

ME. ICI
(14)
2010

03894
-C. O

Universidad Gabriela Mistral
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Civil Industrial



Proyecto de Tesis:

**PROYECTO CAMBIO DE TECNOLOGÍA
CHANCADO TERCIARIO Y CUATERNARIO
CODELCO CHILE – DIVISION ANDINA**

MEMORIA PARA OPTAR A TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL



Nombre: Samuel Mendoza M
Profesor Guía: Luis Escobar.

-NON ambe 2010.

Índice

	Pág.
I Introducción	3
1.0 Descripciones Generales	
1.1 Descripción de la Empresa	3
1.2 Procesamiento de Mineral	4
1.3 Descripción del proyecto	5
1.3.1 Descripción General	6
1.3.2 Descripción de área Chancado Fino	6
1.3.3 Descripción de área Molienda Convencional	6
1.3.4 Flujos del Mineral	7
1.4 Misión y Visión del Proyecto	9
2.0 Análisis Estratégico	
2.1 Análisis externo de la industria del cobre	10
2.1.1 Análisis de factores externo (PEST)	10
2.1.2 Las 5 fuerza de Porter	12
2.2 Conclusiones del Análisis Externo	15
2.3 Análisis interno de División Andina	17
2.3.1 Análisis de la Operación	17
2.3.2 Recursos y Capacidades	19
2.3.3 Cadena de Valor	20
2.3.4 Diagnostico Análisis Interno	22
2.4 Análisis Estratégico	25

2.4.1 FODA	25
2.4.2 Atractivo de la Industria / Fortalezas del Negocio	27
2.5 Análisis Funcional	28
3.0 Proyección de la Demanda	
3.1 Factores que influyen en la Demanda	31
3.2 Crecimiento de China	31
3.3 Proyección de la demanda de cobre	32
3.4 Como se prepara la División Andina para enfrenta la demanda	35
4.0 Tecnología de Chancado Fino	
4.1 Descripción de cambio de tecnología	36
4.2 Descripción del proceso actual en la planta de Chancado Fino	37
4.3 Tecnología de los Chancadores HPGR	38
4.4 Desgaste de componentes	41
4.4.1 Aspectos relacionados con el Mantenimiento	42
4.4.2 Mantenimiento en el área Molienda	43
4.5 Balance de Líneas	
4.5.1 Balance de Flujos	43
4.5.2 Balance de Energía	45
4.5.3 Insumos	46
4.6 Inversiones del Proyecto	47
4.7 Costos del Proyecto	49
4.7.1 Costos Variables	49

5.0 Modelo de Simulación de Producción

5.1 Modelo de Simulación de Producción	51
5.1.1 Operación Minera Vigente	51
5.1.2 Diseño Proyectado	53
5.2 Descripción del modelo de producción por procesos	54
5.2.1 Chancado Fino	54
5.2.2 Harnero	56
5.2.3 Tolva	56
5.2.4 Molienda Convencional	57
5.2.4.1 Molino de Barras	57
5.2.4.2 Molino de Bolas	57
5.2.5 Molino Unitario	58
5.3 Consumos de energía área Chancado y molienda plata actual y proyectada	58
5.3.1 Calculo del ahorro de energía utilizando HPGR	60

6.0 Modelo de Simulación de Costos

6.1 Simulación del Modelo de Costos	62
6.1.1 Materiales y Repuestos	62
6.1.2 Consumo de Energía	63
6.1.3 Servicios de Terceros	64
6.2 Identificación de costos por equipos mayores	66
6.2.1 Chancado Terciario	66
6.2.2 Chancado Cuaternario	67
6.2.3 Molino de Barras	68
6.2.4 Molino de Bolas	68

6.2.5 Molino Unitario	69
6.3 Calculo de simulación Materiales y Repuestos	71
6.3.1 Calculo simulado - Superficie Rodillo HPGR (Revestimiento)	71
6.3.2 Calculo simulado – Rodillo HPGR	72
6.3.3 Calculo simulado – Partes y repuestos menores de acero (PRMA)	73
6.3.4 Calculo simulado – Lubricación mas Servicio	74
6.3.5 Calculo simulado – Sistema y Componentes Eléctricos	74
6.3.6 Calculo simulado – Componentes Mecánicos	75
6.4 Calculo simulado - Gasto de Energía	76
6.5 Calculo simulado – Servicios de Terceros	79
6.6 Costos Fijos	79
6.7 Aumento de Recuperación de Cobre fino utilizando HPGR	80
6.7.1 Descripción del Análisis	80
6.7.2 Calculo del factor de Recuperación de mineral fino	81
6.7.3 Factor de recuperación aplicado a la producción de finos proyectado	82

7.0 Modelo de Simulación Financiero

7.1 Descripción del modelo – Simulación financiera	85
7.1.1 Supuestos	85
7.1.2 Estados de Resultados	86
7.1.2.1 Ventas	86
7.1.2.2 Costo Producto Vendido	87
7.1.2.3 Pago de Intereses	87
7.1.2.4 Depreciación	87
7.1.2.5 Utilidades antes de Impuesto	88

7.1.2.6 Impuestos	88
7.1.2.7 Utilidades después de impuesto	88
7.1.2.8 Flujo de Caja	89
7.2 Balance	89
7.2.1 Activos	89
7.2.1.1 Activos Circulantes	89
7.2.2 Activos Fijos	90
7.2.3 Depreciación	91
7.2.4 Pasivos	91
7.2.4.1 Pasivos Circulantes	91
7.2.5 Pasivos largo plazo	91
7.2.6 Patrimonio	91
7.3 Flujo de Caja	92
7.3.1 Utilidades después de Impuesto	92
7.3.2 Depreciación	92
7.3.3 Pago de interés después de Impuesto	92
7.3.4 Aumento en activos excepto caja	92
7.3.5 Aumento pasivo circulante	92
7.3.6 Aumento de activos fijos al costo	92
8.0 Resultados de Producción y Costos	
8.1 Resultados Productivos	93
8.2 Resultados de costos de operación	94

9.0 Evaluación Económica	97
9.1 Inversión Inicial	97
9.1.1 Costos indirectos del proyecto	98
9.1.2 Costo Codelco	98
9.1.3 Costos por Contingencias	98
9.1.4 Costos EPCM	98
9.2 Activos Fijos	99
9.2.1 Reducción de Costos de Energía	99
9.2.2 Calculo de la Tasa de Descuento (WACC)	99
9.2.3 Calculo CAPM	100
9.2.4 Tasa libre de Riesgo	100
9.2.5 Riesgo sistemático de la Industria (Beta)	101
9.2.6 Riesgo del Mercado	102
9.2.7 CAPM	102
9.3 Calculo del WACC	102
9.4 Estados de Resultado, Balance y Flujo de Caja	103
9.4.1 Estado de Resultado	104
9.4.2 Ingresos por Venta	104
9.4.3 Costo Variable	105
9.4.4 Costos Fijos	106
9.4.5 Depreciación	106
9.4.6 Utilidades Después de Impuesto	107
9.5 Balance	107
9.6 Flujo de Caja Libre	107

9.7 VAN y TIR	108
9.8 TIR	108
9.9 Sensibilización	108
10. Conclusiones	110
11. Bibliografía	112
Anexos	
• Anexo N° 1	113
Tabla de gastos proyectados al año 2019	113
• Anexo N° 2	114
Tabla N° 4 Programa de Mantenimiento de la Prensa Rodillo (HPGR)	114
Matriz cambio de control de repuestos para equipo HPGR	114
• Anexo N° 3	116
Detalles: Estados de Resultados, Balance, flujo de caja y Valor de la Empresa.	116
• Anexo N° 4	117
Diagrama de Flujos Chancado Terciario y Cuaternario	117
Fotografías Chancador HPGR	117
• Anexo N° 5	120
Gráficos – Valor de de Firma con y sin Proyecto.	120

Índice: Figuras

Descripción	Pag.
Figura 1: Mapa de Ubicación División Andina	3
Figura 2: Representación de Flujos de Mineral	8
Figura 3: Suply Chain – Industria del Cobre	10
Figura 4: Modelo de las 5 fuerzas (Porter)	12
Figura 5: Flow-Sheets Operacional – Division Andina	18
Figura 6: Flow-Sheets – Area Conminución	19
Figura 7: Cadena de Valor División Andina	21
Figura 8: Cadena de Valor área Conminución	21
Figura 9: Flow-Sheets sin Proyecto	28
Figura 10: Cadena de Valor área conminucion con proyecto	29
Figura 11: Flow-Sheets con proyecto	29
Figura 12: Cuadro resumen - Urbanización de China	31
Figura 13: Proyección de aumento de la demanda al año 2020	32
Figura 14: Consumo mundial de cobre	33
Figura 15: Consumo mundial de cobre refinado	33
Figura 16: Layout actual de la planta chancado terciario y cuaternario	37
Figura 17: Vista general del un chancador HPGR	38
Figura 18: Componentes principales de un equipo HPGR	39
Figura 19: Consola de operación y control HPGR	40
Figura 20: Componentes principales expuestos a desgastes severos	42
Figura 21: Perfil rodillo – Equipo HPGR (Llanta)	42
Figura 22: Radiografía – Comparación Chancado Actual v/s Proyectado	44
Figura 23: Efecto de trituración del mineral utilizando HPGR	44

Figura 24: Flow-Sheets con proyecto área Conminución	45
Figura 25: Flow-Sheet operacional Division Andina	51
Figura 26: Distribución del tonelaje de mineral a procesar	52
Figura 27: Flujo proyectado utilizando HPGR	53
Figura 28. Flujo de mineral chancado fino	54
Figura 29: Flujo de mineral a Molienda Convencional	54
Figura 30: Formula - Tercera ley de conminución – Índice de Bond	61
Figura 31: Modelo de costos simulación proyectada	62
Figura 32: Diagrama de flujos – Modelo de simulación de Costos Situación Actual	70
Figura 33: Consumo de Energía simulado utilizando HPGR	76
Figura 34: Desglose de ventas de cobre y subproductos (Codelco)	86
Figura 35: Grafico simulación de VAN	108



Índice: Tablas

Descripción	Pag.
Tabla N° 1 : Proyección de gastos año 2010-2018	9
Tabla N° 2: Resumen de la demanda y oferta mundial de cobre años 2008 -2018	34
Tabla N° 3: Descripción de equipos modelos y potencia (Área Chancado Fino)	37
Tabla N° 4: Consumo totales de potencia (HP) del área chancado fino	46
Tabla N° 5: Costos de inversión del Proyecto	48
Tabla N° 6: Costos variables implementar el Proyecto	50
Tabla N° 7: Ficha técnica HPGR instalado en Mauritania	55
Tabla N° 8: Consumo de energía expresada en HP para el área Chancado fino	59
Tabla N° 9: Consumo de energía expresado en HP para el área Molienda Conv.	60
Tabla N° 10: Comp. costos – Gastos de energía situación actual y proyectada	64
Tabla N° 11: Comp. Servicios de terceros –Costos Situación Actual y Proyectada	65
Tabla N° 12: Valores unitarios – Ítem Materiales y Repuestos	71
Tabla N° 13: Cuadro Resumen consumos de energía por equipos área Conminución	77
Tabla N° 14: Resumen de costos por energía utilizando HPGR	78
Tabla N° 15: Costos totales – Ítem Servicios de Terceros	79
Tabla N° 16: Resumen de Costos Fijos	80
Tabla N° 17: Granulometría obtenida -Molienda convencional con y sin proyecto	80
Tabla N° 18: Datos estadísticos para obtener el factor de Recuperación de Finos	82
Tabla N° 19: Calculo de recuperación de cobre fino proyectado al año 2025	82
Tabla N° 20: Resumen de ingresos proyectados – Recuperación de Fino (Proyecto)	84
Tabla N° 21: Cuadro de relación de WI – Ahorro de energía	93
Tabla N° 22: Variación de la utilización de chancadores v/s (%) de Energía Ahorrada	94
Tabla N° 23: Detalle de costos variables del proyecto	95

Tabla N° 24: Comparación consumo de energía situación actual v/s proyectada	96
Tabla N° 25: Cuadro de Inversiones del proyecto	97
Tabla N° 26: Resumen calculo del Beta promedio	101
Tabla N° 27: Listado de supuesto económicos	103
Tabla N° 28: Cuadro demostrativo con ingresos adicionales utilizando HPGR	104
Tabla N° 29: Cuadro comparativo costos variables	105
Tabla N° 30: Equipos depreciados por el proyecto	106
Tabla N° 31: Flujo de Caja.	107

Resumen Ejecutivo

El objetivo central de este proyecto es cuantificar la cantidad de energía ahorrada utilizando equipos chancadores de última tecnología en el área chancado de finos de la División Andina de Codelco Chile, logrando beneficios económicos adicionales a los actualmente obtenidos en los procesos productivos. Un segundo aspecto relevante del proyecto es evaluar la mayor recuperación de cobre fino utilizando chancadores HPGR.

Durante el año 2009, el mercado del cobre fue impactado por los efectos de la Crisis Financiera Internacional, sufriendo las bruscas caídas de la demanda y los precios. El sólido crecimiento del consumo chino y las expectativas de recuperación económica mundial alentaron el aumento del precio del cobre.

El futuro se perfila auspicioso para la demanda de cobre. Hoy en día, los países emergentes ya representan más del 50% del consumo de cobre. El crecimiento de estas economías, liderado por China, sumado al desarrollo de nuevos usos y aplicaciones del cobre, podría sustentar el crecimiento del consumo a un ritmo superior al promedio histórico.

Para responder a los desafíos del futuro, Codelco está administrando la más ambiciosa cartera de proyectos de su historia, un ejemplo lo constituye los megaproyectos contemplados para la División Andina.

Codelco Chile División Andina es una empresa dedicada a la producción de concentrado de cobre y molibdeno dentro de sus instalaciones se puede encontrar una diversidad de maquinarias sofisticadas de última generación contrastando con otras de más de 30 años, que datan de la creación de la empresa. Los equipos antiguos que se encuentran ubicados en algunas plantas productivas no son eficientes sus consumos de energía son altos, sus repuestos son escasos su mantención es compleja, estas razones motivaron a desarrollar un proyecto que atendiera a mejorar los parámetros productivos con la implementación de un proyecto enfocado al ahorro de energía.

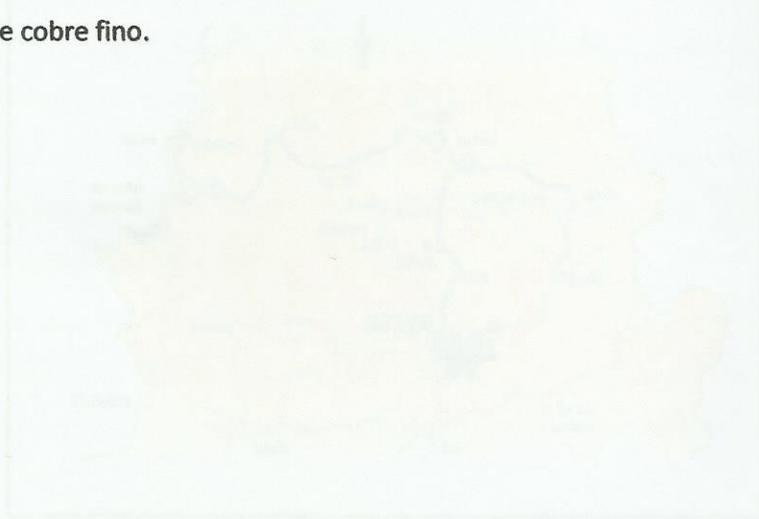
El proyecto de tesis contempla realizar un cambio tecnología en la planta de chancado fino, para ello se requiere reemplazar los chancadores terciarios y cuaternarios por equipos de última

generación llamados Chancadores HPGR. Además, se pretende obtener una mayor recuperación de cobre fino, producto de la trituración de mineral en forma más eficiente.

La evaluación económica del proyecto se realizó en dos escenarios. El primer escenario busca reducir en un 25% los costos en el consumo de energía utilizada en el área chancado fino. El segundo escenario es cuantificar el aumento porcentual en la recuperación de cobre fino obtenido en el proyecto.

Con los resultados de la simulación se ha obtenido un VAN promedio de MUSD 1.442.178 con una desviación estándar de MUSD 220.

Con lo anteriormente mencionado se recomienda realizar el proyecto ya que los resultados de la simulación han arrojado beneficios económicos en ahorro de energía y el aumento en la recuperación de cobre fino.



Fuente: Presentación Divisinal 2016.

El yacimiento de la División andino está compuesto principalmente por tres cuerpos mineralizados, Don Luis, Sur-Sur y Río Blanco. El Plan de extracción de mineral está sustentado principalmente en el rajo Don Luis hasta la cota 3.024, y el rajo Sur-Sur, hasta la cota 3.724. Como minería subterránea se considera al El Falso y al Sur-Sur (entre cota 3.384 (Nv17).

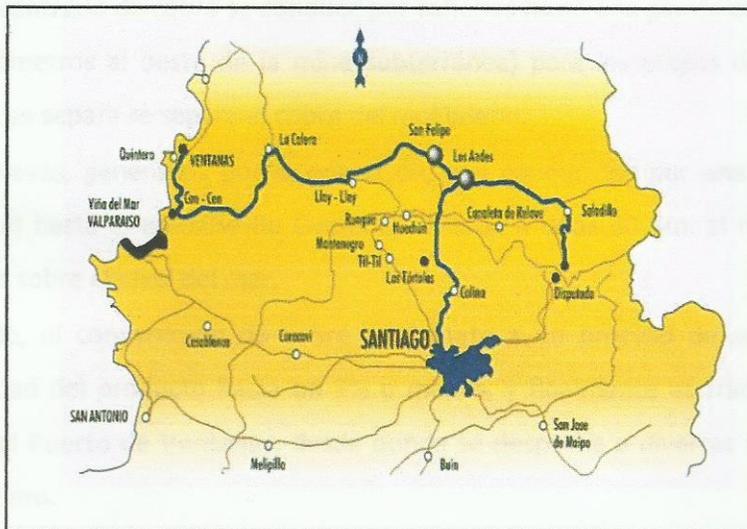
I. Introducción

1.1 Descripción de la Empresa

División Andina de una de las más importantes Divisiones de la Corporación, los principales proyecto de expansión de Codelco están proyectados en esta División.

División Andina se encuentra ubicada en la parte alta de la cordillera de la V región, a 38 kms. De la ciudad de Los Andes y a 80 kilómetros al nordeste de Santiago. Sus operaciones mineras, se desarrollan entre los 3.500 y 4.200 metros sobre el nivel del mar. Sus productos de exportación se embarcan regularmente, a través del Puerto de Ventanas. Su producción principal es el Concentrado de Cobre y Concentrado de Molibdenita.

Figura N° 1: Mapa de Ubicación División Andina



Fuente: Presentación Divisional 2008

El yacimiento de la División Andina está compuesto principalmente por tres cuerpos mineralizados, Don Luís, Sur-Sur y Río Blanco. El Plan de extracción de mineral esta sustentado principalmente en el rajo Don Luís hasta la cota 3.036, y el rajo Sur-Sur, hasta la cota 3.724. Como minería subterránea se considera el III Panel y el Sur-Sur sobre cota 3.184 (Nv17).

1.2 Procesamiento del Mineral

El procesamiento de mineral considera las siguientes operaciones unitarias:

- **La primera etapa es la extracción** de mineral en las minas a cielo abierto y subterráneo de Andina, el mineral se envía a las plantas de chancado primario, chancado secundario, terciario y cuaternario donde es triturado y posteriormente, conducido por correas hasta las instalaciones de molienda y flotación colectiva en la Planta Concentradora.
- **La etapa de molienda** se realiza mediante tres sistemas paralelos: molienda convencional, Molienda unitaria y molienda SAG. Su objetivo es disminuir el tamaño de las partículas de mineral y prepararlo para el siguiente proceso, flotación.
- **La flotación** genera la separación de las partículas sulfuradas de cobre y molibdeno desde la roca estéril, proceso por el cual se obtiene un concentrado colectivo de cobre y molibdeno cuyas leyes alcanzan al 30% y 0,39%, respectivamente.
- El **concentrado** de cobre se conduce por cañerías hasta una planta en superficie (en Saladillo, 30 kilómetros al oeste de la mina subterránea) para las etapas de flotación selectiva, en donde se separa el cobre del molibdeno.
- **Los relaves**, generados por la operación, son conducidos por una canaleta de 87 Km. de longitud hasta el embalse de Ovejería, ubicado a unos 30 Km. al norte de Santiago, a 600 metros sobre el nivel del mar.
- **Filtrado**, el concentrado de cobre se somete a un proceso de secado que disminuye la humedad del producto hasta un 9% o menos, y finalmente es transportado por ferrocarril hacia el **Puerto de Ventanas**, desde donde se despacha a diversas fundiciones de Chile y el extranjero.

El desarrollo de este estudio se focaliza en el área chancado específicamente en el Chancado Terciario y Cuaternario (Chancado Fino).

A continuación se realiza una descripción del proyecto

1.3 Descripción del Proyecto

1.3.1 Descripción General

El proyecto desarrolla un cambio de tecnología en los chancadores terciarios y cuaternarios reemplazando el actual circuito de chancado por un uno de última generación utilizando para ello chancadores de rodillo denominado HPGR, este chancador optimizará el proceso de trituración del mineral disminuyendo en forma efectiva la granulometría de la roca y dejandola micro fracturada de esta manera facilita el proceso de siguiente correspondiente a la molienda, esto implica disminuir el desgaste de los molinos debido a que la roca presenta un disminución de su dureza producto del paso por el chancador HPGR.

El proyecto esta enfocado a reducir en forma considerable el consumo de energía utilizando esta nueva tecnología. Los actuales chancadores del área de finos presentan problemas de repuestos, alto consumo de energía, generación de cuellos de botella, esto debido a que son maquinas antiguas que no se adaptan a las actuales políticas de disminución de costos operacionales.

Actualmente los sistemas eléctricos de División Andina se alimentan desde el Sistema interconectado Central, uno en el nivel de tensión de 66 KV y otro en el nivel de tensión de 220 KV. Sin embargo, el sistema en 220 KV presenta vulnerabilidades debido a su trazado por la alta cordillera, con severas condiciones meteorológicas y geográficas, en tanto el sistema 66 KV presenta limitaciones que se están solucionando para mejorar el respaldo actual y el de los futuros mega proyectos.

Adicionalmente, el proyecto se sustenta con la máxima utilización de las instalaciones existentes, de manera que los nuevos equipos considerados se ubiquen en los mismos lugares de los equipos actuales, es por esta razón que el diseño realizado no ha considerado nuevas instalaciones. Constituye un hecho relevante que las modificaciones en el layout actual de la planta serán mínimas según lo establecido en el proyecto de manera de no intervenir ni detener sus procesos (chancado, molienda y flotación colectiva). Nuevos proyectos de esta magnitud posiblemente deberán considerar la construcción de nuevas cavernas, accesos y túneles.

Desde el punto de vista metalúrgico, el circuito de tratamiento del mineral hasta la obtención de los productos finales no ha sido alterado respecto a la actual situación, por cuanto no se espera un cambio radical en la mineralogía del mineral a procesar. No obstante, se ha contemplado la reducción

del tamaño del mineral procesado por el Chancador HPGR y molinos de Molienda Convencional a valores de 240 micrones de modo de aumentar la recuperación de cobre fino. La granulometría obtenida como producto final del proceso de conminución es la requerida para la siguiente etapa del proceso del mineral, (Flotación).

1.3.2 Descripción del Área Chancado Fino

La actual planta de chancado terciario cuenta con 4 líneas, cada una formada por 2 harneros de 8'x 16' en alimentación y descarga del circuito y un chancador de cono 7' simmond con motor de 300 HP. La planta de chancado cuaternario está formada por 3 líneas en circuito cerrado, cada una formada por un harnero de 8'x 16' y un chancador de cono 7' simmond con motor de 300 HP. La estadística operacional muestra un tratamiento promedio de 35 KTPD, con valores máximos en el rango 38 – 42 KTPD con un 13% de ocurrencia.

El proyecto contempla el reemplazo de 7 equipos que componen el chancado terciario (4) y el chancado cuaternario (3), por 2 chancadores HPGR cuyas características y comportamiento permiten una pequeña variación en los HP consumidos en el área chancado y un ahorro importante en costos de energía en el área Molienda.

1.3.3 Descripción del Área Molienda Convencional.

El mineral procesado por la planta de chancado fino es almacenado en tres tolvas de fino de 5.000 toneladas, las que alimentan respectivamente a cada una de las 3 secciones de la molienda convencional: A, B y C. Cada una de estas secciones está compuesta de:

- 3 alimentadores de correa (correas 9)
- 1 correa transportadora de 36" con pesómetro (10A - 10B - 10C)
- 1 molino de barras de 11,5' de diámetro, 16' de largo y 1.800 HP de potencia.
- 3 molinos de bolas de 12,5' de diámetro, 16' de largo y 1.750 HP de potencia.

En cada caso la pulpa descargada de los molinos de barras, se divide en tres partes iguales, siendo cada una de ellas enviada por tuberías a las cubas de las bombas que alimentan los hidrociclones, que operan en sentido inverso a su respectivo molino de bolas. Siendo su descarga la que alimenta los

molinos de bolas y la descarga de los molinos alimentan las cubas de los hidrociclones. El rebalse de estos hidrociclones constituye el producto final de la molienda convencional y se envía a flotación colectiva.

Adicionalmente a estas 3 secciones de molienda, se cuenta con un Molino Unitario de 16' diámetro por 24,5' de largo y 3.800 HP, que es alimentado desde la tolva de finos A. este molino opera por rebalse y su descarga es clasificada en una batería de hidrociclones, a que permite devolver el grueso al molino y envía el fino a flotación.

Suministro y Manejo de Bolas de Molienda

El objetivo de este suministro es abastecer de bolas de distintas características y tamaños al proceso de molienda. Esto se realiza mediante la administración de contratos con distintas empresas proveedoras las cuales cuentan con flotas de camiones adecuados para el transporte de este material desde sus bodegas hasta el Km. 7 o en algunos casos hasta los silos ubicados en la planta concentradora.

La infraestructura actual con la que se cuenta para este suministro son:

- 7 Silos ubicados en el KM 7 con una capacidad de 273,6 toneladas cada uno.
- 4 Silos ubicados en la planta concentradora más 3 buzones que permiten abastecer de bolas a los distintos procesos de molienda (Unitaria, Convencional, SAG).

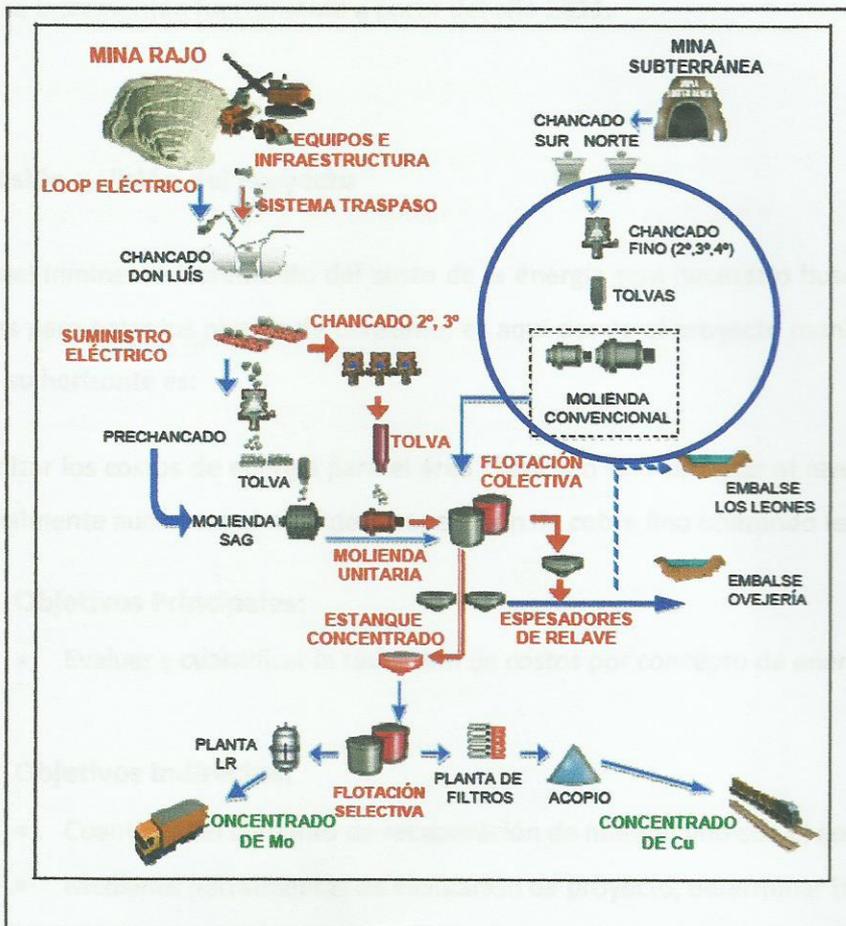
En general la conminución consume un 80% del total de la energía consumida en una planta concentradora típica; consecuentemente, la eficiencia del proceso en gran medida determinará la eficiencia global del proceso de concentración.

En resumen el mayor costo de energía en la planta es consumida con el área de conminución y no es precisamente el área chancado la que demanda mayor consumo sino que es la molienda con sus molinos de barras, bolas y unitario lo que indirectamente de ven beneficiados con este proyecto de tesis.

1.3.4 Flujos del Mineral

A continuación se representa el flujo del mineral en la fig. N° 2 se destaca en forma especial el área donde el proyecto se inserta en la cadena productiva de la planta.

Figura N° 2: Representación del Flujo de Mineral



Fuente: Presentación Corporativa Proyecto expansión PNA Fase II

Se pronostica que el costo por tonelada tratada crecerá de USD 10,4 el año 2010 a USD 11,7 el año 2014, originado claramente por el aumento significativo del vector de depreciación años 2011 - 2012 y un fuerte aumento del precio de la energía el año 2011.

Esta proyección justifica la realización de proyectos enfocados al ahorro de energía y al uso eficiente de ella. El proyecto de tesis justificará aun más su desarrollo en la medida que los costos por consumo de energía suban considerablemente en el futuro inmediato.

Mediante la simulación de los procesos se demuestra que un aumento en el valor de la energía (situación con proyecto) disminuye los costos, por el contrario un aumento en el valor de la energía aumentarían los costos sustancialmente.

A continuación en la tabla N° 1 (ver anexo 1) se proyecta los gastos por concepto de energía los cuales se incrementan fuertemente a partir del año 2011.

2.1. Análisis Externo de la Industria del Cobre

1.4 Misión y Visión del Proyecto

A raíz del inminente incremento del costo de la energía será necesario buscar todas las alternativas posibles para bajar los niveles de consumo, es aquí donde el proyecto manifiesto todo su potencial, ya que su horizonte es:

“Minimizar los costos de energía para el área chancado fino sin bajar el nivel actual de producción y adicionalmente aumentar el nivel de recuperación de cobre fino utilizando tecnología HPGR”

- **Objetivos Principales:**

- Evaluar y cuantificar la reducción de costos por concepto de energía utilizada.

- **Objetivos Indirectos.**

- Cuantificar el aumento de recuperación de mineral fino con el escenario con proyecto
- Mediante herramientas de evaluación de proyecto, determinar la viabilidad de realización del proyecto,

2.1.1 Análisis de Factores Externos (PEST)

Este modelo proyecta un conjunto de factores divididos en cinco grandes categorías:

Factores Políticos

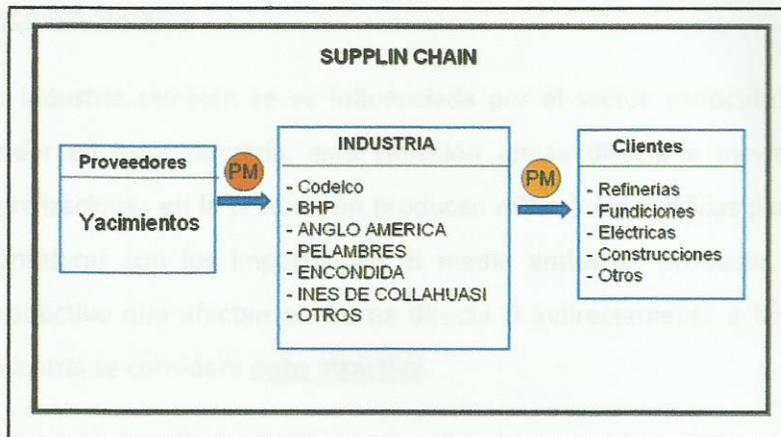
La industria del cobre es fuertemente afectada por las inestabilidades políticas, la corrupción y proyectos de gran inversión pasan por regulaciones gubernamentales, mayores exigencias en el marco jurídico regulatorio. Las restricciones medio ambientales son cada vez más restrictivas. De este análisis la industria se considera poco estratégica.

