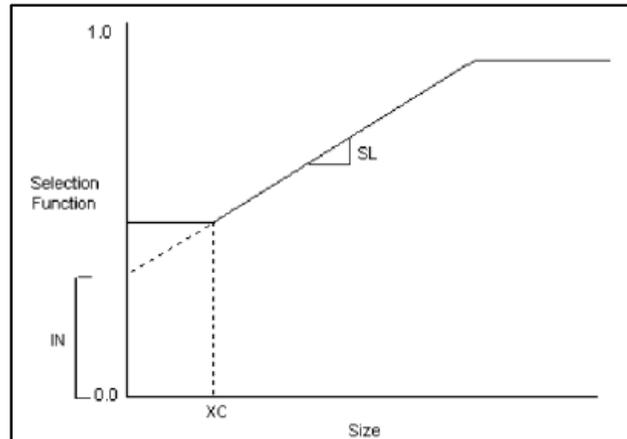


Figura 17: Función Selección Modelo Lynch - Kavetsky de Molino de Barras [9]

Los parámetros XC, SL e IN deben ser ajustados de acuerdo a la distribución granulométrica de descarga del molino barras.

b) Rompimiento de las partículas seleccionadas

Este sub-proceso se modela mediante una función de aparición que define la proporción de partículas de tamaño Y que son reducidas bajo un tamaño X. Idealmente el mineral procesado en una planta debiese ser sometido a pruebas de JKTech, de modo de obtener la función aparición en la forma de un vector. En caso de no contar con estas pruebas el software JK cuenta con una base de datos de funciones de aparición para varios tipos de mineral.

c) Clasificación de las partículas fracturadas que son descargadas como producto final.

Este sub-proceso corresponde a una función de clasificación que simplemente calcula la proporción de partículas de tamaño X que recirculan dentro del molino para ser nuevamente fracturadas. Usualmente se utiliza un vector del tipo 1.0/0.5/0.25/0.125/0.063/etc., de modo de siempre recircular las partículas de mayor tamaño.

### **3.8.4 Modelo Nagaswararao para Hidrociclón**

Este modelo de clasificación aplicado a hidrociclones es bastante complejo, el cual considera la estimación del tamaño de corte, la recuperación de agua en el rebose del ciclón, la recuperación de pulpa en la descarga del ciclón y la relación presión-rendimiento.

El set de ecuaciones que represente la formulación del modelo es extenso y en resumen los parámetros que se deben ajustar son el factor KD0 para modelo del d50c, el factor KQ0 para modelo de capacidad y presión, el factor KV1 para modelo de recuperación de pulpa, el factor KW1 para modelo de la recuperación de agua y factor alpha y beta para modelo de eficiencia.

### **3.8.5 Modelo Perfect Mixing Ball Mill**

Este modelo considera el molino como un estanque de mezcla perfecta donde ocurren dos fenómenos:

a) Selección de las partículas que se fracturaran:

Este sub-proceso se modela mediante una función de selección  $R(x)$ , que define la proporción de partículas de tamaño  $X$  que serán fracturadas.

b) Fracturamiento de las partículas seleccionadas.

Este sub-proceso se modela mediante una función de partición que representa la proporción de partículas de tamaño  $Y$  que son reducidas bajo un tamaño  $X$ .

Idealmente el mineral procesado en una planta debiese ser sometido a pruebas de JKTech, de modo de obtener la función aparición en la forma de un vector. En caso de no contar con estas pruebas, el software JK cuenta con una base de datos de funciones de aparición para varios tipos de mineral.

### **3.9 CONCLUSION REVISION BIBLIOGRAFICA**

Para la optimización de las plantas de chancado y molienda Sewell desarrollada a través del presente trabajo se consideraron, en conjunto, los conocimientos generales de los procesos de conminución, equipos de reducción de tamaño, simulación y específicos ligados al software JKSimMet resumidos en este capítulo.

Para el caso de aumento de capacidad de tratamiento de la planta de Chancado el entendimiento del comportamiento de la etapa de harneado es necesario para paliar el efecto de baja eficiencia que se produce al tratar el material de una humedad elevada.

Por otro lado, para la planta de Molienda, tener presente los efectos de las variables operacionales tales como grado de llenado, porcentaje de sólidos, velocidad del molino y sobretodo la geometría de los hidrociclones permite generar modificaciones en pos de la reducción de consumo de energía como también de ahorro de recurso hídrico.

Finalmente los conocimientos generales nombrados anteriormente deben ser entrelazados con los conocimientos de modelación y simulación para un correcto uso del software JKSimMet.

Es importante recalcar que al ser una simulación de una planta real, además de los conocimientos teóricos comprendidos en este capítulo es necesario el conocimiento del funcionamiento de la planta, con el objetivo de simular y proponer escenarios que sean posibles y realizables desde un punto de vista operacional y/o económico.

## Capítulo 4: METODOLOGÍA

### 4.1 COLECCIÓN DE DATA

Como primera etapa de trabajo se contempla un análisis del estado actual y las distintas condiciones operacionales a las cuales han trabajado las Plantas de Chancado y Molienda, además de un análisis de las variables a las cuales es sensible la operación de la Planta, tales como Work Index del mineral, Granulometría de alimentación y Humedad de Alimentación. Esto se llevó a cabo a través del análisis de informes de producción desde Abril del 2014 a Abril del 2015, dentro de los datos obtenidos se encuentran; Tonelajes históricos de ambas plantas; Consumo específico de energía de ambas plantas; +100 mallas histórico del producto de molienda; porcentaje sólidos del producto de molienda, potencia de molinos de barras y bolas.

Luego de esto se lleva a cabo un muestreo general de las Plantas de Chancado y Molienda Sewell en su estado actual desarrollado con el apoyo de los operarios de Superintendencia de Proceso Sewell.

Los procedimientos de los muestreos de ambas plantas se describen a continuación:

#### 4.1.1 Procedimiento Muestreo Molienda

Con el objetivo de contar con valores actuales con los que validar la simulación se llevó a cabo un muestreo general de la planta de molienda. Para esto se tomó en cuenta molinos que estuvieran con un nivel de llenado apropiado y que tuvieran puntos accesibles de muestro en la zona de descarga, ya que se evidenció que la gran mayoría no contaba con esto, se estabilizó el porcentaje de sólidos tanto en la descarga de los molinos primarios a 76% y el rebose de los hidrociclones a 33%.

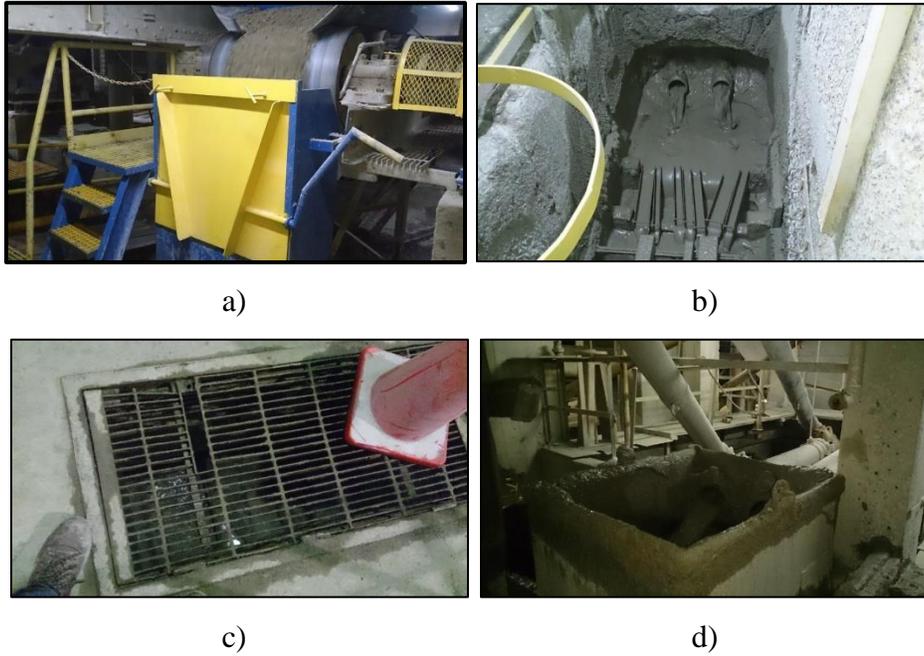
El muestreo fue realizado por dos horas continuas, en las cuales se tomó muestras de cada uno cada veinte minutos, un total de siete veces, estas muestras fueron unidas en un compuesto en cada punto muestreado.

Los molinos que fueron considerados para el muestreo fueron:

A. Piso Primario: 107, 108, 109 y 110

B. Piso Lower: 307 y 308 (sección 3)

Algunos de los puntos de muestreo se distinguen en la Figuras 18 y el diagrama completo en la Figura 19:



Figuras 18: Puntos de Muestreo planta Molienda: a) Alimentación Molino Barras b) Descarga Molino Barra c) Alimentación Ciclón d) Rebose Ciclón

Las muestras consideradas fueron:

- N°1: Compósito Alimentación Molinos Barras M1: BOLSA 1
- N°2: Compósito Descarga Molinos Barras M2: BALDE 1
- N°3: Compósito Alimentación ciclones 309 y 310 M3: BALDE 2
- N°4: Compósito Rebose ciclones 309 y 310 M4: BALDE 3
- N°5: Compósito Descarga ciclones 309 y 310 M5: BALDE 4
- N°6: Compósito Descarga Molinos Bolas 309 y 310 M6: BALDE 5

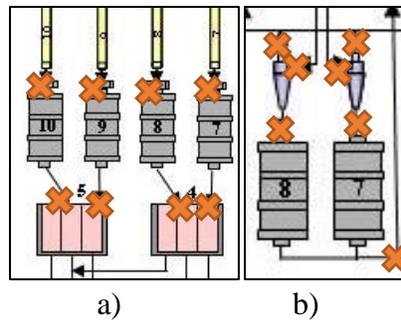


Figura 19: Diagrama Puntos Muestreo Molienda: a) Piso Primario b) Piso Lower

El detalle de los resultados se encuentra en el Anexo G.

#### 4.1.2 Muestras Producto Chancado – Alimentación Molienda Barras

En forma adicional, con el objetivo de contar con una mayor cantidad de datos para la simulación de chancado y así lograr un mejor ajuste, se obtuvieron muestras en distintas fechas desde las correas del piso primario las cuales fueron enviadas al laboratorio de metalurgia para el respectivo análisis granulométrico.

#### 4.1.3 Procedimiento muestreo chancado

El objetivo del muestreo es obtener datos confiables del circuito de operación, lo que será clave a la hora de optimizar. Estos datos son necesarios para la parametrización de los equipos y hacer posible la simulación.

La evaluación metalúrgica se llevó a cabo por módulos operacionales, caracterizados por su funcionalidad. Estos módulos se definieron como Línea Primaria, Línea Estándar 4 y Línea Chancado Terciario. El aporte de tonelaje a través de la Línea Estándar del balance de materiales considera al Chancador Estándar n°5 como una proyección.

El control operacional de los modelos a evaluar se llevó a cabo tratando de mantener las condiciones normales de operación de la Planta, considerando establecer un régimen estacionario en el Buzón Viejo. Se hicieron mediciones de potencia a los

chancadores de las diversas líneas, con el propósito de conocer el rendimiento energético de éstos equipos.

Los equipos utilizados y flujos muestreados en el Muestreo Metalúrgico por modulo son:

- a) Flujos muestreados en línea primaria
  - Alimentación a harnero de barras CLB 010.
  - Bajo tamaño harnero de barras CLB 010.
  - Descarga Chancador Mandíbula CHAM – 1.
  - Alimentación harneros doble parrilla HDP 020 y HDP 030.
  - Sobretamaño HDP 1er. Deck.
  - Sobretamaño HDP 2do Deck.
  - Bajo tamaño HPD 2do Deck.
  - Producto a Buzón Intermedio.
- b) Flujos muestreados línea chancado terciario
  - Bajo tamaño Harneros UTAH.
  - Sobre tamaño Harneros UTAH.
  - Descarga Chancadores Terciarios.
- c) Flujos muestreados línea estándar 4
  - Alimentación a harnero de rodillos Wobbler.
  - Alimentación a harnero simple parrilla.
  - Bajo tamaño harnero simple parrilla.
  - Descarga chancador estándar STD 4.
  - Producto a Buzón Intermedio.

## 4.2 METODOLOGIA SIMULACION MOLYCOP TOOLS

Previamente a realizar la simulación de ambas plantas a través de JKSimMet se realizó la simulación de la planta de molienda a través de las planillas de Moly Cop Tools, con el objetivo de estimar la capacidad actual

En base a reportes anteriores emitidos por la Superintendencia de Ingeniería de Procesos se obtuvo que el P80 óptimo de la etapa de molienda primaria ronda el valor de 1250  $\mu\text{m}$ , tomando este valor se realizó la estimación de capacidad de etapa de molienda de bolas mediante la planilla Bond's Law Application (Figura 20), tal como se muestra en la Figura 25. Además, la estimación se desarrolló para un rango de  $W_i$  del mineral de valores de 15 a 19 kWh/tonc.

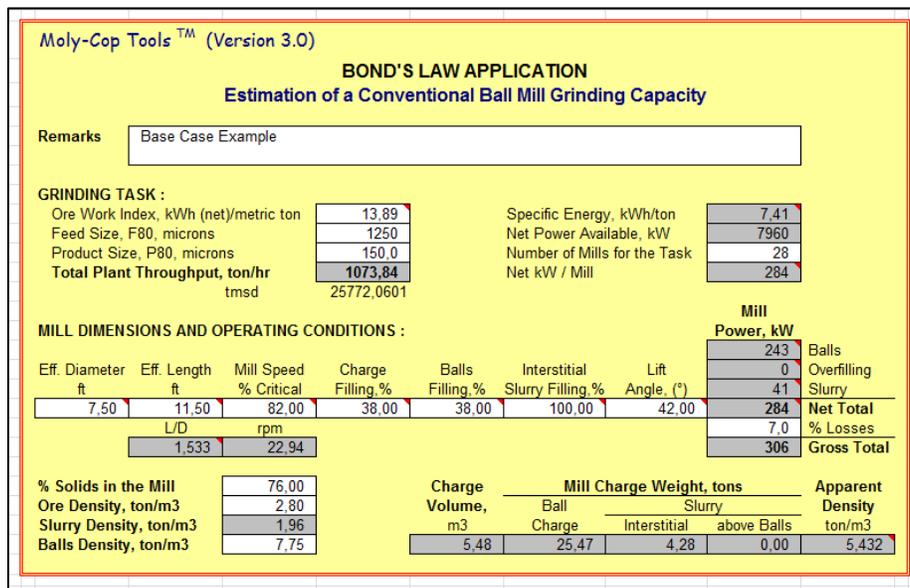


Figura 20: Simulación Capacidad Moly Cop Tools

### 4.3 METODOLOGIA SIMULACION JKSIMMET

#### 4.3.1 Simulación Caso Base

La optimización de la planta mediante la simulación a través de JKSimMet se llevó a cabo en primer lugar simulándola en su condición actual y considerando esta simulación como caso base.

##### a) Chancado

Para la simulación de la planta de chancado se consideraron las condiciones iniciales de la planta, las cuales son:

Datos de operación actuales de la planta de chancado

- CSS CHAM-1 entre 5" y 6"
- CSS CHAS 1 y 2 entre 1 ¼" y 1 ½"
- CSS CHAT 5 a 9 entre 7 a 9 mm
- Abertura actual harneros simple bandeja SD 5"x10" es de 14mm
- Abertura actual harneros doble bandeja DD 8"x16" y 14mm
- Abertura actual harneros simple UTAH es de 12mm

La potencia de vacío consumida por los chancadores de la planta de chancado se entregan en la Tabla 3:

Tabla 3: Potencia Consumida en vacío por chancadores (obtenidas en planta)

| Equipo | Intensidad, A | Pot. Consumida kWh | Pot. Consumida, HP |
|--------|---------------|--------------------|--------------------|
| CHAM   | 97            | 47                 | 64                 |
| CHAS 1 | 53            | 26                 | 35                 |
| CHAS 2 | 51            | 25                 | 33                 |
| CHAT 5 | 51            | 25                 | 33                 |
| CHAT 6 | 55            | 27                 | 36                 |
| CHAT 7 | 46            | 22                 | 30                 |
| CHAT 8 | 42            | 21                 | 28                 |
| CHAT 9 | 50            | 24                 | 33                 |

Se consideró que a través de las líneas 011, 012 se alimenta el 64% de la carga, 16% por la línea 013 y por las líneas 014 y 015 un 20% en conjunto.

Para determinar la alimentación a la planta de chancado se analizaron los datos comprendidos entre febrero de 2014 y junio de 2015, entregando un valor promedio 15.2 ktmsd, suponiendo en promedio un porcentaje de utilización del 75% se tendría en una tasa de alimentación por de 845 tph.

#### b) Molienda

Las condiciones de operación de la planta de molienda actualmente son:

- Número de molinos de barras en operación: 17
- Número de molinos de bolas en operación: 24
- Potencia consumida en molinos de barras: 317 HP
- Potencia consumida en molinos de bolas: 295 HP

- Capacidad de tratamiento: 18600 tmsd con un porcentaje de utilización de 75%
- Velocidad de molinos: 80% de velocidad crítica, 23 RPM
- Grado de llenado: 38%
- Dimensiones de molinos: 8' x 12'
- Diámetro bolas: 2 ½''
- Diámetro barras: 3''
- Ciclón (Apex, Inlet, Vortex): 4'', 4'' y 6 ¾ ''
- Wi mineral: 17.8 kWh/tc

A partir de este caso base se realizaron algunas modificaciones con diferentes objetivos para asemejar las condiciones a cuales se debe enfrentar la operación de la planta y buscando optimizar de acuerdo a estas condiciones. Las variables modificadas según las condiciones fueron granulometría del mineral alimentado, humedad del mineral e índice de trabajo del mineral.

Para el caso de la granulometría del mineral, la simulación es sensible a estos cambios por lo que se pueden realizar cambios en forma dinámica para cada condición que sea planteada, de igual forma para el índice de trabajo del mineral. Por otro lado para la humedad del mineral este software no es sensible a esta condición ya que la principal consecuencia de este parámetro, la disminución de eficiencia de los harneros, no se ve reflejada, por lo que para considerar esta variable se debe manipular manualmente la eficiencia de cada harnero.

Las condiciones a simular se dividieron en los siguientes puntos.

#### **4.3.2 Carga De Alta Humedad**

Durante los meses de invierno en se tiene un factor determinante a la hora de evaluar el rendimiento de la planta, la humedad del material alimentado a la planta de chancado, la cual trae diferentes dificultades como el atollo de chutes de traspaso y principalmente el enllampe de harneros, disminuyendo la eficiencia de clasificación. Esta

última situación genera una mayor carga circulante en la etapa de chancado terciario lo que trae consigo una disminución significativa en el tonelaje que es capaz de procesar la planta.

En el siguiente gráfico se aprecia la disminución que se tiene del material tratado durante Julio, Agosto, Septiembre y Octubre (este último ya que los deshielos también afectan la humedad).

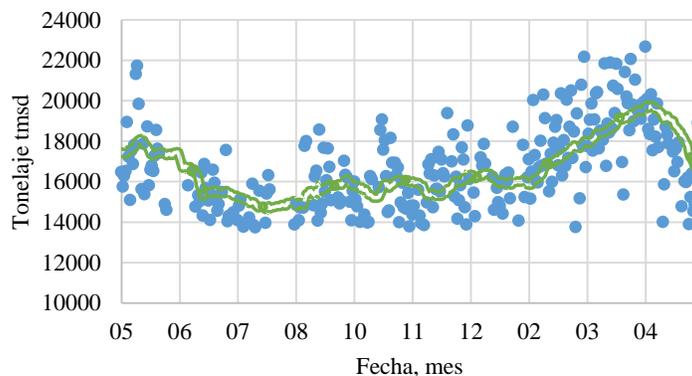


Gráfico 1: Tonelaje Planta Chancado año 2014-2015

La eficiencia que se tiene con material seco en la etapa de chancado ronda el 75% y disminuye a valores del 50% o menor cuando se tiene un material más húmedo. Como solución al aumento de carga circulante se propuso y simulo la opción de cambiar la abertura de los harneros UTAH de la etapa de chancado terciario a desde los 12 mm actuales a 10, 16 y 19 mm. Esto con el objetivo de disminuir la carga circulante de esta etapa y así lograr mantener la capacidad de la planta

#### 4.3.3 Simulaciones para diferentes valores de $W_i$

##### a) BAJO $W_i$ , AUMENTO DE TONELAJE

Con la meta de maximizar el tonelaje que es posible procesar en las Plantas de Chancado y Molienda Sewell se modificó la simulación del estado actual introduciendo cambios en las condiciones de operación de ambas plantas para su posterior evaluación. Esto se realizó teniendo en cuenta la variabilidad del  $W_i$  alimentado al proceso, en condiciones de un  $W_i$  bajo es posible alimentar un mineral de granulometría mayor a los procesos de molienda por lo que se podrá aumentar el tonelaje procesado en Chancado.

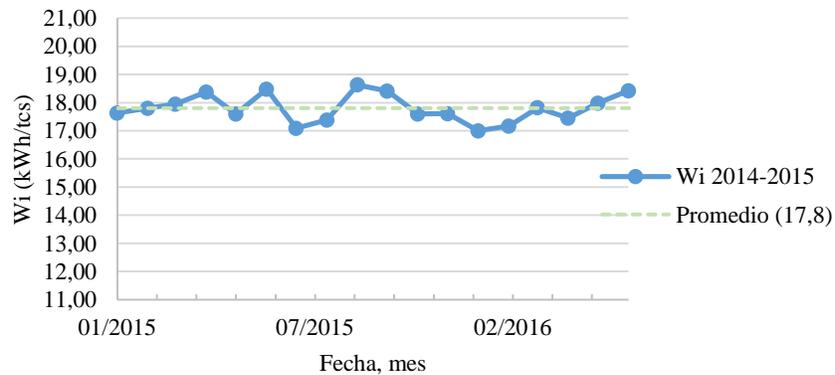


Gráfico 2: Valores Work Index por mes

Considerando como factor limitante en la Planta de Chancado la etapa de chancado terciario debido a que en esta existe un circuito cerrado en el cual si se incrementa en demasía la alimentación el buzón de esta etapa es sobrepasado por lo que se debe detener la operación. Por lo anterior, para determinar un valor referencial de tonelaje máximo se consideró la situación actual de la planta, un procesamiento de 18600 tmsd con un porcentaje de utilización cercano al 70%, y se modificaron las condiciones de operación de tal forma de aumentar el tonelaje pero manteniendo un tonelaje determinado en la Correa 119, la que alimenta al Buzón Intermedio.

