



Universidad Católica del Norte
ver más allá



Escuela de Negocios Mineros
Dirección de Postgrado

“Evaluación Integral para disminuir el consumo energético asociado a minerales de alta dureza en la Unidad de Negocio Concentradora Laguna Seca Minera Escondida Limitada”

*Proyecto de Titulación presentado para optar al grado de
Magíster en Gestión Minera*

Profesor guía: Oscar Benavente

**Hugo Campos
Maximino Canitrot
Yocelyn Santander**

Antofagasta, Diciembre de 2012.

Contenido

1.1 Geología del yacimiento Escondida	11
1.1.1 Geología	11
1.1.2 Génesis	12
1.1.3 Dureza de los minerales	12
1.2 Definición de equipos de reducción de tamaño	14
1.2.1 Proceso de tronadura:	14
1.2.2 Definición de equipos de chancado primario, secundario y terciario	16
1.2.3 Definición de equipos de molienda primaria y secundaria	19
1.2.4 Definición de otros equipos relacionados con la reducción de tamaño	22
1.3 Alternativas para afrontar el aumento de la dureza	25
CAPITULO 2: Método de trabajo	28
2.1 Identificación del Problema	28
2.2 Objetivos de la investigación	32
2.2.1 Objetivo general	32
2.2.2 Objetivos específicos	32
2.3 Descripción de instrumento	32
CAPITULO 3: Análisis de resultados	36
3.1 Estudios y Simulaciones	36
3.1.1 Efectos de la tronadura especial en el procesamiento de minerales de alta dureza	36
3.1.2 Mejoras en área de molienda. (Cambios en la configuración y diseño de los revestimientos del molino SAG)	41
3.1.3 Pre-chancado	45
CAPÍTULO 4: Conclusiones	68
BIBLIOGRAFÍA	70

Índice de Figuras

- Figura N°1: Exportaciones totales de Chile por actividad económica (MUSD)**
- Figura N°2: Interpretación esquemática de la distribución de los tipos de alteración en el yacimiento, con las distintas etapas y zonas de alteración.**
- Figura N°3: Imagen de perfil del proceso de perforación**
- Figura N°4: Funcionamiento de una explosión**
- Figura N°5: Taco en tronadura de banco**
- Figura N°6 Diagrama de bloques chancador de cono.**
- Figura N°7: Dibujo chancador de cono**
- Figura N°8: Diagrama de bloques del molino SAG.**
- Figura N°9: Fotografía de un molino SAG**
- Figura N° 10: Diagrama de bloque del molino de bolas**
- Figura N°11: Dibujo de un molino de bolas**
- Figura N° 12: Fotografía de Harnero**
- Figura N° 13: Diagrama de bloques del Harnero**
- Figura N° 14: Fotografía de un hidrociclón**
- Figura N° 15: Diagrama de bloques del modelo de hidrociclón**
- Figura N°16: Plano de las tronaduras especiales en bancos 3140-3125 N4.**
- Figura N°17: Cambios en molino 4**
- Figura N°18: Proceso de pilotaje y calibración para tener un modelo predictivo y evaluar el efecto de la utilización de prechancado en la molienda SAG.**
- Figura N°19: Variables obtenidas en el simulador para mineral normal ajustado con las pruebas realizadas en el molino SAG piloto.**
- Figura N°20: Variables obtenidas en el simulador para mineral duro ajustado con las pruebas realizadas en el molino SAG piloto.**
- Figura N°21: Sistema de pre-chancado**
- Figura N°22: Análisis de demanda situación actual**
- Figura N°23: Layout instalación pre chancado**
- Figura N°24: Carta Gantt proceso de instalación pre chancado**

Índice de Gráficos

Gráfico N°1: Proyección dureza en minera Escondida

Gráfico N°2: Tronadura especial y finos

Gráfico N°3: Tronadura especial y material grueso.

Gráfico N°4: Toneladas procesadas SAG N°4 con tronadura especial

Gráfico N°5: Toneladas procesadas SAG N°4 sin tronadura especial

Gráfico N°6: Cambios en los SPI con mejoras en el SAG

Gráfico N°7: Cambios en las toneladas procesadas con mejoras en el SAG

Gráfico N°8: Granulometría de alimentación fresca a planta piloto

Gráfico N°9: Distribución granulométrica de alimentación con pre chancado

Índice de Tablas

Tabla N°1: Valor Generado de la minería del cobre

Tabla N°2: Estructura de costos generales de la minería del cobre

Tabla N°3: Tabla de distribuciones de dureza entre los años 2009 y 2012

Tabla N°4: Condiciones de tronadura especial

Tabla N°5: Cambios luego del revestimiento en molino SAG

Tabla N°6: prueba piloto mineral normal

Tabla N°7: Prueba piloto minerales alta dureza

Tabla N°8: Prueba piloto mineral prechancado.

Tabla N°9: valores de simulación

Tabla N°10: valores de pruebas piloto

Tabla N°11: Indicadores financieros del pre chancado

Tabla N°12: Indicadores financieros incrementales de las alternativas

Tabla N°13: Resumen de resultados de las alternativas

Resumen

La minería chilena está frente a un importante fenómeno que corresponde al aumento de dureza de sus yacimientos. Este factor genera un aumento de costos energéticos asociados al proceso lo cual comienza a ser un factor económico importante para analizar.

Desde este punto de vista analizamos la faena Minera Escondida Ltda. cuya dureza proyectada para el futuro (en SPI) puede provocar restricciones importantes en la molienda SAG, aumento de costo energético y disminución de tonelaje procesado.

La presente tesis analiza las alternativas para enfrentar el aumento de dureza de mineral, estas corresponden a “tronadura especial”, cambio de configuración y diseños de revestimiento de molinos SAG y proceso de pre-chancado, como las formas más viables de afrontar el futuro.

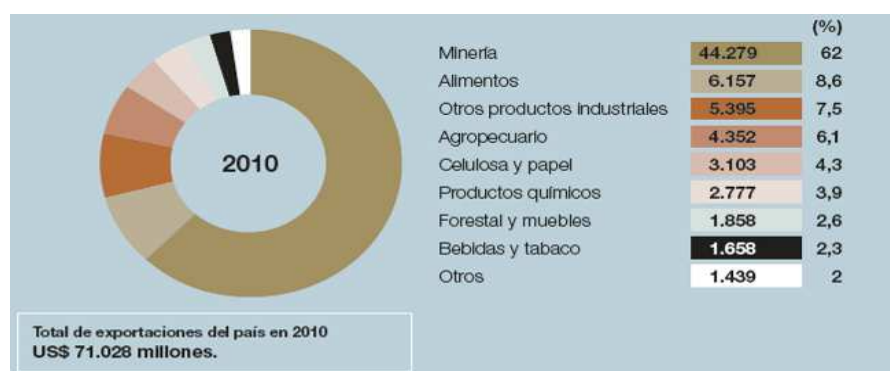
Del análisis técnico de cada una de estas alternativas se ha encontrado que las tres disminuyen el costo energético, sin embargo luego del estudio de factibilidad económica el “Pre-chancado” se presenta como la alternativa más sustentable para el futuro de minera Escondida.

En términos económicos la alternativa de pre-chancado implica una importante inversión, pero a la vez genera el mayor retorno de los tres, donde su análisis integral arroja que cumple con los altos estándares de seguridad, calidad y control del medio ambiente que se exigen en minera Escondida.

Introducción

Chile es un país de grandes reservas de minerales, donde destaca la explotación de Cobre, Hierro, Molibdeno, Oro, Plata, etc. Dada las enormes reservas que existen, la minería ha sido desde siempre una actividad económica muy importante para el país. Tal como muestra la figura n°1, la minería constituye el 62% de todas las exportaciones del país en el año 2010.

Figura N°1: Exportaciones totales de Chile por actividad económica (MUSD)



Fuente: Consejo minero (2010).

Como indica la tabla n°1, la minería del cobre tiene costos operacionales que constituyen el 45,7% de las ventas netas de la actividad.

Tabla N°1: Valor Generado de la minería del cobre en Chile

Ingresos totales (en millones de US\$)	2008	2009	2010
Ventas Netas	39.948	36.214	49.010
Valor Económico Generado	39.948	36.214	49.010
Costos Operacionales	20.003	18.005	22.402
Salarios y beneficios	2.338	2.924	2.924
Impuestos	4.620	4.166	6.316
Inversiones en la comunidad	38	87	115
Valor Económico Distribuido	26.999	25.182	31.757

Fuente: Consejo minero (2010).

Es importante considerar los costos operacionales y no operacionales que afectan a la minería, ya que no sólo es de interés privado sino más bien de interés público, puesto que una

reducción en la estructura de costos implica un aumento en las utilidades y por consiguiente un aumento en la tributación.

Tabla N°2: Ejemplo de estructura de costos generales de la minería del cobre

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Participación
Remuneraciones directas	1.071	838	817	858	1.124	1.316	1.655	1.916	19%
Energía	515	330	541	570	639	707	811	1.282	11%
Reactivos	187	124	159	162	210	299	348	401	4%
Partes y piezas	587	627	405	371	422	538	660	811	9%
Contratistas y consultores	423	941	1.010	777	960	1.009	1.359	1.611	16%
Combustibles y lubricantes	258	421	209	286	350	478	633	768	7%
Servicios Generales y mantención	400	215	235	631	803	1.203	1.238	1.435	12%
Insumos mina	580	197	243	243	276	278	312	382	5%
Insumos planta	331	206	327	376	466	557	636	730	7%
Otros gastos	701	969	967	500	512	347	318	731	10%
Total gastos directos	5.053	4.868	4.913	4.774	5.762	6.732	7.970	10.067	100%

Fuente: Creación propia, en base a la información obtenida de la revisión bibliográfica.

La tabla N°2 es un ejemplo de la composición de los costos, mientras que la tabla N°1 muestra el aporte generado por la minería al país. Como se indica anteriormente, la tabla N°2 indica una tabla de costos generales en la minería del cobre, donde el costo de energía es muy relevante dentro de los costos de la actividad minera, observando un importante aumento del costo energético durante el año 2011. Es por ello que cualquier optimización del proceso minero que constituya un ahorro energético es de vital importancia.

Por otro lado, el panorama actual indica una creciente dificultad para desarrollar proyectos de generación eléctrica lo cual impacta negativamente en la industria minera a través del aumento en los costos unitarios del KWh o de la falta potencia eléctrica para desarrollar nuevos proyectos (Diario Financiero, 2012).

Para las compañías mineras, el negocio se centra en explotar sus depósitos minerales desarrollando la mayor cantidad de estrategias competitivas para alcanzar un nivel productivo óptimo al menor costo posible.

La minería puede visualizarse convenientemente como un proceso de suministro por el cual los minerales se convierten desde recursos geológicos hasta productos negociables o vendibles.

La minería se centra en este proceso de suministro de materiales naturales de origen mineral. Es necesario llevar a cabo varios tipos de estimaciones de recursos y reservas para determinar las existencias de minerales existentes y los minerales que potencialmente pueden estar disponibles. La determinación de los costos, riesgos y ganancias característicos de la exploración minera, desarrollo minero, minería, procesamiento de minerales, energía y transporte reflejan la economía global del proceso secuencial de conversión (Mackenzie, 1992, p. 2).

Unos de los principales desafíos que tendrá la minería chilena dentro de los próximos años, es el aumento de dureza de los minerales, donde minera Escondida no está ajena a ese fenómeno. Se entiende como minerales duros, aquellos minerales que superan los 60 SPI los cuales por su naturaleza consumen más energía dentro del proceso.

Considerando los antecedentes expuestos, observamos la unidad de negocio de Laguna Seca, perteneciente a minera Escondida, donde el aumento de dureza del mineral impacta negativamente en la capacidad de las plantas para alcanzar el tonelaje presupuestado, esto ha sido observado durante el pasado año fiscal, lo que ha disminuido el retorno económico esperado (Aproximadamente en un 33,3%). Esto se explica por la falta de capacidad de molienda para tratar minerales de alta dureza. Para poder contrarrestar los efectos negativos del aumento natural de la dureza del yacimiento, se debe reducir el tamaño de la partícula con el fin de disminuir los tiempos de trabajo de los molinos SAG.

En la cadena de reducción de tamaño (tronadura, chancado primario y molienda), se está requiriendo cada vez más una mayor “potencia instalada”, para lograr un tamaño de partícula final específico, con un mineral de mayor WI. Esta potencia puede ser adicionada en:

- 1) Mina (más explosivos).
- 2) Reduciendo el setting de los chancadores primarios (mayor utilización y consumo de KWh).

3) Molienda (SAG / Bolas).

Así, cada etapa está diseñada para un rango específico de reducción que optimiza el uso de la energía requerida. Teniendo copada la capacidad instalada de los molinos (SAG / Bolas) una alternativa, para variaciones marginales de aumento de potencia, que no justifican una nueva planta, es intercalar mayor potencia agregando un chancado secundario o “Pre Chancado”, antes de la molienda.

Cabe destacar que el aumento de la dureza del mineral genera dos efectos negativos; Incremento en los costos de procesamiento y disminución de la producción. Ambos efectos se justifican debido a que una misma cantidad de material utiliza más tiempo de proceso y por ende más energía.

De esta manera, se presenta el siguiente estudio, que plantea como problema central investigar acerca del modo de mantener los niveles contemplados de producción ante el aumento de la dureza del mineral en la concentradora Laguna Seca de Minera Escondida Ltda.

La presente investigación presenta una estructura compuesta por cinco capítulos que ordenan el contenido de este estudio.

El primer capítulo argumenta la importancia de este estudio, dando las razones del por qué se escogió éste tema, y explica la relevancia del problema que afecta a la minería del cobre.

En el segundo capítulo titulado “Revisión de Literatura”, se exponen los principales argumentos teóricos que dieron sustento a esta investigación, donde en un principio se revisan las definiciones de durezas, tronadura, chancado, pre-chancado y molienda, luego se explica cómo este problema fue abordado en otros lugares que sufrieron aumentos en la dureza mineral de sus yacimientos.

El tercer capítulo indica la metodología utilizada para esta investigación, de donde se destaca, el planteamiento del problema, los objetivos generales y específicos, y la descripción de los instrumentos y de la muestra.

En el capítulo cuatro se analiza la información recopilada de las simulaciones y estudios realizados por las empresas especialistas en los procesos mecánicos de chancado y molienda.

Por último, en el capítulo cinco, se discute sobre los alcances de los resultados, se plantean algunas inquietudes sobre futuros estudios y se concluye sobre los resultados obtenidos.

CAPÍTULO 1: Revisión de la Literatura

A continuación, se exponen los principales contenidos de la evaluación de un circuito de pre-chancado según los antecedentes teóricos encontrados. Dentro de este marco, se incluye las definiciones de dureza, chancado y molienda. También se explican los equipos selección de mineral dentro de una planta de chancado, dando paso finalmente a las distintas alternativas para afrontar el aumento de la dureza.

1.1 Geología del yacimiento Escondida

1.1.1 Geología

El distrito minero Escondida comprende variados depósitos, en donde se encuentran las minas Escondida y Escondida Norte, éstas corresponden a una serie de rocas intrusivas de composición variable entre monzonítica a granodiorítica de edades que abarcan desde el Carbonífero superior al Terciario inferior.

Escondida y Escondida Norte presentan una clara zonación lateral y vertical de alteraciones hidrotermales típica de pórfidos cupríferos. Las que se pueden clasificar, en términos generales, según su asociación mineralógica como: potásica, biotítica, cuarzo-sericita, argílica supérgena y una superposición tardía de una asociación argílica avanzada (Véliz, 2004).

La mineralización está directamente relacionada con la intrusión del pórfido feldespático, el cual aportó la mineralización primaria y los fluidos hidrotermales responsables de la etapa de alteración hidrotermal. El emplazamiento de la mineralización muestra un claro control estructural, presentándose alojada en fracturas, tanto en el caso de la mineralización hipógena como la supérgena (Véliz, 2004).

1.1.2 Génesis

El yacimiento Escondida corresponde a al tipo denominado “Pórfido Cuprífero” de Cu-Au menor Mo. Estos pórfidos se forman a partir de intrusivos porfídicos de grandes dimensiones, existiendo varias fases intrusivas simultáneas. Las fases más tempranas son las que poseen las mayores leyes, la cual también puede ser alojada en la roca circundante (roca de caja).

La mineralización se observa en venillas y diseminada en la roca, generándose en una etapa temprana de alteración potásico-silicatada, en una etapa más tardía a cuarzo sericita pirita, que en la parte más superior del sistema genera argilización de minerales.

Estas características propias de los yacimientos porfídicos generan diferencias en el comportamiento de los tipos litológicos originales sometidos a diversos efectos de alteración hidrotermal, formando mediante metasomatismo nuevas asociaciones mineralógicas características de cada etapa de la mineralización y profundización del pórfido (Véliz, 2004).

1.1.3 Dureza de los minerales

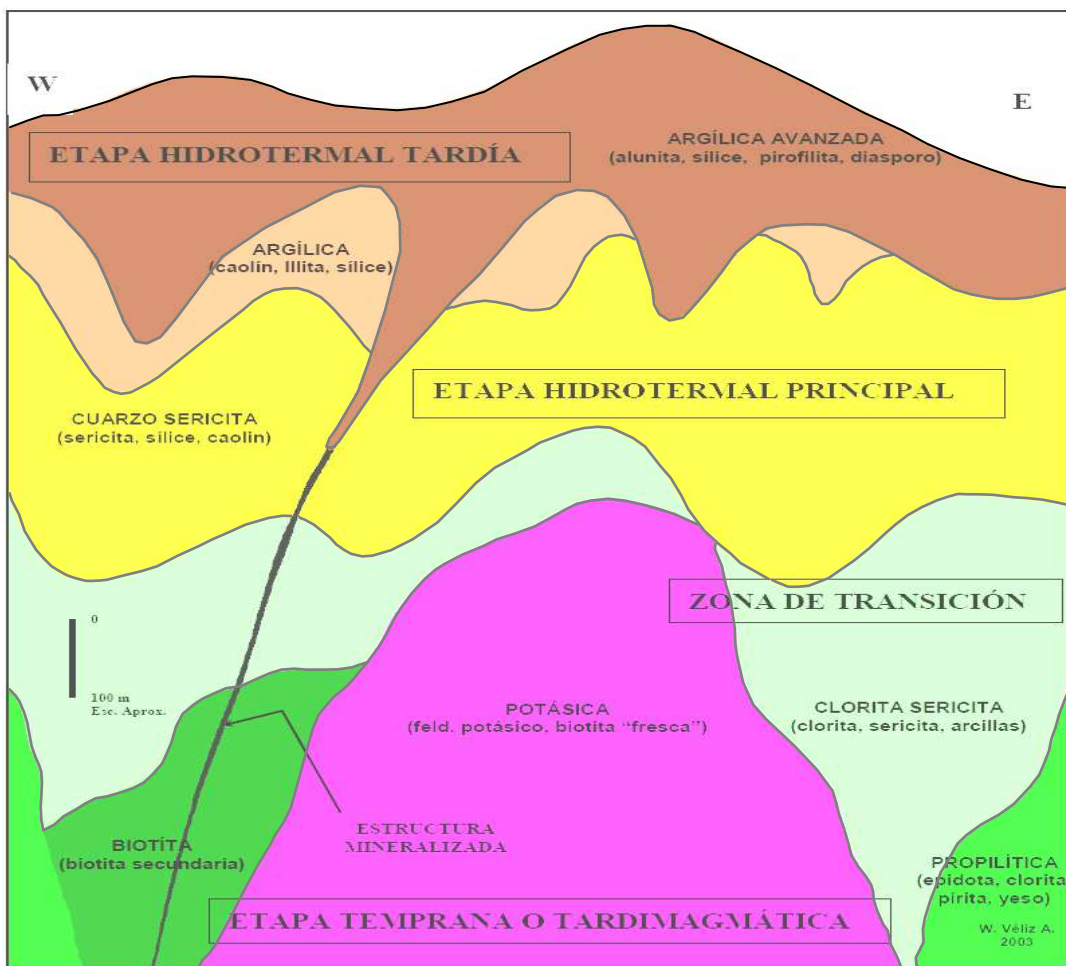
En la naturaleza, el aumento de dureza en los yacimientos porfídicos va de la mano con la profundización de los mismos y los diferentes minerales de alteración que se pueden localizar a dichas profundidades.