2. Análisis Estratégico

2.1. Análisis Externo de la Industria del Cobre

Grupo de Empresas de la minería del cobre que compiten por la extracción, producción y comercialización, ofreciendo productos como Concentrado de cobre y Cobre fino a sus clientes. Para definir la industria se utilizara la Supply Chain de la Industria del Cobre.

Figura N° 3: Supply Chain – Indústria de Cobre



Fuente: Confección personal

2.1.1 Análisis de Factores Externos (PEST)

Este modelo proporciona un conjunto de factores divididos en cinco grandes categorías:

Factores Políticos

La industria del cobre es fuertemente afectada por las inestabilidades política jurídica, la aprobación a proyecto de gran inversión pasan por regularizaciones gubernamentales, mayores s exigencias en el marco jurídico regulador. Las restricciones medio ambientales son cada vez más restrictivas. De este análisis la industria se considera **poco atractiva**.

Factores Económicos

- El factor económico no es relevante, el cobre es un commodity y su precio esta fijado por las bolsas internacionales por lo tanto la industria se mueve prácticamente en una competencia perfecta donde la industria no influye en el mercado. Por la misma razón el factor inflacionario no constituye un elemento que afecte a la industria del cobre en forma directa. De este análisis la industria se considera **poco atractiva**.

Factores Sociales

- La industria también se ve influenciada por el sector sociocultural, los sindicatos tienen gran poder en esta industria, esta situación afecta directa e inevitablemente a los clientes, las paralizaciones en la producción producen millonarias pérdidas para la industria. Otro aspecto a considerar son los impactos en el medio ambiente producto de los desechos del proceso productivo que afectan en forma directa o indirectamente a las personas. De este análisis la industria se considera **poco atractiva**.

FACTORES TECNOLÓGICO

- La tecnología es un factor muy relevante para la industria del cobre, el no tecnificar la industria significa perder participación de mercado, la tecnología hace más eficientes los procesos reduciendo costos y mejorando los procesos dentro de la industria transversalmente. Los avances tecnológicos han permitido la automatización de un sinnúmero de actividades que antes se realizaban manualmente a un costo mayor y con un grado de eficiencia muy por debajo de un proceso automatizado. De este análisis la industria se considera **atractiva**.

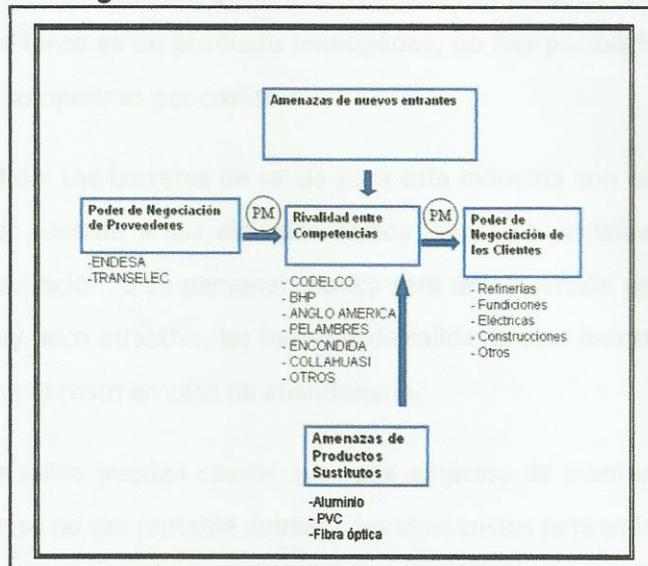
Del análisis de los factores externos antes expuestos se tendería a pensar que la industria es poco atractiva, sin embargo, el gran crecimiento de la industria en los últimos 50 años, las mayores inversiones, la creciente oferta y demanda por este commodity han a la industria atractiva, principalmente por la importancia fundamental que ha tenido el factor tecnológico en la minería.

2.1.2 Las 5 Fuerzas de Porter

Mediante el análisis de las 5 fuerza estructuras de Michael Porter se analiza la industria del cobre.

Este modelo proporciona un conjunto de factores divididos en cinco grandes fuerzas

Figura N° 4: MODELO DE LAS CINCO FUERZAS



Fuente: confección Propia

Amenazas de Nuevos Entrantes

Barreras de Entrada: La barrera de entrada más importante en esta industria son las economías de escala aplicadas por las grandes empresas mundiales que compiten por costo, al aplicar esta economía al commodity se genera una reducción de sus costos medios. Por otro lado sus altos costos fijos constituye una barrera muy alta para los posibles entrantes hace que sea muy difícil competir con éxito en esta industria. Por otro lado existen factores que dificultan aun más a los nuevos entrantes como es el alto grado de tecnología de la industria, el recurso humano capacidades técnicas difíciles de encontrar en el mercado y un alto requerimiento de capital. La industria en este punto es Atractivas porque la llegada de un nuevo competidor es muy difícil por lo tanto todo el mercado es para los que están dentro de la industria.

Amenaza de nuevos entrantes: Atractiva

Rivalidad entre Competidores

Existe una fuerte rivalidad en la industria del cobre un 60% de la producción mundial esta en manos de 8 empresas, como en esta industria se compite por costo la rivalidad al interior de la industria es muy agresiva cada uno busca la oportunidad de aumentar su participación de mercado. El cobre es un commodity por tanto es un producto homogéneo, no hay posibilidad de diferenciarse, por ende la única forma de competir es por costos.

Barreras de Salida: Las barreras de salida para esta industria son altas, salir de esta constituye una dificultad mayor debido a sus elevados costos fijos, la especialización de sus activos como por ejemplo la capacitación a su personal técnico será una inversión perdida al abandonar la industria, esto la hace muy poco atractiva, las barreras de salida de esta industria son extremadamente altas y se deberá asumir el costo en caso de abandonarla.

Las barreras de salida pueden causar que una empresa se mantenga dentro de la industria, aun cuando la empresa no sea rentable debido a los altos costos para salir de la Industria.

Barreras de Salida y la Rivalidad entre competidores: Poco Atractivas

Poder de los Compradores

Existe un poder importante de los compradores, debido al que el producto no es diferenciado ellos deciden donde comprar, cuanto comprar y cuando comprar el precio esta determinado por la bolsas internacionales por tanto no representa un problema para el comprador, la amenaza de los compradores de integrar hacia tras es muy baja. Es importante identificar que existen un número importante de compradores que demandan gran cantidad en tonelaje de cobre constantemente, ellos tienen poder sobre los oferentes que compiten por captar al cliente con un mismo producto homogéneo a un mismo precio, pudiendo exigir condiciones adicionales con por ejemplo cumplimiento en los plazos de entrega, cumplir las cantidad requeridas, garantías del producto etc.

Poder de los Compradores: Poco atractiva

Poder de los Proveedores

Existe un poder importante que ejercen los proveedores, por ejemplo si existe un mayor costo en las materias primas utilizadas de los proveedores para la reelaboración de sus materiales esto va a generar un sobre costo que será traspasado a la industria, un ejemplo de esto constituye el suministro de cal a los molinos, si el proveedor sube su precio esto impactará en la industria que es absolutamente dependiente de este insumo.

Poder de los Proveedores: Poco atractiva

Disponibilidad de Sustitutos

Si bien existe en alguna medida hay sustitutos cercanos en la industria del cobre la disponibilidad de estos es baja los costos tienden a hacer más elevados por ejemplo el aluminio, fibra óptica, en la actualidad no existe un sustituto que amenace en forma agresiva al cobre. En general la disponibilidad de sustitutos en la industria del cobre por el momento al no afectar mayormente al cobre no constituye una amenaza importante por tanto actualmente es **atractiva**. (El atractivo podría verse afectado en el mediano y largo plazo).

Conclusiones del Análisis de las 5 Fuerzas de Porter

La industria del cobre tiene un bajo atractivo esto se desprende del análisis de las 5 fuerza de Porter. Del análisis aplicando las 5 fuerza de Porter se puede concluir que la industria del cobre tienes es muy poco atractiva.

- La intensidad de la rivalidad entre los competidores. (Poco atractiva)
- La amenaza de nuevos entrantes.(Barreras de entrada - Atractiva)
- La amenaza de sustitutos. (Poco atractiva)
- El poder de negociación de los compradores. (Poco Atractiva)
- El poder de negociación de los proveedores. (Poco atractiva)

2.2.3 Conclusiones del Análisis Externo

Amenazas

- La volatilidad de los precios del cobre en la industria, las políticas medioambientales cada vez mas restrictivas y la movilidad de recurso humano altamente calificado constituyen amenazas serias a la industria del cobre.
- Presiones ambientales y de Salud (Producto de la contaminación en el proceso de producción).
 - Nuevas y estrictas regulaciones políticas dificultan el proceso productivo.
 - Agotamiento de los minerales
 - Caída de la ley del mineral
- Sustitutos
 - A mediano y largo plazo las amenazas de sustitutos impactaran negativamente en forma más agresiva a la industria del cobre.
 - Aluminio (industria de cables), plásticos (industria de cañerías de agua canaletas de agua)
 - Fibra óptica (en la industria de las telecomunicaciones)
 - Acero (tubos, techumbres)
- Miniaturización / Mayor exigencia por calidad del producto.
 - La miniaturización implica una disminución importante en el volumen demandado.
- Nuevos desarrollos tecnológicos.
 - Si la industria no la de la mano con los cambios y desarrollos tecnológicos esta quedara rezagado con respecto a su competencia.

Oportunidades

Aprovechar la oportunidad de otorgada por los organismos gubernamentales de desarrollar la modernización y automatización de los procesos con la utilizar tecnología de punta.

Podemos encontrar oportunidades en las propiedades de cobre como por ejemplo:

- Su alta conductibilidad eléctrica y térmica.
- Resistencia a la corrosión
- Propiedades bacteriológicas.
- Material reciclable 100%

Nuevas aleaciones, generación de nuevos componentes en:

- Aleaciones Cu-Ni
- Cables submarinos
- Aumento de los componentes de cobre en la industria automotriz.
- Aumento de los componentes de cobre en la industria de los computadores y teléfonos celulares.

Otros

- Tratados de libre comercio
- Desarrollo de nuevas tecnologías para lixiviar (Biolixiviación)
- Registro de marca de Cátodos.
- Conquista de nuevos mercados.

Conclusiones

- La industria del cobre puede clasificarse como poco atractiva, la intensa rivalidad entre competidores unido a la volatilidad de los precios restricciones cada vez mas conservadores en la políticas medioambientales
- En un escenario futuro se visualiza un aumento en la rivalidad por concentración de competidores; un aumento de las acciones de gobierno, principalmente asociados por el lado ambiental y de salud. Dado los niveles de precio esperado a largo plazo del cobre, los sustitutos no asignan mayor relevancia.
- Se provee para los próximos años una demanda creciente de cobre a nivel mundial por tanto la industria deberá estar preparada para este desafío con nueva tecnologías que permitan reducir los costos de producción y aumentar la producción para satisfacer la alta demanda proyectada para los próximos años.

2.3. Análisis Interno de la División Andina

2.3.1 Análisis de la Operación

Descripción de Flujo y Facilities

El flujo del mineral comienza por la extracción del mineral desde el yacimiento, en esta primera se realizan los siguientes procesos:

- Perforaciones
- Tronaduras
- Carguío
- Transporte LHD

Una vez transportado el mineral en camiones el material es procesado por la segunda gran etapa Chancado, el mineral es vertido a los chancadores primarios, continuando por los secundarios, terciarios y finalmente por los cuaternarios, el único objetivo de esta área el reducir el tamaño de la roca mineralizada.

Una vez reducido el tamaño de la roca el mineral entra al área de molienda donde este es mezclado con agua, esta mezcla es tratada por los molinos de barras, bolas y molinos unitarios de manera de continúan reduciendo la granulometría del mineral con el objetivo de poder recuperar el mineral en la siguiente etapa.

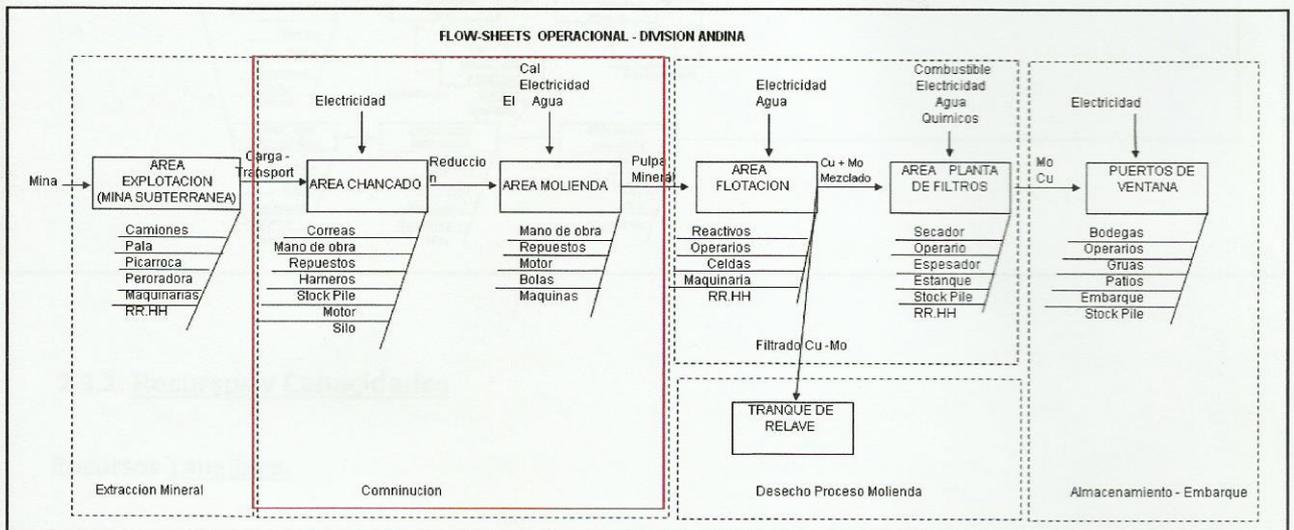
Al proceso de moler el mineral se le denomina Conminución y esta contempla el área de Chancado y Molienda una vez que el mineral a pasado con la conminución se considera finalizado el proceso de reducción de la partícula mineralizada.

La etapa de flotación recibe el producto de los molinos transformados en pulpa esta es tratada con químicos y procesos de flotación en celdas donde se inyecta aire desde sus bases permitiendo de esta manera conseguir la flotación del mineral, la cual será recuperada por rebose y canalizado hacia el área de filtrado, el material sobrante es conducido a depósitos o tranques de relaves para su confinamiento.

En el área filtrado al mineral se le extrae el agua contenida en el proceso luego en hornos es secado tanto el concentrado de cobre como el concentrado de molibdenita los cuales son transportados hacia el Puerto de Ventanas donde son distribuidos a nivel nacional como internacional.

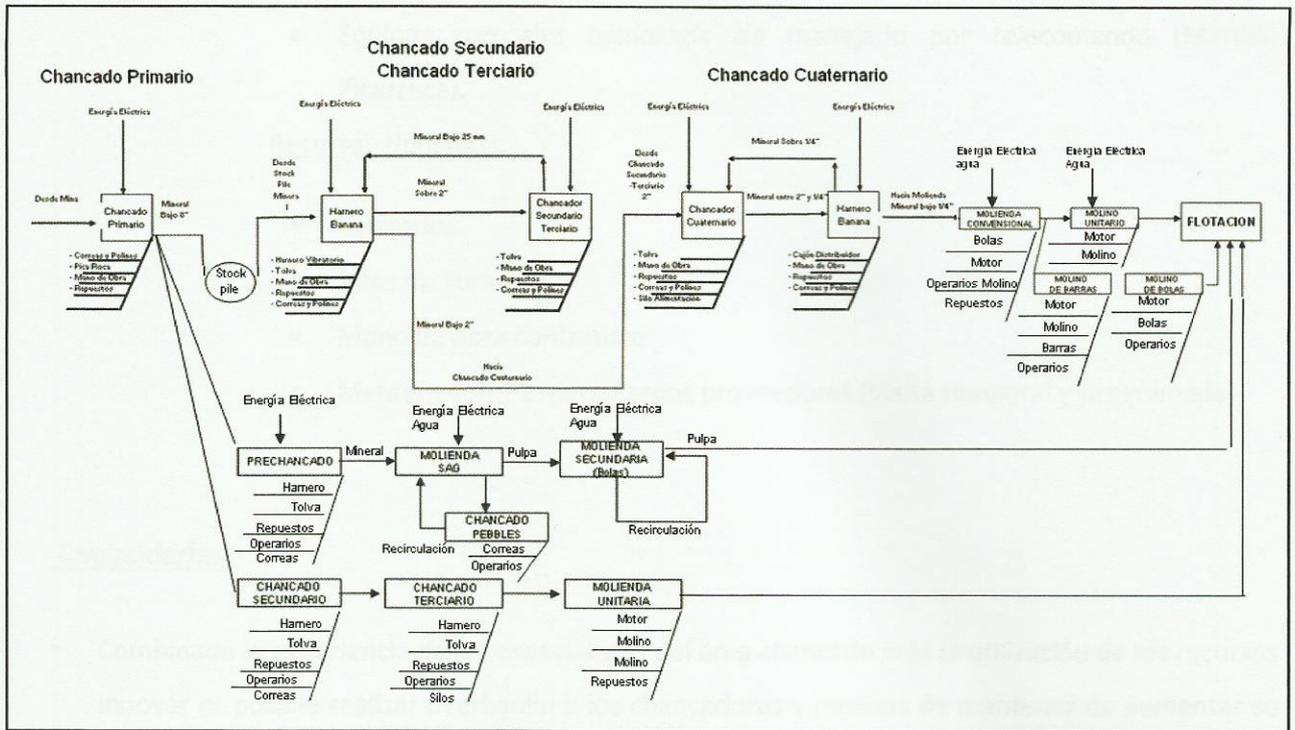
En la Fig. N° 5 se representa el flow-sheet operacional de la División Andina con sus principales facilities donde se destacan sus procesos principales que abarcan del la extracción del mineral hasta su transporte a sus diferentes destinos.

Figura N° 5: FLOW SHEETS OPERACIONAL – DIVISION ANDINA – CODELCO CHILE



En la siguiente figura (Fig. N°6) se visualiza en detalle el área de conminución, es decir se consideran los flujos de mineral desde el chancado primario hasta la flotación, además se ha agregado a modo de visualizar en forma integral la segunda línea de producción correspondiente al área de prechancado

Figura N° 6: FLOW SHEETS AREA CONMINUCION



2.3.2. Recursos y Capacidades

Recursos Tangibles.

Recursos Materiales:

- Correas.
- Harneros.
- Stock Pile.
- Tolvas.
- Chancadores
- Repuestos
- Silos
- Motores
- Sistema de PLC. (Sala de Control)
- Sala de control Planta de Chancado

Recursos Tecnológicos:

- Equipos con alta tecnología de manejo por telecomando (Martillo Picarroca).

Recursos Humanos:

- Operarios.
- Jefes de Turno.
- Mano de obra contratista
- Mantenedores especializados proveedores (Visita temporal y programada)

Capacidades

- Combinado la experiencia de los especialistas del área chancado más la utilización de los recursos innovar es posible realizar overhauled a los chancadores y molinos de mantener de aumentar su producción.
- La experiencia del personal que operara en esta área constituye una excelente oportunidad para aumentar su capacidad técnica mediante programas de capacitación de manera de estar en condiciones de enfrentar un cambio de equipo con un a tecnología superior.
- Los repuesto utilizados en esta área son muy especializados y de alto costo gran parte de la planta contiene equipos que ya tienes mas de 3 décadas en operación por esta razón contar con mantener alianzas con los proveedores de estos insumos constituye un aspecto relevante ya que para estos equipos es frecuente no encontrar repuestos en el mercado, esta situación en ocasiones obliga a la División a fabricar piezas a medida con los tiempos y costos que esto implica.

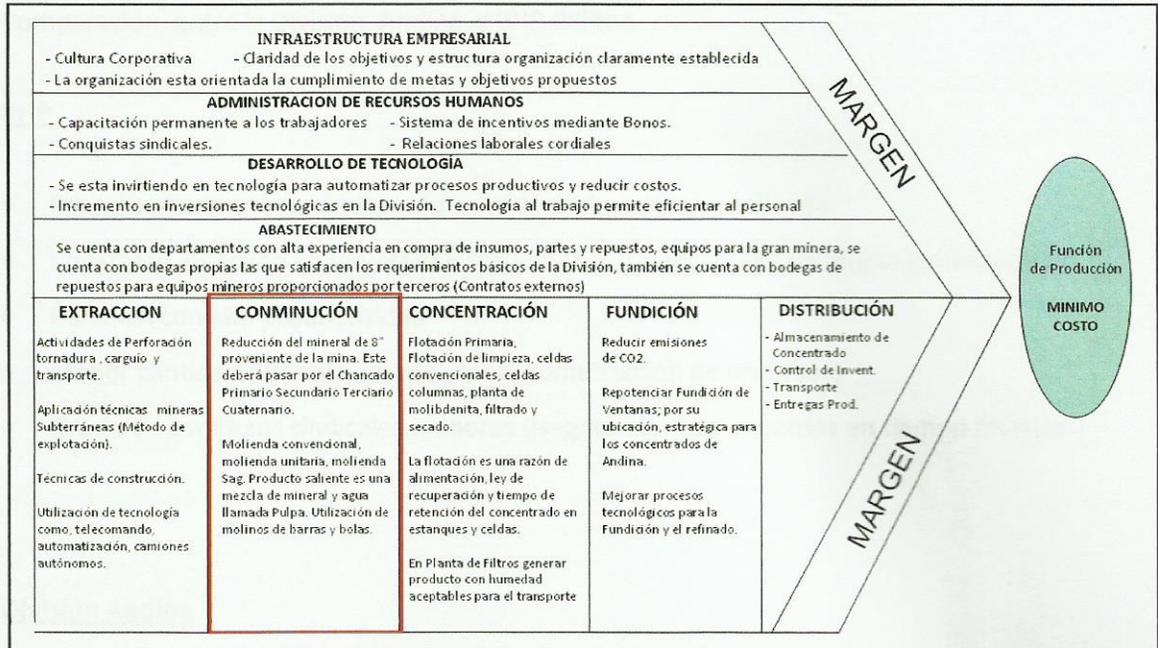
2.3.3. Cadena de Valor

El negocio de la División Andina es la producción de Concentrado de Cobre y Concentrado de Molibdenita cumpliendo las metas de producción fijadas por la división.

La función objetivo el lograr minimizar los costos de producción del mineral en todas las etapas del proceso. Para lograr este objetivo sus actividades principales como son la extracción, conminución,

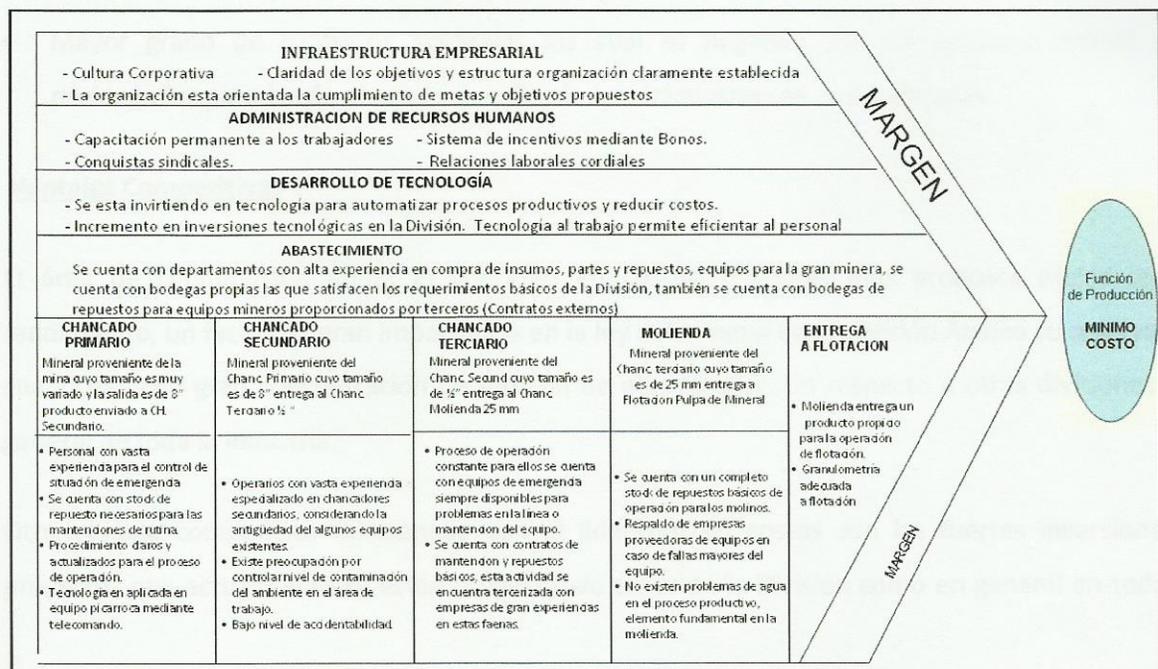
concentración, función y distribución deberán apuntar a reducir a optimizar sus procesos de manera de bajar sus costos de operación.

Figura Nº 7: CADENA DE VALOR DIVISION ANDINA



A continuación se representa la cadena de valor del área de conminución donde su función objetivo es minimizar los costos de producción para el chancado primario, secundario, terciario, molienda y flotación.

Figura Nº 8: CADENA DE VALOR AREA CONMINUCIÓN



2.3.4 Diagnostico Análisis Interno

Benchmarking

Comparación entre la División Andina y BHP Billiton

BHP

- Proceso altamente automatizado en el área chancado y molienda.
- Constante inversión en innovación tecnológica. (Chancadores de última generación)
- Personal con alta productividad
- Menor cantidad de trabajadores (por automatización de procesos)
- Grado de conflictos sindicales menores (Negociaciones y acuerdos en tiempo mínimos)

División Andina

- Proceso automatizados solo para algunos equipos principales.
- Andina cuenta con plantas antiguas donde se ha introducido tecnología haciendo más productivas sus áreas como es Conminución (Chancado – Molienda).
- Existe mayor cantidad de trabajadores que BHP y su producción es menor a su competencia, esto refleja menor competitividad de su recurso humano.
- Mayor grado de conflictos sindicales lo cual es negativo para la empresa debido a las prolongadas paradas de planta lo que disminuye drásticamente su producción.

Ventajas Competitivas

El área de conminución utiliza el liderazgo en costos, mientras más produzca mejor será su rendimiento, un factor de gran importancia en la ley del mineral en la División Andina sus reservas son cuantiosas con gran concentración de mineral de alta calidad con respecto a otras divisiones y en general de toda la industria.

Otra ventaja competitiva relacionada con el liderazgo en costos son las fuertes inversiones en proyectos que actualmente se están proyectando tanto en la División como en general en todas las

áreas productivas, los proyectos de gran envergadura que actualmente se están desarrollando en la División una vez terminados transformaran a la División Andina en la minera mas grande del mundo. Para ello el aumento de la producción producto de todos estos megaproyectos constituyen una ventaja competitiva extraordinaria con respecto sus competidores.

La División cuenta con maquinaria muy antigua en algunas áreas productivas, las fuertes inversiones en proyectos que se llevan a cabo consideran en recambio de equipos poco productivos por otros de alta tecnología con mayor rendimiento y menos consumo energético, esta situación constituye una ventaja competitiva importante ya que la productividad se elevara fuertemente con una nueva División Andina con tecnología de punta en sus procesos.

En la prensa ha comunicado que China a certificado en calidad el cátodo de Codelco este hecho constituye una ventaja competitiva a la empresa y una barrera de entrada a la competencia, este hecho constituye una gran ventaja competitiva para la empresa.

Fortalezas y Debilidades

Fortalezas.

- Ley de mineral del mineral es una de las más altas de las Divisiones de Codelco.
- Capacidad de su personal para solucionar en forma rápida y efectiva los problemas presentados en las plantas de chancado.
- Conocimiento especializado adquirido por el personal.
- Recurso humano especialista distribuido en las diferentes áreas de la MINCO, factibles de centralizar potenciando servicios.
- Disponibilidad de tecnología, experiencia y conocimiento técnico de los servicios de mantenimiento que se está en condiciones de ofrecer un buen servicio.
- Buena disposición, voluntad y compromiso del recurso humano en mejorar la gestión, además de existir gran cooperación entre pares.
- Facilidad para disponer de información técnica. El acceso a la información va desde la existencia de una Biblioteca Técnica hasta la posibilidad de obtener información vía Internet.

Debilidades

- Chancadores en áreas como el chancado terciario con equipamiento de antiguo cuya data es de 30 años atrás.
- Problema de repuestos originales en equipos antiguos.
- Chancadores con capacidad de procesamiento menor y alto consumo de energía.
- Equipos antiguos con desgaste necesitan aumentan el riesgo de paradas de planta debido a agotamiento de material.
- El personal que participa en estos procesos no ha internalizado la necesidad de cambio. Se observa inclinación a la forma de trabajo tradicional, resistencia al cambio.
- Ingeniería de Mantenimiento con presencia incipiente en las áreas externas a la Mina.
- Ubicación geográfica implica dificultad en traslados de equipos y condiciones de funcionamiento adecuado en condiciones ambientales desfavorable. (Zona de alta montaña).

Conclusión

Para el área de conminución es importante considerar a mediano plazo una renovación de sus equipos principales de manera de estar en condiciones de soportar la carga de mineral de la mina que aumentara considerablemente producto de la expansión de 94 KTPD a 240 KTPD.

También se deberá invertir de forma mas decidida en tecnología de manera de aumentar la productividad de sus trabajadores de manera de igualar o superar el estándar de la minería privada. Otro aspecto social a considerar son las condiciones de trabajo de esta área donde el grado de polvo en ambiente tienen altos niveles de toxicidad, esto trae como consecuencia que las personas que han trabajado por un numero importante de años sufran problemas de salud debido a la silicosis esto genera juicios y demandas a la empresa que pueden frenar su crecimiento producto de alguna ley de protección a las personas o al medio ambiente.

Su experiencia en el manejo de la minería subterránea, su infraestructura con la mayor red de túneles en el mundo hace que sus fortalezas que se fueron formando con los años de experiencia constituyan un fuerte incentivo a ser líderes del mercado, aunque si bien es cierto existen debilidades en su actividad productiva, estas pueden ser mejoradas aplicando mayor tecnología para cada proceso.

2.4 Análisis Estratégico

2.4.1 FODA.

FO: Uso de las Fortalezas para Aprovechar las Oportunidades.

- Aprovechar la proyección de la alta demanda para generar economías de escala
- Aprovechar la demanda proyectada de China aumentar la capacidad de producción generando proyecto de expansión.
- Aprovechar las propiedades del cobre para buscar nuevos mercados (Industria Salmonera).
- Oportunidad de optimizar los procesos de producción de modo de canalizar las demanda por subproductos del proceso como por ejemplo el molibdeno.

DO: Vencer las Debilidades Aprovechando Oportunidades.

