

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Industrial

**Modelo de Gestión de Operaciones
de la mina Rajo Abierto de la División Andina
de CODELCO**

Primer paso a la contención de costos

por

Jorge Esteban Acuña Maldonado

Memoria para optar al título de
Ingeniero Civil Industrial

Octubre, 2008

“Chile va nacionalizar su cobre en virtud de un acto soberano. Acto soberano que incluso está consagrado en las resoluciones de Naciones Unidas que establece que los países tienen derecho a nacionalizar sus riquezas esenciales...Esta batalla ha sido larga, pero hay que destacar que la conciencia del pueblo ha permitido que hoy día en Chile la inmensa mayoría de los chilenos estén junto a Chile y su futuro y que sientan este día como propio, en que el Congreso Nacional, al aprobar la idea modificatoria de la Constitución para que nosotros podamos nacionalizar el cobre, ha escuchado el clamor, la potencia y la fuerza con que el pueblo ha luchado y luchará por recuperar la riqueza de Chile, en manos del capital foráneo”
(Pdte. Salvador Allende Gossens, 11 de Julio de 1971)

*Gracias a **Dios** por darme la vida
Gracias a mi **madre** por guiarme en la vida
Gracias a la **vida** misma por darme los momentos que he vivido y que me restan por vivir*

Índice

Glosario.....	5
Lista de Abreviaturas y siglas.....	8
Lista de Figuras.....	9
Lista de Tablas.....	11
Resumen.....	12
1 Introducción.....	13
2 Definición y formulación del problema.....	14
2.1 Definición del sistema.....	14
2.2 Descripción general del sistema.....	15
2.3 Análisis de la situación actual.....	17
2.4 Proyectos de mejora en fase de estudio.....	26
2.5 Objetivos.....	27
2.5.1 Objetivos generales.....	27
2.5.2 Objetivos específicos.....	27
3 Marco teórico.....	28
3.1 Metodología de trabajo.....	28
3.2 Plan de trabajo.....	30
4 Análisis del sistema objetivo.....	32
4.1 Descripción del sistema objetivo.....	32
4.2 Línea SAG.....	35
4.3 Identificación de las variables operacionales.....	39
4.4 Características del macizo rocoso.....	43
4.5 Variabilidad en el cumplimiento del diseño.....	46
4.6 Variabilidad en el cumplimiento del plan operacional.....	51
4.7 Sistemas multivariantes.....	56
4.8 Estructura de costos.....	58
4.9 Influencia de la granulometría en la Línea SAG.....	63
5 Enfoque del estudio.....	67
5.1 Principios del enfoque.....	68
6 Análisis del sistema solución.....	70
6.1 Definición del sistema solución.....	70
6.1.1 Planificación Estratégica.....	70
6.1.2 Cadena de valor.....	72
6.2 Modelo de Gestión de Operaciones.....	75
6.2.1 Técnica Mine to Mill.....	78
6.2.1.1 Concepto.....	78
6.2.1.2 Resumen Técnica Mine to Mill Metso Minerals Process Technology.....	80

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

6.2.1.3 Condiciones de gestión necesarias para implementar el Mine to Mill.....	81
6.2.2 Criterios ISO 9001.....	84
6.2.3 Business Process Management.....	86
6.2.3.1 Concepto.....	86
6.2.3.2 Factores críticos de un proyecto de mejoramiento continuo.....	87
6.2.3.3 Fases de una estructura de trabajo BPM.....	89
6.2.3.4 Primera Aproximación implementación BPM en Andina.....	92
6.2.4 Esquema Business Intelligence.....	94
6.2.4.1 Objetivos de la captura y almacenamiento de datos.....	94
6.2.4.2 Perspectivas de un Sistema de Información.....	95
6.2.4.3 Características del Sistema de Información propuesto.....	96
6.2.4.4 Definición de Business Intelligence.....	97
6.2.4.5 Data Warehouse.....	99
6.2.4.6 Herramientas de Análisis.....	102
6.2.4.7 Visualización Interactiva y Reporting.....	102
6.2.4.8 Modelo Control de procesos.....	103
6.3 Integración del sistema solución.....	107
7 Conclusiones.....	111
7.1 Con respecto a la estructura de procesos.....	111
7.1.1 Perforación.....	111
7.1.2 Tronadura.....	112
7.1.3 Carguío y Transporte.....	113
7.2 Con respecto al actual sistema de gestión de operaciones.....	114
7.3 Con respecto al sistema de control propuesto en este estudio.....	116
7.3.1 Perspectiva de costos.....	116
7.3.2 Perspectiva de control multivariable.....	119
7.4 Con respecto a la implementación del sistema solución.....	122
7.4.1 Actividades de la implementación del sistema solución.....	122
7.4.2 Características derivadas de implementar el sistema solución.....	125
7.5 Comentarios Finales.....	125
Anexos.....	127
Anexo 1 – Técnica Mine to Mill.....	128
Anexo 2 – Criterios de Calidad ISO 9001.....	150
Anexo 3 – Descripción y Análisis de la Estructura de procesos	153
Anexo 4 – Modelos de procesos bajo el estándar BPMN.....	176
Anexo 5 – Tablas Base de Datos Relacional	180
Anexo 6 – Reportes de Calidad.....	186
Anexo 7 – Resultados Estudio Data mining.....	193
Anexo 8 – Análisis Variográfico.....	197
Anexo 9 – Primera Aproximación Implementación BPM en Andina.....	201
Bibliografía.....	225

Glosario

Banco: Corresponde a los cortes escalonados presentes en una mina a rajo abierto. En los bancos se observan dos caras descubiertas: una cara superior horizontal y una vertical lateral. Los bancos tienen dos límites: la línea; en dirección al cerro o a la caja, como es conocido en jerga minera y la altura del banco o dimensión de la cara lateral, la cual desemboca en el banco ubicado justamente debajo de él.

Camiones fabrica: Se llama así al lugar concreto donde se fabrican los explosivos que posteriormente serán empleados en la tronada. Estos corresponden a camiones, lo cual posibilita que la fabricación de explosivos se haga en terreno.

Conminución: Es el primer macro proceso de una operación minero-metalúrgica, en el cual el material extraído de la mina, es molido a través de tres etapas bien marcadas; Tronadura; Chancado y Molienda. El objetivo es entregar a los procesos de Clasificación siguientes, el material con el tamaño adecuado para que estos se desarrollen eficazmente.

Chancado: Proceso mediante el cual se disminuye el tamaño de las rocas mineralizadas triturándolas en chancadoras. El material extraído pasa por tres tipos de chancadoras (chancador primario, secundario y terciario) hasta llegar a tamaños de menos de ½ pulgada, el cual entra a Molienda.

DISPATCH: Software de control de procesos. Es un software que sirve básicamente para optimizar la ruta y movimientos de los camiones. Además posee una base de datos que sirve para almacenar los datos relacionados con los tiempos y rendimientos, principalmente de camiones y cargadores. Le pertenece a la empresa MODULAR.

F-80 (P-80): Nomenclatura que sirve para referenciar el tamaño promedio del material correspondiente al 80% de la cantidad total de material. La diferencia entre F-80 y P-80 es de orden técnico y no altera la definición. En general, el tamaño promedio del x% de la cantidad total de material se denota por F-x. Se aplica a cualquiera de las etapas de la conminución.

Feedback: En español; retroalimentación. Es un concepto usado en Teoría de Sistemas y que se usa para denotar aquellas situaciones en que una acción dada tiene asociada una respuesta, de tal suerte de poder calificar a la acción. Este concepto se usa bastante en Control para poder determinar las acciones a seguir a partir del conocimiento de los resultados de la operación.

Geología: Ciencia que trata de la forma exterior e interior del globo terrestre, de la naturaleza de las materias que lo componen y de su formación, de los cambios o alteraciones que estas han experimentado desde su origen, y de la colocación que tienen en su actual estado.

Geotecnia: Aplicación de principios de ingeniería a la ejecución de obras públicas en función de las características de los materiales de la corteza terrestre. En minería, los profesionales geotécnicos o geomecánicos se especializan en el estudio del conocimiento acerca del macizo rocoso, desde el punto de vista de las resistencias, del movimiento, de las fuerzas, entre otros.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Granulometría: Es la forma como se distribuye el tamaño del material post tronadura. En Andina existen tres niveles: Bajo 1 pulgada (<1) o finos; entre 1 pulgada y seis pulgadas (<6) o gruesos y sobre seis pulgadas (>6) o *top size*.

Línea: Es la representación de la frontera de un banco. Esta frontera separa en el plano del banco, al banco de la cordillera. Se usa para efectos de salvaguardar la integridad de la mina, en el sentido de prohibir la tronadura más allá de esa frontera.

Malla: Es el diagrama del diseño de un polígono, el cual representa los pozos que serán perforados, en una ubicación a escala según las coordenadas determinadas en el diseño. En la malla, las coordenadas de los pozos son la resultante del *burden* y el *espaciamiento* asignado por diseño a ese polígono. Por *burden* se entiende, la distancia entre la línea de pozos externa y la cordillera y por *espaciamiento*; a la distancia entre los pozos. Estas distancias son determinadas como parte del diseño y en función del tipo de material que caracteriza al polígono y al tipo de explosivo que se usará en la tronada especificado según el tipo de material que caracteriza al polígono. En Andina y debido a la mala cobertura, la malla se marca previamente en terreno y a partir de ese momento el polígono se considera diseñado y en condiciones de ser perforado.

MARC: Es el nombre que recibe un tipo de contrato, entre un proveedor de equipos y/o maquinarias y el comprador de estas. Se caracteriza principalmente porque la empresa proveedora se compromete a realizar mantenciones y reparaciones en terreno en forma continua, para lo cual instala un taller en terreno dotado de personal especializado.

Molienda: Proceso mediante el cual se reduce el tamaño del material mineralizado a menos de 0,2 milímetros, de manera que sea adecuado para la flotación. Al material mineralizado que viene de la planta de chancado se le agrega agua y algunos reactivos y se lleva a los molinos de barra y de bolas. Los molinos giran y las barras o bolas muelen el material.

Molienda SAG: El proceso de molienda ejecutada por un molino SAG.

Norma Asarco: Estándar que conceptualiza el tratamiento del tiempo como variable operacional. Se usa frecuentemente en la industria minera.

ORICA: Empresa colaboradora que actualmente posee la concesión de la fabricación de los explosivos y la ejecución del proceso de tronadura, en Andina.

Pebbles: Se refiere a un tipo de chancador dentro del circuito SAG, el cual opera con material de recirculación desde el molino SAG. Con el término se hace referencia, generalmente, al material proveniente de un chancador de este tipo.

PI System: Software de control de procesos usado en la Planta. Le pertenece a la empresa CONTAC y se caracteriza entre otras cosas por poseer una base de datos abierta y relacional.

Polígono: Se dice que un banco es subdividido en áreas menores llamadas, polígonos. Esta división se hace para efectos de optimizar la explotación de un banco. Luego un polígono es una subdivisión de un banco. Cada polígono a su vez, tiene asociado una malla.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Pozo: Cavidad perforada al interior de un polígono. Los pozos son diseñados y construidos para contener lo explosivos que serán usados posteriormente en la tronada. En jerga minera el pozo también es conocido como tiro.

Proceso agregado: Es un proceso compuesto de dos o más procesos menores relacionados por un mismo criterio de administración y operación. Los procesos agregados de la MRA son tres; Perforación y Tronadura (P&T), Movimiento de tierra y Apoyo a la producción (MT&AP) y Carguío y Transporte (C&T).

Pull down: Golpe de energía inicial entregado por el motor de la perforadora para que este pueda perforar efectivamente el pozo. Esto implica una relación costo-beneficio que relaciona el costo del combustible empleado con la fuerza desplegada por el tricono.

Rajo: Concavidad visible y de considerable dimensión sobre una superficie. En minería estas concavidades son depresiones conformadas por graderías (bancos), en las cuáles se extrae el mineral.

SAP: Es el nombre de una empresa alemana proveedora de una línea de software de gestión de gran reputación mundial. Entre sus principales productos destacan el SAP R/3 y el SAP BW. Generalmente cuando se habla de SAP se está hablando de SAP R/3, el cual es un ERP y por lo tanto un sistema de información diseñado para integrar una gran variedad de funciones de gestión; como Logística, CRM, Finanzas, Contabilidad, etc. Este software opera sobre 3 capas (de ahí su nombre), siendo la más básica; una base de datos común compartida por todas las funciones de gestión nombradas. El SAP BW es una herramienta para modelar e implementar un sistema Data Warehouse que incluye una plataforma y una suite de herramientas de BI.

Signos vitales: Llamados también sensores. Son usados en maquinarias y equipos para dotar de un soporte al feedback generado por las actividades desarrolladas por estas máquinas. Generalmente derivan en un flujo de datos en formatos de texto hacia una base de datos estacionaria.

Topografía: Técnicas de descripción y delineamiento detallado de la superficie de un terreno.

Tricono: Broca de gran tamaño que posee tres terminaciones (cabezas) y constituye la herramienta principal con la cual una perforadora forma los pozos.

Veta: Es una grieta dentro de un macizo rocoso que en su interior cobija minerales.

Warehousing: La acción de emplear un sistema Data Warehouse, lo cual implica desarrollar todas las acciones que esto conlleva, vale decir; almacenamiento y análisis de datos, bajo una perspectiva multidimensional y por lo tanto empleando datos provenientes de varios tipos de variables.

Lista de Abreviaturas y Siglas

BPM = Business Process Management

BPMN = Business Process Modeling Notation.

CODELCO = Corporación del Cobre.

C&T = Carguío y Transporte.

EE.CC = Empresa Colaboradora (empresa sub-contratista).

FC = Factor de carga.

FF = Frecuencia de Fractura

GMIN = Gerencia de Minas.

GRMD = Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo.

MMPT-AP = Metso Minerals Process Technology Asia Pacific.

MRA = Mina Rajo Abierto.

msnm = Metros sobre el nivel del mar

MTM MMPT-AP = Mine to Mil de Metso Minerals Process Technology Asia Pacífic.

MT&AP = Movimiento de Tierras y Apoyo a Producción.

PMM CP = Planificación Minero Metalúrgica de corto plazo.

P&T = Perforación y Tronadura.

SPMM (GRMD) = Superintendencia Planificación Minero Metalúrgica, dependiente GRMD

SAG = Semiautógeno.

SPMRA = Sistema Productivo Mina Rajo Abierto.

Tmh = Toneladas métricas húmedas.

Topografía (PMM CP) = Topografía dependiente de PMM CP.

TPH = Toneladas Por Hora.

Lista de Figuras

Figura 2.1	– Diagrama de procesos SPMRA-SAG.....	14
Figura 4.1	– Diagrama de procesos C&T.....	34
Figura 4.2	– Diagrama de procesos P&T.....	35
Figura 4.3	– Diagrama Flujo SPMRA-SAG.....	36
Figura 4.4	– Diagrama Flujo Chancado “Don Luis” y Transporte a SAG.....	38
Figura 4.5	– Diagrama Flujo Circuito Molienda SAG.....	38
Figura 4.6	– Esquema distribución del tiempo de uso de equipos.....	42
Figura 4.7	– Definiciones de las variables empleadas por la Norma Asarco.....	42
Figura 4.8	– Grupos litológicos Rajo don Luis.....	44
Figura 4.9	– Frecuencia de Fractura Rajo don Luis.....	45
Figura 4.10	– Set de fotos tronada 3746-007.....	47
Figura 4.11	– Plano malla tronada 3746-007.....	48
Figura 4.12	– Histograma Distribución largo de los pozos Tronada 3746-007.....	49
Figura 4.13	– Distribución de la energía Tronada 3746-007.....	50
Figura 4.14	– Distribución en el tiempo estados 1 y 2.....	53
Figura 4.15	– Evolución en el tiempo incumplimiento operacional.....	54
Figura 4.16	– Estructura multivariable Conminución.....	56
Figura 4.17	– Estructura multivariable SPMRA.....	57
Figura 4.18	– Estructura de costos Conminución.....	58
Figura 4.19	– Estructura de costos SPMRA 2006.....	59
Figura 4.20	– Estructura de costos SPMRA 2007.....	59
Figura 4.21	– Estructura de costos Perforación 2007.....	59
Figura 4.22	– Estructura de costos Tronadura 2007.....	60
Figura 4.23	– Estructura de costos Carguío 2006.....	60
Figura 4.24	– Estructura de costos Carguío2007.....	61
Figura 4.25	– Estructura de costos Transporte 2006.....	61
Figura 4.26	– Estructura de costos Transporte 2007.....	61
Figura 4.27	– Granulometría como variable de salida del SPMRA.....	63
Figura 4.28	– Análisis Multivariable Molino SAG.....	65
Figura 4.29	– Importancia de la granulometría en el Molino SAG.....	66
Figura 6.1	– Planificación Estratégica Modelo Gestión de Operaciones.....	70
Figura 6.2	– Cadena de Valor Modelo Gestión de Operaciones.....	72
Figura 6.3	– Técnica operaciones integradas MMPT-AP.....	80
Figura 6.4	– Modelo Sistema Gestión de la Calidad basado en procesos.....	85
Figura 6.5	– Modelo Business Process Management	86
Figura 6.6	– Esquema Business Intelligence.....	98
Figura 6.7	– Esquema Data Warehouse Calidad y Actividades Operacionales.....	100
Figura 6.8	– Esquema Medición de Variables.....	101
Figura 6.9	– Bucle de Control.....	103
Figura 6.10	– Modelo General Control de Procesos.....	104
Figura 6.11	– Modelo Particular Control de Procesos.....	105
Figura 6.12	– Modelo de Gestión de Operaciones Integrado.....	107
Figura 7.1	– Costos MRA-Línea SAG (agregado).....	117

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Figura 7.2 – Sistema Multivariado Gestión de Operaciones MRA.....	119
Figura 7.3 – Actividades implementación modelo.....	122

Lista de Tablas

Tabla 4.1 – Distribución de FF por cada grupo litológico del Rajo Don Luis.....	45
Tabla 4.2 – Distribución estados polígonos.....	51
Tabla 4.3 – Distribución semestral estados 1 y 2.....	51
Tabla 4.4 – Relación desajuste operacional e incumplimiento plan.....	52
Tabla 4.5 – Análisis Correlación Desajuste operacional e incumplimiento plan.....	54
Tabla 4.6 – Estructura de costos Conminución.....	57
Tabla 4.7 – Análisis comparativo de costos por proceso (en %)......	61
Tabla 6.1 – Condiciones necesarias del Mejoramiento Continuo.....	74
Tabla 6.2 – Subsistemas Modelo de Gestión de Operaciones.....	76
Tabla 6.3 – Elementos Sistema Gestión de Operaciones con MTM.....	82
Tabla 6.4 – Condiciones de gestión necesarias MTM.....	82
Tabla 6.5 – Fortalezas Proyecto MTM en Andina.....	82
Tabla 7.1 – Costos MRA-Línea SAG (desagregado).....	115
Tabla 7.2 – Costos MRA-Línea SAG (Agregado).....	115
Tabla 7.3 – Comparación Situación actual v/s Implementación modelo.....	124

Resumen

Este estudio consistió en la identificación de las condiciones de gestión, básicas y necesarias, propias de las distintas fases de un modelo de gestión de operaciones del sistema operacional de la mina Rajo Abierto de la División Andina de CODELCO. El estudio tuvo como principal foco de análisis, el proceso agregado Perforación y Tronadura y consideró como referencia a la Molienda SAG.

Se realizó un levantamiento de procesos que derivó en un modelo del sistema objetivo, a partir del cual se identificaron ciertos principios que enfocaron el modelamiento del sistema solución. Este último consistió en el modelo de un sistema de gestión de operaciones, compuesto de tres subsistemas; *Business Process Management*, un esquema de *Business Intelligence* y la técnica de operación minero-metalúrgica *Mine to Mill*. El estudio contempló el mapeo, descripción y análisis de procesos e identificó los proyectos claves tal de fortalecer una estructura *BPM* en Andina. El modelo incluyó además, un sistema de medición y control automático desarrollado en *Access* y en una versión de prueba de *JMP*, en el cual se mostró, con datos reales, que es posible gestionar los procesos mineros, emulando un ambiente *Business Intelligence* y asumiendo la existencia de *Mine to Mill* y un enfoque de gestión basado en procesos.

El estudio mostró finalmente, que el sistema objetivo presenta dos fuentes de alta variabilidad; *Incumplimiento del Plan Operacional* e *Incumplimiento del diseño por Polígono*, todo lo cual evidenció la necesidad de que Andina debe abordar la gestión de operaciones minero-metalúrgicas de una manera distinta a la tradicional en aspectos tan variados como el modelo de negocios, la estrategia del negocio y el paradigma de gestión de operaciones, todos decisivos, para poder acceder al mejoramiento continuo y enfrentar de esta manera su mayor desafío, vale decir; la contención de costos a partir de la eficiencia operacional y el control de las fuentes de gasto.

1 Introducción

En la actualidad, las empresas deben enfrentar un entorno competitivo y cambiante y por lo tanto, todos los esfuerzos de estas debieran estar puestos en diferenciarse de su competencia y/o en maximizar su eficiencia operacional. Lo anterior es válido inclusive para aquellas empresas que lideran su industria, sobre todo aquellas empresas cuyos resultados dependen decididamente del nivel de precios.

En particular, CODELCO presenta en la actualidad dos problemas de cuidado; la disminución gradual de la ley de mineral y los altos costos unitarios de sus operaciones.

Un gran porcentaje de sus excedentes se deben principalmente a los elevados precios que el cobre experimenta cada cierto tiempo y no a su gestión de operaciones, lo cual en definitiva entrega una visión distorsionada de la real calidad asociada a esta última, ocultando una serie de problemas de gestión cuyas consecuencias quedan al descubierto en épocas de crisis económicas.

Los costos unitarios se disminuyen al mejorar la eficiencia en la operación de los procesos (Si la eficiencia se transforma en una política, la disminución de los costos sería una consecuencia de ello). Por otro lado, la eficiencia operacional es alcanzada a partir de un escenario de mejoramiento continuo, el cual a su vez es alcanzado a partir de una serie de condiciones técnicas y de gestión.

Históricamente los procesos metalúrgicos se han gestionado en forma separada de los procesos mineros, centrados estos últimos en el control de los procesos de carguío y transporte de material a Planta. Lo anterior es la consecuencia de un concepto del negocio minero-metalúrgico que concibe a la mina, como una fuente proveedora de materias primas de un proceso mayor desarrollado en Planta y del paradigma de gestión operaciones, existente.

Lo anterior, unido a los problemas particulares que posee CODELCO como empresa estatal, habrían gatillado la situación de ineficiencia que actualmente presenta la corporación.

Afortunadamente, en la actualidad se cuenta con una serie de elementos de gestión que favorecen un cambio de esta situación: paradigmas de gestión de orientación desagregada e integrada; TI especializada y de alta sofisticación y sin duda lo mas importante, la voluntad de hacer las cosas de manera distinta, lo cual no es menor en una cultura organizacional tradicionalmente “dura”.

Este estudio identificará algunos de estos elementos y los modelará e integrará en un solo modelo de gestión de operaciones, capaz de descubrir la sinergia existente entre ellos y construir un escenario propicio para el análisis y el control permanente de los factores que determinan tanto los costos como las soluciones para disminuirlos, en pos esto último, de la maximización de la eficiencia asociada a la gestión de operaciones.

2 Definición y formulación del problema

2.1 Definición del sistema objetivo

El sistema, objeto de este estudio, corresponde al sistema productivo asociado a la mina Rajo Abierto de la división Andina de CODELCO.

Se tomará como referencia el macro-proceso de Conminución, el cual se inicia en la Tronadura y finaliza en la Molienda y que por lo tanto brinda un contexto que sirve para definir los límites de influencia del sistema bajo estudio. Se considerarán las siguientes unidades operativas de conminución:

1. **Mina Rajo Abierto:** Extracción de mineral a rajo abierto.
2. **Línea SAG:** Línea de Conminución de la Planta (Chancado y molienda SAG).

Este estudio se centrará en las operaciones de la mina Rajo Abierto, (en adelante MRA) las cuáles serán descritas y analizadas en detalle y solo considerará a la Línea SAG, principalmente a la Molienda SAG para efectos de analizar el impacto en ella, de las actividades operacionales desarrolladas en la MRA, entendiendo que las acciones efectuadas por ésta, determinan decididamente las operaciones de la Línea SAG.

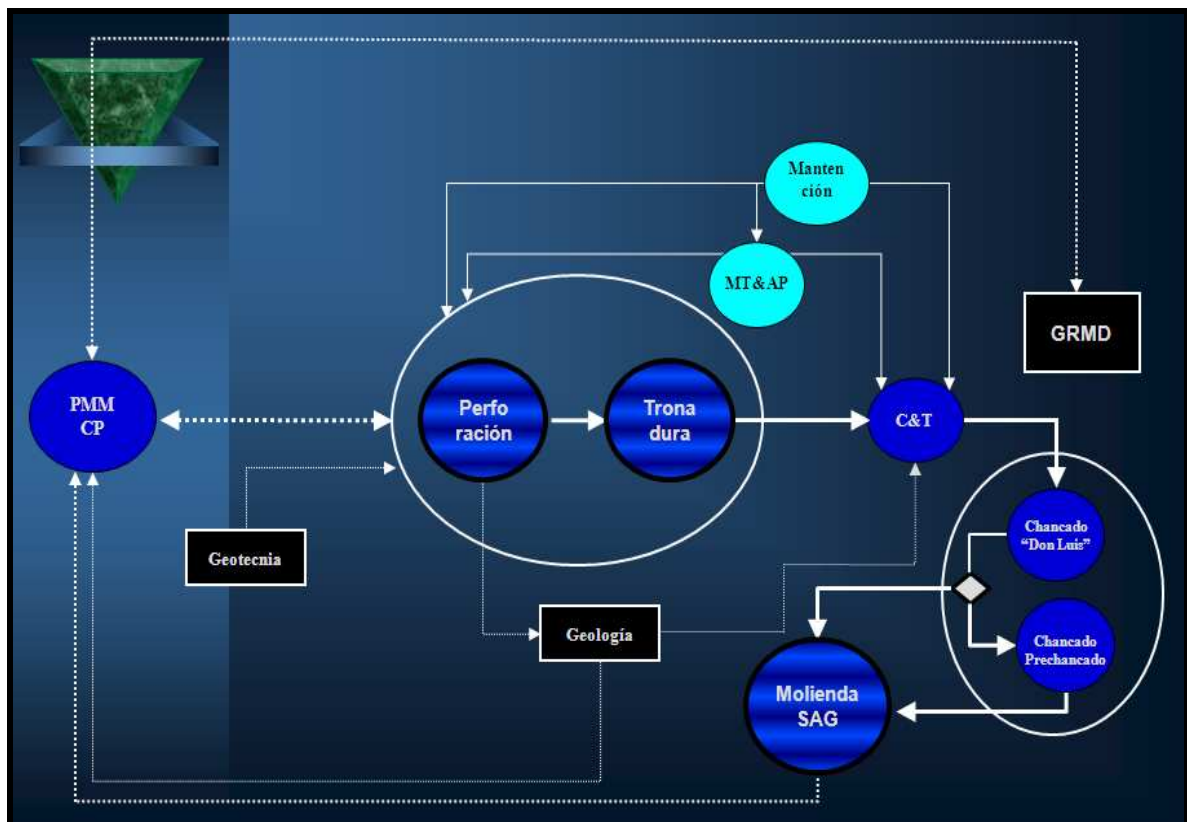


Figura 2.1 – Diagrama de procesos SPMRA-SAG [Realización personal]

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Este estudio priorizará el análisis en los siguientes procesos: Perforación, Tronadura y Molienda SAG.

El sistema será designado por SPMRA-SAG y será analizado en detalle en el transcurso de este estudio. Cuando solo se esté haciendo referencia al sistema productivo de la MRA, se designará por SPMRA.

Existen tres actores externos que interactúan con el sistema objetivo. Estos actores son: Geotecnia, Geología y la Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo (GRMD).

Los procesos, a su vez se dividen en tres tipos; Estratégicos, Operativos y Apoyo.

Planificación Minero-Metalúrgica de corto plazo (PMM CP) es el único proceso estratégico considerado en este estudio. Perforación y Tronadura (P&T) se desagrega para efectos de análisis, al igual que Chancado al ser desagregado en Chancado “Don Luis” y prechancado. Este último proceso solo opera cuando la *granulometría* a la salida del chancador “Don Luis” no es adecuada para el molino SAG. Tanto Chancado como Carguío y Transporte (C&T) son considerados procesos secundarios para efectos de este estudio.

Los procesos de apoyo son Movimiento de Tierra y Apoyo a la Producción (MT&AP) y Mantenimiento.

Finalmente, en el modelo se consideran flujos físicos (línea continua) y flujos informativos (línea discontinua).

2.2 Descripción general del sistema

La División Andina de CODELCO, (en adelante simplemente Andina) está organizada de manera tal que cada gerencia corresponde a una unidad de negocios, lo cual implica entre otras cosas que cada gerencia posee la autonomía suficiente para poder definir sus propias estrategias de negocio, controlar autónomamente sus procesos productivos y poseer estructuras de costos independientes.

La MRA y por lo tanto el SPMRA es administrada y controlada a través de la *Superintendencia Mina Rajo Abierto* (SMRA), la cual depende directamente de la *Gerencia de Minas* (GMIN).

Por otro lado, la Línea SAG forma parte de la Planta, (en adelante simplemente Planta) la cual depende en última instancia de la Gerencia de Plantas (GPLAN).

Ambas gerencias están bajo el control de una Gerencia de Operaciones (creada en diciembre de 2007).

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

La Mina Rajo Abierto (MRA) está compuesta de dos minas a rajo abierto en ejercicio; Rajo *Sur-Sur* y Rajo *Don Luis* y un tercer rajo; Rajo Río Blanco, el cual comenzará a ser explotado en la primera fase del proyecto de expansión de Andina (PDA), el año 2009.

Andina extrae el material de la explotación combinada de la MRA y de la Mina Subterránea (MS). Este material es transportado a la Planta Procesadora, a través de dos vías:

1. A través de un *pique de traspaso*, el cual lleva material desde la MRA hasta la Planta, pasando por la MS, donde se agrega el material procedente de ésta.
2. A través de un *pique directo* el cual se emplea para transportar material directamente desde la MRA hasta la Planta.

La segunda fase del PDA contempla la existencia de una nueva línea operativa, alimentada solamente con material proveniente de la MRA.

En la Planta se desarrollan los siguientes procesos: *Chancado*, *Molienda*, *Flotación* y *Concentración*.

La Molienda SAG es un tipo especial de molienda, la cual se caracteriza por el empleo de un molino Semi-Autógeno (SAG). La línea SAG corresponde al circuito operacional que se inicia en el chancador “Don Luis” y finaliza en la Molienda SAG.

Las operaciones desarrolladas en la MRA están dirigidas por un superintendente de operaciones, el cual tiene como misión primordial cumplir con las metas fijadas por la Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo (GRMD).

Cada *proceso agregado* del SPMRA está encabezado por un ingeniero especialista quién tiene la misión de planificar y controlar las actividades operacionales sujetas al mínimo tiempo y al mínimo costo posible. Este personero depende directamente del superintendente de operaciones.

Las diferentes actividades que conforman los procesos son supervisadas y dirigidas en terreno por un jefe de turno o supervisor de operaciones, quién es un líder global de facto, en el sentido que tiene a su cargo todos los procesos productivos, incluyendo los recursos materiales y humanos. Este personero depende directamente de un ingeniero de operaciones, el cual a su vez depende del superintendente de operaciones.

Las actividades que conforman los procesos, son ejecutadas por operadores técnicos, los cuáles dependen directamente del supervisor de operaciones. Estos personeros operan los equipos y las maquinarias de tal forma de efectuar los movimientos operativos exigidos por cada una de estas actividades.

2.3 Análisis de la situación actual

El SPMRA posee una serie de características, las cuales impactan directamente en la eficacia y eficiencia de sus procesos y por lo tanto en el producto de estos, lo cual a su vez afecta a los procesos de la Línea SAG.

A continuación se detallan ocho perspectivas de aproximación a la situación actual del SPMRA. Estas mostrarán puntos de vista distintos del sistema real y ayudaran a identificar las causas de los problemas existentes, lo cual redundará finalmente en un mayor conocimiento de los mismos y de las variables que condicionan la gestión de operaciones.

Lo anterior no implica que este estudio contemple la evaluación de una solución particular a cada uno de los problemas detectados. Solo mostrará las distintas dimensiones de la complejidad del SPMRA y por lo tanto el real alcance del sistema solución.

A continuación se desarrollan las ocho perspectivas de aproximación:

1. Condiciones de cobertura y feedback

➤ Cobertura

La MRA se caracteriza por estar ubicada en una zona encajonada de la cordillera de Los Andes, la cual presenta mala cobertura satelital.

La principal consecuencia de una mala cobertura satelital es que la identificación de la ubicación exacta de los *pozos* que conforman un polígono, depende de marcación topográfica y por lo tanto depende de alguna manera, de la precisión de cálculos humanos y esto último trae como consecuencia un aumento en las probabilidades de error de la implementación de la malla tal como esta fue diseñada.

Por otro lado si existe variabilidad entre las coordenadas reales de los pozos y las diseñadas, aumentan las desviaciones entre la granulometría esperada y la real y entre los porcentajes de recuperación de cobre y molibdeno esperados y los reales y reduce en una baja significativa de los rendimientos de C&T (como consecuencia de un mal estado del frente de carguío, caracterizado por la presencia de durezas y *mala* granulometría), lo que a su vez termina por impactar negativamente en Chancado y Molienda.

Por último, cuando la Perforación depende de marcación de la malla, implica necesariamente, aumentos en los tiempos de set-up, (se subentiende que la perforación con malla on-line aumenta la rapidez de posicionamiento sobre cada pozo y por lo tanto bajan los tiempos de set-up y con ello bajan los tiempos de proceso y esto último trae como consecuencia un aumento de los rendimiento de perforación).

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

➤ Feedback

La complejidad de las operaciones de un proceso productivo exige la recuperación instantánea de la mayor cantidad de datos asociados a la forma como son operados los equipos y de las condiciones materiales en que lo hacen.

Estos datos al ser procesados entregan información valiosa que sirve en última instancia para retroalimentar y controlar los procesos.

En el SPMRA existen muchos datos asociados preferentemente a la perforación que no son recuperarlos debido principalmente a la inexistencia de fuentes de alimentación continua de primer nivel.

Ejemplos de esto último son los datos de velocidad lineal, velocidad angular y el *pull down* necesario que debe realizar la perforadora por cada pozo. Estos datos entregarían información valiosa que serviría para retroalimentar los modelos geomecánicos asociados al macizo rocoso, al entregar información indirecta acerca de la dureza de cada pozo y por lo tanto de la variabilidad litológica presente en la zona.

Esto último serviría también para controlar los rendimientos de los *triconos* empleados en dicha perforación y tener una idea mas acabada de los costos de estos en relación con sus respectivas velocidades de operación.

2. Responsabilidad sobre el diseño

Esta perspectiva aborda el sistema desde el punto de vista de la estructura organizacional que subyace a la forma como se operan los procesos (no necesariamente idéntica a la forma como esta estructura fue diseñada) y por lo tanto guarda relación con la poca claridad existente en la distribución de las responsabilidades asociada a las distintas actividades que conforman un proceso.

En la practica, esta situación está directamente relacionada con la calidad de la cobertura, en el sentido que una mala cobertura obliga a que las actividades de diseño e implementación del mismo dependan de facto, de varios actores pertenecientes tanto a PMM- CP como a P&T, lo cual afecta negativamente la efectividad del sistema de control.

Por lo tanto, esta problemática se traduce en una escasa precisión de las responsabilidades asociadas a las actividades relacionadas con el diseño, en atrasos en la disponibilidad del diagrama de perforación, (plan maestro de las operaciones de P&T), en tiempos muertos y por lo tanto en una situación propiciadora de errores operacionales futuros (este punto será abordado en detalle en los capítulos 4 y 6 y en los Anexos).

Todo lo anterior explica una serie de ineficiencias que afectan principalmente a los tiempos de procesos, a los tiempos de flujo entre procesos, a los tiempos de entrega a clientes, a la calidad tanto de la perforación como de la tronadura, lo cual en última instancia condiciona el

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

resultado final en términos de calidad y eficiencia e impacta directamente en los costos y en los tiempos totales de proceso, tanto del SPMRA como de la Línea SAG.

3. Coordinación de procesos

Esta perspectiva muestra el grado de coordinación entre los procesos, fruto entre otras cosas, del manejo informativo, el cual a su vez, es función tanto de la calidad que caracteriza a las comunicaciones entre los distintos actores al interior de una organización como de la confiabilidad y oportunidad asociadas a los datos de las distintas variables operacionales que determinan los procesos.

Si bien es cierto, las causas que explican la descoordinación entre procesos son variadas, algunas de ellas relacionadas con la cultura organizacional, este estudio se centrará en aquellas causas relacionadas con el manejo informativo pues este, está más relacionado con los objetivos del propio estudio (las causas relacionadas con la calidad de la comunicación y la cultura organizacional trascienden a este estudio).

Por lo tanto, las causas más comunes de la descoordinación de procesos son las siguientes: ausencia de información oportuna, pérdida de datos generados en terreno, automatización parcial de los datos asociados a las variables operacionales, inconstancia en la confiabilidad del flujo de datos, escaso análisis de los datos existente, incumplimiento de los programas de trabajo tal como estos fueron planificados, entre otras situaciones.

A continuación se identifican dos grandes áreas en las cuáles se producen la mayor cantidad de descoordinaciones:

➤ **PMM CP y Operaciones mineras:**

La principal descoordinación que se produce en esta área es la inconstancia operacional en el cumplimiento del plan de trabajo, tal como éste es elaborado por PMM-CP y caracterizado por Geología, lo cual redundará en desviaciones de los pronósticos de recuperación de cobre y/o molibdeno, de ley de corte y de energía necesaria en el proceso general de *Conminución*, todos ellos, parámetros críticos de los procesos desarrollados en la Línea SAG, y que por lo tanto terminan por impactar negativamente en los costos operacionales del proceso global.

➤ **SPMRA y Línea SAG:**

La descoordinación existente entre el SPMRA y la Línea SAG está influenciada preferentemente por:

- *Descoordinación entre los diferentes procesos al interior del SPMRA*

Asumiendo que se cumpla a cabalidad con el plan minero de corto plazo, el solo hecho que se produzcan descoordinaciones al interior del SPMRA redundará en la existencia de descoordinaciones entre el SPMRA y la Línea SAG lo cual facilitará la aparición de desviaciones en los planes operacionales, tanto de la MRA como de la Línea SAG, con las

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

consecuencias señaladas en el apartado anterior. La principal muestra de descoordinación al interior del sistema operativo minero la constituye el grado de inconsistencias entre el diseño del plan maestro de operaciones y su implementación.

- *Inexistencia de un adecuado Sistema de Información Integrado*

Si las operaciones realizadas tanto en la MRA como en la Línea SAG no están coordinadas por un SI Integrado siempre existirán descoordinaciones fruto de un ineficiente e inclusive ineficaz manejo informativo asociado a las mismas.

- *Inexistencia de un adecuado sistema de predicción y control de la granulometría*

Mientras el SPMRA no incorpore formal y decididamente a su plan de operaciones, los rendimientos efectivos del SAG como función de una curva granulométrica, siempre existirá una descoordinación de tipo estructural entre ambas unidades operativas caracterizada por la operación de los procesos en un nivel sub-óptimo.

Esta descoordinación es fruto de la inexistencia de un monitoreo permanente de la granulometría, lo cual a su vez depende de la presencia de un sistema de información asociado al control granulométrico del material tronado.

Mientras el SPMRA no alinee las operaciones de P&T en la perspectiva de adecuar la curva granulométrica a los rendimientos de la Molienda, a través del empleo de una metodología de trabajo que incorpore sistemáticamente los conocimientos geomecánicos del macizo rocoso, jamás podrá existir una coordinación entre la MRA y la Planta.

Todo lo anterior se traduce en última instancia, en la existencia de focos de ineficiencia o ineficacia en el cumplimiento de los programas de trabajo lo que a su vez redundará en el incumplimiento del plan minero-metalúrgico de largo plazo tal como éste es elaborado por la GRMD y/o en atrasos en el cumplimiento de los plazos asignados, lo que finalmente afecta considerablemente a los rendimientos del SPMRA y de la Línea SAG, en especial a la molienda SAG y por lo tanto a los costos del proceso general de extracción de cobre.

4. Control de procesos

El actual control del desempeño de los procesos del SPMRA está determinado por un paradigma de orientación interna, el cual se divide en dos grandes áreas: *Tiempo de Utilización de los equipos* y *Rendimiento de los equipos*, este último influenciado directamente por el primero.

Este paradigma es ampliamente usado en la industria minera y constituye una estandarización, conocida como *Norma Asarco*, la cual se compone de una serie de indicadores construidos a partir de diversas definiciones asociadas a los tiempos de uso de equipos.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Estos indicadores están principalmente orientados a medir el desempeño de los procesos a partir de la disponibilidad de uso y el rendimiento de los equipos que se emplean en la operación de los procesos.

No existen indicadores que reflejen el cumplimiento de los requerimientos de los clientes, en particular de la Línea SAG y por lo tanto no existe un enfoque externo del control de los procesos.

De hecho, la relación operacional con la Planta no está normada de manera tal que sea posible controlarla a través de indicadores.

En la práctica, esto se traduce en la existencia de un sistema que no es capaz de abordar todas las perspectivas de control exigidas por la complejidad asociada al SPMRA y por lo tanto termina ejerciendo un control insuficiente.