Se han reconocido distintos tipos de alteración hidrotermal caracterizados por asociaciones de minerales específicos, donde los distintos tipos y su intensidad dependen de factores como composición del fluido hidrotermal, composición de la roca huésped, temperatura, pH, Eh, razón agua/roca y tiempo de interacción, entre otros (Véliz, 2004).

De esta forma es muy importante reconocer que la alteración hidrotermal puede generar: crecimiento de nuevos cristales, disolución y precipitación de nuevos minerales, y transformación de fases minerales (reemplazo o metasomatismo).

Como muestra la figura N°2, en un sistema de pórfido, el núcleo del yacimiento es de composición potásico-silicatado y se localiza cercano al intrusivo central, y se forma a altas temperaturas (>400°C) generando minerales de estructura más resistente. Por otro lado, en las zonas argilizadas donde predominan los minerales arcillosos, los cuales son más inestables (y más inestables) se generan en zonas de menor temperatura. También se conoce que la zona intermedia con minerales de cuarzo-sericita (comportamiento relativamente estable) se forma a temperaturas intermedias (Véliz, 2004).

Figura N°2 : Interpretación esquemática de la distribución de los tipos de alteración en el yacimiento, con las distintas etapas y zonas de alteración.



Fuente: Veliz (2004).

1.2 Definición de equipos de reducción de tamaño

1.2.1 Proceso de tronadura:

Corresponde al primer proceso productivo que transforma la roca encajante en fragmentos mediante un proceso de liberación de energía por explosivos. El proceso de tronadura se realiza mediante una distribución específica de pozos perforados con explosivos conocida como “malla de tronadura”, la cual definirá según el tipo de explosivo y espaciamiento de los pozos, el tamaño de roca fragmentada para ingresar al siguiente proceso en la cadena de conminución.

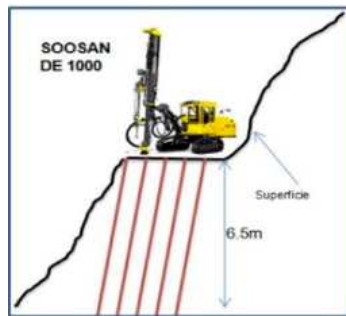
Conceptos básicos

Como muestra la figura N°3, la perforación consiste en crear una cavidad en la roca con un taladro, el cual mediante movimientos de percusión y rotación genera el orificio donde se coloca el explosivo.

Los explosivos son mezclas meta-estables de oxidantes y combustibles que se descomponen violentamente liberando una gran cantidad de energía que se utiliza para romper la roca. Dependiendo de los bancos de minerales, se utilizan distintos factores de carga, los cuales rompen volúmenes o pesos unitarios de roca.

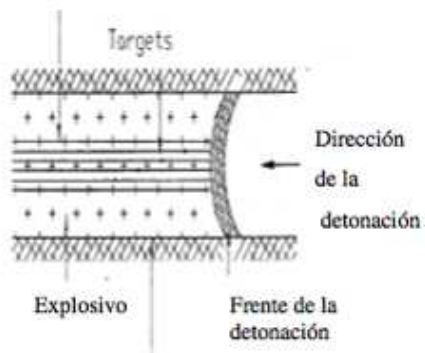
La detonación provocada, genera una fragmentación en donde el explosivo se convierte en gas de alta temperatura lo que genera altísimas presiones (ver figura N°4). Para mantener el control sobre la explosión, se utilizan uno “tacos” (ver figura N°5), que es material inerte en la cima del pozo de tronadura que sirve para efectuar el confinamiento de los gases de explosión y prevenir la proyección y sobre presión excesiva.

Figura N°3 : Imagen de perfil del proceso de perforación



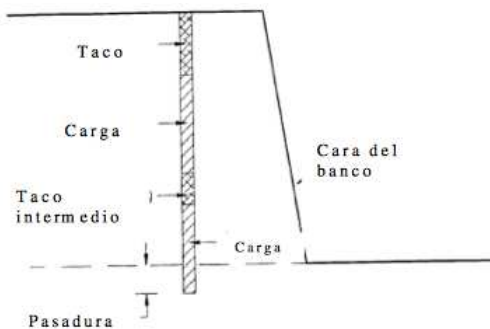
Fuente: ENAEX (2009)

Figura N°4 : Funcionamiento de una explosión



Fuente: ENAEX (2009)

Figura N°5 : Taco en tronadura de banco



Fuente: ENAEX (2009)

“En las plantas metalúrgicas extractivas, o en las plantas integradas, la etapa de reducción de tamaño está presente casi sin excepción. El consumo de energía mecánica en esta etapa es elevado y puede representar el 50% del total consumido en la planta. El cálculo y selección de equipos debe ser efectuado con cuidado para evitar un gasto innecesario de energía” (Wilkomirsky, 1972, p.74).

Los equipos de reducción de tamaño se pueden clasificar en dos grupos; equipos de chancado y equipos de molienda.

El chancado es un proceso mediante el cual se disminuye el tamaño de las rocas mineralizadas triturándolas en chancadoras. El material extraído puede pasar por tres tipos de chancadoras (Chancador primario, secundario y terciario) hasta llegar a tamaños de partícula de menos de ½ pulgada (Codelco, 2011).

Existen distintos diseños de circuito de chancado, los cuales justifican su complejidad en función del tonelaje a tratar. Para pequeñas capacidades se emplea un chancador de gran reducción, aunque el producto obtenido no tiene una distribución uniforme (Wilkomirsky, 1972).

Antes de empezar a definir los equipos de chancado, molienda y selección de mineral, se hará una revisión de las alternativas existentes, dándole mayor profundidad a las alternativas más utilizadas en la minería moderna y según la realidad local.

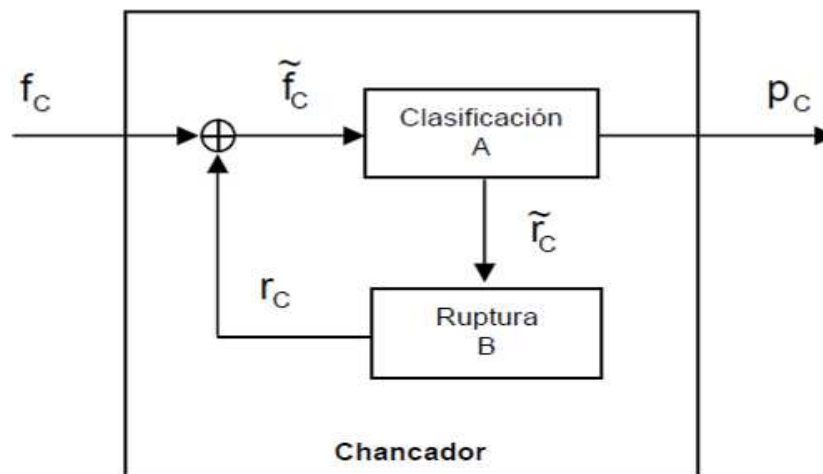
1.2.2 Definición de equipos de chancado primario, secundario y terciario

- Chancador giratorio: Es un equipo de trituración primaria, el que está formado por una superficie fija y otra móvil, ambas con la forma de un cono invertido. La principal ventaja es su gran capacidad y velocidad de giro, entregando un tamaño de material más uniforme. Los costos de reparación y mantención son más elevados.
- Chancador de mandíbula: Es un chancador que tiene dos superficies casi verticales que se llaman muelas y funcionan como una mandíbula. Una de las muelas es móvil y la otra es

fija. La principal ventaja es que se comportan mejor con materiales sucios y pegajosos, además que su mantención y trabajos de reparación son más fáciles y económicos.

- Chancador de cono: Es un chancador tipo giratorio pero con un diámetro de base más amplio con el cual se aumenta el diámetro de descarga y garganta. Este chancador tiene mejor eficiencia que el chancador giratorio, debido a que su razón límite de reducción es aproximadamente $3 < E_c < 5$ (Abertura de alimentación nominal modelo E_c – extra grueso)
- Chancador de rodillos: Empleado como etapa secundaria o terciaria en el chancado, producen un producto de tamaño uniforme, donde la separación de los rodillos entrega el tamaño de partícula requerido.

Figura N°6: Diagrama de bloques chancador de cono.



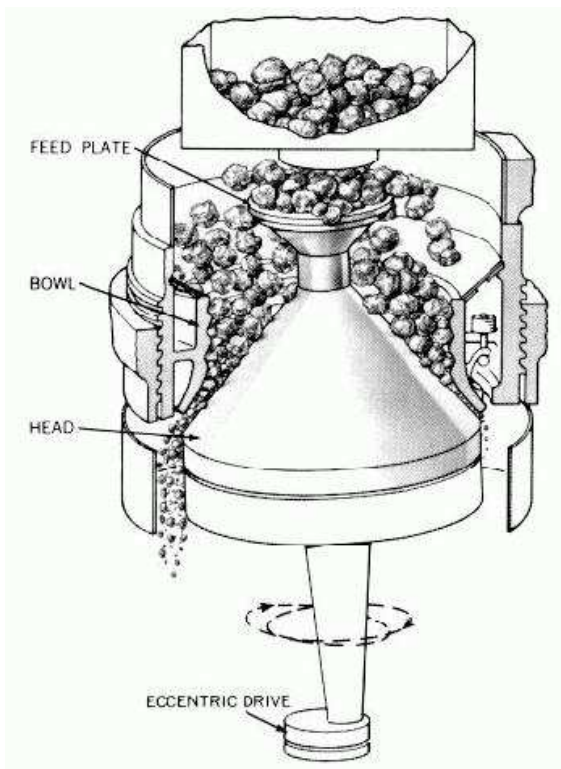
Fuente: Araya (2010).

Los flujos másicos son los siguientes:

- **f_c** : Vector de flujos de sólidos en la entrada al chancador
- **\tilde{f}_c** : Vector de flujos de sólidos en la entrada a clasificación
- **p_c** : Vector de flujos de sólidos en la descarga del chancador

- **r_c** : Vector de flujos de sólidos de rechazo que sale de la fase ruptura y recircula hacia la fase de ruptura
- **\tilde{r}_c** : Vector de flujos de sólidos de rechazo que entra a ruptura
- **q_{iC}** : Flujo másico de agua que entra al chancador
- **q_{oC}** : Flujo másico de agua que sale del chancador

Figura N°7: Dibujo chancador de cono



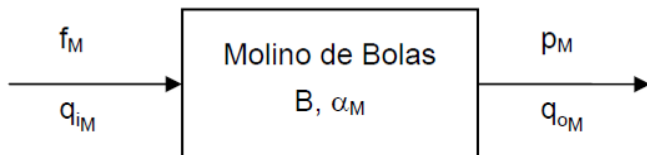
Fuente: Araya (2010).

1.2.3 Definición de equipos de molienda primaria y secundaria

- Molinos AG (autógenos) y SAG (semiautógenos): Es un tipo de molino de cuerpo cilíndrico-cónico con mayor diámetro que largo, puesto en forma horizontal y con un sistema de rotación en torno a un eje horizontal. La molienda autógena se basa en el principio de que las copas de mineral contenidas en la alimentación fresca producen su conminución así como de las partículas menores por el impacto entre ellas mismas. La diferencia entre ambos molinos radica en que el molino SAG ocupa bolas de acero para ayudar a la molienda (Araya, 2010).
- Molino de bolas y barras: El molino de bolas está construido por un cuerpo cilíndrico puesto en forma horizontal, con un sistema que le permite girar en torno a su eje horizontal, en cuyo interior ingresa el mineral a ser molido. Dentro del molino se colocan bolas de acero, y al girar, el molino levanta por sus paredes la pulpa de mineral y las bolas. Mientras el molino gira, el material cae por efecto de la gravedad y las bolas golpean el mineral reduciéndolo de tamaño. (Araya, 2010). La diferencia entre el molino de bolas y barras radica básicamente en el hecho de que el molino de bolas tiene bolas de acero en su interior y el molino de barras tiene unas barras de acero libres. Cabe destacar que la minería moderna ya casi no utiliza los molinos de barras (Benmarraze, 2007).
- Detalle Molino SAG: El proceso de los sólidos en el molino SAG se puede dividir en dos etapas:
 - 1) Molienda: Esta ocurre cuando dentro del molino, el choque de las colpas entre sí y con partículas menores, ayudadas por el impacto de bolas de acero, reducen el tamaño del mineral contenido en el molino (colpas y partículas menores). Se dice que este proceso ocurre en la “cámara de molienda” (Araya, 2010).
 - 2) Clasificación: El molino tiene en el extremo de descarga una parrilla interna y alzadores de pulpa. De esta manera el mineral que descarga el molino es una fracción del mineral contenido en el. El mineral que es rechazado por la parrilla permanece dentro del molino continuando su reducción de tamaño (Araya, 2010).

- Detalle molino de bolas: El Molino de Bolas no posee un harnero interno como en el caso del molino SAG, por lo que la tasa de descarga de mineral es independiente del tamaño del mineral. El diagrama en bloques del molino es el siguiente (ver Figura 10):

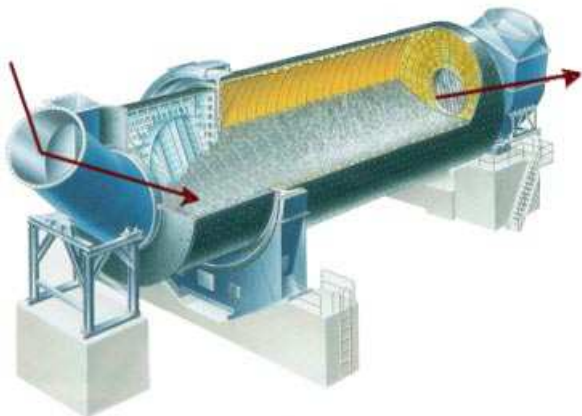
Figura N° 10: Diagrama de bloque del molino de bolas



Fuente: Araya (2010).

- f_M : Flujos sólidos de alimentación.
- p_M : Flujos sólidos de descarga.
- q_{iM} : Flujos de agua en la alimentación.
- q_{oM} : Flujos de agua en la descarga.
- B : Matriz triangular inferior de la molienda
- $\check{\alpha}_M$: Tasa descarga de mineral solido

Figura N°11: Dibujo de un molino de bolas



Fuente: Araya (2010).

1.2.4 Definición de otros equipos relacionados con la reducción de tamaño

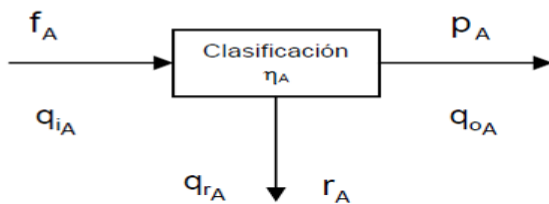
- Harnero: Es un equipo clasificado como de selección de material, el cual en esencia es una malla con un reticulado tal que permite el paso de las partículas que tengan un tamaño menor o igual al de la ranura.

Figura N° 12: Fotografía de Harnero



Fuente: Araya (2010)

Figura N° 13: Diagrama de bloques del Harnero



Fuente: Araya (2010)

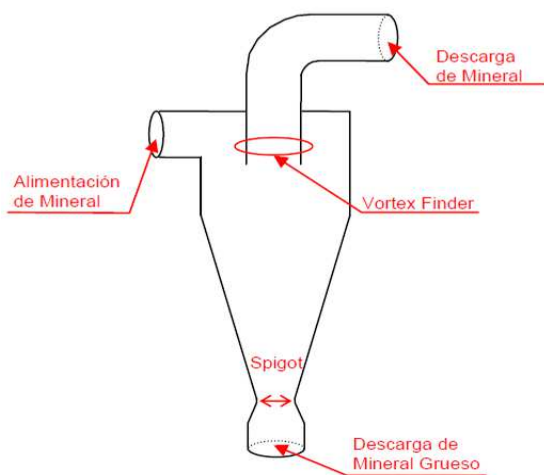
Los flujos másicos son los siguientes:

- **f_A** : Vector de flujos másicos por intervalo de tamaños en la alimentación al harnero
- **p_A** : Vector de flujos másicos por intervalo de tamaños en la descarga del harnero
- **r_A** : Vector de flujos másicos por intervalo de tamaños en el rechazo del harnero
- **q_{iA}** : Flujo másico de agua en la alimentación al harnero

- **Q_{oA}** : Flujo másico de agua en la descarga del harnero
 - **Q_{rA}** : Flujo másico de agua en el rechazo del harnero
- Hidrociclón: Es un clasificador de mineral muy eficiente en partículas pequeñas. Su principio de funcionamiento se basa en aplicar fuerza centrífuga a las partículas entrantes.

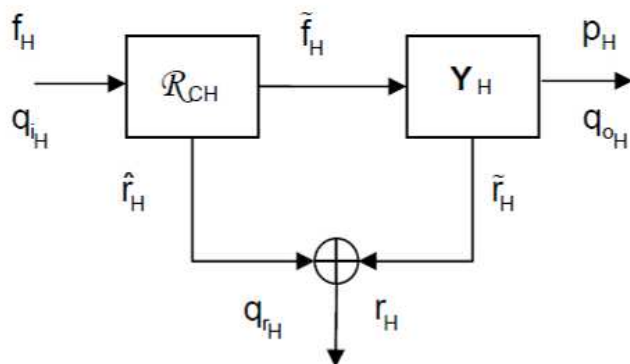
El hidrociclón está compuesto de un cuerpo cónico abierto unido en la parte superior con una sección cilíndrica que tiene una entrada en involuta de alimentación de mineral. En la parte inferior del cono está el orificio de salida del mineral grueso, el que se denomina “Spigot”. La parte superior de la sección cilíndrica está cerrada excepto en el centro donde entra axialmente una cañería de descarga del mineral fino. La cañería se extiende hacia dentro del hidrociclón por medio de una sección corta y removible llamada “vortex finder”, la que previene que el mineral de alimentación pase directamente a la descarga de finos (Araya, 2010, p. 57).

Figura N° 14: Fotografía de un hidrociclón



Fuente: Araya (2010)

Figura N° 15: Diagrama de bloques del modelo de hidrociclón



Fuente: Araya (2010)

Los flujos másicos son los siguientes:

- **f_H** : Flujo de sólidos en la alimentación
- **\tilde{f}_H** : Fracción del flujo de sólidos que va a clasificación
- **p_H** : Flujos de sólidos en el rebose
- **q_{iH}** : Flujo de agua en la alimentación
- **q_{oH}** : Flujo de agua en el rebose
- **q_{rH}** : Flujo de agua en el rechazo
- **\hat{r}_H** : Fracción del flujo de sólidos que es arrastrado directamente al rechazo por el agua
- **\tilde{r}_H** : Fracción del flujo de sólidos que va al rechazo producto de la clasificación
- **r_H** : Flujos de sólidos en el rechazo

1.3 Alternativas para afrontar el aumento de la dureza

Existen diversas alternativas que suponen una solución para afrontar el aumento de la dureza del mineral, de las cuales destacan:

- 1) Mina (más explosivos),
- 2) Reduciendo el setting de los chancadores primarios (mayor utilización y consumo de KWh)
- 3) Molienda (SAG / Bolas).
- 4) Pre-Chancado.

En el caso de la primera alternativa, si bien el tamaño de la partícula disminuye conforme aumenta la cantidad y distribución de explosivos, la distribución heterogénea de los tamaños del material hace que los efectos de la dureza dentro del molino SAG sean poco significativos (Metso Minerals, 2009).

Para el segundo caso, Metso Mineral a través de su unidad PTI (Process Technology and Innovation) analizó los datos de muestreo del chancador de pebble de Laguna Seca con diferentes closedside-settings (CSSs).

Con la apertura actual del trommel, no se observa impacto por la reducción del CSS del chancador de pebble. Cuando se cambie la abertura del trommel a 15mm, un CSS menor afectará positivamente el molino de bolas debido al tamaño de transferencia más fino, aumentando su eficiencia, sin embargo probablemente no se observará ningún impacto en la producción del molino SAG (Metso Minerals, 2009, p.4).