- El aumento en la proyección de la demanda permitirá producir utilizando economías de escala de modo de bajar los costos fijos.
- Distintos usos del cobre permitirá mediante la utilización de la tecnología diversificar sus productos.
- Las propiedades físicas del cobre minimizan efectos nocivos para la salud de las personal.
- La protección de la industria por parte del Gobierno.

FA: Uso de Fortalezas para Evitar Amenazas.

- Las presiones ambientales pueden no ser un obstáculo cuando contamos los materiales suministrados por proveedores que cuentan con productos de calidad y no contaminantes.
- El alto poder de negociación de los proveedores.

DA: Reducir a un mínimo las Debilidades y Evitar Riesgos.

- Altos costo fijos de operación.

- Bajo apoyo de tecnologías de la información.
- Gestión del Conocimiento compartido con personal externo

MATRIZ FODA

O

A

F

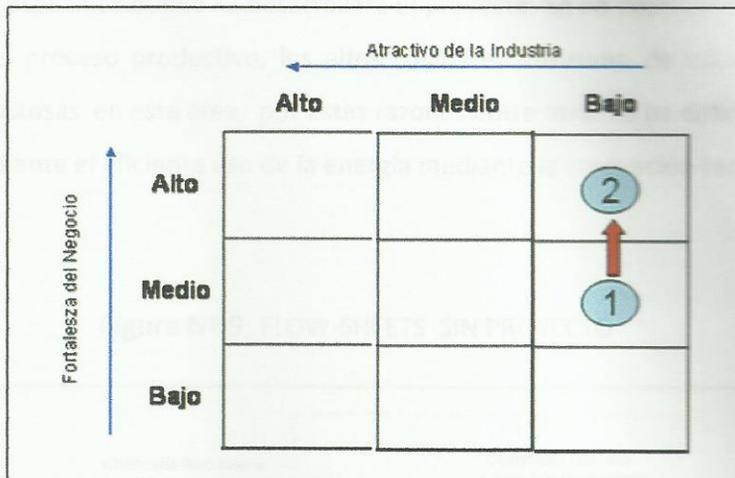
<ul style="list-style-type: none"> • Una gran demanda proyectada hacia futuro posibilita aumentar las inversiones desarrollando proyectos de expansión. Es una oportunidad para ganar más participación de mercado potenciando aumentando la producción. • Aprovechar el know how del negocio para capitalizarlo en mejorar la gestión, la producción y la ejecución de los procesos productivos. • La falta de sustitutos claros es un incentivo para seguir compitiendo fuertemente con el objetivo de aumentar su participación de mercado. 	<ul style="list-style-type: none"> • La mejora continúa en la producción al introducir tecnología en el corto plazo aumento de los costos pero en el mediano largo plazo se genera una reducción importante de sus costos. • El elevado poder de los proveedores es difícil de contrarrestar.
---	---

D

<ul style="list-style-type: none"> • Aprovechar el amplio acceso a las últimas tecnologías para implementar TI en apoyo de las actividades primarias y así poder aumentar las fortalezas del negocio. • Implementar el TI para agregar valor al servicio y así poder diferenciarse más. • Aprovechar el amplio acceso a conocimientos en tecnología y gestión para poder llevar a cabo un rediseño de procesos. 	<ul style="list-style-type: none"> • No promover la gestión del conocimiento puede generar una ignorar los cambios en el entorno. • Resistencia al cambio tecnológico.
--	--

2.4.2 Atractivo de la Industria / Fortaleza del Negocio.

Estrategia Operacional (Fortaleza del Negocio).



Rediseño:

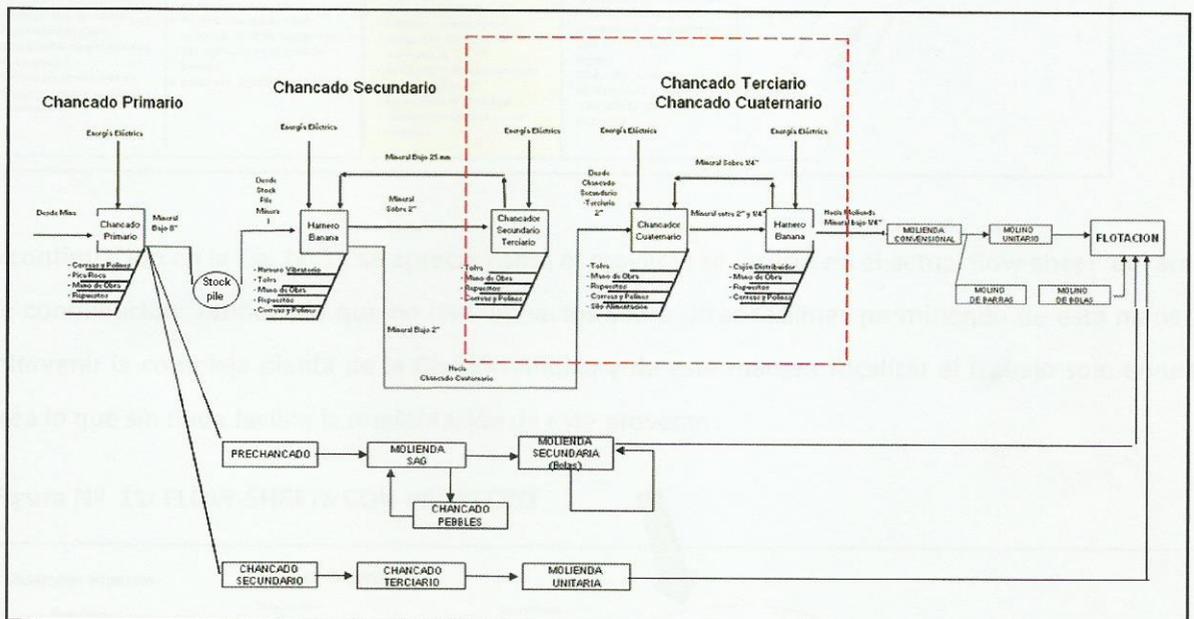
- Se pretende con el proyecto mejorar la operación del área Chancado terciario y cuaternario, reemplazando los antiguos equipos por un Chancador Terciario de última generación en base a tecnología de rodillo (HPGR). El principal objetivo es aumentar la producción reduciendo los costos principalmente los de energía, para ellos se pretende diseñar una línea de producción que disminuya en un 25% el consumo de energía con respecto consumo actual. Para conseguir un desplazamiento desde el punto 1 al punto 2 será necesario implementar el proyecto anteriormente descrito, de esta manera se logrará potenciar las fortalezas del negocio aplicando esta estrategia operacional.

Las estrategias comerciales (STP) no son aplicables para esta industria ya que su implementación no producirá un desplazamiento de posición en la matriz, el cobre es un commodity y como tal no hay diferencias en el producto, además su precio es fijado por las bolsas internacionales siendo una industria muy poco atractiva.

2.5 Análisis Funcional

El proyecto de enmarca en el área chancado fino, es decir en interviene directamente en los chancadores terciarios y cuaternarios actualmente existentes, en la Fig. N° 9 se identifica en el flujo general la zona específica donde se desarrollara el proyecto. Se ha definido este estudio debido a las ineficiencias del proceso productivo, los altos costos en consumo de energía, equipos antiguos y reparaciones costosas en esta área, por estas razones entre otras se ha definido optimizar el proceso productivo mediante el eficiente uso de la energía mediante la innovación tecnológica.

Figura N° 9: FLOW-SHEETS SIN PROYECTO



El proyecto ha considerado solo intervenir en el chancado fino de manera de no modificar los actuales procesos de otra área, se mantendrán los niveles de producción sin que sea necesario para implementar el proyecto modificar la infraestructura de otras facilities. A continuación se distingue dentro de la cadena de valor (Fig. N° 10) el área chancado HPGR Proyectoado que reemplazara a los actuales chancadores de esta área productiva.

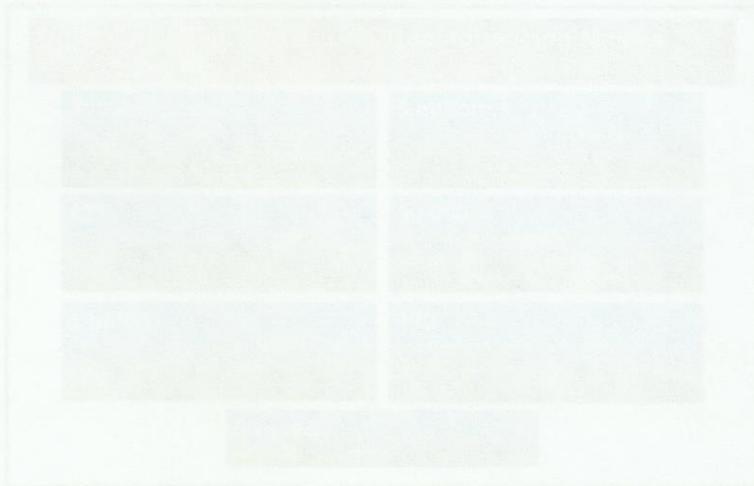
El proyecto se justifica técnicamente por las siguientes razones:

- Ahorro de energía de un 25% con respecto a los consumos actuales de los equipos de área chancado
- Se reduce el trabajo del área molienda ya que el sistema HPGR micro factura en mayor medida a los equipos estándar actualmente operando en la División.
- Disminuye la cantidad de operarios para la mantención debido a que hay mayor facilidad para llegar al componente del equipo.
- Los equipos de alta eficiencia HPGR cuenta con las características que fácil adaptabilidad a los circuitos de proceso actualmente operando en el área chancado.
- Se cuneta con tecnología de punta y permite de esta manera tecnificar un área en la cual existen muchos equipos antiguos y altamente consumidores de energía.

China prácticamente dispone el consumo de cobre en el periodo 2009-2016, y es el principal factor detrás del aumento mundial de la demanda de cobre refinado. Se espera que el incremento en el consumo sea de 1,4% en 2010 y de 6,0% en 2011.

El gran aumento de la demanda proyectada por China han motivado a responder cuáles son estas causas que motivan este aumento mundial. Según información suministrada por Codelco las causas son las siguientes (Ver Fig. 12):

Figura N° 12: Cuadro resumen de la Urbanización de China



Fuente: McKinsey Global Institute, Marzo de 2009

3. Proyección de la Demanda

3.1 Factores que influyen en la demanda

Al realizar un análisis sobre la proyección de la demanda es necesario identificar los factores que influyen en el entorno mundial, el desarrollo económico y la explosión de la demografía son fenómenos que se han incrementado en los últimos años, el ingreso per cápita mundial a tenido una tendencia al alza al igual de la población mundial. Al aumentar la población también ha aumentado los ingresos lo que se ha traducido en menor mortalidad y mayor longevidad. Como consecuencia del aumento del PIB se advierte un fuerte crecimiento en la demanda de cobre en el mundo.

3.2 Crecimiento de China

China prácticamente duplica su consumo de cobre en el período 2008-2016, y es el principal factor detrás del aumento mundial en la demanda de cobre refinado. Se espera que el incremento en el consumo sea de 5,4% en 2010 y de 6,6% en 2011.

El gran aumento de la demanda proyectada por China han motivado a responder cuales son estas causas que motivan este aumento mundial. Según información manejada por Codelco las causas serian las siguientes (Ver Fig. 12):

Figura N° 12: Cuadro resumen de la Urbanización de China

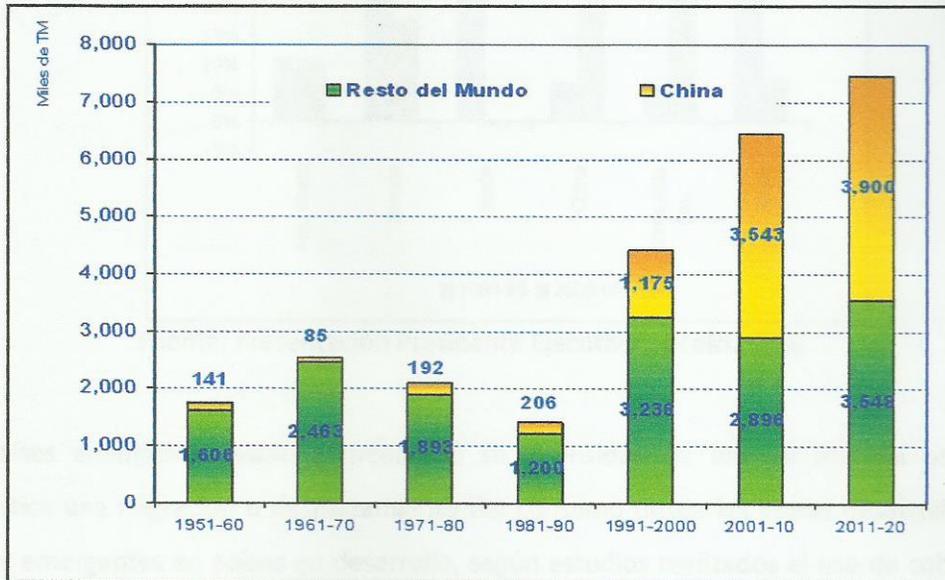


Fuente: McKinsey Global Institute, Marzo de 2009

3.3 Proyección de la Demanda de Cobre al año 2020

En la Fig. N° 13 se representa el crecimiento de la demanda entre los años 1951 al 2020 este aumento progresivo en la demanda de cobre esta fuertemente influenciado por China como principal demandante de cobre en el mundo en la actualidad.

Figura N° 13: Proyección Crecimiento de la demanda de cobre al año 2020



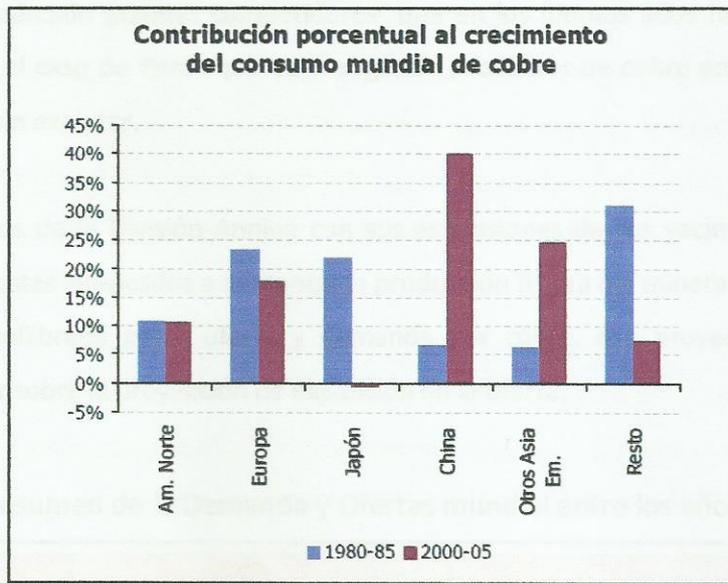
Fuente: Estadísticas Cochilco

El crecimiento del consumo de cobre se concentra en los países en desarrollo aparentemente ya que el cobre ha seguido el ritmo de crecimiento del PIB mundial en los últimos 25 años. Las economías en desarrollo han aumentado su dinámica básicamente por dos factores:

- Mayor consumo de bienes y servicios que usan cobre en esos países.
- Producción manufacturada para los consumidores del mundo.

Dentro de las económicas emergentes, Asia concentra el mayor aumento de consumo de cobre en la actualidad, en el siguiente gráfico se representa el consumo mundial de cobre.

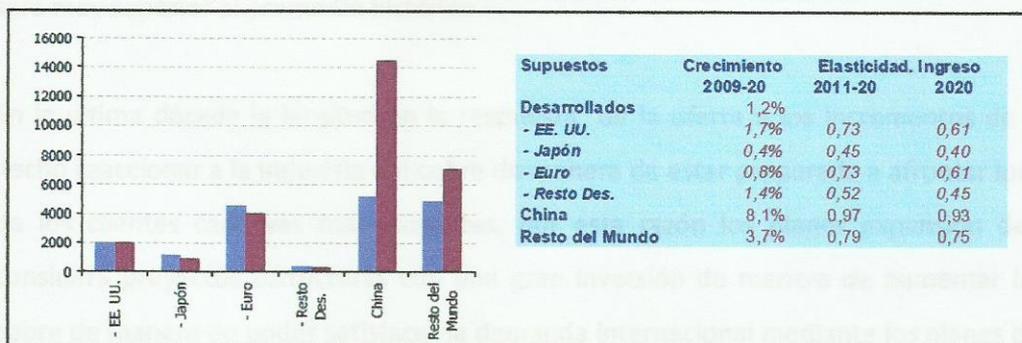
Figura Nº 14: Consumos mundiales de Cobre



Fuente: Presentación Presidente Ejecutivo Codelco Chile

Los países emergentes están aumentando su intensidad de uso en materia primas donde se pronostica una migración o desplazamiento del consumo desde los países desarrollados a las clases medias emergentes en países en desarrollo, según estudios realizados el uso de cobre crecer en un 60% entre el 2008 y 2020 (10.8 millones de toneladas). En el gráfico siguiente se representa el consumo de cobre al año 2020

Figura Nº 15: Consumo Mundial de Cobre Refinado



Fuente: Presentación Presidente Ejecutivo Codelco Chile

Como todas la proyección indican que los próximos años habrá un aumento de demanda por cobre será necesario que esta demanda sea satisfecha. Los proyectos corporativos enfocados a la

expansión de los yacimiento mineros de la corporación no pueden quedarse atrás debido a que existen en este mercado grandes competidores que en los últimos años han tenido un desarrollo notable como es el caso de Perú que es el segundo productor de cobre en el mundo con grandes yacimientos aun sin explotar.

Los megaproyectos de la División Andina con sus expansiones de sus yacimientos principales a 94 Ktpd y 230 Ktpd, estas enfocados a aumentar la producción futura del mineral, se espera un situación relativamente equilibrada entre oferta y demanda por cobre, con proyecciones de crecimiento demanda algo por sobre la proyección de expansión en la oferta.

Tabla N° 2: Resumen de la Demanda y Ofertas mundial entre los años 2008-2011

Miles TM	2008 (p)	2009 (e)	2010 (e)	2011 (e)
Producción de refinado primario	15.225	15.493	15.498	16.019
Producción de refinado secundario	2.664	2.680	2.681	2.771
OFERTA TOTAL	17.890	18.173	18.179	18.790
Variación Porcentual	(0.5)	1.6	0.0	3.4
DEMANDA TOTAL	18.003	17.975	17.871	18.936
Variación año a año	(0.9)	(0.2)	(0.6)	6.0
BALANCE	(113)	198	308	(146)
Inventarios como semanas de demanda	3,4	3,4	3,7	3,1

Fuente: Elaboración Cochilco Antecedentes (GIEC, Brook Hurt, CRU)

Según la proyección los precios podrían superar los USD 3.00/lb hasta el año 2015, y que posteriormente se mantenga en niveles cercanos a los USD 2.00/lb y su rentabilidad de la industria será muy superior al promedio histórico.

En la ultima década la lentitud en la respuesta de la oferta a los incrementos de la demanda ha hecho reaccionar a la industria del cobre de manera de estar preparada a afrontar los requerimientos de los clientes cada vez mas exigentes, por esta razón los planes expansión de la corporación considera proyectos estructuras con una gran inversión de manera de aumentar la producción de cobre de manera de poder satisfacer la demanda internacional mediante los planes de producción de los principales proyectos de la corporación.

3.4 Como se prepara la División Andina para enfrentar la Demanda

Actualmente en la División Andina existen proyectos estructurales de gran envergadura estos son:

PDA Fase I: Proyecto actualmente en construcción que va a permitir producir 94 Ktpd este proyecto constituye por un lado una optimización del proceso de los equipos involucrados y creación de plantas nuevas integradas a la producción actual. Proyecto PNA Fase II: Proyecto que se encuentra actualmente en su ingeniería básica, este va a permitir aumentar la producción a 230 Ktpd. Esta expansión implica la construcción de una planta nueva.

En el proyecto desarrollado en esta tesis donde la tecnología de chancado HPGR es de acuerdo a los análisis desarrollados en este estudio la mejor alternativa para ser implementada principalmente en el proyecto PNA Fase II. La proyección de la demanda pronostica un excelente escenario para la implementación de estos equipos de última generación que apuntan a una reducción significativa de la energía utilizada o visto de otro punto de vista un excedente de capacidad de potencia con respecto a una planta convencional.

Una mayor demanda de cobre a futuro en la División Andina permitirá insertar estos equipos en las futuras plantas de chancado consideradas en los planes de expansión de la división de los principales proyectos estructurales actualmente desarrollados en distintas fases de desarrollo por la corporación nacional del Cobre.

4. Tecnología de Chancado Fino

4.1 Descripción del cambio de tecnología

El objetivo principal del proyecto es reducir los costos en energía utilizados en el chancado fino y una mayor recuperación de cobre fino en el proceso de la División Andina. El proyecto desarrollará un cambio de tecnología en el área de Chancado Fino, los chancadores terciarios y cuaternarios serán reemplazados por un chancador de última generación. Esta nueva tecnología utilizará el proceso de trituración por rodillos de alto rendimiento, los que permiten reducir la granulometría del mineral en forma significativa lo que involucra una disminución del consumo de energía específico (CEE) utilizada en reducción de la partícula.

La utilización de este chancador permitirá obtener un mineral con un porcentaje mayor de facturación lo cual permite obtener en el proceso de flotación una recuperación mayor de finos por efecto de una disminución en la granulometría del mineral tratado con HPGR. También, constituye una ventaja a considerar el menor desgaste de los molinos y sus componentes en la molienda, debido a un menor diámetro de la partícula que implica menor trabajo, tanto para moler mineral por efecto de las microfisuras como por el porcentaje de mineral mas reducido el cual requiere menor cantidad de energía utilizada por los molinos.

El proyecto permitiría reducir los costos en dos procesos, la reducción del gasto energético utilizado en la conminución y en el proceso de flotación, donde aumenta la recuperación de cobre fino al mejorar el triturado del mineral. Este proyecto también se justifica debido a que los actuales chancadores en el área de finos son maquinas antiguas y presentan problemas de repuestos, alto consumo de energía, generación de cuellos de botella. En parte debido a que no se adaptan a las constantes políticas de disminución de costos operacionales.

4.2 Descripción del proceso actual en la planta de chancado Fino

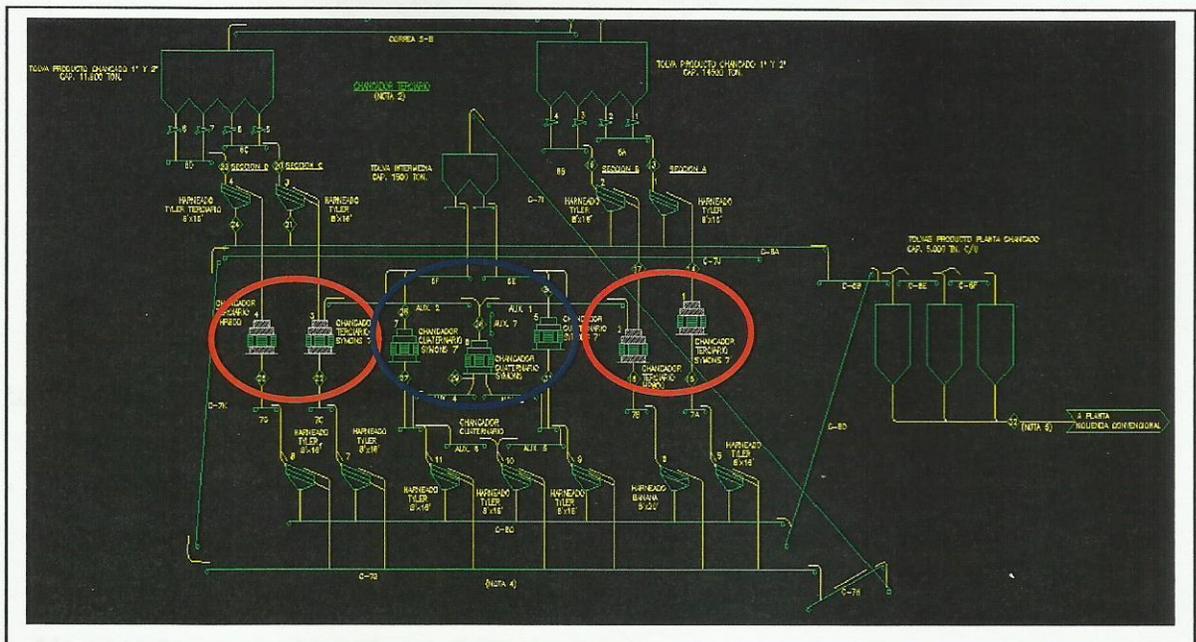
En la actualidad esta planta cuenta con los siguientes equipos principales:

Tabla N° 3: Descripción de Equipos, Modelos y Potencias

CHANCADO FINO			
DESCRIPCION	UNIDADES	MODELO	POTENCIA
CHANCADOR TERCIARIO	2	MP-800	1600
	2	MP-1000	2000
CHANCADOR CUATERNARIO	3	SYMONS	900

El radio de intervención para la implementación del Proyecto incluye desde el producto entregado por el Chancado Secundario hasta la descarga de mineral a la Molienda Convencional, y Molino Unitario. No obstante se considera la Molienda como área beneficiada por las modificaciones tecnológicas de este proyecto. En la Figura N° 15 se presenta el diagrama de flujo del área chancado fino, se pueden observar los 4 chancadores terciarios (color rojo) y los 3 chancadores cuaternarios (azul).

Figura N° 16: Layout actual de la Planta Chancado Terciario y Cuaternario

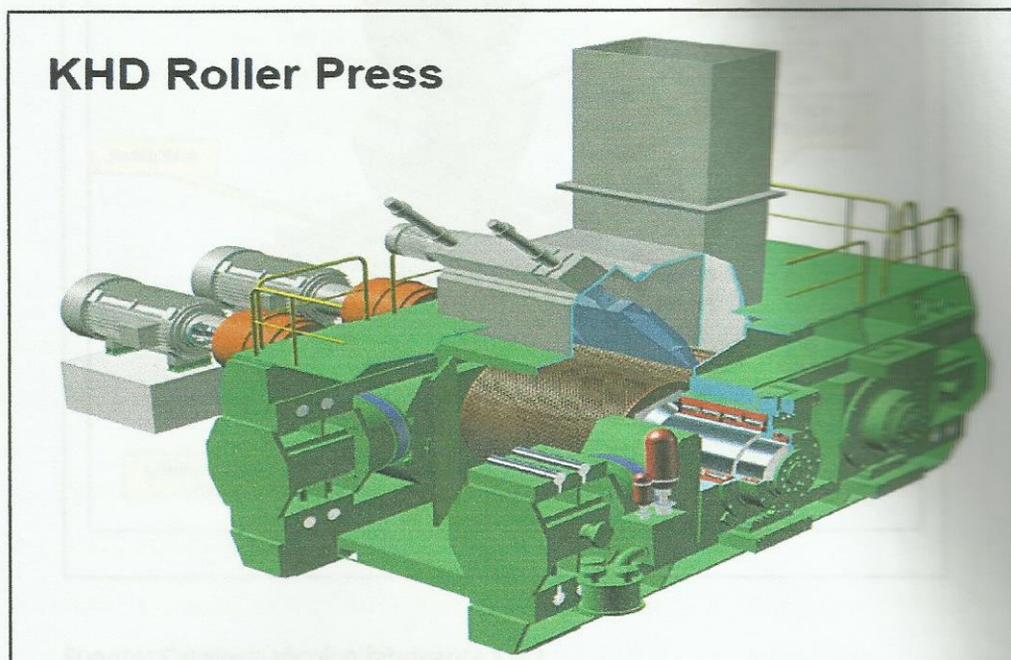


Fuente: Planos de Procesos División Andina

El proyecto considera eliminar los 4 chancadores terciarios mas los 3 chancadores cuaternarios mas toda el sistema de correas sobrantes, todos estos equipos serán reemplazados por 2 equipos HPGR de ultima tecnología basada en trituración en base a rodillos de alta resistencia aumentando su performance en el proceso, los rendimientos obtenidos distan mucho de los actuales chancadores en uso.

4.3. Tecnología de los Chancadores HPGR

Figura Nº 17: Vistas general de un Chancador HPGR



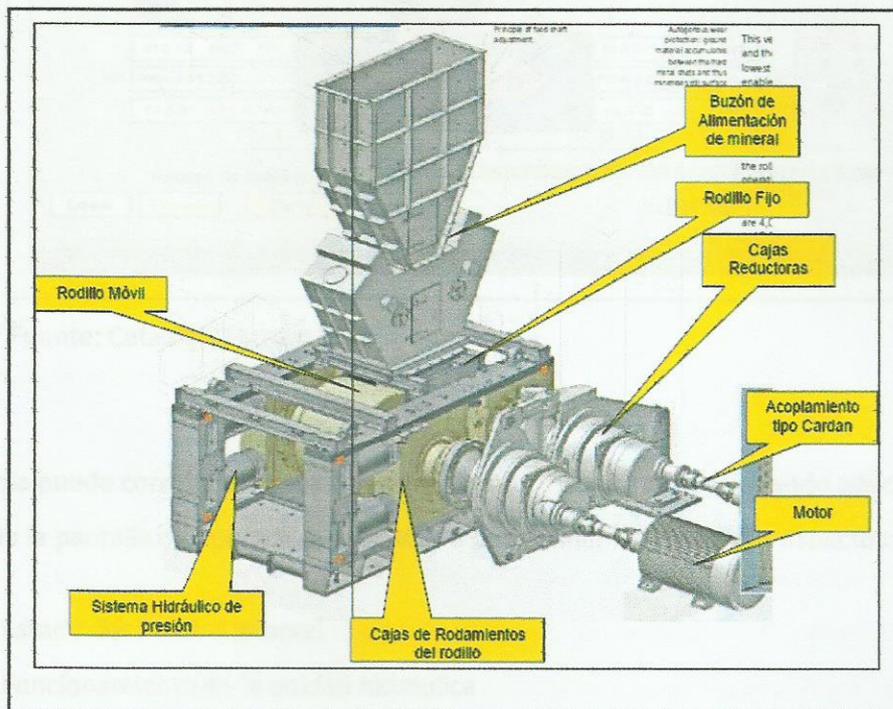
Fuente: Catalogo fabricante KHD

Los principales aspectos de este equipo son las siguientes:

- Bajo consumo de energía aproximadamente un 20%
- Nivel de facturación mayor del mineral.
- No se consideran limitación del Setting para el paso del mineral
- Mayor costo que un chancador tradicional

Considerando principalmente los dos primeros aspectos es que se ha considerado como una posibilidad de minimizar costos y aumentar la productividad utilizando este equipos en el área de chancado fino, aun cuando la inversión es superior a un equipamiento tradicional utilizando chancadores de cono o mandíbulas.

Figura N° 18: Componentes Principales del equipo HPGR

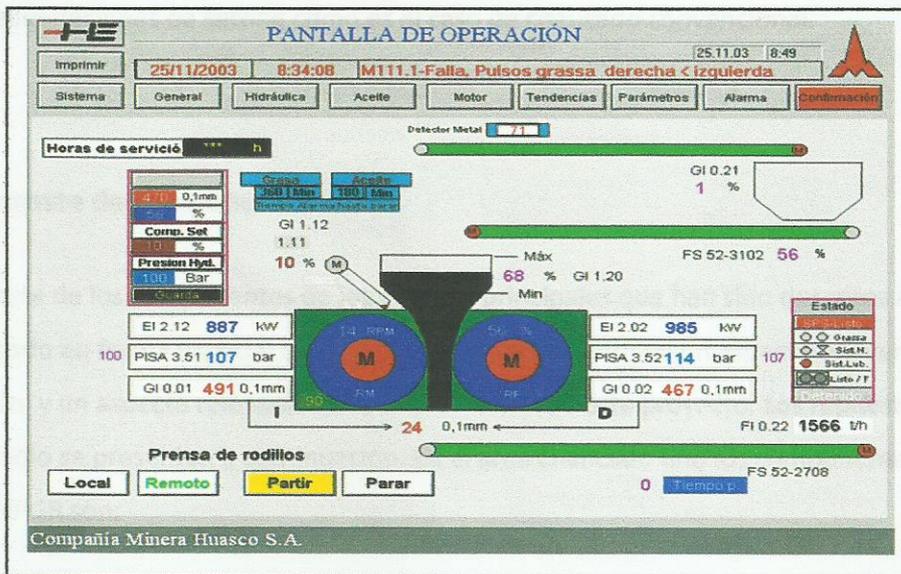


Fuente: Catalogo técnico fabricante KHD

Para que el equipo funcione en las condiciones normales de operación es necesario realizar las mantenciones a sus componentes a continuación en la Tabla N°. 4 se detalla el programa de mantención para la prensa del rodillo (Ver Anexo N° 2).