Por otro lado y contrario a lo que se pueda pensar; este sistema de control de procesos está determinado, en la práctica, por el sistema de almacenamiento de datos; en efecto: solo se controlan las variables que tienen asociada una colección automatizada de datos.

Además, los informes oficiales de control se emiten cada fin de mes y son construidos a partir de la agregación de datos tomados en tiempo real, desde el Dispatch, lo cual hace que el sistema no sea ni preventivo ni proactivo.

No obstante lo anterior, se emiten informes internos que abarcan períodos menores como semanas y/o quincenas, los cuáles no trascienden más allá de la MRA.

En cualquiera de los casos, el control no está centrado ni preventiva ni proactivamente en los turnos, a través del empleo de presupuestos y/o medidas de desempeño orientadas a controlar la eficiencia de los resultados operacionales (obtención de la mayor cantidad de mineral posible al menor costo y tiempo posible).

Además, es conveniente señalar que la dimensión temporal no es necesariamente la dimensión de control más importante. De hecho, al considerar la dimensión espacial, surge la necesidad de controlar la explotación de los bancos y/ o polígonos, a partir del conocimiento asociado a las condiciones espaciales del macizo rocoso que caracterizan las distintas zonas que lo conforman y la enorme variabilidad que estas presentan.

A lo anterior habría que agregar la escasez de instancias de mejora continua de los procesos, eventuales discrepancias entre los requerimientos ya sea de la Planta o de la GRMD y el desempeño efectivo del SPMRA y por sobre todo en la ausencia de una adecuada orientación del control de los procesos.

Esto último afecta la percepción y cuantificación del desempeño operacional, la definición de indicadores de control de procesos y el control real que se tiene de la relación costo-beneficio asociada a la explotación de los *polígonos*.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

5. Implementación normas ISO

Con respecto a este punto es necesario señalar que CODELCO está certificado ISO 9001, 14001 y 18001.

En la práctica, en lo que concierne a la MRA, la implementación de estas normas se efectuó en el contexto del diseño de un Sistema de Gestión Integrado (SGI) que en última instancia formaliza la gestión de estas normas en forma conjunta, centrándose preferentemente en la norma ISO 18001, por ser el tema; seguridad y salud ocupacional, extremadamente crítico para las faenas mineras y en especial para CODELCO.

En lo que respecta a la implementación de la norma ISO 9001, esta se redujo a la generación de documentos descriptivos de procesos y descuidó la definición de estándares de calidad y cualquier otro elemento propio de la implementación de esta norma.

Por lo tanto, las auditorías internas, que se realizan en la División Andina y en especial en la MRA, se reducen a la revisión de documentos preferentemente descriptivos de las distintas actividades realizadas durante un período determinado, a efecto de determinar lo que se está haciendo en materia operacional, de mantención de maquinarias y equipos, control de residuos, entre otros y el impacto de estas en la salud y seguridad ocupacional.

Los documentos tipo, que informan de la existencia de anomalías (reportes de no conformidad) se pueden generar desde la Intranet de CODELCO y son utilizados en la práctica, preferentemente por el personal de Mantención y Seguridad laboral, con el fin de denunciar situaciones irregulares que podrían poner en riesgo la seguridad y salud de los trabajadores.

Por lo tanto, no existen estándares de calidad operacional formales que normen las prácticas y las actividades desarrolladas en el contexto de los procesos productivos que apunten en la dirección de mantener y mejorar la calidad del producto final. Tampoco están identificadas las variables críticas que condicionan la calidad final del producto.

Finalmente y como consecuencia de lo anterior, no existen medidas de desempeño definidas para estos procesos en función del cumplimiento de estos estándares de calidad, así como del control de los procesos, centrado a su vez en el control de las variables críticas y en el cumplimiento de dichos estándares, lo cual complementa de algún modo lo señalado en el punto 4.

6. Sistema de Información

El sistema de información del SPMRA está conformado principalmente por el sistema informático asociado al software *DISPATCH*, el cual captura, almacena y despliega, *datos crudos* relacionados preferentemente con el tiempo de utilización de los equipos y las toneladas de material movidas por estos.

Este software opera sobre la base de una conexión satelital y de *signos vitales* instalados en los equipos.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Como se dijo anteriormente, este software está diseñado y orientado preferentemente al control de C&T, procesos en los cuáles se ha especializado, fruto de lo cual presenta una “buena” confiabilidad asociada a este tipo de datos (de cargadores y camiones).

Con respecto a los datos asociados a P&T y a las mallas de perforación, se puede señalar que estos son bastante irregulares y presentan una confiabilidad de menor calidad.

La base de datos que hace posible las operaciones señaladas anteriormente responde al paradigma de diseño *Jerárquico* (el cual, dicho sea de paso, quedó obsoleto alrededor de 20 años atrás, con la irrupción del paradigma de diseño *Relacional*), lo cual dificulta enormemente la búsqueda y despliegue de datos.

Además, es una base de datos cerrada, lo cual implica entre otras cosas que no puede comunicarse con ninguna otra base de datos de manera automática, salvo por la intermediación de un operador y a través de archivos planos (*dat* y *txt*), lo cual perjudica cualquier tipo de proyecto de automatización de datos que considere datos del SPMRA.

No existe ninguna base de datos que presente datos de la MRA y de la Planta, en forma conjunta. Lo más parecido a esto es la existencia de un modelo mina-planta, cargado a partir del *PI System*, el cual entrega ciertos datos de flujo en tiempo real (sala de control GMIN).

Por otro lado, es necesario señalar que este último software (*PI System*) tiene una excelente reputación en el control de procesos metalúrgicos y la base de datos que posee, es abierta y relacional. Ningún personero de la MRA tiene acceso a este software.

En lo concerniente a la información, se puede señalar que no es común la utilización de gráficos y/o análisis de datos, en el control de los procesos; solo se usan a manera de referencia. Esto último no aplica a PMM CP, la cual utiliza los rendimientos históricos de C&T en su proceso iterativo de selección y secuenciación de polígonos.

Con respecto a los costos, estos son entregados una vez al mes, con un desfase de hasta una y media semana, por la unidad administrativa respectiva.

La modalidad es la siguiente; funcionarios de nivel medio de la MRA rescatan datos del DISPATCH (preferentemente relativos a tiempos de utilización de equipos) y los suben al *SAP*, el cual en última instancia es utilizado como una base de datos de los niveles de consumo de fuentes de gasto tipificadas previamente. Luego, funcionarios administrativos cargan una planilla Excel con los datos del *SAP* y los valores unitarios de estas fuentes de gastos que ellos tienen tabulados en las planillas y calculan todos los gastos y costos del mes.

Conjuntamente con este informe mensual de costos, se emite un informe de índices operacionales, los cuales informan del desempeño de los procesos en función de estos índices (Ver punto 4).

El uso de análisis estadístico está recién introduciéndose en la Planta, como una innovación llevada a cabo por la *Dirección de Excelencia y Calidad*, no obstante lo cual en la

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

práctica, no existe control estadístico de procesos en la Planta. La MRA no emplea ningún análisis de este tipo.

En lo concerniente al ERP SAP, este es subutilizado en la práctica, de acuerdo al real potencial de este software, que es considerado uno de los mejores ERP que existen en el mercado.

Con respecto a este punto es necesario señalar que no solamente el SAP R/3 está subutilizado, sino además, el SAP BW (*Business Information Warehouse*) ni siquiera es empleado, lo cual se debe principalmente al escaso dominio de este tipo de herramientas, por parte de los funcionarios de nivel medio, a la escasa continuidad de los programas de capacitación de la Corporación y a la escasa valoración y conocimiento de las disciplinas de gestión por parte de los funcionarios de operaciones.

Lo anterior deja entrever un problema aún más básico y por lo tanto de mayor cuidado, el cual dice relación con la inexistencia de un proceso informativo paralelo al proceso de negocio central, lo cual es aconsejable en la actualidad, debido a la gravitante importancia del manejo y procesamiento de datos en el éxito del propio proceso de negocio central.

7. Cultura organizacional y paradigmas operacionales

La cultura de una organización en especial sus creencias y actitudes, es tan importante como la forma en que ésta desarrolla sus operaciones.

La cultura del SPMRA se caracteriza preferentemente por una relativa aversión tanto al cambio como a la incorporación de elementos de análisis nuevos y distintos a los propios de la experticia minera.

Esto último hace del SPMRA uno tal que absorbe con dificultad y lentitud los estímulos de su entorno.

Esto trae como consecuencia que la diversidad cultural del SPMRA se empobrezca y la calidad de los puntos de vista existentes disminuya, lo cual afecta negativamente la calidad de la toma de decisiones.

Desde el punto de vista de la dinámica de grupos se observa que el grupo formal converge armoniosamente con el grupo informal en una estructura relativamente plana y horizontal, que por lo menos en teoría tendría que facilitar la comunicación en su interior.

En general se aprecia la existencia de especialización funcional, además de responsabilidades relativamente marcadas, salvo en la frontera de lo que podríamos llamar SPMRA propiamente tal y PMM CP, esta última dependiente políticamente de una gerencia distinta (GRMD) y por lo tanto de otro sistema organizacional.

No obstante lo anterior, es necesario hacer mención que el estilo de liderazgo es uno tal que obedece preferentemente a la dinámica de grupos antes mencionada y por lo tanto se

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

caracteriza por cierta complicidad con el medio, lo que trae consecuencias negativas en las percepciones individuales asociadas a las responsabilidades propias, a la percepción del poder real existente en la organización funcional y finalmente impacta directamente en el cumplimiento de órdenes y por lo tanto en la calidad de las operaciones propiamente tales.

Desde la perspectiva de la metodología empleada en la solución de los problemas, se puede señalar que existe un marcado enfoque en la solución mas que en el problema; es decir un enfoque marcado por un exagerado y sobrevalorado sentido practico que descuida las actividades de análisis y síntesis del problema propiamente tal, de las causas del mismo, del espacio de soluciones posibles y del modelamiento y simulación de escenarios alternativos bajo el criterio de la relación costo-beneficio asociada a cada solución.

Es necesario considerar la existencia de varios paradigmas operativos que responden a percepciones colectivas mantenidas por la organización en el transcurso del tiempo, el principal de los cuáles corresponde al paradigma operacional centrado en el control de Carguío y Transporte, el cual es función de una concepción particular del negocio minero que concibe a la mina como una fuente proveedora de la planta, lo cual a su vez aconseja controlar solo el servicio de entrega de mineral, descuidando con ello los procesos previos como P&T.

Esto se evidencia en el gran despliegue de recursos para efectos de controlar las actividades operacionales de estos procesos (El propio DISPATCH está orientado principalmente a controlar la flota de C&T), en las mejoras de las condiciones técnicas de operatividad, en los tiempos destinados a la supervisión en terreno, entre otros.

Esto último afecta la calidad del proceso general desarrollado en la MRA y en última instancia termina por afectar a la Línea SAG, al producirse un desequilibrio en la atención prestada a cada uno de los procesos y lo que es peor, al debilitarse el control efectivo ejercido sobre Perforación (primer eslabón operacional), lo cual impacta significativamente en la calidad no solo de la perforación sino de C&T, paradójicamente en los propios procesos en los cuáles se centra este paradigma operacional.

8. Sistema de Gestión

Se ha dejado para el final un aspecto que es tal vez el más influyente de todos los nombrados anteriormente: el paradigma de gestión de operaciones.

CODELCO posee el sistema de gestión denominado *Administración por Objetivos* (APO), el cual se caracteriza entre otras cosas, por:

- Enfoque en los resultados más que en los medios empleados en la consecución de los resultados.
- Enfoque en la eficacia más que en la eficiencia.
- Enfoque en el tiempo como variable de control.
- Existencia de un objetivo general de largo plazo, propio de la organización como un todo y la existencia de muchos objetivos menores, de corto plazo, propios de cada unidad funcional y orientados al fortalecimiento del objetivo corporativo.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Si se analizan con detención las prácticas operacionales propias de la SMRA, se descubre que poseen todas estas características.

Habría que agregar como consecuencia directa de lo anterior, que tanto la mina como la planta, poseen de forma separada, su propio sub-sistema APO y por lo tanto, que tanto la mina como la planta persiguen sus propios objetivos independientes una de la otra.

Lo anterior implica que el sistema de incentivos de cada unidad es función directa del logro de estos objetivos y como estos últimos son independientes, los incentivos que poseen los funcionarios al interior de cada unidad operativa, también lo son.

Ahora bien, el sistema APO tiene falencias en sí mismo, las cuáles han sido superadas por el sistema de gestión basado en procesos (BPM), el cual constituye el punto de partida de la familia de normas ISO 9000 y desde ese punto de vista; la permanencia del sistema APO en CODELCO, por un lado y la certificación de esta, a la norma ISO 9001, por otro, constituye una contradicción evidente.

A lo anterior se agregan las falencias propias de la implementación de este sistema en una empresa minera como CODELCO, pues en la práctica, esto provoca que la mina y la planta operen sus procesos guiados por criterios diferentes y que por lo tanto, el sistema global sea operado en un nivel sub-óptimo, con todo lo que eso envuelve en materia, principalmente de eficiencia, lo cual ya ha sido discutido en el punto 3 (Coordinación de procesos).

De lo anterior se concluye que no es posible abordar, de buena manera la eficiencia del sistema sin abordar previamente el complejo incentivos-objetivos y por lo tanto el sistema APO, pues muchas de las correcciones que es necesario hacer al sistema productivo propiamente tal, pasan por la reorientación de los incentivos que poseen los funcionarios, particularmente de la SMRA, para implementar estas correcciones de manera eficaz y en un marco de continuidad en el tiempo.

2.4 Proyectos de mejora en fase de estudio

En este apartado se describirán brevemente algunos proyectos que están en fase de estudio y abordan parcialmente la problemática descrita en el apartado anterior.

- 1. Sistema de Información propio para Perforación:** Proyecto asociado a la compra de una nueva flota de perforadoras. Este proyecto apunta a la obtención de modelos geomecánicos y datos crudos a partir del control pozo a pozo.
- 2. Costeo ABC Minas:** Modelación y cuantificación en tiempo real de todas las fuentes de costos dependientes de los niveles de producción y/o actividades. La principal consecuencia de esta innovación es la cuantificación y control de los costos por turno.
- 3. Control de la granulometría:** Proyecto que busca medir la granulometría asociada a una tronada, a partir de una técnica elaborada e implementada por la empresa *Rock Blast* que opera a través de la captura a altas velocidades, de imágenes del tamaño de los granos del material tronado, en el momento mismo en que se produce la tronada. Esto entrega datos, los

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

cuáles se procesan en un software, producto de lo cual se obtiene la curva granulométrica asociada a la tronada.

2.5 Objetivos

A continuación se enuncian los objetivos generales y específicos que persigue este estudio.

2.5.1 Objetivo general

- Diseñar un modelo de Gestión de Operaciones de la mina rajo abierto, orientado al mejoramiento continuo de procesos y en un contexto de integración de operaciones con la Línea SAG.

2.5.2 Objetivos específicos

- Realizar un Levantamiento de procesos del SPMRA.
- Definir y describir los procesos del SPMRA.
- Identificar y analizar las variables que condicionan tanto al SPMRA como a la Molienda SAG.
- Identificar las condiciones básicas y necesarias de un escenario de mejoramiento continuo propio del sistema MRA-SAG.
- Definir una técnica operativa orientada a la integración de operaciones con la Línea SAG.
- Identificar aquellos criterios de la norma ISO 9001, necesarios para diseñar una primera aproximación de un sistema de gestión basado en procesos.
- Diseñar una primera aproximación de un sistema de gestión basado en procesos.
- Diseñar un sistema de información que permita medir, analizar y controlar todas las variables que condicionan la gestión de operaciones del SPMRA.
- Diseñar un modelo prototipo de un sistema de medición y control del SPMRA.

3 Marco teórico

3.1 Metodología de trabajo

A continuación se propone una metodología de trabajo orientada al cumplimiento de los objetivos planteados en el capítulo anterior.

El presente capítulo no tiene como objetivo identificar todas las actividades que se desarrollaran como parte de este estudio, sino solo, bosquejar a grandes rasgos la forma como se abordará el estudio e identificar el tipo de actividades que lo caracterizaran, escondiendo estas distintos niveles de complejidad y detalle que solo serán conocidos en el transcurso de este informe.

Se realizará un levantamiento de procesos en la MRA; es decir se reunirá información relativa a los procedimientos operacionales, variables críticas que afectan a los procesos. Además se incorporará información relativa a los proyectos de mejora que están en fase de estudio.

Parte de esta información ya ha sido presentada en el capítulo anterior, lo cual, como ya se señaló, tuvo como principal objetivo la descripción general del sistema en estudio.

La metodología que a su vez se empleará para recolectar la información necesaria para la descripción tanto del sistema en estudio como de los procesos, es la siguiente:

- i) Recolectar documentos especializados en los tópicos de interés.
- ii) Leer documentos recolectados.
- iii) Conversar en terreno con los operadores de los equipos.
- iv) Realizar conclusiones escritas de esas conversaciones.
- v) Contrastar las conclusiones con los ingenieros especialistas y el superintendente de la MRA.
- vi) Concluir acerca de los tópicos de interés.

Esta metodología se empleará tanto en el levantamiento de procesos como en la definición de las variables críticas así como en la proposición de las medidas de desempeño.

Posteriormente, con la información obtenida de los procesos, se procederá a describir exhaustivamente estos últimos, considerando para ello los siguientes aspectos:

1. Objetivos
2. Responsable
3. Entradas y salidas
4. Variables críticas
5. Interrelaciones con otros procesos
6. Límites
7. Indicadores

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Lo anterior será complementado con una descripción detallada de los procesos, desde el punto de vista de una narración secuencial de las actividades operacionales que envuelve un proceso y los actores que interactúan en su puesta en marcha.

Se diseñará un diagrama de flujo del SPMRA-SAG y diagramas de procesos BPMN del SPMRA.

A continuación se identificarán las variables que condicionan los procesos. Esto se realizará para el SPMRA y de manera limitada para la molienda SAG.

Estas variables se agruparán de la siguiente forma:

1. Variables de calidad
2. Condiciones iniciales
 - 2.1 Geológicas
 - 2.2 Geotécnicas
 - 2.3 Estado del terreno
3. Rendimientos de equipos
4. Fuentes de consumo de tiempo

Se recolectarán datos, desde el año 2006 hasta la fecha, de cada una de estas variables, salvo para aquellas correspondiente a calidad, las cuales serán propuestas por primera vez en este estudio.

Posteriormente y como parte del sistema solución, se realizará el análisis de estas variables, empleando la técnica *Data Mining*, bajo el esquema que a continuación se detalla:

➤ **VARIABLES DE CALIDAD:**

1. Se confeccionará un modelo de calidad del SPMRA.

➤ **CONDICIONES INICIALES, RENDIMIENTOS DE EQUIPOS Y FUENTES DE CONSUMO DE TIEMPO:**

1. Se realizará un análisis cualitativo tanto para las variables del SPMRA como para las variables de la Línea SAG.
2. Se realizará un análisis de correlación tanto para las variables de los procesos del SPMRA como para las variables de la molienda SAG.
3. Se realizará un análisis multivariable tanto para el SPMRA como para la molienda SAG.
4. Se realizarán conclusiones teniendo como referencia los resultados de los análisis planteados anteriormente.

A continuación se diseñará un modelo de gestión de operaciones que tenga como principal norte la identificación de fuentes de mejoras, el mejoramiento de la eficiencia operacional y la contención de costos.

Se enfocará este diseño en la perspectiva de determinar cuáles son aquellos elementos básicos que deberían formar parte de un sistema gestión de operaciones, a partir de lo cual se

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

identificarán los sub-sistemas que se deberán diseñar y/o fortalecer de tal suerte de poder generar las condiciones básicas de operación de un sistema de gestión de operaciones estándar.

Una vez detectados estos sub-sistemas se procederá al diseño de cada uno de ellos, como parte del sistema solución.

Los sub-sistemas solo serán identificados en el capítulo 6 de este estudio, capítulo en el cual se fundamentará la existencia de cada uno de estos sub-sistemas y la relación existente entre ellos.

En este estudio, el concepto de condición necesaria se usa en el sentido de un escenario caracterizado por la existencia de uno o más sub-sistemas de gestión, los cuáles serán entendidos como condiciones necesarias de un modelo de gestión de operaciones mayor orientado al mejoramiento continuo y a la integración de operaciones con la planta.

Posteriormente se modelará implementará un modelo prototipo de manera electrónica, de tal suerte de mostrar parte de la funcionalidad asociada a la eventual implementación de este modelo.

En resumen, este estudio busca identificar las condiciones básicas de un sistema de gestión de operaciones, propio de una empresa productora de cobre, de tal suerte que al existir este sistema, apoye de manera racional la toma de decisiones tendiente a mejorar continuamente dichos procesos en un contexto de integración de operaciones.

3.2 Plan de trabajo

1 Análisis del sistema objetivo

1.1 Levantamiento de procesos Sistema productivo MRA-SAG

- 1.1.1 Obtener información concerniente a procedimientos operacionales.
- 1.1.2 Obtener información concerniente a variables críticas de procesos.
- 1.1.3 Obtener información concerniente a proyectos de mejora que estén en fase de estudio.
- 1.1.4 Realizar un catastro de los recursos existentes, en materia tecnológica, informativa, normativa, etc.

1.2 Descripción de procesos sistema productivo MRA-SAG

- 1.2.1 Confeccionar un documento que describa los procesos, desde el punto de vista de los procedimientos, las actividades, los actores y los flujos existentes.
- 1.2.2 Validar documento.
- 1.2.3 Confeccionar modelos descriptivos del SPMRA (diagramas de procesos BPMN).
- 1.2.4 Validar modelos.
- 1.2.5 Incluir diagramas de flujo de toda la Línea SAG.

1.3 Identificación de variables operacionales sistema productivo MRA-SAG

- 1.3.1 Clasificar las variables operacionales.
- 1.3.2 Obtener datos relativos a las variables operacionales.
- 1.3.3 Confeccionar un documento que enumere y describa estas variables.

1.4 Análisis de variables operacionales sistema productivo MRA-SAG

- 1.4.1 Analizar las principales fuentes de variabilidad del sistema operacional y estimar sus alcances.
- 1.4.2 Describir las condiciones asociadas al macizo rocoso (identificación, relación y análisis de las distintas variables espaciales que caracterizan los polígonos).
- 1.4.3 Realizar análisis de variables operacionales según tipo (Ver p. 28).
- 1.4.4 Confeccionar documento; análisis de variables.

2 Modelo del sistema solución

- 2.1** Identificar los subsistemas de un sistema de gestión de operaciones ideal.
- 2.2** Verificar la existencia en el sistema real de todos los subsistemas que componen el modelo de gestión de operaciones ideal.
- 2.3 SI** (Existen todos los subsistemas)
 - 2.3.1** Operar el sistema de gestión de operaciones
SINO
 - 2.3.2.1** Diseñar subsistemas modelo gestión de operaciones.
 - 2.3.2.2** Modelar modelo informático prototipo.
 - 2.3.2.3** Implementar modelo informático prototipo.

4 Análisis del sistema objetivo

4.1 Descripción del sistema objetivo

La dinámica operacional es como sigue: La GRMD identifica los *bancos* a ser explotados durante el próximo año, a través de una selección iterativa, basada en la relación costo/beneficio asociada a su eventual explotación. Además y en lo que respecta a la MRA, estima los volúmenes de tierra que deben ser removidos y las cantidades de mineral que deben ser extraídos durante ese año, con lo cual genera un plan de producción minero-metalúrgico de largo plazo, el cual es enviado a todas las unidades operativas (MRA, MS y Planta).

Cada una de las unidades operativas planifica las actividades tendientes a cumplir con los planes de producción de largo plazo, teniendo como marco la estructura de costos y la disponibilidad de recursos propias de la unidad de negocio a la cual pertenecen (la MRA planifica sus actividades bajo la restricción de minimizar los costos de la unidad de negocio GMIN).

Cabe señalar que el ciclo de vida de un rajo posee una etapa denominada; *desarrollo*, la cual puede abarcar de seis meses a un año, dependiendo de la ubicación de la *veta* y consiste en la remoción de la cantidad de tierra necesaria tal de encontrar la ubicación exacta de la veta dentro del rajo.

Es conveniente señalar que cada volumen de material definido (ya sea un *banco* o un *polígono*) tiene asociado, tanto una estimación de las toneladas de lastre y de mineral que lo componen (demanda de lastre y mineral estimada por la GRMD a partir de modelos de largo plazo) como una oferta real de lastre y mineral realizada por PMM CP, a partir de la cubicación de dicho volumen.

El proceso PMM CP es el encargado de comprobar que los bancos seleccionados por la GRMD sean explotables en la práctica y que por lo tanto no posean ninguna inviabilidad técnica, asociada a este hecho (restricciones de orden geomecánico).

A continuación PMM CP subdivide analíticamente uno o más de estos bancos en zonas geográficas menores, llamadas *polígonos* y a partir de una iteración simple (no constituye una heurística), determina la cantidad y el orden de los polígonos que deben ser explotados durante el mes siguiente. Este proceso se realiza mensualmente.

El objetivo de esta iteración es determinar la cantidad de tierra removida y de mineral extraído sujeto a los niveles históricos de disponibilidad y rendimiento de equipos, a la accesibilidad y geometría del lugar geográfico representado como un polígono y al límite del banco fijado por la GRMD (*Línea*).

Posteriormente y por cada polígono planificado, se realiza una caracterización tanto geológica como geotécnica, describiendo cada una de las variables que componen cada una de las disciplinas mencionadas (litología, mineralogía, composición, estimaciones, frecuencia de fracturas y resistencia a la compresión).

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

A continuación y por cada polígono planificado, se diseña la *malla* asociada al mismo, la cual contiene los parámetros operacionales básicos que serán empleados en P&T.

Esta labor se realiza en función del conocimiento que se tenga principalmente de las variables geomecánicas propias del banco asociado a cada polígono. Vale decir, todas las variables del diseño se valoran, por lo menos en principio, en función de los valores de las variables geomecánicas de interés. Cabe señalar que el Diseño, por si solo no constituye un proceso.

A continuación, la malla es marcada en terreno, lo cual se traduce en la marcación de las coordenadas x , y del radio de cada pozo que conforman la malla. La coordenada z es retornada desde terreno, pues no es posible determinarla analíticamente, debido a las irregularidades de la topografía asociada al banco.

Con respecto a esto último es conveniente señalar lo siguiente:

1. La configuración de los bancos tiene asociado la definición de límites tanto en el plano, el cual es conocido como *Línea*, como en la profundidad (coordenada z), el cual es función de la ubicación del banco que se ubica justamente debajo de él.

2. La mala cobertura del lugar, tal como se señaló anteriormente, obliga a que la perforación se realice a partir de una malla marcada en terreno, lo cual es función del trabajo topográfico. En otras circunstancias la perforación se realizaría teniendo como referencia una malla diseñada analíticamente y cargada virtualmente.

A continuación se desarrollan los procesos de perforación, tronadura, carguío y transporte (en ese orden).

Primero, se perforan tantos pozos como fueron diseñados en la malla asociada al polígono, según el diámetro y las coordenadas establecidas en dicho diseño. Con esto se obtendrán los metros perforados (como suma de las alturas de todos los pozos), necesarios a su vez para obtener las toneladas de material tronadas.

Enseguida, los pozos se llenan con explosivos del tipo establecido en el diseño, en función de la dureza asociada al macizo rocoso respectivo.

Luego, se trona todo el polígono como consecuencia de la energía liberada en las explosiones que ocurren simultáneamente en todos los pozos.

Las características descriptivas de este material son; la cantidad de material tronado y la calidad asociado a él, vale decir; la granulometría o distribución del tamaño del material.

Finalmente, este material se carga y se transporta desde el frente de carguío hasta los destinos definidos previamente en función de la forma como se distribuye la composición de Cu a lo largo de todo el frente.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Es indudable que el rendimiento de C&T es función directa de la cantidad y calidad de las toneladas tronadas, lo cual a su vez es función de los metros perforados y de la calidad y consistencia asociada al diseño de la malla.

Este material es transportado hasta el pique de traspaso o al pique directo, (si es mineral) o se deposita en los botaderos de la mina, en cualquier otro caso.

Finalmente, la planta recibe el mineral, en la cual se completa el proceso de conminución, a través de los procesos de Chancado y Molienda.

Todas las actividades realizadas en la MRA, son apoyadas tanto por Movimiento de Tierra como por Mantenimiento de equipos, procesos paralelos que son coordinados con las operaciones productivas a través de la supervisión de operaciones en terreno (jefe de turno) y controladas a través del DISPATCH.

Es conveniente ejemplificar la forma como se describen gráficamente los procesos, en la actualidad, a efecto de poder realizar un análisis comparativo con la forma de descripción de procesos que se propondrá en este estudio.

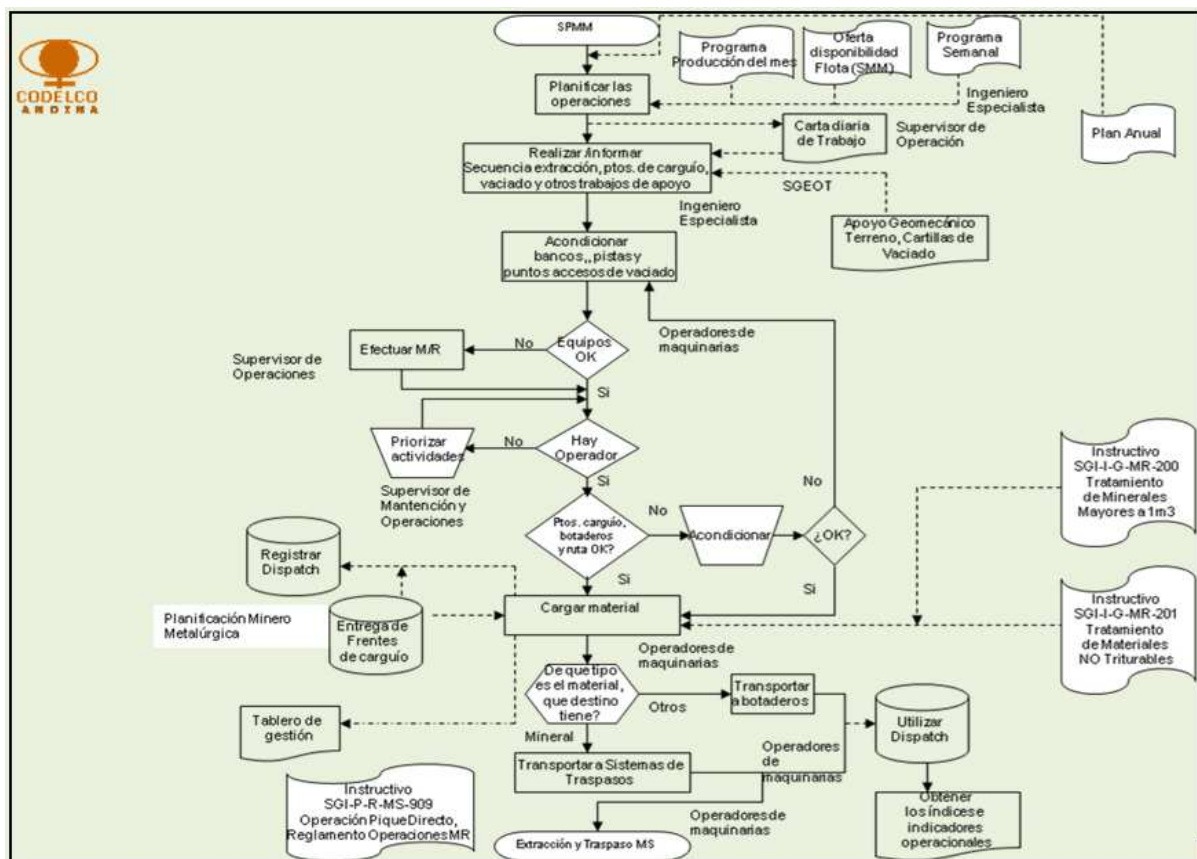


Figura 4.1 – Diagrama de procesos C&T [Fuente: Andina]

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

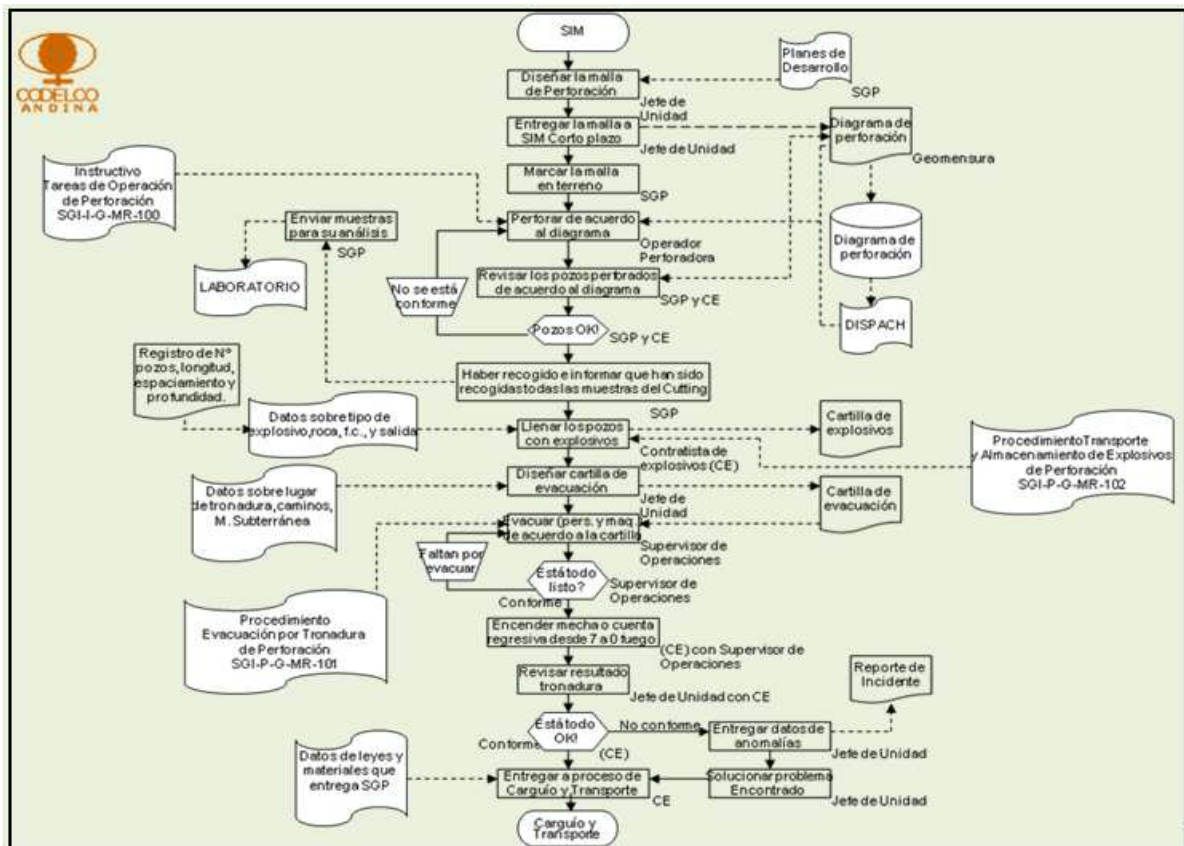


Figura 4.2 – Diagrama de procesos P&T [Fuente: Andina]

A lo anterior habría que agregar el documento tipo, llamado *Procedimiento Operativo*, en el cual se hace una descripción de las faenas asociadas a un proceso agregado determinado, desde el punto de vista de las operaciones en sí mismas y de las implicancias de estas tanto en el medio ambiente como en la salud ocupacional

Estos documentos en conjunto, sintetizan los requerimientos descriptivos considerados por la implementación de la norma ISO 9001, 14001 y 18001, tal como se señaló en el segundo capítulo de este estudio (Ver CD adjunto: *Descripción Actual De Los Procesos*).

4.2 Línea SAG

Luego de la extracción en la mina rajo, el mineral es vaciado al PD (Pique Directo o Pique de Traspaso), donde es conducido hasta llegar a unas tolvas que alimentan al **Chancador Primario** (Chancador Don Luís. Ver figura 4.8) que posee las siguientes características:

- **Tipo de Chancador:** Giratorio
- **Proveedor:** Fuller
- **Dimensiones (pulg.):** 54 x 74
- **Potencia (HP):** 600
- **Setting de Operación normal (pulg.):** 5.5

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

- **Tamaño 80 % producto (micrones):** 52.841 a 134.833
- **Disponibilidad:** 85 %

Luego del chancado primario el mineral es recepcionado por una cámara de descarga con una capacidad de 300 (T), que alimenta a una correa transportadora (CT-A2), desde donde el mineral es conducido hacia otras correas del circuito hasta llegar al **Harnero del Prechancado**, el cual presenta las siguientes características:

- **Proveedor:** TECPROMIN
- **Tipo de Harnero:** Banana doble deck
- **Mallas nominales:** 1ª bandeja 152 mm (6"). 2ª bandeja 51 mm. – 76 mm.

Luego el mineral alimenta al **Chancador Prechancado**, el cual tiene las siguientes características:

- **Proveedor:** Metso
- **Potencia:** 800 HP
- **Tipo:** Estándar, cavidad fina
- **Tamaño Cono:** 7 Pies
- **Tipo de alimentación:** Producto chancado primario
- **Tamaño de Alimentación (pulg.):** 6 a 1.5
- **Utilización:** 85 %
- **Setting CSS (mm.):** 19 -38
- **Capacidad Chancador (ton/hr):** 1000

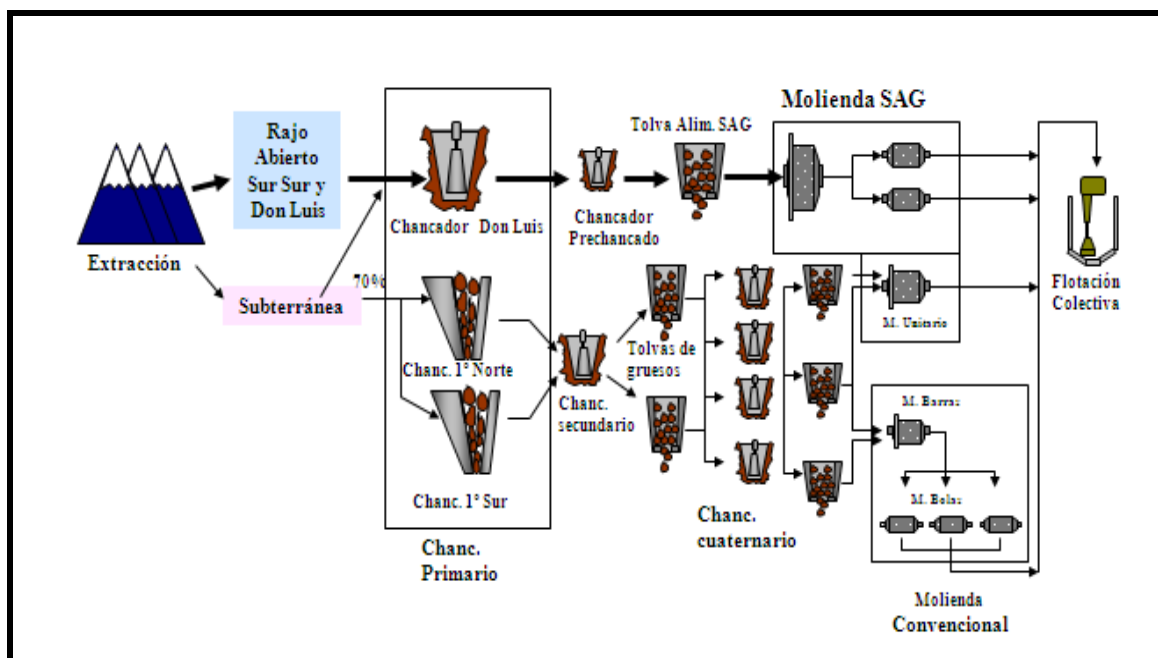


Figura 4.3 – Diagrama Flujo SPMRA-SAG [Fuente: Andina]

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Después del Chancador Prechancado el mineral es llevado a través de correas transportadoras a la tolva que alimenta al Molino SAG, que tiene una capacidad de 34.000 toneladas. Las líneas que alimentan a la tolva del Molino SAG son cuatro; cada una con una capacidad de 1000 (ton/hr). La tolva que alimenta al Molino SAG vacía el material a la correa más larga del circuito que alimenta directamente al Molino SAG (**correa A9**), la cual tiene las siguientes características:

- **Largo (m.):** 156
- **Ancho (m.):** 1.22
- **Potencia (HP):** 270
- **Velocidad (rpm):** 3 m/s
- **Velocidad:** Variable

Como se explicó anteriormente el molino SAG es alimentado por la correa A9, lo cual se puede ver en la figura 4.9, en donde se muestra en detalle el circuito que sigue el producto del molino SAG hasta llegar a la flotación colectiva.