Adicionalmente se realizó el ejercicio de simular la capacidad de la planta de molienda mediante el método de Bond de tal forma de estimar si los aumentos en la capacidad de la planta de chancada podrían ser procesados en la planta de molienda y hasta qué punto.

#### b) ALTO WI, REDUCCION P80 PLANTA CHANCADO

Teniendo en cuenta la posibilidad de tener un mineral con un Wi en la alimentación a plantas se hace necesario estudiar la posibilidad de disminuir al máximo la granulometría de alimentación a las etapas de molienda ya que estas son las más sensibles a los cambios de Wi.

Como en el ejercicio anterior, se fueron modificando las condiciones actuales de la planta hasta obtener una granulometría y tonelaje acorde al rango de operación y con el objetivo de disminuir el P80 obtenido. Cabe destacar que, como es lógico, la capacidad de

tratamiento de la planta se vio disminuida por aumentar la carga circulante dentro de la etapa de chancado terciario.

#### 4.3.4 Reducción Consumo De Recursos Hídrico

Dentro de las principales dificultades que se tienen en el proceso Sewell es la falta de recursos hídricos que afectan la productividad de la planta. Durante el año 2014 se debió detener la planta dos semanas y el año 2015 la detención alcanzó aproximadamente dos meses. Por lo anterior se hace estrictamente necesario la optimización del agua en la planta de molienda, dentro de las posibilidades de mejora que implican un ahorro significativo en el consumo de agua en la planta es el aumento del actual 30% que se maneja en porcentaje de sólidos del producto final de la planta. No se estudió el aumento del 78% de sólidos con el que se operan el piso primario ya que al tener un mayor porcentaje de sólidos, el agua que no sea agregada en este piso será agregada en el piso lower.

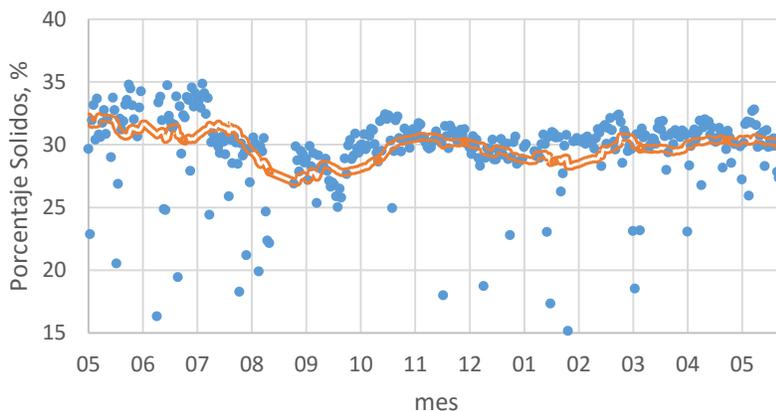


Gráfico 3: Valores de porcentaje de sólidos en rebose de ciclones

Como podemos apreciar en la Tabla 4, un aumento del porcentaje de sólidos del producto de molienda traería consigo un ahorro significativo en el consumo de agua, por ejemplo, si pudiéramos aumentar el porcentaje de sólidos del 30% promedio que se tiene actualmente hasta un 40% implicaría un ahorro del 35.7% del agua consumida por día, es decir, un ahorro de 12700 m<sup>3</sup>/día aproximadamente.

Tabla 4: Ahorro de agua según porcentaje de sólido en producto

| % S Molienda<br>Bolas | Consumido en<br>MOBO (m3/d) | Consumo Total<br>Agua (m3/d) | m3/ton | % de Ahorro |
|-----------------------|-----------------------------|------------------------------|--------|-------------|
| 30                    | 38154                       | 43400                        | 2,3    | 0,0         |
| 31,5                  | 35201                       | 40448                        | 2,2    | 6,8         |
| 33                    | 32517                       | 37764                        | 2,0    | 13,0        |
| 34,5                  | 30067                       | 35313                        | 1,9    | 18,6        |
| 36                    | 27821                       | 33067                        | 1,8    | 23,8        |
| 37,5                  | 25754                       | 31000                        | 1,7    | 28,6        |
| 39                    | 23846                       | 29092                        | 1,6    | 33,0        |
| 40                    | 22654                       | 27900                        | 1,5    | 35,7        |

Con todo lo anterior en mente se desarrolló distintas condiciones de operación las cuales fueron simuladas para buscar obtener un porcentaje de sólidos mayor en el piso lower sin afectar la calidad del producto.

#### 4.3.5 Simulación Casos Complementarios

- a) Simulación con adición de harneros derrick

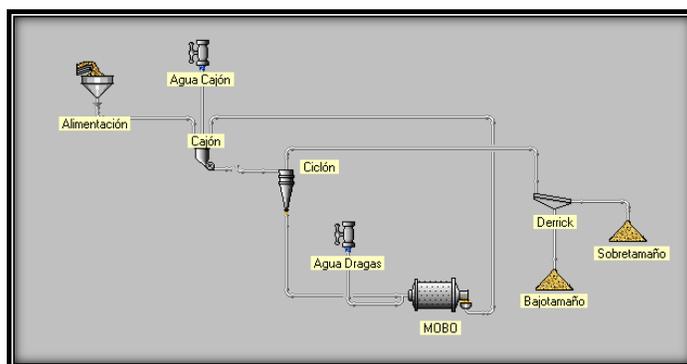


Figura 21: Simulación Operación Harneros Derrick

La planta cuenta con harneros de alta frecuencia o llamados harneros derrick, son harneros de 4.2'x 8' con un slot de 0.65mm utilizados para clasificar el material fino obtenido en el piso lower, es decir, el flujo de material en el rebose del ciclón (Figura 21) . La descarga de finos obtenida en estos harneros va a la canal de finos hacia flotación mientras que la carga de sobretamaño se alimenta a la planta REP. Actualmente uno de estos harneros se encuentra operativo por lo que fue muestreado y se simuló el impacto de tener los 4 harneros operativos.

La planta de molienda fue simulada con agregando estos harneros para determinar el impacto que se tendría en el producto fino.

b) Simulación con CHAT 10

En la planta de chancado se tiene un chancador terciario que trabaja dentro de un circuito cerrado con harneros y un par de elevadores de capachos, este chancador no se encuentra operativo. Se simuló la planta de chancado agregando este equipo para estudiar el cambio que podría tenerse en la planta si se tuviera operativo.

c) Simulación circuito exciclón

En el piso lower existe una alternativa distinta a la que se tiene en la habitualidad, esta consiste en alimentar directamente la pulpa hacia los molinos y no hacia los ciclones, pasando de un circuito de molienda inverso a uno directo. Se simuló este circuito con el objetivo de determinar el impacto de este cambio en el producto como también en las condiciones de operación.

d) Cambio de sentido correa 119

En conversaciones con el personal de las plantas Sewell se consideró la posibilidad de realizar una modificación en la correa 119 que es alimentada por la correa 012 y el por el sobretamaño de la correa 013 (ver Figura 22), tal como se muestra en el siguiente diagrama:

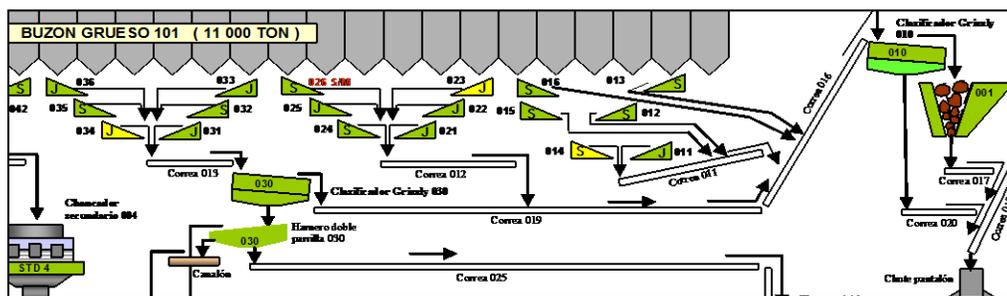


Figura 22: Detalle Correa 119 Planta Chancado

La modificación consiste en cambiar el sentido de la correa 119 y alimentarla directamente al chancador STD 4, todo esto con el objetivo de poder alimentar la planta con las correas 012 y 013 aun con el chancador de mandíbulas “CHAM” detenido. Actualmente, con el diseño de la planta si se detiene el CHAM se detienen las líneas 011, 012 y 013 disminuyendo la capacidad de la planta en más de un 20%. A través del simulador JKSimMet se simuló esta nueva configuración de la planta, buscando cual sería que tonelaje podría tratar el STD 4 sin sobrecargar su potencia.

#### 4.4 DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS A UTILIZAR EN JKSIMMET

##### a) CHANCADO

Las variables a manipular en la planta de chancado son los slots de los harneros, eficiencia de harneros y settings de los chancadores, a continuación de muestran imágenes de las ventanas de cada equipo con sus respectivas variables.

- Alimentador (Figura 23): Equipo en el cual se describen las características del mineral a tratar:
  - Tonelaje de Alimentación
  - Gravedad Especifica
  - Porcentaje de solidos
  - Granulometría

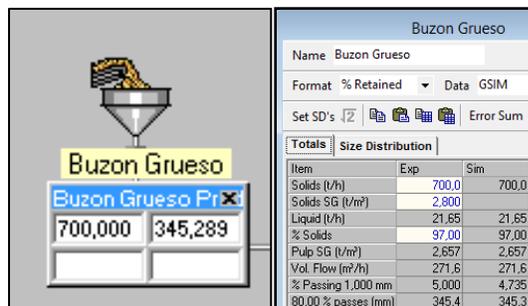


Figura 23: Detalle Alimentador JKSimMet

- Harnero (Figura 24): En la planta de chancado se tienen diferentes tipos de harneros, el equipo harnero simple parrilla de JKSimMet fue utilizado para simular los harneros Grizzly, UTAH de la etapa de chancado terciario y los harneros simple parrilla de las líneas 4 y 5. Los datos requeridos por el simulador son los siguientes:

- Screen Length: Largo del Harnero.
- Screen Width: Ancho del Harnero.
- Length of Screen Aperture: Largo de la apertura del Harnero.
- Width of Screen Aperture: Ancho de la apertura del Harnero.
- % Open Area on Screen: Porcentaje de área abierta del Harnero.

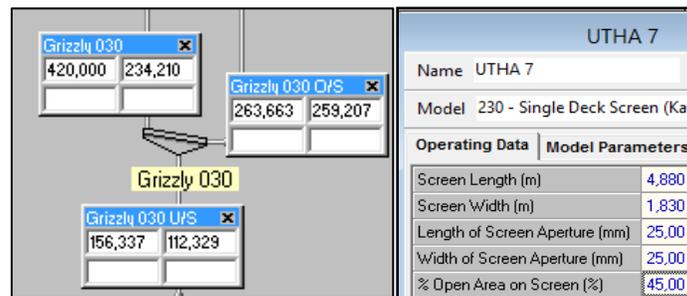


Figura 24: Detalle Harnero JKSIMMet

- Harnero Doble Deck (Figura 25): En la planta de chancado se tienen tres harneros doble parrilla, 010, 020 y 030 los cuales clasifican la carga antes de alimentarla a los chancadores STD 1 y STD 1. En el caso de estos equipos se piden las mismas variables que en los harneros simple parrilla pero de ambos deck.

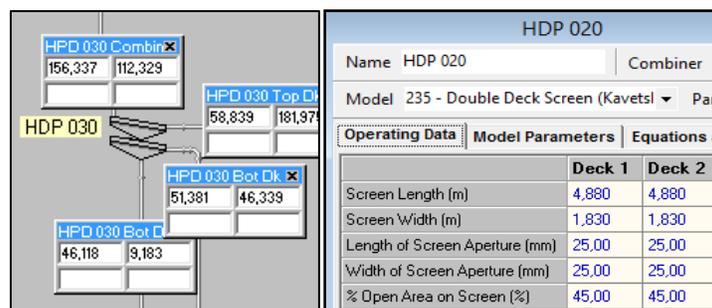


Figura 25: Detalle Harnero Doble Parrilla JKSIMMet

- Chancador (Figura 26): Para los chancadores secundarios y terciarios se utiliza el mismo equipo para la simulación, las diferencias se encuentran en las variables que caracterizan al equipo, como también los parámetros de los modelos ajustados. Los datos operacionales requeridos por el simulador son los siguientes:

- Closed Side Setting: Setting del chancador
- Liner Length: Largo de la lana del chancador
- Eccentric Throw: Tiro excéntrico del chancador.
- Liner Hours: Horas de trabajo del chancador.

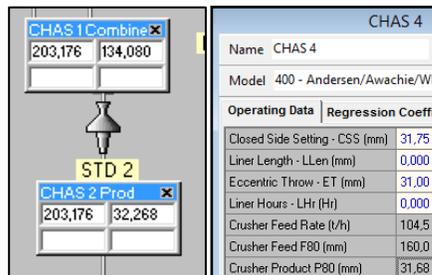


Figura 26: Detalle Chancador JKSIMMet

## b) MOLIENDA

Las variables a manipular en la simulación de la planta de molienda son el grado de llenado del molino y fracción de llenado para caso de molinos, para los hidrociclones son el diámetro de ciclón, además de diámetros de inlet, vortex y ápex. En las siguientes imágenes se pueden observar las ventanas de cada equipo.

- Molino de barras (Figura 27): Dimensiones requeridas por el simulador:
  - Internal Diameter: Diámetro Interno.
  - Internal Length: Largo Interno.
  - Fraction Critical Speed: Fracción de la velocidad crítica.
  - Load Fraction: Grado de llenado del molino.
  - Ore Work Index: Work Index del mineral.

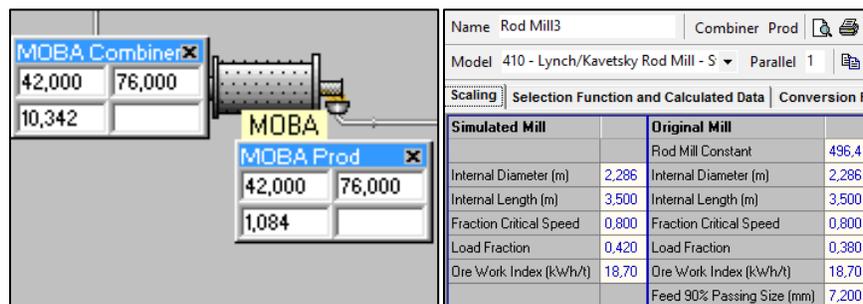


Figura 27: Detalle Molino Barras JKSIMMet

- Hidrociclón (Figura 28): Dimensiones requeridas por el simulador:
  - Cyclone Diameter: Diametro del ciclón.
  - Inlet Diameter: Diametro del inlet.
  - Vortex Finder Diameter: Diametro del vortex.
  - Spigot Diameter: Diametro del apex.
  - Cylinder Length: Largo de ciclón.
  - Cone Angle: Angulo del ciclón.

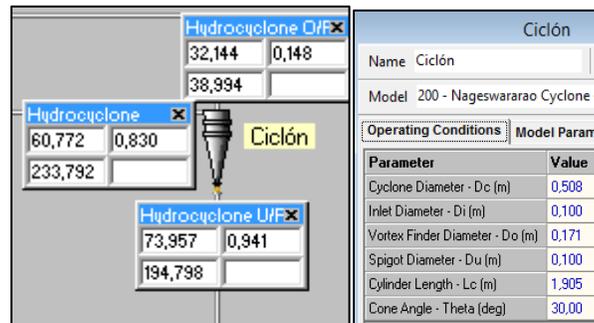


Figura 28: Detalle Hidrociclón JKSIMMet

- Molino de Bolas: Dimensiones requeridas por el simulador:
  - Internal Diameter: Diámetro Interno del molino.
  - Internal Length: Largo Interno del molino.
  - Fraction Critical Speed: Fracción de la velocidad crítica.
  - Load Fraction: Grado de llenado del molino.
  - Ore Work Index: Work Index del mineral.

## 4.5 RESUMEN METODOLOGÍA

La metodología expuesta en este capítulo se puede resumir de la siguiente forma:

- a) Simulación según Work Index:
  - Alto Work Index: Se buscó minimizar el P80 de la planta de chancado con el objetivo de minimizar la tarea de conminución realizada por la planta de molienda
  - Bajo Work Index: Se buscó maximizar el tonelaje la planta de chancado con el objetivo de poder proveer una mayor cantidad de carga a la planta de molienda.
- b) Simulación según Humedad:
  - Humedad moderada o baja: Caso base de simulación.
  - Alta Humedad: Se buscó mantener el tonelaje procesado por chancado o idealmente aumentarlo teniendo una eficiencia menor en la clasificación.
- c) Mínimo Consumo de Agua: Se buscó la forma de disminuir el consumo de agua en la planta de molienda.
- d) Casos Complementarios: Evaluar distintas opciones operacionales y de circuito que se tienen en el Proceso Sewell.

## Capítulo 5: RESULTADOS

### 5.1 RESULTADOS SIMULACION CAPACIDAD PLANTA MOLIENDA MOLYCOP TOOLS

Para la simulación de la planta de molienda a través de la planilla “Bond’s Law Application” se obtuvieron valores desde 20300 tmsd hasta los 25770 tmsd para el rango de  $W_i$  en el que fluctua el mineral de Sewell.

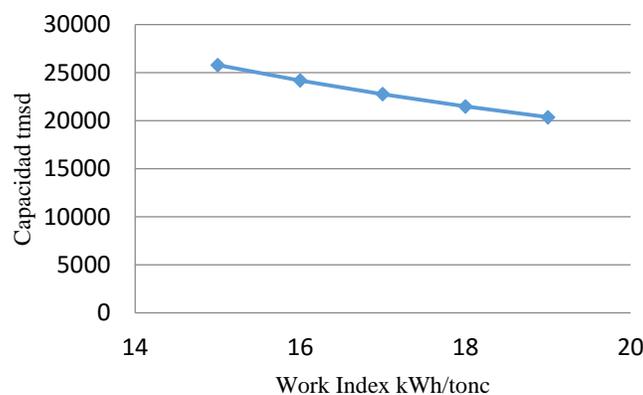


Gráfico 4: Capacidad Planta Molienda

Cabe destacar que estos valores fueron obtenidos considerando 28 molinos en operación pero en la realidad esto no es frecuente debido a que actualmente la planta de chancado produce un tonelaje promedio de 18600 tmsd con buenas condiciones de mineral, las que incluso disminuyen a valores inferiores a las 16000 tmsd para carga húmeda, lo que será evaluado más adelante.

Con lo anterior se puede concluir que para elevar el tonelaje del proceso Sewell es necesario aumentar el tonelaje de la Planta de Chancado, lo que se lleva a cabo a continuación mediante la simulaciones a través del software JKSimMet.

### 5.2 AJUSTE GRANULOMETRIAS SIMULACION

Los datos experimentales de granulometrías de ambas plantas fueron ingresados al simulador de tal forma de buscar el mayor ajuste posible de los datos entregados por el software con estos.

Luego de repetidas modificaciones a los parámetros de los modelos se pudo encontrar el ajuste necesario. En los siguientes gráficos que se muestran podemos apreciar el ajuste de las curvas obtenidas a través de la simulación del caso base de ambas plantas a los datos experimentales.

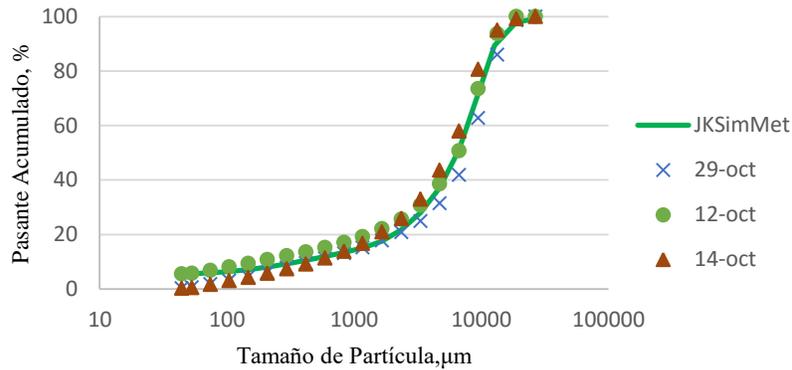


Gráfico 5: Ajuste Producto Planta Chancado

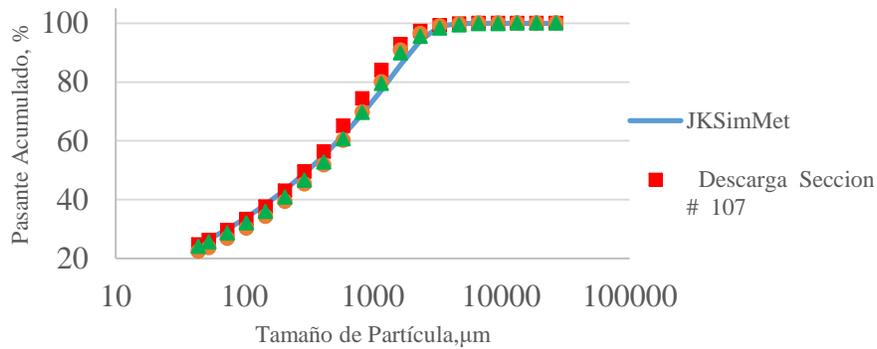


Gráfico 6: Ajuste Producto Piso Primario

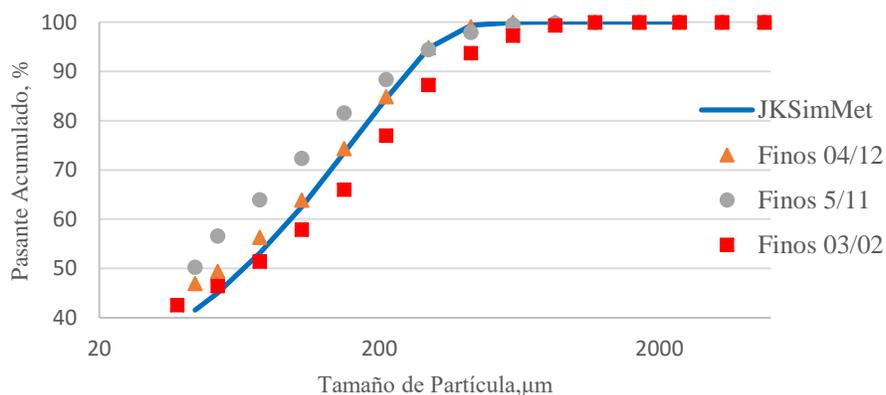


Gráfico 7: Ajuste Simulación Molienda Bolas

Como se puede apreciar, a través de los gráficos la simulación del caso base de ambas plantas se ajusta a la realidad, de esta forma se pudo dar inicio a la simulación de nuevos escenarios planteados.

### 5.3 RESULTADOS ALTA HUMEDAD

La simulación de la planta de chancado modificando la abertura de los harneros UTAH para disminuir el impacto de la baja eficiencia debido a la alta humedad dio como resultado lo entregado en la Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7.