Para llevar los controles requeridos del equipo se cuenta un software especializado que permite chequear en todo instante la maquina y sus componentes. En la Fig. 18 se muestra la consola de control del equipo HPGR utilizada en la Minera Huasco.

Figura N° 19: Consola de operación y Control HPGR



Fuente: Catalogo Técnico KHD

La consola puede corroborar si sus componentes se encuentran funcionando adecuadamente mediante la pantalla de operación, esta puede determinar los siguientes aspectos:

- Estado del sistema general
- Funcionamiento de la unidad hidráulica
- Aceites, grasas, motor, kilowatt, presiones hidráulicas, RPM, estados del rodillo etc.

Beneficios adicionales de la tecnología HPGR

- Menor contaminación de partículas en suspensión en el aire debido a que el proceso se realiza en forma directa en el equipo, es decir, el material es transportado por correas y directamente procesado en el chancador, al contrario del actual sistema de chancado donde el mineral es vertido en buzones generándose gran cantidad de polvo en suspensión. Este problema de polución es un gran problema para todo el personal que trabaja en esta área y para la división.
- Otro aspecto importante es su modularidad esta cualidad permite desmontar o montar fácilmente un equipo HPGR en un planta de proceso.
- Los fabricantes actualmente se encuentran realizando una gran cantidad de mejoras en el diseño para ajustarse a los requerimientos de los clientes.

Sistema de autoprotección con desplazamiento de rodillo evitando daños a los sistemas hidráulicos.

No tiene limitaciones de setting como es el caso de chancado convencional.

4.4. Desgaste de componentes

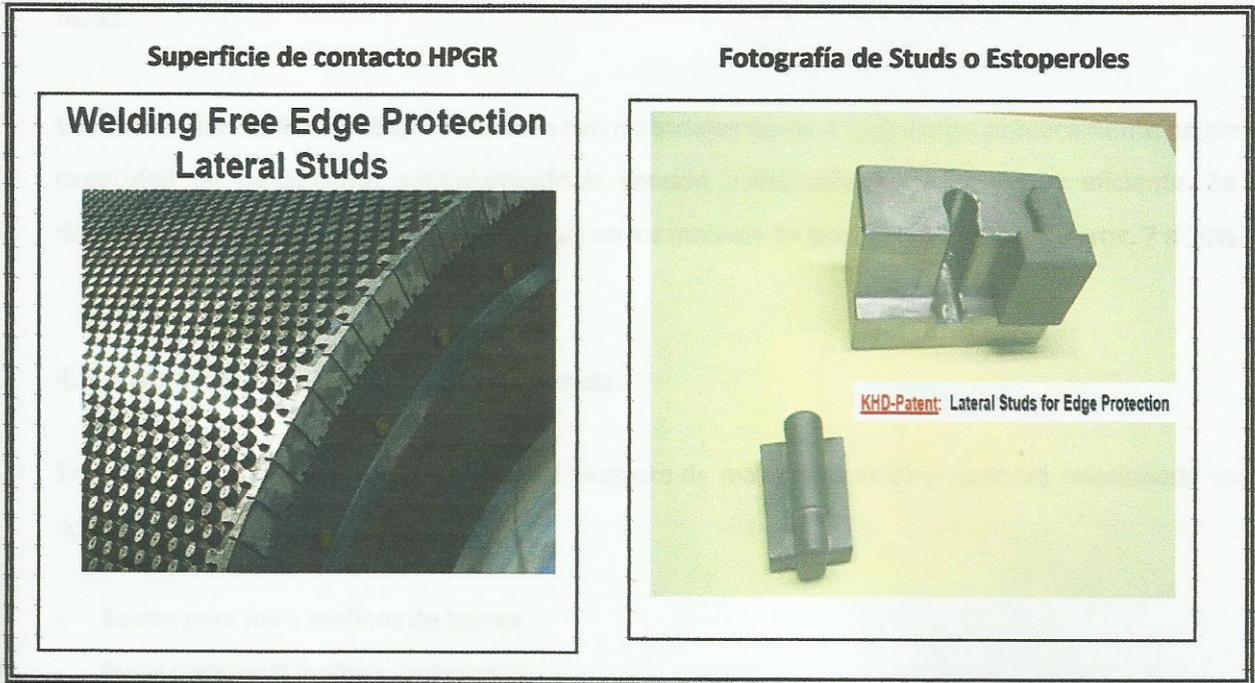
El desgaste de los componentes de los equipos principales que han sido descritos en el proyecto será considerado en forma especial en este ítem, ya que constituyen un aspecto relevante en los costos de la división y un aspecto relevante en la implantación de este proyecto. Los repuestos descritos en este estudio se presentan a continuación. En el área chancado fino los componentes principales del equipo HPGR son:

- Rodillo
- Revestimiento del rodillo

Estos repuestos y componentes principales formar parte del ítem materiales y repuesto, costeados en este estudio donde se simulan los costos de este ítem arrojando menos costos con respecto a la situación actual. Para poder establecer la diferente de los costos proyectados versus los actuales es necesario considerar los aspectos relacionados con la abrasión de los componentes de los equipos principales. Para el área chancado se han considerado estos costos claramente identificados y valorados. No así para el área molienda, donde es un poco mas complejo, ya que es necesario calcular el índice de abrasión que sufren los principales componentes del los molino, es decir las barras y bolas de los molinos.

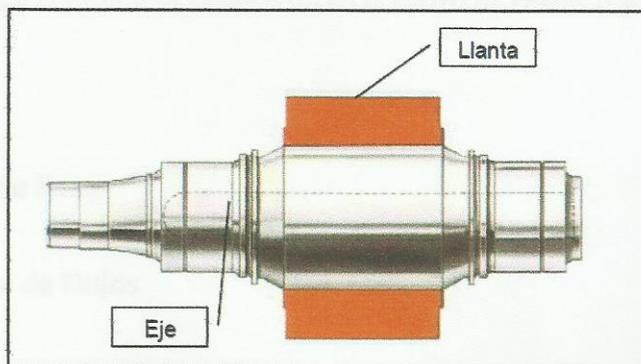
La nueva tecnología mediante HPGR hace que los proveedores estén constantemente mejorando sus diseños para satisfacer a sus clientes. Un aspecto de relevancia lo constituye el desgaste de los componentes, donde el fabricante (KHD) ha implementado una innovación en el rodillo utilizando estoperoles de carburo tungsteno (studs). Este nuevo revestimiento alarga la vida útil aumentando la superficie sujeta a desgaste, ya que el mismo mineral se introduce en los espacios aumentando y protegiendo la superficie del equipo. En la figura N° 19 se aprecian los estoperoles o studs.

Figura N° 20: Componentes principales expuestos a desgaste severo



Otro componente principal son las llantas que son la superficie de trituración del rodillo incluidos los studs. En la siguiente figura se aprecia este revestimiento.

Figura N° 21: Perfil del rodillo - equipo HPGR (llanta)



Fuente: Catalogo técnico KHD

4.4.1. Aspectos Relacionados con el Mantenimiento

Se estima que la duración de los revestimientos sería de 6.000 horas (garantía del fabricante), pero según experiencias extranjera, en Perú, dan cuenta de una duración menor que ha estado entre 4.000 y 6.000 horas. Para la definición de la duración es fundamental el test de abrasión y dureza (test de

10 kilos). El tiempo para el cambio de los rodillos de revestimiento ha evolucionado desde 86 a 32 horas.

Los chancadores HPGR trabajan muy bien con materiales duros o muy duros, prácticamente no pierde capacidad de tratamiento administrando la presión y velocidad de forma muy eficiente. Se ha demostrado que los WI (dureza del mineral) en los molinos de bolas disminuyen en aprox. 7 a 10%.

4.4.2 Mantenimiento en el área Molienda.

En esta área de molienda convencional el desgaste de materiales va directamente relacionado con el consumo de los siguientes equipos:

- Barras para los 3 molinos de barras
- Bolas para los 9 molinos de bolas
- Bolas para 1 molino unitario.

El desgaste de bolas es de 460 gamos por tonelada procesada, es decir, el proyecto considera pasar al día 35.000 t/d de mineral por los molinos (barras, bolas, unitario) lo que significa un desgaste de bolas con un consumo de acero de 16,1 t/d en el área molienda diariamente el detalle de los costos asociados a este consumo se especifican en la matriz de costos (Simulación de Costos).

4.5 Balance de línea

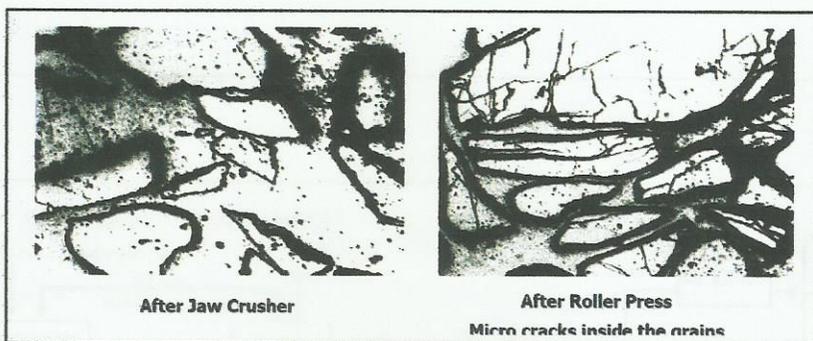
4.5.1 Balance de Flujos

Se consideró el balance de masa para el área Chancado Fino donde el producto entregado por el chancado secundario es de 1620 T/h. Este mineral se reparte en 2 líneas, cada una de estas es procesada por un HPGR donde cada uno procesa en carga fresca 810 t/h. Sin embargo, existe una carga circulante que corresponde al mineral que posee una granulometría superior a 6000 micrones, que es procesada nuevamente por el chancador HPGR hasta que su tamaño sea menor a 6000 micrones. Este proceso de selección lo realiza un Harnero Tyler.

La carga circulante es aproximadamente un 60% del total de la carga entregada por el chancado secundario, cabe destacar que el tamaño de la partícula menor a 6000 micrones es considerablemente menor al tamaño entregado por un circuito convencional que es aproximadamente 10.000 micrones. Es esta reducción una de las ventajas estratégicas de este proyecto, ya que existe un porcentaje importante de mineral bajo 6000 micrones por lo que los molinos de la molienda tradicional se ahorra este trabajo que si es necesario en la molienda sin proyecto.

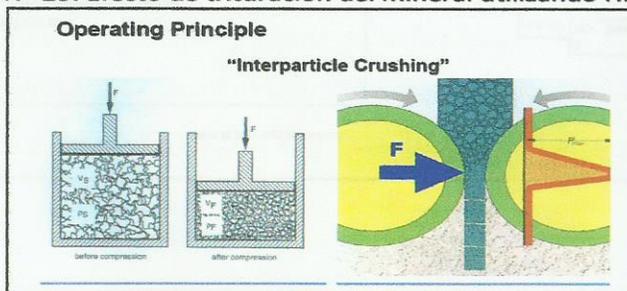
Del mineral que es recirculado, este es reprocesado por el chancador HPGR micro fracturándolo en forma importante. Una muestra radiográfica de este proceso se muestra en la siguiente Fig 22.

Figura N° 22: Radiografía de fisuras en la roca – Comparación entre un Chancador de mandíbula tradicional y un HPGR.



En la figura N° 20 se aprecia el mayor nivel de facturación de la roca producto de la acción de los rodillos del equipo de actual por compresión del material

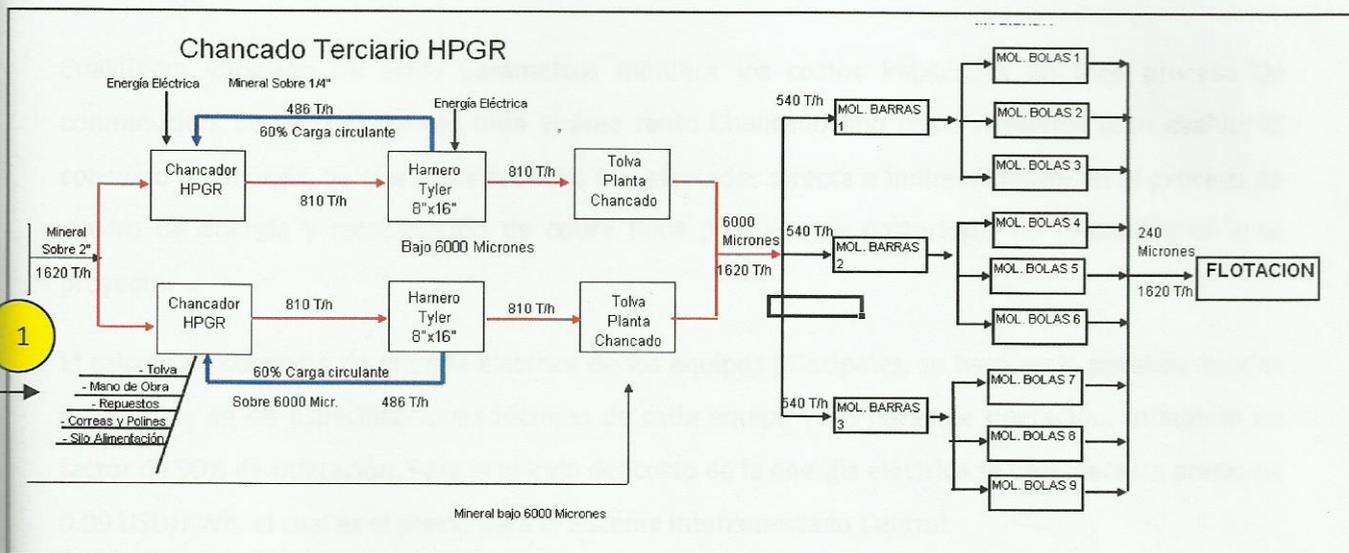
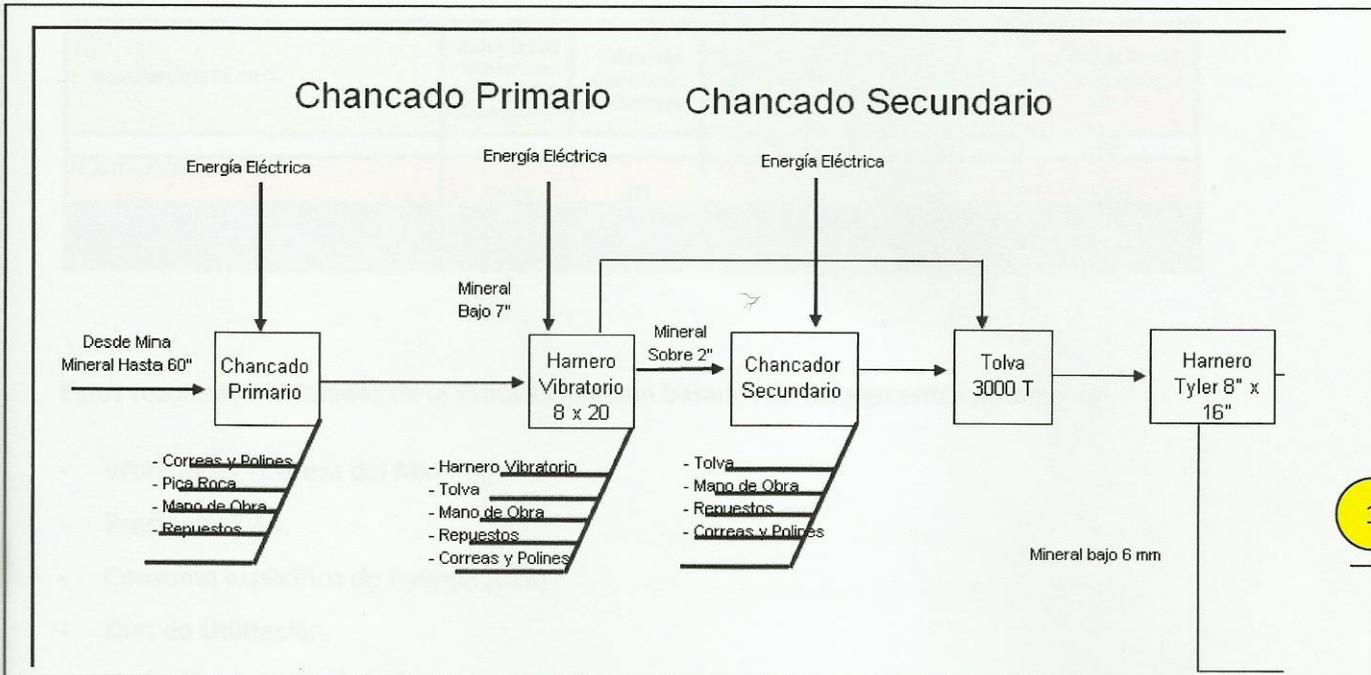
Figura N° 23: Efecto de trituración del mineral utilizando HPGR



Fuente: Catalogo técnico KHD

En la siguiente figura se representa el flow-sheets del área conminución, en el segundo cuadro se esquematiza el proyecto indicando su nuevas facilities y sus balance de masa.

Figura N° 24: FLOW-SHEET CON PROYECTO - AREA CONMINUCION



4.5.2 Balance energía

En la tabla N° 4, se aprecian los consumos medidos en potencia utilizada para la planta actual y la planta proyectada. Se incluye la planta de chancado fino, molienda convencional y molino unitario.

Tabla N° 4: Consumo totales de potencia (HP) del área Chancado Fino

DESCRIPCION PLANTA	Entrada F80 (Micrones) Salida de por Chancador	Salida P80 (Micrones) de Molienda	CHANCADO Terciario (4)	CHANCADO Cuaternario (3)	CONSUMO TOTAL AREA CHANCADO FINO
			HP	HP	HP
PLANTA ACTUAL	10.000	270	3.600	900	4.500
PLANTA PROYECTADA CON 2 CHANCADORES HPGR	6.000	240			4.825,7

Estos resultados obtenidos de la simulación están basados en los siguientes parámetros

- Work Index (Dureza del Mineral)
- Precio del Kwh.
- Consumo específico de Energía (CEE)
- Días de Utilización.
- Variación de la Producción.
- Granulometría de Entrada y Salida del Mineral.

Cualquiera variación de estos parámetros modifica los costos implicados en este proceso de conminución. Se ha considerado toda el área tanto Chancado fino como molienda para evaluar el consumo de energía, ya que estas facilities son afectadas directa e indirectamente en el proceso de ahorro de energía y recuperación de cobre finos para etapas posteriores no evaluadas en este proyecto.

El cálculo de consumo de energía eléctrica de los equipos principales, se basó en la potencia teórica establecida en las especificaciones técnicas de cada equipo y las horas de operación, utilizando un factor de 90% de utilización. Para el cálculo del costo de la energía eléctrica se considera un precio de 0.09 USD/KWh, el cual es el precio para el Sistema Interconectado Central.

4.5.3 Insumos

Los insumos utilizados en el chancado fino disminuyen debido al reemplazo de estos equipos por los considerados en el proyecto, 2 HPGR, es decir, se reemplazan 7 por 2 (situación sin proyecto). Se consideran los siguientes insumos principales:

- Motor eléctrico
- Rodamientos
- Mangueras
- Filtros
- sellos
- Retenes
- Ventilador

4.6 Inversión del Proyecto

El proyecto considera una inversión de total de USD 40.029.000, dividida en 2 ítem, los costos directos y costos indirectos. Para los Costos Directos se consideran los siguientes equipos:

Costos Directos

Chancador HPGR: Este equipo tiene un valor unitario de USD 7.370.000 la adquisición de este equipo puede ser suministrada por 2 empresas Polisius y KHD, que maneja valores similares. Se ha considera usar a lo largo de la vida del proyecto 2 Chancadores y 4 motores con un valor unitario de USD 1.442.730, además se ha considera pieza Stara-up es decir los componentes para las mantenciones periódica, adicionalmente fue considerado las partes y piezas para la operación de 1 año el total de los costos directos de inversión, finalmente se ha considerado las obras civiles que corresponde a las fundaciones de chancador fijaciones y anclajes, el monto total de los costos directos asciende a USD 27.758.000. El detalle se encuentra especificado en la Tabla N° 5.

Costos Indirectos

Se considera dentro de los costos indirectos los trabajos relacionados con paneles de control, cableado, cabinas operador, etc. aunque estos costos no están relacionados con la inversión en forma directa deben ser considerados en la materialización de la inversión.

Dentro de los costos indirectos se destaca los costos Codelco correspondiente a el uso de las instalaciones de la división y traslados del personal Codelco (Supervisores), construcción de instalaciones faenas a cargo de la división, servicios básicos (alimentación vivienda) o complementarios aportados por codelco. En resumen toda la infraestructura que se requiere para llevar a cabo la inversión a carga de la empresa.

Costos de Contingencia, son los costos de resguardo del proyecto considerados ante una eventualidad no considerada en el proyecto, este fondo permite utilizando en casos estrictamente necesarios teniendo un límite previamente definido en el proyecto.

Costos EPCM, son los costos considerados por el servicio del consultor, este tipo de contratos se caracteriza porque la División entrega en un 100% la obra al contratista el cual después desempeño deberá entrega la obras terminada (Contrato de llave en mano). En la Tabla N° 5 se muestra los montos consideración en la inversión del proyecto.

Tabla N° 5: Costos de Inversión del Proyecto

PRESUPUESTO INVERSIONES PROYECTO				
ITEM	DESCRIPCION	COSTO UNITARIO	CANTIDAD	TOTAL COSTO
COSTO DIRECTO				
1	CHANCADOR HPGR	7.370.000	2	14.740
2	MOTOR	1.442.730	4	5.771
3	PIEZAS PARA START-UP	33.848	1	34
4	PARTES Y PIEZAS 1 AÑO OPERACIÓN	213.449	1	213
5	ACEROS	1.000.000	2	2.000
6	HORMIGON	1.000.000	2	2.000
7	OBRAS CIVILES	1.500.000	2	3.000
SUBTOTAL COSTO DIRECTO				27.758
COSTO INDIRECTO				
8	COSTO INDIRECTO		1	2.776
9	COSTOS CODELCO	2.000.000	1	2.000
10	CONTINGENCIA		1	3.331
11	EPCM		1	4.164
SUBTOTAL COSTO INDIRECTO				12.271
SUBTOTAL				40.029

Estructura de Costos

Se describen los costos variables y costos fijos para la operación del proyecto, para el caso de los costos variables de ha divididos estos en 3 grupos:

- Materiales y Repuestos
- Costos por utilización de Energía
- Servicios de Terceros

Los Costos fijos se describen en la siguiente planilla (Tablas N° 6)

4.7 Costos del Proyecto

Se ha considerado en la estructura de costos del proyecto los costos variables y los costos fijos, para ello se procederá a explicar cada uno de ellos.

4.7.1 Costos Variables

Los costos variables estas definidos en 3 ítem, estos son los costos por materiales y repuestos, gasto de energía y servicios de terceros.

Los costos por Materiales y Repuestos al implementar el proyecto considera gastos anuales por:

- Superficie del Rodillo (Ver anexo N°2 Matriz de control de cambios de Repuestos).
- Rodillos para Chancador HPGR (Ver anexo N°2)
- Partes y Repuestos menores de acero. (Desgaste piezas menores)
- Lubricación y servicio (considera la manutención del sistema hidráulico y su manutención).
- Sistema de Componentes eléctricos (mantención de motores y sistema general)
- componentes Mecánicos (cambio de componentes mecánicos del equipo).
- Todos el sistema de manutención del área Molinos mas su suministro de bolas y barras.

Para obtener mayores detalles defiérase al capítulo 6 Simulación de Costos.

Costos por gasto de energía.

Para este ítem se considera el la suma de los consumos del siguiente equipo:

- Chancador HPGR
- Consumo Molienda Convencional mas consumo del Molino Unitario.

El detalles de los consumos se encuentra en el capítulo de simulación de costos (Tabla N° 13).

Costos por Servicios de Terceros

Para este ítem los costos por servicios de terceros no se modificara ya que se ha definido mantener la actual estructura los servicios generales que serán los mismos actualmente en operación, el

personal no se incrementara ni disminuirá debido a que el personal técnico no es de uso exclusivo del área chancado fino sino que del todo el área chancado en general.

Para ver mayor detalles refiérase el capítulo 6 Simulación de Costos.

Costos Fijos

La implementación del proyecto prácticamente no modificara los costos fijos. Los servicios de protección planta, contratos de arriendo de vehículos livianos, aseo industrial área chancado y molienda y servicios de apoyo a la capacitación seguirán regirán funcionando advirtiendo una pequeña disminución de USD 140.000 principalmente en los servicios de aseo.

Para ver mayor detalles refiérase el capítulo N° 6 Simulación de Costos.

Tabla N° 6: Costos Variables implementando el proyecto

COSTOS VARIABLES CON PROYECTO (HPGR)		
Tipo	Equipo	MUSD
Materiales y repuestos	Superficie Rodillo HPGR (4)	2.773.790
	Rodillos HPGR (2)	4.315.679
	Partes y Repuestos Menores Acero	350.987
	Lubricacion + Servicio	20.793
	Sistemas y componentes Electricos	75.157
	Componentes Mecanicos	110.755
	Mant. Molienda Convencional	95.224
	Suministro Bolas Molienda Convencional	2.030.125
	Suministro Bolas Molienda Unitaria	460.560
Total Materiales y Repuestos		USD 10.233.070
Total costo energia	HPGR	10.131.042
Total Consumo Energia		USD 10.131.042
Servicios de terceros	Servicios de mantención	55.758
	Operarios Codelco	79.462
	Serv. Tecnicos Especializados	17.894
	Capacitacion	15.532
Total Servicios de terceros		168.647
TOTAL COSTOS VARIABLES		USD 20.532.760
COSTOS FIJOS US\$		
	Proteccion Planta	138.546
	Contrato arriendo Vehiculos livianos	977.129
	Aseo industrial Chancado Tericario	216.023
	Aseo industrial molienda convencional	221.302
	Servicios apoyo capacitacion	20.400
TOTAL COSTOS FIJOS		USD 1.573.400,00
COSTO TOTAL MUSD		22.106

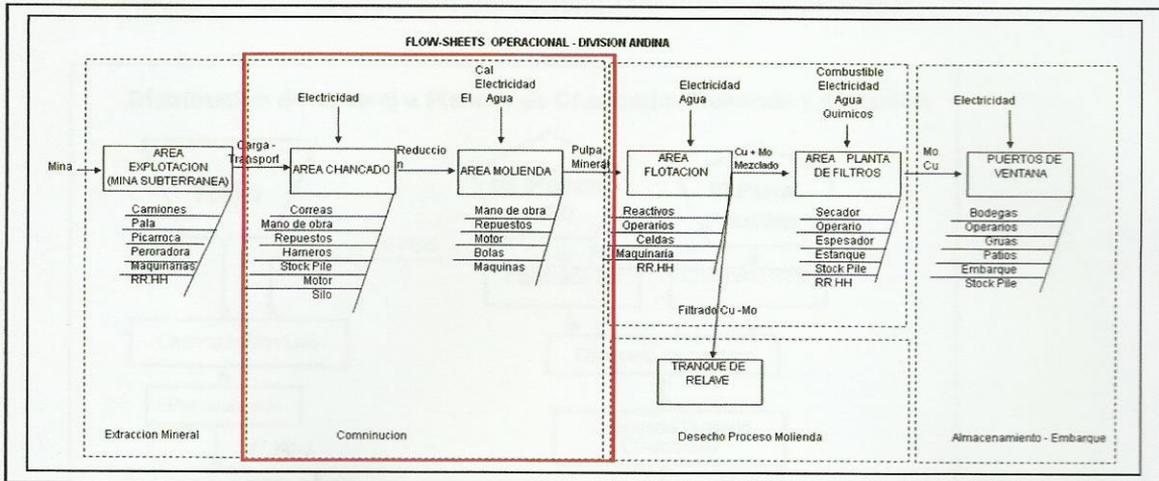
5. Modelos de Simulación de Producción

5.1 Modelo de simulación de Producción

El modelo de simulación de producción permite recrear en forma concreta y objetiva una situación real al proyectada aplicando esta técnica se pueden obtener resultados acotados la variabilidad de los procesos, es por esta razón que se ha aplicado estos modelos de simulación a l proyecto referido en este documento.

El siguiente diagrama representa los procesos productivo de la División Andina, en el recuadro rojo se representa el área de Conminución, siendo esta área la que participan en este modelo de simulación

Figura N° 25: Flow-Sheets Operación División Andina



El flow-sheets general representa las facilities principales del proceso productivo de la División Andina, sin embargo es necesario destacar que existen varios frentes de explotación de mineral, dentro de los más importantes de esta el Rajo Don Luís y la mina Sur-Sur y la Mina subterránea, es en esta última donde el proyecto se focaliza.

5.1.1 Operación Minera Vigente

La operación minera de la División considera la explotación simultánea de minería subterránea y de rajo abierto; en las operaciones mineras vigentes que son: Tercer Panel Subterráneo, Mina Don Luís y Sur-Sur en Rajo Abierto. Este plan minero está caracterizado por un ritmo de producción nominal de 92 KTPD.

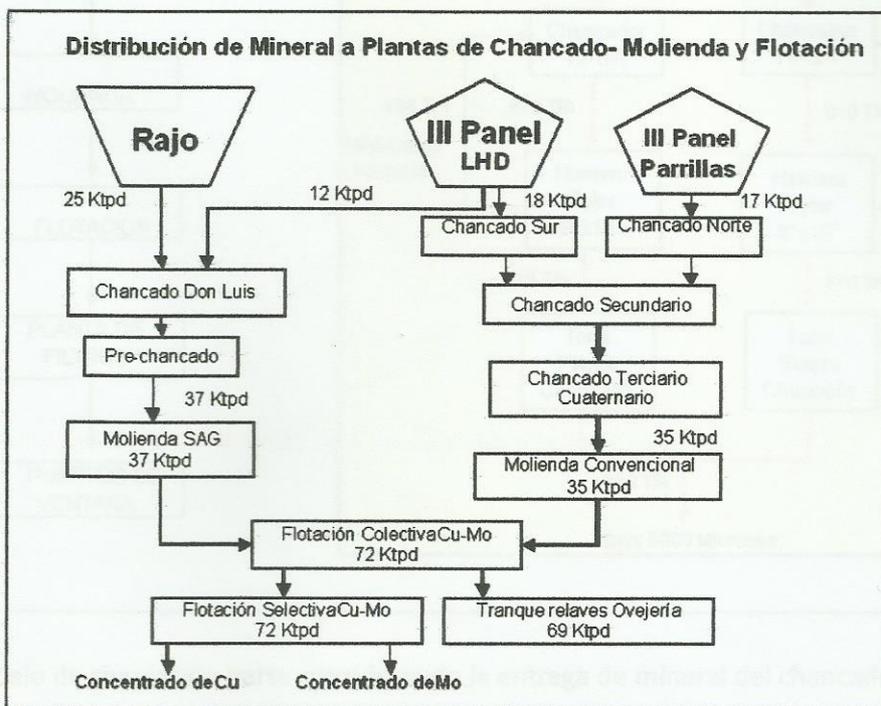
El proyecto se desarrolla en términos generales en el área del tercer panel y específicamente se inserta en el área chancado fino.

Se consideran las siguientes facilities:

- Chancado Primario Norte –Sur
- Chancado Secundario
- Chancado Terciario – Cuaternario
- Molienda Convencional
- Molienda Unitaria
- Flotación
- Filtrado
- Relave

En la Fig. Nº 26 se identifica la distribución del mineral y los tonelajes procesados por el tercer panel.