Las características del **Molino SAG** son las siguientes:

- **Proveedor:** Svedala
- **Dimensiones d x l (egl) (pies):** 36 x 16,7 (15)
- **Potencia (HP):** 16.000
- **Tipo de accionamiento:** Gear-Less
- **Capacidad procesamiento diseño:** 1.538 ton/hr
- **Capacidad procesamiento actual:** 1.650 ton/hr
- **Tamaño de bolas reposición (pulg.):** 5 (forjada)
- **Consumo de bolas (g/tms):** 300
- **Política de recarga de bolas:** Diaria
- **Nivel de llenado carga total:** 30 – 35 %
- **Nivel de llenado de bolas:** 12 %
- **Concentración de sólidos:** 70 - 72 %
- **Velocidad operacional normal (rpm):** 8.5 - 10 (70 - 80 % v. Crítica)
- **Tamaño 80 % producto (micrones):** 3.824
- **Diseño de parrilla interna:** Agujeros circunferenciales
- **Abertura slot parrilla interna (pulg):** 24 de 2 ½ , 12 de 3
- **Tipo de circuito:** SABC-A/B
- **Consumo específico de energía:** 7,3 kwh/ton
- **Disponibilidad:** 94 %

El producto del molino SAG es recepcionado por un clasificador tipo harnero de doble cribado, cuyas dimensiones en pies son de 10 x 20 y la abertura de mallas del clasificador superior e inferior es de 1.5 y ¾ pulgadas respectivamente.

El material que esta sobre 1.5” es llevado a los dos chancadores de *pebbles* que tienen un *setting* de operación de 1/3” y una potencia de 400 HP cada uno. El producto de los chancadores de *pebbles* es llevado por la correa A-13 a la correa A-9, que como se explicó anteriormente

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

alimenta al Molino SAG. La otra parte del producto del Molino SAG es llevado posteriormente a dos molinos de bolas que terminan con la conminución del material para que finalmente el material pueda ser llevado a la flotación colectiva, de donde se obtiene el concentrado de cobre y molibdeno (producto comercializable).

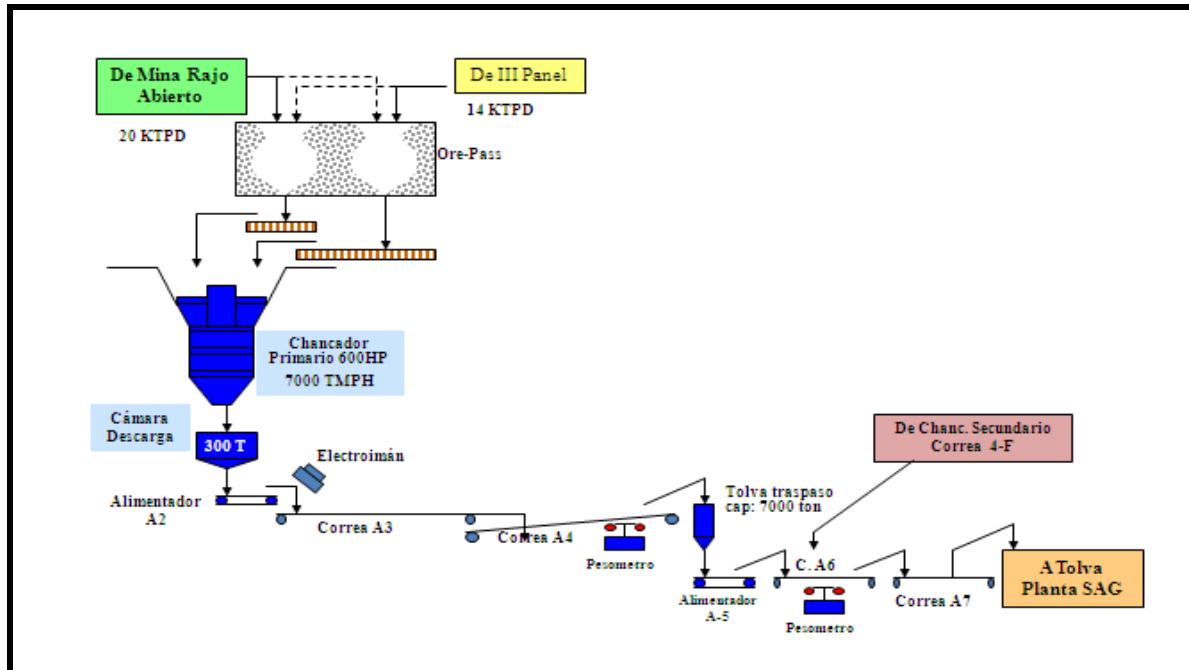


Figura 4.4 – Diagrama Flujo Chancado Primario Don Luis y Sistema de transporte de Mineral a Molino SAG [Fuente: Andina]

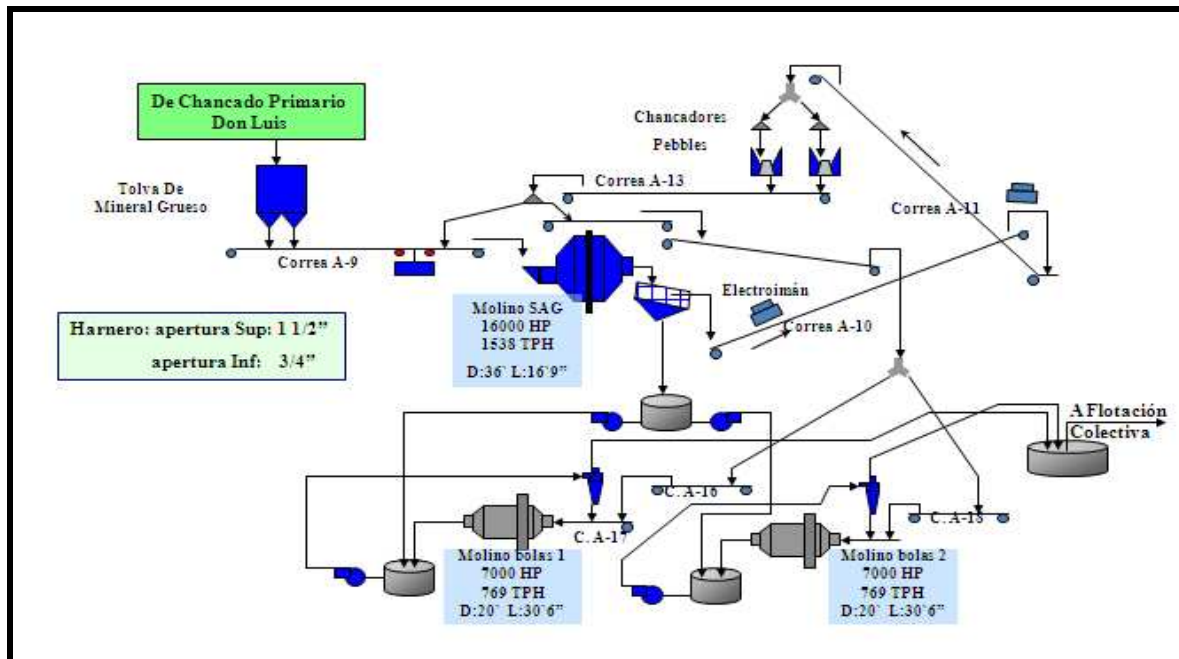


Figura 4.5 – Diagrama Flujo Circuito de Molienda SAG (SABC-A/B) [Fuente: Andina]

4.3 Identificación de las variables operacionales

A continuación se identificarán y clasificarán las variables que condicionan el desempeño de los procesos del SPMRA.

Se definirá por lo tanto, un marco teórico referencial, el cual será considerado en el futuro, en los distintos análisis que se realicen.

Esta selección se realizó en función del conocimiento empírico que se tiene del SPMRA y presenta las variables operacionales en forma transversal a los procesos, vale decir; apuntando a un entendimiento del comportamiento del SPMRA como un todo.

En una segunda aproximación, se tratarán las variables como condicionantes de procesos particulares (apartado 4.7 Sistemas Multivariantes).

Como ya se señaló en el capítulo anterior, las variables operacionales se clasificarán de la siguiente forma:

- 1 Variables de calidad
- 2 Condiciones iniciales
 - 2.1 Geológicas
 - 2.2 Geotécnicas
 - 2.3 Estado del terreno
- 3 Rendimientos de equipos
- 4 Tiempo de uso de equipos

Las variables de calidad serán definidas y analizadas en su oportunidad cuando se aborde el modelo de calidad propuesto en este estudio (Ver Anexo 3 – Descripción y Análisis de la Estructura de procesos SPMRA).

➤ **Condiciones Iniciales**

I Geológicas

- 1.- Composición
 - 1.1 Ley Cu (Cu)
 - 1.2 Ley Molibdeno (Mo)
 - 1.3 Arsénico (As)
- 2.- Estimaciones
 - 2.1 Work Index (WI) (Energía necesaria en el proceso de conminución de la roca)
 - 2.2 Recuperación de Cu (Rec Cu) (%)
- 3.- Litología
 - 3.1 Granodiorita Río Blanco (GDRB)
 - 3.2 Granodiorita Cascada (GDCC)

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

- 3.3 Andesita (AN)
- 3.4 Brecha de turmalina (BXT)
- 3.5 Brecha turmanilizada (BT)
- 3.6 Pórfido Don Luis (PDL)
- 3.7 Pórfido Cuarzomonzónico (PQM)
- 3.8 Brecha Magmática de Granodiorita (BXMGD)
- 3.9 Brecha Tobácea (Brecha Polvo de roca) (BXTO)
- 3.10 Brecha Polvo de roca Turmanilizada (BXTTO)
- 3.11 Brecha de Pórfido Don Luis (BPDL)
- 3.12 Brecha de Granodiorita Río Blanco (BGDRB)

4.- Mineralogía

- 4.1 Calcopirita (Cpy)
- 4.2 Pirita (Py)
- 4.3 Bornita (Bo)
- 4.4 Limonita (Lim)
- 4.5 Mineralización secundaria (Covelina, calcosina, digenita) (Min Sec)
- 4.6 Oxidados de Cu (Ox Cu)
- 4.7 Sericita (Se)

5.- Líneas de Calidad

- 5.1 Material
- 5.2 Estimaciones LC
- 5.3 Composición LC

II Geotécnicas (Geomecánicas)

- 1.- Frecuencia de fracturamiento (FF)
- 2.- Resistencia a la compresión

III Estado del terreno

- 1.- Estado del terreno al momento de perforar los pozos
- 2.- Estado del frente de carguío

Las variables geológicas son empleadas en la caracterización de los polígonos incluidos en el plan mensual. Constituyen un modelo geológico descriptivo y predictivo de cada uno de los polígonos planificados para el mes en curso.

Esto último no es válido para las llamadas *Líneas de Calidad* (muestra la calidad de los polígonos desde el punto de vista de la *Ley* presente en ellos), las cuáles describen los polígonos ya perforados, a partir de las muestras tomadas en los pozos. Luego, constituyen en la práctica, una especie de feedback del modelo anterior.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Las variables litológicas varían de un polígono a otro y/o de una fase a otra en el transcurso de la explotación de un rajo, por lo que las variables de este tipo identificadas en este estudio son las que con más frecuencia aparecen en los informes geológicos.

Por otro lado, estas variables son valoradas en términos de unidades porcentuales, vale decir; un polígono puede estar dentro de una zona descrita por más de un tipo de litología, donde la importancia relativa de cada tipo se mide en términos porcentuales.

Las variables mineralógicas son valoradas por números enteros (de 0 a 4), de acuerdo a la menor o mayor importancia de una determinada mineralogía en el polígono.

Las variables que definen las Líneas de Calidad son en realidad macro-variables y se componen por dos o más variables básicas (las estructuras de datos de esta variable se muestran en detalle en el Anexo 5 – Tablas Base de Datos Relacional).

Las variables geotécnicas, si bien es cierto se emplean para efectos de caracterización, son usadas principalmente para valorar los parámetros operacionales propios del diseño y de esta manera apoyan principalmente a P&T.

El concepto geomecánico usado para estos efectos es el de *Unidad geomecánica* (UG); vale decir; la agrupación de todas las variables tal de describir completamente un sector rocoso delimitado bajo criterios de relativa homogeneidad descriptiva. Las variables que describen completamente una UG son todas las variables geotécnicas más la litología.

Con respecto a las variables de Estado del Terreno; estas se valoran por una palabra que connota un estado (bueno, malo, óptimo, etc.).

➤ Rendimientos de Equipos

1.- Rendimiento perforadoras

1.1 Índice de perforación (toneladas tronadas/mts perforados)

1.2 Velocidad de perforación (mts/hrs)

2.- Rendimiento tronadura por malla tronada

2.1 Factor de carga (kg explosivos/toneladas tronadas)

3.- Rendimiento cargadores

3.1 Rendimiento de cargadores (toneladas cargadas/hrs efectivas de proceso)

4.- Rendimiento camiones

4.1 Rendimiento de camiones (toneladas transportadas/hrs efectivas de proceso)

➤ Tiempo de uso de equipos

A continuación se muestra el esquema de distribución del tiempo, propio de la Norma ASARCO, el cual es usado ampliamente en la industria minera y en particular en Andina.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO



Figura 4.6 – Esquema distribución del tiempo de uso de equipos [Fuente: Norma Asarco]

Las variables simples que componen esta macro variable son:

- 1.- Tiempo efectivo
- 2.- Pérdidas operacionales
- 3.- Demora programada
- 4.- Demora no programada
- 5.- Tiempo operativo
- 6.- Reserva
- 7.- Mantenimiento Programado
- 8.- Mantenimiento Imprevisto
- 9.- Tiempo nominal
- 10.- Tiempo disponible

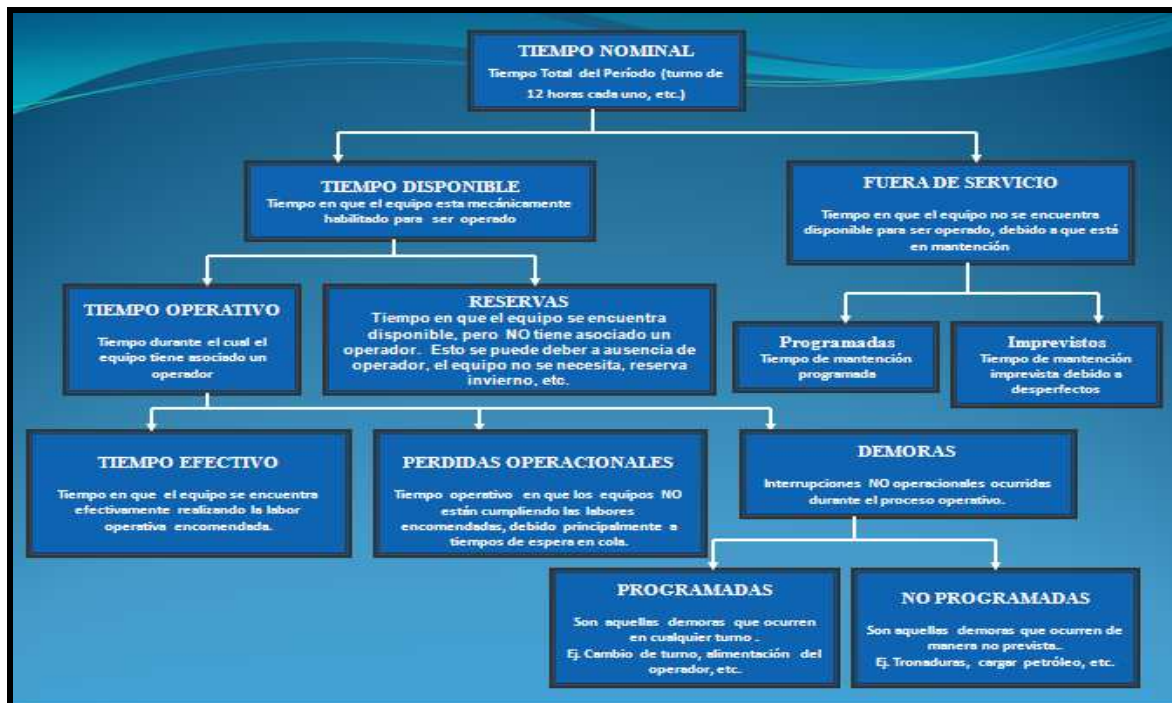


Figura 4.7 – Definiciones de las variables empleadas por la Norma Asarco [Realización personal]

4.4 Características del macizo rocoso

A continuación se describirán las tres variables más importantes que caracterizan a la roca; Estructura (Frecuencia de fracturamiento), Resistencia a la compresión y Litología de origen.

Tal como se señaló en el apartado anterior, Andina emplea el concepto de UG para referirse a una unidad rocosa de cierta homogeneidad descriptiva. La UG se compone de litología, estructura de la roca y resistencia a la compresión de la roca.

Por otro lado, estos tres elementos son modelados como parte de la técnica operativa Mine to Mill de Metso Minerals Process Technology (Anexo 1 – Técnica Mine to Mill), en efecto; se definen dominios (zonas geográficas) en función de la estructura y resistencia de la roca y estos dominios al operar sobre los distintos grupos litológicos del macizo rocoso producen los dominios de fragmentación definitivos, a partir de los cuáles se crean las estrategias de tronadura, las cuáles serán finalmente empleadas en las diferentes instancias operacionales.

Sin embargo, en Andina no existe el grado de formalización necesaria de este concepto de tal suerte de producir diseños de tronadura estandarizados en función de cada UG.

Por otra parte, el concepto de dureza y por lo tanto la forma de medirlo y cuantificarlo, es entendido de manera muy diversa entre ingenieros metalúrgicos y geomecánicos y esto ha dificultado tradicionalmente la posibilidad de un entendimiento común que apunte a la sistematización de este concepto en el plano operativo propiamente tal.

La figura 4.8 muestra los distintos grupos litológicos del rajo Don Luis, los cuáles cambian de este a oeste, en efecto; en la zona oriental se ubica la zona de la Granodiorita, formada principalmente por GDCC y DIOR (en menor cantidad); en el centro se localizan los distintos tipos de Brechas (principalmente BXT y BT) y en la zona occidental, principalmente noroccidental, se localizan los diferentes tipos de pórfidos (PDL, BTPDL y BXPDL).

Por lo general los pórfidos no están mineralizados y son considerados lastre, en cambio las Granodioritas y los distintos tipos de Brechas son ricas en mineral.

Con respecto a la Frecuencia de fracturamiento (FF), la figura 4.9 muestra como esta varía de sur a norte y en general se observa que aumenta en esa dirección, desde <3 f/m hasta >14 f/m (donde f/m se refiere a la cantidad de frecuencias ubicadas por cada metro medido).

Es interesante destacar que mientras la litología varía de este a oeste, la FF lo hace de sur a norte y por lo tanto eso implica que todos los grupos litológicos poseen zonas con valores de FF distintos. Por lo tanto esto sugiere que los grupos litológicos actuales no son un buen indicador de la fragmentación de la tronadura pues la estructura de la roca varía de manera considerable al interior de cada grupo litológico.

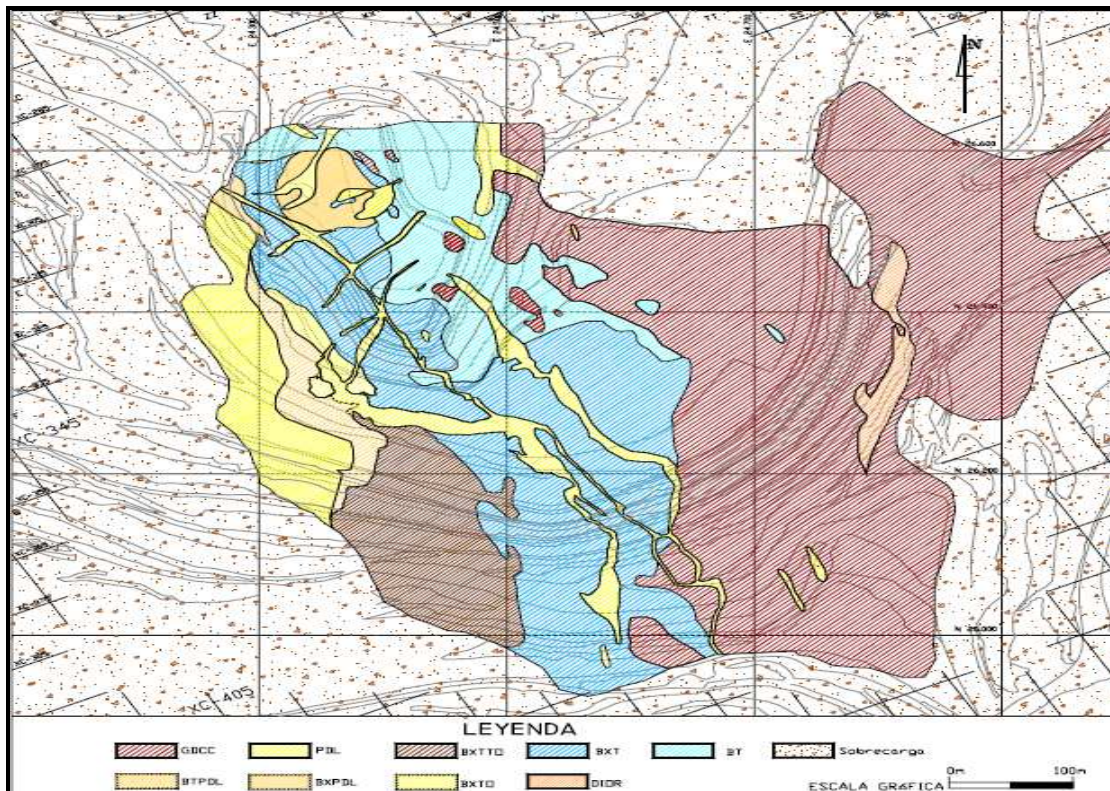


Figura 4.8 – Grupos litológicos Rajo don Luis [Fuente: Superintendencia Geología y Geotecnia CODELCO-Andina]

En conclusión, los grupos litológicos no son suficientes para definir un dominio de fragmentación con la complejidad necesaria tal de optimizar la tronadura y el proceso de conminución global, no obstante, en la actualidad, estos determinan directamente los diseños de la tronadura.

Por otro lado, la resistencia de la roca es prácticamente uniforme en todo el rajo (rajo Don Luis). Esta situación implicaría que la resistencia de la roca no sería un elemento decisivo a la hora de definir dominios de fragmentación. Habría que disponer de resultados de mediciones de carga puntual para ver si esta situación es así (test de carga puntual es un tipo de medición de la resistencia a la compresión del material que tradicionalmente ha arrojado resultados bastante útiles en el modelamiento de esta cualidad de la roca).

En principio se asume que la estructura de la roca es más decisiva que su resistencia, en la fragmentación del material tronado dentro del rajo Don Luis.

Ahora bien, RQD (*Rock Quality Designation*) es un buen indicador de la masa estructural de la roca, (o distribución de la masa al interior de la roca) de la cual depende la proporción de gruesos generados en la tronada. La generación de finos durante la tronada, en cambio, está principalmente relacionada con la resistencia a la compresión de la roca así como con la interacción entre el explosivo y la roca (Ver Anexo 1).

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Además, la resistencia a la compresión de la roca (medida en PLI; *point load index* o índice de carga puntual) es importante en todas las etapas de conminución, en cambio la macro estructura de la roca (RQD) es importante solo para el proceso de tronadura, ya que solo en este proceso se puede fragmentar la roca, introduciendo energía suficientemente confinada al interior del pozo, a través de las diferentes fracturas que posee.

En general, los materiales con muchas fracturas tienden a producir fragmentos pequeños sin importar la cantidad de explosivos empleada. En cambio los materiales formados por bloques con bajo FF necesitan de FC más altos y de una mejor contención de la energía acumulada en el pozo cargado a través del empleo de tacos de mayor longitud, con el fin de propagar nuevas fracturas o agrandar las existentes y así producir una fragmentación aceptable.

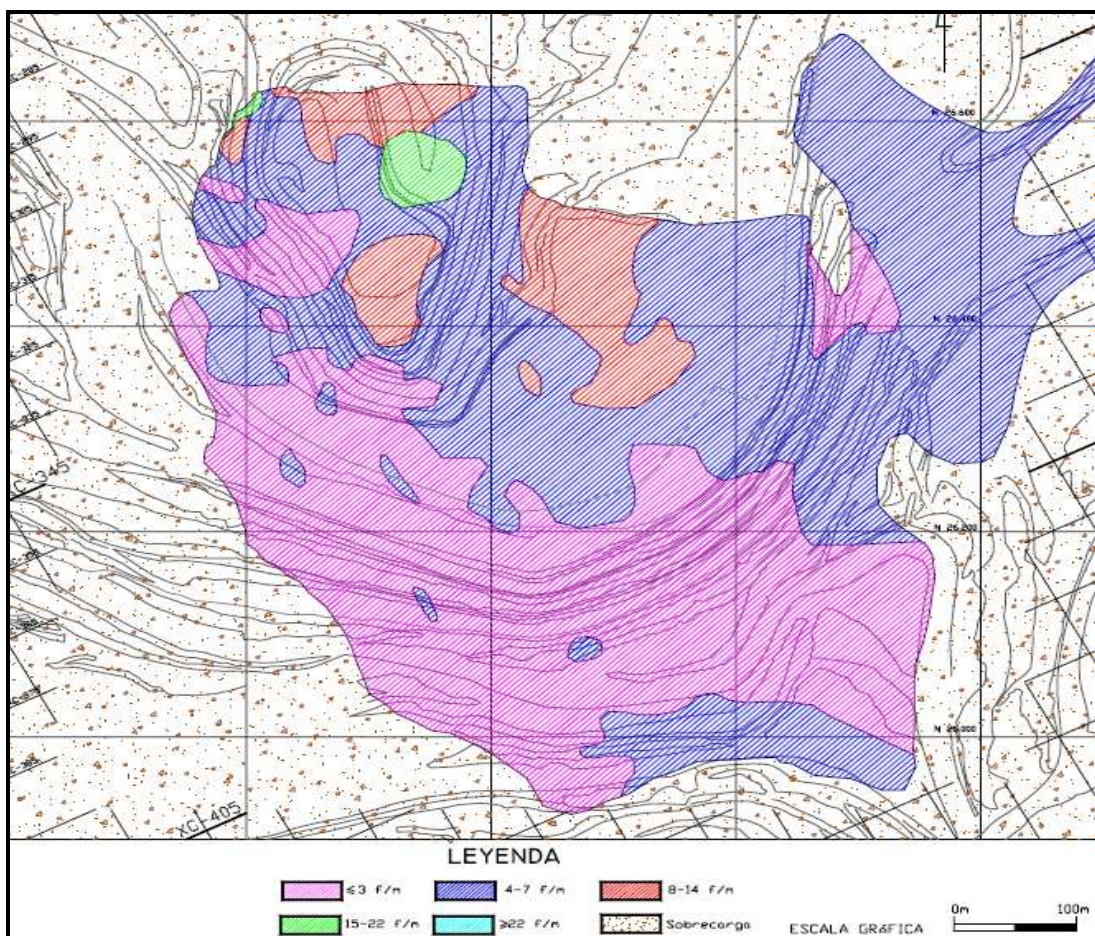


Figura 4.9 – Frecuencia de Fractura Rajo don Luis [Fuente: Superintendencia Geología y Geotecnia CODELCO-Andina]

La tabla 4.1 muestra que los dominios litológicos mineralizados (GDCC, BXT y BT) tienen asociados FF más altos que los Pórfidos y son, además de nivel medio (4 a 7) lo cual implica que la extracción de mineral tendría que tener asociado FC relativamente bajos (Compare con el estudio de minería de datos incluido en el CD adjunto).

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Tabla 4.1 – Distribución de FF por cada grupo litológico del Rajo Don Luis [Fuente: Superintendencia Geología y Geotecnia CODELCO-Andina]

Código Litológico	Descripción	UCS (MPa)	Frecuencia de Fracture Primaria (f/m)	Frecuencia de Fracture Secundaria (f/m)
BXT, BT	Brecha de Turmalina	153 ± 26	4 a 7; <3	8 a 14; 15 a 22
BXTTO	Brecha de Polvo de Roca Turmalinizada	144 ± 34	<3	4 a 7
BXPDL	Pórfido Don Luis Brechizado	100	4 a 7	<3
PDL	Pórfido Don Luis	140 ± 30	4 a 7	<3
GDCC	Granodiorita Cascada		4 a 7; <3	8 a 14

En conclusión, estas tres propiedades de la roca, en conjunto, determinan la calidad de todos o algunos de los procesos de conminución, por lo que necesitan ser analizadas e incluidas en los modelos de producción, con el mayor grado de estandarización posible.

4.5 Variabilidad en el cumplimiento del diseño

El siguiente apartado está basado íntegramente en el informe; *Integración y Optimización de Mina a Planta en CODELCO División Andina*, confeccionado por *Metso Minerals Process Technology Asia Pacific* en adelante MMMPT-AP, en febrero de 2007, a propósito de un estudio que realizaron para evaluar la factibilidad de implementar la técnica Mine to Mill en Andina.

MMMPT-AP realizó un análisis del sistema de conminución de Andina a partir del seguimiento de una tronada y su impacto en la planta.

Muchas de los problemas detectados en este estudio y mencionados en capítulos anteriores quedan de manifiesto en las conclusiones del trabajo realizado por MMMPT-AP.

Se realizó un seguimiento a la tronada 3756-007 realizada el 15 de noviembre de 2006. La resistencia de la roca fue de 135 a 165 MPa con una frecuencia de fractura de 4 a 7 f/m; El tipo de litología correspondió a una BXT (Brecha turmanilizada). La tronada estuvo conformada por 179 pozos; la malla fue de 6x7m y una altura de los pozos de 17 mts.

Las conclusiones acerca de la tronada parten con el análisis de un set de fotos tomadas a la misma, las cuáles se muestran en la figura 4.10; “La imagen 6 a continuación muestra una secuencia de fotografías tomadas durante la detonación. La primera foto muestra uno de los pozos de la primera columna saliéndose a través del frente libre, lanzando así una cantidad considerable de rocas. Las otras dos fotos indican que algunos de los pozos presentaron eyección del taco debido a la falta de confinamiento y que en general, una proporción significativa de la energía de explosión se perdió debido a problemas en la implementación” (MMMPT-AP, 2007).



Figura 4.10 – Set de fotos tronada 3746-007 [Fuente: MMPT-AP]

El informe concluye con respecto al punto: "...es posible obtener una fragmentación más fina tan solo mejorando las practicas de implementación de la tronadura, en particular la del largo del pozo y del taco" (MMPT-AP, 2007).

Es necesario preguntarse, entonces ¿Qué problemas son aquellos a los que se refiere el informe? El informe llama la atención acerca de problemas en la implementación (haciendo abstracción de si el diseño está bien realizado) y pone su atención en la perforación, asumiendo que el nexo directo entre el diseño y la tronadura es la perforación

No obstante lo cual, a lo largo de este estudio se mostrará que existe un segundo eslabón; la marcación de la malla en terreno, lo cual y en función de lo constatado durante este estudio es la primera fuente de variabilidad de las coordenadas de los pozos.

El informe continua: "Se midieron los valores actuales de burden y espaciamiento y se determinó que estos eran de 5.97 ± 0.39 y 6.97 ± 0.31 , respectivamente; mientras que los del diseño eran de 6 y 7 m. En general, la exactitud de la perforación es muy buena, sin embargo se observaron burdenes de hasta 7.7 m y espaciamientos de hasta 7.8 m. Valores demasiado largos de burden y espaciamiento pueden resultar en una fragmentación gruesa o en la expulsión de rocas del pozo...y se debería de tener más cuidado durante la perforación a fin de cumplir con el diseño. Por otro lado, algunos de los pozos estuvieron entre 2.6 y 4.3 m de distancia, lo cual es muy cerca. Esta desviación en el espacio entre los pozos del diseño resultará en una fragmentación variable..." (MMPT-AP, 2007)

Lo anterior confirma una de las premisas básicas en que descansa el estudio de las variables críticas asociadas a los procesos, a saber; la variabilidad de la calidad del diseño determina la variabilidad de la distribución de la fragmentación del material tronado (detallado en el Anexo 3 – Descripción y Análisis de la estructura de procesos.

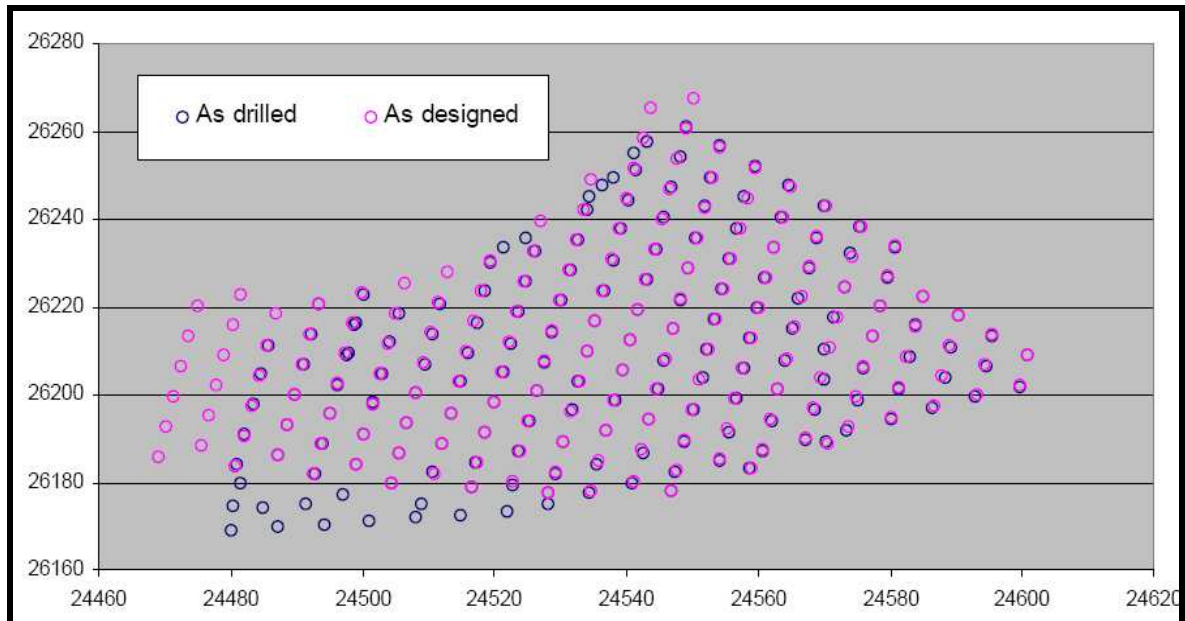


Figura 4.11 – Plano malla tronada 3746-007 [Fuente: MMPT-AP]

La figura anterior muestra un diagrama de la distribución de los pozos perforados en el plano; en azul, se muestran los pozos perforados en ubicaciones distintas a las diseñadas. En general los pozos son perforados según diseño pero a juzgar por el set de fotos y las conclusiones que realiza MMPT-AP, una mínima variación tiene consecuencias, algunas de ellas, insospechadas, como se verá más adelante.

Cabe preguntarse ahora; ¿Cuál fue la situación respecto a la coordenada z de los pozos?

Considere el histograma siguiente que muestra la distribución de los largos de los pozos. El histograma muestra que el largo promedio de los pozos fue de 1.4 m más corto que el largo diseñado de 17 m. De hecho, los pozos se encuentran en el rango de 10 a 20 m.

El informe continua: "...es necesario tener mayor cuidado durante las prácticas de perforación para así mejorar los resultados de tronadura...se observó que Orica no mide el largo del pozo antes de cargarlo, tal como es definido en el estándar...Ya que se carga una masa fija de explosivo en cada pozo, los pozos cortos resultan en tacos cortos. En el caso de pozos largos, se coloca demasiado taco y se daña el talud abajo. Esto genera dificultades en las perforaciones siguientes" (MMPT-AP, 2007)

El informe concluye acerca de este punto: "Los resultados de la tronadura auditada parecen indicar que ciertos problemas en la implementación, relacionados a la ubicación de los pozos y su profundidad, afectan la uniformidad de la fragmentación de la tronadura" (MMPT-AP, 2007)

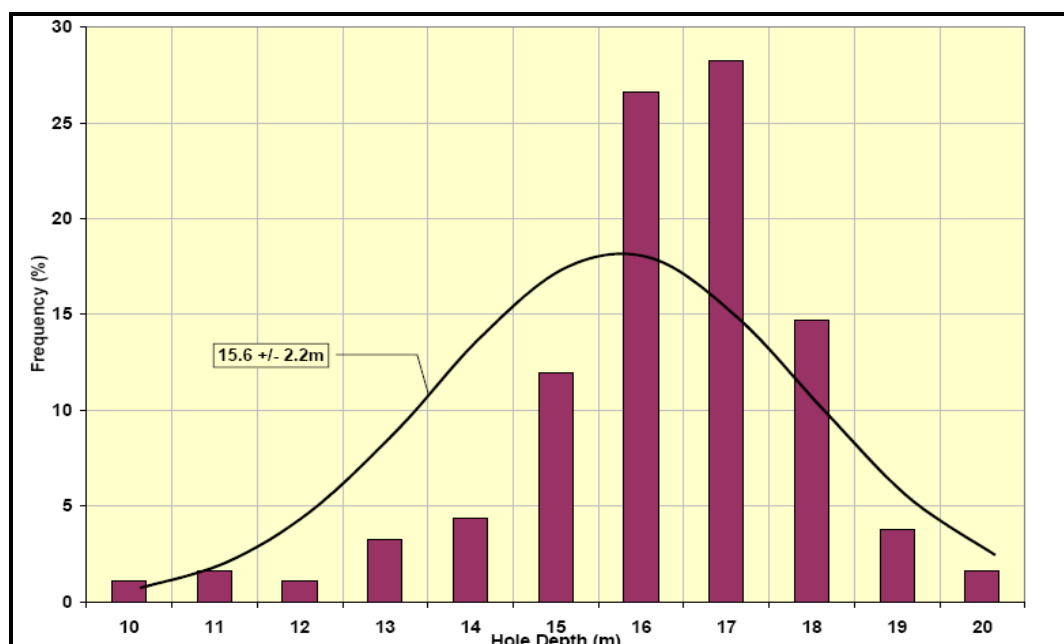


Figura 4.12 – Histograma Distribución largo de los pozos Tronada 3746-007
[Fuente: MMPT-AP]

Por lo tanto, la auditoría realizada por MMPT-AP confirma la importancia de controlar las coordenadas asociadas a los pozos, no solo su diseño sino su eventual variabilidad a lo largo del flujo del proceso.

Se hace necesario que la MRA disponga de un excelente sistema de medición de la granulometría para que pueda de esta manera poder controlar la distribución del tamaño del material tronado y pueda, además correlacionar esta distribución con la variabilidad de las coordenadas de los pozos a lo largo de todo el proceso.

Finalmente, el estudio citado a lo largo de este apartado se refiere a las conclusiones acerca de la distribución de la energía resultante de la tronadura. Considere para ello el diagrama que se muestra a continuación.

El informe indica: "Las desviaciones en el diseño son ilustradas por niveles de energía más bajos o altos en ciertos pozos. Las concentraciones de energía altas son mostradas en color rojo y las bajas en verde. La energía no es distribuida uniformemente: existen concentraciones de energía bastante altas y bastante bajas. La distribución pobre se debe principalmente al largo espaciamiento utilizado. Se debería realizar esfuerzos para controlar las prácticas de perforación y carguío para así mejorar la distribución de energía" (MMPT-AP, 2007)

Si se observa con detención el diagrama anterior y se compara con la malla de la tronada se podrá notar que precisamente en las zonas donde existe mayor variabilidad entre el diseño y la implementación, aparecen las zonas de alta energía.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Luego, la variabilidad del diseño asociado a las coordenadas de los pozos afecta a la distribución de la energía pretendida y conseguida por la tronada y de ahí como una consecuencia de ello, se manifiesta en una desigual distribución del tamaño del material tronado.

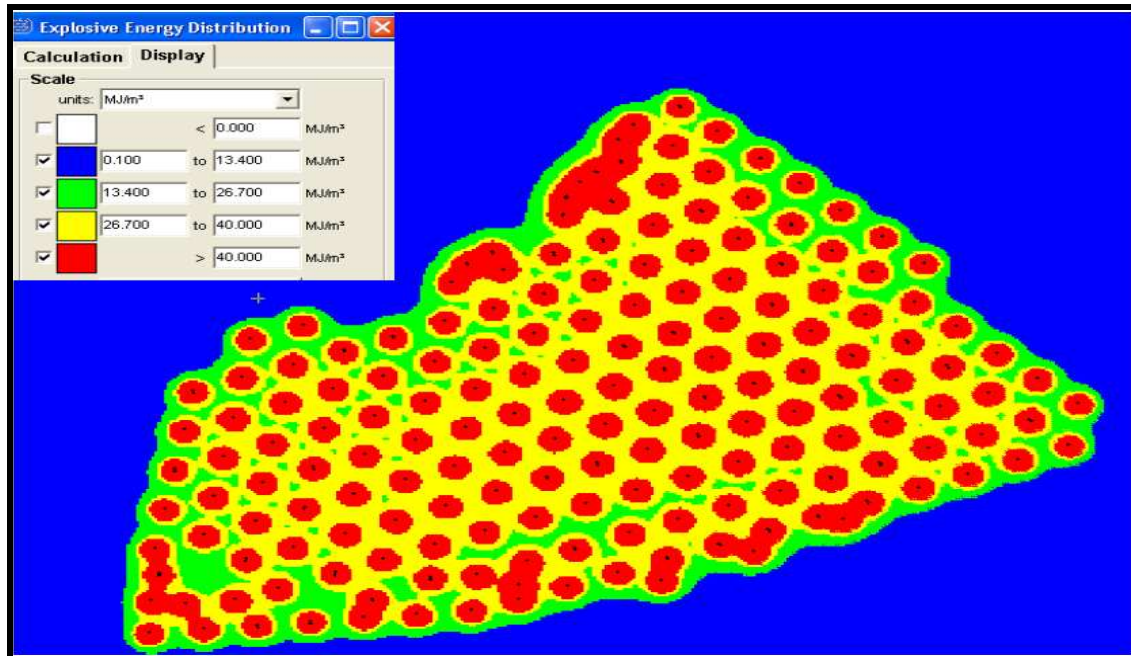


Figura 4.13 – Distribución de la energía Tronada 3746-007 [Fuente: MMPT-AP]

Todo lo dicho en este apartado pone de manifiesto la importancia del control sobre las fuentes de variabilidad del diseño, pues y como es de esperar, cualquier muestra de variabilidad por más pequeña que esta sea, trae consecuencias en cadena que solo es posible dimensionar cuando estás ya han operado.