Tabla 5: Tonelaje de chancado a diferentes eficiencias y slots de mallas

| Eficiencia, % | 12 $\mu\text{m}$ | 14 $\mu\text{m}$ | 16 $\mu\text{m}$ | 19 $\mu\text{m}$ | 21 $\mu\text{m}$ |
|---------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 75            | 18600            | 20928            | 22848            | 25200            | 26520            |
| 60            | 16224            | 18096            | 19632            | 21456            | 22440            |
| 50            | 14424            | 15984            | 17232            | 18720            | 19488            |
| 35            | 11280            | 12360            | 13200            | 14136            | 14592            |

Tabla 6: P80 de chancado a diferentes eficiencias y slots de mallas

| Eficiencia (%) | 12 $\mu\text{m}$ | 14 $\mu\text{m}$ | 16 $\mu\text{m}$ | 19 $\mu\text{m}$ | 21 $\mu\text{m}$ |
|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 75             | 10743            | 11641            | 12514            | 13700            | 14354            |
| 60             | 10400            | 11209            | 11969            | 13054            | 13666            |
| 50             | 10119            | 10866            | 11548            | 12495            | 13081            |
| 35             | 9373             | 10205            | 10765            | 11501            | 11938            |

Tabla 7: +.371# a diferentes eficiencias y slots de mallas

| Eficiencia (%) | 12 $\mu\text{m}$ | 14 $\mu\text{m}$ | 16 $\mu\text{m}$ | 19 $\mu\text{m}$ | 21 $\mu\text{m}$ |
|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 75             | 27,14            | 31               | 33,91            | 37,19            | 38,91            |
| 60             | 25,18            | 28,83            | 31,59            | 34,67            | 36,26            |
| 50             | 23,6             | 27,07            | 29,68            | 32,59            | 34,09            |
| 35             | 20,62            | 23,67            | 25,99            | 28,54            | 29,85            |

Los resultados obtenidos de con eficiencias de 50% y mallas de 16  $\mu\text{m}$ , junto con las de eficiencias de 35% con mallas de 19 y 21  $\mu\text{m}$  fueron llevados a molienda barras y molienda bolas obteniendo los valores de +100# mostrados en la Tabla 8.

Tabla 8: +100# Producto Molienda Bolas

| Eficiencia, % | 12 $\mu\text{m}$ | 16 $\mu\text{m}$ | 19 $\mu\text{m}$ | 21 $\mu\text{m}$ |
|---------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 75            | 20,85            | -                | -                | -                |
| 50            | -                | 21,15            | -                | -                |
| 35            | -                | -                | 22,45            | 23,46            |

#### 5.4 RESULTADOS SEGÚN VARIACIONES DE WI

En primera instancia, para determinar los efectos de tratar mineral de valores de índice de trabajo alto o bajo se simuló la condición base de la planta pero dentro de un rango de 16 a 19 kWh/tc. Los resultados se muestran en la Tabla 9:

Tabla 9: Resultados Simulación variando Wi

| Wi (kWh/t)               | 16 kWh/t | 17 kWh/t | 17,8 kWh/t | 18,5 kWh/t | 19,2 kWh/t |
|--------------------------|----------|----------|------------|------------|------------|
| ton/hr                   | 775      | 775      | 775        | 775        | 775        |
| P80 Chanc $\mu\text{m}$  | 10655    | 10655    | 10655      | 10655      | 10655      |
| #371 %                   | 28,28    | 28,28    | 28,28      | 28,28      | 28,28      |
| #0,5 %                   | 8,17     | 8,17     | 8,168      | 8,168      | 8,168      |
| P80 Barras $\mu\text{m}$ | 1044     | 1067     | 1084       | 1139       | 1170       |
| P80 Bolas $\mu\text{m}$  | 135      | 139      | 148        | 165        | 175        |
| #100 %                   | 17,72    | 18,48    | 20,31      | 24,07      | 26,13      |

### 5.4.1 Resultados Bajo Wi, Aumento De Tonelaje

Después de varias modificaciones a los slots de los harneros y settings de chancadores se pudo determinar que en las condiciones que se muestran a continuación se tendría un tonelaje de 23900 tmsd, lo que significa un aumento del 28% de capacidad promedio de la planta.

Los parámetros modificados fueron:

Settings:

- Chancador de Mandíbulas: de 140 mm a 115 mm
- Chancadores STD (1,2,4 y 5): 31.75 mm
- Chancadores Terciarios (STD 5 al 9): de 8 a 7 mm

Aberturas Harneros:

- Grizzly: 100 mm
- HPD Primer Deck de 63.15 a 50.8 mm
- HPD Segundo Deck de 14 a 16 mm
- Harneros UTAH de 12 a 16mm
- Harneros Simple Parilla de 14 a 16 mm

Con esta configuración el P80 producido en la planta de chancado está en el orden de los 12300  $\mu$ m. Estos datos fueron introducidos a la etapa de molienda barras y molienda bolas, considerando un Wi promedio de 17,8 kWh/Tc, obteniendo como producto final un material de 22.81% +100# lo que es considerado dentro del rango de operación.

Además de esto, se analizó el impacto de este cambio de granulometría de alimentación a la etapa de molienda considerando diferentes valores de Wi, los resultados fueron los siguientes:

Tabla 10: Resultados Simulación Aumento Capacidad Chancado

| Wi                   | 17,8 kWh/t      | 17 kWh/t | 16 kWh/t |
|----------------------|-----------------|----------|----------|
| ton/hr               | 996 (28% Mayor) |          |          |
| P80 Chancado $\mu$ m | 12314           |          |          |
| #371 %               | 35              |          |          |
| #0,5 %               | 16              |          |          |
| P80 Barras $\mu$ m   | 1666            | 1646     | 1619     |
| P80 Bolas $\mu$ m    | 165             | 158      | 148      |
| #100 %               | 22,85           | 21,88    | 20,12    |

### 5.4.2 Resultados Alto Wi, Reducción P80 Planta Chancado

Luego de diversas modificaciones se pudo establecer que la siguiente configuración de la planta de chancado permitiría entregar un P80 menor, lo que favorecería a la etapa de molienda, sobre todo cuando se trata mineral de un Wi mayor.

Los parámetros modificados fueron:

Settings:

- Chancador de Mandíbulas: de 140 mm a 115 mm
- Chancadores STD (1,2,4 y 5): 31.75 mm
- Chancadores Terciarios (STD 5 al 9): de 8 a 7 mm

Aberturas Harneros:

- Grizzly: 100 mm
- HPD Primer Deck de 63.15 a 50.8 mm
- HPD Segundo Deck de 14 a 12 mm
- Harneros UTAH de 14 a 10mm
- Harneros Simple Parilla de 14 a 12 mm

En estas condiciones de operación el tonelaje tratado es de 17110 tmsd lo que significaría un 8% menor al tonelaje promedio tratado por la planta. El P80 es de aproximadamente 9400  $\mu\text{m}$  lo que implica una disminución de 1500  $\mu\text{m}$ . Estos datos fueron introducidos en la simulación de molienda de barras y bolas obteniendo un producto final de 17,87% +100#.

Luego de esto se simularon las etapas de molienda con diferentes valores de Wi para así evaluar el impacto de disminuir el P80 tratando un mineral de Wi mayor, los resultados fueron los siguientes:

Tabla 11: Resultados Simulación Reducción P80 Chancado

| Wi                         | 17,8              | 18,5  | 19,2  |
|----------------------------|-------------------|-------|-------|
| ton/hr                     | 705 (9% Inferior) |       |       |
| P80 Chancado $\mu\text{m}$ | 9314              |       |       |
| #371 %                     | 19,31             |       |       |
| #0,5 %                     | 4,153             |       |       |
| P80 Barras $\mu\text{m}$   | 981               | 995   | 1009  |
| P80 Bolas $\mu\text{m}$    | 136               | 140   | 145   |
| #100 %                     | 17,87             | 18,77 | 19,66 |

## 5.5 RESULTADO REDUCCION CONSUMO DE AGUA

Es conocido que uno de los principales factores que determinan el comportamiento de los hidrociclones es el porcentaje de sólidos de alimentación a estos y claramente si se busca un porcentaje mayor de sólidos en el rebose se debe aumentar el porcentaje de sólidos en la pulpa alimentada. Para establecer el impacto que tendría el disminuir la adición de agua en las condiciones actuales de operación de la planta se simuló la condición base pero aumentando el porcentaje de sólidos en el rebose de los ciclones. El resultado se muestra en la Tabla 12:

Tabla 12: +100# y P80 Molienda Bolas según Porcentaje de Sólidos

| % Sólidos | P80, $\mu\text{m}$ | +100#, % |
|-----------|--------------------|----------|
| 30        | 148                | 20,22    |
| 32        | 154                | 21,52    |
| 34        | 159                | 22,61    |
| 36        | 164                | 23,77    |
| 38        | 170                | 24,77    |
| 40        | 177                | 25,75    |

Se puede observar que un aumento en el porcentaje de sólidos de rebose del ciclón trae como consecuencia un aumento del P80 y también un aumento en el +100#, es por esto que a través del mismo simulador se buscó modificar la operación del hidrociclón de tal forma que el +100# producido en estas condiciones se mantenga dentro del rango de operación.

Después de reiteradas simulaciones en distintas condiciones de operación se determinó que con modificaciones en el apex y vortex del ciclón se podría llegar a un porcentaje de sólidos cercano al 38%. El vortex sería reducido de 6 $\frac{3}{4}$ '' a 6.25'' y el apex de 4'' a 3''. Los resultados se muestran en la Tabla 13:

Tabla 13: Condición Base de la Planta v/s Condición Optimizada

|                    | Condición Base |       |       | Condición Optimizada |       |       |
|--------------------|----------------|-------|-------|----------------------|-------|-------|
|                    | Alim. Ciclon   | Uflow | OFlow | Alim. Ciclon         | Uflow | OFlow |
| Ton/hr             | 219            | 184   | 35    | 182,4                | 147,5 | 35    |
| % Sólidos          | 60,72          | 74    | 32    | 62,5                 | 74,5  | 38    |
| P80, $\mu\text{m}$ | 829            | 940   | 148   | 831                  | 969   | 158   |
| +100#, %           |                |       | 20,21 |                      |       | 21,79 |

## 5.6 RESULTADOS CASOS COMPLEMENTARIOS

A continuación se muestran los resultados de las simulaciones de Harneros Derrick, Chancador CHAT 10, Circuito Exciclón y la Modificación de la Correa 119.

### 5.6.1 Harneros Derrick

Los resultados obtenidos con la simulación de los harneros Derrick fueron los siguientes:

Tabla 14: Resultados Simulación Harneros Derrick

|                   | Sin Harneros Derrick | Con Harneros Derrick |
|-------------------|----------------------|----------------------|
| P80 $\mu\text{m}$ | 148                  | 146                  |
| +100# %           | 20.21                | 20.05                |

### 5.6.2 Chancador Chat 10

Con la adición del chancador terciario n°10 a funcionamiento de la planta la simulación entregó un aumento considerable en la capacidad de la planta, llegando a valores de 20800.

Tabla 15: Tonelaje a distintas condiciones de Planta de Chancado

| Condiciones          | Tonelaje | % Aumento |
|----------------------|----------|-----------|
| Condiciones Actuales | 18600    | 0%        |
| CHAT 10 en operación | 20800    | 12%       |

### 5.6.3 Circuito Exciclón

Los resultados obtenidos al simular el piso lower con el circuito exciclón fueron los siguientes:

Tabla 16: Resultados circuito inverso actual

|                        | Alimen. Fresca | Alim. Ciclón | Rebose Ciclón | Descarga Ciclón | Alimen. Molino | Descarga Molino |
|------------------------|----------------|--------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|
| Tonelaje Solidos (tmh) | 35             | 218.5        | 34.994        | 183.56          | 183.56         | 183.56          |
| % Solidos              | 76             | 60,72        | 32            | 73.957          | 73.957         | 73.957          |
| P80 (mm)               | 1054           | 830          | 148           | 941             | 941            | 793             |

Tabla 17: Resultados circuito exciclón (circuito directo)

|                           | Alimen.<br>Fresca | Alimen.<br>Ciclón | Rebose<br>Ciclón | Descarga<br>Ciclón | Alimen.<br>Molino | Descarga<br>Molino |
|---------------------------|-------------------|-------------------|------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| Tonelaje<br>Solidos (tmh) | 35                | 218.6             | 34,994           | 183.6              | 218.6             | 218.6              |
| % Solidos                 | 76                | 60,858            | 32               | 74.052             | 74.368            | 74.368             |
| P80 (mm)                  | 1054              | 788               | 151              | 887                | 911               | 787                |

#### 5.6.4 Modificación Correa 119

A través de la simulación de JKSimMet se comprobó que trabajando con las líneas 015, 014 y además alimentando la línea 012 y el sobretamaño del harnero de barras 030 directamente al chancador STD 4 se podría procesar hasta **19920 TPD**, lo que significa brindar una estabilidad a la planta de chancado cuando el chancador de mandíbulas CHAM -1 no se encuentre operativo. Es importante recalcar que este tonelaje es el permitido por la potencia de los chancadores (hasta 230 KW) y no necesariamente por las correas y/o chutes, lo que sería necesario evaluar.

## Capítulo 6: CONSIDERACIONES ECONÓMICAS

Con las modificaciones planeadas en el presente trabajo existen algunas variaciones en cuanto al balance de costos e ingresos generados por el proceso Sewell, tales como gastos en el cambio de mallas, nuevos ingresos por aumento de tonelaje y variaciones en el consumo de energía de las plantas de molienda y chancado.

Es por lo anterior que es necesario un análisis de estas variables, lo que se llevó a cabo a través de una comparación de cada escenario con el escenario base.

Los valores del cambio de mallas fueron obtenidos desde la Unidad de Mantenimiento de la Superintendencia Proceso Sewell los que se detallan a continuación:

Tabla 18: Valores Mallas

|                      | Valor CLP/Malla | Valor HH CLP/Malla |
|----------------------|-----------------|--------------------|
| Mallas de Acero UTAH | \$ 65.000       | \$ 19.500          |
| Paneles HDP          | \$ 32.000       | \$ 9.600           |
| Paneles HSP          | \$ 32.000       | \$ 9.600           |

Para el cálculo de los ingresos por el aumento de tonelaje se consideró la venta del cobre fino, los parámetros fueron los siguientes:

Tabla 19: Valores de Concentrado

| Dato                        | Valor  |
|-----------------------------|--------|
| Recuperación Sewell         | 82%    |
| Ley Rajo Sur                | 0.685% |
| Precio Concentrado US\$/tmf | 5329   |

Los valores de recuperación y leyes fueron obtenidos desde la Superintendencia de Ingeniería de Procesos, mientras que el valor del precio de concentrado de cobre fue obtenido desde el documento “Orientaciones Comerciales 2015” el cual se encuentra en el Anexo H.

En el Gráfico 8 se muestran las variaciones económicas que significa implementar cada una de estas modificaciones en relación a la condición actual de la planta. Como se puede apreciar la única condición que implica un delta negativo es la modificación de bajar

el tonelaje de chancado para hacer frente a un Wi alto. Es importante destacar que esta modificación sería implementada solo con el objetivo de hacer frente a este escenario y que no sería una modificación permanente, por lo que sería atractiva con por el hecho de brindarle estabilidad operacional a la planta y eliminar los peligros de embanques generados por un +100# en el producto final de molienda.

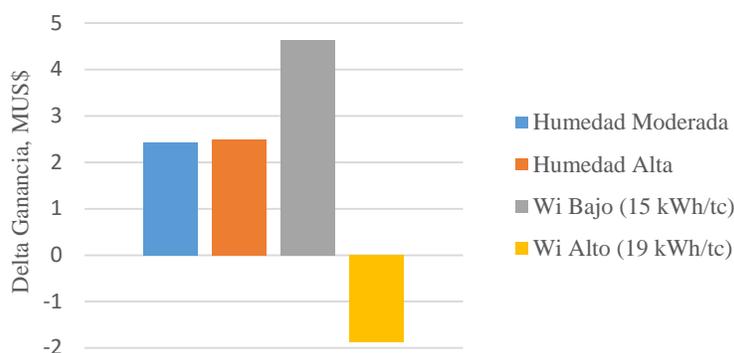


Gráfico 8: Delta Ganancias por mes según modificación

Para lograr un análisis más concreto, además de lo anterior, se realizó una comparación del año productivo desde abril 2014 hasta abril 2015 versus el mismo año pero considerando las modificaciones planteadas, considerando egresos (gasto energético y modificaciones de mallas) e ingresos (aumento de tonelaje) mes a mes y calculando el VAN para cada escenario. Es importante recalcar que en este ejercicio se consideraron los meses en los que se presentó mayor humedad y a estos se les implementaron los escenarios de humedad alta o moderada, mientras que a los meses que se tuvo humedad baja se les implementó la modificación de aumento de capacidad de la planta de chancado.

Se consideró una tasa de descuento del 8% utilizada por CODELCO para evaluar sus proyectos.

Tabla 20: Comparación Modificaciones Tonelaje Promedio Mes

| Mes    | Sin Modificación | Con Modificación |
|--------|------------------|------------------|
| abr-14 | 14221            | 23900            |
| may-14 | 15987            | 23900            |
| jun-14 | 10096            | 14140            |
| jul-14 | 13522            | 14140            |
| ago-14 | 6811             | 14140            |
| sep-14 | 14253            | 17230            |
| oct-14 | 14435            | 17230            |
| nov-14 | 14391            | 17230            |
| dic-14 | 15175            | 23900            |

|          |       |       |
|----------|-------|-------|
| ene-15   | 12643 | 23900 |
| feb-15   | 17002 | 23900 |
| mar-15   | 17886 | 23900 |
| Promedio | 14200 | 20100 |

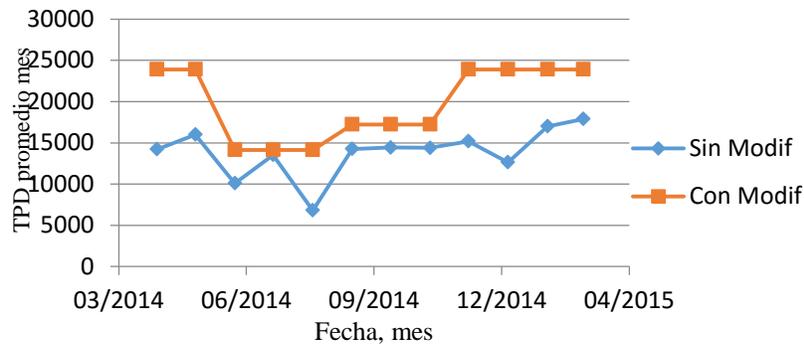


Gráfico 9: Comparación Producción Abril 2014-Abril 2015

Tabla 21: Comparación Modificaciones Ingresos - Egresos 2014/2015

| Mes    | Sin Modificación          |            | Con Modificación          |            |
|--------|---------------------------|------------|---------------------------|------------|
|        | Δ Ingresos y Egresos US\$ |            | Δ Ingresos y Egresos US\$ |            |
| abr-14 | \$                        | 12.336.540 | \$                        | 20.785.280 |
| may-14 | \$                        | 13.872.317 | \$                        | 20.785.280 |
| jun-14 | \$                        | 8.736.785  | \$                        | 12.263.733 |
| jul-14 | \$                        | 11.722.929 | \$                        | 12.263.733 |
| ago-14 | \$                        | 5.888.856  | \$                        | 12.263.733 |
| sep-14 | \$                        | 12.365.675 | \$                        | 14.949.338 |
| oct-14 | \$                        | 12.528.142 | \$                        | 14.949.338 |
| nov-14 | \$                        | 12.489.492 | \$                        | 14.949.338 |
| dic-14 | \$                        | 13.168.443 | \$                        | 20.785.280 |
| ene-15 | \$                        | 10.959.409 | \$                        | 20.785.280 |
| feb-15 | \$                        | 14.745.197 | \$                        | 20.785.280 |
| mar-15 | \$                        | 15.514.461 | \$                        | 20.785.280 |

Tabla 22: Comparación VAN

|          | Sin Modificaciones | Con Modificaciones |
|----------|--------------------|--------------------|
| VAN US\$ | \$ 94.938.243      | \$ 135.218.478     |

Con lo anterior es demostrado que realizar las modificaciones propuestas además de brindar estabilidad y hacer más sustentable el proceso, es rentable y le permitiría a la

Superintendencia Proceso Sewell cumplir con el las 19.000 tmsd exigidas por la Gerencia de Plantas.

## Capítulo 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 CONCLUSIONES

Al estar ambas plantas del proceso Sewell, bajo continuos cambios del mineral a alimentar no es correcto considerar un determinado tamaño de transferencia entre cada uno de los procesos de conminución, sino que estos deben ser manipulados de tal forma de que en cada escenario al cual se enfrente la planta sean los óptimos.

Como se demostró en el capítulo anterior, si durante los meses críticos en los que se tienen condiciones adversas como alta humedad del material se realizan los cambios planteados se logra un aumento considerable de tonelaje y se lograría cumplir con la planificación anual de tratamiento. Por otro lado, la modificación más rentable y atractiva por el aumento de tonelaje es la a realizar cuando se tenga un mineral de  $W_i$  inferior o igual 17.8 kWh/tc ya que implica un ganancia mayor a 4 MUS\$ con respecto a la condición actual.

#### 7.1.1 Escenario Invierno

Se pudo concluir que para el material de una humedad media (eficiencia de 50%) la mejor alternativa es una abertura de 16 mm que permitiría mantener la capacidad y lo que llevaría a un aumento del +100# en el producto final de molienda pero dentro del rango operacional (21.15%). Por otro lado si se tiene un material con una humedad alta (eficiencia de 35%) lo mejor sería utilizar una abertura de malla de 19 mm lo que haría menos significativa la perdida de tonelaje y generaría un producto final de un +100# de 22.45% que está dentro del rango.

#### 7.1.2 Aumento Capacidad Planta Chancado

Con la modificación propuesta se alcanza un aumento del 28% de la capacidad de la planta de chancado, lo que en definitiva sería un aumento para el proceso Sewell en su globalidad siempre y cuando se tuviera un mineral de una competencia ( $W_i$ ) promedio o menor (inferior a 17.8 kWh/tc).

### **7.1.3 Reducción P80 Planta Chancado**

Es importante señalar que este escenario se presenta con la idea de aplacar las consecuencias de tratar un mineral con una competencia mayor, es por lo anterior que si este escenario es comparado con el escenario base es entendible que muestre resultados no atractivos por la disminución de tonelaje de la planta de chancado. Pese a lo anterior esta alternativa es recomendable para cuando existan sectores productivos del Rajo Sur que generen mineral con un  $W_i$  mayor a 17.8 kWh/tc con el objetivo de disminuir el riesgo de embanques en la canal de conducción a la etapa de flotación.