Figura Nº 26: Distribución del tonelaje de mineral a procesar

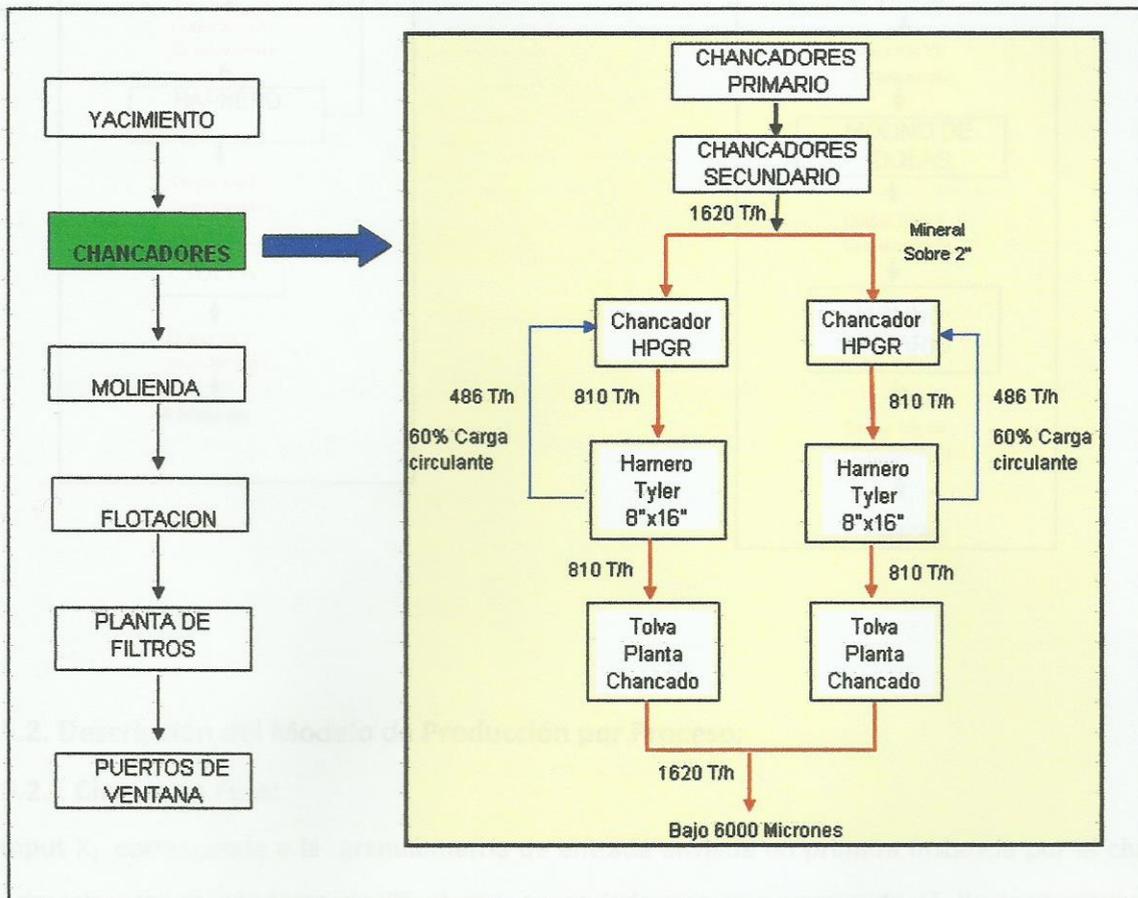


En esta línea de producción, el Chancado Terciario y Cuaternario actualmente operando en la División se transforman en cuellos de botella y aumentando las restricciones operaciones.

5.1.2 Diseño Projectado

El proyecto considera reemplazar estos equipos por 2 Chancadores HPGR de última generación, esta nueva tecnología utilizará el proceso de trituración por rodillos de alto rendimiento, permiten reducir la granulometría del mineral en forma significativa lo que involucra una disminución del consumo de energía específico, la producción es entregada a los chancado secundario y terciarios.

Figura N° 27: Flujo proyectado utilizando HPGR



El modelo de simulación parte considerando la entrega de mineral del chancado secundario, hacia los chancadores HPGR este procesa el mineral y entrega como carga fresca 1620 T/h almacenándolas en las tolvas de fino. Se distingue un flujo constante de material entre el HPGR y el Hamero llamado carga circulante la que corresponde a un 60% de la carga fresca de aproximadamente de 486 T/h por Chancador.

Los procesos que participan en este modelo de simulación son los que representa la Figura N° 28 y Figura N° 29.

Fig. N° 28: Flujo del Mineral Chancado Fino

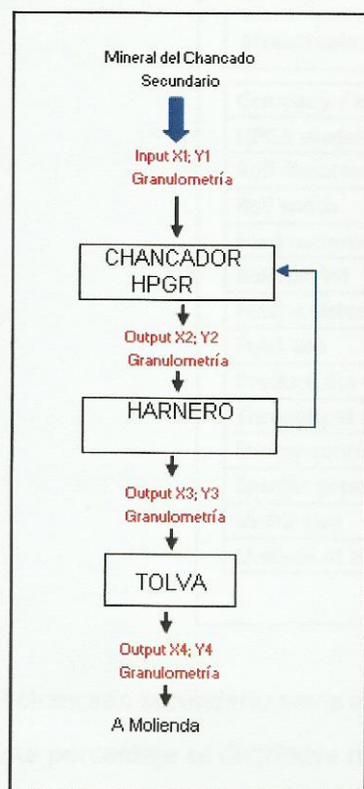
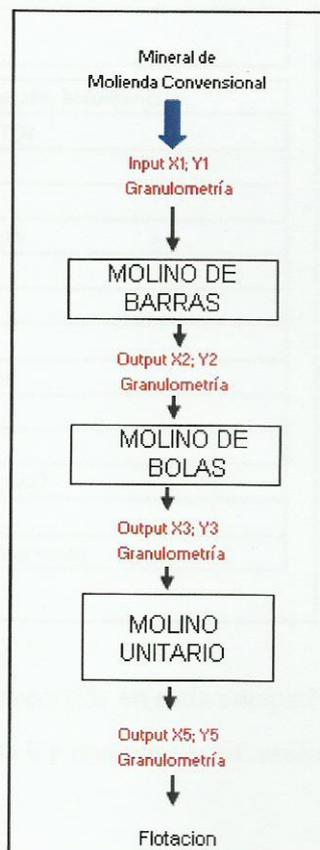


Fig. N° 29: Flujo de mineral Molienda Conv.



5.2. Descripción del Modelo de Producción por Proceso:

5.2.1 Chancado Fino:

Input X_1 corresponde a la granulometría de entrada enviada en primera instancia por el chancado primario con un producto de 7" el que es enviado una vez procesado al chancador secundario reduciendo el mineral a bajo ½".

Proceso: El producto del chancado secundario (2") es enviado al Chancado HPGR (situación Proyectada) el cual en base a su arquitectura de rodillos factura el mineral en forma eficiente facilitando en procesos posteriores la recuperación de cobre fino.

El layout definido contempla 2 equipos HPGR con una capacidad de 1800 t/h y con un consumo de 1800 Kw.

Tabla N° 7: Ficha técnica HPGR instalado en Mauritania

Mauritania: Design and process data	
Company / location	SNIM Zouerate, Mauritania
HPGR model	RP 16 - 170/180
Roll diameter	1,700 mm
Roll width	1,800 mm
Feed material	Coarse iron ore
Ball Mill WI	11-15 kWh/t
Feed moisture	0-0.5%
Feed size	-20+1.6mm
Product size	65% < 1.6mm
Throughput rate	1,800 t/h
Energy consumption	< 1.0 kW h/t
Specific press force	2.7 N/mm ² (max)
Motor size	2 x 900 kW
Lifetime of studded tyres	5,000 operating hours

El chancado secundario envía al HPGR 1620 t/h la cual es repartida en cada equipo HPGR.

Este porcentaje se distribuye normalmente con una media \bar{u} y una desviación estándar σ . Esta se determina de la siguiente manera:

Ejemplo para un HPGR

$$X_2 = X_1 + (X_1 * (m_{x1}\% \sim N(\bar{u} m_{x1}\%; \sigma m_{x1}\%))).$$

Donde:

X_1 = Carga entrante chancado secundario

$m_{x1}\%$ = Porcentaje de carga circulante 60% de la carga fresca

X_2 = Carga procesada por chancador HPGR

Por otro lado, hay que considerar el porcentaje asignado a la utilización del equipos cuya media es de 90% este 10% restante será utilizado para mantenciones de problemas técnicos presentados en la operación.

Output: Corresponde al número X_2 este valor simulado corresponde a la carga fresca mas las carga circulante que debe procesar el chancador. En base a la carga circulante y fresca se calculo la capacidad del chancador.

5.2.2 HARNERO:

Input X_2 corresponde a la granulometría entregada por el chancador HPGR bajo 3/4" la cual es recibida por el harnero vibratorio de doble malla.

Proceso: Este proceso es llevado a cabo por el harnero vibratorio consiste en seleccionar las partículas de mineral que están sobre 3/4" y para ser enviada nuevamente al chancador HPGR, estos dos equipos funcionan en circuito cerrado de manera de asegurar que el producto final este en condiciones para que sea procesado por el equipo siguiente en la línea de producción.

$$X_3 = X_2 < 3/4"$$

$X_2 \Rightarrow 3/4"$ Recircula

Donde:

X_2 = entrada de mineral de HPGR sobre 3/4" recircula a HPGR.

X_3 = Salida de mineral procesada por HPGR bajo 6000 micrones envió a tolva de almacenamiento.

Output: Corresponde al número X_3 salida de mineral de HPGR y envió a tolva de almacenamiento en 3 tolva de 5000 ton.

5.2.3 TOLVA:

Input X_3 corresponde a la granulometría entregada por el harnero vibratorio bajo 6000 micrones la cual es recibida por la tolva de almacenamiento final para el chancado fino.

Proceso: Este proceso es donde se almacena el mineral en 3 estructuras que cuentan con una capacidad de 5000 ton, este almacenamiento de reserva permite mantener a la producción ante una eventual parada de planta o algún problema técnico de los procesos anteriores.

Output: La salida de mineral por medio de alimentadores vibratorios es conducida vía correas al área de molienda. Las tolvas de alimentación a molienda tienen un capacidad de almacenamiento de 16 hrs. (2 turnos)

5.2.4 Molienda Convencional:

5.2.4.1 Molino de Barras

Input X1 corresponde al producto entregado por la etapa anterior, es decir por el chancado fino, esta área finalmente entrega un producto con una granulometría de 6000 micrones esta disminución del tamaño de la partícula es considerablemente menor a las granulometrías entregadas por las plantas de chancado tradicionales donde el producto final es de aproximadamente 10.000 micrones.

Proceso: En este proceso el mineral es molido por 3 molinos de barras, en este proceso se le agrega agua transformando el mineral en pulpa, la cual es molida por las barras del molino, en este proceso el desgaste de materiales y la energía consumida (3800 HP) es considerable en el proceso.

Output X2: La granulometría del mineral es de 4.500 micrones aproximadamente, la pulpa es canaliza y enviada a los molinos de bolas donde se continua el proceso de molienda.

5.2.4.2 Molino de Bolas

Input X₂ corresponde a la pulpa entregada por los 3 molinos de barras a los 9 molinos de bolas que reducirán aun más la granulometría del mineral.

Proceso: Este proceso consiste en utilizar bolas de acero para moler aun más la pulpa. Los 9 molinos realizan esta tarea consumiendo el más alto porcentaje de energía en proceso de conminución. La cantidad utilizada en energía es de 15.750 HPh tanto en el área chancando como en molienda la dureza del mineral tiene una importante relevante en el desgaste de equipos, consumo mayor de energía, esta condición aumenta en las plantas con chancadores tradicionales ya que se requiere una mayor cantidad de energía para triturar la roca, el chancador HPGR es menos impactado por esta condición. En la división andina se encuentra identificado todos los cuerpos mineralizados que presentan los distintos grados de dureza del mineral, para los cálculos realizados en este proyecto se

considero un índice de dureza del mineral de 14.1 (Work Index) este valor fue simulado obteniendo resultados que permiten cuantificar en términos de costos su importancia dentro del proceso.

Output: Corresponde al número X_3 este proceso de salida logra entregar una granulometría del mineral de aproximadamente 290 micrones, el mineral continuara el proceso pasando al molino unitario.

5.2.5 Molino Unitario

Input X_3 corresponde a la pulpa entregada por los 9 molinos de bolas los que entregan una granulometría de 270 micrones promedio este mineral transformado en pulpa entra a la última etapa de el proceso de molienda.

Proceso: Este proceso consiste en utilizar bolas de acero para moler aun mas la pulpa la diferencia entre los molinos anteriores es principalmente su tamaño y su capacidad de moler mayor cantidad de mineral, la cantidad de energía utilizada es de 3.800 HP siendo el segundo equipo en el área molienda que mas consume energía, la cantidad bolas utilizadas por este equipo es considerable y constituye un costos importante en la reposición de las bolas deterioradas.

Output: Corresponde al número X_4 la salida del mineral finalizado todo el proceso de conminución es de aproximadamente 270 micrones promedio esta granulometría esta dentro de los parámetros aceptable por el área de flotación.

5.3 Consumo de Energía – Área Chancado y Molienda Planta actual y Proyectada

Para cuantificar cuanta energía es consumida en el área de conminución de necesario separar los procesos. En primer termino se analizara el área de Chancado y luego molienda.

Para saber la cantidad de energía consumida fue necesario realizar una comparación entre la situación actual y la proyectada obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla N° 8: Consumos de energía expresados en HP para el área Chancado Fino

DESCRIPCION PLANTA	Entrada F80 (Micrones) Salida de por Chancador	Salida P80 (Micrones) de Molienda	CHANCADO TERCARIO (4)	CHANCADO CUATERNARIO (3)	CONSUMO TOTAL AREA CHANCADO FINO
			HP	HP	HP
PLANTA ACTUAL	10.000	270	3.600	900	4.500
PLANTA PROYECTADA CON 2 CHANCADORES HPGR	6.000	240			4.825,7

Se observa que la planta actual tiene un consumo de energía de 4.500 HP desglosada en:

- Chancado Terciario 3.600 HP (4 chancadores MP-800 y MP-1000)
- Chancado Cuaternario 900 HP (3 chancadores SIMMONS)

Por el contrario en la planta proyectada solo se consideran 2 HPGR cuyo consumo es de 4.825 HP.

Consideraciones

Los equipos HPGR en el área chancado consumen un delta mayor a los chancadores tradicionales, sin embargo los resultados se concretan en el área molienda esto se consigue principalmente con el mayor rendimiento en la trituración del mineral que logra 2 objetivos fundamentales para este proyecto, uno de ellos es el ahorro de energía principalmente en el área Molienda y una mayor recuperación de finos en el área de flotación.

Gasto energético en el área molienda con y sin proyecto

Se observa que la planta actual en el área molienda tiene un consumo de energía de 23.350 HP desglosada en:

- Molino de Barras 3.800 HP (3 molinos)
- Molino de Bolas 15.750 HP (9 molinos de bolas)
- Molino Unitario 3.800 HP

Tabla N° 9: Consumos de energía expresados en HP para el área Molienda Conv.

MOLINO DE BARRAS (3)	MOLINO DE BOLAS (9)	MOLINO UNITARIO (1)	TOTAL MOLIENDA CONVENCIONAL	POTENCIA CONSUMIDA CHANCADO + MOLIENDA CONV.
HP	HP	HP	HP	HP
3.800	15.750	3.800	23.350	27.850
				20.687

En el escenario proyectado se calculo la energía ahorra por los actuales equipos de la planta debido al efecto "HPGR" en las partículas de mineral. Como el chancador HPGR consigue microfacturar la roca en firma mucho más eficiente que los chancadores actuales esto permiten que la partícula entre al área de molienda con una granulometría inferior, concretamente se tienen los siguientes valores:

5.3.1 Calculo del ahorro de energía utilizando HPGR

Planta actual

Salida de mineral del chancado fino granulometría de 10.000 micrones la que es procesada por el área de molienda.

Situación Proyectada

Salida de mineral del chancador HPGR granulometría de 6.000 micrones la que es procesada por el área de molienda.

Esta diferencia en la granulometría de entrada a la molienda en el valor agregado del proyecto, ya no es necesario partir de 10.000 micrones realizando el gasto de energía en reducirlo a 6000. Este ahorro en energía es medible y costeable.

La aplicación matemática de esta ahorro de energía esta siguiente:

Al aplica la tercera ley de conminución Índice Bond tenemos los siguientes valores:

Figura N° 30: Formula aplicada para medir Energía utilizada en Conminución

$$W_{io} = E / 10 (1/P_{80}^{1/2} - 1/F_{80}^{1/2})$$

E	= Specific Energy Consumption, kWh/ton ground.
F ₈₀	= 80% passing size in the Fresh Ore Feed Stream, microns.
P ₈₀	= 80% passing size in the Final Ground Product, microns.
W _i	= Bond's Work Index, indicative of the hardness of the ore, kWh/ton.

E = 14.1 (Work Index – nivel de dureza del mineral)

P80= Granulometría de salida.

F80 = Granulometría de Entrada

$$W = 14.1 \left(\frac{10}{\sqrt{240}} - \frac{10}{10.000} \right)$$

W=20.697 HP (Simulado)

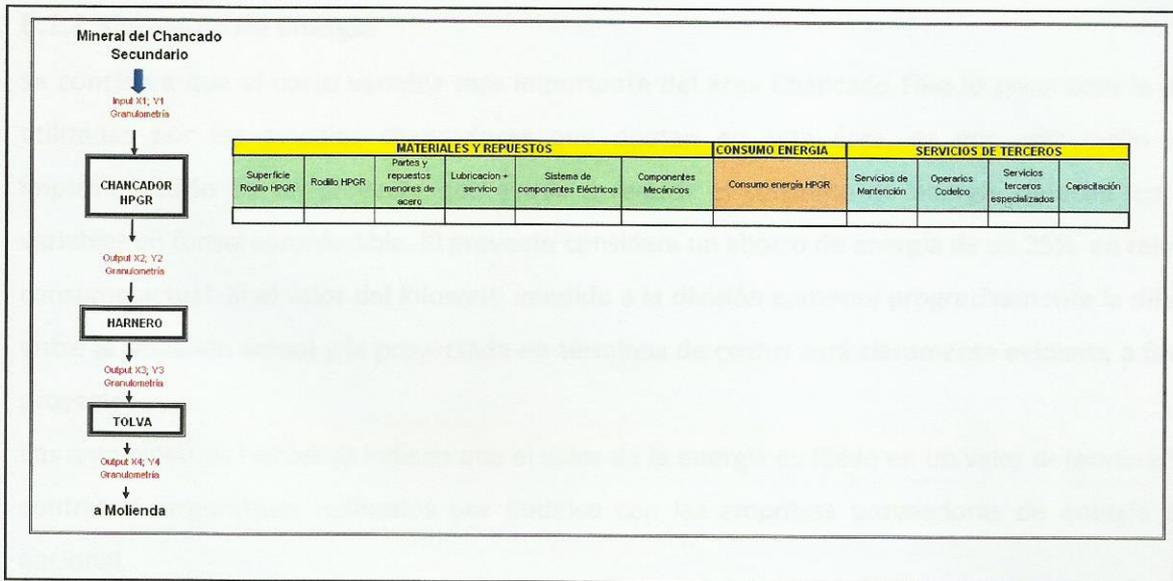
Si se comparan los resultados finales existe aproximadamente un 25% de ahorro de energía promedio utilizando HPGR en proceso de Chancado.

6. Modelos de Simulación de Costos

6.1 Simulación Modelo de Costos

El modelo simula los costos involucrados en la producción generada por los nuevos chancadores HPGR (Situación con Proyecto). La siguiente figura representa los costos variables incurridos en la implementación del proyecto, para ello se establece 3 categorías, los materiales y repuestos, el consumo de energía y los servicios de terceros.

Figura N° 31: Modelo de Costos situación proyectada



6.1.1 Materiales y Repuestos

Este ítem contempla los siguientes insumos y servicios:

Revestimiento del Rodillo: Se considera el recambio de esta superficie de contacto por efecto de desgaste cumplida la vida útil de 5.000 hrs. de operación.

Rodillo HPGR: Se considera 2 rodillos al año, estos cumplirán un proceso de rotación con los rodillos revestidos de manera de ir cubriendo los tiempo de reparación del rodillos y de esta manera no interrumpir el flujo continuo de material. Ver Anexo N° 2 Matriz de control de cambios de repuestos.

Partes y Repuesto menores de Acero: Este ítem contempla todas las partes y piezas menores que sufren algún tipo de desgaste en proceso y cuyo reemplazo es simple y de un costo menor.

Lubricación y Servicio: Este ítem contempla la lubricación de las partes mecánicas del chancador HPGR incluyendo el servicio de mantenimiento de la lubricación de los equipos.

Sistema de Componentes Eléctricos: Se considera el mantenimiento del sistema de alimentación eléctrica, motores, transformadores, sistema de ventilación, alimentación al sistema de control.

6.1.2 Consumo de Energía

Se considera que el costo variable más importante del área Chancado Fino lo constituye la energía utilizada por los actuales chancadores que operan en esta área, es por esta razón que la implementación de un proyecto que ayude a reducir el consumo de energía reducirá los costos variables en forma considerable. El proyecto considera un ahorro de energía de un 25% en relación al consumo actual. Si el valor del Kilowatt vendido a la división aumenta progresivamente la diferencia entre la situación actual y la proyectada en términos de costos será claramente evidente a favor del proyecto.

Los antecedentes históricos indican que el valor de la energía es fijado en un valor determinado por contratos corporativos realizados por Codelco con las empresas proveedoras de energía a nivel nacional.

La variación proyectada a 10 años considerando 3 contratos corporativos (Endesa, Colbun Enel, Pacific Hydro) a lo largo de este periodo indicaría que el retorno en términos de ahorro en el costo de la energía utilizada en el proceso representaría una reducción de costos en forma significativa, un ejemplo demostrable a través de la simulación de los procesos podría ser la siguiente:

Valor actual de la energía es de USD 0.09 al aplicar la simulación del proceso nos permitiría obtener un ahorro de USD 4.229.822 en un comienzo, para el término del proyecto se estima que el valor de la energía será de 0.176 aproximadamente con una variación del 7% anual en el valor actual de la energía. Al aplicar este valor obtendremos un ahorro de USD 8.262.709 en el área Chancado Fino utilizando HPGR.

A continuación se realizara un comparación entre la situación actual y la proyectada de manera de establecer en términos de costos en ahorro de energía la conveniencia del la implementación del proyecto.

Al comparar los costos incurridos en energía en la situación actual versus la proyectada se observan las siguientes variaciones:

Tabla N° 10: Comparación de Costos Gasto de Energía – Situación Actual v/s Proyectada

Situación Actual Consumo de Energía - Área Chancado Fino		
Gasto de Energía	Chancado Terciario	1.905.594
	Chancado Cuaternario	476.399
	Molino de Barras	1.587.995
	Molino de Bolas	8.236.975
	Molino Unitario	2.011.461
Total Consumo Energía		USD 14.218.424
Situación Proyectada Consumo de Energía - Área Chancado Fino		
Total costo energía	HPGR	10.110.740
Total Consumo Energía		USD 10.110.740

Se observa que la situación proyecta reemplazando los 7 Chancadores del área chancado fino por 2 Chancadores HPGR refleja un ahorro de USD 4.107.689 aproximadamente, estos valores son obtenidos del proceso de simulación de los costos variables.

6.1.3 Servicios de Terceros

Este ítem en el costo variable se divide en:

- **Servicios de Mantenición:** Este servicio esta encargado de realizar las operaciones de mantención periódicas que requieren los equipos este trabajo lo realizan personal especialistas en mecánica electricidad principalmente.
- **Operarios Codelco:** Se considera el grupo de profesionales que tiene a cargo la supervisión de los trabajos realizados tanto en la mantención de los equipos, seguridad de los trabajadores como el trabajo y el correcto cumplimiento de la normativa.

- Capacitación: Se considera dentro de los costos de terceros la capacitación tanto para el personal contratista como el personal propio de la empresa, esta capacitación no esta enfocada a conocer la normativa de la empresa sino que considera las operaciones de los equipos, reuniones de coordinación de actividades propia de la operación del área chancado fino.

En esta ítem no se consideran variaciones en entre la situación actual y la proyectada, esto se puede observar en la siguiente figura.

Tabla N° 11: Comparación Serv. Terceros Costo – Situación Actual v/s Proyectada

Situación Actual Servicios de Terceros - Área Chancado Fino		
Servicios terceros	Servicios de mantención	55.642
	Operarios Codelco	79.296
	Serv. Tecnicos Especializados	17.857
	Capacitacion	15.500
Total Servicios		168.295

Situación Proyectada Servicios de Terceros - Área Chancado Fino		
Servicios de terceros	Servicios de mantención	55.546
	Operarios Codelco	79.159
	Serv. Tecnicos Especializados	17.826
	Capacitacion	15.473
Total Servicios de terceros		168.003

En resumen se puede advertir que las variaciones principales al comparar los costos variables con y sin proyectos se encuentran focalizadas principalmente en los materiales y repuestos con una diferencia aproximada de USD 2.879.365 y el consumo de energía con una diferencia de USD 4.107.684. Para los servicios de terceros los costos son similares. (Ver detalle Capitulo N° 9 Evaluación Económica "Cuadro Comparativo Costos Variables).

A continuación en la siguiente figura se representa la estructura de costos de la situación actual del área de Comminución es decir, el área Chancado Fino y el área Molienda Convencional y unitaria.

Se ha considera agregar el área de molienda adicionalmente en este modelo que inicialmente debería contener solo el área Chancado Fino, sin embargo es necesario como base de comparación considera la molienda ya que esta se vera beneficiada con la implementación del proyecto, para ello será necesario comparar el proyecto y su gran impacto sobre la molienda en términos de consumo de energía con la totalidad de del área de comminución. Los costos implicados se han representado en tres ítems estos son:

6.2 Identificación de costos por equipos mayores

6.2.1 Chancado Terciario:

- Materiales y Repuestos

- Mecánica Chancador Fino
- Electricidad Chancador Fino
- Ventilación Chancador Terciario

- Gatos de Energía

- Energía Consumida por Chancador Terciario

- Servicios de Terceros

- Servicios de Mantenimiento
- Operarios Codelco
- Servicio Técnico especializado
- Capacitación

Harnero

- Materiales y Repuestos

- Mecánica Chancador Fino
- Electricidad Chancador Fino

- Gatos de Energía

- Energía Consumida por Chancador Terciario

- **Servicios de Terceros**

- Servicios de Mantenimiento
- Operarios Codelco
- Servicio Técnico especializado
- Capacitación

Tolva

- **Materiales y Repuestos**

- Mecánica Chancador Fino

- **Servicios de Terceros**

- Servicios de Mantenimiento
- Operarios Codelco
- Servicio Técnico especializado

6.2.2 Chancado Cuaternario

- **Materiales y Repuestos**

- Mecánica Chancador Fino
- Electricidad Chancador Fino
- Ventilación Chancador Cuaternario

- **Gatos de Energía**

- Energía Consumida por Chancador Cuaternario

- **Servicios de Terceros**

- Servicios de Mantenimiento
- Operarios Codelco
- Servicio Técnico especializado
- Capacitación

Tolva

- **Materiales y Repuestos**

- Mecánica Chancador Fino

Servicios de Terceros

- Servicios de Mantenimiento
- Operarios Codelco
- Servicio Técnico especializado

6.2.3 Molino de Barras

Materiales y Repuestos

6.2.3 Molino de Barras

- Materiales y Repuestos

- Mantenimiento Molienda Convencional

- Gatos de Energía

- Gatos de Energía

- Energía Consumida Molino de Barras

- Servicios de Terceros

- Servicios de Mantenimiento

- Servicios de Terceros

- Servicios de Mantenimiento
- Operarios Codelco
- Servicio Técnico especializado
- Capacitación

6.2.4 Molino de Bolas

- Materiales y Repuestos

- Mantenimiento Molienda Convencional
- Suministro de Bolas molienda Convencional.

- Gatos de Energía

- Energía Consumida Molino de Bolas

- Servicios de Terceros

- Servicios de Mantenimiento
- Operarios Codelco

- Servicio Técnico especializado
- Capacitación

6.2.5 Molino Unitario

- Materiales y Repuestos

- Mantenimiento Molienda Convencional
- Suministro de Bolas Molienda Unitaria.

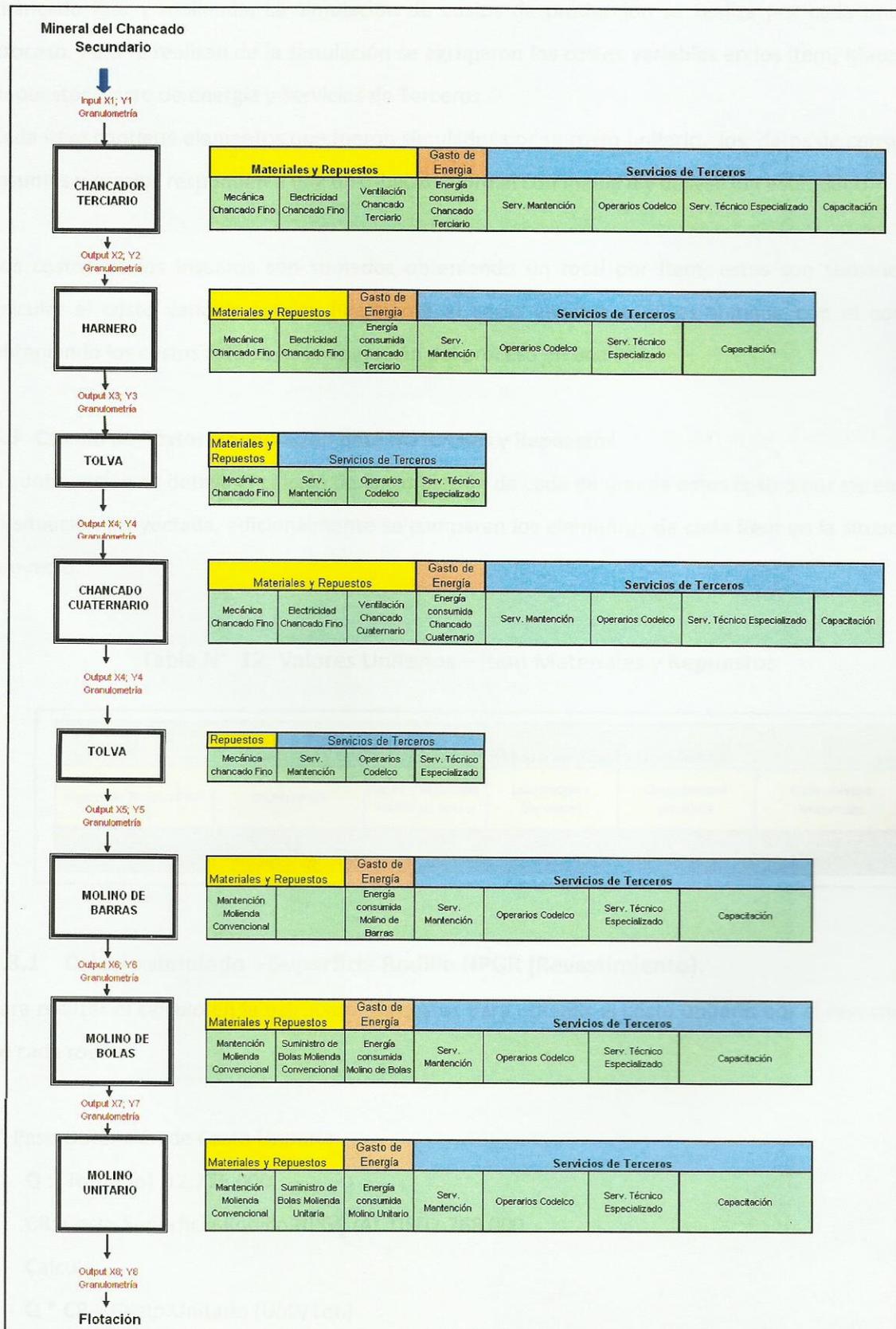
- Gatos de Energía

- Energía Consumida Molino Unitario

- Servicios de Terceros

- Servicios de Mantenimiento
- Operarios Codelco
- Servicio Técnico especializado
- Capacitación

Figura N° 32: Diagrama de Flujo Modelo de Simulación de Costos – Situación Actual



Este modelo de simulación contempla los costos variables, asociados a la producción en área chancado fino y molienda. La simulación de costos de producción se realiza por cada unidad de proceso. Para la realización de la simulación se agruparon los costos variables en los ítem, Materiales y Repuestos, gasto de energía y Servicios de Terceros

Cada ítem contiene elementos que fueron simulados por su costo unitario, los datos de consumo de insumos y precios responden a una distribución normal con media μ y desviación estándar σ .