Para el tercer caso las conclusiones de afirmaciones de PTI son las siguientes:

PTI ha trabajado con varias operaciones alrededor del mundo y todos los datos recogidos, así como las publicaciones disponibles sobre el tema, muestran que no hay evidencia para demostrar en forma concluyente los posibles beneficios en la utilización de bolas de tamaño más grande que 5,0 pulgadas. A medida que el diámetro de la bola aumenta, la energía proporcionada por una sola bola

cuando impacta la roca aumentará. Sin embargo, la cantidad de colisiones disminuirá, así como, la cantidad de bolas dentro del molino también disminuye para el mismo nivel de nivel de llenado (Metso Minerals, 2009, p. 12).

Las relaciones entre el uso eficiente de la energía, carga de bolas y velocidad son complejas. Al aumentar la carga de bolas parecería aumentar también la probabilidad de que las partículas sean quebradas y así mejorar la eficiencia de la molienda en el molino. Por otra parte, los cambios de velocidad afectan tanto a la forma como al movimiento de la carga. En algunos casos, lo anterior puede tener efectos inesperados sobre la fractura del material y el rendimiento (Metso Minerals, 2009, p.14).

Sin embargo, en un caso estudiado de mineral duro de Laguna Seca, la alimentación del molino SAG tenía un F80= 108.3 mm, este mismo material, luego de ser pre-chancado tenía un F80 de 34.7 mm. La potencia del molino SAG sin pre-chancado requiere de una potencia instalada de 20.852 kw (consumo específico de 3.1 (kWh/t). Sin embargo con un material pre-chancado requiriere una potencia instalada de 16599 kW (consumo específico de 2.5 kWh/t), vale decir se obtiene el mismo producto (P80) pero con un pre-chancado se liberan 4253kW, permitiendo recuperar la producción en un 25% (Metso Minerals, 2011).

En la práctica, los análisis de las plantas llevaron a la realización de este estudio conceptual, basado en la evidencia de que la capacidad de tratamiento (tonelaje) del Molino SAG responde de manera diferente, frente a cambios en la distribución granulométrica del mineral, en forma significativa, esto se debe a la presencia o ausencia de “Tamaños Críticos”. Esto significa que la instalación de un circuito de pre-chancado mejora en forma sustancial la capacidad de tratamiento del molino SAG, debido a que el resultado obtenido es más homogéneo.

Se han observado experiencias similares en otras faenas las que han obtenido los siguientes resultados:

- Pre-chancado Codelco-Andina: Un 10% de mayor tonelaje procesado (Codelco Andina, 2008).

- Pre-chancado El Teniente: un 13% de mayor tonelaje procesado, concordante con lo anterior. Tomando el % de fino (partículas de mineral < 1 ") presentes en la alimentación al molino SAG, se puede ver que, para aprox. 46% de fino, se logra procesar 23508 t/d, con 51 % se procesa 24150 t/d y con sobre 54% se llega a 26600 t/d. (Beas, 2010).
- Pre-chancado Los Pelambres: En 2007 se cumplió la meta prevista de procesar 126.300 tph promedio. Una vez ajustado el modelo predictivo, los rendimientos obtenidos han estado por sobre lo estimado debido una serie de optimizaciones implementadas al proceso (Beas, 2010).

CAPITULO 2: Método de trabajo

Este capítulo comienza con la identificación y justificación del problema que este estudio quiere abordar. Luego y en orden descendente, se abordan los objetivos, tanto generales como específicos, luego se realiza una breve descripción del instrumento, se describe el método de recolección de datos y, finalmente, se efectúa una descripción del lugar donde se hizo las pruebas y simulaciones.

2.1 Identificación del Problema

Las concentradoras chilenas han desarrollado estrategias operacionales para tener un consumo específico de energía controlado, frente a escenarios de aumento de la dureza del mineral o de la capacidad de tratamiento de mineral, para responder a una disminución natural de la ley.

El consumo unitario de electricidad en las concentradoras, como consumo de energía para producir una unidad de producto (una tonelada de cobre fino), se encuentra directamente relacionado con la dureza del mineral. Esto no impide que una concentradora no pueda reducir de manera global el consumo específico de energía, usando estrategias operativas adecuadas y situándose por debajo del consumo promedio observado en plantas que tratan minerales de menor dureza.

Si bien, el mayor consumo específico de energía se concentra en la molienda (SAG y bolas), es importante indicar que el chancado de mineral, presenta un consumo específico de energía promedio, significativamente menor respondiendo a constantes estrategias utilizada por algunas concentradoras para disminuir el consumo energético, una de ellas es incluir un pre-chancado en el circuito de molienda SAG (Revista Minería Chilena, 2009).

“El proceso de molienda, desde una perspectiva energética, es altamente ineficiente, puesto que el 85% de la energía utilizada en la conminución se disipa como calor, 12% se

atribuye a pérdidas mecánicas y sólo un 1% se utiliza para reducir el tamaño del mineral de alimentación” (Revista Minería Chilena, 2009, p.171).

Por todos estos motivos, es importante establecer estrategias operacionales orientadas según las características particulares del mineral que se alimenta a la planta de molienda. En toda concentradora se debe establecer un adecuado balance del consumo específico de energía entre el SAG y el chancado de pebbles, independientemente del valor del W_i del mineral.

La explotación de mineral de cobre está sujeta a un proceso que básicamente necesita disminuir el tamaño de la partícula, por ello preocupa que los análisis geológicos concluyen que entre los años 2012 al 2018, la dureza de los minerales de Minera Escondida van a superar los 60 SPI, esto debido a la explotación de minerales hipógenos. El aumento de la dureza provoca restricciones de tonelaje, lo cual va en desmedro de la producción de cobre. Esta condición genera un impacto en la línea principal del negocio en Minera Escondida que corresponde a las plantas concentradoras.

Para el caso de Minera Escondida, se ha demostrado que durezas mayores a 60 SPI, impactan considerablemente el tratamiento horario de la molienda SAG. Por otra parte, un índice de trabajo (WI) mayor a 14 Kwh/Tc impacta negativamente en el rendimiento de la molienda secundaria de bolas.

Al observar la tabla N°3 se observa que en todos los años existe una fracción de alta dureza la cual bordea el 25%, y es constante a través del tiempo, definiendo como dureza todos los valores (Ver anexos Tabla de distribución de durezas)

Tabla N° 3: Tabla de distribuciones de dureza entre los años 2009 y 2012

Periodo	SPI prom.	Desviación standart (StDev)	Wi prom.
01 enero 2009 - 30 junio 2009	66.69	6.94	13.99
01 julio 2009 - 30 junio 2010	63.87	8.59	14.03
01 julio 2010 - 31 diciembre 2010	60.61	6.77	13.39
01 enero 2011 - 30 junio 2011	64.9	7.9	13.40
01 julio 2011 - 30 junio 2012	63.60	7.69	14.02

Fuente: Creación propia, en base a la información obtenida de informes Geológicos de Minera Escondida.

Las variaciones de dureza y distribución granulométrica del mineral influyen de manera significativa en el rendimiento de los circuitos de conminución; es decir, chancado, tamizado y molienda. En operaciones donde la granulometría de alimentación no es bien controlada, ocurren frecuentes pérdidas de tonelaje y generación de productos fuera de especificación o con menor valor agregado. En minas de cobre y otros metales, además de las pérdidas de producción, también ocurren pérdidas de recuperación de los metales, las cuales son asociadas a la variabilidad de los procesos de flotación y lixiviación, así como a la operación no optimizada (Metso Minerals, 2010, p. 3).

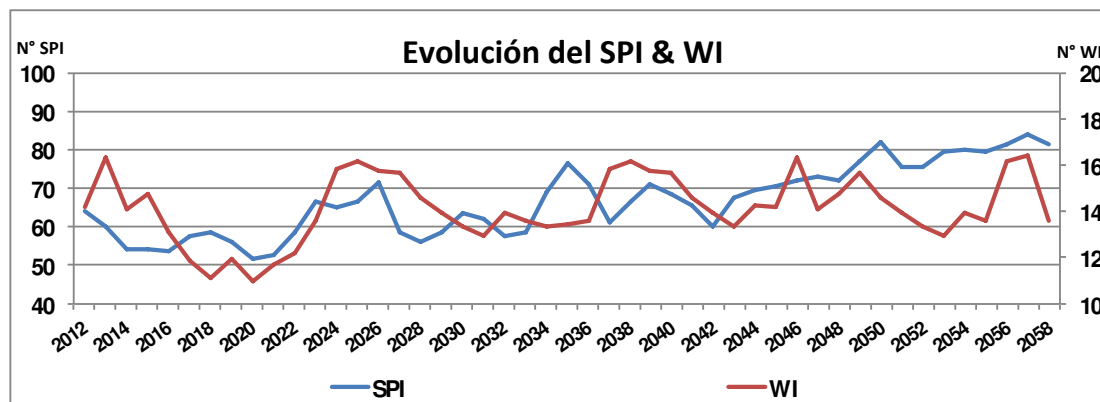
No es trivial mostrar que existe una diferencia fundamental en reducir el consumo específico de energía a través de la modificación en la distribución de tamaños, sean con cambios en los mecanismos de molienda y reducir el consumo específico de la molienda al aplicar un prechancado, el cual reduce el tamaño de la alimentación de la molienda F80 (Minería Chilena, 2009). De esta forma, la alternativa de instalar un Pre Chancado se justifica económicamente al aumentar el tonelaje tratado por este simple efecto de reducir el F80 (Codelco Andina, 2008).

Cabe destacar que los análisis de dureza de los últimos dos años entregan un SPI promedio de 64,9 para el FY11 y de 63,6 para el FY12 (Ver tabla N°3), donde el SPI proyectado

para estos mismos dos años fue de 66,5 y 77,1. Como se observa, la dureza proyectada no fue muy diferente a la real, es mas fue inferior a la proyectada, sin embargo el problema de la dureza igual se hizo presente, debido a las grandes variaciones de durezas sufridas durante todo el año. Al analizar las desviaciones estándar de las durezas durante estos dos años, observamos que para el FY11 la desviación estándar de la dureza fue de 7,9 y 7,69 para el FY12 (ver tabla N°3). Este hecho hace importante el tema de la dureza en la actualidad, ya que al disminuir la variabilidad del tamaño de material que entra al molino SAG, el sistema se vuelve más estable y capaz de procesar más material (Minera Escondida Ltda., 2012).

Como se observa en el gráfico N°1, las proyecciones de dureza para minera Escondida incrementan sustancialmente en el largo plazo, llegando en promedio del 2023 al 2030 a valores de 67,5 SPI y 16 WI, situación que se vuelve más crítica a partir del año 2030, donde la dureza alcanza en promedio 70 SPI.

Gráfico N°1: Proyección dureza en minera Escondida



Fuente: Creación propia, en base a la información obtenida de informes Geológicos de Minera Escondida.

Entonces, el problema central de la presente investigación es: ¿Cuáles son las mejores alternativas existentes para disminuir los tamaños de las partículas de mineral que ingresan al molino SAG y así mitigar los efectos de la variabilidad de la dureza en la molienda?

2.2 Objetivos de la investigación

2.2.1 Objetivo general

Mantener los niveles contemplados de producción ante la variabilidad de la dureza del mineral en la concentradora Laguna Seca de Minera Escondida Ltda.

2.2.2 Objetivos específicos

- 1.- Evaluar la factibilidad técnica y económica de tres alternativas para disminuir los tamaños de las partículas de mineral.
- 2.- Comparar las diferentes alternativas de disminución de tamaños de partícula del mineral desde un punto de vista técnico y económico.
- 3- Identificar la mejor alternativa según la proyección de los factores que inciden en la producción de concentrado de cobre en minera Escondida.
- 4- Analizar el impacto de la mejor alternativa seleccionada desde un punto de vista integral.

2.3 Descripción de instrumento

Para recopilar datos de campo, se debe utilizar instrumentos de medición que arrojen datos que puedan ser procesados y manejados de modo tal que entreguen información certera acerca del problema a investigar. En esta tesis se utilizan informes de evaluación sobre cómo mejorar los rendimientos en el tratamiento de minerales duros, donde se han evaluado efectos de la tronadura especial, cambios en el molino SAG y dos estudios de ingeniería que evalúan la alternativa de la instalación de un pre chancado, donde el primero se le encargó a una empresa externa y experta en plantas de chancado y molienda. El segundo estudio fue encargado a una empresa especializada en desarrollo de ingeniería de obras civiles. La decisión de externalizar los servicios de ingeniería se explica en el siguiente análisis FODA:

Fortaleza

- Al externalizar con una empresa especialista en el tema, se generan resultados con mayor fundamentación empírica y con una mirada especializada.
- Se generan plazos de entrega contractuales, los cuales dan mayor rigor en una entrega oportuna.
- Al ser proyectos de gran amplitud de especialidades, se generan sinergias que son muy difíciles de alcanzar en una empresa no especializada.

Oportunidades

- Al existir Know How por parte de la empresa externa, se pueden adquirir miradas de última tendencia en el estudio o generar soluciones innovadoras.
- Responsabilizar a una empresa externa de la creación de un proyecto, sus alcances y cálculos.

Debilidades

- Al externalizar se pierde el control de la ejecución de la ingeniería del proyecto.
- Poca capacidad de internalizar dentro del proyecto de ingeniería problemáticas internas de la operación.

Amenazas

- Al ser una empresa externa que no está empapada con la visión y misión de la empresa mandante MEL, es posible que no se obtenga el resultado esperado.
- Al no ser un proyecto interno, puede existir falta de cooperación en la comunicación de los datos relevantes para una ingeniería entre la gente MEL y la empresa de ingeniería.
- La ingeniería por parte de la empresa especialista en chancado y molienda puede tener un enfoque más comercial que técnico, ya que esta misma empresa provee los equipos para el pre-chancado.

El primer estudio fue solicitado a Metso Process Technology and Innovation (PTI), quienes son expertos en configuraciones de circuitos de chancado y molienda. A esta empresa se le solicitó estudiar las alternativas para aumentar la producción ante el aumento de la variabilidad de la dureza en el mineral. Para ello, PTI realizó:

- Un análisis de los datos de muestreo del chancador de pebble de Laguna Seca con diferentes closedside-settings (CSSs).
- Se hizo un análisis que implicó el envío de todos los pebbles chancados hacia el molino de bolas 7, en lugar de devolverlas al molino SAG. Se realizó una simulación para confirmar los beneficios en términos del aumento de la producción.
- Entre los días 7 al 21 de junio, se realizaron pruebas en el Molino SAG 3 y Molino SAG 4 para evaluar diferentes estrategias de operación y sus efectos sobre el rendimiento del molino.

Para todas las simulaciones y pruebas realizadas, se ocupó un software llamado JKSimMet, el cual es capaz de simular con una precisión del 99% los circuitos de chancado y molienda.

La estructura de la investigación realiza por Metso Minerals en Laguna Seca, tiene las siguientes etapas:

a) Inicio de investigación

Comprende la recopilación de antecedentes operacionales y estadística del proceso realizado actualmente en la planta Laguna Seca. Esto está principalmente enfocado a determinar las características del mineral tratado y sus efectos en el proceso de molienda.

b) Desarrollo de la investigación

- Evaluación de implementación de tronadura especial, modificaciones al molino SAG y del pre chancado.

- Definir el impacto de los estudios en la producción de la mina, los efectos de la reducción de la granulometría en el proceso de molienda así como su incidencia en el consumo específico de energía.
- Estudio de factibilidad de producción según toneladas alimentadas al molino SAG (considerando durezas de nuevos minerales y reducción de tamaño de éstos)

c) Recolección de datos

El primer proceso de recolección de datos fue la búsqueda de información desde una fuente secundaria, que en este caso fueron libros, revistas, papers y tesis obtenidos tanto desde la biblioteca de la Universidad Católica del Norte, como desde Internet. Cuando se usó Internet, se utilizó Google Scholar, plataforma que garantiza un grado de seriedad de la fuente de información del documento.

El segundo proceso de recolección de datos fue a través de una fuente primaria, la que se denomina Recolección de Datos de Campo. Esta recolección de datos, fue llevada a través de las empresas contratadas para la realización de los estudios, las cuales son en este caso la empresa PTI y Fluor.

CAPITULO 3: Análisis de resultados

3.1 Estudios y Simulaciones

A continuación se analizará la información recopilada de las simulaciones y estudios realizados por las empresas especialistas en los procesos mecánicos de chancado y molienda. Las alternativas analizadas son:

- 3.1.1 Efectos de la tronadura especial en el procesamiento de minerales de alta dureza
- 3.1.2 Mejoras en área de molienda
- 3.1.3 Pre-Chancado

3.1.1 Efectos de la tronadura especial en el procesamiento de minerales de alta dureza

El objetivo de esta prueba, es reducir las granulometrías del mineral tronado en la mina, utilizando una estrategia de tronadura diferente a la normalmente utilizada, y evaluar el efecto de este cambio en el rendimiento de la molienda SAG.

La evaluación a nivel industrial, consideró la aplicación de los diferentes tipos de tronadura a los bancos 3140 N4 y 3125 N4, los cuales se caracterizan por tener una alta dureza (SPI igual a 66 min.). (Ver figura 16).

Para ver el efecto en la granulometría, se toman los datos que entrega el analizador de tamaños en línea presenta en la correa que alimenta el mineral al molino SAG. Por otro lado, el efecto del rendimiento en la molienda SAG, producto de cambio en la estrategia de tronadura, se obtiene a través del análisis de los datos en línea obtenidas del proceso.

Figura N°16: Plano de las tronaduras especiales en bancos 3140-3125 N4.



Fuente: (Minera Escondida Ltda, 2009)

Como muestra la tabla N°4, este tipo de tronadura considera una malla mas acotada con diámetro de perforación de 10 5/8", burden 6.5m, espaciamiento de 7.5m, mayor tasa de explosivo de 340 a 450 gr/t. Se debe mencionar que 450 gr/t es el máximo de explosivo recomendado por los geomecánicos, ya que un valor superior provoca un efecto negativo en la estabilidad de taludes del yacimiento.

Tabla N°4: Condiciones de tronadura especial

	Normal	Tronadura Especial
Diámetro (pulg)	12 1/4	10 5/8
Burden (m)	8.0	6.5
Espaciamiento (m)	9.3	7.5
Pasadura (m)	1.5	2.0
Taco (m)	7.0	6.0
Explosivo	Blendex 945	Blendex 945
FC* (g/t)	340	450

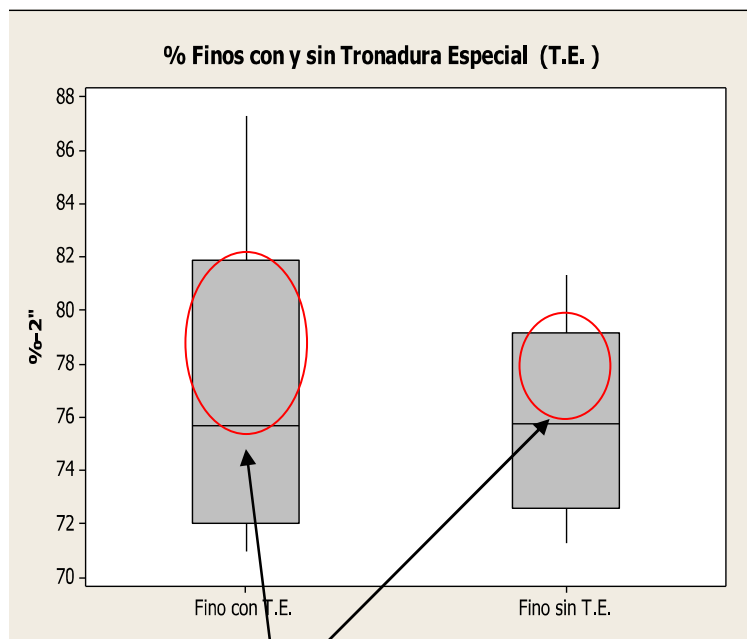
Fuente: (Minera Escondida Ltda, 2009)

* Factor de carga

Los resultados en granulometría de tronadura especial se pueden definir en dos periodos, con tronadura especial y sin tronadura especial. En este análisis no se consideran los días con bajo SPI ni las detenciones de molinos.

Como muestra los gráficos N°2 y N°3, el ensayo con tronadura especial fue realizado para materiales con SPI>66 y una alimentación de material >17.000 tonelada en el molino SAG de concentradora Laguna Seca. Durante este periodo se analizan estadísticamente las granulometrías en línea de alimentación al molino SAG de material fino y grueso, obteniéndose para material < 2" y >4" la tronadura especial provoco una mayor conminucion de las partículas de mineral que alimenta el molino.