### **7.1.4 Reducción Consumo De Recurso Hídrico**

Con las modificaciones propuestas al diseño de los hidrociclones se alcanzaría una reducción del uso de recurso hídrico cercana al 30%, llevando el consumo de 2.3 m<sup>3</sup>/ton a 1.65 m<sup>3</sup>/ton lo que brindaría una mayor estabilidad a la planta por su menor sensibilidad a esta variable.

Un dato relevante a agregar es que con esta nueva configuración de apex y vortex, la relación  $D_u/D_o$ , la cual se menciona en la página 26, se encuentra entre los valores recomendados (0,34 a 0,5) lo que mejoraría la descarga del ciclón y simplificaría en gran medida la operación, disminuyendo el riesgo de atollos e incluso la necesidad de agregar agua en sobre medida para ajustar el ciclón.

### **7.1.5 Casos Complementarios**

Se aprecia que utilizando el circuito exciclón no se tienen resultados muy diferentes al circuito típico utilizado, sin embargo en teoría debería aumentar la carga circulante del proceso y por ende aumentar el +100#, lo que no se vio reflejado en la simulación.

En el caso de los harneros derrick la simulación no mostró que la operación de estos disminuya de manera importante la granulometría del producto, pero es importante señalar que durante la operación de estos en la planta se redujeron las señales de embanques en la canal de finos aun en turnos en los que se tuvo un +100# elevado.

Con la simulación del CHAT 10 en operación se tuvo un aumento del 12% de la capacidad de la planta de chancado, alcanzando un tonelaje de 20800 tmsd.

Por ultimo en el caso de la simulación del cambio de sentido de la correa CTR 119 se encontró que el tonelaje que podrían procesar los chancadores STD 4 y STD 5 siendo alimentados por las líneas 012, 013, 014 y 015 es de 19920 tmsd.

## **7.2 RECOMENDACIONES**

### **7.2.1 Chancado**

Modificar chutes de traspaso en correas de material fino ya que estas no están diseñadas para trabajar en condiciones de alta humedad y se atollan.

Implementar muestreos regulares para determinar la granulometría producida en chancadores versus el tiempo de trabajo de las laines con las que trabajan.

Contar con un stock de mallas de diversas aberturas, como mínimo de tamaños de 12mm (manejadas actualmente) y 19 mm, lo que permitiría un rango de operación mayor para mantener tonelaje en condiciones de alta humedad (baja eficiencia de clasificación) o para aumentar tonelaje si las condiciones del mineral lo permitirían (bajo  $W_i$ ).

### **7.2.2 Buzones y Compuertas**

Para mantener un tonelaje constante en la alimentación de los molinos es deseable mantener los buzones finos a una altura lo más pareja posible, es por esto que es recomendable realizar mantenciones de forma regular en los carros repartidores y scrappers del buzón delantero y trasero. En el caso del scrapper del buzón delantero si bien cuenta con una tecnología más moderna no se encuentra en condiciones de operar lo que ha producido una gran acumulación de carga muerta en el buzón.

Por otro lado, sería conveniente implementar un sistema de pesómetros en las correas que alimentan a los molinos, lo que haría más estable la operación, y más precisa la cantidad de material que está siendo procesada.

### **7.2.3 Piso Primario**

Si bien el simulador no es sensible a cambios de esta variable, en la realidad es evidente el impacto que tiene sobre el tiempo de residencia de las partículas en los molinos y por ende en la granulometría producida por el molino. Se recomienda un a inicio de cada

turno del porcentaje de sólidos en la descarga de los molinos primarios. También es aconsejable la posibilidad de hacer pruebas en un mismo molino a condiciones distintas de porcentaje de sólidos.

Se recomienda el cambio de mallas en los cajones de descarga de los molinos de barras, actualmente la forma de estas permite que chips de barras atraviesen y sean conducidos por la cañería hacia el cajón bypass produciendo atollos. Además de esto la configuración actual, al ser de dos mallas que se separan ocasionalmente también produce atollos.

#### **7.2.4 Piso Lower**

Al ser la etapa final de molienda y clasificación, implementar un sistema de control en los ciclones de los molinos permitiría una operación más constante, sobre todo la operación de los ciclones lo que reduciría la posibilidad de embanques. Instrumentación de ciclones en el piso lower, permitiría un mayor control en la operación y menor posibilidad de embanque y/o atollo de los equipos.

Es necesaria un rediseño en los cajones de ciclones ya que actualmente no existe una alimentación pareja a estos y es frecuente la sobrecarga de un ciclón y su respectivo molino en comparación en el que opera en forma paralela.

Se recomienda realizar pruebas con una restructuración de ciclones, se demostró por simulación que es factible operar en condiciones de porcentajes de sólido mayores, permitiendo un ahorro en el consumo de agua, y de menores cantidades de carga circulante realizando pequeñas modificaciones en la estructura del ciclón.

Realizar un control rutinario de los porcentajes de sólidos de descarga de los ciclones, de tal forma de mantener un buen porcentaje de sólidos en la alimentación a los molinos de bolas, si bien el desequilibrio de este dato en cada ELCA se debe a la mala distribución en el cajón uña, tener este dato puede simplificar la tarea de equilibrar las cargas. Se en un futuro cambiar el diseño de este cajón a un cajón de rifles que simplifique la distribución de las cargas.

Implementar cañerías de agua que descargan en el pozo de cada ELCA, esto permite tener otro punto de adición de agua para situaciones en las cuales es necesario y no

disminuye el porcentaje de sólidos en la alimentación a cada molino, como si lo hace el agregar agua en las dragas.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Sepulveda y L. Gutierrez, Dimensionamiento y Optimizacion de Plantas Concentradoras Mediante Tecnicas de Modelacion Matematica, 1986.
- [2] F. Bond, «“The Third Theory of Comminution,” Transactions of the American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers,» 1952.
- [3] B. A. Wills and T. Napier-Munn, Mineral Processing Technology, 2006.
- [4] F. Concha y L. Austin, Diseño y Simulacion de circuitos de Molienda y Clasificacion, 1994.
- [5] A. Mular y N. Jull, Mineral Processing Plant Design, 1980.
- [6] M. Bustamante, «Effect of the Hydrocyclone Geometry on Normal Operation,» 1991.
- [7] F. Concha y A. Barrientos, *International Journal of Mineral*, pp. 44-45, 1996.
- [8] Gupta and Yan, Mineral Processing Design and Operation, 2006.
- [9] JKMRRC Commercial Division, Full Manual JKSimMet, 2001.
- [10] L. Austin, «A commentary on the Kick, Bond and Rittinger laws of grinding,» 1973.

## ANEXOS

### ANEXO A: PARÁMETROS DE MODELOS UTILIZADOS POR SIMULADOR

#### Chancado

| CHANCADO                 |   |            |      |    |
|--------------------------|---|------------|------|----|
| Equipo                   | Modelo                                  | Parámetros |      |    |
| Harnero Simple<br>5'x10' | Curva de eficiencia                     | $\alpha$   | 10   | -  |
|                          |   | C          | 98   | %  |
|                          |   | d50c       | 7    | mm |
| Harnero doble<br>8'x16'  | Curva de eficiencia<br>bandeja superior | $\alpha$   | 10   | -  |
|                          |   | C          | 98   | %  |
|                          |   | d50c       | 56   | mm |
|                          | Curva de eficiencia<br>bandeja inferior | $\alpha$   | 10   | -  |
|                          |   | C          | 98   | %  |
|                          |   | d50c       | 20   | mm |
| Harnero UTHA             | Curva de eficiencia                     | $\alpha$   | 10   | -  |
|                          |   | C          | 98   | %  |
|                          |   | d50c       | 12   | mm |
| CHAM1                    | Anderson - Whiten                       | k1         | 112  | -  |
|                          |   | k2         | 350  | -  |
|                          |   | k3         | 2.3  | -  |
|                          |   | t10        | 5    | -  |
| CHAS1                    | Anderson - Whiten                       | k1         | 35.2 | -  |
|                          |   | k2         | 80   | -  |
|                          |   | k3         | 2.3  | -  |
|                          |   | t10        | 7    | -  |
| CHAS2                    | Anderson - Whiten                       | k1         | 35.2 | -  |
|                          |   | k2         | 80   | -  |
|                          |   | k3         | 2.3  | -  |
|                          |   | t10        | 6    | -  |
| CHAT 5-9                 | Anderson - Whiten                       | k1         | 9.9  | -  |
|                          |   | k2         | 22.5 | -  |
|                          |   | k3         | 2.3  | -  |
|                          |   | t10        | 10   | -  |

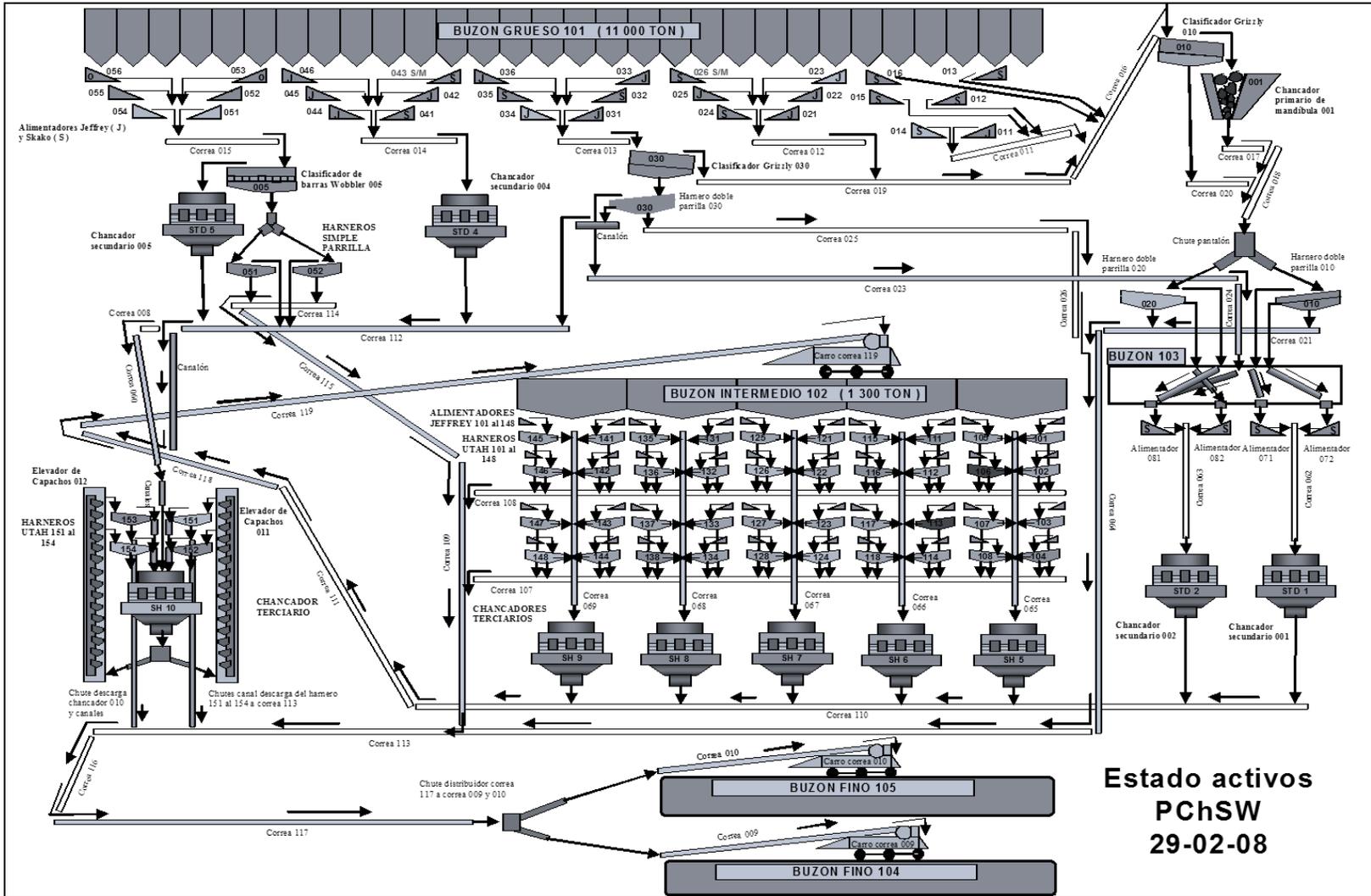
## Molienda Barras

| MOLIENDA DE BARRAS |                |            |         |
|--------------------|----------------|------------|---------|
| Equipo             | Modelo         | Parámetros |         |
| Molino de Barras   | Lynch Kavetsky | MC         | 496.396 |
|                    |                | XC         | 6.014   |
|                    |                | IN         | -0.276  |
|                    |                | SL         | 0.097   |

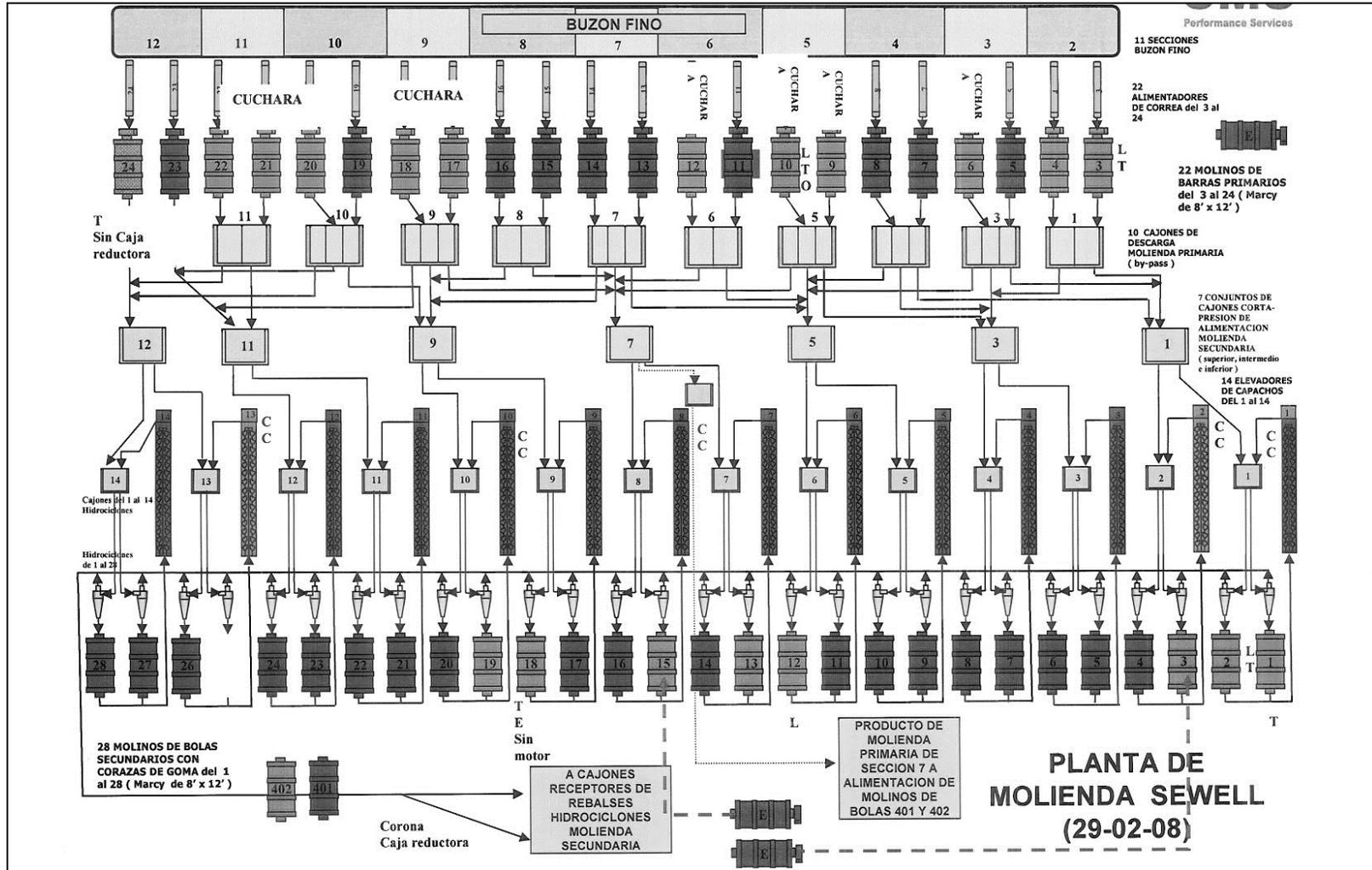
## Molienda Bolas

| MOLIENDA DE BOLAS |                          |            |          |
|-------------------|--------------------------|------------|----------|
| Equipo            | Modelo                   | Parámetros |          |
| Hidrociclón       | Nagaswararao Cyclone     | KD0        | 0.000052 |
|                   |                          | KQ0        | 871.5    |
|                   |                          | KV1        | 13       |
|                   |                          | KW1        | 19.31    |
|                   |                          | $\alpha$   | 2.16     |
| Molino de Bolas   | Perfect Mixing Ball Mill | Knot1      | 0.256    |
|                   |                          | Knot2      | 3.211    |
|                   |                          | Knot3      | 49.468   |
|                   |                          | Knot4      | 191.444  |

ANEXO B: DIAGRAMA PLANTA CHANCADO SEWELL



**ANEXO C: DIAGRAMA PLANTA MOLIENDA SEWELL**



## ANEXO D: PROCEDURE FOR JKTECH DROP WEIGHT BREAKAGE TEST

### JK DROP WEIGHT TEST

#### The results of the JK Drop Weight Test are used in the Mineral Processing Simulation Package JKSimMet

To characterise ore breakage at different energy levels, the JKTech method uses two complimentary techniques

1. To characterise breakage at moderate to high energy levels (i.e. impact breakage), a drop weight device is used.
2. To characterise breakage at low energy inputs (i.e. the abrasion component of breakage), a tumbling test is used.

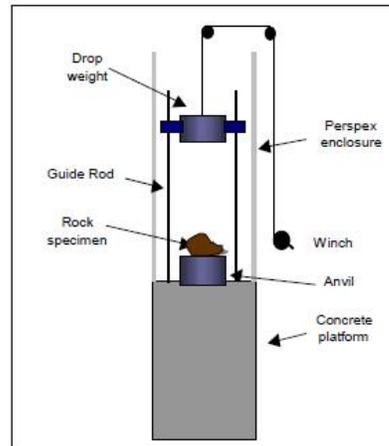


#### The JK Drop Weight Tester

The JK Drop Weight Tester comprises a steel drop weight which is raised by a winch to a known height. A pneumatic switch releases the drop weight which falls under gravity and impacts the rock particle which is placed on a steel anvil.

The device is enclosed in perspex and incorporates a variety of features to ensure operator safety. By varying the height from which the drop weight is released and the mass of the drop weight, a very wide range of energy inputs can be generated.

A schematic drawing of the device is shown below.



The JK Drop Weight Test provides ore specific parameters,  $A$ ,  $b$  and  $T_a$  for use in the JKSimMet mineral processing simulator

## JK DROP WEIGHT TEST

### Test Procedure

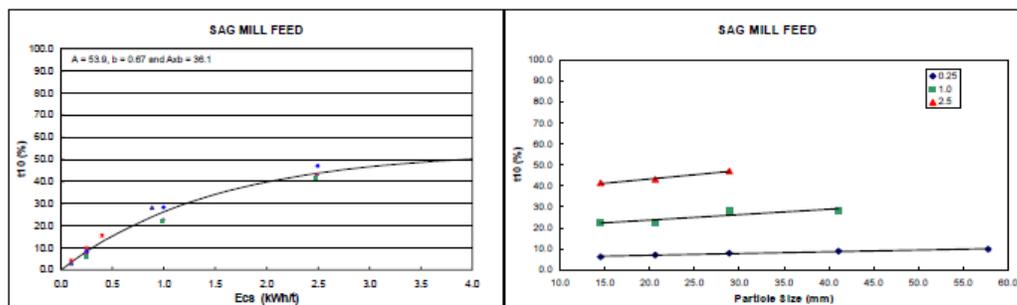
#### Impact Breakage Testing

After release of the drop weight it descends under the influence of gravity and impacts the target particle. The particle is subsequently broken and at the same time the drop-weight is brought to rest at a distance above the anvil approximately equal to the largest product particle. The difference in distance between the initial starting point and the final resting place of the drop-weight is used to calculate the energy that is expended in breaking the particle

To test an ore type, the original 100 kg sample is sized into selected fourth-root-of-two size fractions. Ten (10) to thirty (30) particles are required in each size fraction for each energy level, depending on particle mass. Typically fifteen (15) size/energy combinations are selected. The input energy levels for a particular test are designed to suit ore hardness.

The breakage products of all particles for each size/energy combination are collected and sized. The size distribution produced is normalized with respect to original particle size. For a wide range of energy input, particle sizes and ore types, the relative size distributions remain similar in shape and can be described by a single point on the distribution. The JKTech convention is to use the percentage passing one-tenth of the original particle size. This is referred to as the " $t_{10}$ ".

In the manner described above, a set of  $t_{10}$  and  $E_{CS}$  values is produced for the 15 energy/size combinations.



#### Abrasion Breakage Testing.

It is possible to characterize low energy (abrasion) breakage with a miniature pendulum and repeated impacts. However, Leung (1987) demonstrated that a tumbling test of selected single size fractions could produce a similar result with less experimental effort.

The standard abrasion test tumbles 3 kg of -55 +38 mm particles for 10 minutes at 70% critical speed in a 305 mm by 305 mm lab mill fitted with four 6 mm lifter bars. The resulting product is then sized and the  $t_{10}$  value for the product is determined.

Using the combined expertise of JKTech and JKMRC, JKTech Laboratory Services provide the highest quality metallurgical test data.