Los costos de los insumos son sumados obteniendo un total por ítem, estos son sumados para calcular el costo variable total. Finalmente el costo variable total es sumado con el costo fijo obteniendo los costos totales de la operación del proceso en un año.

6.3 Cálculo de Costos – Simulación para Materiales y Repuestos

A continuación se detalla el cálculo de la simulación de cada uno de estos costos por sistema para la situación proyectada, adicionalmente se comparan los elementos de cada ítem en la situación sin proyecto.

Tabla N° 12: Valores Unitarios – Ítem Materiales y Repuestos

Materiales y Repuestos para HPGR para un Año de Mantención					
Superficie Rodillo HPGR	Rodillo HPGR	Partes y repuesto menos de acero	Lubricación + Servicios)	Componentes eléctricos	Componentes Mecánicos
Costo Unitario (USD/ton)					
USD 0,216673	USD 0,3371170	USD 0,0274	USD 0,001624	USD 0,0058708	USD 0,00865159

6.3.1 Cálculo simulado - Superficie Rodillo HPGR (Revestimiento).

Para realizar el cálculo en la estructura de costos para obtener el costo unitario por el revestimiento de cada rodillo.

1° Paso Obtención de Costo Unitario

Q : (Ton/año) 12.775.000

CR: Costo Superficie Rodillo HPGR (4) USD2.768.000

Cálculo

$Q * CR = \text{Costo Unitario (USD/Ton)}$

Costo Unitario Superficie Rodillo = $2.768.000 / 12.775.000$

Costo Unitario Superficie Rodillo = 0,217

2° Simulación y Costos utilizando una distribución normal de probabilidades

Se simula una producción utilizando 1000 números aleatorios e iterando 1000 veces el proceso para ello se determino la distribución normal en base al software Crystal ball utilizando una media de 35.000 ton/día y una desviación estandar de 1.166.

De la simulación se obtuvieron las toneladas al año para cada iteración la cual fue multiplicada por el valor unitario de la superficie del Rodillo.

Valor del revestimiento del rodillo = Ton/año (simulado) * 0,217

De la simulación se obtienen 1000 iteraciones con el valor simulados del revestimiento del rodillo.

Estos mil valores se promedian obteniendo como resultado simulado USD 2.768.996.

6.3.2 Calculo simulado - Rodillo HPGR

Para realizar el calculo en la estructura de costos para obtener el costo unitario del ítem Rodillo HPGR.

1° Paso Obtención de Costo Unitario

Q : (Ton/año) 12.775.000

CR: Costo Rodillo HPGR (2) USD 4.306.670

Calculo

$Q * CR = \text{Costo Unitario (USD/Ton)}$

Costo Item Rodillo HPGR = $4.306.670 / 12.775.000$

Costo Item Rodillo HPGR = 0,337

2° Simulación y Costos utilizando una distribución normal de probabilidades

Se simula una producción utilizando 1000 números aleatorios e iterándolos 1000 veces para ello se determino la distribución normal en base al software Crystal ball utilizando una media de 35.000 ton/día y una desviación estándar de 1.166.

De la simulación se obtuvieron las toneladas al año para cada iteración la cual fue multiplicada por el valor unitario de los Rodillos HPGR.

$$\text{Valor del los rodillo HPGR} = \text{Ton/año (simulado)} * 0,337$$

De la simulación se obtienen 1000 iteraciones con el valor simulados del rodillo. HPGR. Estos mil valores se promedian obteniendo como resultado simulado USD 4.308.220.

6.3.3 Calculo simulado - Partes y Repuestos Menores de Acero (PRMA)

Para realizar el cálculo en la estructura de costos para obtener el costo unitario para ítem PRMA.

1° Paso Obtención de Costo Unitario

Q : (Ton/año) 12.775.000

CR: Costo PRMA USD 350.254

Calculo

$Q * CR = \text{Costo Unitario (USD/Ton)}$

$\text{Costo PRMA} = 350.254 / 12.775.000$

Costo PRMA= 0,027

2° Simulación y Costos utilizando una distribución normal de probabilidades

Se simula una producción utilizando 1000 números aleatorios e iterándolos 1000 veces para ello se determino la distribución normal en base al software Crystal ball utilizando una media de 35.000 ton/día y una desviación estándar de 1.166.

De la simulación se obtuvieron las toneladas al año para cada iteración la cual fue multiplicada por el valor del ítem PRMA.

$$\text{Valor de PRMA} = \text{Ton/año (simulado)} * 0,027$$

De la simulación se obtienen 1000 iteraciones con el valor simulados del PRMA. Estos mil valores se promedian obteniendo como resultado simulado USD 350.380.



6.3.4 Cálculo simulado - Lubricación mas Servicio

Para realizar el cálculo en la estructura de costos para obtener el costo unitario para ítem Lubricación mas Servicio.

1° Paso Obtención de Costo Unitario

Q : (Ton/año) 12.775.000

CR: Costo PRMA USD 20.750

Calculo

$Q * CR = \text{Costo Unitario (USD/Ton)}$

Costo PRMA = $20.750 / 12.775.000$

Costo PRMA= 0,002

2° Simulación y Costos utilizando una distribución normal de probabilidades

Se simula una producción utilizando 1000 números aleatorios e iterándolos 1000 veces para ello se determino la distribución normal en base al software Crystal ball utilizando una media de 35.000 ton/día y una desviación estándar de 1.166.

De la simulación se obtuvieron las toneladas al año para cada iteración la cual fue multiplicada por el valor del ítem lubricación más Servicios.

Valor Lubricación mas Servicio = Ton/año (simulado) * 0,002

De la simulación se obtienen 1000 iteraciones con el valor simulados del ítem lubricación más Servicios. Estos mil valores se promedian obteniendo como resultado simulado USD 20.757.

6.3.5 Cálculo simulado - Sistemas y componentes Eléctricos

Para realizar el cálculo en la estructura de costos para obtener el costo unitario para ítem Sistema y Componentes Eléctricos.

1° Paso Obtención de Costo Unitario

Q : (Ton/año) 12.775.000

CR: Costo Sistema y Componentes Eléctricos USD75.000

Calculo

$Q * CR = \text{Costo Unitario (USD/Ton)}$

$\text{Costo Sistema y Componentes Eléctricos} = 75.000 / 12.775.000$

$\text{Costo Sistema y Componentes Eléctricos} = 0,006$

2° Simulación y Costos utilizando una distribución normal de probabilidades

Se simula una producción utilizando 1000 números aleatorios e iterándolos 1000 veces para ello se determino la distribución normal en base al software Crystal ball utilizando una media de 35.000 ton/día y una desviación estándar de 1.166.

De la simulación se obtuvieron las toneladas al año para cada iteración la cual fue multiplicada por el valor del ítem Sistema y Componentes Eléctricos.

$\text{Sistema y Componentes Eléctricos} = \text{Ton/año (simulado)} * 0,006$

De la simulación se obtienen 1000 iteraciones con el valor simulados del ítem Sistema y Componentes Eléctricos. Estos mil valores se promedian obteniendo como resultado simulado USD 75.027.

6.3.6 Calculo simulado - Componentes Mecánicos

Para realizar el cálculo en la estructura de costos para obtener el costo unitario para ítem Componentes Mecánicos.

1° Paso Obtención de Costo Unitario

$Q : (\text{Ton/año}) 12.775.000$

$CR: \text{Costo Componentes Mecánicos USD } 110.524$

Calculo

$Q * CR = \text{Costo Unitario (USD/Ton)}$

$\text{Costo Componentes Mecánicos} = 110.524 / 12.775.000$

$\text{Costo Componentes Mecánicos} = 0,009$

2° Simulación y Costos utilizando una distribución normal de probabilidades

Se simula una producción utilizando 1000 números aleatorios e enterándolos 1000 veces para ello se determino la distribución normal en base al software Crystal Ball utilizando una media de 35.000 ton/día y una desviación estándar de 1.166.

De la simulación se obtuvieron las toneladas al año para cada iteración la cual fue multiplicada por el valor del ítem Componentes Mecánicos.

$$\text{Componentes Mecánicos} = \text{Ton/año (simulado)} * 0,009$$

De la simulación se obtienen 1000 iteraciones con el valor simulados del ítem Componentes Mecánicos. Estos mil valores se promedian obteniendo como resultado simulado USD 110.564

El total general simulado del los Materiales y Repuestos es de USD 10.227.751

6.4 Calculo simulado – Gasto de Energía

Para la evaluación del segundo ítem Consumo de Energía con HPGR se ha considerado los consumos de los chancadores HPGR más los molinos de barras bolas y molino unitario.

Figura N° 33: Consumo de Energía Simulado utilizando HPGR

Consumo Energía con HPGR		Total Gasto de Energía utilizando HPGR
HPGR +Molienda Convencional + Molino Unitario		
Costo Unitario (USD/Ton)		
USD 0,7913811350		

Para el cálculo del costo contemplado en el ítem Consumo de Energía con HPGR fue necesario calcular algunas variables y manejar información geológica relacionada con la dureza del mineral. Los datos recolectados y calculados son los siguientes:

- Consumo de Energía de 2 Chancadores HPGR (4.826 HP)
- Consumo de Energía de 3 Molinos de Barra (3800 HP)
- Consumo de Energía de 9 molinos de bolas (15.750 HP)
- Consumo de Energía de 1 Molino Unitario (3800 HP)
- Dureza del mineral Work Index (14,1)
- Granulometría de Salida del equipo HPGR (6.000 Micrones)

- Granulometría de Salida Molienda Convencional (240 Micrones utilizando HPGR)

Se ha considerado establecer que el cálculo de energía para el área molienda se obtendrá utilizando la ley de Bond que permite medir la cantidad de energía consumida al disminuir la granulometría de la partícula de mineral.

La energía consumida por los dos Chancadores HPGR definidos en el proyecto es de 1800 KW por cada chancador, 3600 KW en total y 4.826 HP de potencia para ambos chancadores.

Para conocer los costos involucrados en el proyecto se procederá a realizar una comparación con la situación actual. En la siguiente tabla se establecen los consumos de energía en Kilowatt, HP, MegaWatt y los costos valorados en USD.

Tabla N° 13: Cuadro resumen de consumos de energía por equipos área Conminución

PLANTA ACTUAL - CHANCADO FINO									
Equipo	KW	HP	MW	UTILIZACION 90%	MW/DIA	MW/AÑO	KW/AÑO	VALOR ENERGIA	COSTO
chancado terciario	2.685,60	3.600	2,69	2,42	58,01	21.173,27	21.173.270	0,09	1.905.594
Chancado Cuaternario	671,40	900	0,67	0,60	14,50	5.293,32	5.293.318	0,09	476.399
Total area Chancado Fino						26.466,6	26.466.588	0,09	2.381.993
molino de barras	2.238,00	3.000	2,24	2,01	48,34	17.644,39	17.644.392	0,09	1.587.995
molino de bolas	11.749,50	15.750	11,75	10,57	253,79	92.633,06	92.633.058	0,09	8.336.975
molino unitario	2.834,80	3.800	2,83	2,55	61,23	22.349,56	22.349.563	0,09	2.011.461
Total Molienda Convencional + molino Unitario						132.627,01	132.627.013	0,09	11.936.431
TOTAL CONMINUCION						159.093,6		Total Costo Energia	14.318.424

PLANTA PROYECTADA CON CHANCADORES HPGR									
Equipo	KW	HP	MW	UTILIZACION	MW/DIA	MW/AÑO	KW/AÑO	VALOR ENERGIA	COSTO
Chancado HPGR	3.600	4.826	3,60	3,02	72,58	26.490,04	26.490.035	0,09	2.394.103
Molienda Convencional + Unitaria	11.806,42	15.826	11,81	9,80	235,18	85.842,12	85.842.117	0,09	7.725.791
Total area Conminucion						112.332,2	112.332.153	0,09	10.109.894
								Total costo Energia HPGR	10.109.894

De las 2 figuras anteriores se determina en base a la comparación de resultados, que los costos del proyecto reducen en un 25 a 29% los costos de energía con respecto a la situación actual, este análisis indica que existe un ahorro de energía efectivo de USD 4.208.530.

De las figuras se destaca que en el área Chancado Fino la situación proyectada presenta consumos muy similar a la situación actual.

Consumo Situación Actual - Área Chancado Fino 26.466,6 MW/año.

Consumo Situación Proyectada - Área Chancado Fino 26.490,04 MW/año

Los costos involucrados para el área Chancado Fino ascienden a USD 2.381.993 para la situación actual. Para la situación proyectada en el área Chancado fino Ascenden a USD 2.384.103

Los costos obtenidos induciría a pensar que el proyecto no es rentables, sin embargo los consumos se reducen drásticamente en el área molienda y no en el área chancado fino donde se enmarca el proyecto. La reducción de costos en el área molienda obedece a la tecnología utilizada por el Chancador HPGR que consigue microfisurar la roca mucho más que en un proceso convencional utilizando la actual tecnología.

En términos de costo se advierte que la energía utilizada en la situación proyectada para el área molienda es menor que la actualmente utilizada en la planta.

Consumo Situación Actual - Área Molienda	132.627 MW/año.
Consumo Situación Proyectada - Área Molienda	85.842 MW/año

Los costos involucrados para el área molienda ascienden a USD 11.936.431 para la situación actual, para la situación proyectada en el área Chancado fino Ascenden a USD 7.725.791.

Los costos totales para la situación actual incluida el área chancado fino y molienda ascienden a USD 14.318.424 (Valores Simulados).

Los costos totales para la situación con proyecto incluida al área chancado fino y molienda ascienden a USD 10.109.894 (Valores Simulados).

Para la simulación de costos en el ítem Consumo de Energía se realizaron los siguientes pasos:

Como primer paso se debe establecer los consumos de energía que considera el proyecto, estos se describen en la siguiente tabla.

Tabla N° 14: Resumen de Costos por energía utilizando HPGR

Equipo	MW/ANO	KW/ANO	VALOR ENERGIA	COSTO
Chancado HPGR	26.490,04	26.490,035	0,09	2.384.103
Molienda Convencional + Unitaria	85.842,12	85.842,117	0,09	7.725.791
Total area Comunucion	112.332,2	112.332,153	0,09	10.109.894
Total costo Energia HPGR (USD)				10.109.894

El costo total de consumo de energía para el área de conminucion de es de USD 10.109.894 (simulado).

Luego este valor se divide por la producción anual ton/año

$$\text{Costo de energía} = 10.109.894 / 12.775.000$$

De esta operación se obtiene un valor unitario de la energía, la cual será multiplicada por la producción para las 1000 iteraciones obteniendo como promedio USD 10.130.035 (valor producto de la simulación).

6.5 Calculo simulado – Servicios de Terceros

A continuación se detalla el último ítem considerado en los costos variables, este corresponde a Servicios de Terceros tabla N° 15

Tabla N° 15: Costo totales – Ítem Servicios Terceros

Servicios terceros	Servicios de mantención	55.642
	Operarios Codelco	79.296
	Serv. Tecnicos Especializados	17.857
	Capacitacion	15.500
Total Servicios		USD 168.295,00

Los costos de este ítem son similares a la situación actual, esto se explica debido a que el proyecto no afectara en términos de costos a los servicios ni al personal actualmente definido en esta área de trabajo.

6.6 Costos Fijos

A continuación se describe los costos fijos considerados tanto para la situación actual como también para la proyectada.

Costos Fijos para la situación actual USD 1.713.400

Costos Fijos para la Situación Proyectada USD 1.573.400

Readvierte una pequeña diferencia favor de la situación con proyecto de USD 140.000

Tabla N° 16: Resumen de Costos Fijos

Costos Fijos Sin Proyecto		Costos Fijos Con Proyecto	
COSTOS FIJOS (USD) 1 año de Operación		COSTOS FIJOS US\$	
Proteccion Planta	138.546	Proteccion Planta	138.546
Contrato arriendo Vehiculos livianos	977.129	Contrato arriendo Vehiculos livianos	977.129
Aseo industrial Chancado Tericario	286.023	Aseo industrial Chancado Tericario	216.023
Aseo industrial molienda convencional	291.302	Aseo industrial molienda convencional	221.302
Servicios apoyo capacitacion	20.400	Servicios apoyo capacitacion	20.400
	USD 1.713.400		USD 1.573.400

Totalizando los costos variables y los costos fijos para la situación proyectada se tienen los siguientes valores:

USD 22.062.000 (Simulado)

Los costos actuales en el área de conminucion son los siguientes:

Costo variable USD 27.483.835

Costo Fijo USD 1.713.400

Con el análisis de los costos de energía involucrados en el proyecto finaliza la evaluación del primer gran objetivo del proyecto. Para proceder con el estudio del segundo gran objetivo es necesario explicar que al implementar de este cambio tecnológico utilizando chancadores HPGR se consigue obtener una mayor recuperación de mineral fino. Este segundo objetivo del proyecto será explicado los costos involucrados para este segundo beneficio económico del proyecto.

6.7 Aumento de Recuperación de Cobre Fino utilizando Tecnología HPGR

6.7.1 Descripción del Análisis

Para el análisis de costos es necesario considerar que la eficiencia de los chancadores HPGR que permite disminuir la granulometría del mineral hasta 6.000 micrones al entrar a los molinos de barras y bolas saliendo una pulpa de 240 micrones. Actualmente los chancadores entregan un producto bajo 10.000 micrones a los molinos, obteniendo como salida un mineral con 270 micrones. En la siguiente figura se comparan los productos de entrada y salida para la situación con y sin proyecto.

Tabla N° 17: Granulometría obtenida de la Molienda con y sin proyecto

Granulometrias con sin proyecto	Micrones Area Molienda	
	Entrada a Molienda	Salida a de Molienda
Granulometria Producto de Molienda Convencional	10.000	270
Granulometria Producto de Molienda Con HPGR	6.000	240
	Diferencia granulometrica	30

Para calcular el mayor porcentaje de recuperación de mineral fino producto de la utilización de HPGR se deberá determinar el **factor de recuperación de fino adicional** aplicado a la actual recuperación.

6.7.2 Calculo Facto Recuperación de mineral Fino

Como primer paso será necesario aclarar que el factor de recuperación se expresa manteniendo una relación matemática en la cual se establece que 30 unidades de diferencia entre una granulometría de 270 para el caso de situación actual y de 240 para la que utiliza el proyecto determina que la recuperación de mineral aumenta en un 2% con respecto a la actual. Por lo tanto el proyecto en base a los valores obtenido define un 2% de recuperación de mineral fino, este porcentaje es particular de la División Andina y del sector de explotación, esto quiere decir que otra faena minera tendrá otro factor de recuperación que puede variar el porcentaje y la rentabilidad de este proceso productivo.

Para poder obtener un valor simulado sobre este factor, se realizo el ejercicio de manera de obtener un valor promedio de este factor de modo de ser aplicado a proyectos similares independientes a las variables que condicionan el 2% definido en este proyecto.

Los pasos para la simulación del factor de recuperación de cobre fino son los siguientes:

1. Se realiza la comparación de granulométricas (Situación Actual y proyectada) se determina la diferencia granulométrica en unidades.
2. Se establece 1000 números aleatorios
3. Se calcula el promedio y la Desviación estándar
4. Se estable que un 2% es el 100 de recuperación y se procede al calcular el factor simulado.
5. Se determina la variación granulométrica en términos porcentuales entre la situación actual y la proyectada.
6. Finalmente se calcula el factor de recuperación de finos.

Factor recuperación Finos = (% variación granulométrica * 2) / 100.

En la siguiente tabla se representan los pasos anteriores.

Tabla N° 18: Datos estadísticos para obtener el factor de recuperación de Finos

Datos Estadísticos	
Promedio	25,7
Desviacion Estandar	9,74909368
% Variacion Granulometrica entre Salida Molienda Planta Conven. v/s Proyectada	85,667
Factor Recup Fino	1,71333 %

Una vez obtenida el factor de recuperación de fino (valor simulado) se procede a calcular y valorizar el cobre fino recuperado producto del cambio tecnológico del proyecto.

6.7.3 Factor de recuperación aplicado a la producción de finos proyectados

En la siguiente tabla se resumen los ingresos adicionales por cobre fino producto de la nueva tecnología proyectada.

Tabla N° 19: Calculo de recuperación de cobre fino proyectado al año 2025

JUSTIFICACION EQUIPO HPGR POR AUMENTO RECUPERACION DE COBRE EN PROCESO DE FLOTACION																	
Supuestos	Unidades	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
MINA SUBTERRANEA																	
Mineral total	ktpa	13.810	13.784	13.567	13.336	13.719	13.576	14.249	14.249	14.249	14.249	14.249	14.249	14.249	14.249	14.249	14.249
Mineral del proyecto HPGR		13.120	13.094	12.888	12.669	13.033	12.898	13.537									
Ley	%Cu	0,97%	0,99%	0,96%	0,90%	0,87%	0,86%	0,85%	0,85%	0,85%	0,85%	0,85%	0,85%	0,85%	0,85%	0,85%	0,85%
Recuperacion planta	%	89,1%	89,3%	88,4%	89,2%	88,9%	88,6%	87,5%	87,5%	87,5%	87,5%	87,5%	87,5%	87,5%	87,5%	87,5%	87,5%
Finos contenidos en concentrados	ktf	113,1	115,4	109,0	102,2	100,5	98,5	100,6	100,6	100,6	100,6	100,6	100,6	100,6	100,6	100,6	100,6
Ingresos por Cuf	kUS\$/a	323.784	330.217	311.799	292.438	287.561	281.749	287.960									
EVALUACION CON HPGR																	
Recuperacion planta	%	91,1%	91,3%	90,4%	91,2%	90,9%	90,6%	89,5%	89,5%	89,5%	89,5%	89,5%	89,5%	89,5%	89,5%	89,5%	89,5%
Finos Cu en concentrados	ktf	115,7	118,0	111,4	104,5	102,8	100,7	102,9	102,9	102,9	102,9	102,9	102,9	102,9	102,9	102,9	102,9
Ingresos	kUS\$/a	331.050	337.610	318.853	298.998	294.028	288.112	294.539									
INGRESO INCREMENTAL por efecto de mejor recup	kUS\$/a	7.266	7.394	7.054	6.561	6.467	6.364	6.579									
Ingreso Concoentro de Energia Ahorrada por HPGR		4.244	4.244	4.244	4.244	4.244	4.244	4.244	4.244	4.244	4.244	4.244	4.244	4.244	4.244	4.244	4.244
INGRESO TOTAL (MUS\$)		11.509	11.637	11.297	10.804	10.710	10.607	10.823									

Fuente: PND 2010 Plan Minero División Andina.

Se determina que 13.120.000 ktpa. Al año serán procesados por HPGR, se debe considerar los siguientes valores proyectados de producción hasta el año 2025:

- Ley de Cu (0,97% año 2010)

- Recuperación Planta (89,1% año 2010)
- Finos contenidos en Concentrados (113,1 ktf)
- Ingresos por Cobre fino (323.784 kUS\$/a)

Se han tomado valores calculados para el año 2010 solo en calidad de referencia ya que estos experimentan cambios a la largo de los 25 años de proyección.

A continuación se detallan los cálculos las revelantes involucrados en la recuperación de finos.

Calculo Contenido de finos en concentrado (CFC).

Ejemplo Año 2010

$$\text{CFC} = \text{Mineral procesado por HPGR} * \% \text{ del Cu} * \text{Recuperación de Planta}$$

$$\text{CFC} = 13.120 * 0,97 * 89,1$$

$$\text{CFC} = 113,1$$

Ingreso por Cobre Fino (ICF)

Ejemplo año 2010

$$\text{ICF} = \text{CFC} * \text{Precio Promedio de Cu contenido en Concentrado}$$

$$\text{ICF} = 113,1 * 2.862$$

$$\text{ICF} = 323.784$$

Utilizando Valores Proyectados con HPGR

Recuperación Planta

Ejemplo año 2010

$$\text{Recuperación Planta} = \text{Recup. de Cu en Planta} + \text{factor recuperación de Fino (Simulado)}$$

$$\text{Recuperación Planta} = 89,1 + 1,79$$

$$\text{Recuperación Planta con HPGR} = 90,9 \%$$

Finos de Cobre en Concentrado (FCC)

$$\text{FCC} = \text{Mineral procesado por HPGR} * \% \text{ de ley Cu} * \text{Recuperación Planta con HPGR}$$

$$\text{FCC} = 13.120 * 0,97 * 90,9$$

$$\text{FCC} = 115,9$$

Ingresos de Fino de Cu en Concentrado Utilizando HPGR

Ingresos = Finos de Cobre en Concentrado * Precio Promedio

Ingreso = 115,4 * 2.862

Ingreso = 330.991 kUS\$/a

Al finalizar el análisis de Costos es importante conocer cual los ingresos adicionales utilizando la tecnología HPGR para los 2 objetivos principales de este proyecto.

En la siguiente figura se representan a modo de ejemplo 6 años con los ingresos obtenidos implementando el proyecto.

Tabla N° 20: Resumen de los ingresos proyectados por Recuperación de finos (Proyecto)

INGRESO INCREMENTAL por efecto de mejor recuperaci	KUS\$/a	7.266	7.394	7.054	6.561	6.467	6.364	6.579	6.579	6.579	6.579	6.579	6.579	6.579	6.579	6.579	6.579
Ingreso Concentro de Energía Ahorrada por HPGR		4.228	4.228	4.228	4.228	4.228	4.228	4.228	4.228	4.228	4.228	4.228	4.228	4.228	4.228	4.228	4.228
INGRESO TOTAL (MUS\$)		11.494	11.622	11.282	10.789	10.695	10.592	10.807									

Como resumen de este capítulo la situación con proyecto presenta mayores ventajas sobre la situación actual, ya que cumple con los dos objetivos planteados, por un lado reducir los costos de energía utilizados en el proceso de conminución del área chancado fino. El otro objetivo también se cumple, es decir se produce un aumento de la recuperación de mineral fino producto de la mayor microfisuración del mineral. También se puede advertir que la situación proyectada utilizando HPGR permite una disponibilidad de energía para la utilización de nuevos equipos en caso de mantener el costo actual de la planta, en este caso habrá una mayor disponibilidad de HP o kilowatt disponible para el uso de otros equipos que permitan un aumento futuro en la producción de la División Andina.

7. Modelos de Simulación Financiero

7.1 Descripción del Modelo - Simulación Financiera

El modelo de simulación parte de los datos de costos generados en la simulación de producción. Se consideran como base los costos de producción de la Corporación Nacional del Cobre (Codelco).

Es importante destacar que no se contó con la información financiera de la División Andina por restricciones de información de esta división, por esta razón se considero usar el siguiente criterio de manera que los resultados reflejaran una situación financiera similar o muy cercana a la actual en la División Andina.

Se consideró la producción de la División Andina con respecto a la otras divisiones de Codelco lo resultados obtenidos fueron que la división aporta el 10,7% de la producción de Codelco incluida todas las divisiones actuales. Para obtener resultados reales se aplico este porcentaje al Estado de resultado y balance de la Corporación.

Habiendo aclarado el punto anterior se consideraron los parámetros de entrada fijos para el cálculo de los estados financieros antes mencionados como:

7.1.1 Supuestos

- Crecimiento de las Ventas: 2%
- Activo Circulante / Ventas: 37%
- Pasivo circulante / Ventas : 77%
- Costo Producto Vendido / Ventas: 59%
- Tasa de Depreciación: 10%
- Tasa de Interés : 10%
- Tasa de Impuesto: 17% Anual.
- Tasa pago de Dividendos: 40%

7.1.2 Estado de Resultado

7.1.2.1. Ventas

Los ingresos totales por venta de cobre, subproductos y servicios de maquila de cobre llegan a USD 12.148 millones durante 2009. Del total de ventas 84% correspondió a cobre y 16% a subproductos.

Los subproductos contribuyeron con USD 2.012 millones a los ingresos de Codelco durante 2009. De esta cantidad USD 512 millones corresponde al molibdeno y el resto a ventas de barros anódicos, ácido sulfúrico y metales preciosos.

Figura N° 34: Desglose de ventas de cobre y subproductos de Codelco

VENTAS 2009 (US\$ millones)	
Cobre propio	9.675
Cobre de terceros	461
Molibdeno	512
Otros productos	1.500
Total	12.148

Para el cálculo de las ventas se realizaron los siguientes pasos:

Ventas Iniciales Corporación Nacional del Cobre

MUSD 12.147.819

Porcentaje de Participación en la producción de mineral de la División Andina corresponde a un 10.7% de la producción de Codelco esto equivale a:

MUSD 1.299.817

La venta implementando el proyecto aumentan aproximadamente un 0.8% con respecto a la situación actual.

Al implementar el proyecto se obtiene por concepto de reducción de costo de energía mas el aumento en la recuperación de mineral fino un ingreso promedio de USD 10.993.000 anual.

Ventas con proyecto = 1.299.817 + 10.993 (simulado)

Total con proyecto par el año cero MUSD 1.310.810 (Simulado)

7.1.2.2 Costo Producto Vendido (CPV)

Se obtiene del porcentaje de los costo de productos vendidos /Venta que corresponde a un 59% por las ventas de la obtenidas por la División Andina menos el costo ahorrado utilizando el chancador HPGR por concepto de energía en el proceso.

Calculo

$$\text{CPV} = (59\% \text{ Costo producto vendido / Venta}) * (\text{Venta}) - \text{Reduc. Costos útil. HPGR}$$

$$\text{CPV} = (0.59 * 1.310.015) - 7.141$$

El valor 7.141 (simulado) se obtiene de la diferencia entre los costos totales del área conminución de la planta actual – los costos totales del área conminución en la situación proyectada, obteniendo un valor simulado aproximado de MUSD 7.141

El costo por productos vendidos es de MUSD 766.509

7.1.2.3 Pago de Intereses

Este valor se obtiene aplicando la tasa de interés correspondiente al 10% sobre el valor de deuda que haciende a MUSD 80.977

Calculo

$$\text{Pago Interés} = (\text{Tasa de interés} * \text{Deuda})$$

$$\text{Pago de Interés} = 10 * 80.977$$

$$\text{Pago de Interés MUD } 8.097,7$$

7.1.2.4 Depreciación

La depreciaron media anual para la División Andina fue de 136.579 (Promedio)

7.1.2.5 Utilidades antes de Impuesto

Este valor se obtiene de la sumatoria de:

- Ventas (MUD 1.311.271)
- Costo producto Vendido (MUD 766.508)
- Pago de Interés (MUD 8.097)
- Depreciación (MUD 136.579)

Útil. Antes de Impuesto = (Ventas – Costo Pr. Vendido – Pago Interés – Depreciación)

Utilidades antes de impuesto = MUD 407.228

7.1.2.6 Impuesto

Valor obtenido al aplicar la tasa de impuesto sobre las utilidades antes de impuesto.