Lo anterior a su vez, hace necesario la existencia de un sistema de medición confiable y automático que facilite el control referido en el párrafo anterior.

Por otro lado y como se verá más adelante; Mine to Mill entrega la fundamentación del diseño y ciertos estándares operacionales pero no garantiza la minimización de la variabilidad operacional. Por lo tanto el éxito de esta técnica está determinado por la calidad operacional y por la capacidad de medición y control que posea el sistema operativo en cuestión.

4.6 Variabilidad en el cumplimiento del plan operacional

En el contexto de este estudio se realizó un análisis de la variabilidad desde el punto de vista del nivel de cumplimiento del plan operacional, tal como este es planificado y caracterizado.

El estudio abarcó 142 muestras, integradas por polígonos tronados en el rajo Don Luis (DL), que derivaron en mineral y/o mineralizado. Se consideró el período que va desde enero de 2006 a diciembre de 2007 y abarcó 25 tronadas de la primera fase del DL y 117 de la segunda fase.

El estudio rotuló los polígonos de cinco maneras excluyentes (estados numerados correlativamente):

1. Polígono SI está en el plan mensual
2. Polígono NO está en el plan mensual
3. Polígono SI está en el plan mensual y está mezclado con otro polígono que SI está en el plan mensual
4. Polígono NO está en el plan mensual y está mezclado con otro polígono que SI está en el plan mensual
5. Polígono NO está en el plan mensual y está mezclado con otro polígono que NO está en el plan mensual

Los estados 3 al 5, corresponden a las mezclas que a veces es necesario realizar para, por ejemplo bajar el porcentaje de arsénico del total del material tronado.

Por otro lado, se identificaron 2 escenarios cuya relación se hacía necesario cuantificar con el estudio:

Ajuste operacional al plan: Cuando se operan polígonos previamente planificados.

Cumplimiento del plan: Cuando se cumple con el plan tal como este es planificado.

Para medir el ajuste de las operaciones al plan, se realizó la sgte. pregunta:

¿Cuántos polígonos de los que fueron explotados, estaban en el plan?

Desde el punto de vista de la expresión algébrica esto es como sigue:

✓ Cantidad polígonos estado 1 dividido por cantidad polígonos explotados

Luego, para medir el nivel de cumplimiento del plan, se realizó la sgte. pregunta:

¿Cuántos polígonos de los que estaban en el plan se explotaron como estaba planificado?

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Desde el punto de vista de la expresión algebraica esto es como sigue:

- ✓ Cantidad polígonos estado 1 dividido por cantidad polígonos planificados

Posteriormente se calculó el desajuste de las operaciones al plan y el incumplimiento del plan como el complemento de lo mencionado arriba.

Desde el punto de vista de la distribución de estados, la siguiente tabla resume los resultados del estudio.

Tabla 4.2 – Distribución estados polígonos [Realización personal]

Estados	1	2	3	4	5	
Muestras	89	45	3	4	1	142
Porcentaje	63	32	2	3	1	

El estudio determinó que el 32% de los polígonos explotados no estaban en el plan mensual y que sólo un 6% correspondían a muestras. Es decir, 1/3 de los polígonos que se explotaron durante los años 2006 y 2007 no figuraban en el plan y su inclusión en las operaciones no se justificaba por alguna mezcla necesaria de realizar.

El estudio continuó con un análisis comparativo en el tiempo de los dos tipos de polígonos con mayor presencia (estado 1 y estado 2). En particular se reagruparon los datos por semestre y se estudió la evolución de ambos estados en este lapso de tiempo (cuatro semestres).

Tabla 4.3 – Distribución semestral estados 1 y 2 [Realización personal]

Estados	1	2
1° semestre 2006 (%)	48	52
2° semestre 2006 (%)	67	33
1° semestre 2007 (%)	81	19
2° semestre 2007 (%)	66	34

La tabla anterior muestra un cambio significativo en los estados del polígono, como función del tiempo.

La figura 4.14, grafica la evolución en el tiempo de la relación entre ambos estados; a medida que disminuye el estado 1 aumenta el estado 2. En particular se grafica una tendencia a la baja del estado 2, tendencia que es interrumpida brevemente en el cuarto semestre.

Por mas obvio que esto parezca, en realidad encierra una complejidad sutil; en efecto: en la medida que aumenta la explotación de polígonos que ni siquiera están caracterizados geológica ni geotécnicamente (solo se conocen los modelos geotécnicos de largo plazo a nivel de bancos), disminuye la explotación de polígonos que sí están planificados y por lo tanto caracterizados con un alto nivel de detalle.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Nótese que el primer semestre de 2006, más de la mitad de los polígonos explotados no figuraban en el plan, lo cual es una situación de extremo cuidado, por decirlo menos.

Por otro lado, considere que esto constituye una tendencia y por lo tanto es mas complejo que solamente “*situaciones específicas que no se pueden controlar*” (como algunos, argumentan).

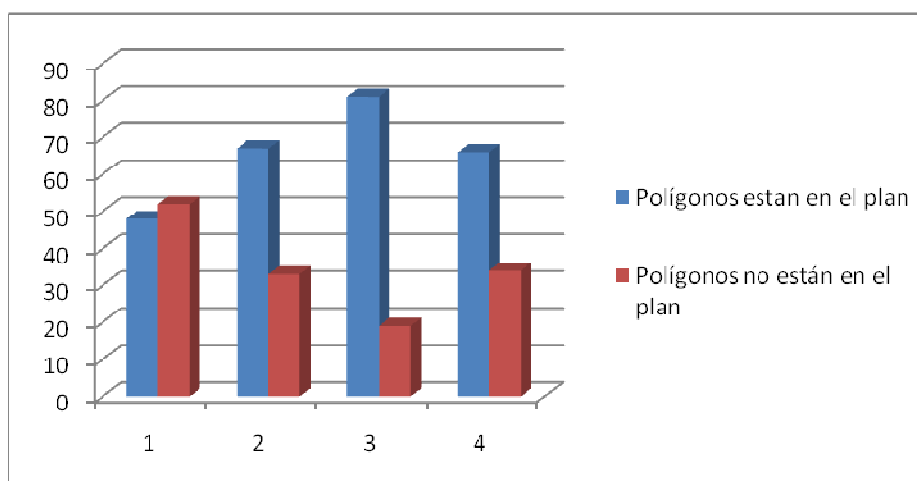


Figura 4.14 – Distribución en el tiempo estados 1 y 2 [Realización personal]

Empleando nociones de gestión de la calidad; el tipo de variabilidad presentada aquí sería del tipo *asignable a alguna causa identificable* y por lo tanto no aleatoria; de hecho la gráfica de la figura 4.15 muestra un patrón tendencia, lo cual confirma su carácter no aleatorio.

Ahora, interesa saber cual es el comportamiento en el tiempo (24 meses), tanto del incumplimiento del plan como del desajuste operacional y cuantificar la relación existente entre ambos.

La tabla siguiente resume esta situación; Nótese que existen muestras con un 75% de incumplimiento del plan; es decir uno o más meses en que $\frac{3}{4}$ del plan no es efectuado. Por otro lado, el promedio anual de incumplimiento baja a la mitad entre el año 2006 y el año 2007.

Tabla 4.4 – Relación desajuste operacional e incumplimiento plan [Realización personal]

	Incumplimiento plan (%)	Desajuste operaciones al plan (%)
PROMEDIO	35,8	30,3
MINIMO	0,0	0,0
MAXIMO	75,0	77,8
PROMEDIO ANUAL 2006	47,9	40,9
PROMEDIO ANUAL 2007	23,8	15,6

Considere la grafica de la figura 4.15, la cual muestra la evolución en el tiempo de ambos escenarios; note la tendencia a la baja de ambas, en el período considerado (24 meses).

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Esta tendencia a la baja se ve interrumpida por una sub-tendencia al alza en el segundo y cuarto semestre, pero no con la suficiente fuerza como para cambiar la tendencia general. Por otro lado, la sola presencia de sub-tendencias indica que la situación no está controlada.

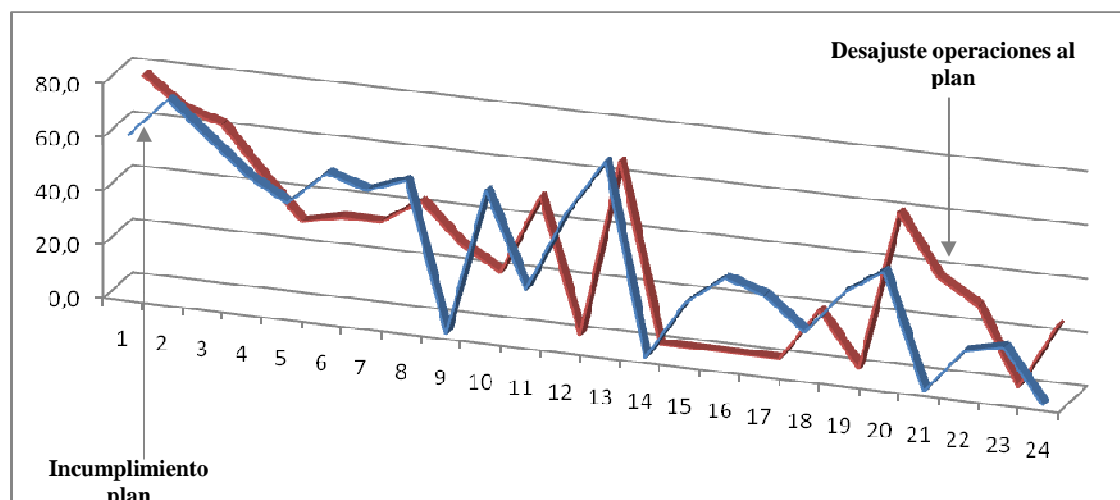


Figura 4.15 – Evolución en el tiempo incumplimiento operacional [Realización personal]

En lo que se refiere a la relación existente entre ambos escenarios se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- En la medida que varía el desajuste de las operaciones al plan, varía el incumplimiento del plan (en otras palabras, en la medida que se hace aquello que no se determinó hacer, se termina por no hacer aquello que si se determinó hacer).
- El desajuste operacional al plan es una condición necesaria mas no suficiente del incumplimiento del plan: Si el desajuste sube, el incumplimiento del plan sube, pero si el desajuste baja, la intensidad del incumplimiento es la que baja, pero el incumplimiento en si mismo no baja en la misma cuantía que esta; es decir el desajuste no explica plenamente el incumplimiento del plan.
- La grafica muestra que el sistema se caracteriza por cierta tendencia a la entropía, lo cual se evidencia a partir de la gran volatilidad que muestra la gráfica; en efecto a pesar de presentar una tendencia general a la baja, existen sub-tendencias (tendencias laterales) al alza cada cierto tiempo, lo cual demuestra la variabilidad del sistema.

Esto último, a su vez, se puede interpretar como sigue: efectivamente, si aumenta el desajuste operacional en general, aumenta el incumplimiento del plan, pero en la medida que este desajuste disminuye, el incumplimiento del plan puede que baje en una menor intensidad que el desajuste, pues el cumplimiento del plan a su vez está determinado por otros factores.

Cabe preguntarse ahora, si existe alguna relación estadísticamente demostrable entre ambos escenarios.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

La siguiente tabla muestra los resultados de un análisis de correlación efectuado en *XLSTAT* (aplicación estadística de *Excel*), la cual demuestra a través de un valor de *Pearson* de 0,531, la existencia de correlación lineal positiva entre ambos escenarios (considere que el valor de máxima correlación lineal positiva es de 1).

Tabla 4.5 – Análisis Correlación Desajuste operacional e incumplimiento plan
[Realización personal]

Prueba de correlación de Pearson (prueba paramétrica):	
Valor observado	0,531
p-value bilateral	0,008
Alpha	0,05
Conclusión:	
Al umbral de significación Alfa=0,050 se puede rechazar la hipótesis nula de ausencia de correlación.	
Dicho de otro modo, la correlación es significativa	

Por lo tanto, con estos datos se demuestra estadísticamente que existe una alta correlación lineal positiva entre ambos escenarios, lo cual si bien, no demuestra una relación de causa-efecto entre ambos, establece que la explotación de polígonos que no estaban en el plan, está fuertemente relacionada con el incumplimiento del plan.

Las preguntas de fondo son: ¿Por qué se explotan polígonos que no están planificados? ¿Cuáles son las implicancias, en la Planta del incumplimiento del plan?

La verdad es que no existe una razón estructural que lo explique, es solo una muestra del desorden presente en las operaciones de la MRA, lo cual se traduce entre otras cosas, en la descoordinación entre la planificación y las operaciones mina.

Con respecto a las implicancias en las operaciones planta; esto es relativo y dependerá de la planificación de la planta; por ejemplo si la planta tiene un plan de trabajo estricto, se hace muy dependiente de lo que ocurra en la mina y entonces este tipo de cambios hace que el plan de la planta tampoco se cumpla y esto termina por impactar en el plan de largo plazo de Andina.

En conclusión; las operaciones mina poseen dos tipos de variabilidad: una relacionada con el plan de operaciones y otra relacionada con el diseño. Ambas traen consecuencias graves, tanto en los planes de largo plazo, como en los costos del producto final (concentrado de cobre) y además y tal como se verá más adelante, constituyen las principales amenazas del éxito de la implementación del Mine to Mill.

4.7 Sistemas Multivariantes

El análisis cualitativo de los diversos sistemas multivariantes que integran el circuito de Conminución muestra el nivel de complejidad asociado a cada proceso y por lo tanto posibilita un análisis comparativo en términos de la complejidad relativa asociada a cada uno de ellos.

Los modelos de data mining realizados en este estudio entregan análisis de tipo cuantitativos de algunos de estos sistemas multivariantes (Ver Anexo 6 – Resultados Estudio Data mining y el CD adjunto para apreciar los detalles del estudio).

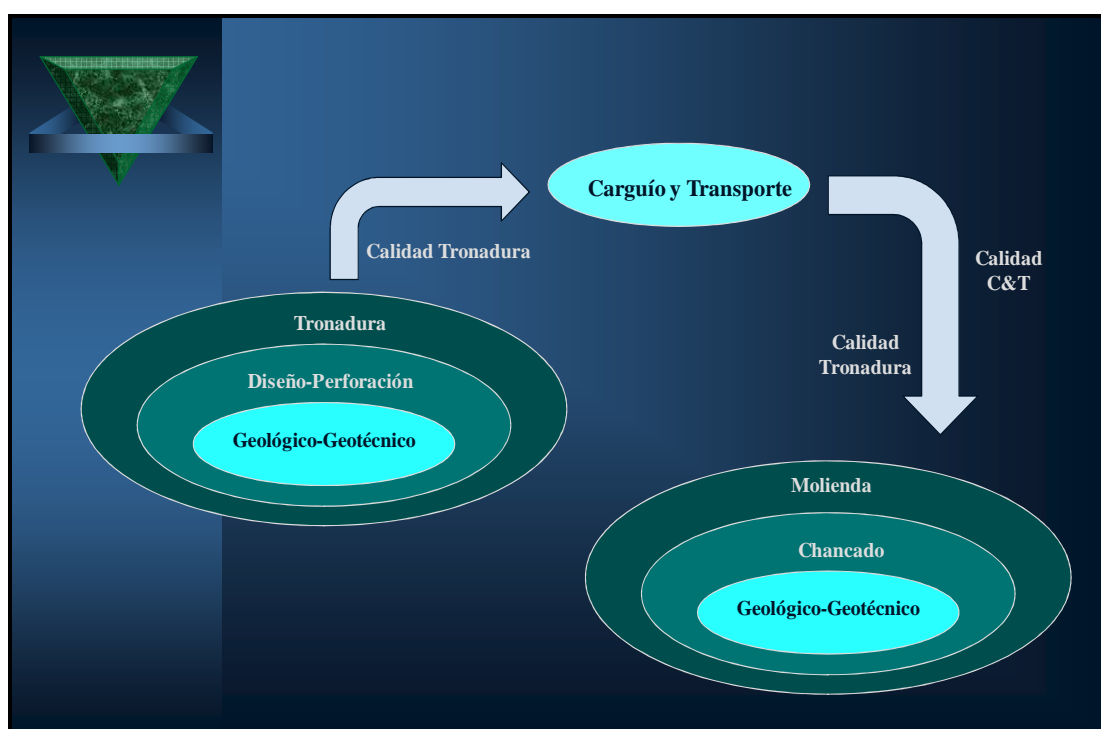


Figura 4.16 – Estructura multivariable Conminución [Realización personal]

La figura 4.16 muestra que el sistema multivariable geológico-geotécnico es un subconjunto del sistema Diseño-Perforación y este a su vez, es un subconjunto del sistema de Tronadura.

La tronada es un evento *violento* que *re-setea* los sistemas multivariantes anteriores, dejando solo la calidad de la tronadura como nexo entre esos sistemas y el nuevo sistema de C&T.

Los procesos de la Línea SAG desde el punto de vista multivariable, dependen de ciertas variables del sistema geológico-geotécnico y de la calidad, tanto de la Tronadura como de C&T, los cuáles caracterizan el material transportado a la línea.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

De la figura 4.17 se puede concluir que la complejidad asociada a P&T es más del doble de la complejidad asociada a C&T, en términos de macro variables, vale decir de variables compuestas.

Si este análisis se realizara considerando variables simples, esta relación aumentaría aún más (Ver p. 40-41).

Este estudio desagrega a P&T en tres partes; diseño, perforación y tronadura. Se entiende que el diseño no constituye un proceso en sí mismo, sino más bien una macro actividad, cuyas influencias dependen de la calidad asociada a su confección (en cierta forma la Perforación es el diseño materializado y por lo tanto, el aspecto físico del diseño).

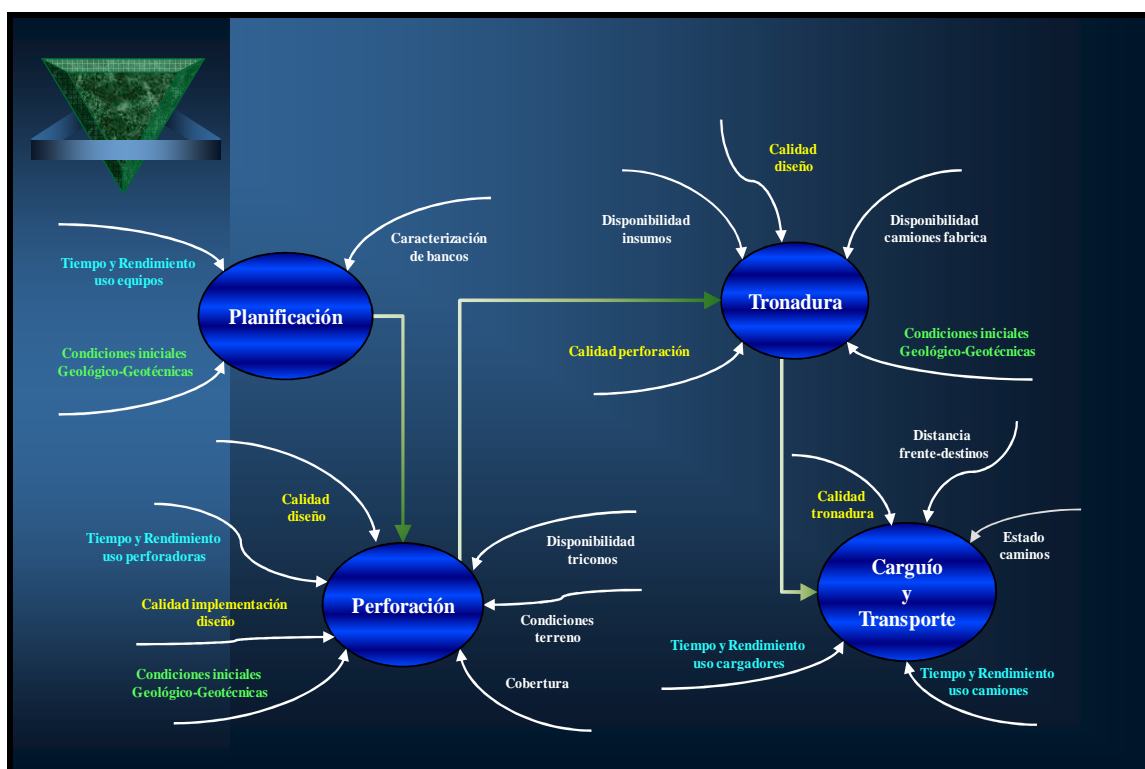


Figura 4.17 – Estructura multivariable SPMRA [Realización personal]

Se asumirá que los efectos de las variables de calidad se van adicionando a lo largo de toda la línea de procesos y que C&T solo percibe las consecuencias finales de estos; la calidad de la tronadura.

Compare este gráfico con el de la figura 4.16 y vea como los sistemas multivariables se van adicionando desde las variables geológicas y geotécnicas hasta la tronadura y que C&T sólo percibe la calidad de la tronadura como resultado de los sistemas multivariables anteriores.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

4.8 Estructura de Costos

La tabla 4.6 y la grafica de la figura 4.18 muestran la estructura de costos del circuito de Conminución de Andina. Los datos corresponden al año 2006.

Tabla 4.6 – Estructura de costos Conminución [Realización personal]

	Perforación	Tronadura	Carguío	MT&AP	Transporte	Chancado	Molienda SAG	
GASTO Anual [KUS\$]	5.814	8.298	10.825	10.858	19.785	21.575	92.200	169.355
COSTO Anual [US\$/TMH]	0,19	0,27	0,36	0,36	0,65	0,75	3,00	5,58
Porcentaje	3,43	4,89	6,38	6,40	11,66	13,45	53,79	100

Se puede observar que Perforación es el proceso menos caro del circuito y en contraposición, la Molienda SAG es el proceso más caro, abarcando este ultimo el 50% del gasto total.

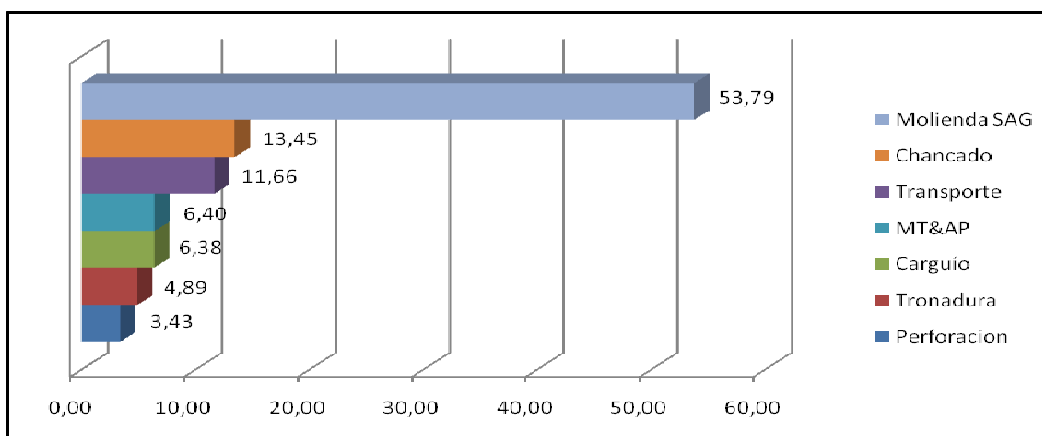


Figura 4.18 – Estructura de costos Conminución [Realización personal]

En lo que respecta al modelo de costos del SPMRA, este corresponde a un modelo estandarizado y recursivo, en el sentido que las mismas fuentes de costo son usadas tanto para controlar a la MRA propiamente tal como a cada uno de los macro procesos y a cada uno de los procesos que conforman cada macro proceso.

Este análisis se basará en los informes oficiales emitidos por la GMIN (Ver CD adjunto: *InformeCostosMRA_2006 e InformeCostosMRA_2007*).

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

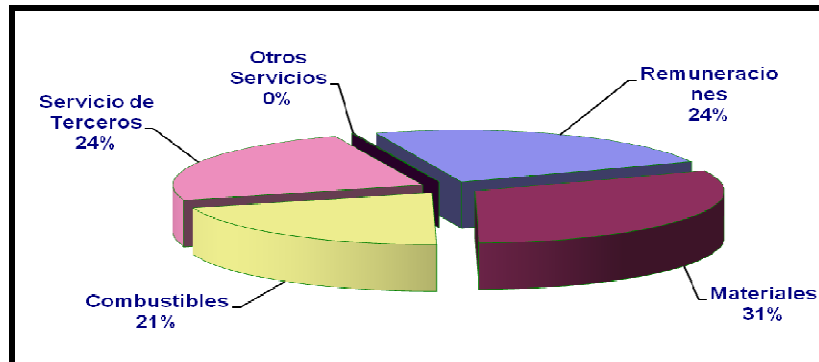


Figura 4.19 – Estructura de costos SPMRA 2006 [Fuente: GMIN-Andina, 2006]



Figura 4.20 – Estructura de costos SPMRA 2007 [Fuente: GMIN-Andina, 2007]

Considérese que entre el año 2006 y el 2007 la estructura de costos de la MRA, evidenció un cambio significativo al duplicarse los servicios de terceros (entregados por empresas externas) y al disminuir los costos de materiales en 11 puntos porcentuales.

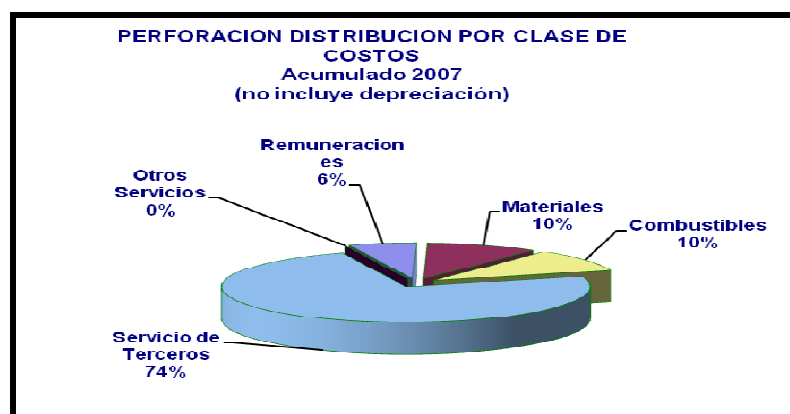


Figura 4.21 – Estructura de costos Perforación 2007 [Fuente: GMIN-Andina, 2007]

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

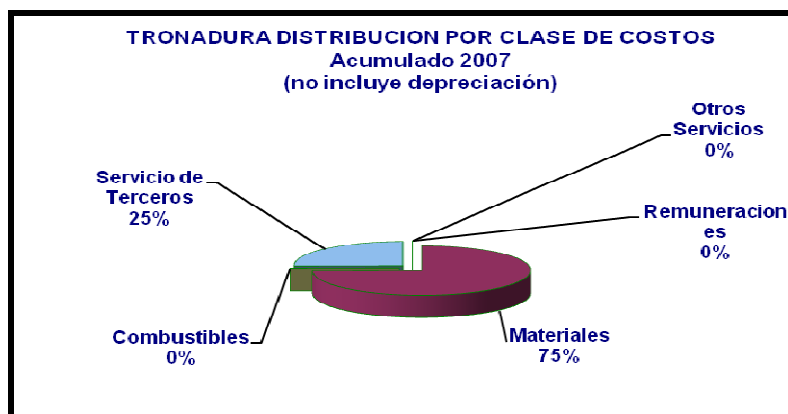


Figura 4.22 – Estructura de costos Tronadura 2007 [Fuente: GMIN-Andina, 2007]

La estructura de costos de Perforación no sufrió cambios significativos entre los años 2006 y 2007. En cambio la estructura de costos de Tronadura experimentó una duplicación de los costos por servicios de terceros en igual período.

Nótese que la estructura de costos de Tronadura evidencia que el servicio de tronadura es realizado por una empresa externa (remuneraciones: 0%). Además, los costos por materiales corresponden a los insumos utilizados en la fabricación de explosivos, que son de responsabilidad de Andina y constituyen, además la mayor fuente de costos, lo que de alguna manera evidencia que el proceso es esencialmente técnico y la disponibilidad de insumos es una de sus variables críticas, tal como se muestra en la figura 4.17.

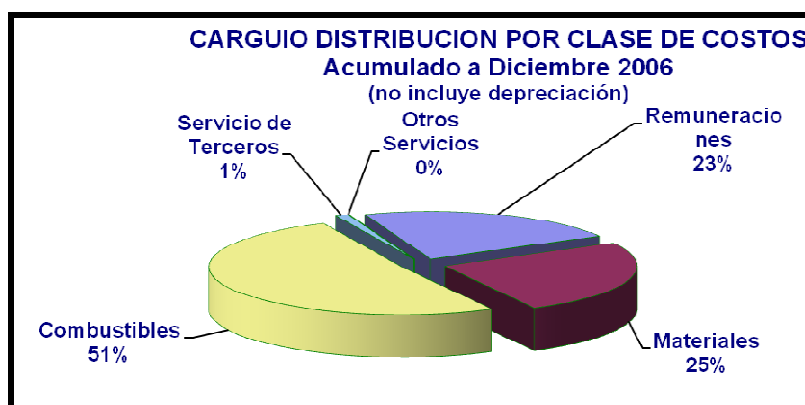


Figura 4.23 – Estructura de costos Carguío 2006 [Fuente: GMIN-Andina, 2006]

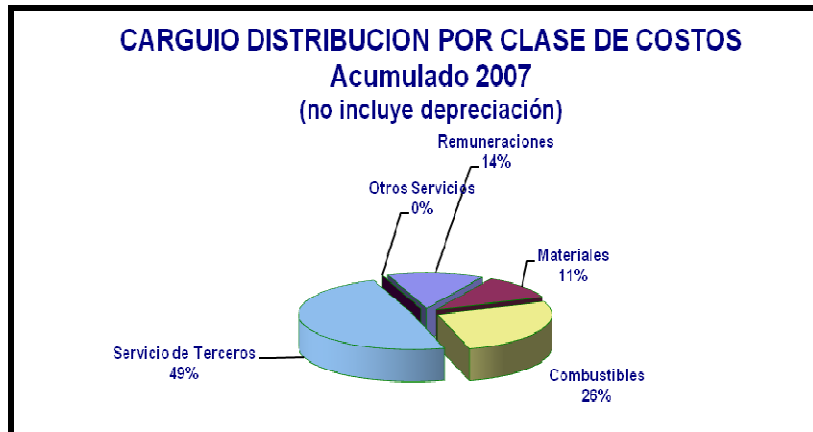


Figura 4.24 – Estructura de costos Carguío 2007 [Fuente: GMIN-Andina, 2007]

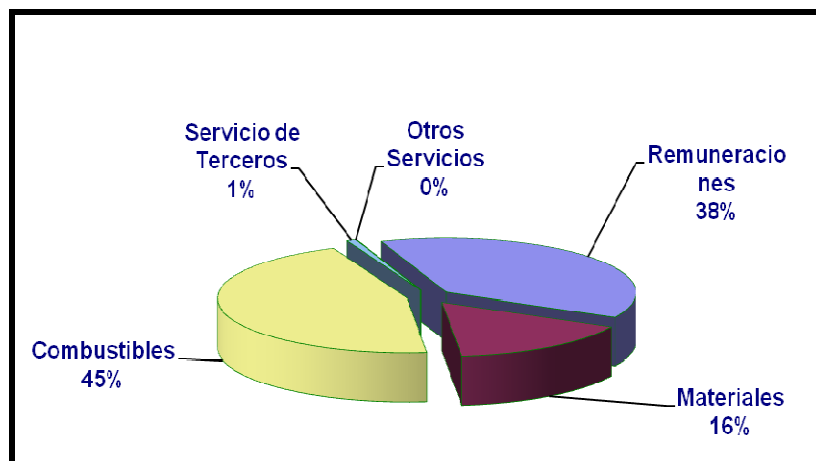


Figura 4.25 – Estructura de costos Transporte 2006 [Fuente: GMIN-Andina, 2006]

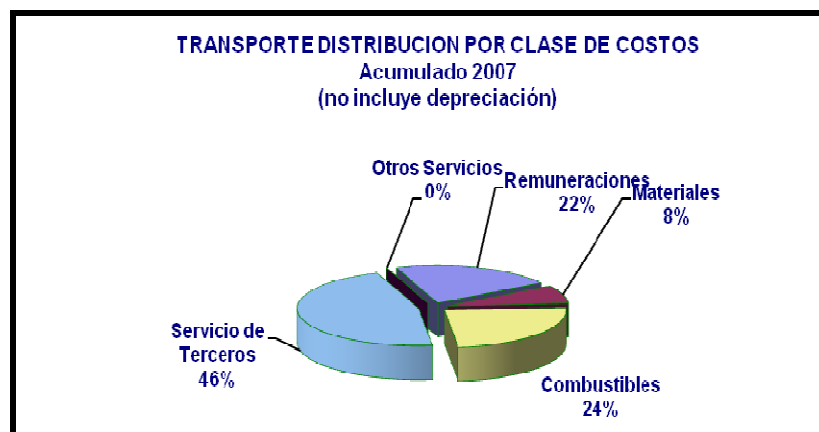


Figura 4.26 – Estructura de costos Transporte 2007 [Fuente: GMIN-Andina, 2007]

La simple inspección de los gráficos anteriores explica la evolución experimentada por la estructura de costos de la MRA entre el 2006 y el 2007. En efecto, la principal causa de ese

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

cambio lo constituye el aumento en 45 puntos porcentuales que experimentaron los servicios de terceros en C&T y la reducción de un 50% por concepto de remuneraciones.

Esto a su vez se explicaría debido a un aumento del grado de externalización de ciertos elementos de costos propios del proceso.

Nótese que el cambio sufrido por la estructura de costos, oculta una realidad que persiste a pesar del cambio, esto es; que la principal fuente de costos de C&T la constituyen en conjunto *Combustible y Materiales* lo que en el caso de Carguío asciende a 75% del costo total y en el caso de Transporte asciende al 60% (Año 2006), lo cual es independiente del grado de externalización del proceso.

El 40% por concepto de remuneraciones en Transporte se debe a que la flota de camiones es operada por alrededor de 14 choferes por turno (28 choferes en total) a diferencia de los dos operadores de cargador por turno.

Tabla 4.7 – Análisis comparativo de costos por proceso (en %) [Realización personal]

	P&T	C&T	MT&AP	Otros
2006	22,1	53,8	15,0	9,2
2007	20,9	45,4	16,1	17,6

La tabla anterior muestra la diferencia existente, en términos porcentuales, entre los costos de los diferentes procesos (los cálculos fueron realizados a partir de los costos totales de los procesos y de la MRA en los años 2006 y 2007).

La tabla muestra que C&T dobla con creces, los costos de P&T. Por otro lado no debe olvidarse, tal como se señaló antes, que alrededor del 70% de los costos de C&T corresponden a *Combustible y Materiales* y que por lo tanto alrededor del 38% de los costos totales del SPMRA (según cifras año 2006) corresponden a combustible y materiales de C&T.

Lo anterior constituye el principal argumento que esgrimen los “defensores” del paradigma de control centrado en C&T.

Nótese que los costos tanto de P&T como de MT&AP se mantienen relativamente constantes a largo del periodo estudiado; en cambio los costos de C&T “caen” en 8 puntos porcentuales, produciéndose un aumento en igual magnitud en otras partidas rotuladas como “otros” (fuentes de costos que no forman parte directamente de los procesos).

Como ya se señaló anteriormente esto es en realidad un efecto directo del reacomodo de las partidas de costos, producto a su vez de los cambios estratégicos llevados a cabo por la GMIN, lo cual no cambia en nada la realidad operacional objeto de este estudio.

En conclusión; los modelos de costos además de estar alimentados por colecciones agregadas de datos (datos mensuales) carecen del suficiente dinamismo tal de modelar de forma efectiva las fuentes de gasto del sistema y controlar de esta manera, la gestión de costos.

4.9 Influencia de la granulometría en la Línea SAG

Si hubiera que identificar la variable operacional de salida del SPMRA más influyente en el resto de los procesos de Conminución, esa sería sin duda, la *Granulometría*.

Defínase la *Granulometría* como aquella característica propia del material tronado que dice relación con la distribución del tamaño de dicho material y que por lo tanto define la calidad asociada al material transportado a Planta y la calidad de la Tronadura como proceso.

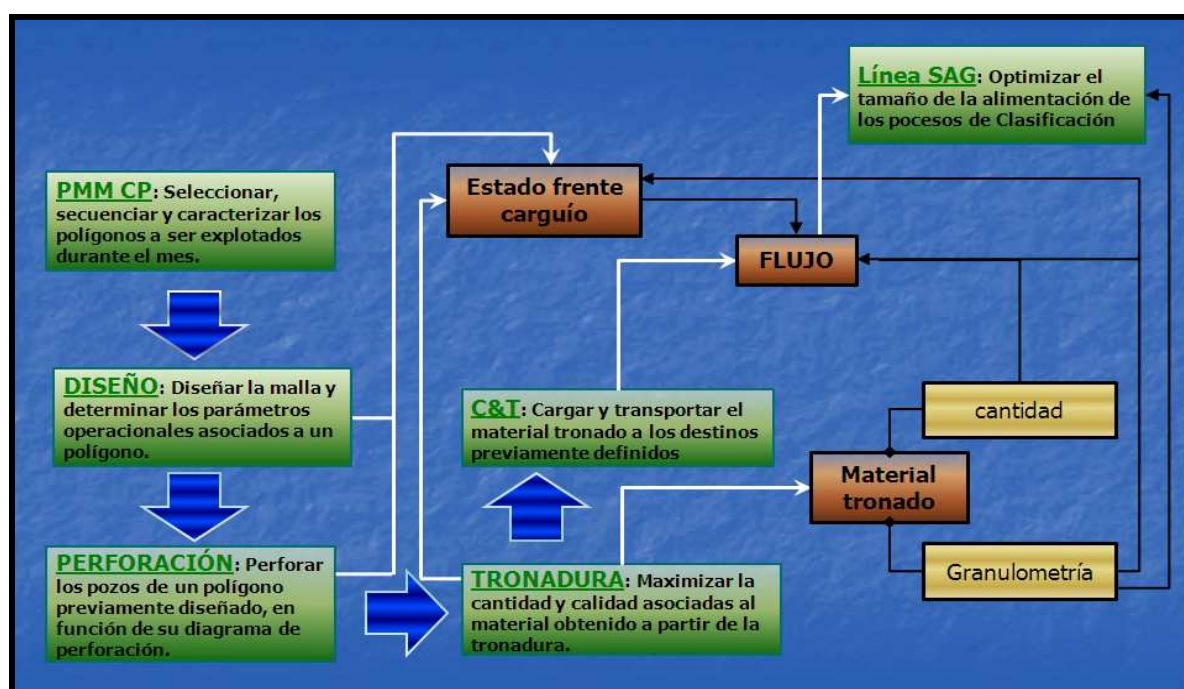


Figura 4.27 – Granulometría como variable de salida del SPMRA [Realización personal]

La figura 4.27 muestra lo anterior al identificar la granulometría como uno de los atributos medibles del material tronado, el cual a su vez corresponde al producto final del SPMRA.

El gráfico, además, muestra la importancia de la granulometría como un buen indicador del estado del frente, en el sentido que a medida que mejora la granulometría, mejora el estado del frente, mejorando por lo tanto, el flujo de carguío y el flujo de transporte. En efecto, al aumentar la cantidad de material de tamaño bajo 1" (-1") se optimiza la utilización de la tolva de los camiones y estos transportan más material en menos tiempo. Además, empíricamente, la granulometría es un buen indicador del grado de blandura del frente y por lo tanto al mejorar la granulometría, el frente de carguío se torna más blando y esto provoca que las palas de los cargadores se desgasten menos y que estos carguen más material en menos tiempo.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Finalmente, esto determina el servicio de entrega de material a Planta y la performance de los procesos de la Línea SAG.

Lo anterior plantea la necesidad de realizar un análisis retrospectivo a partir de la granulometría y determinar de esta manera las variables gestionables más básicas que habría que controlar para poder controlar, a su vez la granulometría.

Esto será abordado en la propuesta de Calidad (Anexo 3 – Descripción y Análisis de la Estructura de procesos) al identificarse las distintas variables críticas que condicionan la consecución de los objetivos de cada uno de los procesos del sistema, lo que finalmente se traduce en la identificación de las variables que condicionan la granulometría.

Por lo tanto el estudio de variables críticas, traza la “*ruta de control*” que habría que seguir a partir del diseño de tal suerte de gestionar proactivamente la granulometría.

Cabe preguntarse ahora acerca del impacto real de la granulometría en la Planta, para tener de esta manera la segunda perspectiva de interés (aguas abajo) y poder de esta manera demostrar que la granulometría es una variable que interesa controlar no solo internamente sino en el contexto de integración de operaciones mina-planta.

El gráfico de la figura 4.28 fue desarrollado en el marco de un análisis de data mining efectuado en la Molienda SAG, empleando el software SCAN de la empresa CONTAC. Este estudio se realizó con datos tomados del PI y considerando las variables identificadas por los expertos (El resto de los resultados de este estudio se pueden apreciar en el Anexo 7 – Resultados Estudio Data mining, p.196).