**ANEXO E: RESULTADOS PRUEBAS SMC MINERAL RAJO SUR**

| mm     | kWh/t |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|        | 14,5  |      |      | 28,9 |      |      | 57,8 |      |      |
|        | 10    | 20   | 30   | 10   | 20   | 30   | 10   | 20   | 30   |
| PIT-30 | 0,77  | 1,67 | 2,75 | 0,57 | 1,22 | 1,95 | 0,43 | 0,9  | 1,41 |
| PIT-31 | 0,8   | 1,73 | 2,85 | 0,59 | 1,26 | 2,02 | 0,44 | 0,93 | 1,46 |
| PIT-32 | 0,75  | 1,63 | 2,69 | 0,56 | 1,19 | 1,9  | 0,42 | 0,87 | 1,37 |
| PIT-33 | 0,71  | 1,54 | 2,54 | 0,53 | 1,12 | 1,8  | 0,4  | 0,83 | 1,3  |
| PIT-34 | 0,71  | 1,55 | 2,56 | 0,53 | 1,13 | 1,81 | 0,4  | 0,83 | 1,31 |
| PIT-35 | 0,71  | 1,55 | 2,55 | 0,53 | 1,13 | 1,81 | 0,4  | 0,83 | 1,3  |
| PIT-36 | 0,58  | 1,25 | 2,06 | 0,43 | 0,91 | 1,46 | 0,32 | 0,67 | 1,05 |
| PIT-37 | 0,78  | 1,7  | 2,81 | 0,58 | 1,24 | 1,99 | 0,44 | 0,91 | 1,43 |
| PIT-38 | 0,81  | 1,75 | 2,89 | 0,6  | 1,28 | 2,04 | 0,45 | 0,94 | 1,48 |
| PIT-39 | 0,55  | 1,2  | 1,97 | 0,41 | 0,87 | 1,4  | 0,31 | 0,64 | 1,01 |
| PIT-40 | 0,8   | 1,73 | 2,85 | 0,59 | 1,26 | 2,02 | 0,44 | 0,93 | 1,46 |
| PIT-41 | 0,61  | 1,33 | 2,2  | 0,46 | 0,97 | 1,55 | 0,34 | 0,71 | 1,12 |
| PIT-42 | 0,74  | 1,61 | 2,65 | 0,55 | 1,17 | 1,88 | 0,41 | 0,86 | 1,36 |
| PIT-43 | 0,86  | 1,88 | 3,09 | 0,64 | 1,37 | 2,19 | 0,48 | 1,01 | 1,58 |
| PIT-44 | 0,85  | 1,84 | 3,03 | 0,63 | 1,34 | 2,14 | 0,47 | 0,98 | 1,55 |
| PIT-45 | 0,78  | 1,69 | 2,79 | 0,58 | 1,23 | 1,97 | 0,43 | 0,91 | 1,42 |
| PIT-46 | 0,86  | 1,86 | 3,07 | 0,64 | 1,35 | 2,17 | 0,48 | 1,00 | 1,57 |
| PIT-47 | 0,82  | 1,77 | 2,93 | 0,61 | 1,29 | 2,07 | 0,46 | 0,95 | 1,49 |
| PIT-48 | 0,84  | 1,82 | 3    | 0,63 | 1,33 | 2,12 | 0,47 | 0,98 | 1,53 |
| PIT-49 | 0,83  | 1,79 | 2,96 | 0,62 | 1,31 | 2,09 | 0,46 | 0,96 | 1,51 |
| PIT-50 | 0,82  | 1,78 | 2,94 | 0,61 | 1,3  | 2,08 | 0,46 | 0,96 | 1,5  |
| PIT-51 | 0,79  | 1,71 | 2,82 | 0,59 | 1,25 | 1,99 | 0,44 | 0,92 | 1,44 |
| PIT-52 | 0,73  | 1,57 | 2,6  | 0,54 | 1,15 | 1,84 | 0,4  | 0,84 | 1,33 |
| PIT-53 | 0,83  | 1,81 | 2,98 | 0,62 | 1,32 | 2,11 | 0,46 | 0,97 | 1,52 |
| PIT-54 | 0,81  | 1,75 | 2,88 | 0,6  | 1,27 | 2,04 | 0,45 | 0,94 | 1,47 |
| PIT-55 | 0,75  | 1,62 | 2,67 | 0,56 | 1,18 | 1,89 | 0,42 | 0,87 | 1,36 |
| PIT-56 | 0,71  | 1,53 | 2,52 | 0,53 | 1,11 | 1,79 | 0,39 | 0,82 | 1,29 |
| PIT-57 | 0,74  | 1,6  | 2,64 | 0,55 | 1,17 | 1,87 | 0,41 | 0,86 | 1,35 |
| PIT-58 | 0,68  | 1,46 | 2,42 | 0,5  | 1,07 | 1,71 | 0,38 | 0,79 | 1,23 |
| PIT-59 | 0,7   | 1,52 | 2,5  | 0,52 | 1,11 | 1,77 | 0,39 | 0,81 | 1,28 |
| PIT-60 | 0,87  | 1,89 | 3,12 | 0,65 | 1,38 | 2,21 | 0,49 | 1,02 | 1,59 |
| PIT-61 | 0,61  | 1,33 | 2,19 | 0,46 | 0,97 | 1,55 | 0,34 | 0,71 | 1,12 |
| PIT-62 | 0,85  | 1,84 | 3,04 | 0,63 | 1,34 | 2,15 | 0,47 | 0,99 | 1,55 |
| PIT-63 | 0,61  | 1,32 | 2,18 | 0,45 | 0,96 | 1,54 | 0,34 | 0,71 | 1,11 |
| PIT-64 | 0,67  | 1,46 | 2,41 | 0,5  | 1,06 | 1,7  | 0,37 | 0,78 | 1,23 |
| PIT-65 | 0,75  | 1,63 | 2,68 | 0,56 | 1,18 | 1,9  | 0,42 | 0,87 | 1,37 |
| PIT-66 | 0,82  | 1,79 | 2,95 | 0,61 | 1,3  | 2,09 | 0,46 | 0,96 | 1,51 |
| PIT-67 | 0,59  | 1,28 | 2,11 | 0,44 | 0,93 | 1,5  | 0,33 | 0,69 | 1,08 |
| PIT-68 | 0,75  | 1,63 | 2,69 | 0,56 | 1,19 | 1,9  | 0,42 | 0,87 | 1,37 |
| PIT-69 | 0,6   | 1,31 | 2,15 | 0,45 | 0,95 | 1,52 | 0,34 | 0,7  | 1,1  |
| PIT-70 | 0,71  | 1,53 | 2,53 | 0,53 | 1,12 | 1,79 | 0,39 | 0,82 | 1,29 |
| PIT-71 | 0,8   | 1,73 | 2,85 | 0,59 | 1,26 | 2,02 | 0,44 | 0,93 | 1,46 |
| PIT-72 | 0,74  | 1,6  | 2,64 | 0,55 | 1,17 | 1,87 | 0,41 | 0,86 | 1,35 |
| PIT-73 | 0,83  | 1,79 | 2,96 | 0,62 | 1,31 | 2,09 | 0,46 | 0,96 | 1,51 |
| PIT-74 | 0,79  | 1,71 | 2,82 | 0,59 | 1,25 | 2    | 0,44 | 0,92 | 1,44 |
| PIT-75 | 0,85  | 1,85 | 3,06 | 0,64 | 1,35 | 2,16 | 0,48 | 0,99 | 1,56 |
| PIT-76 | 0,75  | 1,63 | 2,69 | 0,56 | 1,19 | 1,9  | 0,42 | 0,87 | 1,37 |
| PIT-77 | 0,81  | 1,75 | 2,88 | 0,6  | 1,27 | 2,04 | 0,45 | 0,94 | 1,47 |
| PIT-78 | 0,81  | 1,77 | 2,92 | 0,61 | 1,29 | 2,06 | 0,45 | 0,95 | 1,49 |
| PIT-79 | 0,7   | 1,52 | 2,51 | 0,52 | 1,11 | 1,78 | 0,39 | 0,82 | 1,28 |
| PIT-80 | 0,79  | 1,72 | 2,83 | 0,59 | 1,25 | 2,01 | 0,44 | 0,92 | 1,45 |
| PIT-81 | 0,35  | 0,75 | 1,24 | 0,26 | 0,55 | 0,88 | 0,19 | 0,4  | 0,63 |
| PIT-82 | 0,82  | 1,78 | 2,94 | 0,61 | 1,3  | 2,08 | 0,46 | 0,95 | 1,5  |
| PIT-83 | 0,78  | 1,69 | 2,79 | 0,58 | 1,23 | 1,97 | 0,43 | 0,91 | 1,42 |
| PIT-84 | 0,72  | 1,55 | 2,56 | 0,53 | 1,13 | 1,81 | 0,4  | 0,83 | 1,31 |
| PIT-85 | 0,72  | 1,56 | 2,57 | 0,53 | 1,13 | 1,82 | 0,4  | 0,84 | 1,31 |
| PIT-86 | 0,78  | 1,68 | 2,78 | 0,58 | 1,23 | 1,96 | 0,43 | 0,9  | 1,42 |
| PIT-87 | 0,56  | 1,21 | 1,99 | 0,41 | 0,88 | 1,41 | 0,31 | 0,65 | 1,02 |
| PIT-88 | 0,68  | 1,47 | 2,43 | 0,51 | 1,07 | 1,72 | 0,38 | 0,79 | 1,24 |
| PIT-89 | 0,84  | 1,82 | 3,01 | 0,63 | 1,33 | 2,13 | 0,47 | 0,98 | 1,54 |
| PIT-90 | 0,88  | 1,9  | 3,13 | 0,65 | 1,38 | 2,22 | 0,49 | 1,02 | 1,6  |
| PIT-91 | 0,8   | 1,74 | 2,86 | 0,6  | 1,26 | 2,02 | 0,45 | 0,93 | 1,46 |
| PIT-92 | 0,68  | 1,48 | 2,44 | 0,51 | 1,08 | 1,73 | 0,38 | 0,79 | 1,25 |
| PIT-93 | 0,93  | 2,02 | 3,33 | 0,69 | 1,47 | 2,36 | 0,52 | 1,08 | 1,7  |
| PIT-94 | 0,79  | 1,7  | 2,81 | 0,59 | 1,24 | 1,99 | 0,44 | 0,91 | 1,44 |
| PIT-95 | 0,85  | 1,84 | 3,04 | 0,63 | 1,34 | 2,15 | 0,47 | 0,99 | 1,55 |
| PIT-96 | 0,88  | 1,92 | 3,16 | 0,66 | 1,4  | 2,24 | 0,49 | 1,03 | 1,61 |
| PIT-97 | 0,82  | 1,77 | 2,92 | 0,61 | 1,29 | 2,07 | 0,45 | 0,95 | 1,49 |
| PIT-98 | 0,71  | 1,55 | 2,55 | 0,53 | 1,13 | 1,8  | 0,4  | 0,83 | 1,3  |
| PIT-99 | 0,85  | 1,84 | 3,04 | 0,63 | 1,34 | 2,15 | 0,47 | 0,99 | 1,55 |

|            | 14,5  |       |       | 28,9  |       |       | 57,8  |       |       |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|            | 10    | 20    | 30    | 10    | 20    | 30    | 10    | 20    | 30    |
| Promedio   | 0,755 | 1,637 | 2,700 | 0,562 | 1,193 | 1,911 | 0,420 | 0,878 | 1,379 |
| Desv. Est. | 0,098 | 0,212 | 0,350 | 0,073 | 0,155 | 0,247 | 0,055 | 0,114 | 0,179 |

## ANEXO F: REPORTES SIMULACIÓN JKSIMMET

### Caso Base

#### Chancado

| Equipment   | Port     | Solids (t/h) | %Passes 1,000mm | 80,00 % passes |
|-------------|----------|--------------|-----------------|----------------|
| Alim Total  | -        | 775          | 4,381           | 234,2          |
| Línea 1     | -        | 581,3        | 4,381           | 234,2          |
| Línea 2     | -        | 193,8        | 4,381           | 234,2          |
| Línea 2     | -        | 193,8        | 4,381           | 234,2          |
| CTR 015     | -        | 96,88        | 4,381           | 234,2          |
| CTR 014     | -        | 96,88        | 4,381           | 234,2          |
| Línea 1     | -        | 581,3        | 4,381           | 234,2          |
| CTR 011 012 | -        | 290,6        | 4,381           | 234,2          |
| CTR 013     | -        | 290,6        | 4,381           | 234,2          |
| Wobbler 5   | Feed     | 96,88        | 4,466           | 234,2          |
| Wobbler 5   | O/Z      | 82,21        | 1,579           | 243,4          |
| Wobbler 5   | U/Z      | 14,66        | 20,65           | 17,83          |
| Wobbler 4   | Feed     | 96,88        | 4,381           | 234,2          |
| Wobbler 4   | O/Z      | 82,21        | 1,549           | 243,4          |
| Wobbler 4   | U/Z      | 14,66        | 20,26           | 17,84          |
| CHAS 5      | Feed     | 82,21        | 1,549           | 243,4          |
| CHAS 5      | Prod     | 82,21        | 8,937           | 31,4           |
| CHAS 4      | Feed     | 82,21        | 1,549           | 243,4          |
| CHAS 4      | Prod     | 82,21        | 8,937           | 31,4           |
| Grizzly 030 | Feed     | 290,6        | 4,381           | 234,2          |
| Grizzly 030 | O/Z      | 182,4        | 1,745           | 259,2          |
| Grizzly 030 | U/Z      | 108,2        | 8,826           | 112,3          |
| Grizzly 010 | Feed     | 473,1        | 3,43            | 244,4          |
| Grizzly 010 | O/Z      | 311          | 0,001           | 273,2          |
| Grizzly 010 | U/Z      | 162,1        | 10,01           | 63,34          |
| CHAM 1      | Feed     | 311          | 0,001           | 273,2          |
| CHAM 1      | Prod     | 311          | 3,073           | 148,4          |
| Chute P     | Feed     | 473,1        | 5,366           | 124,3          |
| Chute P     | Top Prod | 236,5        | 5,366           | 124,3          |
| Chute P     | Bot Prod | 236,5        | 5,366           | 124,3          |
| HDP 020     | Feed     | 236,5        | 5,366           | 124,3          |
| HDP 020     | 1 Dk O/S | 113,1        | 0,224           | 160,2          |
| HDP 020     | 2 Dk O/S | 75,29        | 0,372           | 47,95          |
| HDP 020     | 2 Dk U/S | 48,12        | 25,27           | 11,03          |
| HPD 010     | Feed     | 236,5        | 5,366           | 124,3          |
| HPD 010     | 1 Dk O/S | 113,1        | 0,228           | 160,2          |
| HPD 010     | 2 Dk O/S | 75,29        | 0,385           | 51,14          |

OPTIMIZACIÓN DE TAMAÑOS DE TRANSFERENCIA EN CHANCADO Y MOLIENDA SEWELL MEDIANTE SIMULACIÓN

|                |          |       |       |       |
|----------------|----------|-------|-------|-------|
| HPD 010        | 2 Dk U/S | 48,12 | 25,72 | 11,03 |
| HPD 030        | Feed     | 108,2 | 8,826 | 112,3 |
| HPD 030        | 1 Dk O/S | 40,71 | 0,469 | 182   |
| HPD 030        | 2 Dk O/S | 35,55 | 0,526 | 46,34 |
| HPD 030        | 2 Dk U/S | 31,91 | 28,74 | 9,183 |
| CHAS 2         | Feed     | 229,1 | 0,316 | 147,3 |
| CHAS 2         | Prod     | 229,1 | 6,857 | 31,93 |
| CHAS 1         | Feed     | 188,4 | 0,283 | 137,9 |
| CHAS 1         | Prod     | 188,4 | 6,41  | 32,71 |
| HSP 5          | Feed     | 14,66 | 20,65 | 17,83 |
| HSP 5          | O/Z      | 5,027 | 1,228 | 26,66 |
| HSP 5          | U/Z      | 9,638 | 30,18 | 10,36 |
| HSP 4          | Feed     | 14,66 | 20,26 | 17,84 |
| HSP 4          | O/Z      | 5,027 | 1,228 | 26,66 |
| HSP 4          | U/Z      | 9,638 | 30,18 | 10,36 |
| Producto Final | Feed     | 775   | 14,35 | 10,55 |
| CHAT 9         | Feed     | 198,6 | 2,277 | 27,6  |
| CHAT 9         | Prod     | 198,6 | 5,201 | 15,61 |
| CHAT 8         | Feed     | 198,6 | 2,277 | 27,6  |
| CHAT 8         | Prod     | 198,6 | 5,201 | 15,61 |
| CHAT 7         | Feed     | 198,6 | 2,277 | 27,6  |
| CHAT 7         | Prod     | 198,6 | 5,201 | 15,61 |
| CHAT 6         | Feed     | 198,6 | 2,277 | 27,6  |
| CHAT 6         | Prod     | 198,6 | 5,201 | 15,61 |
| CHAT 5         | Feed     | 198,6 | 2,278 | 27,65 |
| CHAT 5         | Prod     | 198,6 | 5,206 | 15,63 |
| UTAH 9         | Feed     | 324,1 | 5,823 | 21,59 |
| UTAH 9         | O/Z      | 198,6 | 2,277 | 27,6  |
| UTAH 9         | U/Z      | 125,5 | 11,44 | 10,53 |
| UTAH 8         | Feed     | 324,1 | 5,823 | 21,59 |
| UTAH 8         | O/Z      | 198,6 | 2,277 | 27,6  |
| UTAH 8         | U/Z      | 125,5 | 11,44 | 10,53 |
| UTHA 7         | Feed     | 324,1 | 5,823 | 21,59 |
| UTHA 7         | O/Z      | 198,6 | 2,277 | 27,6  |
| UTHA 7         | U/Z      | 125,5 | 11,44 | 10,53 |
| UTAH 6         | Feed     | 324,2 | 5,823 | 21,59 |
| UTAH 6         | O/Z      | 198,6 | 2,277 | 27,6  |
| UTAH 6         | U/Z      | 125,5 | 11,44 | 10,53 |
| UTAH 5         | Feed     | 324,1 | 5,824 | 21,52 |
| UTAH 5         | O/Z      | 198,6 | 2,277 | 27,65 |
| UTAH 5         | U/Z      | 125,5 | 11,44 | 10,56 |

Molienda Barras

| Equipmen<br>t  | Port | Solids<br>(t/h) | Liquid<br>(t/h) | %<br>Solids | Pulp<br>SG<br>(t/m <sup>3</sup> ) | Vol.<br>Flow<br>(m <sup>3</sup> /h) | %Passes<br>1,000m<br>m | 80,00<br>%<br>passes |
|----------------|------|-----------------|-----------------|-------------|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------|----------------------|
| Alim<br>Fresca | Feed | 42              | 1,299           | 97          | 2,657                             | 16,3                                | 14,89                  | 10,34                |
| Alim<br>Fresca | Prod | 42              | 1,299           | 97          | 2,657                             | 16,3                                | 14,89                  | 10,34                |
| Alim<br>MOBA   | Feed | 42              | 13,26           | 76          | 1,955                             | 28,26                               | 14,89                  | 10,34                |
| Desc<br>MOBA   | Prod | 42              | 13,26           | 76          | 1,955                             | 28,26                               | 78,17                  | 1,084                |

Molienda Bolas

| Equipment                 | Port | Solids<br>(t/h) | Liquid<br>(t/h) | %<br>Solids | Pulp<br>SG<br>(t/m <sup>3</sup> ) | Vol.<br>Flow<br>(m <sup>3</sup> /h) | %Passes<br>1,000m<br>m | 80,00<br>%<br>passes |
|---------------------------|------|-----------------|-----------------|-------------|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------|----------------------|
| Alim Fresca               | Feed | 39              | 12,32           | 76          | 1,955                             | 26,24                               | 78,83                  | 1,054                |
| Alim Fresca               | Prod | 39              | 12,32           | 76          | 1,955                             | 26,24                               | 78,83                  | 1,054                |
| Cajón Uña                 | Feed | 233,8           | 150,9           | 60,77       | 1,641                             | 234,4                               | 85,11                  | 0,83                 |
| Cajón Uña                 | Prod | 233,8           | 150,9           | 60,77       | 1,641                             | 234,4                               | 85,11                  | 0,83                 |
| Alim<br>Hidrociclón<br>UF | Feed | 233,8           | 150,9           | 60,77       | 1,641                             | 234,4                               | 85,11                  | 0,83                 |
| Hidrociclón<br>UF         | U/F  | 194,8           | 68,6            | 73,96       | 1,906                             | 138,2                               | 82,11                  | 0,941                |
| Hidrociclón<br>OF         | O/F  | 38,99           | 82,32           | 32,14       | 1,26                              | 96,24                               | 100                    | 0,148                |
| Alim MOBO                 | Feed | 194,8           | 68,6            | 73,96       | 1,906                             | 138,2                               | 82,11                  | 0,941                |
| Desc MOBA                 | Prod | 194,8           | 68,6            | 73,96       | 1,906                             | 138,2                               | 86,38                  | 0,793                |
| Prod Final                | Feed | 38,99           | 82,32           | 32,14       | 1,26                              | 96,24                               | 100                    | 0,148                |

Humedad 35% Eficiencia 21mm

| Equipment   | Port       | Solids (t/h) | %Passes 1,000mm | 80,00 % passes |
|-------------|------------|--------------|-----------------|----------------|
| Alim Total  | -          | 608          | 4,381           | 234,2          |
| Línea 1     | -          | 486,4        | 4,381           | 234,2          |
| Línea 2     | -          | 121,6        | 4,381           | 234,2          |
| Línea 2     | -          | 121,6        | 4,381           | 234,2          |
| CTR 015     | -          | 60,8         | 4,381           | 234,2          |
| CTR 014     | -          | 60,8         | 4,381           | 234,2          |
| Línea 1     | -          | 486,4        | 4,381           | 234,2          |
| CTR 011 012 | -          | 486,4        | 4,381           | 234,2          |
| CTR 013     | -          | 0            | 100             | 0              |
| Wobbler 5   | Feed       | 60,8         | 4,466           | 234,2          |
| Wobbler 5   | O/Z        | 51,6         | 1,579           | 243,4          |
| Wobbler 5   | U/Z        | 9,204        | 20,65           | 17,83          |
| Wobbler 4   | Feed       | 60,8         | 4,381           | 234,2          |
| Wobbler 4   | O/Z        | 51,6         | 1,549           | 243,4          |
| Wobbler 4   | U/Z        | 9,204        | 20,26           | 17,84          |
| CHAS 5      | Feed       | 51,6         | 1,549           | 243,4          |
| CHAS 5      | Prod       | 51,6         | 8,937           | 31,4           |
| CHAS 4      | Feed       | 51,6         | 1,549           | 243,4          |
| CHAS 4      | Prod       | 51,6         | 8,937           | 31,4           |
| Grizzly 030 | Feed       | 0            | 100             | 0              |
| Grizzly 030 | O/Z        | 0            | 100             | 0              |
| Grizzly 030 | U/Z        | 0            | 100             | 0              |
| Grizzly 010 | Feed       | 486,4        | 4,466           | 234,2          |
| Grizzly 010 | O/Z        | 281,5        | 0,001           | 268,8          |
| Grizzly 010 | U/Z        | 204,9        | 10,6            | 60,77          |
| CHAM 1      | Feed       | 281,5        | 0,001           | 268,8          |
| CHAM 1      | Prod       | 281,5        | 2,946           | 149,6          |
| Chute P     | Feed       | 486,4        | 6,072           | 119            |
| Chute P     | Top Prod   | 243,2        | 6,072           | 119            |
| Chute P     | Bot Prod   | 243,2        | 6,072           | 119            |
| HDP 020     | Feed       | 243,2        | 6,072           | 119            |
| HDP 020     | Top Dk O/S | 109,8        | 0,269           | 158,6          |
| HDP 020     | Bot Dk O/S | 78,29        | 0,435           | 47,58          |
| HDP 020     | Bot Dk U/S | 55,1         | 25,65           | 12,43          |
| HPD 010     | Feed       | 243,2        | 6,072           | 119            |
| HPD 010     | Top Dk O/S | 109,8        | 0,273           | 158,6          |
| HPD 010     | Bot Dk O/S | 78,29        | 0,455           | 50,92          |
| HPD 010     | Bot Dk U/S | 55,1         | 26,1            | 12,43          |
| HPD 030     | Feed       | 0            | 100             | 0              |
| HPD 030     | Top Dk O/S | 0            | 100             | 0              |