Tasa de Impuesto: 17%

Utilidades antes de Impuesto: MUD 405.177

Calculo del impuesto

Impuesto = Utilidades antes de impuesto * tasa de impuesto

Impuesto = 405.177 * 0.17

Impuesto MUD 68.880

7.1.2.7 Utilidades después de Impuesto

Valor obtenido de la sumatoria de las Utilidades antes de impuesto más los impuestos:

Utilidades antes de impuesto: MUSD 405.177

Impuesto: MUSD 68.880

Calculo de utilidades después de impuesto

Utilidades después de impuesto = Utilidades antes de impuesto + Impuesto

Utilidades después de impuesto = 405.177 + (-68.880)

Utilidades después de Impuestos MUD 336.297

7.1.2.8 Flujo de Caja

Se obtiene con las siguientes operaciones:

Utilidades Después de Impuestos 212.103

(+) Depreciación -2.051

(-) Interés -6.720

(-) Aumento en los Activos Circulantes -9.586

(+) Aumento el los pasivos Circulantes 20.115

(-) Aumento Activos Fijos al Costo, (Capex) 116.795

Flujo de Caja Libre MUSD 330.656

7.2 Balance

7.2.1 Activos.

7.2.1.1 Activos Circulantes

Caja: Se determino a través del cálculo de:

(+) Ingresos de Efectivo

(-) Egresos de Efectivo

Donde en Ingresos de Efectivos se consideran:

- Ventas.
- Colecta de Cuentas por Cobrar.
- Emisión de Deuda a Corto y Largo Plazo.

Los egresos consideran:

- Flujo de efectivo para Producción (Compra de Materiales y Repuestos, Insumos, Gastos Administración y Ventas y otros gastos Indirectos).
- Pagos de Cuentas por Pagar.
- Gastos Financieros.
- Impuestos.
- Retiros.
- Pago Prestamos

Base del Calculo Activos Circulantes

Activo Circulante = Ventas * % de activo circulante/ventas

Activo Circulante = 1.311.271 * 37%

Activo Circulante MUD 485.170

- **Inventario:** Corresponde a:

Inventario considera todos los insumos necesarios para mantener en funcionamiento el área de conminución es decir, stock de bolas para los molinos de bolas y molino unitario, barras de acero partes y piezas mecánicas menores de chandores HPGR, componentes eléctricos menores y elementos de lubricación.

7.2.2 Activos Fijos.

Corresponde al valor original de los equipos y edificios de construcción, menos la depreciación anual de estos. A estos activos fijos se le debe sumar el valor de los terrenos.

Calculo Activos Fijos al Costo

Activos Fijos al Costo (Div. Andina) = 351.731

Tasa Activos Fijos neto ventas = 25%

Ventas = MUSD 1.311.279

Activo Fijo = (Ventas * Tasa activos fijos ventas) + equipos del proyecto – Baja de equipos reemplazados

Activo Fijo = (1.311.279 * 25%) + 14.740 + 5.771 – 3.400

Activo Fijo= MUSD 351.731

A partir de este valor se construye la estructura de activos fijos para los 10 años que contempla el proyecto.

7.2.3 Depreciación

Considerada en el estado de resultado, tal como se mencionaba al no ser un flujo de efectivo, y usado para temas tributarios, se debe sumar para obtener el flujo de caja libre.

De la información entregada por la corporación con respecto a los valores de la depreciación se procedió como anteriormente a aplicar el porcentaje correspondiente a la participación de la División Andina en la producción total de Codelco que fue calculado en 10,7%.

7.2.4 Pasivos

7.2.4.1 Pasivos Circulantes

Deuda a Corto Plazo: Deuda en la que se incurre producto de no disponer Caja para operar. Se calcula mediante el cálculo y prueba sobre la disponibilidad de caja.

Si la caja es ≤ 0 se calcula la deuda a Corto Plazo mediante:

Total de Activos – Cuentas por Pagar – Deuda Largo Plazo – Capital – Utilidades Retenidas.

- Cuentas Por Pagar

Son los montos necesarios para cubrir los gastos en insumos de producción. Las cuentas por pagar en el año están dadas por una fracción que se considera, según condiciones de compra pagar en el siguiente año del ejercicio.

7.2.5 Pasivos Largo Plazo

Deuda a Largo Plazo: Esta compuesto principalmente por obligaciones con los bancos y con el público (Bonos) impuestos diferidos y provisiones a largo plazo en resumen corresponde a la deuda tomada por la empresa que forma parte total de la estructura de capital.

7.2.6 Patrimonio

Capital: Corresponde al capital inicial aportado por el gobierno para las inversiones en proyectos de la corporación que permiten la sustentabilidad del negocio en el tiempo.

Utilidades Retenidas acumuladas: Las utilidades retenidas son los aportes que entrega Codelco al gobierno producto del ejercicio del negocio estos fueron calculadas de la siguiente manera:

Utilidades Retenidas: Utilidades Después de Impuesto – Retiros.

7.3 Flujo de Caja

7.3.1 Utilidades Después de Impuesto

El flujo de caja parte desde este punto ya mencionado en el Estado de resultado.

7.3.2 Depreciación

Considerada en el estado de resultado, tal como se mocionaba al no ser un flujo de efectivo, y usado para temas tributarios, se debe sumar para obtener el flujo de caja libre.

7.3.3 Pago de intereses después de Impuesto

Por efecto de beneficio fiscal sobre los intereses pagados sobre la deuda, se obtienen los intereses de la deuda a largo plazo de la siguiente manera:

Intereses Pagados Sobre la deuda * (1-Tasa Impuestos).

7.3.4 Aumento en Activos circulantes, excepto Caja

Aumento o disminución de inventario y cuentas por cobrar entre los periodos anuales.

7.3.5 Aumento de Pasivo Circulante

Aumento o disminución de las deudas a corto plazo y las cuentas por cobrar entre periodos.

7.3.6 Aumento de Activos Fijos al Costo

Aumento o disminución de los activos Fijos (Maquinarias, equipos y edificios) entre periodos.

8. Resultados Producción y Costos

Los datos que se presentan a continuación, son resultados de iteraciones de la simulación de producción y costos. Se debe recordar que el proyecto fue realizado con la base de simulaciones probabilísticas que lleva a resultados dentro de un rango posibilidades dados por la desviación estándar de cada proceso.

Estos resultados son con fines demostrativos y explicativos para dimensionar los distintos ítems incluidos en el proyecto.

8.1 Resultados Productivos

Relación entre Energía y Work Index

Se consideran dentro de los resultados, los ítems principales que son evaluados cuantificando su impacto en los costos y producción. En la tabla N° 21 se representa la relación existente entre la energía consumida y el Work Index (Dureza del mineral)

Tabla N° 21: Cuadro relación de WI – Ahorro de Energía

N° TEST	WORK INDEX (WI)	ENERGIA AHORRADA (USD)	% DE AHORRO (USD)
1	14,1	4.199.606	25,60%
2	15,1	3.566.483	21,80%
3	15,5	3.301.952	20,20%
4	17	2.294.502	14%
5	12	5.615.910	34,30%

Fuente: Confección Propia

Se concluye que a mayor dureza del mineral existe un consumo mayor de energía utilizada en chancar el mineral por ende el costo aumenta considerablemente, este podría ser un indicador confiable para determinar en una explotación de un nuevo yacimiento cuyo mineral presenta una determinada dureza, cual sería el ahorro al utilizar tecnología HPGR.

Tabla N° 22: Variación en la utilización del chancador v/s (%) de Energía ahorrada

N° TEST	% de utilización HPGR	Consumo Especifico de Energía C.E.E	WORK INDEX (WI)	% DE AHORRO (USD)
1	90%	1,65	14,1	25,90%
2	85%	1,65	14,1	22,30%
3	80%	1,65	14,1	18,60%
4	75%	1,65	14,1	14,3%
5	63%	1,65	14,1	1,30%

Se advierte que a mayor utilización del los equipos HPGR con un indice de dureza (WI) de 14.1 el ahorro de energia es mayor esto parece ser logico, sin embargo esta tabla indica que a un valor inferior a 63% de utilización, el equipo no presenta ahorros de energia.

8.2 Resultados de Costos Operación

Los Costos variables (ítem de materiales y repuestos, gasto de energía y servicios de terceros) fueron clasificados y simulados para determinar las cantidades requeridas en el proceso, cada elemento de cada ítem fue multiplicado por su precio unitario determinando el costo total de cada ítem de producción. Los 3 ítem fueron costeados anualmente determinando los costos incurridos en cada ítem, finalmente estos costos fueron sumados obtenido el costo total variable del proyecto. (Tabla N° 23).

Tabla N° 23: Detalle de los Costos Variables del proyecto

COSTOS VARIABLES CON PROYECTO (HPGR)		
Tipo	Equipo	MUSD
Materiales y repuestos	Superficie Rodillo HPGR (4)	2.769.496
	Rodillos HPGR (2)	4.308.998
	Partes y Repuestos Menores Acero	350.443
	Lubricacion + Servicio	20.761
	Sistemas y componentes Electricos	75.041
	Componentes Mecanicos	110.584
	Mant. Molienda Convencional	95.224
	Suministro Bolas Molienda Convencional	2.030.125
	Suministro Bolas Molienda Unitaria	460.560
Total Materiales y Repuestos		USD 10.221.232
Total costo energia	HPGR	10.115.359
Total Consumo Energia		USD 10.115.359
Servicios de terceros	Servicios de mantención	55.672
	Operarios Codelco	79.339
	Serv. Tecnicos Especializados	17.867
	Capacitacion	15.508
Total Servicios de terceros		168.386
TOTAL COSTOS VARIABLES		USD 20.504.978
COSTOS FIJOS US\$		
	Proteccion Planta	138.546
	Contrato arriendo Vehiculos livianos	977.129
	Aseo industrial Chancado Tericario	216.023
	Aseo industrial molienda convencional	221.302
	Servicios apoyo capacitacion	20.400
TOTAL COSTOS FIJOS		USD 1.573.400
COSTO TOTAL MUSD		22.078

Dentro de los costos variables existen algunos recursos que acumulan mayores costos por ejemplo en el ítem "Materiales Y Repuesto" las bolas para los molinos constituye un alto costo debido a que el consumo de acero producto de moler mineral es considerable aproximadamente 16,1 toneladas de acero por día.

También disminuye la cantidad de repuestos, mantenciones, reparaciones, lubricaciones mantenciones eléctricas y mecánicas, esta reducción de costo obedece a que la situación proyectada solo contempla 2 equipo HPGR, por el contrario actualmente el área de chancando fino cuenta con 7 en operación, 4 chancadores terciarios y 3 cuaternarios mas todo el sistema de correas necesario para el transporte de mineral de un chancador a otros.

En el ítem "Gasto de Energía" se aprecia una reducción importante en la energía consumida principalmente en la molienda. En el cuadro siguiente se representa la situación actual y proyectada.

Tabla N° 24: Cuadro comparativo Consumo de Energía situación actual v/s Proyectada

Situación Actual

Equipo	KW/AÑO	VALOR ENERGIA	COSTO
chancado terciario	21.173.270	0,09	1.905.594
Chancado Cuaternario	5.293.318	0,09	476.399
Total area Chancado Fino	26.466.588	0,09	2.381.993
molino de barras	17.644.392	0,09	1.587.995
molino de bolas	92.633.058	0,09	8.336.975
molino unitario	22.349.563	0,09	2.011.461
Total Molienda Convencional - molino U	132.627.013	0,09	11.936.431
Total Costo Energia (USD)			14.318.424

Situación Proyectada

Equipo	KW/AÑO	VALOR ENERGIA	COSTO
Chancado HPGR	26.490.035	0,09	2.384.103
Molienda Convencional - Unitaria	85.842.117	0,09	7.725.791
Total area Comunicacion	112.332.153	0,09	10.109.894
Total costo Energia HPGR (US)			10.109.894

Diferencia en el costo variable - Costo de Energía HPGR V/S Planta actual (USD)

4.208.530

% Ahorro de Energia Utilizando HPGR

29%

9. Evaluación Económica

9.1 Inversión Inicial

El proyecto "Cambio de tecnología Chancador Terciario y Cuaternario" considera realizar para este proyecto inversiones en activos fijos como construcciones, maquinarias y equipos, gastos generales del proyecto y otros activos menores. A continuación se presenta un cuadro de los totales de inversión del proyecto.

Tabla N° 25: Cuadro de Inversiones del Proyecto

PRESUPUESTO INVERSIONES PROYECTO				
ITEM	DESCRIPCION	COSTO UNITARIO	CANTIDAD	TOTAL COSTO (MUSD)
	COSTO DIRECTO			
1	CHANCADOR HPGR	7.370.000	2	14.740
2	MOTOR	1.442.730	4	5.771
3	PIEZAS PARA START-UP	33.848	1	34
4	PARTES Y PIEZAS 1 AÑO OPERACIÓN	213.449	1	213
5	ACEROS	1.000.000	2	2.000
6	HORMIGON	1.000.000	2	2.000
7	OBRAS CIVILES	1.500.000	2	3.000
	SUBTOTAL COSTO DIRECTO			27.758
	COSTO INDIRECTO			
8	COSTO INDIRECTO		1	2.776
9	COSTOS CODELCO	2.000.000	1	2.000
10	CONTINGENCIA		1	3.331
11	EPCM		1	4.164
	SUBTOTAL COSTO INDIRECTO			12.271
	INVERSION TOTAL GENERAL DEL PROYECTO (MUSD)			40.029

9.1.1 Costos Indirectos del Proyecto

En los gastos generales del proyecto contemplan transporte de equipos, tanto para el personal contratista encargado de la construcción de la obras como traslado de personal Codelco, se contempla la instalaciones de faenas del contratistas edificaciones de campamento, iluminación, agua y otros suministros básicos, se contempla cableados necesario para alimentación de equipos, cabina de operador, computadores.

9.1.2 Costos Codelco

Se considera como costos Codelco todos los recursos puesto por la división al contratista para que pueda realizar su trabajo bajo las condiciones previamente establecidas en las base del contrato. Para ello Codelco Andina facilitara los recursos humanos y materiales para llevar a cabo la obra en los tiempos y costos definidos.

Codelco utilizara sus contratos divisiones de inspección, programación y control y supervisión en terreno para la implementación del proyecto, Codelco dispondrá de alojamientos alimentación a cuenta del dueño para el personal supervisor de la obra.

9.1.3 Costos por Contingencia

Se consideran los costos de contingencia para precaver cualquier desviación del los tiempos de construcción y principalmente los costos involucrados, este ítem definidos en los contratos de la división asegura en caso de desviaciones en el presupuesto ajustar con este monto cualquier desviación.

9.1.4 Costos EPCM

Se considera costos EPCM a los que involucra el contratista que realiza la obra en forma completa, ingeniería construcción y puesta en marcha, en contratista deberá entrega en la modalidad llave en

mano la obra al clientes. Todos los costos involucrados en este trabajo relacionados con el contratista son considerados en este ítem de gastos.

9.2 Activos Fijos

Los activos fijos contemplados en el proyecto se dividen en:

- Edificios y construcciones
- Maquinaria y Equipos

Dentro de los edificios y construcciones se contemplan todas las obras civiles necesarias para la construcción de la losa que soportara el chancador HPGR también se contempla la enfierradura necesaria para la fijación del equipo este trabajo requiere expertos en obras civiles para chancadores ya que no debe existir la mas mínima vibración de sus soportes.

En maquinarias y equipos se contemplan los dos equipos HPGR más los cuatro motores contemplados, piezas y partes contemplados en la orden de compra.

9.2.1 Reducción de Costos de Energía

Se determino en base a la simulación que el costo de energía utilizado desarrollando el proyecto disminuiría entre un 24% a un 29%. Se considero como parámetro medible los Kilowatt y los HP consumidos en la situación actual versus la situación proyectada. La variación del precio de la energía para la situación actual es considerado una variable critica sin embargo con proyecto la situación disminuye su criticidad ya que el proyecto permite establecer un mecanismo de estabilización disminuyendo el impacto de la variación en el costo de la energía. La reducción de costos en la energía que plantea este proyecto se orienta a la **competencia**, en una industria que compite netamente por costos.

9.2.2 Calculo de la Tasa de Descuento (WACC)

La tasa de descuento del proyecto fue calculada mediante el la obtención del WACC o CMPC (Costo promedio Ponderado del capital). El WACC es un promedio ponderado del costo de la deuda y el

costo del capital accionario (CAPM= Modelo de Valoración de Activos de Capital). Para la determinación del WACC se debe obtener en primera instancia el CAPM de los activos, Costo de la deuda, el riesgo sistemático (β) de la industria y la estructura de capital del proyecto (Deuda y Patrimonio)

9.2.3 Calculo CAPM

El cálculo del CAPM se realizo mediante la siguiente formula

$$R = R_f + \beta \cdot (R_m - R_f)$$

Donde:

R_f : Corresponde a la tasa libre de riesgo, para este caso Bonos del Tesoro de Estados Unidos a 10 Años.

β : Riesgo fue calculado tomando como referencia tres empresas que cotizan en la bolsa en el rubro minero y contenidas en el índice S&P500. .

R_m : Riesgo de mercado. En este caso se tomaron las variaciones históricas con un periodo de tiempo de 60 años obteniendo una tasa de retorno del mercado de 6,98%.

9.2.4 Tasa Libre de Riesgo

La tasa libre de riesgos se utilizó como parámetro para calcular la tasa libre de riesgo, utilizando los bonos del tesoro de Estados Unidos, lo anterior se fundamenta y justifica ya que Codelco no transa en la bolsa.

Se ha calculado un rango de tiempo de diez años. Se utilizara el indicador S&P 500, utilizando el promedio de los Beta de tres empresa lo mas relacionada con el rubro minero. El rango de tiempo utilizado será de 10 años.

9.2.5 Riesgo Sistemático de la Industria (β)

El riesgo sistemático de la industria donde se encuentra inmerso el proyecto, fue calculado mediante el análisis histórico de 3 empresas relacionadas con la actividad minera que dentro de sus actividades contempla la explotación de cobre, estas empresas fueron elegidas del índice de S&P500 por su similitud y volumen como productores de cobre, de las empresas elegidas se considero los siguientes parámetros necesarios para obtener un beta promedio, deuda, capital e indicador del riesgo sistémico de la industria (β).

Tabla N° 26: Resumen Cálculo del β promedio

Desapalancamiento				
Nombre de la empresa	Unidad	BHP BILLITON	RIO TINTO PLC	Freeport-McMoRan
Beta equity		1,48	1,46	1,84
Market Cap	1.000.000.000	183,73	23,67	30,35
Long Term Debt	1.000	15.654.000	23.045.000,00	6.060.000,00

Nombre de la empresa	BHP Billiton	RIO TINTO	Freeport-McMoRan
Market Cap	183.730.000.000,00	23.670.000.000,00	30.350.000.000,00
Deuda	15.654.000.000,00	23.045.000.000,00	6.060.000.000,00

Beta asset	1,3638	0,7398	1,5338
------------	--------	--------	--------

Beta asset promedio	1,2124
---------------------	--------

De las tres empresas considerados se procedió a promediar sus β obteniendo un Beta asset promedio de 1,2124.

El beta promedio obtenido se procede a des apalancarlo con su estructura de capital el riesgo sistemático de la industria es de 1,2124.

Para aplicar el beta en el proyecto se apalanco a la estructura de capital considerando una deuda de USD 8.238.686.000 y un aporte de capital de USD 5.308.585.000

Al apalancar el beta de la industria para evaluar el proyecto se tiene un beta de 3,0941.

9.2.6 Riesgo de Mercado

Para utilizar una tasa de mercado representativa se utilizara índice S&P 500 que representa las 500 empresas mas importante de Estados Unidos que tranzan en la bolsa, obteniendo una muestra representativa mensual en un periodo de tiempo de 60 años obtenido un promedio de 0,56% y un retorno o riesgo de mercado de 6,98%.

9.2.7 CAPM

El costo del capital de los accionistas calculado fue de 15,17%, y se presenta a continuación:

$$\text{CAPM} = r_f + \beta (r_m - r_f)$$

- CAPM = 3,07% + 3,0941*(6,98% - 3,07%)
- CAPM= 15,17%**

9.3 Calculo de WACC

Se determino el WACC del proyecto mediante la siguiente fórmula:

$$\text{WACC} = (1 - t_c) * r_d * \frac{D}{E+D} + r_E * \frac{E}{E+D}$$

Donde:

- D= Corresponde a la Deuda a adquirir para realizar el proyecto, que para este caso es de USD 8.238.686.000
- E= Patrimonio de USD 5.308.585.000
- r_d = Costo de la deuda, 10%.
- r_E = Costo del Patrimonio o CAPM: 15,17%

$$\text{WACC} = (100\% - 17\%) * 10\% * \frac{8.238.686.000}{5.308.585.000 + 8.238.686.000} + 15,17\% * \frac{5.308.585.000}{5.308.585.000 + 8.238.686.000}$$

9.4.1 WACC = 11%

Así, la tasa de descuento usada en la evaluación del Proyecto es de **11%**.

9.4 Estado de Resultado (EERR), Balance y Flujo de Caja

En el análisis financiero es fundamental destacar que no se contó con la información financiera de la División Andina producto de las políticas internas de la División Andina, por esta razón se considero usar el siguiente criterio de manera que los resultados puedan reflejar una situación financiera similar o muy cercana a la información oficial.

Se considero la producción porcentual de la División Andina con respecto a la corporación, los resultados obtenidos indican que División Andina representa el 10,7% de la producción de Codelco incluida todas las divisiones actuales. Para obtener resultados reales se aplico este porcentaje al Estado de resultado y balance de la Corporación.

Para la construcción del EERR, Balance y Flujo de Caja se consideraron los siguientes Supuestos:

Tabla N° 27: Listado de supuesto económico

Ventas Iniciales	1.299.819
Crecimiento de las Ventas	2%
Activos Circulantes/Ventas	37%
Pasivos Circulantes/Ventas	77%
Activos Fijos Netos/Ventas	25%
Costo Productos Vendidos/Ventas	59%
Tasa de Depreciación	10%
Tasa de Interés	10%
Tasa de Impuestos	17%
Tasa Pago de Dividendos	40%
WACC	11%

9.4.1 Estado de Resultado

En el estado de resultado se consideran los ingresos por venta, Costos variables que incluyen los costos por los ítem 1 (Materiales y Repuestos) ítem (Consumo de Energía) e ítem 3 (Servicios de Terceros) y costos fijos donde se consideran los gastos de administración, contratos arriendo, aseo servicios de apoyo y capacitación, los interés pagados, retiros y utilidades.

9.4.2 Ingresos por Venta.

Se consideran como ingreso por ventas, la producción de cobre producida por la división en el periodo de un año por el precio de venta definido por las bolsas internacionales. Los ingresos por venta para la División Andina aplicando en 10,7% (participación proporcional de la división dentro de la corporación en términos de producción) son del orden de los USD 1.299.817 adicionalmente a este valor se le suma el aporte del proyecto HPGR por conceptos de reducción de costos de energía y por efecto de mayor recuperación de cobre fino este valor es del orden de los USD 11.580.000 (simulado) sumando estos ingresos se obtienen una cifra total por ingresos con proyecto de USD 1.311.397 Simulado. La variación obtenida por ingresos adicionales con la implementación del proyecto obedece a la matriz de costos simulados.

A continuación se muestra una tabla de ingresos y numero de peces por cada año de una iteración realizada en el Estado de Resultado.

Tabla N° 28: Cuadro demostrativo con ingresos adicionales utilizando HPGR

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Estado de Resultados											
Ventas	1.311.397	1.467.360	1.640.136	1.831.417	2.043.644	2.279.112	2.540.700	2.831.062	3.153.365	3.511.120	3.908.229
Ingreso Utilización HPGR (Div Andina)	11.580	11.710	11.366	10.866	10.771	10.667	10.885	10.885	10.885	10.885	10.885

El valor correspondiente a los ingresos adicionales utilizando equipos HPGR corresponden a las sumatoria de ingresos por mayor reducción de consumo de energía y a la mejor recuperación de cobre fino el detalle y desglose de las cifras se encuentran en las Figura N° 33 “Desglose por venta de cobre y subproductos” y la tabla N°19 “calculo de recuperación de cobre fino proyectado al año 2025” se encuentra el detalle de los montos indicados en la tabla N° 28.

9.4.3 Costos Variables

Los costos variables del proyecto involucran aumentos y reducciones en los 3 ítem considerados en los costos variables para la situación con proyecto y la situación sin proyecto. A continuación en la Tabla N° 29 se realiza una comparación de costos variables entre la situación actual y la proyectada.

Tabla N° 29: Cuadro comparativo – Costos Variables

Situación Actual			Situación Proyectada			
COSTOS VARIABLES SIN PROYECTO USD		Total general	COSTOS VARIABLES CON PROYECTO (HPGR)			
Materiales y Repuestos	Mecanica Chancado Fino	6.580.365	Tipo	Equipo	MUSD	
	Electricidad Chancado Fino	911.468	Materiales y repuestos	Superficie Rodillo HPGR (4)	2.768.234	
	Ventilación chancado Terciario	290.150		Rodillos HPGR (2)	4.307.033	
	Ventilación chancado Cuaternario	269.224		Partes y Repuestos Menores Acero	350.264	
	Mant. Molinda Convencional	95.224		Lubricacion + Servicio	20.752	
	Suministro Bolas Molinda Convencional	4.030.125		Sistemas y componentes Electricos	75.006	
Suministro Bolas Molinda Unitaria	920.560		Componentes Mecanicos	110.533		
Total Materiales y Repuestos	USD 13.097.116		Mant. Molinda Convencional	95.224		
Gasto de Energia	Chancado Terciario	1.905.594	Suministro Bolas Molinda Convencional	2.030.125		
	Chancado Cuaternario	476.389	Suministro Bolas Molinda Unitaria	460.560		
	Molino de Barras	1.587.996	Total Materiales y Repuestos	USD 10.217.751		
	Molino de Bolas	6.236.975	Total costo energia	HPGR	10.110.747	
	Molino Unitario	2.011.461	Total Consumo Energia		USD 10.110.747	
Total Consumo Energia	USD 14.218.424	Servicios de terceros	Servicios de mantenimiento	55.647		
Servicios terceros	Servicios de mantenimiento		55.642	Operarios Codelco	79.303	
	Operarios Codelco		79.296	Serv. Tecnicos Especializados	17.869	
	Serv. Tecnicos Especializados		17.857	Capacitacion	15.501	
	Capacitacion	15.500	Total Servicios de terceros	168.309		
Total Servicios	168.295	TOTAL COSTOS VARIABLES	USD 27.483.835			

En el ítem “Materiales y Repuestos” se presentan variación de costos variables importante para la situación con y sin proyecto. Por ejemplo El costo total del ítem 1 para la situación actual es de USD 13.097.116 versus la situación con proyecto que es de USD 10.217.107 esta variación obedece principalmente al una disminución en el desgaste de bolas y barras para los molinos de barras, bolas y unitario.

También se observan diferencias en el ítem “Gasto de Energía” en la situación actual el gasto de energía es superior a la situación proyectada por efecto de disminución de la granulometría explicada en detalles en el capítulo de producción.

Finalmente en el ítem “Servicios a terceros no se advierte variación entre la situación actual y la situación proyectada debido a que el mismo personal y los servicios se mantendrán sin variar sus costos para ambas situaciones.

9.4.4 Costos Fijos

Los costos fijos del proyecto contemplan principalmente los pagos de salario y otros gastos.

Los gastos de salario están dados por el pago al personal de planta directo requerido para la operación. La empresa consta de la siguiente estructura administrativa:

Personal de Planta

- **Supervisor Codelco:** Que cumple funciones de líder del equipo de trabajo además de realizar control y supervisión de las obras en terreno.
- **Jefe de turno:** Encargado del cumplimiento de los programas productivos, velando por la calidad y buen funcionamiento de la planta.
- **Técnicos de Producción:** Personal con gran conocimiento del área de trabajo realiza funciones de operario de equipos.
- **Electromecánicos:** Encargados del mantenimiento y buen funcionamiento de los equipos del área chacando fino y molienda.
- **Eléctricos:** Especialistas capacitados para la manutención y operación de equipos eléctricos de alimentación, tendidos eléctricos y motores de equipos.

Se establece que los costos fijos asociados al proyecto son prácticamente los mínimos existiendo una reducción de costos de USD 140.000 a favor del proyecto, por lo tanto para este estudio se tomaran este costo en forma global no diferenciados los ítems de gastos.

9.4.5 Depreciación

El cálculo de depreciación se realizó mediante el cálculo lineal anual donde se utilizó la tabla del Servicio de Impuestos Internos, que le asigna la vida útil a los activos.

Se depreciaron anualmente las inversiones involucrada en el proyecto, edificación soportación obra civil y equipos HPGR en un periodo de 10 años.

Tabla N° 30: Equipos Depreciados por el Proyecto

Depreciación	(73.444)	153.163	202.872	194.824	189.878	186.916	185.910	186.851	189.746	194.640	201.595
Equipo HPGR Chancador (2)	(1.474)	(1.474)	(1.474)	(1.474)	(1.474)	(1.474)	(1.474)	(1.474)	(1.474)	(1.474)	(1.474)
Motor HPGR (2)	(577)	(577)	(577)	(577)	(577)	(577)	(577)	(577)	(577)	(577)	(577)
Total Depreciación	(2.051)	(2.051)	(2.051)	(2.051)	(2.051)	(2.051)	(2.051)	(2.051)	(2.051)	(2.051)	(2.051)

Se ha considera una depreciación base correspondiente a una estimación de la Depreciación de la División Andina, adicionalmente se ha agregado los equipos depreciados por el proyecto:

Equipos HPGR (2) MUSD 14.740 Valor Anual Depreciado (1.474)

Motores HPGR (4) MUSD 5.771 Valor Anual Depreciado (577)

9.4.6 Utilidades después de Impuesto

Las utilidades después de impuesto para el proyecto oscilan entre MUSD 407.220 en el año 0 y los MUSD 523.642.

Utilidades después de Impuestos

Utilidad despues de Ingr	407.220	417.930	428.662	439.549	450.821	462.315	474.171	486.174	498.417	510.905	523.642
---------------------------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------

9.5 Balance

El proyecto contempla un aumento de los activos fijos por adquisición de 2 equipos HPGR por MUSD 14.740 más 4 motores por MUSD 5.771. El total de activos fijos oscila en entre MUSD 351.731 al comienzo del proyecto y de MUSD 419.321 al final del proyecto.

Se ha considerado disminuir los activos fijos en MUSD 3.400 el año 0, esta situación se explica dado que los actuales chancadores terciarios y cuaternarios serán reemplazados por equipos HPHR, los 4 chacadores del terciario y 3 del cuaternario sean transferidos a otras divisiones de Codelco a costo cero.

9.6 Flujo de Caja Libre

El Flujo de Caja del proyecto oscila entre los MUSD 201.016 en el año 1 y los 258.531 en el año 10. Esta línea es la base para el cálculo de los indicadores de evaluación del proyecto.