Gráfico N°2: Tronadura especial y finos

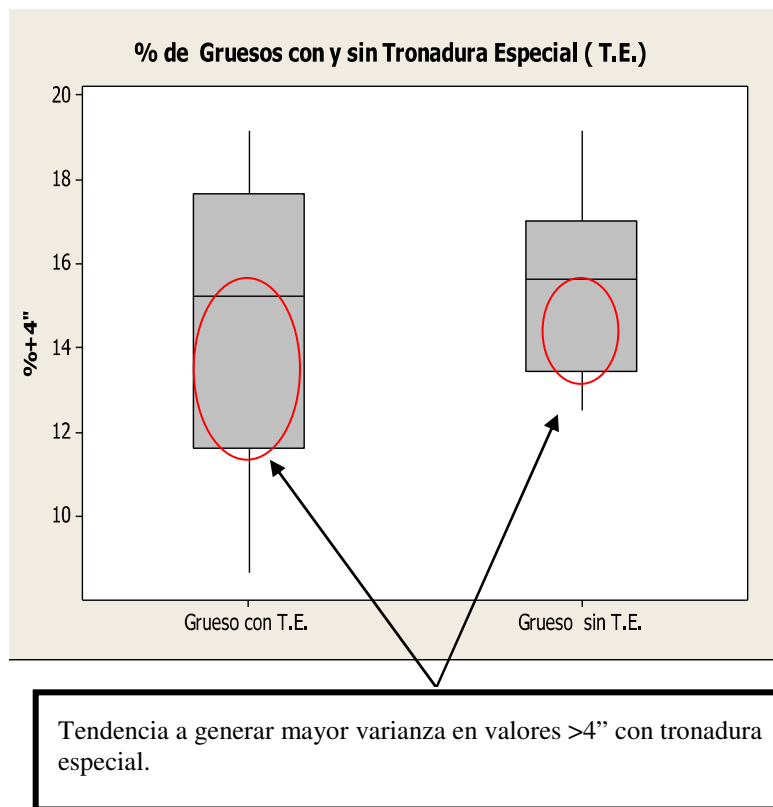


Tendencia a generar mayor varianza en valores $< 2''$ con tronadura especial.

Fuente: (Minera Escondida Ltda, 2009)

En el gráfico N°2, se observa que los valores de las medidas son similares sin embargo la utilización de la tronadura especial v/s tronadura normal, permite llegar a una granulometría más fina 87% menos de 2 pulgadas en comparación a una tasa de explosivo normal la cual no supera el 82% menos 2 pulgadas.

Estos resultados se deben a que la tronadura especial tiene un mayor impacto en las rocas de mayor tamaño que se hacen presente cuando se utiliza una tasa de explosivo normal en presencia de minerales de alta dureza.

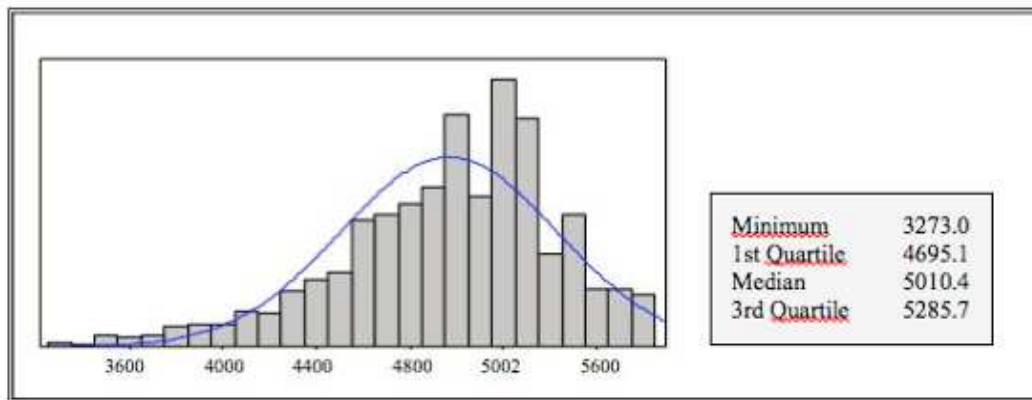
Gráfico N°3: Tronadura especial y material grueso.

Fuente: (Minera Escondida Ltda, 2009)

En el gráfico N°3 se observa que la utilización de la tronadura especial, permite generar un mayor porcentaje de material bajo 4 pulgadas en comparación a la tronadura normal. La tronadura normal genera entre 13% y 19% menos 4 pulgadas, sin embargo la tronadura especial permite obtener una granulometría que puede variar entre 7% y 19% menos 4 pulgadas.

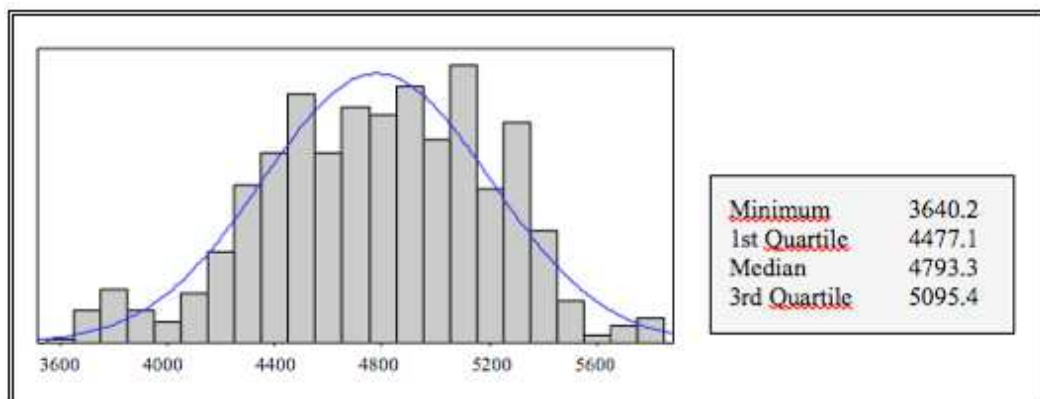
Los resultados obtenidos de la evaluación industrial realizada en la planta concentradora de Laguna Seca (Gráficos N°4 y N°5), indican que la utilización de una tronadura en especial en el proceso de explotación del mineral permitió incrementar en un 4,3% el procesamiento en la molienda SAG. Al observar el tratamiento horario de mineral en la molienda SAG, se aprecia que al utilizar tronadura especial la mediana alcanzada es de 5010 tph superando a la tasa de explosivo normal la cual llega un valor de 4793 tph

Gráfico N°4: Toneladas procesadas en SAG N°4 con tronadura especial



Fuente: (Minera Escondida Ltda, 2009)

Gráfico N°5: Toneladas procesadas en Sag N°4 sin tronadura especial



Fuente: (Minera Escondida Ltda, 2009)

3.1.2 Mejoras en área de molienda. (Cambios en la configuración y diseño de los revestimientos del molino SAG)

Como se describió anteriormente el procesamiento de minerales duros queda restringido por alta presión de aceite en los descansos del molino SAG y/o mayor requerimiento de la potencia instalada (mayor requerimiento de energía).

El aumento de la presión en los descansos, se explica por el incremento en el llenado del molino con mineral, debido a que esto requiere estar un mayor tiempo para que pueda ser reducido de tamaño.

La mayor demanda de potencia de los minerales duros, se debe al mayor tamaño de las rocas de la mena, en comparación a minerales con menor dureza los cuales se caracterizan por tener una distribución granulométrica más fina.

Con el objetivo de disminuir las restricciones asociadas a altas presiones, se evalúan los siguientes cambios:

- Revestimientos de menor peso.
- Parrillas con mayor área libre, para facilitar la evacuación de mineral.
- Slot de mayor diámetro para facilitar la evacuación de mayor tamaño.

Para realizar la evaluación de los cambios realizados se consideraron los siguientes criterios:

- Análisis de los datos en línea del molino SAG, obtenidos cada 10 minutos.
- Todos los sistemas y equipos de la planta deben estar siendo utilizados en su totalidad, de esta manera las restricciones y holguras en el tratamiento de mineral, sean asociadas solo al molino SAG.
- Nivel de mineral en el Stock pile >60%.
- Muestreo del mineral, alimentado en las diferentes condiciones, con la finalidad de determinar los cambios de dureza del mineral.

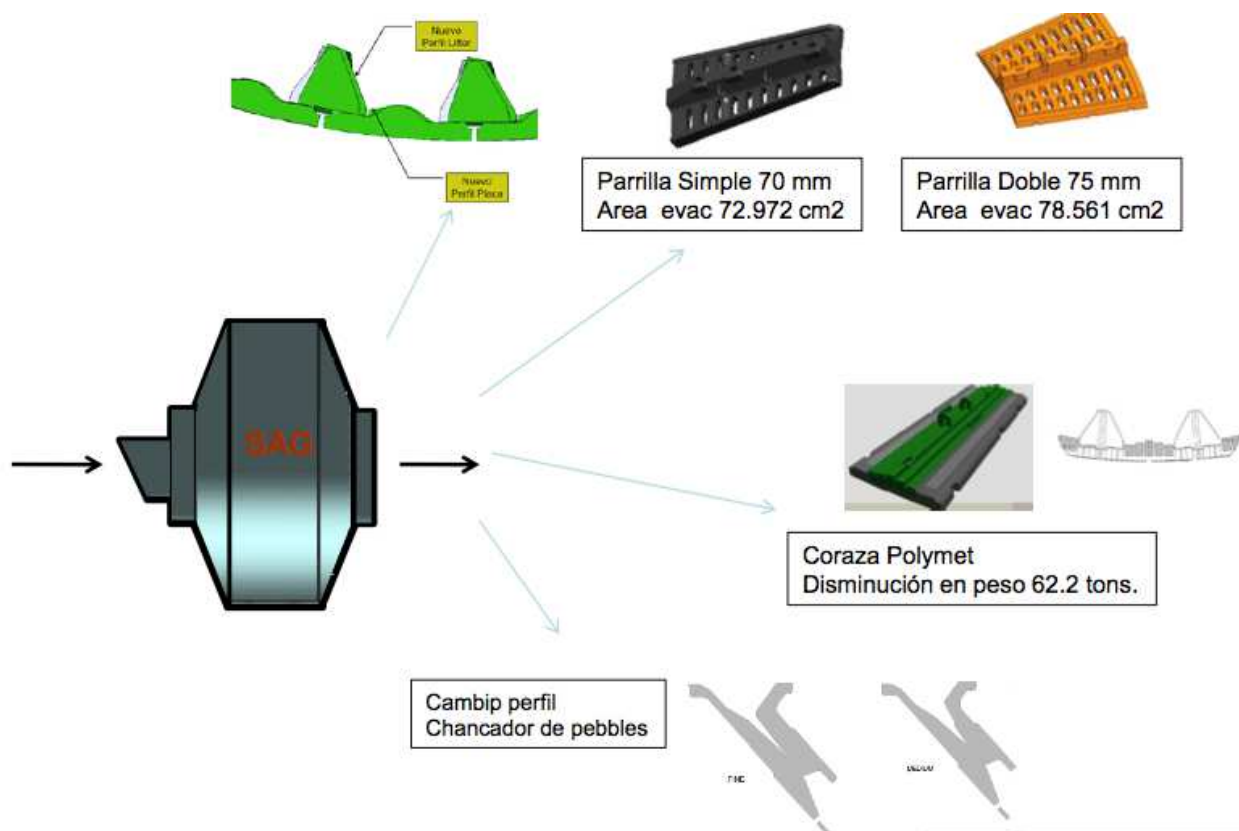
Los cambios realizados en los revestimientos de molino SAG, se describen a continuación:

- Corazas Polymet, los revestimientos normales de los molinos son confeccionado 100% en acero, este nuevo diseño está formado por una combinación de acero con insertos de poliuretano, obteniéndose de esta manera un revestimiento de menor peso.
- Parrillas dobles con incremento en el slot de descarga de molino SAG, las parrillas normalmente utilizadas son simples y con un aberturas de 70 mm, esto estos cambios favorecen la evacuación del mineral desde el interior del mineral, producto de una mayor área libre a la que se expone las partículas y favoreciendo el retiro de rocas con un mayor

tamaño. (Figura N°17)

- Cambio de Perfil Chancador de Pebbles a coraza fina intermedia, con el objeto de aumentar capacidad de tratamiento del pebble producido, producto del aumento de los slots de las parrillas, explicada en el punto anterior.
- Instalación de Lifter asimétrico en Molino SAG, este cambio consiste en optimizar la altura del lifter durante su vida útil con el objeto de modificar la manera en que se distribuye la carga en el interior del molino (formación de riñón) y favorecer de esta manera la tarea de molienda del mineral.

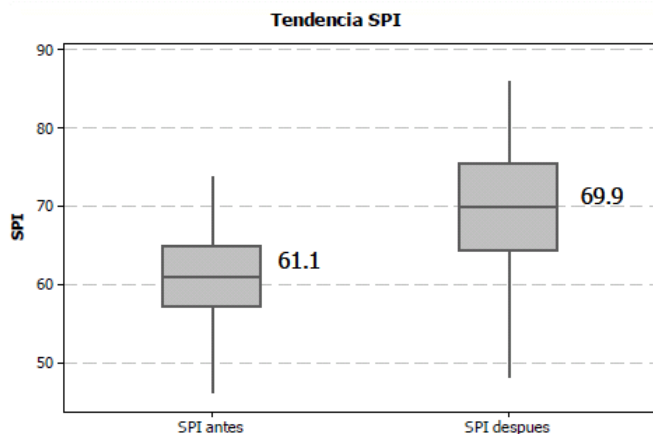
Figura N°17: Cambios en molino 4



Fuente: (Minera Escondida Ltda, 2009)

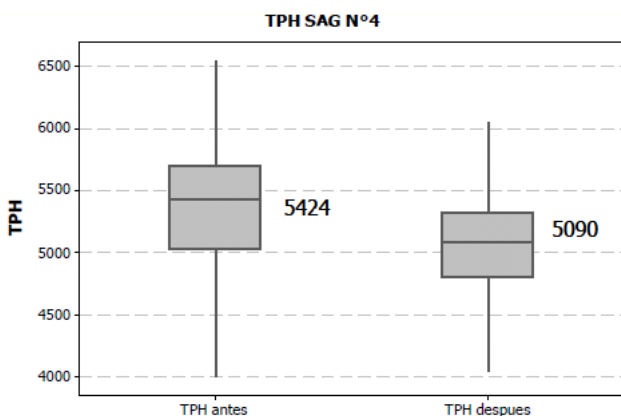
Para ver el efecto de todos los cambios se evalúa el molino SAG 4 de Laguna Seca.

Gráfico N°6: Cambios en los SPI con mejoras en el SAG



Fuente: (Minera Escondida Ltda, 2009)

Gráfico N°7: Cambios en las toneladas procesadas con mejoras en el SAG



Fuente: (Minera Escondida Ltda, 2009)

Los datos mostrados en el gráfico N°7 muestran un menor tratamiento de mineral en el periodo en el que se instalaron los nuevos diseños de revestimiento del molino SAG, lo queda explicado por la mayor dureza de la roca recepcionada (SPI) para los mismos periodos mostrados en el Gráfico N°6, donde la media de dureza alcanza los 69,9 SPI.

Por esta misma razón y para poder evaluar el efecto real de los cambios realizados, es necesario normalizar los valores de tratamiento para un mismo tipo de mineral y luego recalculer los tratamientos.

Tabla N°5: Cambios luego del revestimiento en molino SAG

	Antes	Despues	
SPI modelo	61.1	69.9	
TPH modelo	5295	4779	
Ajuste por SPI		515.3	
TPH real	5424	5090	
TPH Ajustado	5424	5605	
		1.7	%

Fuente: Creación propia a partir de los datos recopilados

De acuerdo a los resultados mostrados en la tabla N°5, se observa que los cambios realizados en los revestimientos del molino SAG, permitieron incrementar el tratamiento de mineral en 1,7%.

3.1.3 Pre-chancado

Tal como se menciona con anterioridad el objetivo de reducir la granulometría del mineral y evaluar el impacto que tienen en el tratamiento de mineral en la molienda SAG. Para realizar la evaluación se contemplaron pruebas de molienda SAG a nivel de planta piloto. Los resultados obtenidos en la planta piloto son llevados a un simulador el cual, una vez sintonizado permite realizar predicciones de tratamiento y determinar variables operacionales que se tendrán a nivel industrial.

Además se realizaron pruebas con mezcla de diferentes proporciones de mineral duro y blando, con la finalidad de evaluar la efectividad del simulador.

3.1.3.1 Actividades realizadas

- Molienda de mineral normal en la planta piloto.
- Sintonización de simulador con el mineral.
- Pruebas de molienda con mineral duro y sintonización del simulador.
- Pruebas de moliendabilidad, con diferentes mezclas de mineral duro y normal, las cuales son comparadas con los resultados del simulador.

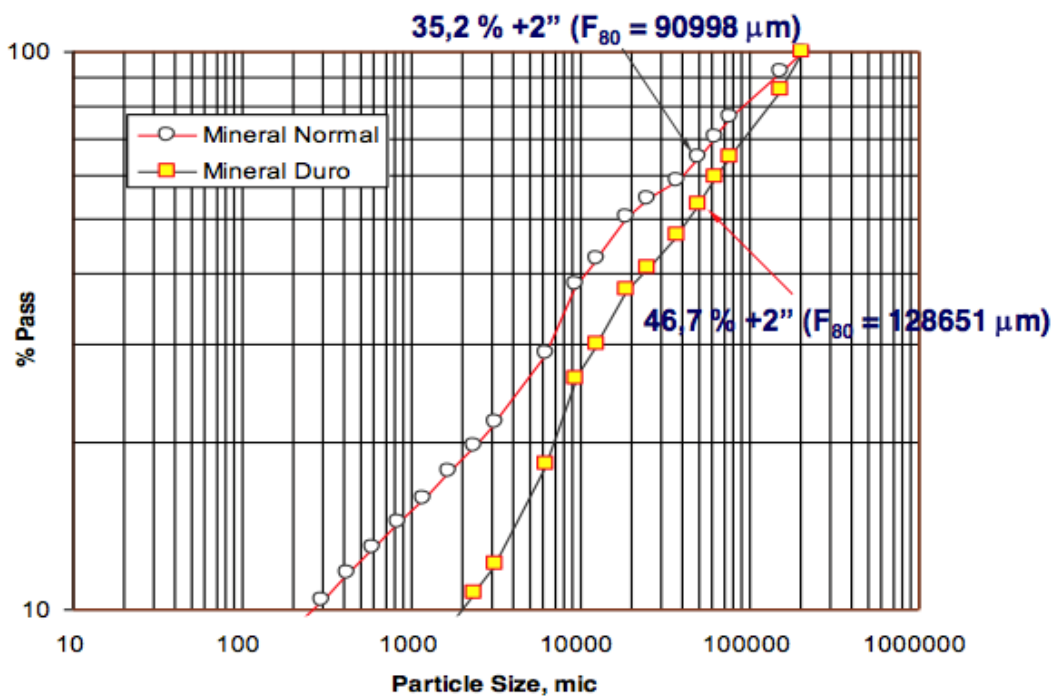
- Pruebas con mineral prechancado.

3.1.3.2 Caracterización granulométrica de los minerales normal y duro provenientes de la mina

Como se observa en la grafica N°8, la granulometría del mineral duro muestreado es más gruesa a la del mineral blando con un F_{80} que va desde de 90.998um a 128.651um.