OPTIMIZACIÓN DE TAMAÑOS DE TRANSFERENCIA EN CHANCADO Y MOLIENDA SEWELL MEDIANTE  
SIMULACIÓN

|                |            |       |       |       |
|----------------|------------|-------|-------|-------|
| HPD 030        | Bot Dk O/S | 0     | 100   | 0     |
| HPD 030        | Bot Dk U/S | 0     | 100   | 0     |
| CHAS 2         | Feed       | 188,1 | 0,338 | 134,1 |
| CHAS 2         | Prod       | 188,1 | 6,373 | 32,26 |
| CHAS 1         | Feed       | 188,1 | 0,338 | 134,1 |
| CHAS 1         | Prod       | 188,1 | 6,337 | 32,64 |
| HSP 5          | Feed       | 9,204 | 20,65 | 17,83 |
| HSP 5          | O/Z        | 3,155 | 1,228 | 26,66 |
| HSP 5          | U/Z        | 6,049 | 30,18 | 10,36 |
| HSP 4          | Feed       | 9,204 | 20,26 | 17,84 |
| HSP 4          | O/Z        | 3,155 | 1,228 | 26,66 |
| HSP 4          | U/Z        | 6,049 | 30,18 | 10,36 |
| Producto Final | Feed       | 608   | 13,93 | 12,21 |
| CHAT 9         | Feed       | 219,5 | 8,81  | 21,84 |
| CHAT 9         | Prod       | 219,5 | 10,59 | 12,53 |
| CHAT 8         | Feed       | 219,5 | 8,81  | 21,84 |
| CHAT 8         | Prod       | 219,5 | 10,59 | 12,53 |
| CHAT 7         | Feed       | 219,4 | 8,81  | 21,84 |
| CHAT 7         | Prod       | 219,4 | 10,59 | 12,53 |
| CHAT 6         | Feed       | 219,5 | 8,81  | 21,84 |
| CHAT 6         | Prod       | 219,5 | 10,59 | 12,53 |
| CHAT 5         | Feed       | 219,4 | 8,815 | 21,85 |
| CHAT 5         | Prod       | 219,4 | 10,6  | 12,56 |
| UTAH 9         | Feed       | 316,6 | 9,436 | 17,95 |
| UTAH 9         | O/Z        | 219,5 | 8,81  | 21,84 |
| UTAH 9         | U/Z        | 97,14 | 10,85 | 12,2  |
| UTAH 8         | Feed       | 316,6 | 9,436 | 17,95 |
| UTAH 8         | O/Z        | 219,5 | 8,81  | 21,84 |
| UTAH 8         | U/Z        | 97,14 | 10,85 | 12,2  |
| UTHA 7         | Feed       | 316,6 | 9,436 | 17,95 |
| UTHA 7         | O/Z        | 219,4 | 8,81  | 21,84 |
| UTHA 7         | U/Z        | 97,13 | 10,85 | 12,2  |
| UTAH 6         | Feed       | 316,7 | 9,436 | 17,95 |
| UTAH 6         | O/Z        | 219,5 | 8,81  | 21,84 |
| UTAH 6         | U/Z        | 97,16 | 10,85 | 12,2  |
| UTAH 5         | Feed       | 316,6 | 9,438 | 17,99 |
| UTAH 5         | O/Z        | 219,4 | 8,811 | 21,85 |
| UTAH 5         | U/Z        | 97,13 | 10,86 | 12,2  |

---

Humedad 50% eficiencia 16mm

|             | Port       | Solids (t/h) | %Passes 1,000mm | 80,00 % passes |
|-------------|------------|--------------|-----------------|----------------|
| Alim Total  | -          | 718          | 4,381           | 234,2          |
| Línea 1     | -          | 574,4        | 4,381           | 234,2          |
| Línea 2     | -          | 143,6        | 4,381           | 234,2          |
| Línea 2     | -          | 143,6        | 4,381           | 234,2          |
| CTR 015     | -          | 71,8         | 4,381           | 234,2          |
| CTR 014     | -          | 71,8         | 4,381           | 234,2          |
| Línea 1     | -          | 574,4        | 4,381           | 234,2          |
| CTR 011 012 | -          | 574,4        | 4,381           | 234,2          |
| CTR 013     | -          | 0            | 100             | 0              |
| Wobbler 5   | Feed       | 71,8         | 4,466           | 234,2          |
| Wobbler 5   | O/Z        | 60,93        | 1,579           | 243,4          |
| Wobbler 5   | U/Z        | 10,87        | 20,65           | 17,83          |
| Wobbler 4   | Feed       | 71,8         | 4,381           | 234,2          |
| Wobbler 4   | O/Z        | 60,93        | 1,549           | 243,4          |
| Wobbler 4   | U/Z        | 10,87        | 20,26           | 17,84          |
| CHAS 5      | Feed       | 60,93        | 1,549           | 243,4          |
| CHAS 5      | Prod       | 60,93        | 8,937           | 31,4           |
| CHAS 4      | Feed       | 60,93        | 1,549           | 243,4          |
| CHAS 4      | Prod       | 60,93        | 8,937           | 31,4           |
| Grizzly 030 | Feed       | 0            | 100             | 0              |
| Grizzly 030 | O/Z        | 0            | 100             | 0              |
| Grizzly 030 | U/Z        | 0            | 100             | 0              |
| Grizzly 010 | Feed       | 574,4        | 4,466           | 234,2          |
| Grizzly 010 | O/Z        | 332,4        | 0,001           | 268,8          |
| Grizzly 010 | U/Z        | 242          | 10,6            | 60,77          |
| CHAM 1      | Feed       | 332,4        | 0,001           | 268,8          |
| CHAM 1      | Prod       | 332,4        | 2,946           | 149,6          |
| Chute P     | Feed       | 574,4        | 6,072           | 119            |
| Chute P     | Top Prod   | 287,2        | 6,072           | 119            |
| Chute P     | Bot Prod   | 287,2        | 6,072           | 119            |
| HDP 020     | Feed       | 287,2        | 6,072           | 119            |
| HDP 020     | Top Dk O/S | 129,7        | 0,269           | 158,6          |
| HDP 020     | Bot Dk O/S | 92,46        | 0,435           | 47,58          |
| HDP 020     | Bot Dk U/S | 65,07        | 25,65           | 12,43          |
| HPD 010     | Feed       | 287,2        | 6,072           | 119            |
| HPD 010     | Top Dk O/S | 129,7        | 0,273           | 158,6          |
| HPD 010     | Bot Dk O/S | 92,46        | 0,455           | 50,92          |
| HPD 010     | Bot Dk U/S | 65,07        | 26,1            | 12,43          |
| HPD 030     | Feed       | 0            | 100             | 0              |
| HPD 030     | Top Dk O/S | 0            | 100             | 0              |

OPTIMIZACIÓN DE TAMAÑOS DE TRANSFERENCIA EN CHANCADO Y MOLIENDA SEWELL MEDIANTE  
SIMULACIÓN

|                |            |       |       |       |
|----------------|------------|-------|-------|-------|
| HPD 030        | Bot Dk O/S | 0     | 100   | 0     |
| HPD 030        | Bot Dk U/S | 0     | 100   | 0     |
| CHAS 2         | Feed       | 222,1 | 0,338 | 134,1 |
| CHAS 2         | Prod       | 222,1 | 6,373 | 32,26 |
| CHAS 1         | Feed       | 222,1 | 0,338 | 134,1 |
| CHAS 1         | Prod       | 222,1 | 6,337 | 32,64 |
| HSP 5          | Feed       | 10,87 | 20,65 | 17,83 |
| HSP 5          | O/Z        | 3,726 | 1,228 | 26,66 |
| HSP 5          | U/Z        | 7,143 | 30,18 | 10,36 |
| HSP 4          | Feed       | 10,87 | 20,26 | 17,84 |
| HSP 4          | O/Z        | 3,726 | 1,228 | 26,66 |
| HSP 4          | U/Z        | 7,143 | 30,18 | 10,36 |
| Producto Final | Feed       | 718   | 14,03 | 11,63 |
| CHAT 9         | Feed       | 201,7 | 6,111 | 25,64 |
| CHAT 9         | Prod       | 201,7 | 8,472 | 14,31 |
| CHAT 8         | Feed       | 201,7 | 6,111 | 25,64 |
| CHAT 8         | Prod       | 201,7 | 8,472 | 14,31 |
| CHAT 7         | Feed       | 201,6 | 6,111 | 25,64 |
| CHAT 7         | Prod       | 201,6 | 8,472 | 14,31 |
| CHAT 6         | Feed       | 201,7 | 6,111 | 25,64 |
| CHAT 6         | Prod       | 201,7 | 8,472 | 14,31 |
| CHAT 5         | Feed       | 201,6 | 6,114 | 25,78 |
| CHAT 5         | Prod       | 201,6 | 8,478 | 14,32 |
| UTAH 9         | Feed       | 316,4 | 7,874 | 20,23 |
| UTAH 9         | O/Z        | 201,7 | 6,111 | 25,64 |
| UTAH 9         | U/Z        | 114,7 | 10,98 | 11,56 |
| UTAH 8         | Feed       | 316,4 | 7,874 | 20,23 |
| UTAH 8         | O/Z        | 201,7 | 6,111 | 25,64 |
| UTAH 8         | U/Z        | 114,7 | 10,98 | 11,56 |
| UTHA 7         | Feed       | 316,3 | 7,874 | 20,23 |
| UTHA 7         | O/Z        | 201,6 | 6,111 | 25,64 |
| UTHA 7         | U/Z        | 114,7 | 10,98 | 11,56 |
| UTAH 6         | Feed       | 316,4 | 7,874 | 20,23 |
| UTAH 6         | O/Z        | 201,7 | 6,111 | 25,64 |
| UTAH 6         | U/Z        | 114,7 | 10,98 | 11,56 |
| UTAH 5         | Feed       | 316,3 | 7,876 | 20,16 |
| UTAH 5         | O/Z        | 201,6 | 6,112 | 25,78 |
| UTAH 5         | U/Z        | 114,7 | 10,98 | 11,56 |

## Aumento Tonelaje Chancado

### Chancado

|             | Port       | Solids (t/h) | %Passes 1,000mm | 80,00 % passes |
|-------------|------------|--------------|-----------------|----------------|
| Alim Total  | -          | 996          | 4,381           | 234,2          |
| Línea 1     | -          | 796,8        | 4,381           | 234,2          |
| Línea 2     | -          | 199,2        | 4,381           | 234,2          |
| Línea 2     | -          | 199,2        | 4,381           | 234,2          |
| CTR 015     | -          | 99,6         | 4,381           | 234,2          |
| CTR 014     | -          | 99,6         | 4,381           | 234,2          |
| Línea 1     | -          | 796,8        | 4,381           | 234,2          |
| CTR 011 012 | -          | 398,4        | 4,381           | 234,2          |
| CTR 013     | -          | 398,4        | 4,381           | 234,2          |
| Wobbler 5   | Feed       | 99,6         | 4,466           | 234,2          |
| Wobbler 5   | O/Z        | 84,52        | 1,579           | 243,4          |
| Wobbler 5   | U/Z        | 15,08        | 20,65           | 17,83          |
| Wobbler 4   | Feed       | 99,6         | 4,381           | 234,2          |
| Wobbler 4   | O/Z        | 84,52        | 1,549           | 243,4          |
| Wobbler 4   | U/Z        | 15,08        | 20,26           | 17,84          |
| CHAS 5      | Feed       | 84,52        | 1,549           | 243,4          |
| CHAS 5      | Prod       | 84,52        | 8,937           | 31,4           |
| CHAS 4      | Feed       | 84,52        | 1,549           | 243,4          |
| CHAS 4      | Prod       | 84,52        | 8,937           | 31,4           |
| Grizzly 030 | Feed       | 398,4        | 4,381           | 234,2          |
| Grizzly 030 | O/Z        | 250,1        | 1,745           | 259,2          |
| Grizzly 030 | U/Z        | 148,3        | 8,826           | 112,3          |
| Grizzly 010 | Feed       | 648,5        | 3,43            | 244,4          |
| Grizzly 010 | O/Z        | 426,3        | 0,001           | 273,2          |
| Grizzly 010 | U/Z        | 222,2        | 10,01           | 63,34          |
| CHAM 1      | Feed       | 426,3        | 0,001           | 273,2          |
| CHAM 1      | Prod       | 426,3        | 3,073           | 148,4          |
| Chute P     | Feed       | 648,5        | 5,366           | 124,3          |
| Chute P     | Top Prod   | 324,3        | 5,366           | 124,3          |
| Chute P     | Bot Prod   | 324,3        | 5,366           | 124,3          |
| HDP 020     | Feed       | 324,3        | 5,366           | 124,3          |
| HDP 020     | Top Dk O/S | 176,5        | 0,197           | 156            |
| HDP 020     | Bot Dk O/S | 75,22        | 0,541           | 42,32          |
| HDP 020     | Bot Dk U/S | 72,57        | 22,94           | 14,42          |
| HPD 010     | Feed       | 324,3        | 5,366           | 124,3          |
| HPD 010     | Top Dk O/S | 176,5        | 0,2             | 156            |
| HPD 010     | Bot Dk O/S | 75,22        | 0,563           | 42             |
| HPD 010     | Bot Dk U/S | 72,57        | 23,33           | 14,41          |
| HPD 030     | Feed       | 148,3        | 8,826           | 112,3          |

OPTIMIZACIÓN DE TAMAÑOS DE TRANSFERENCIA EN CHANCADO Y MOLIENDA SEWELL MEDIANTE  
SIMULACIÓN

|                |            |       |       |       |
|----------------|------------|-------|-------|-------|
| HPD 030        | Top Dk O/S | 55,81 | 0,469 | 182   |
| HPD 030        | Bot Dk O/S | 48,74 | 0,526 | 46,34 |
| HPD 030        | Bot Dk U/S | 43,75 | 28,74 | 9,183 |
| CHAS 2         | Feed       | 307,5 | 0,331 | 148,6 |
| CHAS 2         | Prod       | 307,5 | 7,003 | 31,92 |
| CHAS 1         | Feed       | 251,7 | 0,3   | 139,4 |
| CHAS 1         | Prod       | 251,7 | 6,574 | 32,75 |
| HSP 5          | Feed       | 15,08 | 20,65 | 17,83 |
| HSP 5          | O/Z        | 4,654 | 1,358 | 27,09 |
| HSP 5          | U/Z        | 10,42 | 28,7  | 11,16 |
| HSP 4          | Feed       | 15,08 | 20,26 | 17,84 |
| HSP 4          | O/Z        | 4,654 | 1,358 | 27,09 |
| HSP 4          | U/Z        | 10,42 | 28,7  | 11,16 |
| Producto Final | Feed       | 996   | 13,81 | 12,19 |
| CHAT 9         | Feed       | 164,2 | 3,327 | 32,88 |
| CHAT 9         | Prod       | 164,2 | 7,237 | 15,29 |
| CHAT 8         | Feed       | 164,2 | 3,327 | 32,88 |
| CHAT 8         | Prod       | 164,2 | 7,237 | 15,29 |
| CHAT 7         | Feed       | 164,1 | 3,327 | 32,88 |
| CHAT 7         | Prod       | 164,1 | 7,237 | 15,29 |
| CHAT 6         | Feed       | 164,2 | 3,327 | 32,88 |
| CHAT 6         | Prod       | 164,2 | 7,237 | 15,29 |
| CHAT 5         | Feed       | 164,1 | 3,328 | 32,62 |
| CHAT 5         | Prod       | 164,1 | 7,243 | 15,3  |
| UTAH 9         | Feed       | 321,4 | 7,022 | 23,99 |
| UTAH 9         | O/Z        | 164,2 | 3,327 | 32,88 |
| UTAH 9         | U/Z        | 157,3 | 10,88 | 12,2  |
| UTAH 8         | Feed       | 321,4 | 7,022 | 23,99 |
| UTAH 8         | O/Z        | 164,2 | 3,327 | 32,88 |
| UTAH 8         | U/Z        | 157,3 | 10,88 | 12,2  |
| UTHA 7         | Feed       | 321,4 | 7,022 | 23,99 |
| UTHA 7         | O/Z        | 164,1 | 3,327 | 32,88 |
| UTHA 7         | U/Z        | 157,2 | 10,88 | 12,2  |
| UTAH 6         | Feed       | 321,5 | 7,022 | 23,99 |
| UTAH 6         | O/Z        | 164,2 | 3,327 | 32,88 |
| UTAH 6         | U/Z        | 157,3 | 10,88 | 12,2  |
| UTAH 5         | Feed       | 321,4 | 7,024 | 24,04 |
| UTAH 5         | O/Z        | 164,1 | 3,327 | 32,62 |
| UTAH 5         | U/Z        | 157,2 | 10,89 | 12,19 |

Molienda Barras

| Equip<br>ment  | Port         | Solids<br>(t/h) | Liquid<br>(t/h) | %<br>Solid<br>s | Pulp SG<br>(t/m <sup>3</sup> ) | Vol. Flow<br>(m <sup>3</sup> /h) | %Passes<br>1,000mm | 80,00 %<br>passes |
|----------------|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------|-------------------|
| Alim<br>Fresca | Comb<br>iner | 42              | 1,299           | 97              | 2,657                          | 16,3                             | 13,81              | 12,31             |
| Alim<br>Fresca | Prod         | 42              | 1,299           | 97              | 2,657                          | 16,3                             | 13,81              | 12,31             |
| Alim<br>MOBA   | Comb<br>iner | 42              | 13,26           | 76              | 1,955                          | 28,26                            | 13,81              | 12,31             |
| Desc<br>MOBA   | Prod         | 42              | 13,26           | 76              | 1,955                          | 28,26                            | 66,43              | 1,666             |

Min P80

|             | Port | Solids (t/h) | %Passes 1,000mm | 80,00 % passes |
|-------------|------|--------------|-----------------|----------------|
| Alim Total  | -    | 700          | 4,381           | 234,2          |
| Línea 1     | -    | 560          | 4,381           | 234,2          |
| Línea 2     | -    | 140          | 4,381           | 234,2          |
| Línea 2     | -    | 140          | 4,381           | 234,2          |
| CTR 015     | -    | 70           | 4,381           | 234,2          |
| CTR 014     | -    | 70           | 4,381           | 234,2          |
| Línea 1     | -    | 560          | 4,381           | 234,2          |
| CTR 011 012 | -    | 280          | 4,381           | 234,2          |
| CTR 013     | -    | 280          | 4,381           | 234,2          |
| Wobbler 5   | Feed | 70           | 4,466           | 234,2          |
| Wobbler 5   | O/Z  | 59,4         | 1,579           | 243,4          |
| Wobbler 5   | U/Z  | 10,6         | 20,65           | 17,83          |
| Wobbler 4   | Feed | 70           | 4,381           | 234,2          |
| Wobbler 4   | O/Z  | 59,4         | 1,549           | 243,4          |
| Wobbler 4   | U/Z  | 10,6         | 20,26           | 17,84          |
| CHAS 5      | Feed | 59,4         | 1,549           | 243,4          |
| CHAS 5      | Prod | 59,4         | 8,937           | 31,4           |
| CHAS 4      | Feed | 59,4         | 1,549           | 243,4          |
| CHAS 4      | Prod | 59,4         | 8,937           | 31,4           |
| Grizzly 030 | Feed | 280          | 4,381           | 234,2          |
| Grizzly 030 | O/Z  | 175,8        | 1,745           | 259,2          |
| Grizzly 030 | U/Z  | 104,2        | 8,826           | 112,3          |
| Grizzly 010 | Feed | 455,8        | 3,43            | 244,4          |
| Grizzly 010 | O/Z  | 299,6        | 0,001           | 273,2          |
| Grizzly 010 | U/Z  | 156,1        | 10,01           | 63,34          |
| CHAM 1      | Feed | 299,6        | 0,001           | 273,2          |

OPTIMIZACIÓN DE TAMAÑOS DE TRANSFERENCIA EN CHANCADO Y MOLIENDA SEWELL MEDIANTE  
SIMULACIÓN

|                |            |       |       |       |
|----------------|------------|-------|-------|-------|
| CHAM 1         | Prod       | 299,6 | 3,073 | 148,4 |
| Chute P        | Feed       | 455,8 | 5,366 | 124,3 |
| Chute P        | Top Prod   | 227,9 | 5,366 | 124,3 |
| Chute P        | Bot Prod   | 227,9 | 5,366 | 124,3 |
| HDP 020        | Feed       | 227,9 | 5,366 | 124,3 |
| HDP 020        | Top Dk O/S | 124   | 0,197 | 156   |
| HDP 020        | Bot Dk O/S | 56,56 | 0,518 | 41,74 |
| HDP 020        | Bot Dk U/S | 47,31 | 24,72 | 12,67 |
| HPD 010        | Feed       | 227,9 | 5,366 | 124,3 |
| HPD 010        | Top Dk O/S | 124   | 0,2   | 156   |
| HPD 010        | Bot Dk O/S | 56,56 | 0,54  | 41,52 |
| HPD 010        | Bot Dk U/S | 47,31 | 25,14 | 12,66 |
| HPD 030        | Feed       | 104,2 | 8,826 | 112,3 |
| HPD 030        | Top Dk O/S | 39,23 | 0,469 | 182   |
| HPD 030        | Bot Dk O/S | 34,25 | 0,526 | 46,34 |
| HPD 030        | Bot Dk U/S | 30,75 | 28,74 | 9,183 |
| CHAS 2         | Feed       | 219,8 | 0,328 | 147,6 |
| CHAS 2         | Prod       | 219,8 | 6,894 | 31,85 |
| CHAS 1         | Feed       | 180,6 | 0,298 | 138,2 |
| CHAS 1         | Prod       | 180,6 | 6,45  | 32,63 |
| HSP 5          | Feed       | 10,6  | 20,65 | 17,83 |
| HSP 5          | O/Z        | 4,061 | 1,105 | 26,12 |
| HSP 5          | U/Z        | 6,535 | 32,16 | 9,44  |
| HSP 4          | Feed       | 10,6  | 20,26 | 17,84 |
| HSP 4          | O/Z        | 4,061 | 1,105 | 26,12 |
| HSP 4          | U/Z        | 6,535 | 32,16 | 9,44  |
| Producto Final | Feed       | 700   | 14,94 | 9,396 |
| CHAT 9         | Feed       | 208,2 | 2,037 | 25,24 |
| CHAT 9         | Prod       | 208,2 | 4,959 | 14,09 |
| CHAT 8         | Feed       | 208,2 | 2,037 | 25,24 |
| CHAT 8         | Prod       | 208,2 | 4,959 | 14,09 |
| CHAT 7         | Feed       | 208,1 | 2,037 | 25,24 |
| CHAT 7         | Prod       | 208,1 | 4,959 | 14,09 |
| CHAT 6         | Feed       | 208,2 | 2,037 | 25,24 |
| CHAT 6         | Prod       | 208,2 | 4,959 | 14,09 |
| CHAT 5         | Feed       | 208,1 | 2,038 | 25,39 |
| CHAT 5         | Prod       | 208,1 | 4,964 | 14,02 |
| UTAH 9         | Feed       | 320,5 | 5,568 | 19,59 |
| UTAH 9         | O/Z        | 208,2 | 2,037 | 25,24 |
| UTAH 9         | U/Z        | 112,3 | 12,12 | 9,187 |
| UTAH 8         | Feed       | 320,5 | 5,568 | 19,59 |
| UTAH 8         | O/Z        | 208,2 | 2,037 | 25,24 |
| UTAH 8         | U/Z        | 112,3 | 12,12 | 9,187 |