Tabla N° 31: Flujo de Caja

Flujo de Caja											
Utilidades Después de Impuestos	212.119	217.592	223.144	228.893	234.755	240.802	246.923	253.167	259.536	266.032	
(+) Depreciación	-2.051	-2.051	-2.051	-2.051	-2.051	-2.051	-2.051	-2.051	-2.051	-2.051	
(-) Interes	-6.720	-6.720	-6.720	-6.720	-6.720	-6.720	-6.720	-6.720	-6.720	-6.720	
(-) Aumento en los Activos Circulantes	-9.586	-9.605	-9.743	-10.088	-10.287	-10.611	-10.742	-10.957	-11.176	-11.400	
(+) Aumento el los pasivos Circulantes	20.115	20.155	20.445	21.170	21.587	22.266	22.542	22.993	23.453	23.922	
(-) Aumento Activos Fijos al Costo, (Capex)	-12.861	-9.480	-9.616	-9.957	-10.153	-10.473	-10.602	-10.815	-11.031	-11.251	
Flujo de Caja Libre	201.016	209.891	215.459	221.246	227.131	233.213	239.349	245.617	252.010	258.531	
Valor Residual a Perpetuidad											2.930.020
Flujo de Caja	201.016	209.891	215.459	221.246	227.131	233.213	239.349	245.617	252.010	258.531	3.188.552

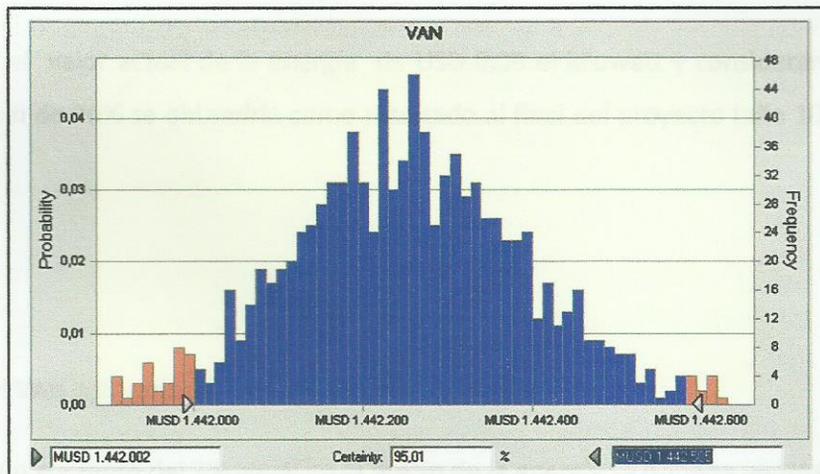
9.7 VAN y TIR

VAN

El desarrollo del proyecto contemplo la construcción y evaluación con una base probabilística de los resultados. Para la evaluación del proyecto, se realizaron 1.000 iteraciones de los resultados entregados. Como resultado esta simulación entrego una distribución de probabilidades de VAN, con una media de 1.442.253 y desviación estándar de 142,5.

La distribución del VAN muestra, que con una probabilidad cercana a 95,01% el proyecto entrega un VAN estimado entre **MUSD 1.442.000 y 1.442.585**.

Figura N° 35: Grafico de simulación del VAN



9.8 TIR

El proyecto no presenta flujos negativos que puedan generar TIR, por tanto este indicador no será considerado en la evaluación del proyecto.

9.9 Sensibilización

El proyecto contemplo la primera evaluación con el precio actual de la energía de 0,09 dólares el kilowatt. La proyección del precio tendería en los próximos años a ser un factor determinante debido a que se pronostica alzas importantes en su precio

Con el objetivo de sensibilización del proyecto se planteo el siguiente escenario, aumento del valor en el precio de venta de la energía por parte de los proveedores.

Se considera un aumento proyectado promedio en el precio de la energía de 7% anual. Valor actual de la energía (USD 0,09 Kilowatt) permite por medio de la simulación obtener la proyección al final del proyecto.

Utilizando el supuesto que el precio de la energía solo aumente en promedio un 2% partiendo de un valor de la energía de USD 0,09 se obtendría como resultado al final del proyecto (año 10) un ingreso de MUSD 11.671.

Utilizando el valor actual de la energía de USD 0,09 y considerando un aumento en su precio anual de 7% se obtendría como resultado al final del proyecto (año 10) un ingreso de MUSD 13.755.

Utilizando el valor actual de la energía de USD 0,09 el kilowatt y considerando un aumento en su precio anual de 20% se obtendría como resultado al final del proyecto (año 10) un ingreso de MUSD 19.203.

VAN

Calculo del VAN con variación en el precio de la energía.

Al Aplicar un aumento del 2% anual en el precio de la energía se obtiene un VAN de MUSD 1.442.969.

Al Aplicar un aumento del 7% anual en el precio de la energía se obtiene un VAN de MUSD 1.444.019.

Al Aplicar un aumento del 20% anual en el precio de la energía se obtiene un VAN de MUSD 1.447.254.

10. Conclusiones

El proyecto “Cambio de Tecnología Chancado Terciario y Cuaternario” considera modificar una de las líneas de producción de la división Andina específicamente el área chancado fino, introduciendo mejoras tecnológicas destinadas a minimizar los costos en energía utilizada en el proceso, como también mejorar la recuperación de cobre fino. Se describen las conclusiones más relevantes de este proyecto:

- Se establece de acuerdo a este estudio que un aumento en el precio de la energía permitiría disminuir los actuales costos debido a que el proyecto considera entre un 25 a un 30% de ahorro por concepto de utilización de Chocadores HPGR.
- Al utilizar equipos de última tecnología para el chancado fino (HPGR) el proceso de triturado optimizado por este equipo permite mejorar la recuperación de cobre fino en un 2%, esto implica que aumentarían los ingresos en MUSD 7.266. Además el proceso de chancado optimizado permite aumentar la recuperación de concentrado de Molibdeno.
- El equipo HPGR no presenta restricciones en el setting (paso controlado del mineral) ya que la tecnología de rodillo no presenta variaciones de apertura incontroladas como es el caso de los actuales chancadores terciarios que por su antigüedad permiten el paso de guijarros muy grandes que deben ser recirculados justificando de esta manera los chancadores cuaternarios producto de ineficiencias de toda la planta. Se considera que el proyecto es una excelente alternativa para mejorar el proceso productivo de esta área de proceso.
- La utilización de equipos HPGR es una excelente oportunidad para convertir este proyecto en un prueba piloto de manera de proyectar y materializar el uso de estos equipos para los futuros proyectos de la división o de la corporación.
- El proyecto deja abierta la posibilidad para explorar otras alternativas en base al ahorro de energía generadas por estos equipos de última generación, este ahorro de energía traducido en potencia disponible (HP) podría generar alternativas de utilización de otros equipos utilizando los HP disponibles por el HPGR, es decir se podría instalar otro molino en la molienda aprovechando la potencia ahorrada por el HPGR y de esta manera aumentar la producción de la división.

- Este proyecto minimiza el impacto económico que se produce por agotamiento de mineral. Generalmente cuando en el mineral existe una caída de la ley la extracción tiende a realizarse profundizando en el yacimiento lo que conlleva a encontrar mineral mas duro. Los equipos HPGR no consideran dentro de sus restricciones la dureza del mineral ya que su sistema de rollillos y su sistema de studs de carbono permiten aumentar el número de facturación de roca facilitando el trabajo de los molinos y disminuyendo el desgaste de sus bolas y barras.

Se concluye en forma general que es beneficioso realizar este proyecto desde el punto de vista técnico económico, las divisiones deben estar preparadas para la alta demanda y para competir en la gran minería con los más altos estándares, la modernización es una prioridad. División Andina tiene una gran oportunidad de utilizar este proyecto en sus antiguas líneas de producción y probar y comprobar los beneficios integrales que entrega esta solución tecnológica, de manera de implementarlas en sus proyectos estructurales de manera poder minimizar los costos cada vez mas elevados en los consumos de energía tanto para la división como para la corporación.

Bibliografía

- **Presentación Ejecutiva: Diego Hernández (Presidente Ejecutivo Codelco).**
- **Memoria Anual 2209 Corporación Nacional Del Cobre.**
- **Benninga, S 2208 Financial Modeling Third Edition.**
- **Superintendencia de Seguros y Valores: Información Financiera.**
- **S&P 500**
- **Presentación del Presidente Ejecutivo, Diego Hernández, Metal Bulletin Copper Conference 2010.**
- **Informe Técnico: Minera Cerro Verde – Perú.**
- **Plan Minero PND 2010: Informe Final División Andina.**
- **Microeconomía Pindyck – Rubinfeld Séptima Edición**
- **Principios de finanzas Corporativas: Brealey, Myers, allen**

Anexos N°1

ANEXO N° 1 Tabla Gastos Proyectados al año 2018

Se destaca dentro de los valores el gasto de Energía

TOTAL GASTOS PSD 2010 NEGOCIO PLANTAS									
(cifras miles de US\$ OCCC marzo 2009)									
Elementos	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
01 Remuneraciones	20.083	18.699	20.057	21.287	22.412	23.196	24.008	23.848	24.026
02 Materiales	63.406	68.258	67.376	66.518	67.006	67.177	67.214	66.683	58.113
02 Materiales-Cal	5.736	7.315	7.657	7.364	7.401	7.419	7.494	7.463	5.734
03 Combustibles	1.445	1.650	1.879	1.424	1.206	1.361	1.279	1.082	973
04 Energía	46.027	70.339	72.423	78.740	69.576	69.805	70.428	70.007	55.791
05 Serv Terceros	19.348	18.823	19.739	20.668	21.379	21.330	21.230	21.194	21.213
06 Otros Serv.	117	109	113	116	118	118	118	118	118
08 Depreciación	57.805	88.526	91.886	92.260	89.291	88.710	88.258	88.043	86.342
09 Amortización	19	19	0	0	0	0	0	0	0
Costo Transferido - SSCC	2.761	2.926	2.922	2.887	2.897	2.905	2.905	2.851	2.573
Depreciación Relaves (GRMD)	18.308	20.190	20.992	23.165	28.795	31.378	31.190	31.248	32.108
Deprecia Relaves (GSyS)	1.376	1.457	1.457	1.457	1.436	1.199	1.199	1.199	931
Terceros Relaves (GSyS)	5.536	6.634	6.875	7.050	10.506	11.617	11.617	11.617	11.617
Deprecia Energ/Varios (GSyS)	8.680	11.443	11.949	12.239	12.599	12.019	11.873	11.629	11.328
Deprecia Agua (GSyS)	4.230	4.193	10.791	10.752	10.681	10.684	10.832	10.830	9.425
Terceros Agua (GSyS)	1.143	1.421	1.473	1.510	1.536	1.536	1.536	1.536	1.536
Terceros General (GSyS)	15.450	14.372	14.827	15.035	15.142	14.976	14.963	14.675	14.608
Distrib Adm General	41.166	38.338	44.368	42.136	41.831	44.547	41.820	42.898	44.750
Total GPTA con/distrib	312.637	374.713	396.787	404.607	403.812	409.977	407.965	406.922	381.188
Tratamiento KTMS	30.464	35.522	35.175	34.767	34.942	35.026	35.379	35.236	27.071
Costo US\$/TMS	10,26	10,55	11,28	11,64	11,56	11,70	11,53	11,55	14,08

Anexos N°2

Tabla N° 4: Programa de Mantenimiento de la Prensa Rodillo (HPGR)

Descripción	Pauta	Hrs.	N° Per.	HH	
Mantto. Prev. Mec.	125 HOP	1	2	2	Revisión niveles sistema hidráulico y lubricación
Mantto. Prev. Mec.	1000 HOP	2	2	4	Toma muestra aceites-Medir desgaste tarugos rodillos
Mantto. Prev. Mec.	2000 HOP	8	4	32	Medir desgaste placas deslizantes
Mantto. Prev. Mec.	6000 HOP	60	10	600	Cambio de placas deslizantes
Mantto. Prev. Mec.	12000 HOP	156	10	1560	Cambio de rodillos
Mantto. Prev. Elec.	1080 HOP	1,5	2	3	Motores Principales
Mantto. Prev. Elec.	1440 HOP	0,5	2	1	Motores Secundarios
Mantto. Prev. Elec.	30 DIAS	1	1	1	Sistema Instrumentación
Mantto. Predictivo	30 DIAS	1	1	1	Vibraciones Motores Principales, Reductor y descanso rodillo
Mantto. Predictivo	1000 HOP	—	—	—	Análisis aceite lubricación e hidráulico

El proyecto considero el reemplazo completo de las llantas, hoy se estima que al menos se podrían usar entre tres a cuatro veces. El cambio de rodillo se realiza cada 6 meses como promedio. Se debe llevar un control del perfil de desgaste de los studs: El largo original de los studs es de 60 Mm. y se acepta un desgaste de 50 a 55 mm.

MATRIZ DE CONTROL DE CAMBIOS DE REPUESTOS

(Rodillo Nuevo, Superficie de Recubrimiento, Studs)

EQUIPO	1 AÑO		2 AÑO		3 AÑO		4 AÑO		5 AÑO	
	6 MESES									
HPGR N° 1	N1	N3	RN1	RN3	SN1	SN3	RN1	RN3	SN1	SN3
	N1	N3	RN2	RN4	SN2	SN4	RN2	RN4	SN2	SN4

EQUIPO	6 AÑO		7 AÑO		8 AÑO		9 AÑO		10 AÑO	
	6 MESES									
HPGR N°1	RN1	RN3	SN1	SN3	RN1	RN3	SN1	SN3	RN1	RN3
	RN2	RN4	SN2	SN4	RN2	RN4	SN2	SN4	RN2	RN4

EQUIPO	1 AÑO		2 AÑO		3 AÑO		4 AÑO		5 AÑO	
	6 MESES									
HPGR N° 2	N1	N3	RN1	RN3	SN1	SN3	RN1	RN3	SN1	SN3
	N1	N3	RN2	RN4	SN2	SN4	RN2	RN4	SN2	SN4

EQUIPO	6 AÑO		7 AÑO		8 AÑO		9 AÑO		10 AÑO	
	6 MESES									
HPGR N°2	RN1	RN3	SN1	SN3	RN1	RN3	SN1	SN3	RN1	RN3
	RN2	RN4	SN2	SN4	RN2	RN4	SN2	SN4	RN2	RN4

Fuente: Confección propia

Nomenclatura.

N1 – N2 : Rodillo nuevo

RN1 – RN2 – RN3 – RN4: Recambio de recubrimiento de Rodillo

SN1 – SN2 – SN3 – SN4: Cambio de Studs .

Se considera de la duración promedio de los rodillos es de 6 meses. La superficie del recubrimiento tiene una duración promedio de 6 meses con un rendimiento que alcanza entre los 4 y 5 recambios. Finalmente los studs o estoperoles tienen una duración de 6 meses con un promedio de reutilización de 4 oportunidades. En resume los aspectos principales a considerar en los costos son el desgaste de los componentes principales del equipo HPGR para el área Chancando Fino. Los tiempos de reemplazo del rodillo son bajo las 32 horas.

Balance

Flujo de Caja

Valor de la Empresa

Anexos N°3 EERR , Balance, Flujos de Caja Valor de la Empresa.

Estado de Resultado

Estado de Resultados											
Ventas	1.311.279	1.338.250	1.365.273	1.392.672	1.421.013	1.449.895	1.479.660	1.509.782	1.540.490	1.571.796	1.603.710
Ingreso Utilizacion HPGR (Div Andina)	11.503	12.478	12.986	13.340	14.093	14.838	15.901	16.748	17.596	18.443	19.290
Ingresos por ventas de cobre propio	1.104.074	1.126.155	1.148.679	1.171.652	1.195.085	1.218.987	1.243.367	1.268.234	1.293.599	1.319.471	1.345.860
Venta de cobre comprados a terceros	43.992	44.872	45.769	46.685	47.618	48.571	49.542	50.533	51.544	52.575	53.626
Ingreso por venta de subproductos y	151.710	154.744	157.839	160.996	164.216	167.500	170.850	174.267	177.752	181.307	184.934
Costo Productos Vendidos	(766.539)	(782.451)	(798.395)	(814.561)	(831.282)	(848.322)	(865.883)	(883.656)	(901.773)	(920.244)	(939.073)
Reduccion de costos por Utilizacion de	7.116	7.116	7.116	7.116	7.116	7.116	7.116	7.116	7.116	7.116	7.116
MARGEN BRUTO	551.856	562.914	573.994	585.227	596.847	608.689	620.892	633.242	645.833	658.668	671.753
OTROS GASTOS											
Pagos de Intereses sobre la Deuda	(8.097)	(8.097)	(8.097)	(8.097)	(8.097)	(8.097)	(8.097)	(8.097)	(8.097)	(8.097)	(8.097)
Depreciacion base	136.579	136.579	136.579	136.579	136.579	136.579	136.579	136.579	136.579	136.579	136.579
Utilidad despues de Ingr y Gastos	407.180	418.238	429.317	440.551	452.171	464.013	476.216	488.566	501.157	513.992	527.077
Depreciacion	2.051	2.051	2.051	2.051	2.051	2.051	2.051	2.051	2.051	2.051	2.051
Utili antes Impto	405.129	416.187	427.266	438.500	450.120	461.962	474.165	486.515	499.106	511.941	525.026
Impto	68.872	203.932	209.360	214.865	220.559	226.361	232.341	238.392	244.562	250.851	257.263
Ut despues impto	336.257	212.255	217.906	223.635	229.561	235.600	241.824	248.123	254.544	261.090	267.763
Dividendos	(220)	(84.902)	(87.162)	(89.454)	(91.824)	(94.240)	(96.730)	(99.249)	(101.818)	(104.436)	(107.105)
Utilidades Retenidas	210.605	127.353	130.743	134.181	137.737	141.360	145.094	148.874	152.726	156.654	160.650

Balance

Balance											
Activos Circulantes	481.153	491.049	500.965	511.019	521.418	532.016	542.937	553.990	565.258	576.745	588.456
Activos fijos	351.731	355.073	361.829	368.679	375.764	382.985	390.426	397.956	405.633	413.460	421.438
Equipo HPGR Chancador	14.740										
HPGR Motor (4)	5.771										
(-) Equipos Chancadores 3° y 4°	(3.400)										
Otros activos	866.190	749.716	759.503	769.426	779.690	790.151	800.930	811.840	822.961	834.299	845.857
Total Activos	1.699.073	1.595.839	1.622.297	1.649.124	1.676.872	1.705.151	1.734.293	1.763.786	1.793.853	1.824.504	1.855.751
PASIVOS TOTALES											
Pasivos Circulantes	1.009.685	1.030.452	1.051.260	1.072.358	1.094.180	1.116.419	1.139.338	1.162.532	1.186.178	1.210.283	1.234.857
Pasivo Fijo	80.967	80.967	80.967	80.967	80.967	80.967	80.967	80.967	80.967	80.967	80.967
Acciones	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Patrimonio	608.421	484.420	490.070	495.799	501.725	507.765	513.988	520.287	526.708	533.254	539.927
Capital	270.113	270.113	270.113	270.113	270.113	270.113	270.113	270.113	270.113	270.113	270.113
Acumuladas Utilidades Retenidas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Utilidad del Ejercicio	338.308	214.306	219.957	225.686	231.612	237.652	243.875	250.174	256.595	263.141	269.814
Total Pasivo y Patrimonio	1.699.073	1.595.839	1.622.297	1.649.124	1.676.872	1.705.151	1.734.293	1.763.786	1.793.853	1.824.504	1.855.751

Flujo de Caja

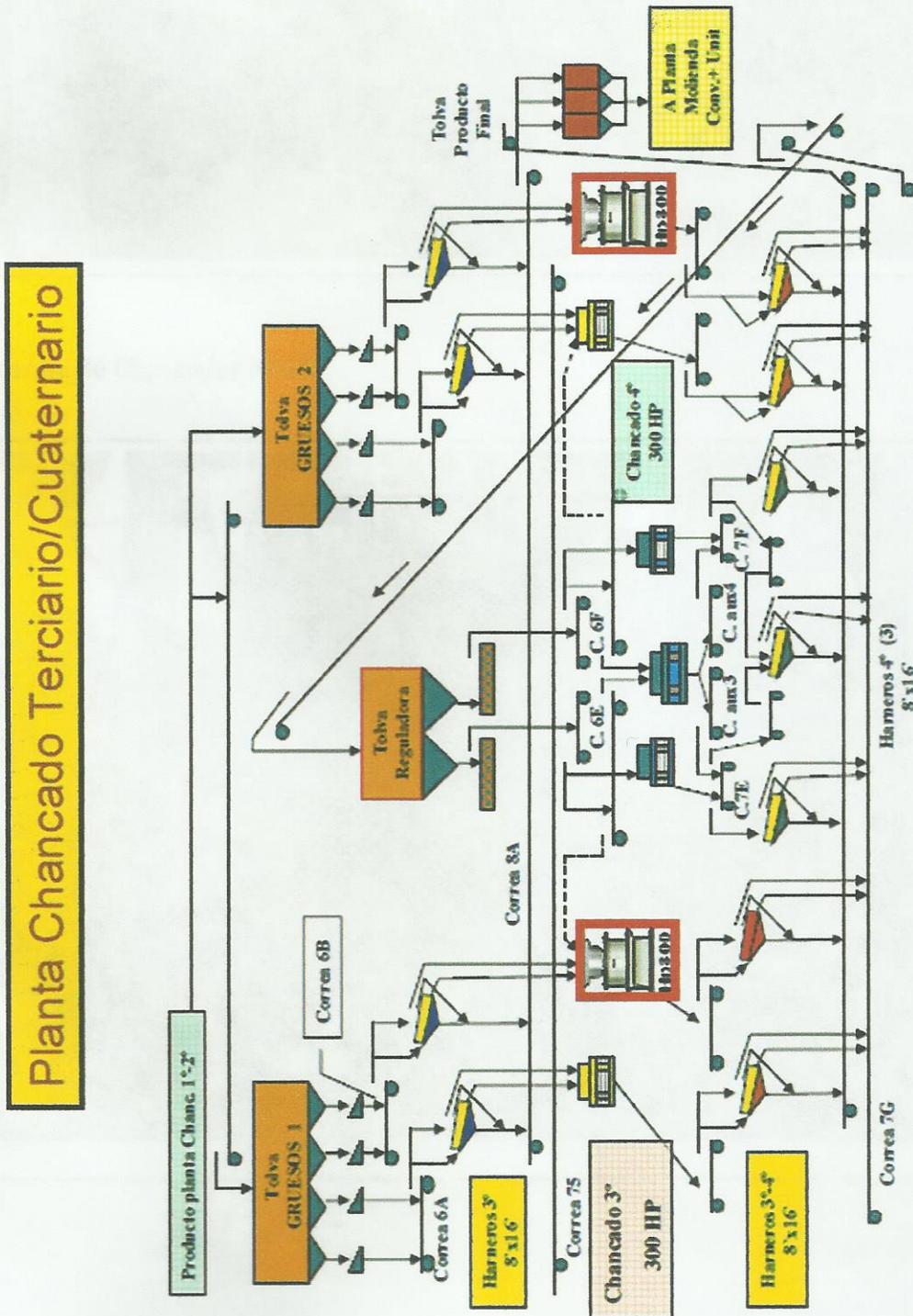
Flujo de Caja											
Utilidades Despues de Impuestos		212.255	217.906	223.635	229.561	235.600	241.824	248.123	254.544	261.090	267.763
(+) Depreciacion		-2.051	-2.051	-2.051	-2.051	-2.051	-2.051	-2.051	-2.051	-2.051	-2.051
(-) Interes		-6.720	-6.720	-6.720	-6.720	-6.720	-6.720	-6.720	-6.720	-6.720	-6.720
(-) Aumento en los Activos Circulantes		-9.897	-9.916	-10.054	-10.399	-10.598	-10.922	-11.053	-11.268	-11.487	-11.710
(+) Aumento el los pasivos Circulantes		20.768	20.808	21.098	21.822	22.240	22.919	23.194	23.645	24.105	24.574
(-) Aumento Activos Fijos al Costo, (Capex)		116.473	-9.787	-9.923	-10.264	-10.460	-10.780	-10.909	-11.121	-11.338	-11.558
Flujo de Caja Libre		330.828	210.240	215.984	221.949	228.010	234.270	240.583	247.028	253.599	260.297
Valor Residual a Perpetuidad											2.950.033
Flujo de Caja		330.828	210.240	215.984	221.949	228.010	234.270	240.583	247.028	253.599	3.210.330

Valor de la Empresa

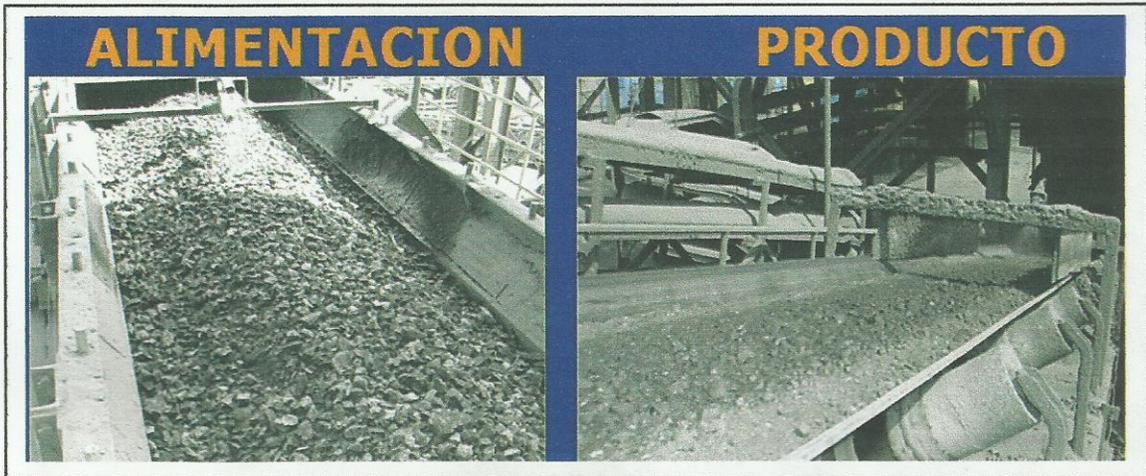
Valoracion de la Empresa											
WACC		11%									
Tasa Flujo de caja libre Crecimiento		2%									
Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo de Caja		330.828	210.240	215.984	221.949	228.010	234.270	240.583	247.028	253.599	260.297
Valor Terminal											2.950.033
Total		330.828	210.240	215.984	221.949	228.010	234.270	240.583	247.028	253.599	3.210.330
Valor de la Empresa		MUSD 29.165.72									

Anexos N°4 Diagramas y Fotografías

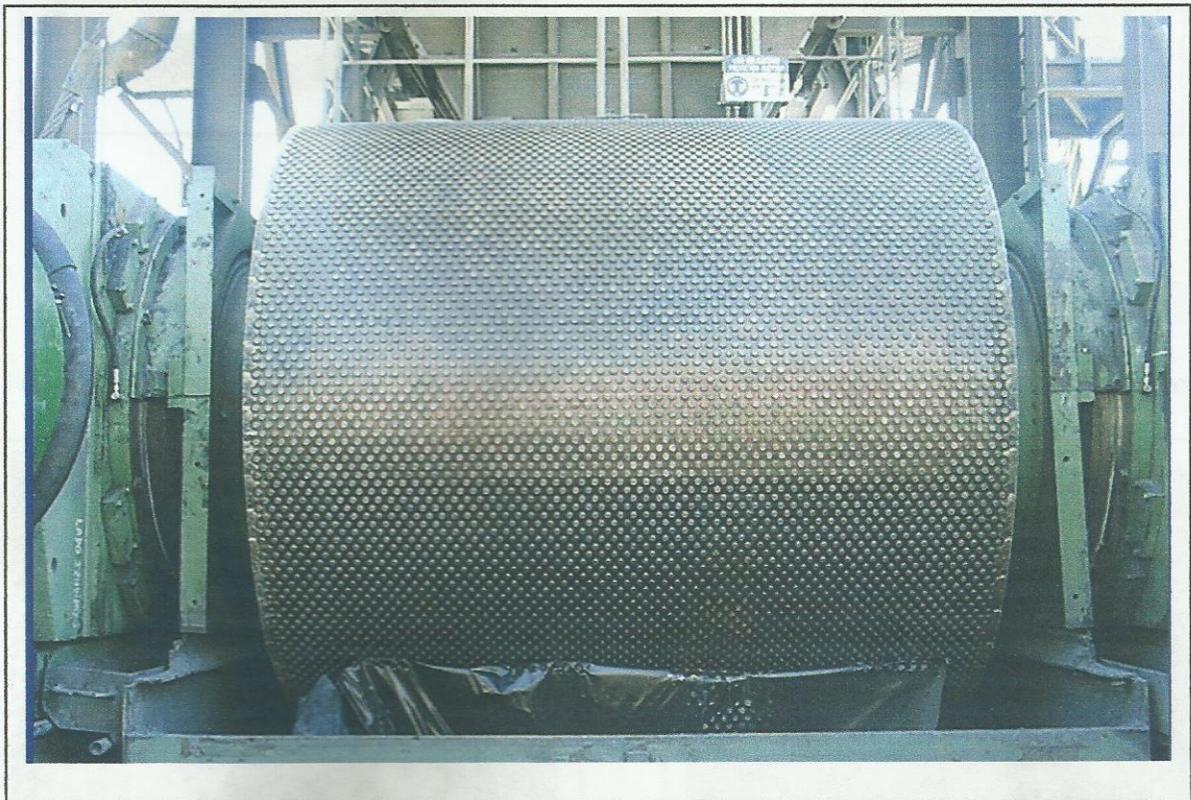
Diagrama de Flujo Planta Actual División Andina



Alimentación y producto de salida al utilizar un Chancador HPGR



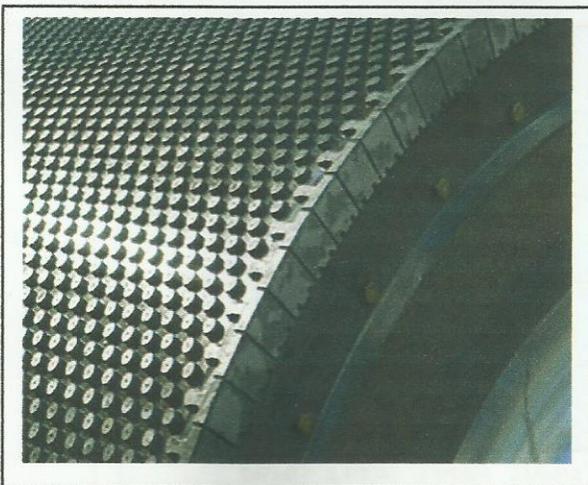
Superficie de Chancador HPGR



Rodillo de Chancador HPGR para recambio



Nueva Superficie de un Chancador HPGR



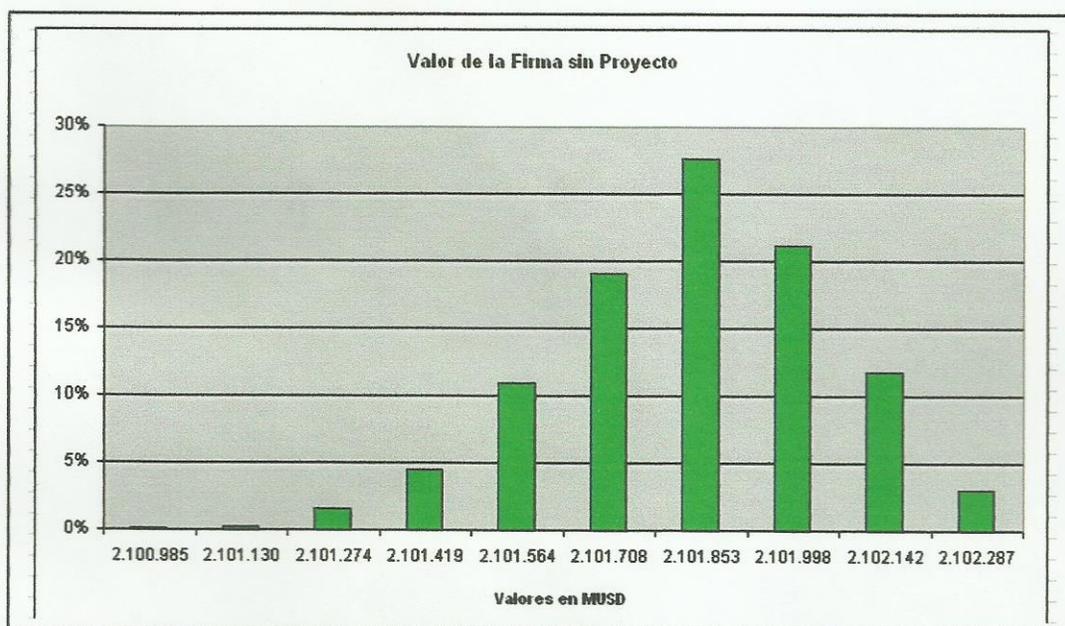
Superficie HPGR con máximo Desgaste



Anexos N°5 Gráficos – Valor de la Firma

A continuación se realiza una comparación entre el valor de la firma con proyecto y sin proyecto.

Valor de la Firma Sin Proyecto



Valor de la Firma Con Proyecto