El gráfico muestra en su parte superior, las variables correlacionadas positivamente (variables positivas) con las TPH (toneladas por hora) del molino SAG y en su parte inferior; las variables correlacionadas negativamente (variables negativas) con las TPH del molino.

Todas las variables, salvo las TPH del prechancado, los pebbles retornados al SAG y las tres variables propias de la granulometría (-1”, gruesos y top size), son variables internas del molino y no viene al caso detallarlas acá. Solo se analizarán las variables que se relacionan directa e indirectamente con la granulometría.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

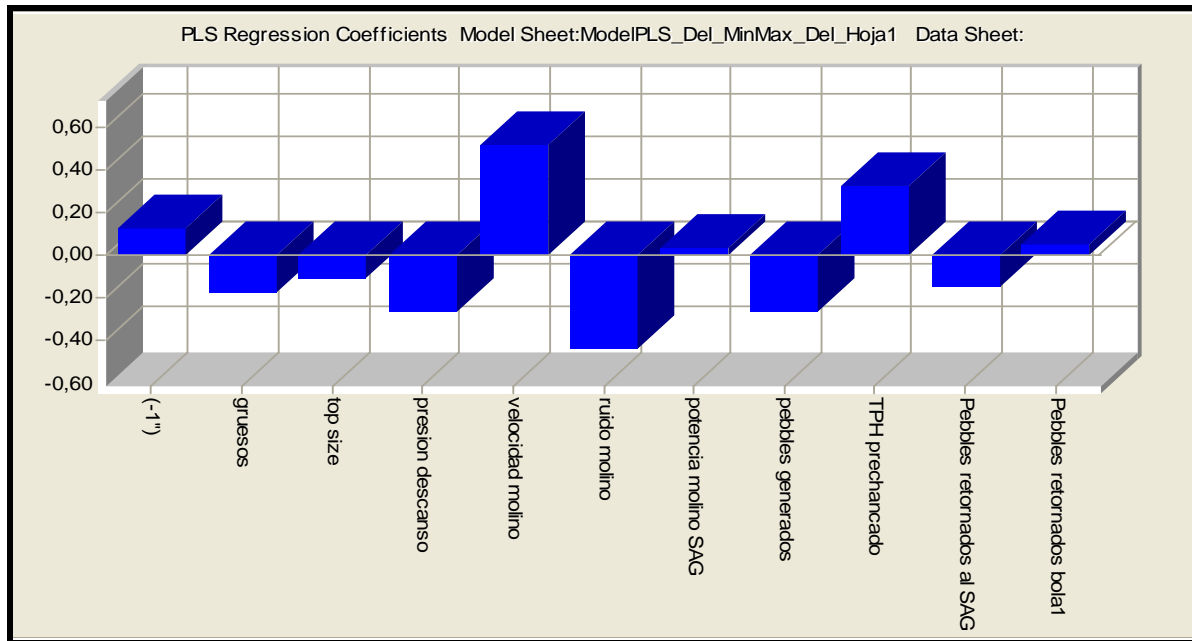


Figura 4.28 – Análisis Multivariable Molino SAG [Realización personal]

Estas son las conclusiones deducidas a partir del análisis de data mining:

1. Del gráfico se puede deducir que la segunda variable positiva más importante es aquella correspondiente a las TPH del prechancado que además es la variable externa (y positiva) más importante del molino. Es decir, si mejora el flujo del prechancado tendría que mejorar el flujo del molino; pero el prechancado opera solo con material de “mala” granulometría; luego si la calidad asociada al material tronado es “mala”, se hace necesario que el sistema SAG dependa del rendimiento del prechancado aumentando con ello la complejidad y los costos asociados al proceso desarrollado en la línea SAG.
2. Si se considera el efecto combinado de los gruesos (entre 1 y 6 pulgadas) y el top size (sobre 6 pulgadas) se observa que representan la variable negativa externa más importante, aventajando inclusive al *pebble* retornado que es un material re-circulado y luego, propio del circuito SAG.
3. Por último, se puede apreciar que el impacto de una “mala” granulometría (gruesos mas top size) es mayor que el impacto de una “buena” granulometría (-1”).

Por lo tanto y a la luz de todo lo señalado hasta ahora se reafirma la importancia de la granulometría como la variable más importante del SPMRA, debido principalmente al impacto de ella en C&T y en toda la línea SAG (Chancado y Molienda).

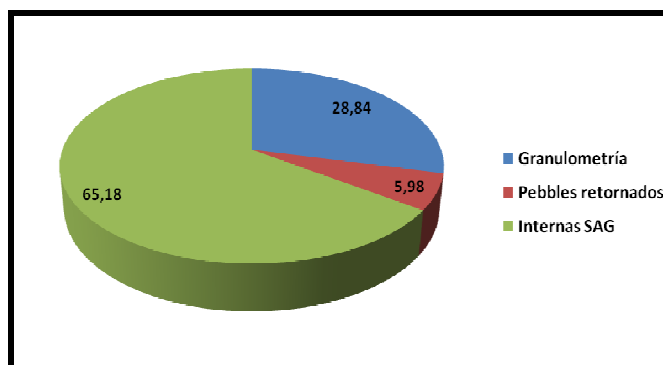


Figura 4.29 – Importancia de la granulometría en el Molino SAG [Realización personal]

La figura 4.29 cuantifica la importancia total de la granulometría en el molino SAG, considerando para ello, el mismo estudio de data mining mencionado anteriormente. La figura muestra que aproximadamente el 30% de la influencia ejercida por todas las variables que determinan al molino SAG, corresponde directa e indirectamente a la granulometría del material tronado.

Por lo tanto, a partir de lo anterior se hace necesario apuntar a lo siguiente:

1. Diseñar la malla de perforación teniendo en mente la maximización de las TPH de la molienda SAG, a través de una metodología orientada a maximizar la calidad de la granulometría del material tronado.
2. Aumentar la eficiencia del SPMRA-SAG operando los procesos componentes de P&T a través del diseño e implementación del tipo de malla mencionada en el punto anterior.
3. Controlar la calidad asociada al material movido por cada uno de los procesos del SPMRA, considerando a la granulometría como la principal variable de salida de este sistema.
4. Definir un criterio de identificación de los procesos claves del negocio, acorde con una realidad operacional caracterizada por la influencia de P&T en todos los procesos restantes de la Conminución.

5 Enfoque del estudio

Tal como se discutió en los capítulos *Formulación y definición del problema* y *Análisis del sistema objetivo*, en los cuáles se describió de manera detallada al sistema objetivo, la complejidad sistémica asociada al mismo es tan alta que es necesario, antes de definir el sistema solución, identificar una serie de *principios* que permitan enfocar dicha solución.

No tiene mucho sentido modelar un sistema solución, independientemente de su nivel de sofisticación, sin identificar el nexo entre este sistema y el sistema objetivo. En otras palabras; sin identificar las claves del éxito de una eventual implementación de la solución en el sistema objetivo.

La clave de éste éxito no radica tanto en el mérito del sistema solución sino en la real comprensión que se tenga de las distintas fuentes de complejidad y variabilidad propias del sistema objetivo, lo cual arroja luces del tipo de solución que realmente se necesita para poder enfrentar dicha complejidad.

Esto último identifica cual es el enfoque de fondo que es necesario tener antes de modelar una solución realista con mínimas probabilidades de éxito. Dicho de otro modo, es necesario definir previamente el concepto “detrás” de una solución específica.

Este concepto se compone, en realidad, de una serie de *principios* que muestran las reales implicancias asociadas a la implementación de la solución en el sistema objetivo, otorgándole a la misma, un carácter realista.

En el caso del sistema bajo estudio, la implementación de una solución específica, que pretenda abordar el grueso de la problemática anteriormente descrita, afecta cuestiones que dicen relación con la forma tradicional como se ha concebido el negocio minero en el último tiempo y con el paradigma de gestión de operaciones en ejercicio.

En otras palabras; no es posible abordar la problemática asociada al sistema objetivo sin hacer una reconsideración de estas temáticas, definiendo de esta manera un concepto general, inspirador de una o más soluciones específicas.

Con lo anterior se pretenden evitar situaciones típicas asociadas a los llamados “*vendedores de soluciones*” comunes por ejemplo, en algunas experiencias de BPM a lo largo del mundo, en que la solución es modelada en forma paralela al sistema objetivo, siendo mas bien la expresión de un modelo de negocios de una consultora externa, de una ideología particular o de una metodología académica carente de sentido práctico.

Bajo la metodología propuesta en este estudio, la solución es la resultante de la intersección de dos dominios; el sistema objetivo y un universo de posibles soluciones y por lo tanto es la expresión de un enfoque analítico centrado en el problema, vale decir; en el conocimiento acabado de la real complejidad asociada a la problemática en cuestión y por lo tanto en los atributos que deberían caracterizar al sistema solución.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

El objetivo que se persigue con esto es encausar el estudio a través de un curso de acción que responda a un concepto de fondo; la resultante de un proceso analítico centrado en el conocimiento del sistema objetivo.

Este enfoque será definido a partir de todos los elementos que caracterizan al sistema objetivo, considerados hasta el momento.

Además, el enfoque definirá las premisas en que descansará la línea de acción de la solución propuesta en este estudio y por lo tanto inspirará la forma en que el sistema objetivo será abordado y los subsistemas que formen parte del sistema solución.

Luego, se planteará una forma diferente de conceptualizar y gestionar los procesos minero-metalúrgicos, lo que en definitiva le otorgará un carácter innovador a la solución propuesta.

5.1 Principios del enfoque

Todos los principios enunciados en este apartado constituirán el enfoque del estudio y tendrán como referencia el macro proceso de Conminución. Los principios son los siguientes:

- Se define como criterio de identificación de los procesos claves del negocio, el nivel de influencia de un proceso sobre los demás, en vez de considerar el nivel de gasto de estos.
- El proceso clave de la Conminución es el proceso agregado Perforación y Tronadura (incluyendo el diseño) a diferencia del enfoque minero tradicional, centrado en C&T.
- El proceso minero-metalúrgico empieza en la mina y finaliza en la planta: La mina NO es una fuente proveedora de materias primas del proceso desarrollado en la planta
- La tierra es LA fuente proveedora de materias primas del proceso minero-metalúrgico
- Cada proceso es proveedor del proceso que le sigue y cliente del proceso que le antecede, si lo hubiere.
- Se hace necesario definir un proceso paralelo al proceso central, centrado en la gestión informativa y orientado a la obtención de una nueva perspectiva del conocimiento de los procesos de negocio, en virtud de lo cual; medir, controlar, analizar y mejorar estos últimos.
- La principal dimensión de control de los procesos mineros es la dimensión espacial, a diferencia del enfoque de control tradicional que es exclusivamente temporal.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

- ❑ Desde el punto de vista del nivel de detalle, el enfoque de control de los procesos minero-metalúrgicos deberá estar puesto en los aspectos desagregados del sistema a diferencia del enfoque actual que se centra en el control de variables agregadas.
- ❑ El control de gestión de costos se debe basar en modelos de costeo por actividades, los cuáles deberán ser la expresión de la gestión del conocimiento asociado a las variables explicativas de las fuentes de gasto.

Lo anterior implica que el modelamiento de un sistema solución orientado a abordar la problemática del sistema objetivo bajo estudio, debe considerar cada uno de estos principios si se pretende que tenga asociado, mínimas probabilidades de éxito.

Algunas implicancias de lo mencionado arriba son las siguientes:

- El criterio tradicional de control de gestión centrado en los procesos y/o actividades con un mayor nivel de gasto no es útil para este tipo de sistemas, por lo menos en esta fase de un proyecto de mejoramiento continuo.
- Todo el sistema solución estará orientado al control del polígono, en tanto, entidad que ingresa al sistema operacional, este último, siendo controlado turno a turno.
- El control del polígono se hará desde la perspectiva de controlar las características de la materia prima que ingresa a un sistema operacional, lo cual implica ejercer control sobre las características geológico-geotécnicas de este.
- Surge la necesidad de modelar un sistema de gestión de procesos, transversal a la mina y a la planta y que descansa en la medición y control de medidas de desempeño por proceso, que reflejen a su vez el comportamiento de estos desde la perspectiva de las variables críticas de los objetivos respectivos. En última instancia, esto entregará las claves para alinear los procesos bajo un enfoque cliente-proveedor.

6 Análisis del sistema solución

6.1 Definición del sistema solución

En el capítulo anterior se enunciaron todos los principios que es necesario considerar antes de proponer una solución que esté enfocada en resolver la problemática de fondo que subyace a los problemas específicos descritos en este estudio, los cuáles desde cierto punto de vista, no son mas que síntomas de dicha problemática.

Por otro lado, se deberá proponer una solución enraizada en el conocimiento de todas las aristas que caracterizan el sistema objetivo y por tanto, una solución fruto de un enfoque en el problema más bien que en el mérito particular de una solución específica.

Lo anterior implica que se hace necesario reconsiderar cuestiones de fondo que históricamente han determinado para bien o para mal, el negocio minero. En particular, se pueden mencionar; la concepción de negocio minero y el paradigma de gestión de operaciones existente, los cuáles de manera directa en unos casos e indirecta en otros, han derivado en la problemática descrita en los capítulos anteriores.

6.1.1 Planificación Estratégica

La figura 6.1 muestra el plan estratégico del sistema solución, el cual contextualiza el curso de acción de dicho sistema en una estrategia de negocios mayor, centrada en la excelencia operacional y por lo tanto, en la minimización de costos operacionales.



Figura 6.1 – Planificación Estratégica Modelo Gestión de Operaciones [Realización personal]

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

La misión corresponde a la actual misión de la Corporación, la cual persigue la maximización de los aportes hechos al Estado.

La visión que propone este estudio es un escenario en el futuro, caracterizado por la consecución de la misión en un contexto de mayor dependencia de la gestión de operaciones y por lo tanto, uno en que la maximización de dicho aporte sea mas la expresión de un programa de gestión de las operaciones que el fruto de un nivel de precios de mercado.

Luego, se está apuntando a la maximización del margen operacional y por lo tanto a la maximización de la “distancia” existente entre los ingresos brutos y los costos totales, como consecuencia directa de una minimización de los costos operacionales, fruto a su vez de una política de contención de costos y por lo tanto, de un mayor control sobre las fuentes de gasto.

Este tipo de estrategia se conoce como *Excelencia Operacional* y se caracteriza por la búsqueda continua de fuentes de mejoramiento operacional, que deriven en situaciones de mayor eficiencia y menores costos unitarios (Treacy y Wiersma, 1997).

En las dos últimas décadas se ha producido un creciente consenso en el sentido que el enfoque de gestión más efectivo es aquel enfoque puesto en los procesos y se ha configurado de esta manera, lo que se conoce hoy día como Gestión basada en procesos o *Business Process Management* (en adelante BPM).

En pocas palabras, este paradigma de gestión señala la necesidad de apuntar a la consecución de la estrategia organizacional a través de la gestión, medición, control, análisis y mejoramiento continuo de los procesos de negocios esenciales (Jeston y Nelis, 2006).

Se infiere de lo anterior que este enfoque es servicial a la estrategia, al margen del tipo de estrategia de que se trate. Luego, el paradigma propone la consecución del plan estratégico a partir de la gestión de operaciones centrada en el mejoramiento continuo de los diversos procesos de negocio enfatizando el control en los procesos esenciales o claves.

Por enfoque en los procesos se entienden dos cosas esenciales:

1. Pasar de un enfoque puesto en las unidades funcionales como Logística, Operaciones, Mantenimiento, etc. a un enfoque centrado en aquellas unidades de negocio que agregan valor al producto y/o al servicio final y que se encuentran *ubicadas* en forma transversal a estas unidades funcionales.
2. A partir de lo anterior se propone identificar las dimensiones funcionales pertinentes a cada uno de estos procesos de negocio y controlar a estos últimos en función de su comportamiento en cada una de estas dimensiones. Luego, en vez de hablar de Logística o Mantenimiento se hace necesario hablar, por ejemplo, del comportamiento logístico y del comportamiento de mantenimiento asociado a la Perforación o la Molienda SAG.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Por lo tanto, un sistema de gestión basado en procesos se concibe como una muy buena forma de cumplir con el plan estratégico de la organización y por ende se concibe como una táctica operacional.

6.1.2 Cadena de valor

La figura 6.2 muestra las distintas fases de un proyecto de mejoramiento continuo centrado en la gestión basada en procesos. Además, identifica las condiciones necesarias de cada una de estas fases.

Se subentiende que cada fase constituye un escenario, el cual es alcanzado a partir de una serie de uno o más escenarios previos, los cuales se van acumulando en el transcurso del proyecto.

Cada una de estas fases va agregando valor al producto final, producto que aquí es identificado como la propia estructura de procesos mejorada o en condiciones de ser mejorada continuamente.

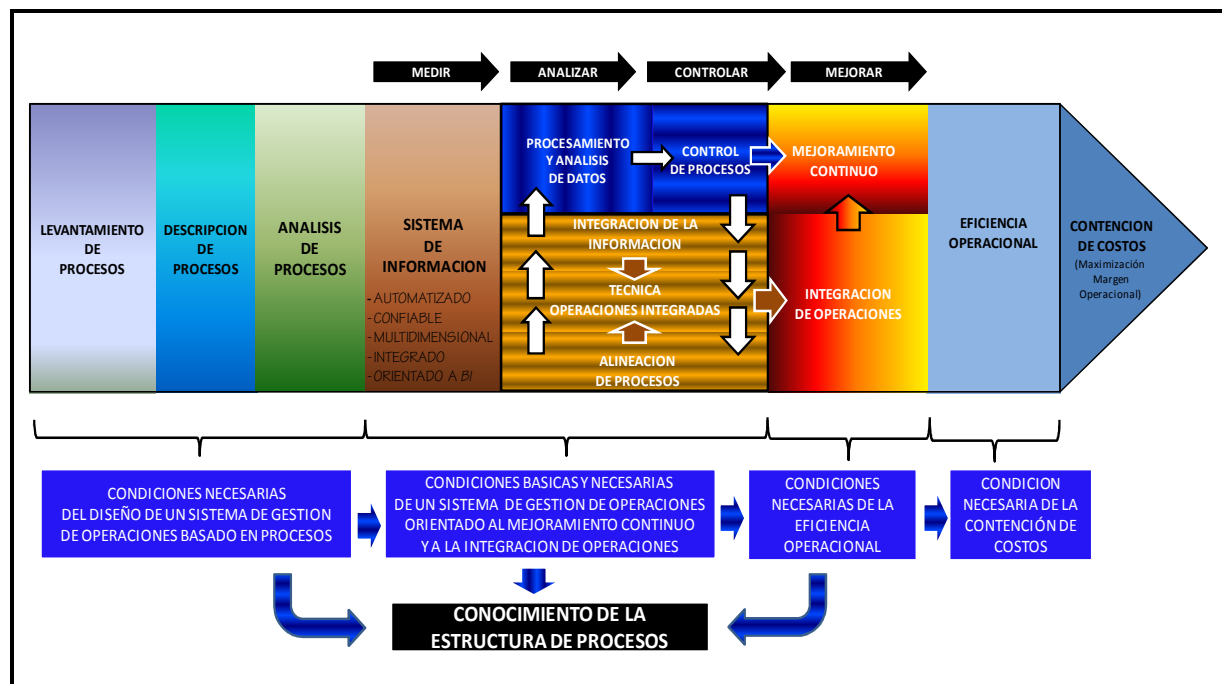


Figura 6.2 – Cadena de Valor Modelo Gestión de Operaciones [Realización personal]

Por lo tanto, el valor que percibe el escenario final correspondiente a la contención de costos, es la sumatoria de valor agregado por cada una de las fases anteriores.

Antes de continuar es necesario explicar lo que se entiende aquí por condición necesaria. A es condición necesaria de B en el sentido que la existencia de B implica necesariamente la existencia previa de A, pero no al revés y por lo tanto al definir condiciones necesarias de éxito

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

de una fase particular se están definiendo condiciones mínimas que deberían existir previamente, sin las cuáles la fase en cuestión no tendría ninguna posibilidad de éxito.

La cadena de valor se inicia con tres fases, las cuáles constituyen las etapas iniciales de un proyecto estándar de BPM y que por lo tanto se transforman en las condiciones necesarias de cualquier sistema básico de gestión de operaciones basado en procesos.

El levantamiento de procesos entrega un conocimiento mínimo de la estructura de procesos, lo que a su vez posibilita la descripción y el análisis de esta, sentando las bases de una estructura de gestión basada en procesos o lo que es lo mismo; una primera aproximación de BPM.

El análisis de los procesos se puede realizar desde varios puntos de vistas, todos complementarios e incluyentes. Por ejemplo se pueden analizar las distintas dimensiones operacionales por proceso, como ser; logística, calidad, mantención, costos operacionales, actividades operacionales, etc. Se pueden, además analizar las distintas variables involucradas en una situación de integración de operaciones, entre otros.

A partir del análisis de los procesos se deducen las variables críticas por proceso, las medidas de desempeño por proceso y las demás variables que ameritan ser medidas, lo que en última instancia desemboca en una discusión informativa orientada a la definición de las estructuras de datos que se hacen necesarias y las distintas características que debiera tener la herramienta informática adecuada para estos efectos.

El nivel de complejidad que caracteriza al sistema y los objetivos finales que persigue el proyecto de mejoramiento continuo definen muchas de estas características y luego, determinan el tipo de herramienta informática que se necesita. Por ejemplo si se está apuntando solo a una medición multidimensional, se hace necesario un sistema *Warehousing*, pero en cambio si se determinó que es necesario un sistema de análisis de datos, empleando técnicas de alta sofisticación, lo que en realidad se necesita es un sistema *Business Intelligence*.

Un sistema de información es una condición necesaria tanto de la medición, como del análisis y del control de procesos. Al mismo tiempo sirve de instancia para unificar criterios que sirvan a su vez, para fortalecer una situación de integración de operaciones, lo que en este caso (sistema bajo estudio) podría rotularse como criterio mina-planta.

La realidad operacional propia de un sistema minero-metalúrgico estándar, tal como el descrito en este estudio hace que sea necesario, la existencia de una fase extra; la integración de operaciones. En efecto y tal como se señaló anteriormente, las operaciones mina y las operaciones planta se planifican, desarrollan y controlan en forma separada, con todo lo que esto conlleva en materia de ineficiencia.

Por lo tanto, se hace necesario integrar ambos sistemas desde todos los puntos de vista necesarios y posibles, tales como; planificación, técnica operativa, control, etc. No obstante, este escenario hace necesario la existencia de dos condiciones previas; la existencia de un sistema de información integrado y el control de procesos en un contexto de alineación.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Con respecto a esta última condición; se asume la existencia de tres escenarios bien diferenciados que agregan valor a un escenario final de Integración de operaciones, a saber: Estandarización de procesos, Alineación de procesos e Integración de procesos (esto será analizado en detalle, en el apartado 6.2).

En resumen; un escenario de Integración de operaciones, en este sistema en particular, pasa por el desarrollo de una técnica de operaciones, la cual responda a un concepto de gestión de operaciones, que apunte a la operación de los procesos mineros en pos del desarrollo conjunto del macro proceso minero-metalúrgico de extracción de cobre, el cual a su vez pasa por la alineación de los procesos bajo un enfoque cliente-proveedor y por la existencia de un sistema de información integrado que provea un criterio mina-planta.

Con respecto al mejoramiento continuo y tal como señala la norma ISO 9001, un enfoque basado en proceso tiene implicancias directas en materia de mejoramiento continuo de los procesos de negocio; en efecto: “Un enfoque de este tipo, cuando se utiliza dentro de un sistema de gestión de la calidad, enfatiza la importancia de... d) la mejora continua de los procesos con base en mediciones objetivas.” (ISO 9001, 2000)

Por lo tanto y tal como muestra la figura 6.2, la medición, el análisis y el control son condiciones necesarias de la mejora y por lo tanto, la existencia de un sistema informático orientado al análisis de datos es una condición necesaria del mejoramiento continuo bajo un enfoque de gestión basado en procesos. Además y como ya se señaló antes, la integración de operaciones es también una condición necesaria del mejoramiento continuo.

Ahora bien, se asume que la eficiencia operacional es una condición necesaria de la minimización de costos y por lo tanto, se entiende que la minimización de costos es una consecuencia directa de la eficiencia operacional; pero esta última, según el modelo, es la consecuencia, a su vez, del mejoramiento continuo de procesos en un contexto de integración de operaciones, por lo tanto, la eficiencia resultante es la consecuencia de una política continua de intervención de procesos o equivalentemente; la resultante de la implementación de acciones correctivas a partir del análisis sistemático de las fuentes de mejora, lo cual hace que la baja en los costos sea mas bien la expresión concreta de una situación de control continuo sobre las fuentes de gasto.

Lo anterior implica que la baja en los costos operacionales es la consecuencia del complejo control-acción aplicado a todas las variables que condicionan las fuentes de gasto y que por lo tanto, mas que hablar de una minimización particular de costos a partir de un curso de acción específico, se hable en realidad, de un escenario de contención de costos mantenido en el tiempo.

Todo escenario de contención de costos implica bajas graduales de costos a partir de la implementación de mejoras, pero no todos los procesos de baja y/o minimización de costos (esto último, en un contexto de optimización) tienen asociado un real control sobre las fuentes de gastos en un marco de continuidad en el tiempo.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

En conclusión; un escenario de contención de costos en el sistema bajo estudio, es la expresión de la eficiencia operacional, la cual a su vez es la resultante de un escenario previo de mejoramiento continuo, el cual, a su vez tiene asociado las condiciones necesarias identificadas en la tabla 6.1

Tabla 6.1 –Condiciones necesarias del Mejoramiento Continuo [Realización personal]

Condiciones necesarias de un escenario de mejoramiento continuo
1. Gestión de operaciones basado en el control de los procesos de negocio
2. Medición y análisis de las colecciones de datos asociadas a las variables provenientes de las distintas dimensiones de cada uno de los procesos de negocio
3. Operación de los procesos de negocio de la estructura mina-planta bajo la concepción de que ambos tipos de proceso, son parte de un único macro proceso

6.2 Modelo de Gestión de Operaciones

El sistema solución será modelado de la siguiente forma:

Se define un modelo de gestión de operaciones, en adelante MGO, cuyo diseño descansará en los siguientes supuestos:

1. Un sistema de gestión de operaciones orientado al mejoramiento continuo, se compone de tantos subsistemas como condiciones necesarias tenga asociado el escenario de mejoramiento continuo definido anteriormente
2. Cada subsistema particular debe ser diseñado para abordar una condición necesaria específica
3. Existe una sinergia *oculta* entre las condiciones necesarias y luego entre los subsistemas del modelo, la cual, solo será descubierta cabalmente en la fase de integración del sistema solución, cuando este, efectivamente opere sobre el sistema objetivo
4. Un sistema de gestión de operaciones como el diseñado en este estudio, puede entregar información decisiva para poder identificar de manera racional los problemas operacionales, las diferentes alternativas de mejoras y las mejoras que son viables de implementar

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

El MGO que se propone en este estudio abarca los siguientes aspectos:

- 1. Aproximación a los procesos:** Entiéndase por tal a la forma en que los procesos son concebidos, definidos, operados, controlados y analizados por un ente externo, además por la forma en que estos procesos se relacionan entre sí. Se definirán tres niveles de aproximación a los procesos:
 - **Estandarización de procesos:** En este nivel se formulan e implementan normas o estándares de operación para cada una de las actividades que conforman un proceso, a partir de lo cuál se define un sistema de control de gestión. Este sistema de control de gestión se caracteriza por el seguimiento de los procesos centrado en el análisis de indicadores que reflejen el grado de cumplimiento tanto de los objetivos como de los estándares previamente definidos.
 - **Alineación de procesos:** A partir de la estandarización de todos los procesos de un sistema productivo, se define en este nivel, un criterio en virtud del cual se garantiza la calidad del input de cada proceso como función de la calidad del output del proceso anterior. La alineación se fundamenta en dos pilares: el paradigma de orientación a los clientes y el control conjunto de los procesos, entendiendo estos, no como unidades separadas sino como partes de un sistema mayor. Cada proceso tiene por cliente directo al proceso siguiente, al cual le entrega el producto de sus operaciones, el cual, a su vez constituye el input de este último. De esta manera surge una justificación operacional para controlar de manera alineada y conjunta, la calidad del output de cada uno de los procesos que integran el sistema, a partir de medidas de desempeño que reflejen el grado de satisfacción de los procesos-cliente. En un nivel de alineación de procesos, las variables que interesa medir de estos, son aquellas variables que determinan el grado de cumplimiento de sus objetivos, los cuáles se subentienden, están alineados con los requerimientos de sus clientes y por consiguiente son variables críticas del grado de satisfacción de estos últimos. Por lo tanto, la alineación de los procesos se podría resumir de la siguiente manera: Control del grado de cumplimiento de los requerimientos de un proceso-cliente a partir del control de los atributos objetivos y medibles que caracterizan al producto de las operaciones de su proceso-proveedor.
 - **Integración de procesos:** Se entiende la integración de procesos como un caso particular de alineación de procesos. Cuando existen dos o más unidades operativas; separadas, con identidades operacionales distintas y que obedecen a liderazgos diversos, entre otros factores y se desea, además, alinearlas a través de la definición de un sistema de control de gestión en que la calidad de la materia prima de una es función de la calidad de la salida operacional de otra, se está en un escenario propicio para hablar propiamente tal de *Integración de operaciones*. Por lo tanto, surge la necesidad de que estas unidades operativas se caractericen por tener procesos estandarizados y alineados de tal suerte que el proceso de alineación de ellas resulte lo menos complejo posible. La integración de procesos presupone la identificación previa de aquellas variables pertenecientes a una unidad operativa dada, que afectan, tanto el desarrollo normal de los procesos como la calidad del producto final de otra unidad.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Estos niveles de aproximación son acumulativos, vale decir; una situación operativa caracterizada por la integración de procesos, presupone necesariamente que estos fueron previamente estandarizados y alineados.

2. **Subsistemas:** Se definen todos aquellos subsistemas necesarios para el desarrollo y operatividad del sistema solución aquí propuesto. Los subsistemas propuestos en este estudio son también sistemas y se detallan a continuación:

Tabla 6.2 –Subsistemas Modelo de Gestión de Operaciones [Realización personal]

Subsistemas Modelo Gestión Operaciones

1. Sistema de Gestión de operaciones basado en el control de los procesos de negocio (primera aproximación **Business Process Management**)

1.1 Mapeo de Procesos

1.2 Modelamiento de Procesos

1.3 Descripción de Procesos

1.4 Análisis de Procesos (Orientado a la gestión de la Calidad)

1.4.1 Objetivos

1.4.2 Variables críticas

1.4.3 Medidas de desempeño

1.5 Primera Aproximación Implementación Macro Proyecto BPM en Andina

2. Sistema de medición y análisis de grandes colecciones de datos asociadas a las variables provenientes de las distintas dimensiones de cada uno de los procesos de negocio (esquema **Business Intelligence**)

2.1 Sistema de Información

2.1.1 Almacenamiento de datos (paradigma Relacional, consultas en **SQL**)

2.1.2 Análisis de datos (software estadístico especializado **JMP**, conexión **ODBC**, modelos **Data Mining** para Geología, P&T y Molienda SAG)

2.2 Sistema Control de Procesos

2.2.1 Control de la Calidad por reportes y por estándares

2.2.2 Control Analítico de Procesos (a partir de los modelos de data mining)

2.2.2 Análisis Variográfico

* Se desarrollará un modelo prototipo compuesto de un DBMS en Access y una aplicación estadística en JMP, la cual se conecta a la base de datos y ejecuta procedimientos estadísticos automatizados.

3. Técnica de operación de los procesos de negocio de la estructura mina-planta bajo un enfoque de integración (**Mine to Mill**)

3.1 Técnica Mine to Mill Metso Minerals Process Technology Asia Pacific

6.2.1 Técnica Mine to Mill

Se está apuntando a la identificación de una técnica operativa que sea capaz de entregar estándares operacionales (para el SPMRA) y que al mismo tiempo sea capaz de maximizar el beneficio conjunto, minimizando los costos totales del SPMRA-SAG, en un contexto de Integración de operaciones.

6.2.1.1 Concepto

En las dos últimas décadas se ha venido desarrollando un concepto de gestión de operaciones minero-metalúrgicas, conocido en la actualidad como *Mine to Mill* (en adelante MTM). Su origen se remonta a mediados del los '90, a los centros de investigación tecnológica vinculados más bien, al mundo académico del área minero-metalúrgica.

El concepto Mine to Mill se refiere a aquella concepción de la gestión de operaciones de conminución, en virtud de la cual, las etapas de perforación y tronadura son incluidas como parte integral de todas las demás etapas de la conminución, debido a la gran influencia de las primeras en las estructuras de costos de estas últimas.

Una serie de experimentos de laboratorio descubrieron relaciones estructurales entre el factor de carga asociado a la tronadura y el costo global del proceso de Conminución y entre el WI (Índice de trabajo medio requerido para conminuir un material dado) y el tamaño del área transversal (*cross sectional*) del material post-tronado, todo lo cual derivó en un concepto de gestión de operaciones minero-metalúrgicas integrado.

A lo largo del mundo, una serie de empresas y centros de transferencia tecnológica han desarrollado técnicas específicas que han pretendido plasmar este concepto y con el tiempo estas técnicas se confundieron con el concepto de fondo, llamándose de la misma manera.

Nótese que MTM se hace dependiente del control sobre P&T y por lo tanto deriva en un cuestionando implícito, tanto del paradigma de gestión de operaciones APO, aplicado a una mina rajo estándar, como de las premisas básicas del concepto tradicional de negocio minero, los cuáles enfatizan el control casi exclusivo sobre C&T.

El MTM en sí mismo es más que una técnica, en efecto; es un concepto de gestión de operaciones que busca la minimización de los costos totales a través de la gestión integrada de todos los procesos de conminución. “la disminución del total de los costes compensa sobradamente los incrementos parciales” (Universidad Politécnica de Madrid, 2007).

Ahora bien, no se trata de llamar MTM a cualquier técnica autodenominada como tal, (nótese que el aumento del factor de carga, por si solo no constituye MTM) sino a aquellas técnicas que apuntan en la dirección de la filosofía MTM y que por lo tanto recogen la esencia de ella; esto es: disminución de los costos globales a través de la optimización e integración de los procesos de la Conminución.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Los procesos de Conminución (P&T, Chancado y Molienda) utilizan una variada gama de tipos de energía en la fragmentación de la roca; mecánica, eléctrica, química, térmica, entre otras; pero sin duda los explosivos constituyen la fuente de energía más barata en la mayoría de los casos. Por otro lado, no es precisamente el nivel energético de los explosivos lo que proporciona las cualidades más aptas para la fragmentación de la roca, sino su potencia (energía/tiempo).

Por lo tanto, lo que persigue el MTM es la maximización del nivel de fragmentación de la roca, en la tronadura, pues es en esta etapa donde se emplean explosivos como fuente de energía (potencia). De esa manera, las siguientes etapas de conminución, que dada su naturaleza operacional, emplean formas de energía más caras, minimizan su nivel de trabajo y por lo tanto minimizan sus costos y con ello minimizan los costos globales de todo el proceso de Conminución.

“Por obvio que esto parezca, son todavía pocas las minas y canteras del mundo en que esto se comprende y se lleva a la práctica, bien sea por unas estructuras organizativas muy diferenciadas entre excavación y tratamiento, bien por falta de herramientas para la gestión del conjunto de operaciones (para así comprender la incidencia económica de una operación en las otras)” (Universidad Politécnica de Madrid, 2007).

En esta perspectiva, el MTM es un concepto innovador que “*apunta*” en la dirección justamente opuesta a la que apunta el sistema tradicional de gestión de operaciones minero-metalúrgicas, caracterizado por la separación entre las llamadas operaciones mina y las operaciones planta.

Cada una de estas unidades operativas (gerencias, en el caso de Andina) trata de minimizar sus propios costos sin considerar los costos de la otra unidad operativa y esto los lleva a situaciones no-óptimas caracterizada por todo aquello que ya fue mencionado en el capítulo segundo de este estudio.

De hecho esta situación trae aparejado una serie de inconsistencias como aquella paradoja operacional relacionada con el paradigma centrado en C&T (Ver capítulo segundo).

Según la Universidad Politécnica de Madrid, los conceptos en los que se sustenta el MTM son los siguientes:

1. La energía más barata para fragmentar es aquella provista por los explosivos.
2. Un material más fragmentado conlleva mejores rendimientos tanto de carga como transporte de material a planta.
3. Un material más fragmentado de origen conlleva flujos más altos de chancado y molienda y por ende más bajos costos operacionales.
4. Los bloques de material fragmentados mediante explosivos presentan una resistencia estructural interna inferior a la de aquellos bloques de igual tamaño no arrancados por tronadura (aquellos que llegan íntegros a planta).

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Las menores necesidades energéticas en el chancado del material tronado, se justifican por aplicación directa de la *ley mineralúrgica de Bond*, la cual establece una relación entre la energía necesaria para romper un material y la superficie de fractura creada. Esto se traduce en menores costos, que incluyen tanto los costos de operación como los costos de mantención.

6.2.1.2 Resumen Técnica Mine to Mill Metso Minerals Process Technology

La figura 6.3 muestra un esquema de la técnica MTM de la empresa Metso Minerals Process Technology Asia Pacific, en adelante MTM MMPT-AP (el análisis detallado de esta técnica se puede ver en el Anexo 1 – Técnica Mine to Mill).

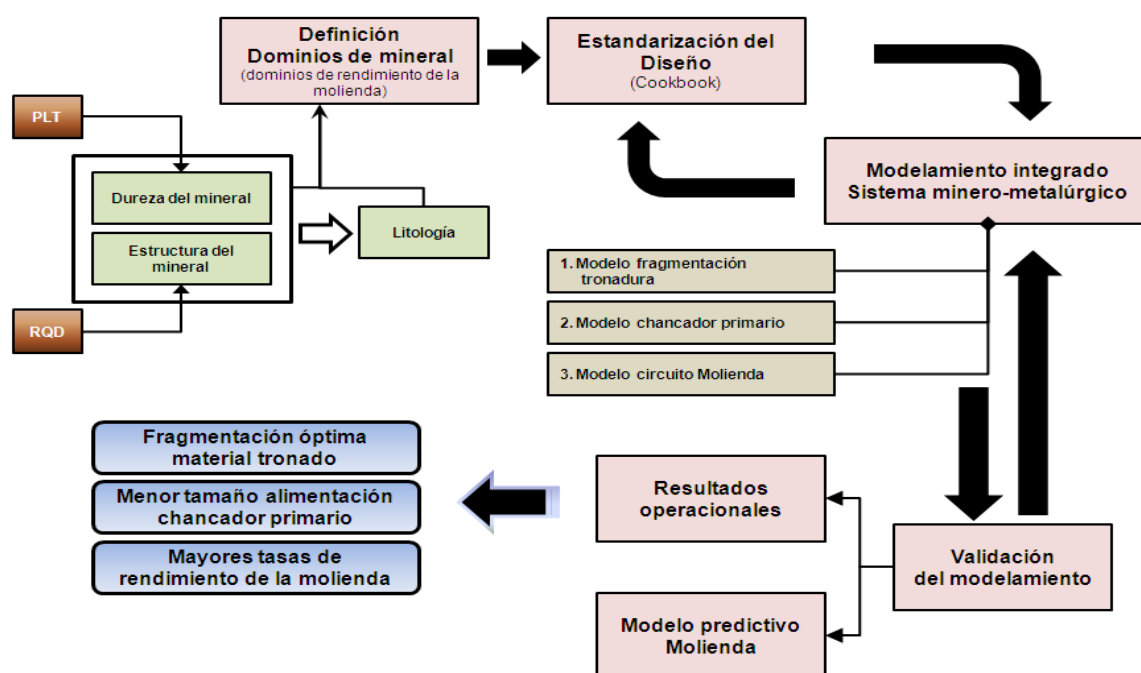


Figura 6.3 – Técnica operaciones integradas MMPT-AP [Realización personal]

La gráfica muestra que el primer paso es la recolección y análisis correlacionado, tanto de la dureza como de la estructura del mineral aplicado a cada grupo litológico presente en el macizo rocoso bajo estudio (PLT y RQD son los test respectivos).

A partir de lo anterior se identifican los sectores dentro del macizo rocoso, que presentan cierta homogeneidad descriptiva, a partir de los cual se definen los diferentes tipos de malla (parámetros del diseño) adecuadas para cada sector (dominio de fragmentación).

Posteriormente se recolectan los datos operacionales de Chancado y Molienda SAG y se confeccionan modelos de simulación y modelos predictivos de las variables operacionales respectivas, cerrando de esta manera el ciclo MRA-SAG.

Finalmente los modelos son validados a través de marchas de prueba, discusiones en terreno, pruebas de ajuste, re-modelados, etc.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

El sistema entrega dos salidas; modelos predictivos de la molienda y los resultados operacionales que finalmente “llevan” al sistema a la optimización de los procesos.

6.2.1.3 Condiciones de gestión necesarias para implementar el Mine to Mill

Los aspectos críticos que condicionan el éxito del Mine to Mill, lo constituyen:

1. La estructura organizacional
2. El sistema de gestión de operaciones
3. La cultura organizacional del “mundo” minero-metalúrgico

Con respecto al primer punto, se requiere que ambas unidades operativas (MRA y Planta) dependan de una sola gerencia de operaciones, la cual posea a su vez una visión holística de las operaciones y que genere el ordenamiento político tal que puedan ejecutarse los distintos cursos de acción que se hagan necesarios para operar los procesos en forma integrada.