OPTIMIZACIÓN DE TAMAÑOS DE TRANSFERENCIA EN CHANCADO Y MOLIENDA SEWELL MEDIANTE SIMULACIÓN

|        |      |       |       |       |
|--------|------|-------|-------|-------|
| UTHA 7 | Feed | 320,4 | 5,568 | 19,59 |
| UTHA 7 | O/Z  | 208,1 | 2,037 | 25,24 |
| UTHA 7 | U/Z  | 112,3 | 12,12 | 9,187 |
| UTAH 6 | Feed | 320,5 | 5,568 | 19,59 |
| UTAH 6 | O/Z  | 208,2 | 2,037 | 25,24 |
| UTAH 6 | U/Z  | 112,3 | 12,12 | 9,187 |
| UTAH 5 | Feed | 320,4 | 5,57  | 19,44 |
| UTAH 5 | O/Z  | 208,1 | 2,037 | 25,39 |
| UTAH 5 | U/Z  | 112,3 | 12,13 | 9,176 |

---

## ANEXO G: GRANULOMETRÍAS OBTENIDAS EN MUESTREOS

Alimentación Piso Primario

| <b>Muestra</b> | <b>Alimentación Piso Primario</b> |                     | <b>Masa Granul. 1162,2 g</b> |                     |                     |
|----------------|-----------------------------------|---------------------|------------------------------|---------------------|---------------------|
| <b>Malla</b>   | <b>Abertura micrones</b>          | <b>Parc. Ret. g</b> | <b>Parc. Ret. %</b>          | <b>Ret. Acum. %</b> | <b>Pas. Acum. %</b> |
| 1              | 26670                             | 0,0                 | 0,00                         | 0,00                | 100,00              |
| 0.742          | 18850                             | 0,0                 | 0,00                         | 0,00                | 100,00              |
| 0.525          | 13330                             | 72,5                | 6,24                         | 6,24                | 93,76               |
| 0.371          | 9423                              | 234,5               | 20,18                        | 26,42               | 73,58               |
| 3              | 6680                              | 265,2               | 22,82                        | 49,23               | 50,77               |
| 4              | 4699                              | 141,1               | 12,14                        | 61,37               | 38,63               |
| 6              | 3327                              | 91,6                | 7,88                         | 69,26               | 30,74               |
| 8              | 2352                              | 60,0                | 5,16                         | 74,42               | 25,58               |
| 10             | 1651                              | 40,0                | 3,44                         | 77,86               | 22,14               |
| 14             | 1168                              | 34,1                | 2,93                         | 80,80               | 19,20               |
| 20             | 833                               | 24,2                | 2,08                         | 82,88               | 17,12               |
| 28             | 589                               | 21,4                | 1,84                         | 84,72               | 15,28               |
| 35             | 417                               | 19,3                | 1,66                         | 86,38               | 13,62               |
| 48             | 295                               | 16,5                | 1,42                         | 87,80               | 12,20               |
| 65             | 208                               | 16,8                | 1,45                         | 89,24               | 10,76               |
| 100            | 147                               | 16,4                | 1,41                         | 90,66               | 9,34                |
| 150            | 104                               | 14,1                | 1,21                         | 91,87               | 8,13                |
| 200            | 74                                | 14,9                | 1,28                         | 93,15               | 6,85                |
| 270            | 53                                | 13,1                | 1,13                         | 94,28               | 5,72                |
| 325            | 44                                | 1,9                 | 0,16                         | 94,44               | 5,56                |
| -325           | -44                               | 3,3                 | 0,28                         | 94,73               | 5,27                |

| <b>Muestra</b> |                          | <b>29-oct Descarga Piso Primario</b> |                     |                     |                     |
|----------------|--------------------------|--------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                |                          |                                      | <b>Masa Granul.</b> | 1065,0              | G                   |
| <b>Malla</b>   | <b>Abertura micrones</b> | <b>Parc. Ret. g</b>                  | <b>Parc. Ret. %</b> | <b>Ret. Acum. %</b> | <b>Pas. Acum. %</b> |
| 1              | 26670                    | 0,0                                  | 0,00                | 0,00                | 100,00              |
| 0.742          | 18850                    | 0,0                                  | 0,00                | 0,00                | 100,00              |
| 0.525          | 13330                    | 0,0                                  | 0,00                | 0,00                | 100,00              |
| 0.371          | 9423                     | 0,0                                  | 0,00                | 0,00                | 100,00              |
| 3              | 6680                     | 0,9                                  | 0,08                | 0,08                | 99,92               |
| 4              | 4699                     | 3,1                                  | 0,29                | 0,38                | 99,62               |
| 6              | 3327                     | 10,9                                 | 1,02                | 1,40                | 98,60               |
| 8              | 2352                     | 28,9                                 | 2,71                | 4,11                | 95,89               |
| 10             | 1651                     | 57,7                                 | 5,42                | 9,53                | 90,47               |
| 14             | 1168                     | 97,7                                 | 9,17                | 18,70               | 81,30               |
| 20             | 833                      | 115,5                                | 10,85               | 29,55               | 70,45               |
| 28             | 589                      | 131,7                                | 12,37               | 41,92               | 58,08               |
| 35             | 417                      | 123,2                                | 11,57               | 53,48               | 46,52               |
| 48             | 295                      | 103,3                                | 9,70                | 63,18               | 36,82               |
| 65             | 208                      | 101,3                                | 9,51                | 72,69               | 27,31               |
| 100            | 147                      | 88,2                                 | 8,28                | 80,98               | 19,02               |
| 150            | 104                      | 68,0                                 | 6,38                | 87,36               | 12,64               |
| 200            | 74                       | 60,2                                 | 5,65                | 93,01               | 6,99                |
| 270            | 53                       | 49,8                                 | 4,68                | 97,69               | 2,31                |
| 325            | 44                       | 20,0                                 | 1,88                | 99,57               | 0,43                |
| -325           | -44                      | 5,0                                  | 0,47                | 100,04              | -0,04               |

| <b>Muestra</b> | 29-oct Rebose<br>Ciclones    |                         | <b>% Solido</b>         | <b>32,92%</b>               |                             |
|----------------|------------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|                |                              |                         | <b>Masa<br/>Granul.</b> | 218,7                       | g                           |
| <b>Malla</b>   | <b>Abertura<br/>micrones</b> | <b>Parc. Ret.<br/>g</b> | <b>Parc. Ret.<br/>%</b> | <b>Ret.<br/>Acum.<br/>%</b> | <b>Pas.<br/>Acum.<br/>%</b> |
| 1              | 26670                        | 0,0                     | 0,00                    | 0,00                        | 100,00                      |
| 0.742          | 18850                        | 0,0                     | 0,00                    | 0,00                        | 100,00                      |
| 0.525          | 13330                        | 0,0                     | 0,00                    | 0,00                        | 100,00                      |
| 0.371          | 9423                         | 0,0                     | 0,00                    | 0,00                        | 100,00                      |
| 3              | 6680                         | 0,9                     | 0,41                    | 0,41                        | 99,59                       |
| 4              | 4699                         | 0,0                     | 0,00                    | 0,41                        | 99,59                       |
| 6              | 3327                         | 0,0                     | 0,00                    | 0,41                        | 99,59                       |
| 8              | 2352                         | 0,0                     | 0,00                    | 0,41                        | 99,59                       |
| 10             | 1651                         | 0,0                     | 0,00                    | 0,41                        | 99,59                       |
| 14             | 1168                         | 0,0                     | 0,00                    | 0,41                        | 99,59                       |
| 20             | 833                          | 0,0                     | 0,00                    | 0,41                        | 99,59                       |
| 28             | 589                          | 0,2                     | 0,09                    | 0,50                        | 99,50                       |
| 35             | 417                          | 3,0                     | 1,37                    | 1,87                        | 98,13                       |
| 48             | 295                          | 23,9                    | 10,93                   | 12,80                       | 87,20                       |
| 65             | 208                          | 51,4                    | 23,50                   | 36,31                       | 63,69                       |
| 100            | 147                          | 45,7                    | 20,90                   | 57,20                       | 42,80                       |
| 150            | 104                          | 41,8                    | 19,11                   | 76,31                       | 23,69                       |
| 200            | 74                           | 35,1                    | 16,05                   | 92,36                       | 7,64                        |
| 270            | 53                           | 15,2                    | 6,95                    | 99,31                       | 0,69                        |
| 325            | 44                           | 1,5                     | 0,69                    | 100,00                      | 0,00                        |
| -325           | -44                          | 0,0                     | 0,00                    | 100,00                      | 0,00                        |

| <b>Muestra</b> | <b>Descarga Ciclones</b> | <b>% Solido</b>     | <b>71,47%</b>     |                   |                   |
|----------------|--------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                |                          | <b>Masa Granul.</b> | 1184,9            | g                 |                   |
| <b>Malla</b>   | <b>Abertura</b>          | <b>Parc. Ret.</b>   | <b>Parc. Ret.</b> | <b>Ret. Acum.</b> | <b>Pas. Acum.</b> |
|                | <b>micrones</b>          | <b>g</b>            | <b>%</b>          | <b>%</b>          | <b>%</b>          |
| 1              | 26670                    | 0,0                 | 0,00              | 0,00              | 100,00            |
| 0.742          | 18850                    | 0,0                 | 0,00              | 0,00              | 100,00            |
| 0.525          | 13330                    | 0,0                 | 0,00              | 0,00              | 100,00            |
| 0.371          | 9423                     | 0,0                 | 0,00              | 0,00              | 100,00            |
| 3              | 6680                     | 0,0                 | 0,00              | 0,00              | 100,00            |
| 4              | 4699                     | 0,8                 | 0,07              | 0,07              | 99,93             |
| 6              | 3327                     | 4,8                 | 0,41              | 0,47              | 99,53             |
| 8              | 2352                     | 12,4                | 1,05              | 1,52              | 98,48             |
| 10             | 1651                     | 23,1                | 1,95              | 3,47              | 96,53             |
| 14             | 1168                     | 46,9                | 3,96              | 7,43              | 92,57             |
| 20             | 833                      | 63,2                | 5,33              | 12,76             | 87,24             |
| 28             | 589                      | 94,8                | 8,00              | 20,76             | 79,24             |
| 35             | 417                      | 152,1               | 12,84             | 33,60             | 66,40             |
| 48             | 295                      | 234,6               | 19,80             | 53,40             | 46,60             |
| 65             | 208                      | 235,7               | 19,89             | 73,29             | 26,71             |
| 100            | 147                      | 137,8               | 11,63             | 84,92             | 15,08             |
| 150            | 104                      | 86,9                | 7,33              | 92,25             | 7,75              |
| 200            | 74                       | 55,5                | 4,68              | 96,94             | 3,06              |
| 270            | 53                       | 26,6                | 2,24              | 99,18             | 0,82              |
| 325            | 44                       | 9,3                 | 0,78              | 99,97             | 0,03              |
| -325           | -44                      | 0,4                 | 0,03              | 100,00            | 0,00              |

| <b>Muestra</b> | <b>Descarga Molinos</b> | <b>% Solido</b>     | <b>72,12%</b>     |                   |                   |
|----------------|-------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                |                         | <b>Masa Granul.</b> | 1159,0            | G                 |                   |
| <b>Malla</b>   | <b>Abertura</b>         | <b>Parc. Ret.</b>   | <b>Parc. Ret.</b> | <b>Ret. Acum.</b> | <b>Pas. Acum.</b> |
|                | <b>micrones</b>         | <b>g</b>            | <b>%</b>          | <b>%</b>          | <b>%</b>          |
| 1              | 26670                   | 0,0                 | 0,00              | 0,00              | 100,00            |
| 0.742          | 18850                   | 0,0                 | 0,00              | 0,00              | 100,00            |
| 0.525          | 13330                   | 0,0                 | 0,00              | 0,00              | 100,00            |
| 0.371          | 9423                    | 0,0                 | 0,00              | 0,00              | 100,00            |
| 3              | 6680                    | 0,0                 | 0,00              | 0,00              | 100,00            |
| 4              | 4699                    | 0,0                 | 0,00              | 0,00              | 100,00            |
| 6              | 3327                    | 0,3                 | 0,03              | 0,03              | 99,97             |
| 8              | 2352                    | 0,5                 | 0,04              | 0,07              | 99,93             |
| 10             | 1651                    | 2,9                 | 0,25              | 0,32              | 99,68             |
| 14             | 1168                    | 9,1                 | 0,79              | 1,10              | 98,90             |
| 20             | 833                     | 19,1                | 1,65              | 2,75              | 97,25             |
| 28             | 589                     | 46,2                | 3,99              | 6,74              | 93,26             |
| 35             | 417                     | 105,3               | 9,09              | 15,82             | 84,18             |
| 48             | 295                     | 199,8               | 17,24             | 33,06             | 66,94             |
| 65             | 208                     | 253,2               | 21,85             | 54,91             | 45,09             |
| 100            | 147                     | 175,8               | 15,17             | 70,08             | 29,92             |
| 150            | 104                     | 190,0               | 16,39             | 86,47             | 13,53             |
| 200            | 74                      | 83,4                | 7,20              | 93,67             | 6,33              |
| 270            | 53                      | 50,0                | 4,31              | 97,98             | 2,02              |
| 325            | 44                      | 18,9                | 1,63              | 99,61             | 0,39              |
| -325           | -44                     | 4,5                 | 0,39              | 100,00            | 0,00              |

| <b>Muestra</b> | <b>Alimentación Ciclón</b> | <b>% Solido</b>     |                     |                     |                     |
|----------------|----------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                |                            | <b>Masa Granul.</b> | 1403,6              | g                   |                     |
| <b>Malla</b>   | <b>Abertura micrones</b>   | <b>Parc. Ret. g</b> | <b>Parc. Ret. %</b> | <b>Ret. Acum. %</b> | <b>Pas. Acum. %</b> |
| 1              | 26670                      | 0,0                 | 0,00                | 0,00                | 100,00              |
| 0.742          | 18850                      | 0,0                 | 0,00                | 0,00                | 100,00              |
| 0.525          | 13330                      | 0,0                 | 0,00                | 0,00                | 100,00              |
| 0.371          | 9423                       | 0,0                 | 0,00                | 0,00                | 100,00              |
| 3              | 6680                       | 0,9                 | 0,06                | 0,06                | 99,94               |
| 4              | 4699                       | 0,8                 | 0,06                | 0,12                | 99,88               |
| 6              | 3327                       | 4,8                 | 0,34                | 0,46                | 99,54               |
| 8              | 2352                       | 12,4                | 0,88                | 1,35                | 98,65               |
| 10             | 1651                       | 23,1                | 1,65                | 2,99                | 97,01               |
| 14             | 1168                       | 46,9                | 3,34                | 6,33                | 93,67               |
| 20             | 833                        | 63,2                | 4,50                | 10,84               | 89,16               |
| 28             | 589                        | 95,0                | 6,77                | 17,60               | 82,40               |
| 35             | 417                        | 155,1               | 11,05               | 28,65               | 71,35               |
| 48             | 295                        | 258,5               | 18,42               | 47,07               | 52,93               |
| 65             | 208                        | 287,1               | 20,45               | 67,53               | 32,47               |
| 100            | 147                        | 183,5               | 13,07               | 80,60               | 19,40               |
| 150            | 104                        | 128,7               | 9,17                | 89,77               | 10,23               |
| 200            | 74                         | 90,6                | 6,45                | 96,22               | 3,78                |
| 270            | 53                         | 41,8                | 2,98                | 99,20               | 0,80                |
| 325            | 44                         | 10,8                | 0,77                | 99,97               | 0,03                |
| -325           | -44                        | 0,4                 | 0,03                | 100,00              | 0,00                |

OPTIMIZACIÓN DE TAMAÑOS DE TRANSFERENCIA EN CHANCADO Y MOLIENDA SEWELL MEDIANTE SIMULACIÓN

| MUESTRA |          | Correa # 064 |         |           |
|---------|----------|--------------|---------|-----------|
| FECHA   |          | 28-10-2015   |         |           |
| TURNO   |          | A            |         |           |
| MALLA   | ABERTURA | PART.RET.    | % RET.  | % PASANT. |
| TYLER   | MICRONES | %            | ACUMUL. | ACUMUL.   |
| 8       | 203200   | 0,00         | 0,00    | 100,00    |
| 6       | 152400   | 0,00         | 0,00    | 100,00    |
| 4,15    | 101600   | 0,00         | 0,00    | 100,00    |
| 3       | 76200    | 0,00         | 0,00    | 100,00    |
| 2,1     | 50800    | 0,00         | 0,00    | 100,00    |
| 1,48    | 38100    | 0,00         | 0,00    | 100,00    |
| 1       | 26670    | 0,00         | 0,00    | 100,00    |
| 0,742   | 18850    | 0,00         | 0,00    | 100,00    |
| 0,525   | 13335    | 3,89         | 3,89    | 96,11     |
| 0,371   | 9423     | 10,86        | 14,75   | 85,25     |
| 3       | 6680     | 16,23        | 30,98   | 69,02     |
| 4       | 4699     | 10,35        | 41,33   | 58,67     |
| 6       | 3327     | 6,40         | 47,73   | 52,27     |
| 8       | 2352     | 4,55         | 52,27   | 47,73     |
| 10      | 1651     | 3,33         | 55,61   | 44,39     |
| 14      | 1168     | 2,42         | 58,03   | 41,97     |
| 20      | 833      | 1,65         | 59,67   | 40,33     |
| 28      | 589      | 1,35         | 61,02   | 38,98     |
| 35      | 417      | 1,10         | 62,12   | 37,88     |
| 48      | 295      | 0,86         | 62,98   | 37,02     |
| 65      | 208      | 0,85         | 63,83   | 36,17     |
| 100     | 147      | 0,79         | 64,62   | 35,38     |
| 150     | 104      | 0,67         | 65,30   | 34,70     |
| 200     | 74       | 0,66         | 65,96   | 34,04     |
| 270     | 53       | 0,64         | 66,60   | 33,40     |
| 325     | 44       | 0,30         | 66,89   | 33,11     |
| -325    | -44      | 33,11        | 100,00  | 0,00      |

OPTIMIZACIÓN DE TAMAÑOS DE TRANSFERENCIA EN CHANCADO Y MOLIENDA SEWELL MEDIANTE SIMULACIÓN

| MUESTRA |            | Correa # 109 |         |           |
|---------|------------|--------------|---------|-----------|
| FECHA   | 28-10-2015 |              |         |           |
| TURNO   | A          |              |         |           |
| MALLA   | ABERTURA   | PART.RET.    | % RET.  | % PASANT. |
| TYLER   | MICRONES   | %            | ACUMUL. | ACUMUL.   |
| 8       | 203200     | 0,00         | 0,00    | 100,00    |
| 6       | 152400     | 0,00         | 0,00    | 100,00    |
| 4,15    | 101600     | 0,00         | 0,00    | 100,00    |
| 3       | 76200      | 0,00         | 0,00    | 100,00    |
| 2,1     | 50800      | 0,00         | 0,00    | 100,00    |
| 1,48    | 38100      | 0,00         | 0,00    | 100,00    |
| 1       | 26670      | 0,16         | 0,16    | 99,84     |
| 0,742   | 18850      | 0,16         | 0,33    | 99,67     |
| 0,525   | 13335      | 3,10         | 3,43    | 96,57     |
| 0,371   | 9423       | 12,22        | 15,65   | 84,35     |
| 3       | 6680       | 26,12        | 41,77   | 58,23     |
| 4       | 4699       | 14,36        | 56,13   | 43,87     |
| 6       | 3327       | 8,73         | 64,86   | 35,14     |
| 8       | 2352       | 6,43         | 71,29   | 28,71     |
| 10      | 1651       | 4,65         | 75,94   | 24,06     |
| 14      | 1168       | 3,59         | 79,53   | 20,47     |
| 20      | 833        | 2,46         | 81,99   | 18,01     |
| 28      | 589        | 1,99         | 83,98   | 16,02     |
| 35      | 417        | 1,64         | 85,62   | 14,38     |
| 48      | 295        | 1,28         | 86,89   | 13,11     |
| 65      | 208        | 1,25         | 88,14   | 11,86     |
| 100     | 147        | 1,16         | 89,30   | 10,70     |
| 150     | 104        | 0,99         | 90,30   | 9,70      |
| 200     | 74         | 0,98         | 91,28   | 8,72      |
| 270     | 53         | 0,89         | 92,17   | 7,83      |
| 325     | 44         | 0,42         | 92,59   | 7,41      |
| -325    | -44        | 7,41         | 100,00  | 0,00      |

| MUESTRA |          | C. # 062 Std. 1 |         |           |
|---------|----------|-----------------|---------|-----------|
| FECHA   |          | 28-03-2015      |         |           |
| TURNO   |          | A               |         |           |
| MALLA   | ABERTURA | PART.RET.       | % RET.  | % PASANT. |
| TYLER   | MICRONES | %               | ACUMUL. | ACUMUL.   |
| 8       | 203200   | 0,00            | 0,00    | 100,00    |
| 6       | 152400   | 0,00            | 0,00    | 100,00    |
| 4,15    | 101600   | 10,27           | 10,27   | 89,73     |
| 3       | 76200    | 21,66           | 31,93   | 68,07     |
| 2,1     | 50800    | 13,50           | 45,43   | 54,57     |
| 1,48    | 38100    | 9,99            | 55,41   | 44,59     |
| 1       | 26670    | 12,24           | 67,65   | 32,35     |
| 0,742   | 18850    | 9,85            | 77,50   | 22,50     |
| 0,525   | 13335    | 9,76            | 87,26   | 12,74     |
| 0,371   | 9423     | 3,79            | 91,04   | 8,96      |
| 3       | 6680     | 3,27            | 94,31   | 5,69      |
| 4       | 4699     | 1,57            | 95,88   | 4,12      |
| 6       | 3327     | 0,79            | 96,67   | 3,33      |
| 8       | 2352     | 0,47            | 97,14   | 2,86      |
| 10      | 1651     | 0,24            | 97,38   | 2,62      |
| 14      | 1168     | 0,18            | 97,57   | 2,43      |
| 20      | 833      | 0,13            | 97,70   | 2,30      |
| 28      | 589      | 0,12            | 97,82   | 2,18      |
| 35      | 417      | 0,12            | 97,95   | 2,05      |
| 48      | 295      | 0,13            | 98,08   | 1,92      |
| 65      | 208      | 0,14            | 98,22   | 1,78      |
| 100     | 147      | 0,17            | 98,39   | 1,61      |
| 150     | 104      | 0,17            | 98,56   | 1,44      |
| 200     | 74       | 0,17            | 98,73   | 1,27      |
| 270     | 53       | 0,19            | 98,91   | 1,09      |
| 325     | 44       | 0,08            | 98,99   | 1,01      |
| -325    | -44      | 1,01            | 100,00  | 0,00      |

| MUESTRA |          | C. # 118 Std. 1 |         |           |
|---------|----------|-----------------|---------|-----------|
| FECHA   |          | 28-03-2015      |         |           |
| TURNO   |          | A               |         |           |
| MALLA   | ABERTURA | PART.RET.       | % RET.  | % PASANT. |
| TYLER   | MICRONES | %               | ACUMUL. | ACUMUL.   |
| 8       | 203200   | 0,00            | 0,00    | 100,00    |
| 6       | 152400   | 0,00            | 0,00    | 100,00    |
| 4,15    | 101600   | 0,00            | 0,00    | 100,00    |
| 3       | 76200    | 5,31            | 5,31    | 94,69     |
| 2,1     | 50800    | 21,51           | 26,82   | 73,18     |
| 1,48    | 38100    | 15,08           | 41,90   | 58,10     |
| 1       | 26670    | 18,99           | 60,89   | 39,11     |
| 0,742   | 18850    | 14,80           | 75,70   | 24,30     |
| 0,525   | 13335    | 10,73           | 86,43   | 13,57     |
| 0,371   | 9423     | 3,71            | 90,14   | 9,86      |
| 3       | 6680     | 3,23            | 93,37   | 6,63      |
| 4       | 4699     | 1,41            | 94,78   | 5,22      |
| 6       | 3327     | 0,87            | 95,65   | 4,35      |
| 8       | 2352     | 0,60            | 96,25   | 3,75      |
| 10      | 1651     | 0,45            | 96,70   | 3,30      |
| 14      | 1168     | 0,32            | 97,03   | 2,97      |
| 20      | 833      | 0,25            | 97,27   | 2,73      |
| 28      | 589      | 0,21            | 97,48   | 2,52      |
| 35      | 417      | 0,20            | 97,68   | 2,32      |
| 48      | 295      | 0,18            | 97,86   | 2,14      |
| 65      | 208      | 0,17            | 98,03   | 1,97      |
| 100     | 147      | 0,19            | 98,22   | 1,78      |
| 150     | 104      | 0,18            | 98,40   | 1,60      |
| 200     | 74       | 0,17            | 98,57   | 1,43      |
| 270     | 53       | 0,18            | 98,75   | 1,25      |
| 325     | 44       | 0,07            | 98,82   | 1,18      |
| -325    | -44      | 1,18            | 100,00  | 0,00      |