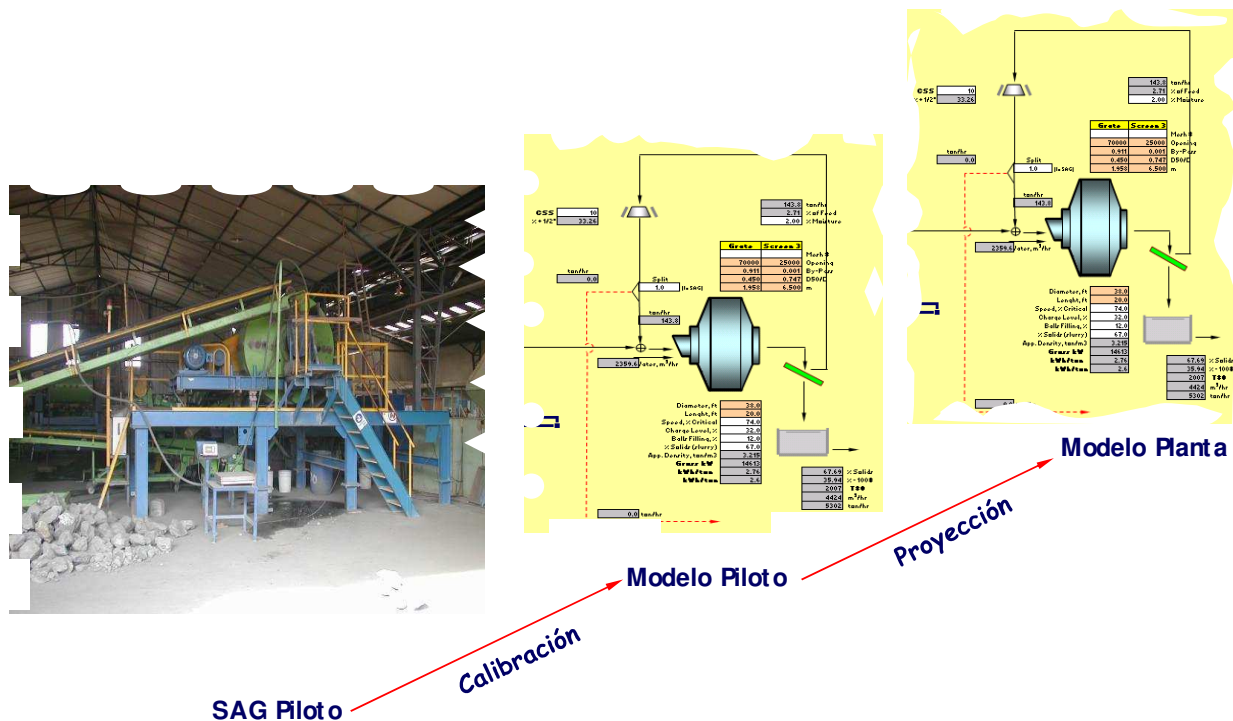
Estos materiales fueron enviados a un centro de investigación para realizar pruebas a nivel de planta piloto con el objetivo de evaluar el efecto de prechancado en la molienda SAG. (Ver gráfico N°8)

Gráfico N°8: Granulometría de alimentación fresca a planta piloto



Fuente: (Minera Escondida Ltda., 2011)

Figura N°18: Proceso de pilotaje y calibración para tener un modelo predictivo y evaluar el efecto de la utilización de prechancado en la molienda SAG.



Fuente: (Minera Escondida Ltda., 2011)

3.1.3.3 Configuración del proceso de molienda para sintonizar el modelo predictivo

En primer lugar se realiza el test de los datos experimentales con tres tipos de muestras como se observa en las tablas N°6, N°7 y N°8. Estas corresponden a Test 1 con muestras de mineral normal de la mina (SPI<60), el Test 2 corresponde a muestras de material duro (SPI =80) y finalmente el Test 3 corresponden a muestras que han pasado por el proceso de prechancado.

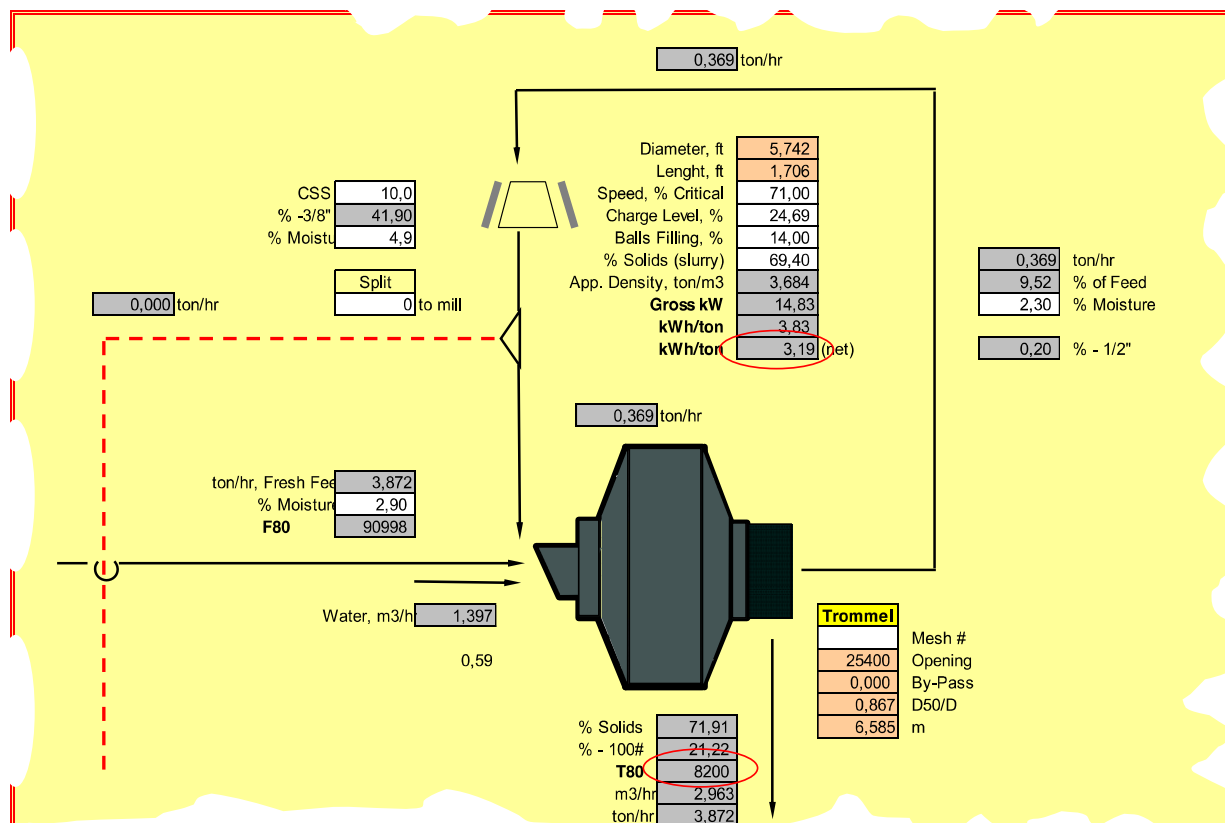
La tabla N°6, muestra los resultados pilotos realizados a minerales normales de modo experimental y los obtenidos con el ajuste del simulador de molienda (modelo). Esto se puede observar en la figura N°19 donde se observan las diferentes variables obtenidas en el simulador para mineral normal ajustado con las pruebas realizadas en el molino SAG piloto.

Tabla N° 6: prueba piloto mineral normal

Condiciones de Operación	Unidades	Test-1 Experimental	Test-1 Modelo
1.- Objetivo y condiciones operacionales			
Objetivo		Sintonización	Sintonización
Mineral		Normal-experimental	Normal-modelo
Tipo de circuito		SABC-1	SABC-1
Granulometría Alimentación Fresca (retenido Parcial)	%	Prom Normal	Prom Normal
. -8" / +6"		8	8
. -6" / +3"		16	16
. -3" / +1"		23	23
. -1" / +1/2"		12	12
. - 1/2"		41	41
F80	um	90.998	90.998
Nivel de llenado de bolas Jb	%	14	14
Tamaño de bola máximo	plg	5	5
Nivel de llenado de bolas Jc	%	25	25
Velocidad crítica , Nc	%	71	71
Slot de parrilla	plg	.1/2	.1/2
Nº de Rock Ports 2,5" x 2,5"		8	8
Slot de trommel	plg	1	1
2.- Resultados			
Alimentación fresca	t / h	3.308	3.308
Extracción Pebbles	%	6.7	6.7
T80 Tamaño de transferencia	um	5.591	5.592
Pebbles Chancados, granulometría	% + 1/2"	25.5	24.4
Nivel de llenado e carga Jc	%	24.7	24.7
Potencia bruta	KW	14.8	14.8
Potencia neta	KW	12.4	12.4
CEE SAG (neto) Alimentación Fresca	Kwh/t	3.74	3.74
**SPI mineral normal 60			
**SPI mineral duro 80			

Fuente: Creación propia a partir de los datos recopilados

Figura N°19: Variables obtenidas en el simulador para mineral normal ajustado con las pruebas realizadas en el molino SAG piloto.



Fuente: (Minera Escondida Ltda., 2011)

La tabla N°7 muestra los resultados obtenidos en la prueba piloto de molienda SAG para minerales de alta dureza sin prechancado.

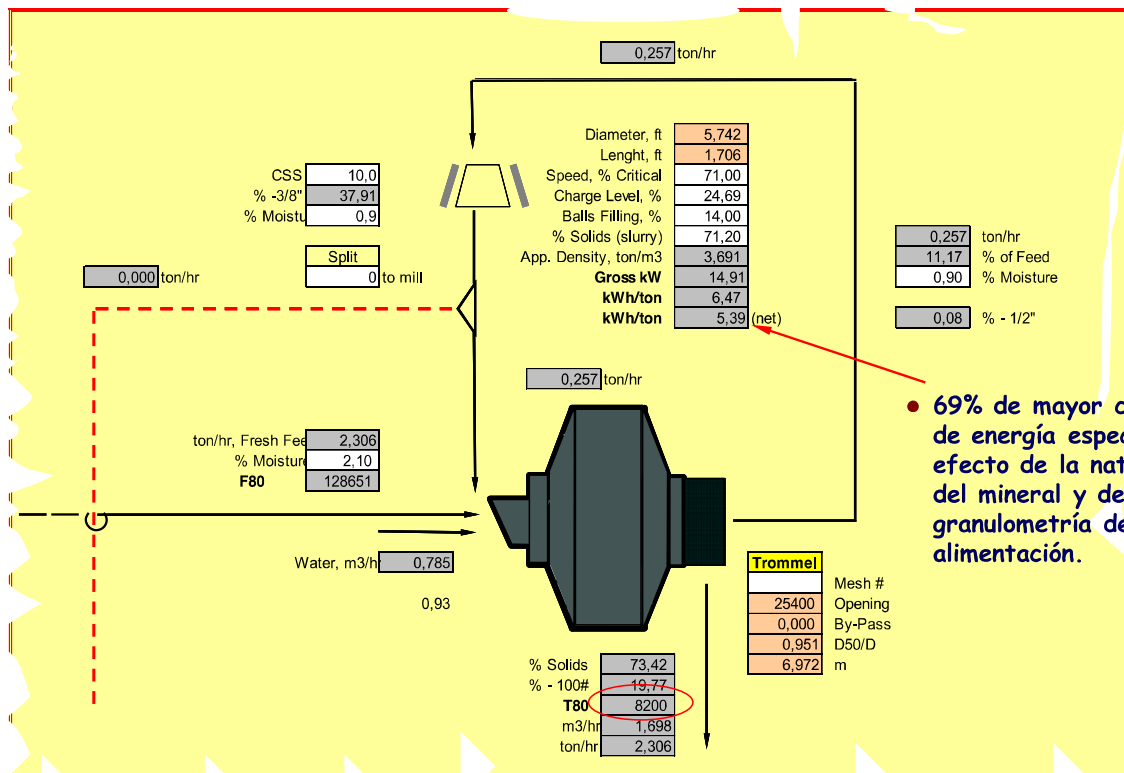
Tabla N° 7: Prueba piloto minerales alta dureza

Condiciones de Operación	Unidades	Test-2
1.- Objetivo y condiciones operacionales		
Objetivo		Granulom gruesa
Mineral		Duro
Tipo de circuito		SABC-1
Granulometría Alimentación Fresca (retenido Parcial)	%	Min duro
. -8" / +6"		14
. -6" / +3"		21
. -3" / +1"		25
. -1" / +1/2"		12
. - 1/2"		28
F80	um	128.651
Nivel de llenado de bolas Jb	%	14
Tamaño de bola máximo	plg	5
Nivel de llenado de bolas Jc	%	25
Velocidad crítica , Nc	%	71
Slot de parrilla	plg	.1/2
Nº de Rock Ports 2,5" x 2,5"		8
Slot de trommel	plg	1
2.- Resultados		
Alimentación fresca	t / h	2.263
Extracción Pebbles	%	9.8
T80 Tamaño de transferencia	um	6.882
Pebbles Chancados, granulometría	% + 1/2"	24.6
Nivel de llenado e carga Jc	%	24.5
Potencia bruta	KW	14.9
Potencia neta	KW	12.4
CEE SAG (neto) Alimentación Fresca	Kwh/t	5.48
**SPI mineral duro 80		

Fuente: Creación propia a partir de los datos recopilados

La figura N° 20 muestra los resultados obtenidos por el simulador para el mineral duro estudiado en la planta piloto.

Figura N°20: Variables obtenidas en el simulador para mineral duro ajustado con las pruebas realizadas en el molino SAG piloto.



Fuente: (Minera Escondida Ltda., 2011)

Para evaluar el efecto de la etapa de prechancado en la molienda SAG, la distribución granulométrica del mineral duro, es llevada una distribución más fina de acuerdo a los valores mostrados en la tabla N°8.

Tabla N°8: Prueba piloto mineral prechancado.

Condiciones de Operación	Unidades	Test 3
1.- Objetivo y condiciones operacionales		
Objetivo		Evaluación de Prechancado
Mineral		Fracc -3"/+1"
Tipo de circuito		35/65
Granulometría Alimentación Fresca (retenido Parcial)	%	SABC-A
. -8" / +6"		granulom ponderada
. -6" / +3"		10
. -3" / +1"		17
. -1" / +1/2"		24
. - 1/2"		12
F80	um	37
Nivel de llenado de bolas Jb	%	105.673
Tamaño de bola máximo	plg	14
Nivel de llenado de bolas Jc	%	5
Velocidad crítica , Nc	%	25
Slot de parrilla	plg	79
Nº de Rock Ports 2,5" x 2,5"		.1/2
Slot de trommel	plg	8
2.- Resultados		
Alimentación fresca	t / h	3.887
Extracción Pebbles	%	4.3
T80 Tamaño de transferencia	um	7.562
Pebbles Chancados, granulometría	% + 1/2"	26.3
Nivel de llenado e carga Jc	%	26.1
Potencia bruta	KW	16.2
Potencia neta	KW	13.7
CEE SAG (neto) Alimentación Fresca	Kwh/t	3.52
**SPI mineral normal 60		
**SPI mineral duro 80		

Fuente: Creación propia a partir de los datos recopilados

3.1.3.4 Resultados de simulación

Los resultados obtenidos a nivel piloto son calibrados de acuerdo a un modelo utilizado por la empresa asesora que permite entregar el efecto real a nivel industrial.

De esta forma se observa en la, tabla N°8 los valores iniciales de simulación y en la tabla N°9 los valores de las pruebas realizadas a nivel piloto y posteriormente ajustadas con el simulador para diferentes proporciones de mezclas de mineral normal (58´ de SPI) y mineral duro (100 ´SPI). Se observa el efecto del prechancado respecto a una proporción normal de mezcla utilizada en el proceso industrial (35 duro - 65 normal). Al comparar el requerimiento energético para un mineral notamos que es un 95% mayor respecto a un mineral normal (SIM 7 versus sintonía), asimismo el tratamiento horario disminuye de 5463 –a 2500 t/h.

Por otra parte la simulación realizada en mezclas normales (35-65) muestran que la utilización de la etapa de prechancado disminuye en un 15% el requerimiento energético (SIM6 versus SIM8) esto indica que el tratamiento horario puede aumentar de 4365 a 5004 t/h y el consumo de energía específico disminuye en un 0.56 KWh/t. Además disminuye el tamaño de transferencia (T80) lo que puede generar un beneficio en la recuperación de Cu en la etapa de flotación o en su defecto disminuir el consumo energético en la molienda secundaria.

Tabla N°9: valores de simulación

Condiciones de Operación	Unidades	Test-4	Test-5	Test-6	Test-3	Test-8	Test-7
1.- Objetivo y condiciones operacionales					Evaluación de	Evaluación efecto	Evaluación efecto
Objetivo		Aumento de nivel de llenado Jc	Aumento Nc	Aumento de nivel de llenado Jc, Jb	Prechancado Fracc-3"/+1"	Retorno % Fracción de finos	Variables en cond. Óptima
Mineral		35/65	35/65	35/65	35/65	Duro	35/65
Tipo de circuito		SABC-A	SABC-A	SABC-A	SABC-A	SABC-A	SABC-A
Granulometría Alimentación Fresca (retenido Parcial)	%	Granulom Ponderada	Granulom Ponderada	Granulom Ponderada	granulom ponderada	Min Duro	granulom ponderada
. -8" / +6"		10	10	10	10	14	10
. -6" / +3"		17	17	17	17	21	17
. -3" / +1"		24	24	24	24	25	0
. -1" / +1/2"		12	12	12	12	12	12
. -1/2"		37	37	37	37	29	37
F80	um	105.673	105.673	105.673	105.673	119.420	105.673
Nivel de llenado de bolas Jb	%	14	14	16	14	14	16
Tamaño de bola máximo	plg	5	5	5	5	5	5
Nivel de llenado de bolas Jc	%	25	25	28	25	25	28
Velocidad crítica , Nc	%	79	79	79	79	71	79
Slot de parrilla	plg	.1/2	.1/2	.1/2	.1/2	.1/2	.1/2
Nº de Rock Ports 2,5" x 2,5"		8	8	8	8	8	8
Slot de trommel	plg	1	1	1	1	1	1
2.- Resultados							
Alimentación fresca	t/h	3.398	3.308	3.625	3.887	2.192	4.211
Extracción Pebbles	%	8,9	6,7	9,2	4,3	9,1	4,9
T80 Tamaño de transferencia	um	8.301	5.591	7.455	7.562	6.309	7.857
Pebbles Chancados, granulometría	% + 1/2"	24,4	25,5	25	26,3	26,2	25,5
Nivel de llenado e carga Jc	%	29,2	24,7	29,7	26,1	25,9	29
Potencia bruta	KW	16,5	14,8	17,4	16,2	15	16,9
Potencia neta	KW	14	12,4	14,9	13,7	12,5	14,4
CEE SAG (neto) Alimentación Fresca	Kwh/t	4,12	3,74	4,1	3,52	5,72	3,42
**SPI mineral normal 60							
**SPI mineral duro 80							

Fuente: Creación propia a partir de los datos recopilados

Tabla N°10: valores de pruebas piloto

Unid	Sintonia	SIM2	SIM4	SIM5	SIM6	SIM3	SIM8	SIM7
	1	2	3	4	5	6	7	8
t / h	2509	2556	3327	3951	4365	4977	5004	5463
KWh / t	6,74	6,61	5,66	4,77	4,32	3,78	3,76	3,45
T80, <i>um</i>	4.500	4.533	5050	5600	5930	6370	5455	6700
% Energía requerida respecto a mineral normal	95,36	91,59	64,06	38,26	25,22	9,57	8,99	0,00
	100	100	89,5	79	72,7	64,3	64,3	58

SIM 2:	Mineral duro granulometría gruesa circuito abierto. Al abrir el circuito se gana aproximadamente un 2% de tratamiento.
SIM 4:	Mezcla 75-25. Nc=78%
SIM 5:	Mezcla 50-50. Nc=78%
SIM 6:	Mezcla 35-65. Nc=78%
SIM 3:	Mezcla 15-85. Nc=78%
SIM 7:	Mineral normal Nc=78% SPI=58
SIM 8:	Mezcla 35-65. Nc=78% y Pre-chancado

Fuente: Creación propia a partir de los datos recopilados

De esta forma podemos indicar según los resultados obtenidos a escala piloto y las proyecciones del simulador:

- 1.- El mineral de alta dureza consume un 30% más de energía que el mineral normal, considerando sólo el efecto de su naturaleza.
- 2.- Si a lo expresado se agrega el efecto de la granulometría, el mayor consumo de energía podría llegar hasta un 69% según el simulador.
- 3.- Es posible cuantificar diferentes condiciones operacionales, tendientes a minimizar el impacto del mineral de alta dureza.
- 4.- Al proyectar los resultados a escala industrial se obtiene un 14,6% de mayor tratamiento por efecto del prechancado.
- 5.- En la condición más promisoría para la mezcla (35/65) se alcanza hasta un 98% del tratamiento con mineral normal, según la proyección a escala industrial.