Este ordenamiento político abarca una reconsideración de los siguientes complejos:

1. Complejo acción-liderazgo
2. Complejo incentivos-objetivos

Este último punto implica reconsiderar el sistema de objetivos existente en el SPMRA y por lo tanto revisar el foco donde están puestos los incentivos que finalmente determinan el comportamiento organizacional. Tal como ya se ha señalado, en un sistema APO y bajo el concepto actual de negocio minero centrado en los resultados y luego en los procesos de C&T, existen incentivos para maximizar la cantidad asociada al mineral tronado mas bien que para maximizar la calidad asociado a él y esto imposibilita de facto el éxito de una técnica MTM.

Con respecto al sistema de gestión de operaciones, que es el elemento que se analizará a continuación: éste posee varias aristas, componentes y alternativas, sobre todo desde el punto de vista de las herramientas de solución y lo convierten, por tanto en un núcleo más complejo.

Lo primero que es necesario considerar, es la forma como las distintas empresas en las cuáles existe un escenario de integración de operaciones, a partir de la técnica Mine to Mill MMPT-AP, han abordado este tema y comprender a partir de esas experiencias, cuáles son las condiciones de gestión que deberían existir en Andina.

Considérese tres empresas en las cuáles existe MTM MMPT-AP; Batu Hijau (Indonesia); Candelaria (Chile) y La Escondida de BHP Billiton (Chile).

De la primera solo sabemos que es una empresa que inicia sus operaciones el año 1999 y tres años más tarde se encuentra imbuida en un proceso de mejoras sistemáticas que lo llevan a implementar MTM MMPT-AP el año 2004. Por lo tanto, de esto se deduce que Batu Hijau es una organización con un marcado sentido de mejoramiento continuo.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

De las mineras chilenas identificadas se puede decir que están dentro del privilegiado grupo denominado por algunos como; *Six Sigma Enterprise*, es decir empresas que tienen implementada la herramienta *Six Sigma*, la cual es considerada por muchos autores como el primer hito de la irrupción de BPM como paradigma de gestión de operaciones (año 1986).

En efecto, ambas empresas implementaron Six Sigma con anterioridad al MTM.

Six Sigma, por otro lado, se podría definir como sigue: “En otras palabras Seis Sigma, es una filosofía de trabajo y una estrategia de negocios, la cual se basa en el enfoque hacia el cliente, en un manejo eficiente de los datos y metodologías y diseño robustos, que permite eliminar la variabilidad en los procesos y alcanzar un nivel de defectos menor o igual a 3,4 defectos por millón.” (Canales, 2002).

A partir de la definición anterior se destacan los siguientes elementos:

1. Enfoque hacia el cliente
2. Manejo eficiente de los datos
3. Manejo de metodologías y diseños robustos
4. Eliminar la variabilidad en los procesos

En relación con el cuarto punto, alguien se podría preguntar: ¿Cómo es posible eliminar la variabilidad en los procesos?

La respuesta a esta pregunta se haya implícita en la frase que mejor representa la filosofía *Six Sigma*, a saber; “***Si lo puedes medir, lo puedes controlar***” y por lo tanto si se puede controlar, recién se puede mejorar, por ejemplo, a través de la eliminación de la variabilidad operacional, lo cual pasa necesariamente por la suma combinada de liderazgo, cultura organizacional y técnicas de análisis estadístico bajo un enfoque Six Sigma.

Por lo tanto surge un quinto elemento caracterizador del Six Sigma:

5. Control estadístico de procesos

Por lo tanto, convéngase que, tanto Candelaria como La Escondida poseen un sistema de gestión de operaciones caracterizado por los cinco elementos consignados arriba.

Luego, MTM lo único nuevo que entrega a ese sistema de gestión, es el enfoque mina-planta, necesario para optimizar la operación de los procesos, fortaleciendo un escenario de mejoramiento continuo.

Luego, surgen dos escenarios generales a los cuáles se llega, a partir de todo lo mencionado anteriormente, a saber; **Integración de Operaciones** y **Mejoramiento Continuo** y son precisamente estos dos escenarios los que “llevan” a la eficiencia operacional y por la tanto a la contención de costos en un sistema minero-metalúrgico.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

A manera de resumen, la tabla siguiente identifica todos los elementos que debería poseer un sistema de gestión de operaciones tendiente a maximizar el potencial asociado al MTM.

Tabla 6.3 – Elementos Sistema Gestión de Operaciones con MTM [Realización personal]

ELEMENTOS SISTEMA GESTION OPERACIONES (escenario: con MTM)
Identificación de las variables críticas por procesos
Definición de medidas de desempeño por proceso
Alineación de los procesos bajo el enfoque en los clientes
Medición de variables operacionales bajo un criterio mina-planta
Empleo de metodologías sofisticadas de análisis de datos
Análisis de los datos asociados a las variables operacionales
Control estadístico de procesos
Minimización de la variabilidad operacional

Por lo tanto, el MTM es función de las siguientes condiciones necesarias agregadas:

Tabla 6.4 – Condiciones de gestión necesarias MTM [Realización personal]

Condiciones de gestión necesarias Mine to Mill
1. Gestión de la Calidad bajo un enfoque de control puesto en los procesos de negocio
2. Sistema de análisis de datos empleando técnicas de alta sofisticación (Control estadístico de procesos, data mining, modelos predictivos por variables críticas, etc.)

Por otro lado, es necesario mencionar las fortalezas de la organización (MRA-SAG) con respecto al MTM. La tabla siguiente enumera una serie de elementos existentes en Andina que favorecen un eventual proyecto de implementación de MTM.

Tabla 6.5 – Fortalezas Proyecto MTM en Andina [Realización personal]

	ELEMENTOS EXISTENTES EN ANDINA
Estructura organizacional	Sub-Gerencia de Operaciones
Proyectos en fase de estudio	Grupo Mine to Mill
	Control de la granulometría
Otros proyectos en fase de estudio	Costeo ABC operaciones-mina
	Cobertura y sistema informático P&T
Cultura organizacional	Buena disposición del Equipo de P&T al MTM

En conclusión, la técnica Mine to Mill optimiza la operación de los procesos minero-metalúrgicos alcanzando al mismo tiempo un escenario de Integración de operaciones, lo cual, a su vez es condición necesaria del Mejoramiento continuo de un sistema minero-metalúrgico e

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

indirectamente de la eficiencia operacional de dicho sistema. Pero esto requiere de un sistema de gestión de la calidad, del empleo de técnicas de análisis de datos, de un enfoque de control puesto en los procesos y de una estructura organizacional con un sistema de incentivos adecuados y la existencia de una visión operacional sistémica.

6.2.2 Criterios ISO 9001

Tal como ya se ha señalado, tanto en el capítulo 2 como en el capítulo 4, el sistema objetivo bajo consideración es un sistema con una alta tendencia a la variabilidad, particularmente, desde el punto de vista del cumplimiento del plan y desde el punto de vista del cumplimiento del diseño, lo cual guarda directa relación con las prácticas operacionales existentes y con la calidad de la gestión de operaciones propia del sistema.

Por lo tanto se hace necesario controlar y minimizar esa variabilidad a través de un sistema de gestión de la calidad.

Por otro lado, las empresas mineras que han implementado con éxito la técnica MTM, han implementado previamente *Six Sigma*.

En CODELCO Chile no existe un sistema de gestión de la calidad bajo el enfoque Six Sigma; de hecho CODELCO Chile y en particular la división Andina, está certificado ISO 9001 (Ver capítulo 2).

No obstante lo anterior y en lo que concierne a la MRA; no existe una propuesta concreta de calidad. En lo que se refiere a la Planta, esta posee una propuesta concreta de calidad, pero esta no incluye un sistema de control estadístico de procesos, lo cual hace que la situación sea aún más crítica.

En consecuencia, no se controla la variabilidad del sistema empleando alguna metodología estadística, bajo un enfoque, ya sea, *Three Sigma* o *Six Sigma*.

El presente estudio no tiene como objetivo, la formalización de una propuesta de implementación de la norma ISO 9001. Solo se identificarán los criterios correspondientes a esa norma que a su vez se correspondan con los elementos de gestión mencionados en los capítulos anteriores y que por lo tanto se hacen necesarios para diseñar aquella parte del sistema solución que resta, usando como contexto el hecho de que CODELCO está certificado ISO 9001.

Tanto la propuesta de gestión de la información como la propuesta de control de procesos bajo un esquema orientado a Business Intelligence así como la propuesta de Business Process Management considerarán uno o más de estos criterios .

El diseño del sub-sistema BPM, considerará, además como referencia, el estudio denominado; *Guía para una gestión basada en procesos*, realizado por el *Instituto Andaluz de Tecnología*, el cual se basa en los requerimientos contenidos en la norma ISO 9001.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Los criterios específicos de la norma ISO 9001 considerados en este estudio se listan en el Anexo 2 – Criterios de Calidad ISO 9001.

El objetivo de la norma ISO 9001 (2000) consiste en la identificación de los requisitos de un sistema de gestión de la calidad orientado a la maximización de la eficacia del sistema, que a su vez tiene como principal norte la satisfacción del cliente:

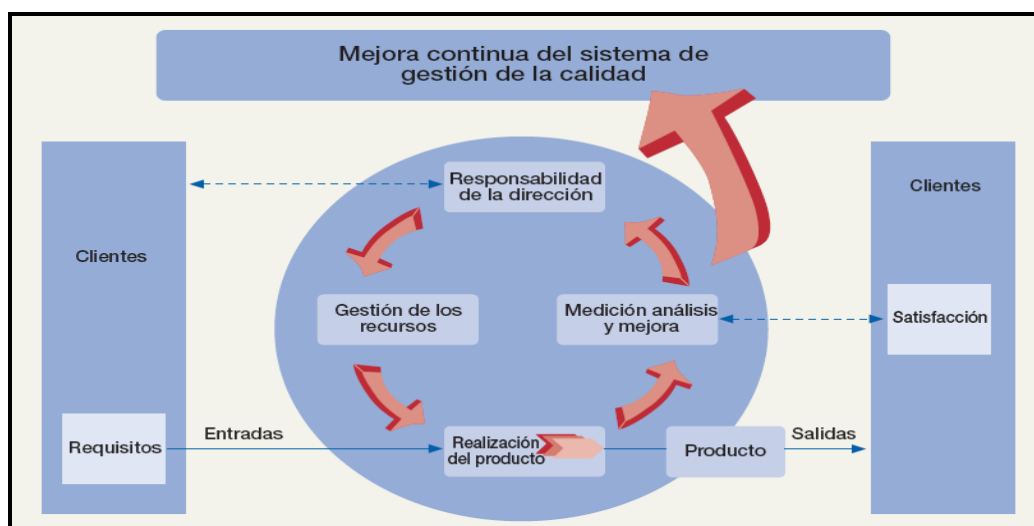


Figura 6.4 – Modelo Sistema Gestión de la Calidad basado en procesos [Fuente: ISO]

La figura anterior muestra que un sistema de gestión de la calidad del producto final se sustenta en un enfoque en el cliente, cuyos requisitos o demandas orientan la realización del producto, lo cual implica cierta satisfacción del cliente, lo que a su vez es medido y analizado, a partir de lo cual, se orienta la mejora continua del sistema; es decir: un sistema “lo hace bien” cuando el cliente está satisfecho con los productos del sistema.

Convéngase que en este estudio, se optará por la generalización de los conceptos cliente y proveedor; en el sentido que todos los procesos serán considerados clientes y proveedores al mismo tiempo; un proceso cualquiera es proveedor del proceso que le sigue y al mismo tiempo será cliente del proceso que lo antecede en la secuencia operacional (Ver Enfoque del estudio). Por lo tanto, el concepto producto, se aplicará aquí, al output de cada proceso.

No se harán diferencias entre las expectativas del cliente y las especificaciones del producto. Del MTM se sabe que el diseño se puede alinear con la Molienda SAG y por lo tanto, provocando que la Tronadura se alinee con esta. A su vez, se asume que el SAG está previamente alineado con la Flotación. Es decir, bajo este esquema, las especificaciones del producto se diseñan considerando las expectativas de los clientes.

El tipo de gestión de calidad desarrollada en este estudio corresponde al denominado, *Aseguramiento de la Calidad* y que se caracteriza fundamentalmente por un enfoque en los procesos productivos y en la eficacia, por la armonía entre las especificaciones del producto y las expectativas de los clientes, por el control de los proveedores y por un seguimiento desde el diseño hasta la entrega del producto (Calidad práctica, p. 18).

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

6.2.3 Business Process Management

6.2.3.1 Concepto

En este capítulo se introducirá brevemente, el paradigma de gestión denominado Business Process Management (en adelante BPM) y en los anexos respectivos se desarrollará tanto una primera aproximación de una propuesta de implementación de BPM en el sistema objetivo como la descripción y análisis de la estructura de procesos del SPMRA.

En este apartado se considerará el texto *Business Process Management*, publicado en Estados Unidos, el año 2006 por John Jeston y Johan Nelis.

Considérese la siguiente definición de BPM que consigna el texto: “Consecución de la estrategia organizacional a través de la gestión, control y mejoramiento de los procesos de negocio relevantes” (Jeston y Nelis, 2006).

BPM es un paradigma de gestión que se focaliza en los procesos, mas que en las unidades funcionales y por lo tanto define una estructura de gestión transversal a estas últimas. Lo anterior tiene una enorme cantidad de implicancias desde todas las perspectivas imaginables; política organizacional, cultura organizacional, gestión de proyectos, TI, etc.

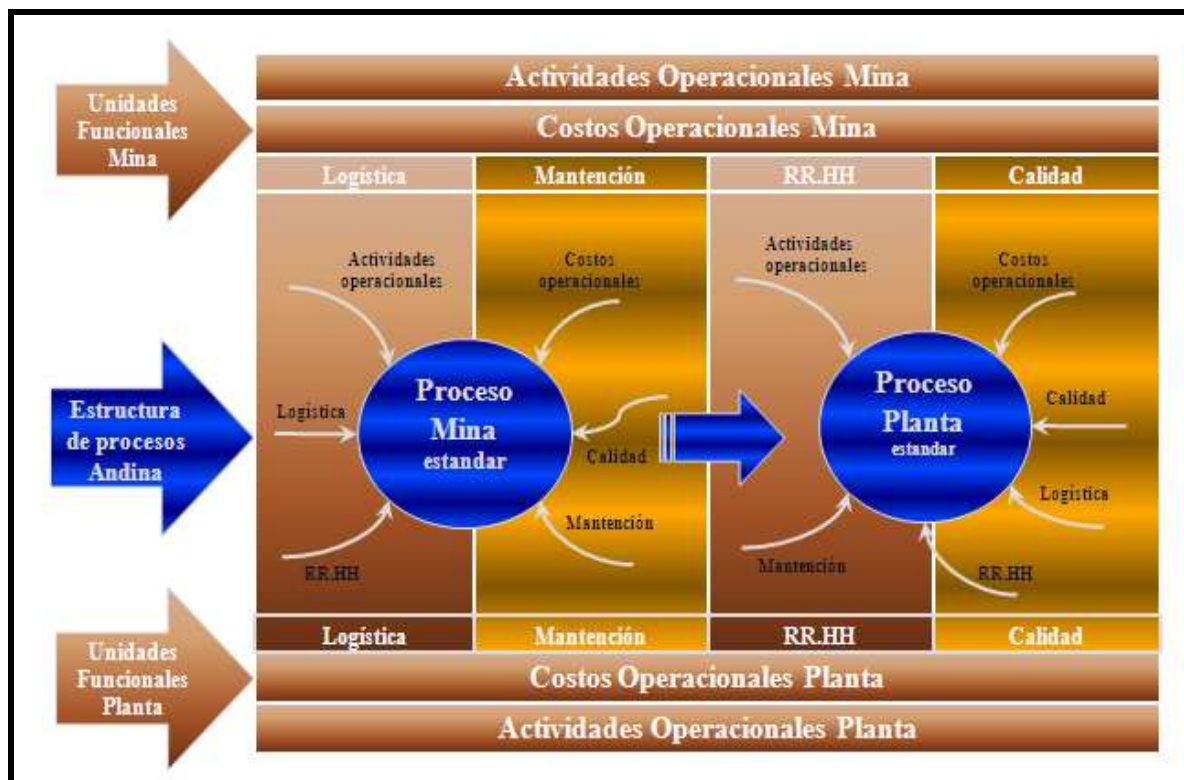


Figura 6.5 – Modelo Business Process Management [Realización personal]

En este estudio y por lo tanto, desde el punto de vista de su eventual implementación en el sistema objetivo, BPM será entendido como un concepto de gestión de operaciones, el cual

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

apunta a la consecución de una estrategia particular del negocio a través de la medición, control, análisis y mejoramiento de los procesos de negocio, considerando en cada uno de ellos, todas las dimensiones funcionales que sean necesarias para estos fines.

Como consecuencia de lo anterior, más que medir el comportamiento, por ejemplo: de la logística como unidad, se debe medir el comportamiento logístico de cada uno de los procesos de negocio; por ejemplo: la relación entre la demanda de suministros de un proceso cualquiera y la oferta que hace la entidad suministradora, a partir de lo cual medir el impacto de esta situación en el desempeño general del proceso, adquiriendo con ello un criterio que permita, finalmente mejorar el proceso.

La definición menciona el concepto: *proceso de negocio relevante*, (en realidad el concepto original es *key process*; proceso de negocio clave). Luego, BPM no plantea controlar todos los procesos de igual forma sino más bien, propone un sistema de gestión que enfatiza el control en aquellos procesos que son más relevantes para el resultado final del negocio.

Luego, surge la siguiente pregunta: ¿Cuál es el criterio que determina la identidad de los procesos relevantes del negocio? No existe un criterio único, este dependerá del negocio y principalmente de la estrategia del negocio.

En este caso particular y a partir de todo lo mencionado en el capítulo 4 y lo discutido en materia de MTM (Anexo 1 – Técnica Mine to Mill), se propone el siguiente criterio: “Se define como criterio de identificación de los procesos claves del negocio, el nivel de influencia de un proceso sobre los demás, en vez de considerar el nivel de gasto de estos” (Enfoque del estudio).

6.2.3.2 Factores críticos de un proyecto de mejoramiento continuo

Tal como señala la definición anterior, una de las consecuencias directas de implementar BPM en una organización, es el mejoramiento continuo de los procesos de negocio como medio para la consecución de la estrategia organizacional.

Razón por la cual algunos autores clasifican a los proyectos BPM como proyectos de mejoramiento continuo y por lo tanto, implementar BPM en una organización equivale de alguna u otra forma, a implementar continuamente proyectos de mejoramiento de los procesos de negocio, preferentemente de los procesos de negocio relevantes.

Luego, BPM puede ser entendido como un proyecto agregado, compuesto por una cantidad indeterminada de proyectos de mejora, realizables en diferentes períodos de tiempo y por lo tanto, bajo la dirección de un ente coordinador que los gestione simultáneamente.

BPM también puede ser entendido como un proceso en sí mismo y por lo tanto como una unidad funcional agregada que entrega productos (mejoras en los procesos) a partir del procesamiento de entradas (proyectos de mejora de los procesos).

Por lo tanto se hace necesario identificar los factores críticos del mejoramiento continuo de los procesos. El modelo de Jeston y Nelis propone los siguientes factores críticos:

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

1 Procesos: Debe existir un conocimiento completo de los procesos, esto es; un conocimiento acabado de cada una de las dimensiones que influyen tanto su desenvolvimiento como sus resultados y que en última instancia, condicionan su mejoramiento. Las principales dimensiones del conocimiento, asociadas a los procesos del sistema objetivo, identificadas en este estudio, son las siguientes:

- Una comprensión de los procedimientos asociados a cada uno de ellos.
- Claridad de cuáles son los sistemas multivariables que existen en la estructura de procesos; la composición de cada uno de ellos, los procesos que abarcan y la forma como estos se relacionan entre si.
- Claridad de cuál es el criterio que permite identificar los procesos claves del negocio, lo cual permita a su vez orientar el mejoramiento continuo de los procesos, en torno a una estrategia de negocios previamente definida.
- Claridad de cómo el comportamiento organizacional afecta a los procesos y por lo tanto, claridad de cuál es la relación entre el sistema de incentivos, la estructura sindical, el grado de coordinación entre las unidades funcionales, el estilo de liderazgo, etc. y el desenvolvimiento de los procesos

2 Personas: La ejecución de un proyecto BPM depende de las acciones de muchas personas, las cuales proceden de todas las unidades funcionales involucradas en el proyecto. Esto, a su vez, implica lo siguiente:

- Existencia de un adecuado sistema de gestión que sea capaz de medir y controlar el desempeño de personas que pertenecen a unidades funcionales diferentes, lo cual implica, a su vez la existencia de tecnologías de la información adecuadas (desarrollo de análisis de orientación predictiva)
- Existencia de un liderazgo proactivo sostenido fuertemente por una estructura de gestión de orientación predictiva
- Existencia de un alto nivel de compromiso por parte de todas las personas involucradas en el proyecto, lo cual exige que el equipo de trabajo, gestione el proyecto al interior de la organización de tal suerte de ir sumando las opiniones, iniciativas y apoyo de todos los involucrados

3 Tecnología: La metodología de gestión de proyectos BPM concibe el aporte que debe realizar la TI al proyecto, en el marco de un concepto mayor denominado *Process to Application*, el cual considera a las TI como un soporte de gestión de los procesos y las personas involucradas. Primero se adquiere conocimiento acerca de la estructura de procesos y humanas y después se modela e implementa el sistema electrónico de medición y control adecuado. Esto exige que la TI involucrada se caracterice por lo siguiente:

- Existencia de un diseño flexible y dinámico que sea capaz de abordar los nuevos elementos de juicio que puede entregar la evolución normal de un proyecto de mejoramiento continuo, lo cual a su vez exige el empleo de una serie de técnicas informáticas tales como; encapsulación de códigos, automatización de procedimientos de análisis, modelamiento flexible de sistemas, etc.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

- Debe ser capaz de medir todas las variables pertenecientes a cada una de las dimensiones de los procesos relevantes de negocio, consideradas en el proyecto. De esta manera será posible monitorear el desarrollo del proyecto y tener claridad del impacto de la mejora en el proceso.

4. Coordinación única de un proyecto BPM: La realización de un proyecto BPM implica la existencia de un equipo de trabajo multidisciplinario con gran capacidad de acción y autoridad al interior de la organización, pues, como se mencionó anteriormente, la implementación de BPM en una organización equivale a estudiar, evaluar, implementar y controlar una cantidad indeterminada de proyectos de la mas variada índole, lo cual a su vez hace necesario que el equipo cuente con la mayor cantidad de habilidades técnicas, abarque la mayor cantidad de disciplinas de ingeniería y sea reconocida en toda la organización. Entonces se hace necesario lo siguiente:

- La coordinación debe reflejarse en la existencia de un entendimiento común, lo cual debe abarcar aspectos tan variados tales como; el conocimiento y control de los procesos, el desempeño personal a través de medidas de desempeño estandarizadas, el empleo de un sistema de medición y control común, la gestión común de todos los proyectos involucrados, la existencia de un sistema de incentivos adecuados y coherente en toda la línea operativa, tal que posibilite el nivel de compromiso demandado por el proyecto, entre otros.
- Gran capacidad para poder coordinar, ya sea una cantidad indeterminada de grupos de trabajo como una cantidad indeterminada de proyectos de distinta disciplina.
- Existencia de un sistema de comunicación efectivo y fluido entre los diferentes niveles y unidades involucradas.
- Consistencia entre la estrategia del negocio, los objetivos del proyecto BPM, la naturaleza de los proyectos que integran el macro proyecto BPM, los objetivos por proceso y las medidas de desempeño definidas para los procesos en la fase de levantamiento y análisis de procesos, etc.
- Consistencia entre todos los proyectos que integran el macro proyecto BPM
- Que cada proyecto, efectivamente agregue valor al proyecto BPM central y que no existan redundancias entre ellos

6.2.3.3 Fases de una estructura de trabajo BPM

A partir de todo lo mencionado arriba se hace necesario una estructura de trabajo (*framework*) flexible y amplia tal que todos los proyectos involucrados puedan ser gestionados y controlados por ella. Esto último recalca la importancia de la naturaleza multidisciplinaria del equipo de trabajo, las capacidades técnicas, la tecnología empleada, entre otros. Esta estructura de trabajo se compone de los siguientes elementos:

1. Gestión
2. Liderazgo
3. Macro proyecto BPM

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

El modelo de Jeston y Nelis propone diez fases para una estructura de trabajo que deba soportar un macro proyecto BPM. Estas fases son las siguientes:

1. **Estrategia Organizacional:** Tal como se mencionó en la definición, BPM propone una metodología de gestión que apunta a la consecución de la estrategia del negocio. Esto último es relativo y dependerá del caso bajo estudio; en algunos, se usará como referencia la actual estrategia del negocio y en otros, se definirá una nueva estrategia que guíe un plan de desarrollo bajo una concepción diferente del negocio. En cualquier caso, BPM opera en el marco de esta planificación estratégica, como una metodología táctica que materializa una estrategia del negocio. En este estudio, se propone una planificación estratégica orientada a la contención de costos y por ende, se propone BPM como parte de ese plan estratégico.
2. **Arquitectura de procesos:** Esta fase es la más conocida de todas las fases que componen una estructura BPM y generalmente se cree que en sí misma corresponde a BPM. Comprende los tres primeros escenarios de la Cadena de valor de este estudio (Ver apartado 6.1.2), vale decir; al levantamiento de procesos, la descripción de procesos (mapeo) y el análisis de procesos.
3. **Entendimiento de los procesos de negocio:** A partir del modelado de la arquitectura de procesos, lo cual debería incluir un modelo estandarizado de bajo nivel (por ejemplo: *BPMN*) o uno de alto nivel (por ejemplo modelado en *ARIS*) se procede a la generación de un entendimiento común asociado a los procesos (Compárese con Coordinación única proyecto BPM), lo cual incluye aspectos tan diversos como:
 - i) Procedimientos, sistemas multivariables, relación inter e intra procesos
 - ii) Identificación de los procesos relevantes
 - iii) Identificación de fuentes de mejora
 - iv) Modelos de costos (*process baseline cost*)

Lo anterior está condicionado necesariamente por la complejidad asociada al sistema objetivo, por la calidad asociada tanto a los sistemas de gestión como a las tecnologías de información presentes en la organización, por la cultura organizacional y sobre todo por la existencia y calidad asociada al levantamiento de procesos efectuado en las etapas previas. En efecto, si la organización posee un soporte informático de alta calidad, tendría que resultar más fácil demostrar muchos de los aspectos enumerados arriba, brindándole mayor credibilidad a las conclusiones resultantes del levantamiento de procesos. Esto último no es el caso para el sistema bajo estudio debido principalmente a todas las falencias que caracterizan a la organización y que han sido ampliamente descritas en el capítulo 2 de este estudio. Por lo tanto un sistema como el SPMRA, requeriría de una fase introductoria para sentar las bases de una estructura BPM, sobre todo en materia informática.

4. **Plataforma de lanzamiento (*Launch pad*):** Esta fase define donde iniciar el proyecto BPM. Las dos últimas fases entregaron una idea del estado actual de los procesos y luego, entregaron las claves para definir el *punto* desde donde intervenirlos. Cuando el nivel de desarrollo de los procesos es alto, el macro proyecto BPM tendría que carecer de aquellos proyectos destinados a fortalecer una estructura BPM y solo estaría compuesto de proyecto

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

especializados en determinadas dimensiones o áreas. Por el contrario, si la organización muestra un nivel bajo de desarrollo de los procesos, el proyecto BPM se compondrá de una primera fase intensiva en proyectos destinados a crear una adecuada estructura de orientación al proceso. En el caso bajo estudio y tal como se ha mencionado anteriormente, existen necesidades básicas que deben ser satisfechas antes de implementar un proyecto BPM y por lo tanto se hace necesario una fase inicial, en la cual se genere una estructura de gestión básica orientada a BPM. En esta fase se define el macro proyecto BPM y sus proyectos componentes a partir de la estrategia del negocio y de los objetivos de largo y corto plazo definidos para cada uno de los procesos intervenidos. Estos objetivos se alinean con la estrategia del negocio y la arquitectura de procesos garantiza que estos, agreguen valor a la estrategia. También se define el equipo de trabajo, las metas y beneficios esperados, el sistema de incentivos necesario y todo aquello que será necesario para implementar un proyecto BPM.

5. **Innovación:** Según el modelo, este es el nombre que se le da a una etapa que se nutre tanto de la Ingeniería conceptual (simulaciones, sensibilización de variables, comparación de escenarios, análisis estadístico, etc.) como de las técnicas de calidad (lluvia de ideas, análisis de Pareto, análisis causa-efecto, árboles de decisión, etc.). Por lo tanto, en esta etapa se determina o estima formalmente (matemáticamente) que las innovaciones propuestas constituyen realmente una mejora para el o los proceso(s). En esta etapa se podrían reformular algunos elementos adquiridos en las fases 2 y 3 y por lo tanto se podría redefinir el punto de lanzamiento del proyecto.
6. **Desarrollo:** Esta fase corresponde a una fase de desarrollo del sistemas solución, lo cual podría implicar desarrollo de sistemas electrónicos (software y/o hardware) o cualquier otro sistema, metodología, mecanismos, etc. que una vez implementados tendrían que significar una mejora para uno o más procesos.
7. **Personas:** Esta fase es poco habitual en otros modelos y de alguna manera revela la enorme importancia que tiene el compromiso de las personas en el éxito de un proyecto BPM (Compárese con lo dicho en el apartado anterior). Básicamente, consiste en el monitoreo de las personas con respecto al uso del sistema solución, lo cual presupone la existencia de una fase de pruebas o marcha blanca, de encuestas de opinión o de algún mecanismo definido previamente, destinado a estudiar el comportamiento de las personas. Esta fase, de hecho, se mantiene en el tiempo inclusive después de la implementación y tiene como objetivo controlar el uso que las personas le den al sistema.
8. **Implementación:** Es bien poco lo que se puede decir de esta fase, salvo que corresponde a la implementación del sistema solución en el sistema objetivo.
9. **Realización de valor** y 10. **Desarrollo sostenible:** Estas fases en conjunto constituyen innovaciones introducidas por este modelo y dicen relación con el monitoreo continuo que debe ser objeto el sistema solución en su relación con el sistema objetivo. La fase 9 chequea que la solución efectivamente entregue valor al macro proyecto BPM y la fase 10 se preocupa de la constante validación de la solución frente a cambios sufridos en el entorno del

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

sistema, nuevas necesidades sistémicas que satisfacer y por lo tanto se preocupa de la sustentabilidad del macro sistema: solución-objetivo.

Es necesario hacer las siguientes salvedades antes de cerrar este apartado:

1. Esta estructura de trabajo de algún modo nos recuerdan que BPM puede ser entendido como un proceso en si mismo donde cada proyecto o instancia BPM, que ingresa al sistema, atraviesa por algunas de estas fases hasta salir de él convertido en una mejora sustentable en el tiempo.
2. No todas las fases se realizan periódicamente; en efecto: las fases 1 a la 4 generalmente se desarrollan una sola vez y salvo eventuales reconsideraciones o cambios en el negocio, estas fases son válidas para una gran cantidad de proyectos de mejora que ingresen al sistema.
3. A partir de lo mencionado en el punto anterior, se concluye que las fases 1 a la 4 se constituyen, de alguna manera, en condiciones necesarias de BPM en tanto sistema de gestión y por la misma razón, muchos autores al hablar de BPM se refieren exclusivamente a estas etapas (en otras palabras; BPM no es equivalente a levantamiento de procesos más mapeo de procesos más modelado de procesos más análisis de procesos. Estas son solo algunas de las fases de la estructura de trabajo).
4. En función de todo lo mencionado anteriormente, es prácticamente imposible implementar una estructura de trabajo que soporte un macro proyecto BPM y por lo tanto es prácticamente imposible implementar BPM, sin un adecuado sistema de medición y control, pues este está presente como requisito en casi todas las fases de la estructura de trabajo anteriormente descrita.

6.2.3.4 Primera aproximación implementación BPM en Andina

En este estudio se desarrollará una primera aproximación a una propuesta de implementación de Business Process Management en la División Andina de CODELCO.

La propuesta se compondrá de dos partes:

1. Aproximación a las fase 1, 2 y 3 del modelo de Jeston y Nelis
2. Perfil de un macro proyecto BPM propiamente tal, compuesto a su vez por una cantidad de proyectos necesarios para sentar las bases en la División Andina, de un sistema de gestión centrado en procesos

La primera se puede apreciar en el Anexo 3 – Descripción y Análisis de la Estructura de procesos y la segunda se puede apreciar en el Anexo 9 – Primera Aproximación Implementación BPM en Andina.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Con respecto a la primera parte, es necesario hacer algunas consideraciones:

1. La fase 1 ya fue abordada en la definición del sistema solución, cuando se justificó y formuló la planificación estratégica del estudio. En ese momento se propuso un plan estratégico orientado a la contención de costos y BPM se propuso como una táctica dentro de ese plan estratégico.
2. La fase 2 (Arquitectura de procesos) será abordada en el anexo mencionado anteriormente y abarca los dos primeros escenarios de la cadena de valor de este estudio (levantamiento de procesos y descripción de los procesos).
3. Tanto la fase 3 (Entendimiento de los procesos) como el análisis de los procesos y luego parte de la fase 2, están presentes en todo este estudio, particularmente en el capítulo 4 (Análisis del sistema objetivo) y en los análisis de minería de datos realizados en los sistemas multivariados; Geológico-Geomecánico, Diseño-Perforación, Tronadura y Molienda SAG, cuyas conclusiones finales se muestran en el Anexo 6 – Resultados Estudio Data mining y cuyos detalles se muestran en el CD adjunto.

Con respecto a la segunda parte es necesario realizar las siguientes salvedades:

1. El objetivo principal apunta a la determinación de los proyectos que es necesario implementar en la División Andina tal de fortalecer una estructura BPM.
2. Cuando se habla de BPM se está hablando de dos cosas; un enfoque de gestión centrado en los procesos y un macro proyecto compuesto de una serie de proyectos de mejora enfocado en los procesos y soportado por una estructura de trabajo que los gestione de manera conjunta. Luego, la clave para identificar estos proyectos componentes radica en la importancia decisiva que tienen en la generación de las condiciones de gestión necesarias identificadas en la definición del sistema solución y por lo tanto, relacionadas directamente con la implementación de cada uno de los tres subsistemas del modelo de gestión de operaciones propuesto en este estudio.

Antes de cerrar el capítulo se consideraran las siguientes ideas relacionadas con la metodología necesaria para abordar el modelamiento de BPM en un sistema objetivo determinado.

1. Se hace necesario agregar el foco del impacto del mejoramiento y desagregar el foco de la implementación y control de la mejora. Si se desea implementar una mejora en un proceso es recomendable considerar el impacto de ella, no solo dentro del proceso sino fuera de él; de hecho esa mejora puede ser más útil *aguas abajo* que en el propio proceso. Por otro lado,

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

focalizarse en un solo proceso (*key process*) esperando consecuencias en uno o más procesos *aguas abajo*, es más eficiente y rentable que controlarlos de acuerdo a su nivel de gasto y pasando por alto el tipo de relación existente entre ellos.

2. La búsqueda de procesos relevantes es la búsqueda de los procesos más influyentes entre los procesos que componen un macro proceso. Esto también es válido para la búsqueda de las variables críticas al interior de los sistemas multivariados.
3. La dirección del proyecto BPM debe operar desde un nivel macro, en cambio el sistema de medición debe hacerlo desde un nivel micro. Si bien es cierto, la dirección de proyectos debe tomar decisiones generales, estas deben basarse en información proveniente desde todos los sistemas multivariados desagregados.
4. La determinación de los procesos relevantes es función del conocimiento asociado a un macro proceso y/o a toda la estructura de procesos y por lo tanto se hace necesario medir, controlar y analizar todos los procesos. Esto es válido para cualquier etapa de un proyecto BPM.
5. La determinación de los objetivos por proceso y luego la determinación tanto de las variables críticas como de sus medidas de desempeño son funciones del conocimiento asociado a un macro proceso y/o a toda la estructura de procesos y por lo tanto tienen que ver más, con el valor agregado por el proceso al producto final que con consideraciones de orden local. Luego, se ratifica la necesidad de acceder a un nivel de conocimiento de toda la estructura de procesos (*integración del conocimiento de la estructura de procesos*).
6. Se propone abordar la cultura organizacional NO frontalmente lo cual no es equivalente a NO abordar la cultura organizacional. Luego, se propone abordar la cultura organizacional parcial e indirectamente, lo cual a su vez significa; centrarse en el comportamiento organizacional y en los factores que determinan este comportamiento, vale decir: el complejo acción-liderazgo y preferentemente el complejo incentivos-objetivos.

6.2.4 Esquema Business Intelligence

6.2.4.1 Objetivos de la captura y almacenamiento de datos

El objetivo principal que se persigue en una organización, con el almacenamiento de datos, es desarrollar un proceso paralelo al proceso de negocio central. Este proceso consiste en el procesamiento de grandes colecciones de datos provenientes de las distintas variables de cada una de las distintas dimensiones operacionales que definen este proceso central.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Este procesamiento de datos entrega una perspectiva del conocimiento operacional distinta y complementaria a la tradicional, la cual se caracteriza por un entendimiento creciente de la complejidad asociada al negocio a partir del entendimiento del comportamiento de las distintas variables que lo conforman.

Luego, los datos fluyen desde las distintas fuentes asociadas a las distintas unidades funcionales existentes en el negocio, estableciéndose de esta manera un nuevo centro receptor de datos y al mismo tiempo, emisor de nuevos datos, información e inclusive conocimiento (esto último, en el caso de análisis de datos empleando data mining).

La principal característica de este nuevo centro informativo es que es capaz, al menos teóricamente, de almacenar datos provenientes de todas las fuentes informativas, pasando con ello de un escenario caracterizado por una gran dispersión de la información a uno en que toda la información, o al menos la mayoría de ella se puede localizar en una única fuente.

Por otro lado, una de las principales características del procesamiento de datos es la sinergia resultante de poder analizar conjuntamente, colecciones de datos asociados a un set de varias variables, lo cual resulta ser poderosamente útil cuando las variables en cuestión pertenecen a dimensiones distintas de la realidad operacional.

A todo el complejo descrito anteriormente, vale decir: software, hardware, personas involucradas, flujos de datos, etc. se le llama generalmente Sistema de Información y el subsistema automatizado, recibe el nombre de Sistema Informático.

6.2.4.2 Perspectivas de un Sistema de Información

El almacenamiento y procesamiento de datos posee un alto potencial, el cual se traduce en una serie de funciones que benefician a la organización. Estas funciones constituyen las diversas perspectivas que posee un sistema de información y que se detallan a continuación:

1. **Perspectiva Informativa pura:** Dice relación con el almacenamiento y análisis de los datos provenientes del flujo informativo existente al interior de la organización.
2. **Perspectiva de Calidad:** Podría servir de soporte electrónico para algunos de los criterios de la norma ISO 9001 y por lo tanto para apoyar la implementación de una propuesta de Calidad.
3. **Perspectiva de Control:** En la práctica el control de las operaciones se realiza a partir del procesamiento y análisis de ciertos datos provenientes de las fuentes asociadas a las unidades funcionales.
4. **Perspectiva de Integración:** Puede entregar un criterio informativo integrado a partir del procesamiento de datos provenientes de varias unidades operativas lo cual serviría para apoyar un proceso de integración de operaciones (nótese que esta perspectiva de integración deriva necesariamente en una perspectiva de control único).

- 5. Perspectiva de Conocimiento:** Esta perspectiva esta fuertemente relacionada con un tipo particular de sistema informativo comúnmente denominada *Business Intelligence*. Esta perspectiva consiste en la obtención de conocimiento del negocio a partir del análisis conjunto focalizado en el comportamiento de las distintas variables operacionales.

En este estudio se considerará, solo para efectos analíticos, a la perspectiva de Calidad y de Control dentro del subsistema de Control de procesos, separándolas de esta manera del subsistema de información propiamente tal.

6.2.4.3 Características del Sistema de Información propuesto

El presente apartado tiene por objeto detallar el tipo de sistema de información que se propone en este estudio para abordar la problemática informativa asociada al sistema objetivo antes descrito.

1. El enfoque de gestión centrado en procesos, demanda la necesidad de un sistema de información que pueda medir las variables pertenecientes a cada una de las dimensiones operacionales de cada uno de los procesos.
2. Se necesita un sistema de información orientado al mejoramiento continuo de los procesos y que por lo tanto pueda medir las entradas y salidas, la variabilidad asociada a ellas y que al mismo tiempo pueda distribuir la información respectiva posibilitando de esta manera el análisis de los procesos.
3. Por tratarse de un proceso productivo realizado por una gran cantidad de máquinas y equipos, se necesita de un subsistema de captura de datos de primera fuente, compuesto de sensores que sean capaces de alimentar bases de datos estacionarias en condiciones de alta confiabilidad, lo cual plantea la necesidad de una capacidad instalada previa (hardware). Esto último implica medir todo aquello que se necesite medir y medir con una buena confiabilidad todo aquello que ya se mide y que tiene asociado una mala confiabilidad y esto hace que el sistema de información caracterizado en el punto 1 y 2, tenga asociada una complejidad previa que viene dada por una eventual inversión en cualquiera de las dos líneas anteriores (esto se traduce en la necesidad de proyectos de inversión tecnológica destinados, ya sea a mejorar la confiabilidad de algunos sensores como a medir aquellas variables que aún no se miden).
4. Anteriormente ya se mostró la necesidad de un sistema de información integrado el cual provea de un criterio informativo mina-planta y que por lo tanto pueda almacenar, desplegar y procesar grandes colecciones de datos provenientes de todos los sistemas multivariados identificados en el capítulo 4. Esto implica una voluntad superior a los intereses particulares de cada gerencia y la tecnología necesaria tal de poder *alimentar* un sistema informático

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

único a partir de los datos en distintos formatos provenientes de una gran cantidad de fuentes de información.