OPTIMIZACIÓN DE TAMAÑOS DE TRANSFERENCIA EN CHANCADO Y MOLIENDA SEWELL MEDIANTE SIMULACIÓN

| MUESTRA |          | C # 069    |         |           |
|---------|----------|------------|---------|-----------|
| FECHA   |          | 03-12-2014 |         |           |
| TURNO   |          | A          |         |           |
| MALLA   | ABERTURA | PART.RET.  | % RET.  | % PASANT. |
| TYLER   | MICRONES | %          | ACUMUL. | ACUMUL.   |
| 8       | 203200   | 0,00       | 0,00    | 100,00    |
| 6       | 152400   | 0,00       | 0,00    | 100,00    |
| 4,15    | 101600   | 0,00       | 0,00    | 100,00    |
| 3       | 76200    | 0,00       | 0,00    | 100,00    |
| 2,1     | 50800    | 0,00       | 0,00    | 100,00    |
| 1,48    | 38100    | 3,47       | 3,47    | 96,53     |
| 1       | 26670    | 6,25       | 9,72    | 90,28     |
| 0,742   | 18850    | 8,33       | 18,06   | 81,94     |
| 0,525   | 13335    | 46,09      | 64,14   | 35,86     |
| 0,371   | 9423     | 21,22      | 85,36   | 14,64     |
| 3       | 6680     | 8,88       | 94,24   | 5,76      |
| 4       | 4699     | 2,04       | 96,28   | 3,72      |
| 6       | 3327     | 0,64       | 96,92   | 3,08      |
| 8       | 2352     | 0,26       | 97,18   | 2,82      |
| 10      | 1651     | 0,13       | 97,31   | 2,69      |
| 14      | 1168     | 0,08       | 97,39   | 2,61      |
| 20      | 833      | 0,06       | 97,45   | 2,55      |
| 28      | 589      | 0,06       | 97,51   | 2,49      |
| 35      | 417      | 0,06       | 97,57   | 2,43      |
| 48      | 295      | 0,08       | 97,64   | 2,36      |
| 65      | 208      | 0,12       | 97,76   | 2,24      |
| 100     | 147      | 0,19       | 97,95   | 2,05      |
| 150     | 104      | 0,22       | 98,17   | 1,83      |
| 200     | 74       | 0,25       | 98,41   | 1,59      |
| 270     | 53       | 0,26       | 98,67   | 1,33      |
| 325     | 44       | 0,10       | 98,77   | 1,23      |
| -325    | -44      | 1,23       | 100,00  | 0,00      |

OPTIMIZACIÓN DE TAMAÑOS DE TRANSFERENCIA EN CHANCADO Y MOLIENDA SEWELL MEDIANTE SIMULACIÓN

| MUESTRA |          | C # 107    |         |           |
|---------|----------|------------|---------|-----------|
| FECHA   |          | 03-12-2014 |         |           |
| TURNO   |          | A          |         |           |
| MALLA   | ABERTURA | PART.RET.  | % RET.  | % PASANT. |
| TYLER   | MICRONES | %          | ACUMUL. | ACUMUL.   |
| 8       | 203200   | 0,00       | 0,00    | 100,00    |
| 6       | 152400   | 0,00       | 0,00    | 100,00    |
| 4,15    | 101600   | 0,00       | 0,00    | 100,00    |
| 3       | 76200    | 0,00       | 0,00    | 100,00    |
| 2,1     | 50800    | 0,00       | 0,00    | 100,00    |
| 1,48    | 38100    | 0,00       | 0,00    | 100,00    |
| 1       | 26670    | 0,00       | 0,00    | 100,00    |
| 0,742   | 18850    | 0,00       | 0,00    | 100,00    |
| 0,525   | 13335    | 7,49       | 7,49    | 92,51     |
| 0,371   | 9423     | 20,19      | 27,67   | 72,33     |
| 3       | 6680     | 23,95      | 51,62   | 48,38     |
| 4       | 4699     | 14,37      | 66,00   | 34,00     |
| 6       | 3327     | 9,02       | 75,02   | 24,98     |
| 8       | 2352     | 5,45       | 80,47   | 19,53     |
| 10      | 1651     | 3,75       | 84,22   | 15,78     |
| 14      | 1168     | 2,76       | 86,98   | 13,02     |
| 20      | 833      | 1,73       | 88,71   | 11,29     |
| 28      | 589      | 1,45       | 90,16   | 9,84      |
| 35      | 417      | 1,17       | 91,33   | 8,67      |
| 48      | 295      | 0,98       | 92,30   | 7,70      |
| 65      | 208      | 0,93       | 93,24   | 6,76      |
| 100     | 147      | 0,88       | 94,12   | 5,88      |
| 150     | 104      | 0,74       | 94,86   | 5,14      |
| 200     | 74       | 0,74       | 95,59   | 4,41      |
| 270     | 53       | 0,70       | 96,29   | 3,71      |
| 325     | 44       | 0,22       | 96,51   | 3,49      |
| -325    | -44      | 3,49       | 100,00  | 0,00      |

OPTIMIZACIÓN DE TAMAÑOS DE TRANSFERENCIA EN CHANCADO Y MOLIENDA SEWELL MEDIANTE SIMULACIÓN

| MUESTRA |          | Correa # 021 Harnero #<br>010 |         |           |
|---------|----------|-------------------------------|---------|-----------|
| FECHA   |          | 11-02-2015                    |         |           |
| TURNO   |          | A                             |         |           |
| MALLA   | ABERTURA | PART.RET.                     | % RET.  | % PASANT. |
| TYLER   | MICRONES | %                             | ACUMUL. | ACUMUL.   |
| 8       | 203200   | 0,00                          | 0,00    | 100,00    |
| 6       | 152400   | 0,00                          | 0,00    | 100,00    |
| 4,15    | 101600   | 0,00                          | 0,00    | 100,00    |
| 3       | 76200    | 0,00                          | 0,00    | 100,00    |
| 2,1     | 50800    | 0,00                          | 0,00    | 100,00    |
| 1,48    | 38100    | 0,00                          | 0,00    | 100,00    |
| 1       | 26670    | 0,00                          | 0,00    | 100,00    |
| 0,742   | 18850    | 0,00                          | 0,00    | 100,00    |
| 0,525   | 13335    | 5,52                          | 5,52    | 94,48     |
| 0,371   | 9423     | 10,56                         | 16,08   | 83,92     |
| 3       | 6680     | 14,39                         | 30,47   | 69,53     |
| 4       | 4699     | 12,77                         | 43,24   | 56,76     |
| 6       | 3327     | 9,34                          | 52,58   | 47,42     |
| 8       | 2352     | 7,58                          | 60,16   | 39,84     |
| 10      | 1651     | 5,86                          | 66,03   | 33,97     |
| 14      | 1168     | 5,66                          | 71,69   | 28,31     |
| 20      | 833      | 4,36                          | 76,04   | 23,96     |
| 28      | 589      | 3,71                          | 79,76   | 20,24     |
| 35      | 417      | 3,25                          | 83,01   | 16,99     |
| 48      | 295      | 2,48                          | 85,49   | 14,51     |
| 65      | 208      | 2,34                          | 87,82   | 12,18     |
| 100     | 147      | 2,21                          | 90,03   | 9,97      |
| 150     | 104      | 1,73                          | 91,76   | 8,24      |
| 200     | 74       | 1,50                          | 93,26   | 6,74      |
| 270     | 53       | 1,22                          | 94,48   | 5,52      |
| 325     | 44       | 0,50                          | 94,98   | 5,02      |
| -325    | -44      | 5,02                          | 100,00  | 0,00      |

OPTIMIZACIÓN DE TAMAÑOS DE TRANSFERENCIA EN CHANCADO Y MOLIENDA SEWELL MEDIANTE SIMULACIÓN

| MUESTRA |          | Correa # 062          |         |           |
|---------|----------|-----------------------|---------|-----------|
|         |          | Harnero # 010 1 Metro |         |           |
| FECHA   |          | 11-02-2015            |         |           |
| TURNO   |          | A                     |         |           |
| MALLA   | ABERTURA | PART.RET.             | % RET.  | % PASANT. |
| TYLER   | MICRONES | %                     | ACUMUL. | ACUMUL.   |
| 8       | 203200   | 0,00                  | 0,00    | 100,00    |
| 6       | 152400   | 0,00                  | 0,00    | 100,00    |
| 4,15    | 101600   | 0,00                  | 0,00    | 100,00    |
| 3       | 76200    | 2,61                  | 2,61    | 97,39     |
| 2,1     | 50800    | 11,26                 | 13,87   | 86,13     |
| 1,48    | 38100    | 11,09                 | 24,96   | 75,04     |
| 1       | 26670    | 14,03                 | 38,99   | 61,01     |
| 0,742   | 18850    | 12,23                 | 51,22   | 48,78     |
| 0,525   | 13335    | 18,28                 | 69,51   | 30,49     |
| 0,371   | 9423     | 7,78                  | 77,29   | 22,71     |
| 3       | 6680     | 6,79                  | 84,08   | 15,92     |
| 4       | 4699     | 3,94                  | 88,02   | 11,98     |
| 6       | 3327     | 2,37                  | 90,39   | 9,61      |
| 8       | 2352     | 1,61                  | 92,00   | 8,00      |
| 10      | 1651     | 1,02                  | 93,03   | 6,97      |
| 14      | 1168     | 0,94                  | 93,97   | 6,03      |
| 20      | 833      | 0,69                  | 94,66   | 5,34      |
| 28      | 589      | 0,62                  | 95,28   | 4,72      |
| 35      | 417      | 0,56                  | 95,84   | 4,16      |
| 48      | 295      | 0,47                  | 96,31   | 3,69      |
| 65      | 208      | 0,47                  | 96,79   | 3,21      |
| 100     | 147      | 0,48                  | 97,26   | 2,74      |
| 150     | 104      | 0,42                  | 97,69   | 2,31      |
| 200     | 74       | 0,37                  | 98,06   | 1,94      |
| 270     | 53       | 0,33                  | 98,39   | 1,61      |
| 325     | 44       | 0,12                  | 98,51   | 1,49      |
| -325    | -44      | 1,49                  | 100,00  | 0,00      |

## ANEXO H: ORIENTACIONES COMERCIALES

### RENDIMIENTO VENTAS AL EXTERIOR

#### 1.3.A. CONCENTRADO LIMPIO

| TASA DE INTERÉS (real), asociada a la venta del producto   |                                     |   |                |                       |                  |                  | 2,5%             |
|--|-------------------------------------|---|----------------|-----------------------|------------------|------------------|------------------|
| VALORES DE REFERENCIA  | (Para sensibilizaciones ver nota 1) | 2014                                    | 2015           | 2016                  | 2017             | 2018             | Largo Plazo      |
| Precio del Cobre   | US\$/lb                             | 317                                     | 300            | 289                   | 291              | 307              | 301              |
|  | US\$/Tm                             | 6.989                                   | 6.614          | 6.371                 | 6.415            | 6.768            | 6.636            |
| Plata  | US\$/oz                             | 19,9                                    | 19,3           | 20,2                  | 19,4             | 19,6             | 20,5             |
| Oro  | US\$/oz                             | 1.292                                   | 1.228          | 1.233                 | 1.185            | 1.175            | 1.237            |
| Flete CIF MJP (FIO)  | US\$/Tmh                            | 55,0                                    | 53,4           | 63,2                  | 68,0             | 68,8             | 71,8             |
| ANÁLISIS TÍPICO  |                                     | Finos Contenidos                        |                | Deducción Metalúrgica |                  |                  |                  |
| • Cobre (Nota 2)   | %/Tms                               | 28,4%                                   |                | 3,40%                 |                  |                  |                  |
| • Plata  | g/Tm                                | 69                                      |                | 20,00                 |                  |                  |                  |
| • Oro  | g/Tm                                | 0,30                                    |                | 0,50                  |                  |                  |                  |
| Humedad  | % Tmh                               | 9%                                      |                |                       |                  |                  |                  |
| Arsénico   | % Tms                               | 0,30%                                   |                |                       |                  |                  |                  |
| DESCUENTOS US\$/lb (excepto donde se indica)   |                                     | 2014                                    | 2015           | 2016                  | 2017             | 2018             | Largo Plazo      |
| T/C  | US\$/Tms                            | (93,00)                                 | (110,00)       | (115,00)              | (122,00)         | (127,00)         | (131,00)         |
| R/C  |                                     | (9,3)                                   | (11,0)         | (11,5)                | (12,2)           | (12,7)           | (13,1)           |
| Descuento Combinado  |                                     | -23,83                                  | -28,18         | -29,46                | -31,26           | -32,54           | -33,56           |
| Deducción Metalúrgica  |                                     | -11,16                                  | -10,56         | -10,18                | -10,25           | -10,81           | -10,23           |
| Crédito plata  |                                     | 5,00                                    | 4,85           | 5,07                  | 4,87             | 4,92             | 5,15             |
| Crédito Oro  |                                     | 0,00                                    | 0,00           | 0,00                  | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| Penalidad As   |                                     | -0,40                                   | -0,40          | -0,40                 | -0,40            | -0,40            | -0,40            |
| <b>SUB - TOTAL BASE FUNDICIÓN / REFINERÍAS EXTERNAS</b>  |                                     | <b>-30,39</b>                           | <b>-34,30</b>  | <b>-34,97</b>         | <b>-37,03</b>    | <b>-38,82</b>    | <b>-39,05</b>    |
| Flete y Seguro Paridad MJP   |                                     | -9,68                                   | -9,40          | -11,11                | -11,96           | -12,10           | -12,62           |
| Comisiones de Ventas   |                                     | -0,09                                   | -0,09          | -0,09                 | -0,09            | -0,09            | -0,09            |
| Muestreo, Análisis   |                                     | -0,19                                   | -0,19          | -0,19                 | -0,19            | -0,19            | -0,19            |
| Costo financiero (30 días)   |                                     | -0,60                                   | -0,55          | -0,53                 | -0,53            | -0,56            | -0,55            |
| <b>DESCUENTO TOTAL BASE FOB US\$/lb</b>  |                                     | <b>(40,9)</b>                           | <b>(44,5)</b>  | <b>(46,9)</b>         | <b>(49,8)</b>    | <b>(51,8)</b>    | <b>(52,5)</b>    |
| <b>DESCUENTO TOTAL BASE FOB US\$/Tmf</b>   |                                     | <b>(902,7)</b>                          | <b>(981,7)</b> | <b>(1.033,8)</b>      | <b>(1.097,9)</b> | <b>(1.141,2)</b> | <b>(1.157,4)</b> |
| PARAMETROS FIJOS   |                                     |   |                |                       |                  |                  |                  |
| • Penalidad As. % máximo sin penalidad. (Nota 4)   | 0,20%                               | sobre este valor, hasta 0,5%, se aplica |                | 2,5                   | US\$/Tms cada    | 0,10%            |                  |
| • Muestreo/Análisis/Det. Humedad   |                                     |   |                |                       | US\$/Tms         | 1,22             |                  |
| • Costo financiero   |                                     |   |                |                       | Días B/L         | 30               |                  |
| • Prima de Seguro a aplicar al 110% del valor comercial  |                                     |   |                |                       |                  | 0,00780%         |                  |
| • Comisiones de venta  |                                     |   |                |                       | US\$/Tmfp        | 2,0              |                  |
| Transporte desde Patio de Planta a FOB Pto. Embarque US\$/Tmh  |                                     | 2014                                    | 2015           | 2016                  | 2017             | 2018             | Largo Plazo      |
| Chuquicamata - FOB puerto de Antofagasta   |                                     | 52,4                                    | 51,4           | 51,3                  | 51,3             | 51,4             | 51,4             |
| Chuquicamata - FOT Salvador  |                                     | 64,8                                    | 62,4           | 62,1                  | 62,2             | 62,5             | 62,4             |
| Ministro Hales - FOT Chuquicamata  |                                     | 7,2                                     | 6,9            | 6,9                   | 6,9              | 6,9              | 6,9              |
| Ministro Hales - FOT Salvador  |                                     | 60,9                                    | 58,6           | 58,3                  | 58,4             | 58,7             | 58,6             |
| Salvador - FOB puerto Barquito   |                                     | 25,3                                    | 24,9           | 24,8                  | 24,9             | 24,9             | 24,9             |
| Saladillo - FOB puerto Ventanas (Nota 5)   |                                     | 15,9                                    | 15,5           | 15,4                  | 15,4             | 15,5             | 15,5             |
| Saladillo - FOT Chuquicamata   |                                     | 86,8                                    | 86,8           | 86,8                  | 86,8             | 86,8             | 87               |
| Saladillo - FOT Salvador   |                                     | 62,0                                    | 62,0           | 62,0                  | 62,0             | 62,0             | 62               |
| Saladillo - FOT Ventanas   |                                     | 12,3                                    | 12,3           | 12,3                  | 12,3             | 12,3             | 12               |
| Saladillo - FOT Caletones  |                                     | 20,0                                    | 20,0           | 20,0                  | 20,0             | 20,0             | 20,0             |
| Teniente - FOT Ventanas  |                                     | 21,7                                    | 21,7           | 21,7                  | 21,7             | 21,7             | 21,7             |
| Teniente - FOB Ventanas  |                                     | 31,8                                    | 31,8           | 31,8                  | 31,8             | 31,8             | 32               |
| Teniente - FOT Salvador  |                                     | 75,6                                    | 75,6           | 75,6                  | 75,6             | 75,6             | 76               |
| Planta Tratamiento Relaves Huechún a FOT Caletones   |                                     | 17,3                                    | 16,6           | 16,6                  | 16,6             | 16,7             | 16,6             |
| Penalidad As   |                                     |   |                |                       |                  |                  |                  |
| >0,5% y <= 1,0% As   | US\$/tms/0,1%                       |   |                |                       |                  |                  | 7,50             |
| >1% As   | US\$/tms/0,1%                       |   |                |                       |                  |                  | 15,00            |
| Penalidad Sb > 0,05%   | US\$/tms/0,05%                      |   |                |                       |                  |                  | 4,00             |
| Penalidades Pb > 1%  | US\$/tms/1%                         |   |                |                       |                  |                  | 1,50             |
| Penalidades Zn > 4%  | US\$/tms/1%                         |   |                |                       |                  |                  | 1,00             |
| Penalidades Humedad > 10%  | US\$/tms/1%                         |   |                |                       |                  |                  | 2,00             |
| NOTAS  |                                     |   |                |                       |                  |                  |                  |
| 1. Para efectos de sensibilización se debe considerar la siguiente banda de precios:   |                                     |   |                |                       |                  |                  |                  |
| Banda de Precios del cobre   |                                     | 2014                                    | 2015           | 2016                  | 2017             | 2018             | Largo Plazo      |
| Nivel Superior   | US\$/lb                             | 322                                     | 319            | 327                   | 348              | 364              | 357              |
| Nivel Inferior   | US\$/lb                             | 312                                     | 281            | 253                   | 238              | 254              | 249              |
| 2. La deducción mínima es un punto porcentual de la ley de cobre para leyes inferiores a 29,5%. Para leyes superiores a 29,5% se aplica un descuento de 3,4%. Esta situación está recogida en la fórmula de cálculo. |                                     |   |                |                       |                  |                  |                  |
| 3. Considera transporte de 740.000 TMH/año de Cucons para el tramo Saladillo-Puerto Ventanas y embarque de 660.000 TMH/año por PVSA.   |                                     |   |                |                       |                  |                  |                  |
| 4. Para penalidades As sobre 0,5% utilizar tabla superior.   |                                     |   |                |                       |                  |                  |                  |