3.1.3.5 Caso de Negocios del pre chancado

3.1.3.5.1- Resumen

Durante el desarrollo de la ingeniería, se debería garantizar el procesamiento del mineral fresco procedente de la mina y asegurar una granulometría de 95% menos 1/2”.

La “restricción” que presentan los molinos SAG para procesar el tonelaje deseado (110 000 toneladas procesadas en Laguna Seca) para minerales de mayor dureza, se resuelve mediante la aplicación de un pre-chancado. Donde se aumenta en forma significativa el tonelaje procesado a través de circuito de molienda SAG, por aumento de potencia real al circuito, disminución del F80 y mejora de la distribución granulométrica en los tamaños críticos.

Este proyecto se motivó del análisis del consumo de potencia y tonelaje producido, al detectar correlaciones entre la distribución granulométrica y el tonelaje procesado. Este análisis entregó el marco de referencia para las condiciones de borde del pre-chancado, fijándose como objetivo el obtener un producto de mineral en un 95% menor a dos pulgadas. Este efecto, la presencia de tamaños críticos en la molienda SAG / Bolas, es un tercer beneficio encontrado empíricamente, los dos anteriores se basan en la aplicación de las leyes de molienda clásica: aumento de potencia en conminución y disminución de la potencia específica en molienda al reducir el tamaño de su alimentación (F80).

Para evaluar con mayor objetividad el impacto sobre todas la alternativas se supuso para el caso base (sin proyecto) que el mineral actual es más duro (14,5 Wi de índice de trabajo) y se simuló su capacidad de acuerdo a esto, para el caso de evaluar las alternativas para el pre-chancado se utilizó la misma premisa y, adicionalmente, se agregó el costo operacional del pre-chancado. En la evaluación sólo se tomaron parámetros medibles, en el presente estudio no se ha utilizado el “efecto” de pasar mayor tonelaje por cambios en la fracción menor a dos pulgadas (< 2”), a no ser los propios utilizados en las formulas (menor F80 Alimentación SAG).

3.1.3.5.2- Introducción

Compañía Minera Escondida Limitada (MEL) solicitó a Fluor Chile S.A. el desarrollo de la Ingeniería Conceptual del proyecto denominado “Pre-Chancado Alimentación Molinos SAG, Concentradoras Los Colorados y Laguna Seca”, cuyas instalaciones se ubican en la II Región de Antofagasta, a 160 km al sur-este de la ciudad de Antofagasta.

El aumento de dureza del mineral (Work Index: W_i ó SPI) en la operación que impacta negativamente en la capacidad de las plantas para alcanzar el tonelaje “óptimo económico”. En el último semestre, esto ha ocurrido un 34.7 % de las veces en Los Colorados, y un 33.3 % en Laguna Seca, implicado un menor retorno económico, al esperado, debido a falta de “capacidad” de molienda para tratar minerales de mayor dureza.

En la cadena de reducción de tamaño: tronadura, chancado primario y molienda, para lograr un tamaño de partícula final específico, con un mineral de mayor W_i , se requiere de mayor “potencia instalada”, la cual puede ser adicionada en: 1) Mina (más explosivos), 2) reduciendo el setting de los chancadores primarios (mayor utilización y consumo de kW/h) y 3) Molienda (SAG / Bolas). Cada etapa está diseñada para un rango específico de reducción que optimiza el uso de la energía requerida. Teniendo copada la capacidad instalada de los molinos (SAG / Bolas) una alternativa, para variaciones marginales de aumento de potencia (que no justifican una nueva planta) es intercalar mayor potencia agregando un chancado secundario o “pre-chancado”, antes de la molienda. En un caso estudiado de mineral duro de Laguna Seca, la alimentación del molino SAG tenía un $F_{80} = 108.3$ mm, este mismo material, luego de ser pre-chancado (simulación Metso) tenía un F_{80} de 34.7 mm. La potencia del molino SAG sin pre-chancado requiere de una potencia instalada de 20852 kW (consumo específico de 3.1 kWh/h), con un material pre-chancado requiriere una potencia instalada de 16599 kW (consumo específico de 2.5 kWh/h), vale decir se obtiene el mismo producto (P_{80}) pero con un pre-chancado se liberan 4253kW, permitiendo recuperar la producción en un 25%.

Los dos beneficios cuantificados con un pre-chancado son: 1) mayor tonelaje procesado, por mayor potencia instalada y 2) menor costo por reducción del consumo específico, son analizados en forma conceptual, basados en los resultados de simulaciones con pre-chancado y la utilización de la ecuación de Bond, para la molienda SAG. En la práctica, los análisis de las plantas llevaron a la realización de éste estudio conceptual, basado en la evidencia de que la

capacidad de tratamiento (tonelaje) del molino SAG responde diferente, frente a cambios en la distribución granulométrica del mineral, en forma significativa, esto se debe a la presencia o ausencia de “Tamaños Críticos”.

3.1.3.5.3- Clasificación:

1.- Mejoramiento		2.- Reducción de Riesgos		3.- Cumplimiento / Conformidad	
Incremento de Producción	<input type="checkbox"/>	Mantener Niveles de Producción	<input checked="" type="checkbox"/>	Legal (HSEC, Operational, Otros)	<input type="checkbox"/>
Reducción de Costos	<input type="checkbox"/>	HSEC	<input type="checkbox"/>	Req. De Políticas Compañía	<input type="checkbox"/>
Procesos de Optimización	<input type="checkbox"/>	Financical, Legal, Reputation	<input type="checkbox"/>	Comunidad, Reputación	<input type="checkbox"/>
Reemplazo Equipos	<input type="checkbox"/>	Reducción de Costos	<input type="checkbox"/>	Otros	<input type="checkbox"/>
Otros	<input type="checkbox"/>	Otros	<input type="checkbox"/>		

3.1.3.5.4- El Proyecto:

Comprende una planta de pre-chancado ubicada en el área de transferencia entre las correas 103 y 104, consistente en 1 correa repartidora reversible móvil, 1 Tolva de 600 t, 4 Alimentadores (1,800 toneladas procesadas, 60” ancho, 8 m largo), 4 harneros vibratorios tipo banana de 8’ x 20’, 2 Chancadores de cono tipo MP-1000, 1 grúa portal de 35/5 t de capacidad. Dos correas transportan el material desde la correa 103 a la planta y cuatro correas devuelven tanto el mineral fino del harnado como el mineral pre- chancado a la correa 104.

3.1.3.5.5- Consideraciones de Seguridad del diseño del pre-chancado.

Las Correas 103, 104 y la correa reversible móvil estarán equipadas con protecciones en todas sus partes móviles en toda su longitud. Además equipadas con “pullcord” en toda su extensión.

Es importante señalar que estas correas tendrán incluida estaciones de trabajo para el cambio de correas de tal forma de mitigar al máximo el riesgo de atrapamiento en el cambio de correas.

Los chancadores MP1000 estarán equipados con medidores de “seting” robóticos de tal forma de no exponer a los operadores al riesgo de atrapamiento.

Los harneros de banana en su diseño incluyen los manifold de agua, mejorando los

tiempos de cambio de estos elementos, mitigando el riesgo de desmontaje y montaje de piezas de cambio ya que estas se realizarían en maestranza.

Esta planta de pre-chancado se encuentra localizada en la transferencia entre las correas 103 y 104, opción que no presenta mayores dificultades de disposición ni de espacio. Se optó por la alternativa de alimentar la planta de pre-chancado a través del chute de transferencia modificado entre las correas 103 y 104 minimizando el impacto en la operación de las plantas.

3.1.3.5.6- Consideraciones de diseño del Pre-Chancado respecto al Medio Ambiente

Para tales efectos se ha desarrollado una ingeniería a nivel de detalle para diseñar un sistema de supresión de polvo basado en tecnología inyección de agua a alta presión aplicado en tasa de descarga de los chancadores y las correas de traspaso de mineral, con lo que se espera cumplir con lo establecido en el Decreto Supremo N° 594 “Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo de la Ley Medio Ambiental (150 ug/m³). Además las correas de 103 y 104 estarán 100% encapsuladas en FRP.

3.1.3.5.7- Suministro Eléctrico

Para el suministro eléctrico se ha proyectado, implementar subestaciones alimentadas desde la línea aérea existente de 69 [kV], para la que se consideró que tendría la potencia necesaria disponible.

Laguna Seca: Se proyecta una subestación con un patio de 69 [kV] con un transformador de 5/6.25 [MVA] para la alimentación de los motores de media tensión, (chancadores y correas) y un transformador de 2500 [kVA] para las cargas en baja tensión, con todo el equipamiento de 4160 [V] y 480 [V] requerido, instalado en una sala eléctrica tipo contenedor.

3.1.3.5.8- Filosofía de Control

En cuanto a la operación, esta se define desde las mismas salas de control actualmente en operación ubicadas en Laguna Seca. Luego de un análisis de la operación actual teniendo en cuenta el control de proceso y la ubicación geográfica, se definirá desde qué localidad se operará cada unidad. La supervisión y el control se ejecutarán desde nuevas pantallas que deben ser diseñadas, las que podrían requerir la adquisición de nuevas consolas de operación a ser ubicadas

en la sala de control correspondiente. Estas considerarán sistemas de manejo de alarmas e historización.

Los objetivos de control se centrarán en la redundancia de los sistemas de control, diversos modos de operación, modo de comunicación con los controladores locales, manejo de alarmas, secuencias, eventos e históricos, secuencias de control de proceso, requerimiento de instrumentos especiales, regulaciones gubernamentales y medioambientales. Así mismo, se considerará el sistema de protecciones, su grado de tolerancia a fallas, velocidad de respuesta ante las fallas, métodos de reset, funcionalidad y grados de separación de subsistemas interconectados, interfases con sistemas de protección de incendio y otros.

Especial atención reciben los equipos o unidades de paquete (correas, alimentadores, sistema colector de polvo, harneros vibratorios y chancados) los que deberán cumplir con los mismos criterios definidos para el proyecto. Estos tendrán incorporado su propio sistema de control en base a PLC, el que deberá interconectarse e interactuar con el sistema de control de procesos actualmente en operación.

3.1.3.5.9- Recurso humano necesario para el funcionamiento de planta de Pre-Chancado

La planta de pre-chancado necesita 6 personas por turno día y noche. El diseño declara una planta semi automática con los más altos estándares de control y automatización lo que beneficia directamente en la operación y productividad de la planta.

3.1.3.5.10- Análisis de Interferencias

La planta de pre-chancado se alimenta a través del chute de transferencia modificado entre las correas 103 y 104. Esta disposición implica detener las correas 101 a la 104 o aprovechar una parada de mantenimiento para preparar el chute para su modificación. Con las debidas medidas de seguridad, el resto de los trabajos en el chute pueden ser realizados con el sistema en operación.

3.1.3.5.11- Simulación Bruno

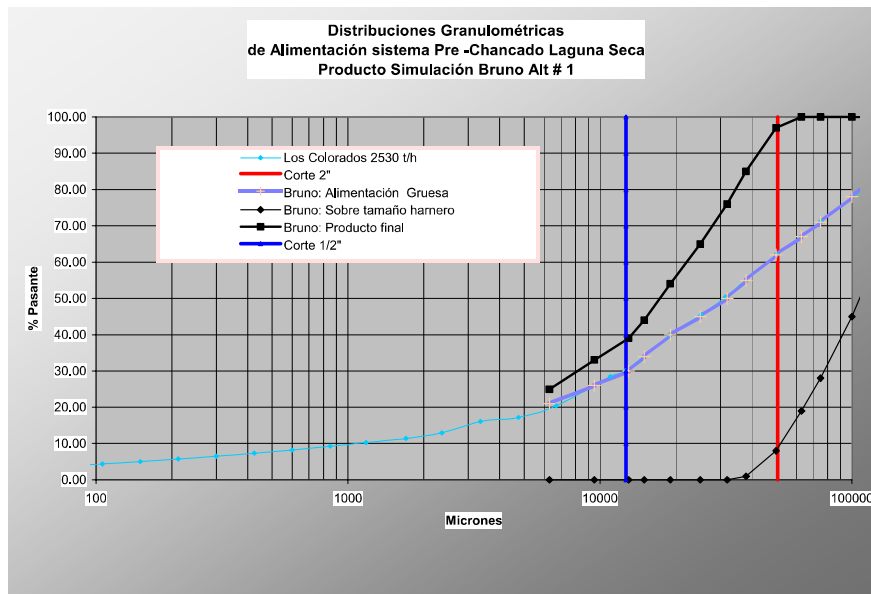
Datos de entrada para el modelo “Bruno” de Metso:

- Circuito abierto, harnero - chancador.

- Harnero de “banana” doble bandeja (“Deck”)
- Tonelaje
- Distribución granulométrica (gráfico N°9) □ Alimentación
- Producto deseado en todas las alternativas: 95% material < 2”.

Alimentación gruesa a Fase IV: 7200 toneladas procesadas por hora (Tph), diseño. El 95% < 2” y un aumento en la fracción < 1/2” de un 10 %.

Gráfico N°9: Distribución granulométrica de alimentación con pre chancado



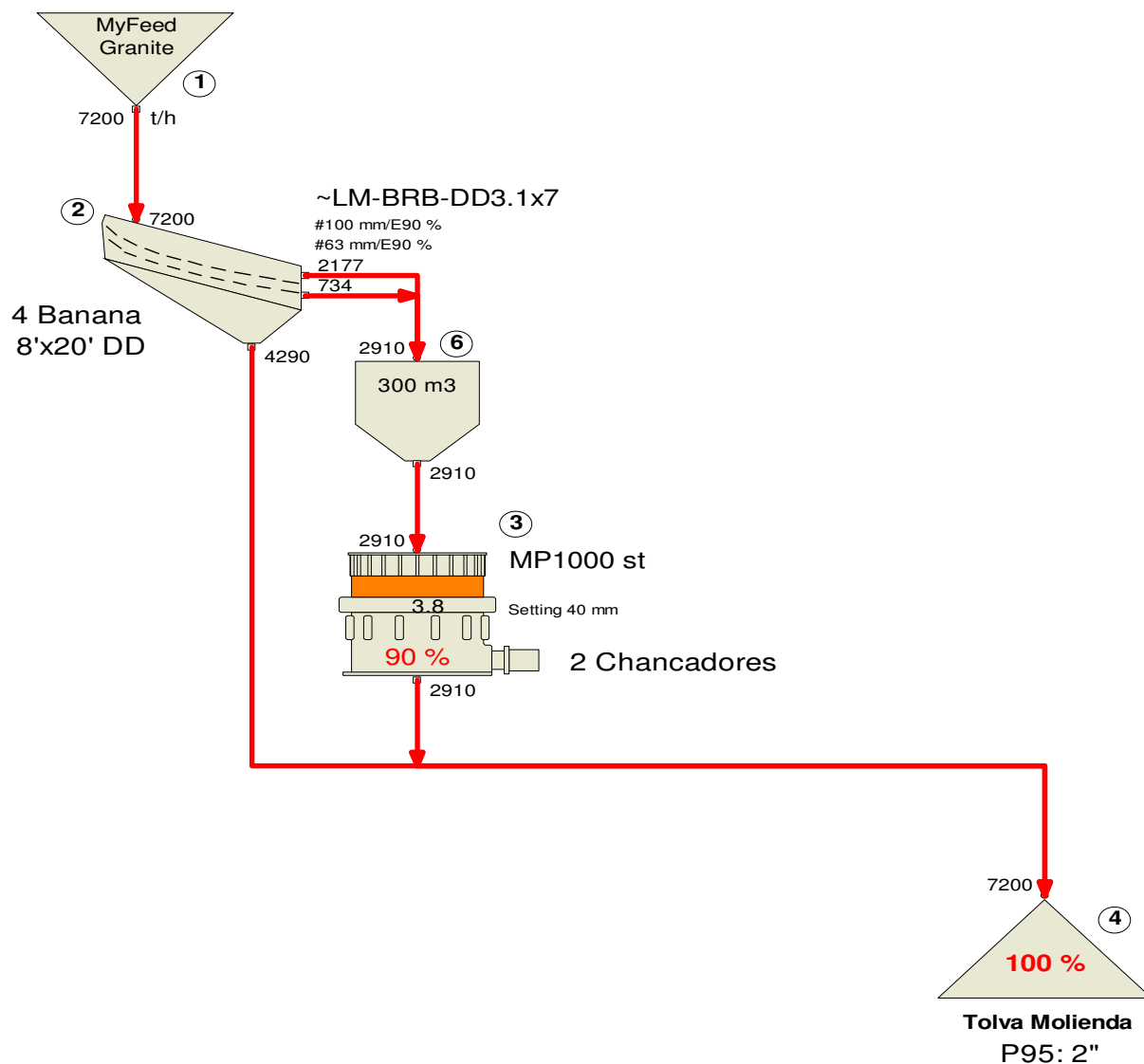
Fuente: (Minera Escondida Ltda, 2009)

Se requiere:

- 4 Harneros Banana de 8' x 20'
- 2 Chancadores MP1000.

La recuperación sustancial de este activo, incrementamos la vida útil de estos equipos en 15 años

Figura N°21: Sistema de pre-chancado



Fuente: (Minera Escondida Ltda, 2009)

3.1.3.5.12-Costos de Inversión:

Los siguientes ítems están excluidos de la estimación de costos:

- Costos de ingeniería desarrollados por terceros.
- Costos previos al desarrollo de la presente etapa de ingeniería.
- Costos de pérdida de producción por paradas de planta durante la construcción.
- Costo del Dueño
- Costos de Operación
- Permisos y costos de los permisos
- Cambios de Alcance
- Costos derivados de fluctuaciones del tipo de cambio (USD/CLP)
- Costos adicionales originados por hechos de fuerza mayor así como catástrofes naturales.
- Capital de trabajo

3.1.3.5.13- Indicadores Económicos:

Tabla N°11: Indicadores financieros del pre chancado

INDICADORES	TASA (8.16 %) (*)
Valor Presente Neto VAN USD\$	428.803
Tasa Interna de Retorno TIR %	42%
Período de Recuperación (años)	5

Fuente: Creación propia a partir de los datos recopilados

Cabe destacar que para las tablas N°11 y N°12 se utilizó un periodo de recuperación de 5 años, comprendidos entre los años 2013 al 2018.