5. Tanto la multidimensionalidad como la necesidad de una plataforma que soporte datos en varios formatos y que provengan de varias fuentes informativas, hace necesario la existencia de un **Data Warehouse**, vale decir de una base de datos multidimensional.
6. Por otro lado, la variabilidad tanto intrínseca como extrínseca asociada al sistema operacional, la complejidad inherente al sistema objetivo y la necesidad de alcanzar una perspectiva del conocimiento del sistema de procesos paralela a la existente, hacen necesario el empleo de una variada gama de técnicas de análisis, modelamiento y simulación. Por lo tanto, surge la necesidad de disponer de modelos de escaneo de procesos del tipo **Data Mining**, modelos predictivos por variable, modelos de simulación, control estadístico de procesos, entre otros. Además es necesario, automatizar la mayor cantidad de modelos de tal suerte de generarlos, actualizarlos y manipularlos en función de las actualizaciones que experimente la base de datos central; es decir: se necesita de **Aplicaciones Inteligentes** que se traduzcan en **Visualizaciones Interactivas** focalizadas en las necesidades informativas de los usuarios. Finalmente se necesita distribuir la información a toda la organización, en diversos niveles de detalles, es decir; **Reporting**.
7. Los dos puntos anteriores llevan a plantear la necesidad de un sistema **Business Intelligence**.

6.2.4.4 Definición de Business Intelligence

Es necesario subrayar que en este estudio no se modelará un sistema Business Intelligence (en adelante BI), pues esto trasciende con creces a los objetivos del mismo y por lo tanto se hará abstracción de los detalles técnicos asociados a BI.

Solo se introducirá brevemente el concepto de BI, sus elementos componentes y algunas de las características que posee.

No existe una definición de BI compacta y amplia al mismo tiempo. BI envuelve muchos elementos que forman parte de otros sistemas tales como; *Sistema de Información Ejecutivo y Warehousing*. Sin embargo una aproximación a ella sería la siguiente: BI es todo aquello relacionado con la captura, almacenamiento, acceso, entendimiento, análisis y transformación de los datos en información y conocimiento, utilizables en el mejoramiento del negocio.

Se desprende de lo anterior que los datos constituyen un activo de la organización y que BI en sí mismo es un proceso que genera información y conocimiento a partir del tratamiento de los datos.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

El objetivo que persigue BI, es apoyar el mejoramiento continuo de la organización a partir de una toma de decisiones informada y racional, entregando para ello, la información correcta en el momento oportuno y en la forma requerida por los distintos actores involucrados en dicha toma de decisiones.

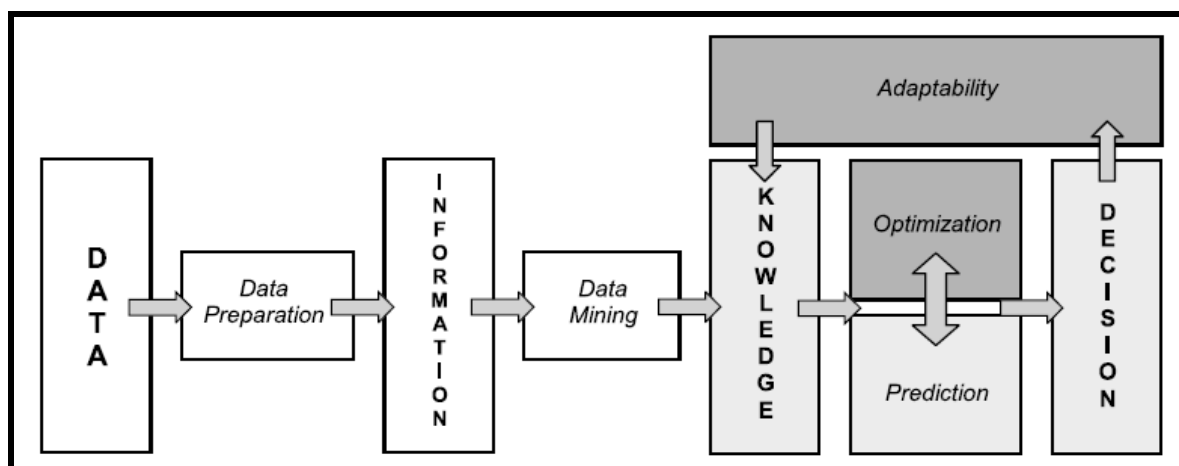


Figura 6.6 – Esquema Business Intelligence [Fuente: Adaptive Business Intelligence, 2007]

La figura 6.6 muestra un concepto particular de BI, a saber; el de Inteligencia del negocio ajustada a partir de modelos predictivos, de optimización y simulación. En estricto rigor este es el tipo de sistema BI propuesto en este estudio, pues estas son las herramientas de análisis que se propondrán en los apartados siguientes.

Además, el concepto de Adaptive BI abarca el concepto de feedback presente en el control de procesos y por lo tanto presente en el mejoramiento continuo y luego, plantea la necesidad de construir una capacidad por parte de la organización de adaptarse o ajustarse a partir de la resultante del complejo conocimiento-decisión-acción (Adaptive Business Intelligence, 2007).

Adaptive BI entrega un soporte analítico y tecnológico al mejoramiento continuo y de esta manera estandariza, automatiza y fortalece un sistema de mejoramiento continuo en ejercicio. En otras palabras, Adaptive BI es el complemento analítico-informático de un sistema de mejoramiento continuo.

La implementación de BI a semejanza de BPM implica tanto, la necesidad de una estructura de trabajo especializada como de un equipo de trabajo especializado (analistas, modeladores, programadores, mantenedores de sistemas, etc.)

De alguna manera BI lleva a la práctica un proceso de “democratización” de la información, al procesar en una misma plataforma toda la información dispersa en la organización y que antes de la implantación de BI solo era conocida por los involucrados directos. Posteriormente, se procede a su distribución a toda la organización en función de las necesidades específicas de los actores involucrados (jerarquía organizacional, unidades funcionales, operadores de procesos, etc.)

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Nótese la relación de BI con APO y BPM. Bajo APO, no interesa controlar a nivel desagregado y los objetivos están puestos en las unidades funcionales (MRA y Planta en el caso del sistema objetivo) y por lo tanto no existen muchos incentivos para la implantación de BI y de esta manera la información permanece dispersa. Bajo BPM, por el contrario, se hace necesario controlar a nivel desagregado y en particular se hace necesario monitorear todas las dimensiones de los procesos y por lo tanto existen incentivos para implantar BI.

Los elementos de un sistema Business Intelligence son los siguientes:

- 1. Data Warehouse:** Generalmente, la información se encuentra dispersa en toda la organización a través de hojas de cálculo, BDs, etc. Se debe reunir toda la información dispersa y poder gestionarla desde un mismo sitio. Lo anterior pasa necesariamente por la existencia de una base de datos multidimensional, alimentada por otras BDs y por cualquier fuente de información extra. Esta base de datos debe contener datos de todas las dimensiones operacionales: actividades operacionales, costos operacionales, logística, etc.
- 2. Herramientas de Análisis (Data Mining):** Un sistema de análisis de grandes cantidades de datos opera sobre un data warehouse con el objetivo principal de identificar tendencias y patrones del comportamiento de las distintas variables representadas por estos datos. Se dice que un sistema data mining es capaz de descubrir información poco evidente escondida en las BDs.
- 3. Visualización Interactiva y Reporting:** Se hace necesario programar aplicaciones a la medida, las cuales tienen como principal finalidad la automatización de tareas rutinarias tales como generar reportes con distintos niveles de detalle, elaborar documentos de variada índole, realizar procedimientos estadísticos y de análisis, visualizar gráficos interactivos que se modifican automáticamente a partir de cambios en las planillas de cálculo de origen, conexión on-line a una BD, entre otros. Por otro lado, la rutina conocida como Reporting crea protocolos de entrega de reportes, los cuales formalizan la distribución de la información generada en el proceso de BI a toda la organización en el marco de relaciones proveedor-usuario.

6.2.4.5 Data Warehouse

➤ Dimensiones

En este estudio se modelaron las estructuras de datos de las dimensiones Calidad y Actividades Operaciones, del data warehouse, pero desde el punto de vista de una base de datos relacional simple. Las tablas se muestra en el Anexo 5 – Tablas Base de Datos Relacional y el modelo prototipo (BD en Access) se encuentra disponible en el archivo; Integrador.mdb del CD adjunto.

No obstante lo anterior, en este estudio se proponen como dimensiones del data warehouse, aquellas dimensiones operacionales propias del sistema de procesos y de esta manera se aplica el criterio *Process to Application* al proponer una relación unívoca entre las dimensiones operacionales y las dimensiones informativas del data warehouse.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Las dimensiones operacionales y por lo tanto, propias del data warehouse, propuestas en este estudio, son las siguientes:

1. Actividades operacionales
2. Costos operacionales
3. Logística
4. Mantenimiento
5. Calidad
6. RR.HH

El detalle asociado al esquema del data warehouse, se muestra en la figura 6.7. La figura en efecto, muestra una primera aproximación de la conformación de un data warehouse del SPMRA, a partir de las distintas fuentes de información existentes en el sistema y considerando las dimensiones Calidad y Actividades Operacionales (Tiempo y Cantidad de material “movido” por proceso).

Las fuentes alimentadoras del data warehouse están conformadas por BDs formales y por planillas Excel provenientes de diferentes procesos y unidades funcionales del sistema.

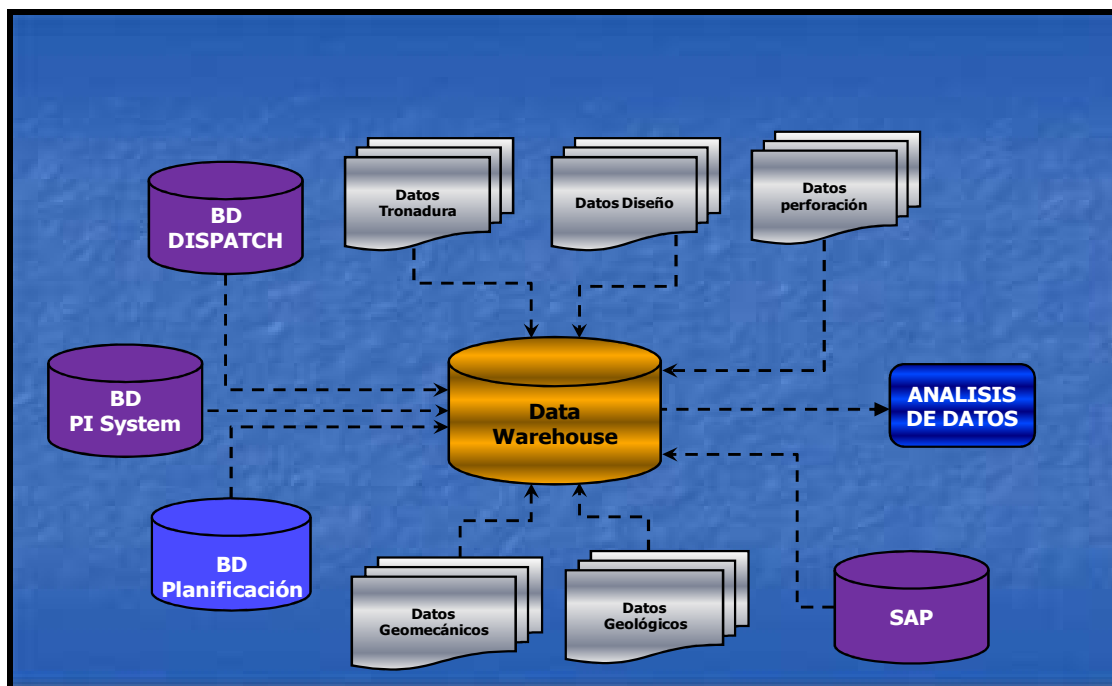


Figura 6.7 – Esquema Data Warehouse. Dimensión: Calidad y Actividades Operacionales Mina-Planta [Realización personal]

➔ Variables de medición. Dimensiones: Calidad y Actividades Operacionales

Después de tener claro cuáles son los objetivos que se persiguen al diseñar un SI como el descrito en el apartado anterior, se hace necesario explicitar las distintas variables que serán

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

incluidas en este sistema; en el sentido de recolectar periódicamente los set de datos que tienen asociados (algunos autores llaman a este proceso; medición).

La figura 6.8 muestra un esquema de las distintas variables del SPMRA que serían medidas con este sistema. Se observa que el sistema de información integrado, que se configurará a partir del data warehouse, es alimentado por un sistema de medición mina y por un sistema de medición planta, compuestas a su vez por las distintas fuentes informáticas que se usan en la actualidad en cada una de esas unidades operativas.

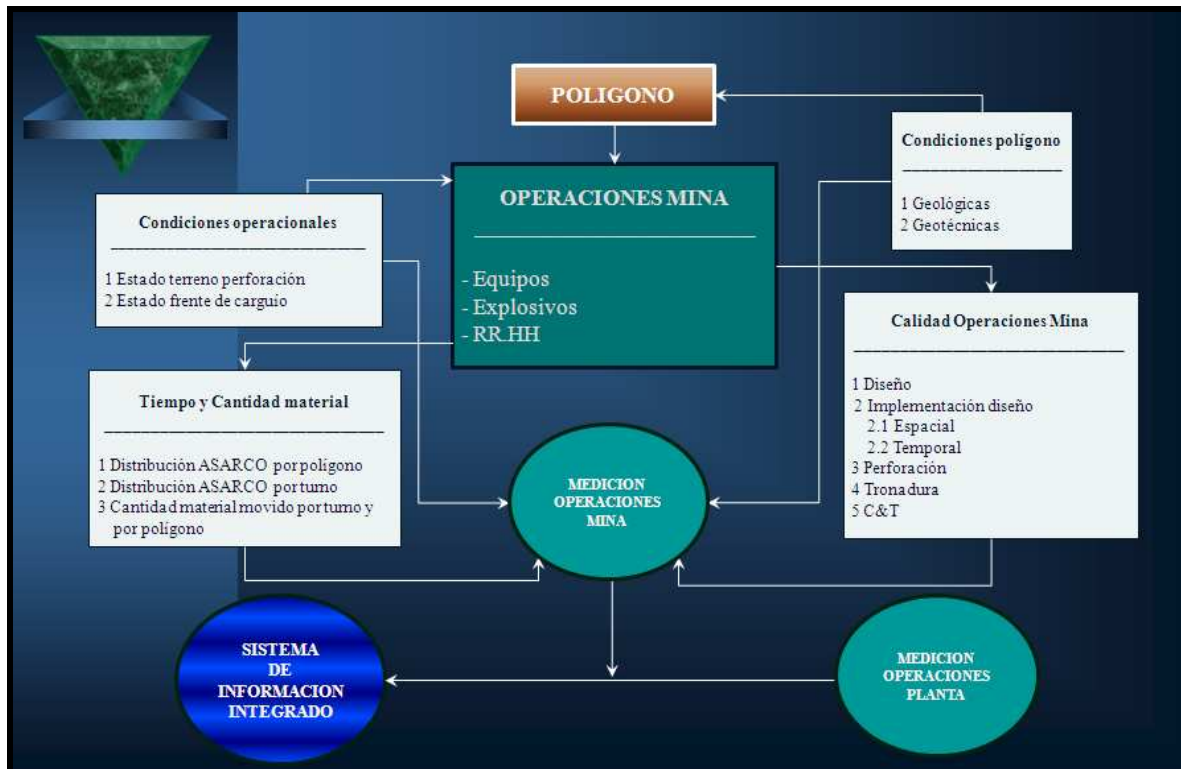


Figura 6.8 – Esquema Medición de Variables [Realización personal]

Por otro lado, nótese que los criterios de enfoque del estudio enunciados en el capítulo quinto, están presentes de manera implícita, validándose además el principio *Process to Application*:

1. El enfoque de medición está puesto en el espacio y por lo tanto en el polígono, el cual de hecho es la única entidad que ingresa al sistema.
2. La mina y la planta son consideradas como dos partes de un mismo proceso, las cuáles a pesar de tener sus propios sistemas de medición, lo cual es lógico y necesario, convergen desde el punto de vista informático en un único sistema de medición.
3. La tierra es la única fuente de materias primas del sistema productivo minero-metalúrgico y es controlada como tal, a través del conocimiento de las condiciones geológicas y geotécnicas que caracterizan al macizo rocoso desde donde proviene el polígono.

4. La medición opera sobre las variables gestionables más básicas: desde el punto de vista del espacio, se considera el polígono y desde el punto de vista del tiempo, se considera el turno. Del polígono se miden sus condiciones iniciales y las condiciones operacionales que enfrenta. Del turno se miden las condiciones operacionales que enfrenta, las características del(los) polígono(s) que debe operar y la performance de tiempo y calidad que muestra. Se entiende que el turno es funcional al polígono.
5. Finalmente, desde el punto de vista de los costos, queda abierta la posibilidad para poder agregar a lo ya mencionado, todos los costos dependientes del nivel operativo (costos por actividades) propios tanto de las operaciones mina como de las operaciones planta.

En resumen, los polígonos, conforme ingresan al SPMRA se “enfrentan” a un sistema operacional compuesto por equipos, personas y explosivos, el cual presenta determinadas condiciones operacionales, con las cuáles opera los polígonos, fruto de lo cual manifiesta una determinada performance, medible en términos de calidad y tiempo (la razón para explicitar este último elemento se debe a la excesiva importancia del tipo de explosivo en la calidad de la tronadura).

6.2.4.6 Herramientas de Análisis

En este estudio se proponen una serie de herramientas de análisis en la perspectiva de todo lo discutido anteriormente, particularmente en materia de Adaptive BI. Además se muestran las conclusiones de un estudio de minería de datos realizado sobre los sistemas multivariantes Geológico-Geotécnico, Diseño-Perforación, Tronadura y Molienda SAG. Estos se encuentran en el Anexo 6 – Resultados Estudio Data mining y los detalles del mismo se encuentran en el CD adjunto.

Las herramientas de análisis propuestas en este estudio son las siguientes:

- Data mining**
 - Correlación
 - Regresión (Lineal, No-lineal)
 - PLS
 - Clasterización
 - Particionamiento
 - Redes neuronales
- Diseño de Experimentos**
- Análisis de Series de Tiempo**
 - ARIMA
- Inferencia Estadística**
- Simulación**
- Control Estadístico de Procesos**
 - Cartas de control Shewhart
 - Análisis Variográfico

6.2.4.7 Visualización Interactiva y Reporting

Con respecto a las herramientas de visualización interactiva y reporte en un contexto de estandarización de aplicaciones, el modelo prototipo incluye una aplicación en JPM (software de la empresa SAS), la cual se conecta vía ODBC a la BD confeccionada en Access y de esta manera emula un contexto de BI. El reporte también forma parte de la BD confeccionada en Access (Control por reportes, p.105).

Por lo tanto, en este estudio se propone que Andina invierta en un proyecto tecnológico de BI, el cual apunte a los siguientes escenarios:

1. Uso de técnicas robustas de análisis de datos
2. Uso de *Reporting* en la distribución de la información
- 3 Empleo de plataformas integradas
4. Visualización interactiva de la información

6.2.4.8 Modelo Control de procesos

El concepto de control es bastante simple y se relaciona con el modelo denominado *Bucle de Control*, el cual en sí mismo, es un proceso iterativo y repetitivo en virtud del cual se miden las variables de control, también denominadas variables críticas de procesos, posteriormente se comparan los valores de estas variables con estándares fijados previamente, a partir de lo cual se determina si un proceso está o no, bajo control.

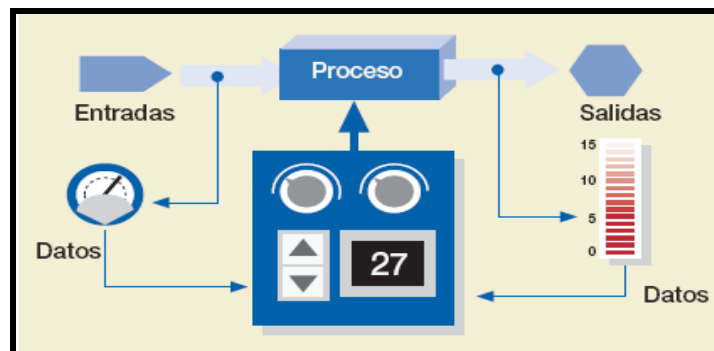


Figura 6.9 – Bucle de Control [Fuente: Instituto Andaluz de Tecnología]

La figura anterior grafica lo mencionado anteriormente. Además muestra que tanto las entradas como las salidas del proceso son medidas y que los resultados de éstas, alimentan un proceso de análisis, el cual a su vez se traduce en acciones correctivas si el proceso estuviere fuera de control.

Luego, el sistema de control hace necesario la existencia previa de un sistema de medición, el cual a su vez hace necesario la existencia de un criterio de medición fundamentado en un conocimiento de los procesos y por lo tanto orientado a controlar lo que es críticamente necesario controlar en función de la consecución de la estrategia del negocio.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

De lo anterior se deduce que existe una estrecha relación entre el sistema de información (almacenamiento y análisis de datos) y el sistema de control. Este último se basa íntegramente en el primero y ambos apoyan un sistema de mejoramiento continuo de los procesos.

Por lo tanto, un sistema está orientado al mejoramiento continuo cuando posee un sistema de control enfocado en el monitoreo de los procesos, a través de la medición y el control de sus variables críticas.

El sistema de información abarca el análisis de los datos y bajo ciertas condiciones, especialmente tecnológicas, el sistema de información y control en conjunto, se transforma en un sistema orientado a la obtención de una cierta inteligencia del negocio (Business Intelligence), precisamente a partir del análisis de los datos bajo estas condiciones particulares.

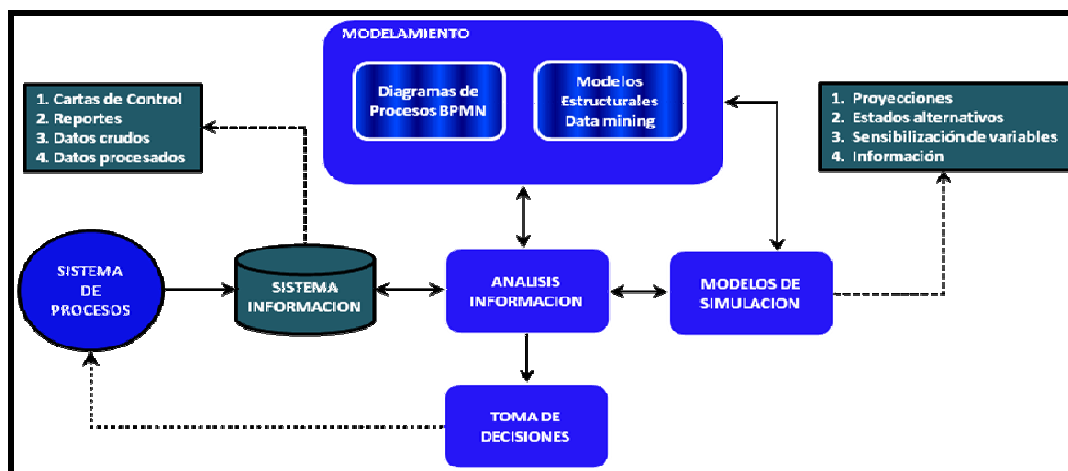


Figura 6.10 – Modelo General Control de Procesos [Realización personal]

Las figuras 6.10 y 6.11 muestran tanto el modelo general como el modelo particular de control de procesos propuestos en este estudio (el modelo general muestra qué hacer y el modelo particular muestra cómo hacerlo). Se puede apreciar al Data Warehouse como el subsistema central del modelo, a partir del cual se obtienen, procesan y analizan datos de las distintas variables medidas.

Por lo tanto, la idea de medición discutida en los primeros párrafos de este apartado se lleva a la práctica a través de una base de datos tipo Data Warehouse, la cual almacena colecciones de datos de variables de múltiples dimensiones del sistema.

Estos datos son seleccionados y desplegados por pantalla en función de la naturaleza asociada a ellos; por ejemplo: los datos de las diferentes medidas de desempeño pueden formar parte de un sistema de reportes, los cuáles son generados automáticamente por el sistema, lo cual entrega una idea de la situación actual del o los procesos, lo que a su vez puede aconsejar un determinado curso de acción.

En lo particular, este modelo, opera a partir de un sistema de información on-line (OLAP), a partir de lo cual, a su vez, se pueden generar automáticamente; datos, reportes, cartas

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

de control, etc. lo cual sienta las bases de un control estadístico de procesos y de un control de la calidad a través de un sistema de reportes.

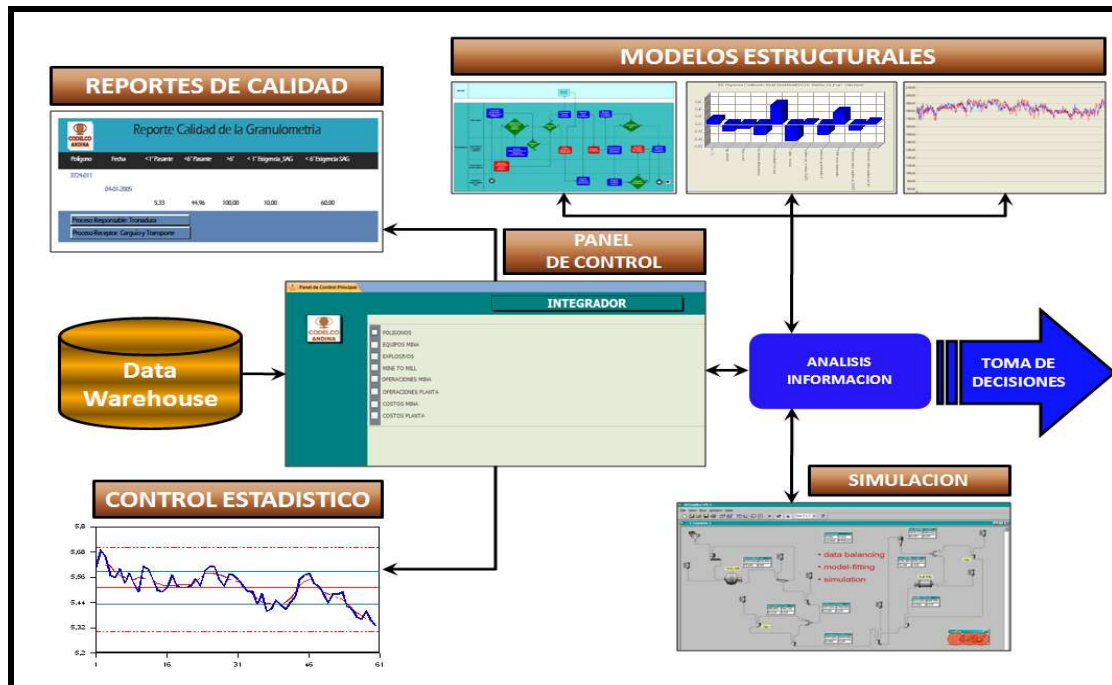


Figura 6.11 – Modelo Particular Control de Procesos [Realización personal]

Nótese la existencia del carácter interactivo y automático del sistema a través de la presencia de un panel de control, el cual permite acceder al él y conocer a través de la simple manipulación de botones, los distintos elementos señalados en el párrafo anterior.

Por otro lado, existe un subsistema paralelo, el cual analiza los datos almacenados, a través de un enfoque multivariable y produce modelos “estructurales” (propios de la minería de datos) y modelos estadísticos de corto plazo, a partir, estos últimos, de diversas instancias operacionales.

Lo anterior implica que se obtiene información referente a los procesos bajo dos perspectivas diferentes y complementarias; relaciones multivariables de largo plazo y comportamiento de ciertas variables en periodos específicos del tiempo (por ejemplo, cartas de control).

Se pueden incluir modelos de simulación, los cuáles pueden ser confeccionados y corridos en los softwares especializados en el modelamiento y simulación de procesos minero-metalúrgicos (*JKSinMet*, por ejemplo).

Todo lo anterior, en conjunto entregaría información referente al estado de los procesos, desde varios puntos de vista y considerando todas las variables de interés, de todas las dimensionales operacionales medidas.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Con ello se entregarían argumentos objetivos a la discusión previa y necesaria de toda toma de decisiones y por lo tanto se generará un conducto racional destinado al mejoramiento continuo en un contexto de alineación de procesos.

A continuación se enumeran los distintos tipos de control propuestos en este estudio:

➤ **Control por Reportes**

Este control operaría a partir del diseño y abarcaría a todos los procesos del sistema, vale decir; identificaría y controlaría cada uno de los parámetros que componen el diseño, así como el cumplimiento de estos a lo largo de todos los procesos productivos.

En este estudio se propone la creación de reportes para cada uno de los procesos del sistema, a efecto de registrar, analizar y comprender el comportamiento de cada una de las variables, identificadas en este estudio como variables de calidad. El análisis del comportamiento se centra en los valores ideales, los valores reales, la variabilidad entre ambos, las causas de ella y la “ubicación” temporal y espacial a lo largo del proceso donde se produce dicha variabilidad.

Algunos ejemplos del sistema de reportes se encuentran en el Anexo 6 – Reportes de Calidad.

Cabe señalar que la demostración del sistema de reportes en su conjunto es posible a partir del modelo prototipo del sistema de información diseñado en este estudio, el cual como ya se señaló se encuentra en el archivo Integrador.mdb del CD adjunto.

➤ **Control por Estándares**

En este estudio, los estándares propuestos operan solo sobre el diseño y asumen la existencia de un escenario con MTM. Esto se refiere a reportes que controlan que el polígono diseñado, efectivamente haya sido diseñado con los parámetros propuestos por los estándares especificados por el MTM en función de su procedencia geográfica.

En el modelo prototipo de medición y control se puede apreciar una demostración de este tipo de control.

➤ **Control Analítico de procesos**

Por control analítico se entiende acá, el control resultante de la perspectiva del conocimiento adquirido a partir del modelamiento estadístico y de minería de datos.

Este proceso de análisis entrega modelos “estructurales” que ayudan a comprender el comportamiento tanto de las variables analizadas como de los procesos que los contienen.

Ejemplo de este tipo de control, es un sistema de cartas de control alineadas, las cuáles miden el comportamiento de un sistema de variables de control alineadas (Control estadístico de procesos).

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Nótese que este tipo de control está estrechamente ligado a las herramientas de análisis de BI. Además, en este estudio se propone el control proveniente del Análisis Variográfico, el cual será definido en el Anexo 8 – Análisis Variográfico. Los modelos estructurales confeccionados en este estudio, son los correspondientes a data mining, los cuales se pueden ver en el Anexo 7 – Resultados Estudio Data mining.

6.3 Integración del sistema solución

En el presente capítulo se procederá a la integración del modelo del sistema solución, lo cual implica relacionar cada uno de los subsistemas que lo componen.

Recuérdese, que el principal objetivo que posee el *Sistema de Gestión de Operaciones* diseñado en este estudio es; gestionar las operaciones del proceso minero-metalúrgico, en principio, propias del sistema MRA-SAG de la división Andina de CODELCO bajo un esquema de mejoramiento continuo de los procesos y luego, orientado a la eficiencia operacional y por lo tanto a la contención de costos.

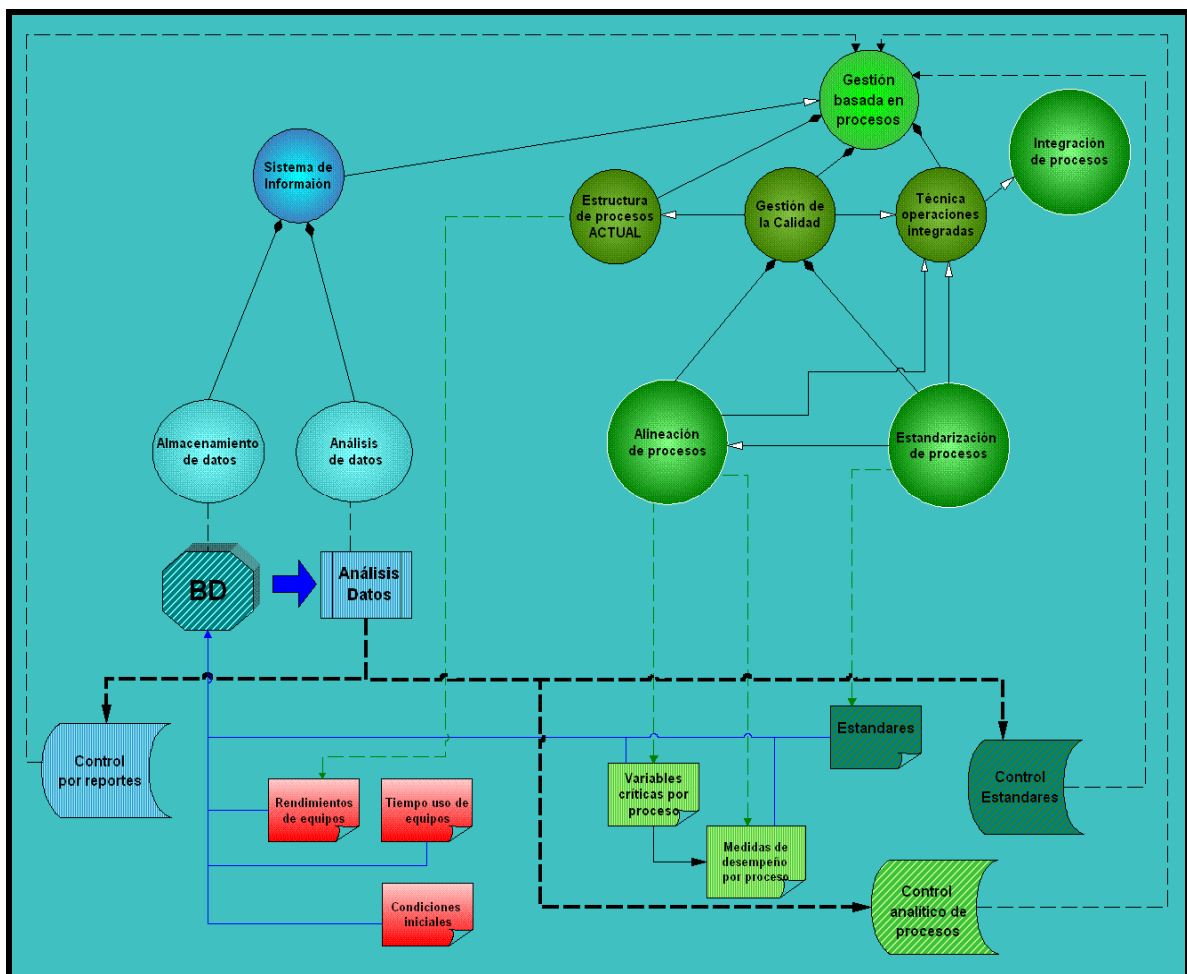


Figura 6.12 – Modelo de Gestión de Operaciones Integrado [Realización personal]

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Para tales efectos se ha diseñado en este estudio, una primera aproximación de **Business Process Management**, la cual considera como caso de estudio, el macro proceso Conminución y como proceso relevante de este último a Perforación y Tronadura.

Tanto **Mine to Mill** como **Business Intelligence** entregan la perspectiva operativa e informativa, respectivamente, de un enfoque de gestión mayor centrado en los procesos.

El diagrama de la figura 6.12, muestra el detalle de una instancia operacional y muestra además como se relacionarían los distintos elementos del sistema solución desde el punto de vista operativo.

Se muestra al Sistema de Información (SI) alineado con el sistema operacional el cual es gestionado bajo un enfoque en procesos.

Se muestran además, las tres aproximaciones a los procesos descritas en la definición del sistema solución, a saber; *Estandarización de proceso*, *Alineación de procesos* e *Integración de operaciones*.

El SI se compone no solo de Almacenamiento de datos a través de una Base de datos (BD) sino además, de un sub-sistema de Análisis de datos, a través de técnicas especializadas, como *Data Mining*.

La gestión de procesos abarca la actual Estructura de Procesos que ya fue descrita y analizada en el capítulo 4, de la cual se pueden obtener todos los datos propios de las variables que componen la norma Asarco, las cuáles a su vez también fueron identificadas previamente.

A estos últimos se agregan las *Condiciones Iniciales*, también identificadas en el capítulo 4 y preferentemente las condiciones geológico-geomecánicas propias del polígono, las cuáles no solo son de utilidad práctica en las operaciones mina, sino también en las operaciones planta. De esta manera se podría controlar a la tierra como fuente de materias primas del proceso minero-metalúrgico y se podría implementar además, un sistema de control de las operaciones mina con un énfasis en el polígono y luego, en las variables espaciales.

Note que las condiciones iniciales no forman parte de la actual estructura de procesos, en el sentido que no forman parte de la estructura de control de la GMIN, la cual se basa exclusivamente en los indicadores y variables de tiempo definidos por la norma Asarco.

La propuesta de gestión basada en proceso considera, un *Sistema de Gestión de la Calidad* (SGC), el cual se basa en la norma ISO 9001, la cual se apoya en el enfoque en procesos, tal como señala la propia norma ISO 9001 (2000).

Por otro lado, la gestión basada en procesos considera una técnica de operaciones integrada orientada a la *Integración de Procesos*, la cual se transforma en una técnica vinculante de procesos a partir de la operación de unos en función del desempeño de otros.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

La estandarización de procesos define estándares de operación por proceso. Surge el primer sistema de control; *Control de estándares*, el cual retroalimenta a la dirección y planificación de operaciones.

La estandarización es abordada desde cierto punto de vista por la propia técnica de operaciones integradas (MTM), la cual posee una propuesta concreta orientada a estandarizar ciertos elementos de P&T (incluido el diseño), no obstante lo cual, esta propuesta no agota todas las variantes propias de la estandarización, las cuáles son de resorte de la propia MRA debido principalmente a su carácter técnico.

A partir de la alineación de procesos se definen las variables de calidad y las medidas de desempeño, las cuales forman parte de un segundo sistema de control; *Control por reportes* a través del análisis de reportes orientados a informar acerca del comportamiento de cada uno de los procesos en función del comportamiento de las variables críticas que condicionan los objetivos por proceso. De esta manera se retroalimenta a la dirección y planificación de operaciones (nótese que el uso de reportes forma parte de la técnica *Reporting*, propia de Business Intelligence).

Las variables de calidad, las medidas de desempeño, los datos acerca de estándares de P&T (si correspondiese), los rendimientos de equipo, los tiempo de uso de equipo y las condiciones iniciales (geológicas, geotécnicas y de estado del terreno) alimentan en conjunto a la BD, sobre la cual opera un sistema de análisis principalmente estadístico.

Esto último define un tercer criterio de control, denominado en este estudio; *Control analítico de procesos*, el cual empleando técnicas de análisis de alta sofisticación, “descubre” información “oculta” en las bases de datos, lo que a su vez ayuda a comprender la performance de los procesos y de esta manera retroalimenta a la dirección y planificación de las operaciones (estas técnicas incluyen entre otras; Data Mining y Análisis Variográfico, ésta última, la cual incluye a su vez, cartas de control estadístico por variable).

Todos los subsistemas propuestos aquí, vale decir: Mine to Mill, Esquema Business Intelligence (Sistema de Información y Sistema de control de procesos) y la propuesta de Business Process Management, fueron diseñados bajo un enfoque sistémico y por lo tanto, todos son subsistemas que potencian un sistema mayor, vale decir: un Sistema de Gestión de Operaciones.

Lo anterior se refiere al hecho de que todos y cada uno de los sub-sistemas diseñados y propuestos en este estudio se relacionan armónicamente en el contexto de un sistema de gestión orientado a la consecución de los objetivos planteados anteriormente.

Por lo tanto, cada subsistema cumple un rol específico dentro de un sistema mayor, el cual entrega una visión completa de sí mismo. Lo anterior a su vez presupone necesariamente, que todos los subsistemas están relacionados entre sí y luego, que existe sinergia entre cada uno de ellos. Esto se manifiesta de la siguiente manera:

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

El MTM aborda la eficiencia del sistema y por lo tanto lo orienta hacia la reducción de costos, fortaleciendo el mejoramiento continuo de los procesos al lograr que estos sean operados en un nivel óptimo.

Además el MTM entrega una perspectiva de conocimiento que favorece la identificación del criterio más adecuado para definir los procesos claves del negocio, el cual como ya se discutió antes, dice relación con la influencia de un proceso sobre los demás descartando, por lo menos en esta etapa del proyecto, el empleo del criterio *paretiano* de costos, que tradicionalmente se ha empleado para estos efectos.

Por otro lado, los elementos de Calidad de la norma ISO 9001 definen un marco legal que permite abordar la eficacia del sistema, la cual es condición necesaria del éxito de acciones que persiguen la eficiencia operacional.

Además, la implementación de los criterios referidos al mapeo de procesos, a la identificación de las variables críticas y a la definición de las respectivas medidas de desempeño, generan dos escenarios:

1. Un escenario propicio para la alineación de los procesos, lo cual como ya se dijo antes, es la base de la integración de operaciones y por lo tanto del MTM.
2. Un escenario caracterizado por algo que se podría llamar; Inteligencia de procesos, lo cual es la clave de la medición y el control. En efecto; no es posible implementar un sistema de información orientado al control de procesos sin la identificación de todas las variables de medición.

El Sistema de información, por otro lado, define la estructura del almacenamiento de datos asociados a las variables de medición y formaliza el análisis de estos, a través del empleo de técnicas de alta sofisticación (minería de datos).