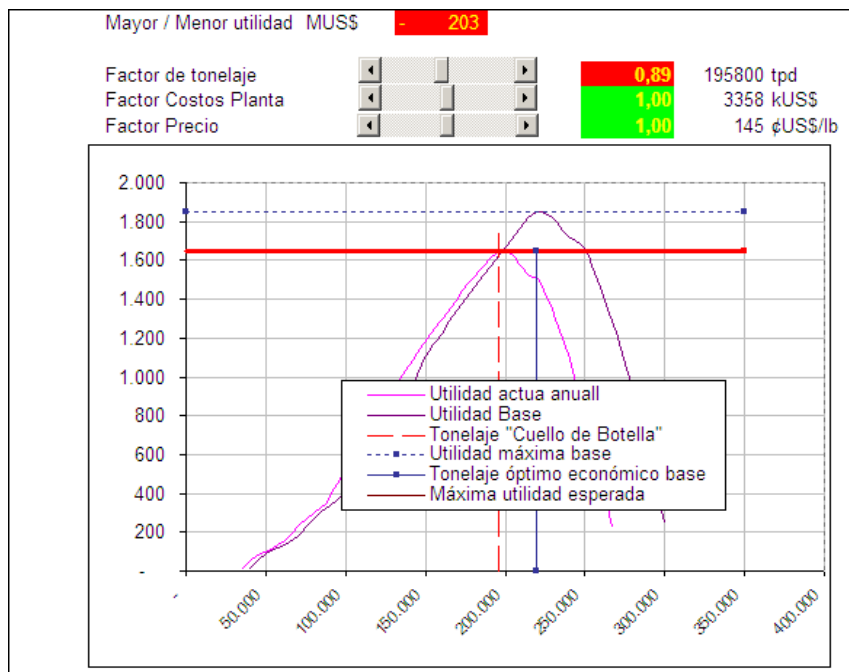
Tabla N°12: Indicadores financieros incrementales de las alternativas

	Pre Chancado	Cambios del Molino SAG	Tronadura Especial
VAN	400.911.873	74.692.458	200.544.421
TIR	25%	34%	112%

Fuente: Creación propia a partir de los datos recopilados

3.1.3.5.14-Análisis de la Demanda

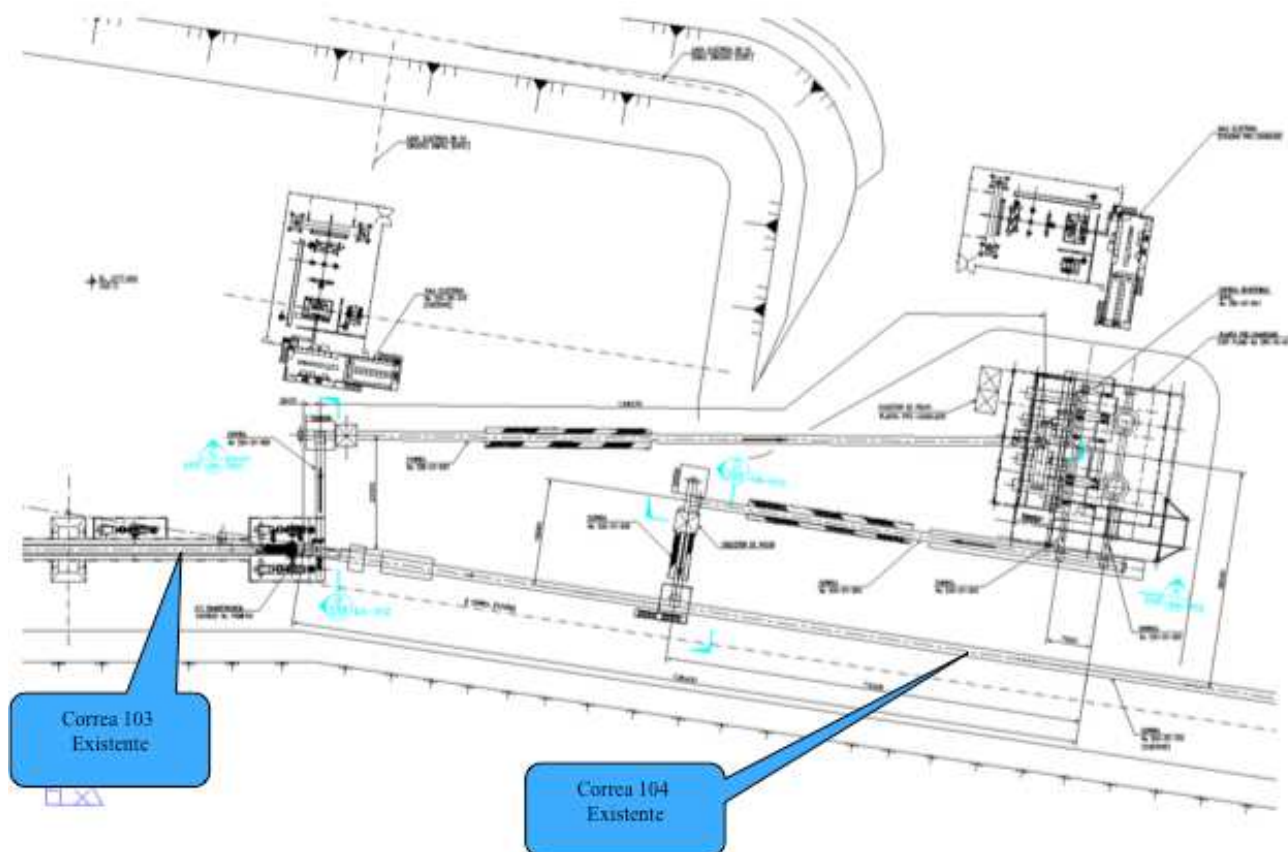
Situación Actual

Figura N°22: Análisis de demanda situación actual

Fuente: (Minera Escondida Ltda., 2012)

La figura N°22 explica el impacto económico del aumento de la dureza, la que genera un cuello de botella en las cantidades de toneladas a producir, lo que impacta en las utilidades proyectadas base de minera Escondida.

Figura N°23: Layout instalación pre chancado



Fuente: (Minera Escondida Ltda., 2012)

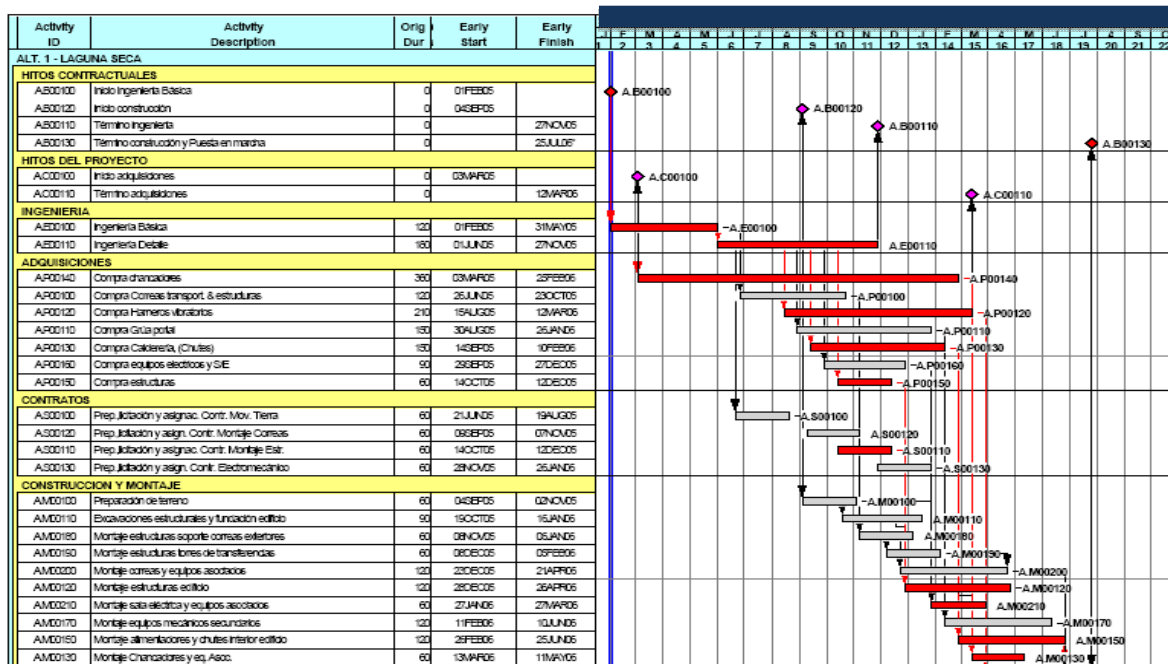
El tratar la dureza como un problema intrínseco lleva a cambiar el óptimo a un nivel de menor producción y menor utilidad. Lo cual es esencialmente cierto, sin embargo en este caso, existen “oportunidades” para no sólo recuperar el tonelaje óptimo, sino que también de reducir el consumo específico de potencia en la molienda SAG / Bolas, con lo cual puede incluso compensar el mayor costo de tener un equipo adicional. Esto se justifica con las simulaciones realizadas a través de las cuales, en un caso particular, muestra que la reducción de tamaño con el pre-chancado, redujo el F80 de la alimentación SAG de 108 mm a 35 mm (caso Laguna Seca), con lo cual redujo el consumo específico de potencia de 3,1 (diseño con $W_i = 12.51$) a 2,9 kWh/t (Caso simulado $W_i = 14.5$). Si se incluye el efecto observado en las plantas que, cambiando la distribución granulométrica, se genera una reducción del consumo de potencia específica

adicional, este efecto sería sinérgico.

3.1.3.5.15- Programa de Ejecución

Se considera 18 meses de plazo desde la ingeniería básica hasta la puesta en marcha, periodo definido fundamentalmente por el plazo de entrega de los chancadores.

Figura N°24: Carta Gantt proceso de instalación pre chancado



Fuente: (Minera Escondida Ltda., 2012)

3.1.3.5.16- Conclusiones y Recomendaciones

El resultado del proyecto, en su etapa de Ingeniería Conceptual, muestra la factibilidad de aumentar el retorno económico del negocio al implementar un pre-chancado antes de la molienda SAG / Bolas. La evaluación económica realizada es una buena aproximación de la realidad actual y del impacto del proyecto, si bien no considera la disponibilidad real y dureza de mineral en el tiempo, que pueden hacer variar el resultado.

El costo operacional, aún cuando aumenta el gasto operacional al implementar una nueva operación, el costo unitario disminuye, esto debido a la disminución de la potencia específica

(kWh / t).

De los resultados anteriores, se desprende que este proyecto es clave en el desarrollo y optimización del negocio de Escondida.

El retorno económico esperado está subordinado a mantener el máximo empleo de la potencia instalada en molienda, procesando el tonelaje necesario para copar el “Cuello de Botella” del sistema.

El análisis estratégico permite visualizar beneficios económicos de alto impacto, asociados en la implementación de un pre-chancado.

Tabla N° 13: Resumen de resultados de las alternativas

Resumen de resultados				
Alternativas	Aumento de TPH %	Costos asociados	VAN - MUS	TIR %
Tronadura Especial	4,5	MUS 3-5	200	112
Configuración de Revestimiento SAG	1,7	KUS 900	74	34
Prechancado	14,6	MUS 11 - 13.7	400	25

Fuente: Creación propia a partir de los datos recopilados

CAPÍTULO 4: Conclusiones

La dureza de los minerales proyectada para el futuro de Minera Escondida desde el año 2023-2026 llega en promedio a valores de 67.5 min en SPI lo que provocaría una restricción en la molienda SAG impactando negativamente los niveles de producción de Cu. Situación que se vuelve más crítica desde el año 2034 al 2050 donde los valores de dureza alcanzan en promedio 70 min en SPI (Gráfico N°1).

Los minerales duros presentan una distribución granulométrica mayor en comparación a los minerales normales ($SPI < 60$) siendo esta una de las razones por la cual el molino SAG queda restringido por alta presión en los descansos y/o consumo energético mayor a la potencia instalada.

Tronadura especial; el incremento en la tasa de explosivos y acotación de la malla de tronadura permiten disminuir la distribución granulométrica de las zonas con minerales duros en la mina, disminuyendo la restricción de procesamiento de mineral en la molienda SAG y de acuerdo a los resultados se manifiesta en un incremento de 4.3% más de tonelaje en comparación a una estrategia de tronadura normal. Los costos asociados a esta propuesta se encuentran entorno a los MUS 3-5 (Tabla N°13). Sin embargo presenta la desventaja de poner en riesgo la estabilidad de los taludes de la mina producto de las mayores vibraciones y ondas expansivas que afectan la geomecánica de las rocas. Los indicadores económicos evaluados a 44 años (2059) asociados a esta alternativa muestran un VAN de MUS 200 y una TIR de 112%.

Cambios en la configuración y diseños de revestimientos de molino SAG; esta alternativa permite incrementar en un 1.7% el tratamiento de tonelaje procesado cuando se reciben minerales de alta dureza debido a que disminuye la restricción por alta presión en los descansos y menor requerimiento de consumo específico de energía, esto se explica por menor peso de los revestimientos y mayor área de libre que favorece la evacuación del mineral hacia el exterior del molino. El costo asociado en esta alternativa es del orden de KUS 900 al año en comparación a la

configuración de revestimientos normales. Presenta ventajas, en comparación a los revestimientos de acero, en el proceso de mantención durante el retiro y montaje de los revestimientos debido a su menor peso. Los indicadores económicos evaluados a 44 años (2059) asociados a esta alternativa muestran un VAN de MUS 74 y una TIR de 34%.

Prechancado; debido a la disminución en la distribución granulométrica del mineral, generada por el proceso de prechancado el consumo específico requerido para procesar minerales de alta dureza disminuye en un 15% en comparación a un procesamiento de material sin prechancado, lo que permite un aumento en el tratamiento horario de 635 tph y una disminución de tamaño de transferencia, lo que debiera generar un menor requerimiento energético en la molienda secundaria o en su defecto disminuir la granulometría de alimentación hacia la etapa de flotación en beneficio de la recuperación de cobre. Esta alternativa presenta la desventaja de incrementar el costo operacional entre MUS 11-13.7 anuales, además requiere de un alto nivel de inversión del orden de MUS 42 y tiene un impacto negativo en la producción de cobre durante su implementación, ya que requiere de 5 días de detención de planta traducido en KUS 34. Los indicadores económicos evaluados a 44 años (2059) asociados a esta alternativa muestran un VAN de MUS 400 y una TIR de 25%.

El proyecto de prechancado es un proyecto integral ya que cumple con altos estándares de seguridad para proteger a las personas y posee un enfoque de control del medio ambiente cumpliendo con las normas vigentes.

A la luz de los resultados de las diferentes alternativas planteadas en este trabajo podemos concluir que todas ellas disminuyen las restricciones de tratamiento de la molienda SAG cuando ingresan minerales con alta dureza ($SPI > 60$), siendo la más atractiva para el negocio la instalación de una etapa de prechancado.

La implementación de la etapa de prechancado permite dar una sustentabilidad a Minera Escondida desde el punto de vista de la producción de concentrado de cobre. Se convierte así en una alternativa viable para todos los procesos de concentración donde existe circuito de molienda SAG-Bolas, considerando el inminente aumento de dureza que experimentaran los yacimientos cupríferos en la medida que se profundiza el pit.

BIBLIOGRAFÍA

- Araya, R. O. (2010). MODELO, CONTROL Y SIMULADOR DE PLANTA DE MOLIModelo, control y simulador de planta de molienda semiautógena y molienda secundaria. Santiago: Universidad de Chile.
- Beas, E. (2010). EXPERIENCIAS OPERACIONALES y MANTENCION PLANTA SAG EL TENIENTE. Rancagua.
- Benmarraze, S. (2007). Influencia del envejecimiento sobre la estabilidad estructural de bolas de Ce-TZP. Obtenido de http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/4523/1/PFE_Simon_Benmarraze_ETSEI_B_2007.pdf
- Codelco. (2011). www.codelcoeduca.cl. Obtenido de <https://www.codelcoeduca.cl/glosario/c.html>
- Codelco Andina. (2008). Proyectos de chancado.
- Consejo minero. (2010). www.consejominero.cl. Obtenido de http://www.consejominero.cl/home/doc/CONSEJO_INFORME2010.pdf
- Diario Financiero. (26 de 09 de 2012). www.df.cl. Obtenido de http://www.df.cl/preocupacion-del-sector-minero-por-falta-de-energia/prontus_df/2012-09-25/171825.html
- ENAEX. (2009). Manual de tronadura ENAEX S.A. Enaex S.A.
- Ipinza, J. (2009). El consumo específico de energía. Minería Chilena.
- Mackenzie, B. (1992). <http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/ECONOMIA%20MINERA.pdf>. Recuperado el 06 de Junio de 2012, de <http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/ECONOMIA%20MINERA.pdf>
- Metso Minerals. (2009). Implementación y análisis adicionales del Informe de Metso “Optimización del Circuito de Molienda de Escondida BHP Billiton”.
- Metso Minerals. (27 de Agosto de 2010). VIII simposio internacional de Mineralurgia. Obtenido de Metso Automation: [http://www.metsoautomation.com/miningandconstruction/mct_service.nsf/WebWID/WTB-120117-22576-9464D/\\$File/100.pdf](http://www.metsoautomation.com/miningandconstruction/mct_service.nsf/WebWID/WTB-120117-22576-9464D/$File/100.pdf)
- Metso Minerals. (2011). Concepto Pre-Chancado. Antofagasta.
- Minera Escondida Ltda. (2009). Efecto tronadura especial bancos 3140 y 3125 N4 en tratamiento SAG 4. Antofagasta: Informe metalurgia plantas concentradoras.

- Minera Escondida Ltda. (2011). Prueba piloto planta Laguna Seca. Antofagasta.
- Minera Escondida Ltda. (2012). TPD-SPI-WI-Runtime Laguna Seca. Antofagasta.
- Minería Chilena. (2008). La optimización del chancado. Minería Chilena N°319.
- Minería Chilena. (Diciembre de 2009). El consumo específico de energía. Minería Chilena(342), 171.
- Olmedo, S. (2009). Evaluación de la Moliendabilidad SAG de Minerales Futuros con la Ayuda de Moly-Cop Tools. Antofagasta.
- Véliz, W. (2004). Relación espacio-temporal del sistema pórfido cuprífero y epitermal en el yacimiento Escondida, provincia de Antofagasta, Segunda región, Chile. Antofagasta: Universidad Católica del Norte.
- Wilkomirsky, I. (1972). Proyectos de ingeniería metalúrgica. En I. Wilkomirsky, Proyectos de ingeniería metalúrgica.

ANEXOS

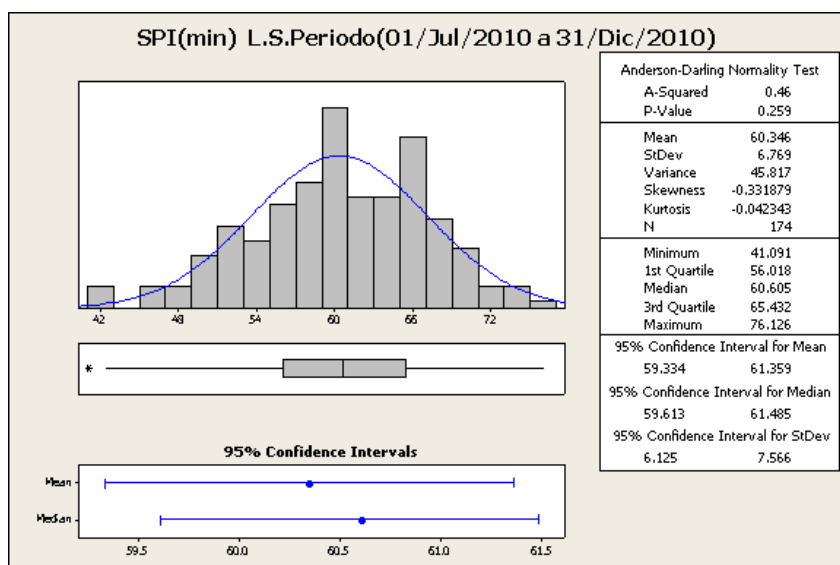
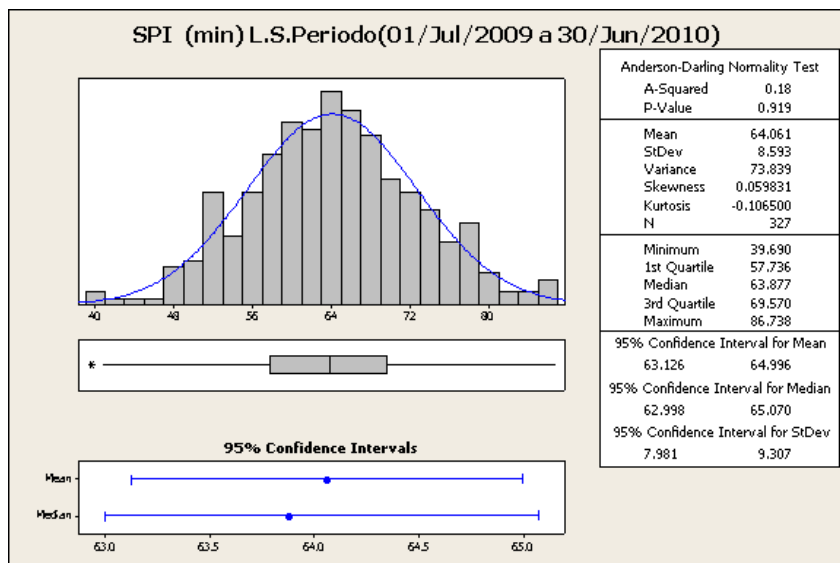
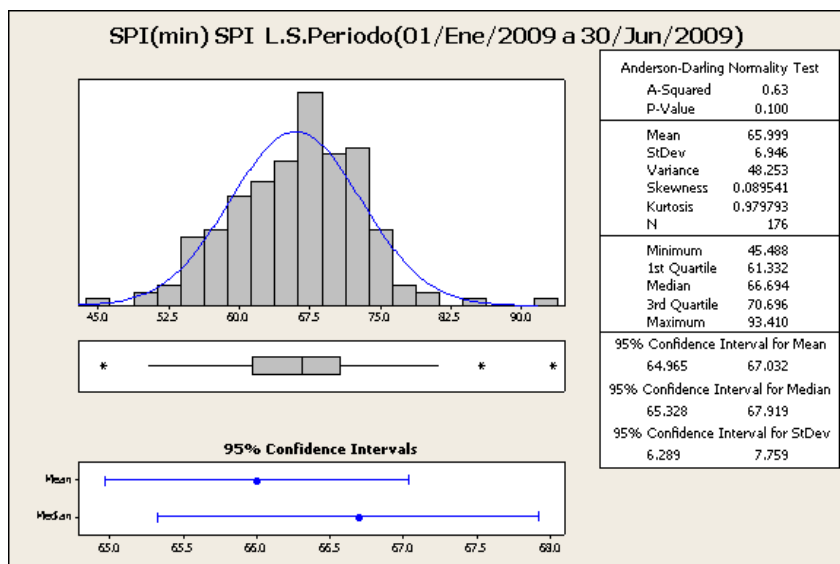
Hitos del proyecto de prechancado

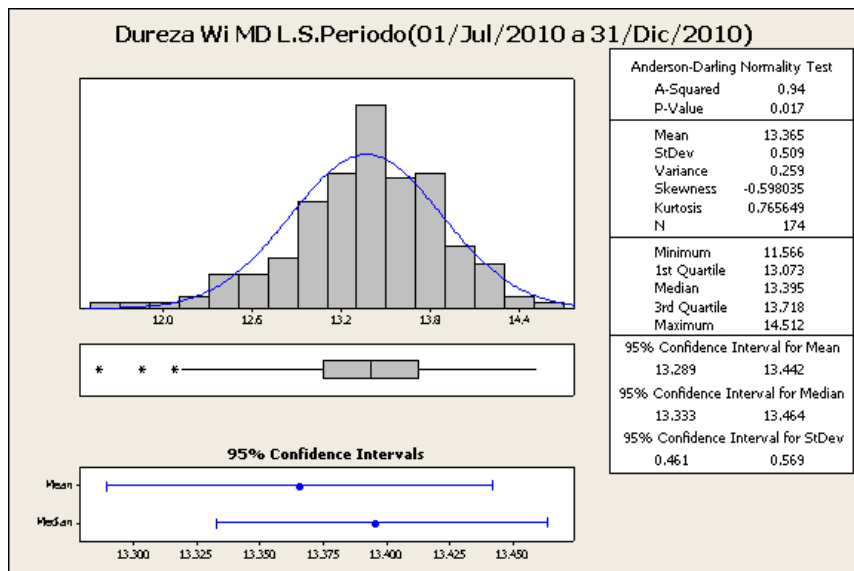
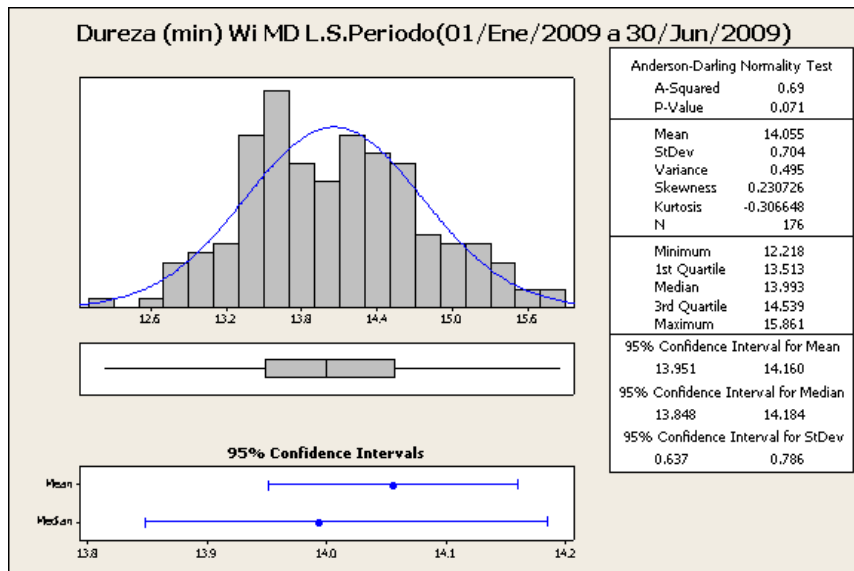
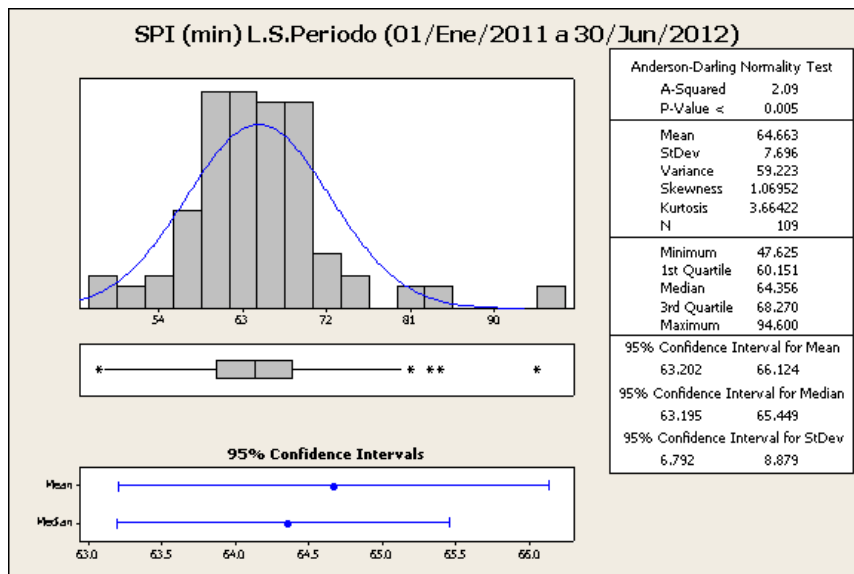
Descripción	Unid	P.U.US\$	CANT	Total US\$
Movimiento de Tierra				
Excav. Maquina comun fund	M3	35	4533	158.949
Excav. Maquina Roca	M3	57	3022	173.662
Excav. Zanjas malla de tierra	M3	19	150	2.915
Relleno Estructural Compactado	M3	36	2100	75.151
Hormigones				
Emplantillados	M3	212	32,1	6.796
Hormigones masivos de equipos	M3	738	1606,8	891.774
Hormigones Fundaciones Estructurales	M3	1528	1531,1	895.694
Pernos de anclaje e insertos	TON	10314	25,1	194.651
Radieres Armados	M3	710	229,7	79.464
Banco Ductos Eléctricos y Camaras	M3	565	35	14.875
Estructuras de Acero				
Estructura de Acero extra pesada	TON	5481	250,7	1.374.087
Estructura de Acero Pesada	TON	5852	109,5	640.794
Estructura de Acero Mediana	TON	6362	98,3	625.345
Estructura de Acero Liviana	TON	6846	99,4	680.492
Parrillas de Piso	TON	14433	80,2	1.157.527
Escaleras Metálicas	TON	14552	2,5	36.379
Barandas y Pasamanos	TON	13308	16,7	222.250
Planta de Harneo				
Grúa Portal 30/5t, 19.8 mt luz	C/U	317111	1	317.111
Correa Capacidad 7200 tph, 72", L=11 m	C/U	121523	1	121.523
Correa Capacidad 28880 tph, 48", L=24 m	C/U	170100	1	170.100
Correa Capacidad 4320 tph, 54", L=24 m	C/U	186840	1	186.840
Correa Capacidad 7200 tph, 60", L=73 m	C/U	635648	1	635.648
Correa Capacidad 7200 tph, 60", L=19 m	C/U	165443	1	165.443

Correa Capacidad 7200 tph, 60", L=20 m	C/U	174150	1	174.150
Correa Capacidad 7200 tph, 60", L=127 m	C/U	1105853	1	1.105.853
Alimentador correa cap. 1.800 tph 60", L=8 m	C/U	232000	4	928.001
Harneros 8" x 20" con 2 mallas Polydeck	C/U	396450	4	1.585.800
Chancador de Cono MP-1000	C/U	3844125	2	7.688.250
Sistema Colector Polvo Estación Chancado	C/U	583200	2	1.166.400
Sistema Colector Polvo Traspasos Correas	C/U	222507	3	667.520
Tecles 2 t	C/U	7088	1	7.088
Tecles 5 t	C/U	10688	5	53.438
Tecles 7.5 t	C/U	14288	1	14.288
Pesómetro	C/U	62798	1	62.798
Electroimán autolimpiante	C/U	177750	1	177.750
Detector de Metales	C/U	11325	1	11.325
Tolva 600 t	TON	9788	67	655.763
Chutes de descarga	TON	9788	278	2.720.925
Cañerías				
Factorización (3% sobre equipos de proceso)				474.383
Electricidad				
Desconector de pedestal	C/U	35760	1	35.760
Interruptor de pedestal	C/U	77190	1	77.190
Pararrayos	C/U	12653	1	12.653
Transformador de Poder 2500 KVA	C/U	168209	1	168.209
Resistencia de puesta a tierra	C/U	23400	1	23.400
Switchgear 480 V	C/U	57270	1	57.270
Centro de Control de Motores 480 V	C/U	84240	4	336.960
Canalizaciones y Bandejas Eléctricas	C/U	56625	1	56.625
Cableado de Fuerza y Control	C/U	119400	1	119.400
Malla de Tierra Cu desnudo 4/0 y 2/0	C/U	30900	1	30.900
Instrumentación				
Factorización (15% Sobre discipl. Eléctrica)				145.917
Total Direct Cost				27.385.481

Contrato EPCM	HH	67	80000	5.320.000
Asesoría Vendor Equipos en Terreno	DIA	2250	10	22.500
Repuestos puesta en marcha	%		3,5	486.461
Servicios Puesta en Marcha	HH	60	2500	150.000
Fletes y derechos de Internación	%		12,5	1.737.357
Fletes Locales sobre materiales Locales	%		4	168.192
Total Indirect Cost				7.884.510
Total Scope Cost				35.269.991
Contingencia (Sobre el costo total)	P%		20	7.053.998
TOTAL PROJECT COST				42.323.989

Gráficos de distribución de dureza periodo 2009-2012





35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%
FY20	FY21	FY22	FY23	FY24	FY25	FY26	FY27	FY28	FY29	
USD 43.292.875	USD 42.275.184	USD 38.146.014	USD 133.694.003	USD 136.810.796	USD 134.116.131	USD 124.791.045	USD 37.957.719	USD 39.835.941	USD 37.886.782	
8.810.590	8.758.217	8.545.722	13.462.818	13623214,1	13484541,13	13004653,03	8536031,739	8632688,912	8532381,178	
34.482.285	33.516.967	29.600.292	120.231.186	123.187.582	120.631.590	111.786.392	29.421.687	31.203.252	29.354.401	
FY20	FY21	FY22	FY23	FY24	FY25	FY26	FY27	FY28	FY29	
7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
0	0	0	0	2.000.000	76.416.989	0	0	0	0	
34.482.285	33.516.967	29.600.292	120.231.186	123.187.582	120.631.590	111.786.392	29.421.687	31.203.252	29.354.401	
34.482.285	33.516.967	29.600.292	120.231.186	125.187.582	197.048.579	111.786.392	29.421.687	31.203.252	29.354.401	
19.912.660	17.894.983	14.611.537	54.871.944	52.823.575	76.872.882	40.320.148	9.811.470	9.620.545	8.367.705	
-15.683.398	-15.683.398	-15.683.398	-15.683.398	-15.683.398	-15.683.398	-15.683.398	-15.683.398	-15.683.398	-15.683.398	
34.482.285	33.516.967	29.600.292	120.231.186	123.187.582	120.631.590	111.786.392	29.421.687	31.203.252	29.354.401	
18.798.887	17.833.569	13.916.894	104.547.788	107.504.184	104.948.193	96.102.994	13.738.289	15.519.854	13.671.003	
6.579.610	6.241.749	4.870.913	36.591.726	37.626.464	36.731.867	33.636.048	4.808.401	5.431.949	4.784.851	
0	0	0	0	-2.000.000	-76.416.989	0	0	0	0	
34.482.285	33.516.967	29.600.292	120.231.186	123.187.582	120.631.590	111.786.392	29.421.687	31.203.252	29.354.401	
-6.579.610	-6.241.749	-4.870.913	-36.591.726	-37.626.464	-36.731.867	-33.636.048	-4.808.401	-5.431.949	-4.784.851	
27.902.674	27.275.218	24.729.379	83.639.460	83.561.117	7.482.734	78.150.344	24.613.286	25.771.303	24.569.550	
16.113.099	14.562.462	12.207.117	38.171.958	35.259.064	2.919.175	28.187.988	8.207.976	7.945.774	7.003.745	
33.605.472	48.167.934	60.375.051	98.547.009	133.806.072	136.725.247	164.913.235	173.121.211	181.066.985	188.070.730	
35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%
FY30	FY31	FY32	FY33	FY34	FY35	FY36	FY37	FY38	FY39	
USD 139.834.832	USD 143.570.963	USD 38.796.381	USD 38.159.069	USD 128.642.398	USD 116.632.635	USD 125.106.086	USD 145.301.578	USD 134.257.434	USD 125.599.323	
13778837,17	13971106,15	8579191,018	8546393,622	13202851,58	12584804,48	13020865,66	14060167,2	13491812,83	13046248,66	
126.055.994	129.599.856	30.217.190	29.612.675	115.439.547	104.047.830	112.085.220	131.241.411	120.765.621	112.553.074	
FY30	FY31	FY32	FY33	FY34	FY35	FY36	FY37	FY38	FY39	
17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
0	0	0	0	0	0	2.000.000	76.416.989	0	0	
126.055.994	129.599.856	30.217.190	29.612.675	115.439.547	104.047.830	112.085.220	131.241.411	120.765.621	112.553.074	
126.055.994	129.599.856	30.217.190	29.612.675	115.439.547	104.047.830	114.085.220	207.658.400	120.765.621	112.553.074	
33.222.321	31.579.431	6.807.493	6.167.996	22.230.763	18.525.336	18.780.008	31.604.521	16.993.246	14.642.786	
-15.683.398	-15.683.398	-15.683.398	-15.683.398	-15.683.398	-15.683.398	-15.683.398	-15.683.398	-15.683.398	-15.683.398	
126.055.994	129.599.856	30.217.190	29.612.675	115.439.547	104.047.830	112.085.220	131.241.411	120.765.621	112.553.074	
110.372.597	113.916.459	14.533.792	13.929.277	99.756.149	88.364.432	96.401.822	115.558.013	105.082.223	96.869.676	
38.630.409	39.870.761	5.086.827	4.875.247	34.914.652	30.927.551	33.740.638	40.445.305	36.778.778	33.904.387	
0	0	0	0	0	0	-2.000.000	-76.416.989	0	0	
126.055.994	129.599.856	30.217.190	29.612.675	115.439.547	104.047.830	112.085.220	131.241.411	120.765.621	112.553.074	
-38.630.409	-39.870.761	-5.086.827	-4.875.247	-34.914.652	-30.927.551	-33.740.638	-40.445.305	-36.778.778	-33.904.387	
87.425.586	89.729.096	25.130.363	24.737.428	80.524.895	73.120.279	76.344.582	14.379.118	83.986.843	78.648.687	
23.041.196	21.864.174	5.661.505	5.152.535	15.507.076	13.018.799	12.567.376	2.188.426	11.818.008	10.231.936	
211.111.926	232.976.100	238.637.605	243.790.140	259.297.216	272.316.015	284.883.391	287.071.817	298.889.826	309.121.762	

35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%
FY40	FY41	FY42	FY43	FY44	FY45	FY46	FY47	FY48	FY49
USD 129.652.092	USD 136.350.717	USD 148.075.430	USD 131.934.091	USD 128.568.232	USD 126.114.292	USD 123.924.200	USD 122.393.852	USD 123.341.592	USD 115.470.083
13254812,47	13599537,48	14202915,29	13372248,85	13199034,8	13072750,06	12960043,39	12881288,53	12930061,18	12524977,17
116.397.279	122.751.179	133.872.515	118.561.842	115.369.197	113.041.542	110.964.156	109.512.563	110.411.530	102.945.106
FY40	FY41	FY42	FY43	FY44	FY45	FY46	FY47	FY48	FY49
27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
0	0	0	0	0	0	0	0	2.000.000	76.416.989
116.397.279	122.751.179	133.872.515	118.561.842	115.369.197	113.041.542	110.964.156	109.512.563	110.411.530	102.945.106
116.397.279	122.751.179	133.872.515	118.561.842	115.369.197	113.041.542	110.964.156	109.512.563	110.411.530	179.362.095
14.000.466	13.650.818	13.764.414	11.270.536	10.139.647	9.185.533	8.336.473	7.606.710	7.219.001	10.649.525
-15.683.398	-15.683.398	-15.683.398	-15.683.398	-15.683.398	-15.683.398	-15.683.398	-15.683.398	-15.683.398	-15.683.398
116.397.279	122.751.179	133.872.515	118.561.842	115.369.197	113.041.542	110.964.156	109.512.563	110.411.530	102.945.106
100.713.881	107.067.782	118.189.117	102.878.444	99.685.799	97.358.145	95.280.759	93.829.165	94.728.133	87.261.708
35.249.858	37.473.724	41.366.191	36.007.456	34.890.030	34.075.351	33.348.266	32.840.208	33.154.846	30.541.598
0	0	0	0	0	0	0	0	-2.000.000	-76.416.989
116.397.279	122.751.179	133.872.515	118.561.842	115.369.197	113.041.542	110.964.156	109.512.563	110.411.530	102.945.106
-35.249.858	-37.473.724	-41.366.191	-36.007.456	-34.890.030	-34.075.351	-33.348.266	-32.840.208	-33.154.846	-30.541.598
81.147.421	85.277.456	92.506.324	82.554.387	80.479.167	78.966.192	77.615.891	76.672.355	75.256.684	-4.013.481
9.760.552	9.483.469	9.511.253	7.847.653	7.073.208	6.416.637	5.831.097	5.325.639	4.832.939	-238.298
318.882.314	328.365.784	337.877.037	345.724.690	352.797.898	359.214.535	365.045.632	370.371.271	375.204.210	374.965.912
35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%
FY50	FY51	FY52	FY53	FY54	FY55	FY56	FY57	FY58	
USD 108.794.535	USD 118.005.872	USD 118.381.737	USD 112.300.943	USD 111.766.244	USD 112.414.164	USD 109.623.496	USD 105.989.352	USD 109.180.709	
12181439,76	12655474,12	12674816,89	12361886,73	12334370	12367713,31	12224099,83	12037079,32	12201313,06	
96.613.095	105.350.398	105.706.920	99.939.056	99.431.874	100.046.451	97.399.397	93.952.273	96.979.396	
FY50	FY51	FY52	FY53	FY54	FY55	FY56	FY57	FY58	
37	38	39	40	41	42	43	44	45	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
96.613.095	105.350.398	105.706.920	99.939.056	99.431.874	100.046.451	97.399.397	93.952.273	96.979.396	
96.613.095	105.350.398	105.706.920	99.939.056	99.431.874	100.046.451	97.399.397	93.952.273	96.979.396	
5.303.577	5.346.904	4.960.243	4.335.789	3.988.337	3.710.233	3.339.559	2.978.334	2.842.359	
-15.683.398	-15.683.398	-15.683.398	-15.683.398	-15.683.398	-15.683.398	-15.683.398	-15.683.398	-15.683.398	
96.613.095	105.350.398	105.706.920	99.939.056	99.431.874	100.046.451	97.399.397	93.952.273	96.979.396	
80.929.697	89.667.001	90.023.523	84.255.658	83.748.476	84.363.053	81.715.999	78.268.875	81.295.998	
28.325.394	31.383.450	31.508.233	29.489.480	29.311.967	29.527.068	28.600.600	27.394.106	28.453.599	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
96.613.095	105.350.398	105.706.920	99.939.056	99.431.874	100.046.451	97.399.397	93.952.273	96.979.396	
-28.325.394	-31.383.450	-31.508.233	-29.489.480	-29.311.967	-29.527.068	-28.600.600	-27.394.106	-28.453.599	
68.287.701	73.966.948	74.198.687	70.449.576	70.119.907	70.519.382	68.798.797	66.558.167	68.525.796	
3.748.654	3.754.083	3.481.735	3.056.407	2.812.597	2.615.219	2.358.922	2.109.927	2.008.415	
378.714.566	382.468.650	385.950.385	389.006.792	391.819.389	394.434.608	396.793.530	398.903.458	400.911.873	