A partir de ello opera un sistema de control, el cual actúa sobre las variables de medición, también llamadas variables críticas y entrega los fundamentos necesarios de una toma de decisiones orientada al mejoramiento continuo de los procesos.

Ambos sistemas; de información y de control fueron diseñados en el marco legal brindado por los criterios propios de la norma ISO 9001, que fueron escogidos para esos efectos, con lo cual, toda la discusión relativa a la medición y al control, se orienta en pos de la gestión de la calidad bajo un enfoque de procesos y por lo tanto aborda la eficacia del sistema y al mismo tiempo, genera un escenario propicio para abordar la eficiencia a través del MTM, cerrándose de esta manera, el ciclo.

El modelo prototipo muestra otra perspectiva de integración de los sub-sistemas. En efecto, a través del empleo de reportes se entrecruzan la dimensión informática, de control y calidad y al mismo tiempo muestra el comportamiento de las variables que condicionan el éxito del MTM (Ver archivo *Integrador.mdb* localizado en el CD adjunto).

7 Conclusiones

7.1 Con respecto a la estructura de procesos

Las conclusiones de este apartado pasan necesariamente por el análisis de los modelos de procesos diseñados bajo el estándar BPMN, los cuales se encuentran en el Anexo 4 – Modelos de procesos bajo el estándar BPMN.

7.1.1 Perforación

De la simple inspección del diagrama, se observa que Perforación es un proceso de relativa escasa complejidad, el cual posee solo una actividad crítica o intensiva en recursos (*perforar pozos*).

No obstante lo anterior, perforación depende como ningún otro proceso de la *cobertura*, pues la calidad de esta última determina si se optará por la marcación en terreno de la malla o por el empleo de una malla virtual *on-line*, lo cual aumenta su complejidad real.

Dicho sea de paso, esto también es función de la disposición por parte de los operadores a usar malla virtual, lo cual es función de la cultura organizacional y del liderazgo ejercido en terreno, este último que a su vez es función del paradigma de control centrado en C&T y por lo tanto, del sistema de gestión de operaciones imperante (APO).

Por lo tanto, esto nos lleva a las siguientes conclusiones:

1. Lo primero que es necesario señalar respecto de la perforación; es la fuerte incidencia de sus resultados en todos los procesos de conminución: Si la perforación se realiza en conformidad al diseño (asumiendo que el diseño sea el adecuado), la tronadura enfrenta un escenario propicio para entregar una “buena” granulometría (asumiendo el empleo de un explosivo adecuado), lo cual redundará necesariamente en buenos rendimientos de C&T, Chancado y Molienda, con todo lo positivo que eso implica en materia de tiempos y costos y por lo tanto, de eficiencia.
2. La complejidad del proceso, en otras palabras; la “burocracia” previa a la perforación de los pozos, aumenta cuando las condiciones de cobertura no son las adecuadas. En otras palabras; la complejidad real del proceso es menor que aquella resultante, al considerar la cobertura.
3. Perforación es un proceso dependiente de actividades exógenas a la perforación propiamente tal, las cuales son realizadas por otros procesos; más aún, la calidad de sus resultados depende de ellas. Estas actividades corresponden al movimiento de tierra previo a la marcación de pozos, al diseño y a la implementación del diseño (nótese la gran cantidad de flujos informativos presentes en el diagrama).
4. Los indicadores de perforación; velocidad lineal, velocidad angular, pull down e indirectamente, los rendimientos de triconos, son imposibles de determinar debido a la mala

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

cobertura, lo cual se traduce en la ausencia de un adecuado feedback de los modelos geomecánicos, feedback que sólo puede ser entregado por la perforación.

5. Si las condiciones de cobertura mejoraran, la complejidad de la perforación disminuiría y con ella disminuirían los tiempos de proceso y se podría medir la variabilidad asociada a las coordenadas de los pozos, con lo cual se generaría un escenario propicio para gestionar la calidad de todos los procesos del sistema.
6. Paralelamente a la “mala” cobertura, existe una segunda dimensión de la problemática, mucho más de fondo que la anterior y que afecta directamente a la perforación y con ello a todo el circuito de conminución, vale decir; el sistema de gestión de operaciones existente en CODELCO y en particular en la MRA de Andina. En la medida que impere este sistema, el enfoque de control estará puesto en C&T y por lo tanto en los resultados más que en los medios y de esta manera se seguirán dejando fuera del control, los elementos más decisivos en la calidad del sistema MRA-SAG.

7.1.2 Tronadura

Es evidente a partir de la inspección del diagrama respectivo, que Tronadura es un proceso relativamente “aislado” en el sentido que durante el desarrollo de las actividades propias de la tronadura, estas no dependen del resultado de actividades desarrolladas en otros procesos.

No obstante lo cual, depende de la calidad de la perforación, lo cual podría, por lo menos en teoría atrasar todo el proceso. Generalmente se opta por prescindir de actividades de repaso de perforación y se trona dando por hecho que la calidad de la tronada no será óptima, con lo cual se reafirma lo señalado en el punto anterior.

En la práctica, Tronadura es un proceso técnico y por lo tanto, intensivo en conocimientos, lo cual se pone de manifiesto al comprobar que el proceso es confiado a una empresa especializada en este tipo de actividades (*ORICA*).

Las conclusiones son las siguientes:

1. Tronadura es un proceso mucho más complejo que Perforación, lo cual se manifiesta, por ejemplo en la existencia de cinco bucles de decisión, lo cual a su vez implica la existencia de diez escenarios potenciales que podrían darse en el transcurso del proceso, además que posee cuatro actividades críticas intensivas en recursos (reparar pozos, cargar pozos, ejecutar tronadura y reparar tronadura).
2. Si se considera que la tronada es la esencia de una mina a rajo abierto se hace evidente la importancia del proceso justamente anterior (perforación) y de las actividades de diseño, de las cuáles depende directamente.
3. Tronadura es un proceso terminal, en el sentido que la calidad del material post-tronadura no es posible de modificar al interior del proceso: una mala tronada no es posible de mejorar con

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

una nueva tronada y por lo tanto esto provoca que una mala tronada impacte en Chancado y en Molienda, encareciendo el proceso de Conminución, lo cual reafirma el punto anterior.

4. Consecuente con lo anterior, la tronada “*resetea*” el sistema multivariable, en el sentido que después de la tronada, los sistemas que condicionaban la Tronadura, dejan de ejercer influencia, rompiéndose la dinámica de los subconjuntos multivariables (Geológico-Geotécnico, Diseño-Perforación y Tronadura) y apareciendo un nuevo sistema, propio sólo de C&T.
5. Desde cierto punto de vista, Tronadura es un proceso que tiene más exigencias que Perforación, pues este último no tiene como objetivo la maximización de la cantidad de metros a perforar, sino que perfora los metros que le son entregados por diseño. Tronadura en cambio, persigue la maximización tanto de la calidad como de la cantidad asociada a las toneladas de material, evitando, además, la dilución de mineral.

7.1.3 Carguío y Transporte

No es una exageración afirmar que la esencia de C&T se resume en la sgte. frase: “*Un camión llega a un frente de carguío, en el cual lo espera un cargador que lo carga con material, después de lo cual se dirige a un destino previamente definido, en el cual deposita el material*”

Esto último se puede resumir en expresiones del tipo “*C&T no tiene mayor ciencia*”, frase que es común de escuchar en personas críticas del clásico paradigma minero, centrado en C&T.

De hecho, C&T no agrega valor al producto final; el valor que realiza lo hace al servicio de entrega, lo cual se relaciona directamente con los tiempos de flujo, los cuáles a su vez son función principal de la calidad del material transportado, la cual es función, a su vez de la calidad del material tronado y no del servicio de entrega en sí mismo.

Desde el punto de vista táctico es mucho mas eficiente y porque no decirlo, mucho más inteligente, enfocar la atención del control en las causas que determinan tanto la calidad como la cantidad del material tronado que en las consecuencias de ello.

Si se llevara este razonamiento al extremo, se podría, inclusive afirmar que ni siquiera Tronadura amerita tanto cuidado como las actividades que determinan donde y como perforar y porque hacerlo en un lugar y no en otro y por lo tanto; propias del complejo Diseño-Perforación.

Por lo tanto, esto nos lleva a la discusión acerca del diseño, desde el punto de vista de la fundamentación asociada a la valoración particular de los distintos parámetros que lo conforman, lo cual a su vez nos remite tanto a la geología como a la geomecánica asociada al macizo rocoso.

Con respecto a las conclusiones acerca de C&T, se puede señalar lo siguiente:

1. C&T es un proceso menos complejo que Perforación o Tronadura y mucho menos complejo que P&T, como proceso agregado. Esto se manifiesta en la presencia de un solo bucle de

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

decisión real que pregunta por el estado del frente (los demás bucles son propios del modelamiento y no revisten mayor complejidad desde el punto de vista operativo).

2. C&T depende directamente del estado del frente, razón por la cual lo convierte en un proceso menos “aislado” que Tronadura, pues las actividades de ablandamiento del frente, son realizadas junto a las actividades de C&T y coordinadas por el jefe de turno.
3. El estado del frente, según el modelo de procesos, es la causa de mayor complejidad de C&T, lo cual es consecuencia de la *calidad de la tronadura*, lo que a su vez confirma el análisis multivariable realizado en el capítulo cuatro (Sistemas Multivariados, p.55). El estado del frente se mide a través de la granulometría del material y por lo tanto, una de las pocas fuentes de complejidad de C&T, es en realidad una consecuencia de lo realizado *aguas abajo*; en el Diseño y luego, en P&T.
4. En función de lo señalado en el punto 3, se concluye que un mayor control sobre P&T no solo no perjudicaría a C&T sino que lo favorecería: en efecto; la implementación de una técnica orientada a la estandarización del diseño fundada en un mejor conocimiento del macizo rocoso y que implique la estandarización de las prácticas de perforación y de tronadura a partir de lo cual se defina un sistema de control, redundaría en una mejor granulometría y por lo tanto en mejores rendimientos de C&T.

7.2 Con respecto al actual sistema de gestión de operaciones

Tal como se dijo en la descripción de la situación actual, el sistema de gestión de operaciones propio de CODELCO Chile y por lo tanto propio de la División Andina, obedece al paradigma denominado; Administración por Objetivos (APO).

En la práctica, esto se traduce en un control centrado principalmente en el resultado de las operaciones, lo cual, en el caso de la MRA, es concebido como la maximización de las toneladas de material pasadas a planta.

Luego, todo el sistema de gestión de operaciones de la MRA está dirigido hacia la consecución de ese objetivo, lo cual explica de buena manera la atención del control puesta en C&T y en las variables preferentemente temporales y agregadas (por mes), puesto que esto último es bastante habitual en sistemas de gestión inspirados en este paradigma.

A lo anterior habría que agregar que de acuerdo a la estructura de costos de la SMRA, analizada en el capítulo 4, los costos de C&T doblan con creces los costos de P&T (Tabla 4.7 – Análisis comparativo de costos por proceso, p.62).

En resumen: ya sea debido al paradigma de gestión, a la estructura de costos, a la cultura organizacional o a la suma de combinada de todas ellas, las operaciones mina, gestionadas en forma separada de las operaciones planta, se controlan teniendo como principal objetivo, la maximización de la cantidad (no de la calidad) de material pasado a planta.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Por lo tanto, el sistema de incentivos que motiva, determina y encausa el comportamiento de las personas al operar los procesos, guarda relación directa con la consecución de este objetivo.

Por otro lado, en este estudio se formalizó una propuesta básica de implementación del paradigma denominado Gestión basada en procesos o *Business Process Management* (BPM), el cual constituye el punto de partida de la norma ISO 9001 y aborda la gestión de operaciones, en el marco del monitoreo de cada uno de los procesos y no solo de los procesos responsables de los resultados operacionales finales.

A partir de lo anterior se listan las siguientes conclusiones:

1. No es posible introducir cambios sustanciales al SPMRA-SAG, sin modificar previamente el sistema de gestión de operaciones y por lo tanto sin hacer modificaciones al sistema de incentivos que poseen los trabajadores (bonos en función de la cantidad de material pasado a planta).
2. A partir de lo anterior se concluye que la eventual implementación, en Andina, de un programa de desarrollo centrado en la eficiencia y que persiga la contención de los costos operacionales, pasa necesariamente por el cambio del sistema de gestión de operaciones (APO) y por el sistema de incentivos existente en la actualidad.
3. En este estudio se propone la introducción de un sistema BPM para efectos de poder controlar conjuntamente las operaciones mina y las operaciones planta, bajo un esquema de alineación de procesos. Esto último pone el énfasis del control en todos y cada uno de los procesos en forma transversal a la mina y a la planta y de esta manera desaparece, por un lado, la división entre ambas unidades y por otro lado, se controlan las causas que llevan a los resultados finales.
4. Un eventual programa de desarrollo que apunte a la eficiencia del sistema y luego a la contención de costos, pasa necesariamente por la introducción de un sistema de gestión de operaciones basado en el seguimiento y el control de los procesos, bajo un esquema de control, similar al propuesto por la norma ISO 9001 u otro equivalente, lo cual implica que la dinámica de los procesos asume un rol protagónico por encima de las distintas unidades funcionales.

Ahora bien, cuando se habla de introducir modificaciones al sistema de incentivos no se está hablando de una baja en el monto de los bonos con el objeto de reducir costos; más bien se está hablando de introducir modificaciones a las acciones que se espera, efectúen los trabajadores, para la entrega de bonos.

A lo anterior habría que considerar que debido a que estas acciones tendrían que traer asociadas bajas en los costos de C&T, en el fondo se estaría bonificando la reducción de costos y por lo tanto se estaría integrando a los trabajadores en la implementación de un eventual programa de desarrollo centrado en la eficiencia de las operaciones, lo cual se condice con el

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

fuerte protagonismo ejercido por los trabajadores y por los sindicatos de trabajadores, en la toma de decisiones de la organización.

Ahora bien, la implementación de un sistema BPM centrado en el monitoreo de la calidad de los procesos y tal como se señala en el Anexo 3 – Descripción y Análisis de la Estructura de procesos, implica que solo en la Perforación se necesitaría introducir cambios de esta índole pues la calidad de C&T se reduce al flujo de material transportado a planta lo cual es controlado en la actualidad bajo el actual sistema y Tronadura, por otro lado, está intervenido por un *outsourcing* y por lo tanto es controlado dentro de un contrato de servicios de terceros.

7.3 Con respecto al sistema de control propuesto en este estudio

7.3.1 Perspectiva de Costos

Las tablas 7.1 y 7.2 muestran la estructura de costos asociado al sistema MRA-Línea SAG, versión desagregada y agregada, respectivamente (cifras anuales, año 2007).

Nótese que el gasto anual de la MRA en conjunto, corresponde al 37% del gasto total y la Molienda SAG por sí sola, alcanza al 50%.

Lo anterior no sólo indica que la Molienda SAG es el proceso más caro del sistema, sino que además es más cara que toda la SMRA.

Tabla 7.1 – Costos MRA-Línea SAG (desagregado) [Realización personal]

	Perforación	Tronadura	Carguío	Transporte	MT&AP	Otros	MRA	Chancado	Molienda SAG	
GASTO [KUS\$]	5.814	8.298	10.825	19.785	10.858	11.884	67.464	21.575	92.200	181.239
COSTO [US\$/TMH]	0,19	0,27	0,36	0,65	0,36	0,39	2,22	0,75	3	5,97
Porcentaje	3,20	4,57	5,96	10,90	5,98	6,55	37,17	12,57	50,26	100

Tabla 7.2 – Costos MRA-Línea SAG (Agregado) [Realización personal]

	P&T	C&T	MT&AP	Chancado	Molienda SAG	
GASTO [KUS\$]	14.112	30.610	10.858	21.575	92.200	169.355
COSTO [US\$/TMH]	0,46	1,01	0,36	0,75	3	5,58
PORCENTAJE	8,32	18,05	6,40	13,45	53,79	100

Por otro lado, el enfoque de costos tradicional, indica generalmente, que los procesos más caros deben ser más controlados que el resto. En el contexto de Andina, este criterio rige tanto para la mina como para la planta, en forma separada.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Al margen de lo que ocurre en la planta y tal como ya se ha señalado, la mina pone énfasis en el control de C&T, pues este tiene un nivel de gasto que alcanza el 18% del gasto total del circuito (el segundo más caro) y alrededor del 45% del gasto total de la SMRA.

Ahora bien y a propósito de toda la discusión relativa al MTM, se concluye que es necesario considerar el proceso minero-metalúrgico como uno solo e identificar un solo objetivo operacional, lo cual implica alinear todos los procesos en torno a un objetivo común y por ende, controlar el nivel de eficacia de cada uno de ellos.

Desde ese punto de vista, la estructura de procesos sería controlada en forma transversal a las unidades funcionales y operativas (tales como la mina o la planta), a partir de la medición de ciertas variables identificadas previamente y que son representativas del comportamiento de cada uno de los procesos que conforman esa estructura.

Por lo tanto, bajo este esquema, el enfoque de costos por sí solo, no entrega todos los elementos de juicio que se deben tener en cuenta para controlar las operaciones del sistema MRA-SAG.

A lo largo de este estudio se demostró que la eficiencia de la gestión de operaciones de un proceso minero-metalúrgico es función de la gestión del conocimiento asociado a las características descriptivas del macizo rocoso, lo cual le otorga un carácter estratégico al diseño de la tronadura y por lo tanto demanda los principales esfuerzos de control e inversión en la implementación del diseño para garantizar de esta manera, que la granulometría asociada a la tronadura sea lo más similar posible a la exigida por el molino SAG.

Desde una perspectiva de costos, este curso de acción se justifica toda vez que cualquier alza parcial en los gastos de tronadura es ponderada en este caso concreto, por un factor cercano al 8% (nivel de gasto de P&T), en cambio, las consecuencias de ello (mayor TPH del SAG, con todo lo que eso envuelve en materia de ahorro) son ponderadas por un factor cercano al 55% (nivel de gastos de la Molienda SAG).

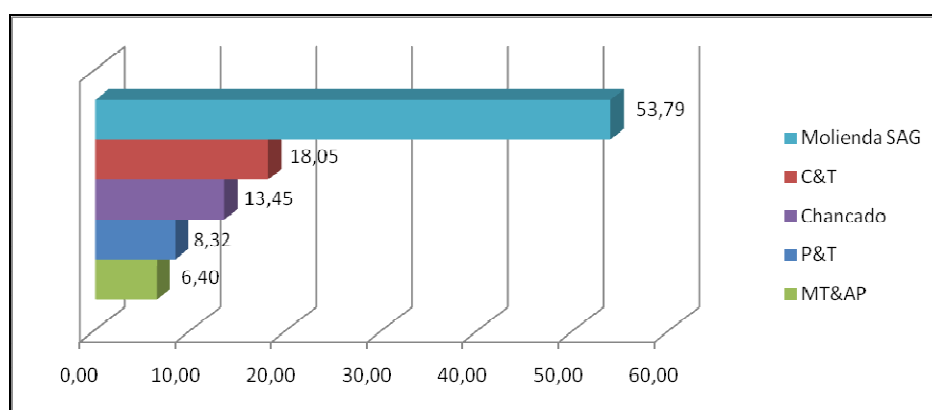


Figura 7.1 – Costos MRA-Línea SAG (agregado) [Realización personal]

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Por lo tanto, a partir de lo anterior se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1. En este sistema, la perspectiva de costos debe ser entendida de manera distinta al enfoque tradicional de costos. El principal esfuerzo de inversión debe ser ejercido en los procesos menos caros, pues estos amortiguan de mejor manera el impacto de un alza de los gastos que los procesos más caros. La clave de esto radica en el tipo de energía empleada por cada proceso: Tronadura: derivada del uso de explosivos (menos cara). Chancado y Molienda SAG: eléctrica (mucho más cara).
2. Como ocurre con la mayoría de los sistemas operacionales, el efecto de las acciones efectuadas en los primeros procesos de la línea, se multiplican en los procesos siguientes; luego el control ejercido en los primeros (P&T, en este caso) es condición necesaria de la performance de los siguientes, al margen de que estos sean los más caros del sistema (de hecho, en este caso particular, son los más baratos).
3. Es necesario tener presente que los mayores esfuerzos de inversión y control ejercidos sobre P&T, tienen, por default, consecuencias positivas en C&T, Chancado y Molienda SAG: es decir; las mayores inversiones (aumento del factor de carga o el empleo de explosivos más caros) en un proceso que representa un 8% del gasto total del circuito, repercuten en menores tiempos de procesos por tonelada, menos gasto de energía por tonelada y por ende, menos costos operacionales en los procesos que en conjunto representan un 85% del gasto total del circuito.
4. Con todo, bajo un esquema BPM, todos los procesos deber ser controlados para que se maximice el nivel de cumplimiento de sus objetivos, a diferencia del enfoque actual, donde se controlan principalmente las operaciones de la interfaz (C&T, en el caso de la MRA). El punto es que estos objetivos obedecen al conocimiento de cada proceso y a las relaciones intrínsecas existentes entre ellos, lo cual en última instancia, determina que cada uno contribuya directa o indirectamente a la performance de todos los demás, en particular de los procesos que tienen un nivel de gastos mayor. En otras palabras, un sistema de alineación de procesos bien diseñado entrega todo lo necesario para que el sistema en su conjunto pueda operar eficazmente.
5. La gestión de operaciones de un proceso minero-metalúrgico es intensivo en conocimientos, sobre todo de variables espaciales (por lo menos en el nivel minero) y esto hace que la performance sea dependiente de la gestión de ese conocimiento y por lo tanto que el control sea función de los datos asociados a variables preferentemente espaciales. El enfoque de costos, por lo tanto, debe operar a partir de ese conocimiento y no antes, lo cual implica entre otras cosas, controlar la performance de costos de un turno a partir de modelos de control intensivos en variables espaciales (previa determinación, por ejemplo, del costo de un metro perforado de brecha de turmalina, del costo de tronar una tonelada de brecha turmanilizada en un contexto de 3-4 f/m y con una dureza de 120 MPa, etc.)

Lo anterior podría resultar paradójico si se considera que este modelo en conjunto está orientado a la contención de costos, no obstante lo cual es necesario tener presente que de

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

acuerdo a la naturaleza particular del sistema bajo estudio; el comportamiento de las variables espaciales condiciona toda la performance operacional, en particular, el nivel de gastos.

En otras palabras, el nivel de gastos total del circuito de conminución depende principalmente de la tronadura y esta es función esencialmente de la gestión del conocimiento geológico-geotécnico y por lo tanto del control ejercido, principalmente sobre variables espaciales que caracterizan al polígono y sobre la gestión del tiempo y la calidad del producto final, realizada en cada turno.

7.3.2 Perspectiva de control multivariable

La figura 7.2 muestra el esquema del sistema de control multivariable propuesto en este estudio, integrado por todas las variables que condicionan la eficiencia del SPMRA.

Se puede apreciar la existencia de cinco variables “finales” (graficadas en fondo oscuro) que afectan directamente la eficiencia del SPMRA; La variabilidad del cumplimiento del plan operacional, el tiempo total de proceso, el flujo de entrega de material a planta, el estado del frente de carguío y la granulometría del material tronado.

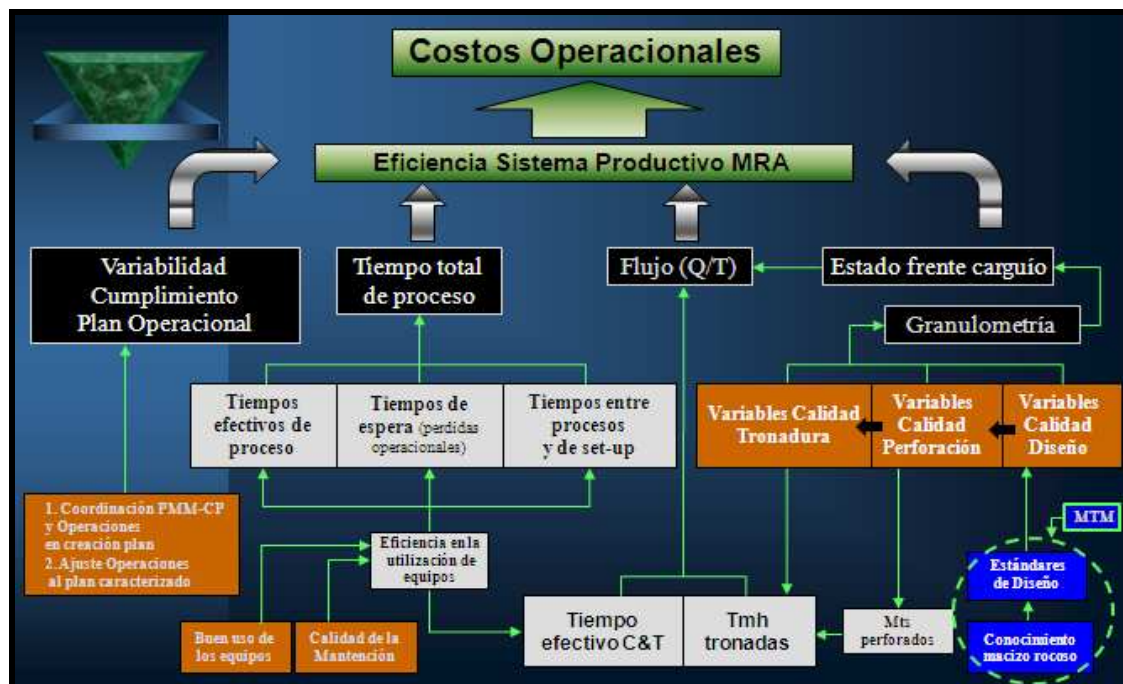


Figura 7.2 – Sistema Multivariado Gestión de Operaciones MRA [Realización personal]

Nótese que este esquema de control es más realista y completo que el usado actualmente, principalmente por la inclusión de la Calidad y los estándares de diseño.

Por otro lado, observe que el nivel de eficiencia del sistema, determina directamente el nivel de costos operacionales (KUS\$/TMH); en otras palabras: la gestión efectuada sobre estas variables determina el nivel de gasto y por lo tanto el nivel de costo del sistema.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

A partir de estas cinco variables finales se pueden identificar cuatro grupos de control:

1. Control de la calidad y el Diseño
2. Control del flujo de entrega
3. Control del tiempo total de proceso
4. Control de la variabilidad del cumplimiento del plan operacional

Estos cuatro grupos multivariados poseen una o más variables base, a partir de las cuáles se genera la dinámica propia del grupo. El análisis por grupo es el siguiente:

1. **Calidad y Diseño:** La calidad se mide a través de la Granulometría, la cual afecta directamente el flujo de C&T a través del estado del frente de carguío y de esta manera afecta a un grupo de control distinto, al interior de la MRA. De igual forma, la Granulometría afecta a todo el sistema SAG. La Granulometría, a su vez, depende de las variables de calidad: La calidad de la tronadura depende de la calidad de la perforación y esta última depende de la calidad del diseño y todas ellas dependen de la implementación de los estándares de calidad y por lo tanto del trabajo realizado en cada turno. Por calidad del diseño se entiende aquí; la resultante de implementar el diseño a partir de los estándares fijados previamente por el MTM, el cual, a su vez es función del conocimiento del macizo rocoso. Luego, asumiendo un escenario con MTM, la variable base o variable gestionable más básica es *la implementación de los estándares del diseño de la tronadura*, luego todo el principal esfuerzo de control e inversión, a diferencia de lo que ocurre en la actualidad se ejerce sobre P&T (incluyendo el diseño, obviamente).
2. **Tiempo de proceso:** Este grupo se mide a través del tiempo total de proceso por TMH, el cual es función de la distribución del tiempo, según el modelo ASARCO, la cual a su vez, es función de la gestión del tiempo efectuada en cada turno, lo que en última instancia es la expresión mas elocuente del *uso de los equipos por parte del turno y de la calidad de la mantención*.
3. **Variabilidad cumplimiento plan operacional:** Nótese que la variabilidad asociada al cumplimiento del plan, tal como se demostró en el apartado 6.3.3 es función del *nivel de ajuste de las operaciones al plan y de la coordinación existente entre la planificación y las operaciones*. Constituye un grupo en sí mismo, pues en la medida que se realicen mezclas de polígonos o se exploten polígonos sin caracterización aumentan considerablemente las probabilidades de emplear diseños inadecuados, ya sea a lo largo de todo el polígono como en zonas particulares de este, con lo cual la existencia de estándares de diseño propuestos por el MTM, no tendría mucho sentido.
4. **Flujo de entrega de material a planta:** Lo primero que debe considerarse es que este grupo depende de la gestión de variables de dos grupos diversos, con lo cual lo posiciona como un grupo multivariable final que es función de todo lo realizado aguas abajo; en efecto, depende de la calidad y el diseño (a través del estado del frente y los metros perforados) y de la gestión del tiempo. Con lo cual se muestra que la mejor forma de maximizar los rendimientos de C&T es controlando la performance de P&T.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Por lo tanto, la performance final del SPMRA es la resultante de la gestión combinada de variables espaciales relacionadas con el conocimiento del macizo rocoso y por lo tanto, distintivas del polígono y de las variables temporales y de calidad, ambas, resorte del turno.

Todo lo anterior presupone la existencia de un sistema de medición y control que opere como expresión concreta de un sistema de gestión basado en procesos a partir de la gestión del conocimiento del macizo rocoso, condensado esto último, en estándares de diseño de la tronadura que apunten en una perspectiva de integración de operaciones; es decir, bajo una política Mine to Mill.

A partir de todo lo anterior se genera un escenario caracterizado por la comprensión de todas las variables que controlan el nivel de gasto del sistema y por lo tanto, caracterizado por el conocimiento de las claves del control de los costos operacionales. Nótese, tal como se indicó en el apartado anterior, que los costos representan la dimensión resultante de todo el sistema multivariable.

De lo que se trata aquí es de contener los costos operacionales a partir del control de las variables que están detrás de los costos. En ningún caso se está diciendo que haya que asumir una posición pasiva frente a ellos, solo se está diciendo que en un proceso minero-metalúrgico caracterizado por una fuerte variabilidad intrínseca al proceso (tal como se demostrará en los estudios de minería de datos), los costos así como las demás variables asociadas al sistema, varían de tal manera de un polígono a otro y de un turno a otro, que es necesario modelar previamente todas las relaciones existentes entre los distintos sistemas multivariables antes de entrar a controlar la gestión de costos.

Lo anterior tiene dos lecturas dependiendo de si el modelo está implementado o no.

➤ **Implementación del modelo.** En esta fase se proponen las siguientes actividades:

1. Implementación del sistema de medición (almacenamiento y análisis de datos)
2. Implementación de un sistema de costeo por actividades (el modelamiento de este sistema está completo, en la actualidad)
3. Análisis multivariable (Correlación y regresión) de todas las variables identificadas en este estudio, esto es; calidad, tiempo, geológicas-geotécnicas, además de las respectivas variables de costos.
4. Diseño de modelos de gestión de costos a nivel desagregado y a nivel agregado, esto es; por turno, por polígono, por mes, etc. y en función obviamente de todas las demás variables, en especial las espaciales.

➤ **Empleo del modelo.** En esta fase se propone controlar bajo el siguiente esquema:

1. El diseño en sí mismo, a objeto de establecer si el diseño es el adecuado en función del conocimiento que se tenga del macizo rocoso asociado al polígono bajo consideración.
2. El comportamiento de los turnos bajo el siguiente esquema:
 - 2.1 Controlar que efectivamente se implemente el diseño determinado previamente

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

2.2 Controlar el manejo eficiente de los tiempos de proceso a efecto de garantizar mejores rendimientos operacionales y un eficiente empleo de los equipos.

2.3 Controlar que el nivel de gastos del turno no exceda de los límites fijados previamente, a partir de los modelos de gestión de costos y a partir de lo controlado en los puntos 2.1 y 2.2.

7.4 Con respecto a la implementación del sistema solución

7.4.1 Actividades de la implementación del sistema solución

La figura 7.3 muestra las diferentes actividades que compondrían una eventual implementación del modelo de gestión de operaciones propuesto en este estudio.

LO QUE RESTA POR HACER	
1.	Realizar análisis de procesos Chancado-Molienda SAG (Completar fase alineación de procesos)
2.	Modelar estructura de datos Chancado-Molienda SAG e incorporarla al modelo informático
3.	Abordar Confiabilidad de datos Operaciones Mina (P&T) y Planta
4.	Implementar sistema informático piloto en Conminución
5.	Incorporar al modelo la estructura de datos Costeo ABC Minas
6.	Realizar Proyecto Costeo ABC Planta e incorporar su estructura de datos al modelo
7.	Realizar modelos estadísticos procesos conminución (Diseño experimentos, Series de tiempo, Control estadístico, Data Mining, etc.)
8.	Realizar Proyecto <i>Business Intelligence</i> (Data Warehouse y aplicaciones de análisis de datos en SAP Business Information Warehouse)
9.	Implementar Mine to Mill
10.	Conformar estructura y grupo de trabajo BPM y desarrollar proyecto de Mejoramiento Continuo.

Figura 7.3 – Actividades implementación modelo [Realización personal]

Como parte de la implementación del modelo de gestión de operaciones, se propone utilizar, por lo menos en una primera fase de la implementación, el sistema informático piloto diseñado como parte de este estudio. Este modelo prototipo, no obstante haber sido desarrollado en Access (con todas las limitaciones que eso implica) puede ser puesto en red sin que se conecte a una BD formal y a partir de su uso se pueden introducir ciertos hábitos y prácticas que pueden derivar eventualmente en la creación de la génesis de una cultura en pos de la consulta y análisis de datos on-line, tendiente a fortalecer la toma de decisiones.

Por otro lado, no debe olvidarse que este sistema informático piloto fue diseñado en el marco de los criterios de calidad de la norma ISO 9001 y del modelamiento de un sistema de gestión basado en procesos, con lo que en última instancia se estarían sentando las bases de una cultura de gestión enfocada en los procesos bajo un criterio de control automatizado mina-planta.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Ahora bien, es indudable que este sistema informático piloto está incompleto si lo que se quiere es implementarlo como un sistema de medición y control integrado, pues en estricto rigor es necesario que incorpore las estructuras de datos de todos los procesos de la Línea SAG antes de implementarlo, lo cual pasa necesariamente por una etapa previa de levantamiento, modelamiento y alineación de los procesos de la línea SAG.

Por otro lado se necesita incorporar las estructuras de datos del sistema de costeo ABC que se está introduciendo en la GMIN, con lo cual se tendría, además de la dimensión operacional (operaciones mina y operaciones SAG), la dimensión de costos por actividad (costos mina). Además, es necesario que Andina modele e implemente un sistema de costeo ABC en Planta, para que de esta manera exista el criterio de costeo ABC integrado, tal como se recomienda para que se optimice el uso de este tipo de sistema de costeo.

Luego, aumentaría la complejidad del modelo informático piloto y con ello su nivel de realismo, entregando de esta manera, juicios más completos tendientes a fortalecer la cultura necesaria para la toma de decisiones propia de un escenario de mejoramiento continuo.

Al final de este período, llamado inicialmente *Primera Fase*, se estaría en condiciones de desarrollar dos proyectos de mejora sustancial que apunten directamente a la implementación definitiva del sistema solución propuesto en este estudio:

1. Desarrollo de un proyecto de Business Intelligence.
2. Análisis de viabilidad económica y eventual implementación del Mine to Mill.

Con respecto a la primera, es necesario considerar que CODELCO posee SAP BW (*Business Information Warehouse*), software de la empresa SAP que sirve tanto para el modelamiento e implementación de un Data Warehouse como plataforma de una suite de herramientas de BI. Por lo tanto se aconseja que la Corporación invierta en un proyecto de BI centrado en esta herramienta y satisfaciendo al mismo tiempo, una necesidad de optimizar el empleo de SAP en la empresa.

Con respecto a la segunda, es necesario que previamente se realice un modelo de simulación de todo el sistema productivo MRA-SAG, a partir del cual se cuantificaría el impacto de una eventual implementación del MTM (esto forma parte de la metodología de MMPT-AP y no involucraría costo alguno para la División Andina). Además se podrían conocer los dominios de fragmentación del macizo rocoso y se podrían proponer los primeros estándares de diseño según cada dominio identificado.

A partir de estos resultados se podría *echar a andar* una etapa de *marcha blanca* de la técnica, la cual serviría para desarrollar la cultura necesaria y medir las falencias del sistema de producción que atentan contra el éxito de la técnica, lo cual pasa necesariamente por el uso del modelo informático aludido anteriormente (nótese que sin un sistema de información como el propuesto en este estudio, es imposible poder determinar y cuantificar objetivamente tanto las causas de eventuales problemas en la implementación del MTM como de sus beneficios).

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

A partir de lo anterior, se estaría en condiciones de poder cuantificar el impacto de una eventual implementación del MTM y tener de esta manera elementos de juicio objetivos para tomar una decisión en tal sentido.

Todo lo anterior conformaría un escenario compuesto por las condiciones necesarias de gestión, identificadas en este estudio, las cuales fortalecerían un proyecto de desarrollo centrado en la maximización de la eficiencia operacional a partir del monitoreo, control y mejoramiento de los procesos de negocio.

Por lo tanto se estaría en condiciones de desarrollar un proyecto de *Mejoramiento Continuo* focalizado en los procesos de negocio, lo cual complementaría el actual proyecto de desarrollo de Andina (PDA) que apunta a la maximización de la cantidad de mineral procesado (según, proyecciones; el año 2016, Andina sería la mina rajo abierto más grande del mundo, lo cual justifica la existencia de un proyecto de desarrollo centrado en la eficiencia).

Por otro lado, se requiere de dos actividades desarrolladas en forma paralela a todo lo mencionado hasta ahora:

1. La discusión de las implicancias en el sistema de incentivos de las nuevas prácticas operacionales demandadas por la implementación de un sistema BPM, centrado en la calidad y en un esquema de orientación al cliente, lo cual pasa por incorporar al desarrollo de este proyecto, a los dos sindicatos de trabajadores.
2. El modelamiento de un sistema integrado de control analítico de procesos, que incorpore todas las herramientas de análisis identificadas anteriormente (p. 102), como por ejemplo, un sistema de control estadístico de procesos.

Las dos actividades se pueden desarrollar en forma paralela a todo lo mencionado hasta ahora. El punto es que el proyecto de desarrollo general tendiente a introducir la técnica Mine to Mill, el modelo de gestión basado en procesos BPM y un sistema de información Business Intelligence, se fortalecería considerablemente con la puesta en marcha de los dos proyectos anteriores (se asume que todas estas actividades enunciadas aquí, serían tratadas como proyectos).

Por último, a pesar de que la figura 7.3 no lo indica, todo lo discutido anteriormente presupone el desarrollo de proyectos paralelos tendientes a fortalecer la confiabilidad de los datos en todo el sistema y a medir aquello que aún no es posible medir; lo que en el caso de la MRA, pasa necesariamente por abordar la medición tanto de las coordenadas reales de los pozos, como de la granulometría del material tronado y en el caso de la Planta, esto pasa por la continuación de proyectos que ya se está desarrollando en la actualidad, tendientes a mejorar la confiabilidad de los datos planta.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

7.4.2 Características derivadas de implementar el sistema solución

La tabla 7.3 muestra un análisis comparativo de la situación actual v/s una situación en la que el modelo de gestión de operaciones propuesto en este estudio esté implementado y consolidado.

Esta tabla no será discutida, porque de algún modo resume todo lo mencionado a lo largo de este estudio.

Tabla 7.3 – Comparación Situación actual v/s Implementación modelo [Realización personal]

	Situación actual	Situación Modelo implementado
Objetivo de gestión	Maximización TMH pasadas a Planta	Contención de costos
Enfoque de gestión	Administración por objetivos (APO)	Gestión basada en procesos (BPM)
Criterio de gestión	Mina	Mina-Planta
Relación Mina/Planta	Mina provee de materias primas a la Planta	Proceso se inicial en la Mina y finaliza en la Planta
Alineación de procesos	De acuerdo al sistema de incentivos	Orientación al Cliente
Sistema de incentivos	Por cantidad de TMH pasadas a Planta	Redefinición de incentivos
Calidad	No existe propuesta de calidad completa	Implementación completa ISO 9001
Integración de operaciones	No existe integración de operaciones	Mine to Mill (MMPT-AP)
Enfoque de Medición y Control	Variables de tiempo y agregadas	Variables espaciales y desagregadas (polígono, turno)
Sistema informático	BD jerárquica, cerrada y estática	Business Intelligence
Sistema de Control	Control interno (Norma ASARCO)	Control Estadístico de Procesos
Utilización SAP	Sub-utilizado	Uso pleno: SAP R/3, SAP BW

7.5 Comentarios Finales

Lo único que resta mencionar es que hoy día más que nunca, debido a la inestabilidad que caracteriza la situación económica mundial, se hace necesario abordar la gestión de operaciones de CODELCO, en especial de Andina, de manera profesional y especializada y por lo tanto asignándole a la gestión (de operaciones), en tanto disciplina de la Ingeniería, el carácter que se merece y que por lo demás posee en otras funciones desarrolladas en la Corporación, como ser Comercialización, Finanzas, etc.

Son evidentes los graves problemas que posee la organización en materia de gestión de operaciones, los cuáles se deben principalmente al sistema de gestión existente, al desconocimiento de materias propias del área y al escaso empleo de TI adecuada para gestionar a alto nivel, lo cual pasa necesariamente por la casi nula presencia en operaciones, de profesionales del área (léase, Ingenieros industriales, Ingenieros comerciales, Ingenieros Informáticos y Analistas estadísticos, principalmente) y por una sub-valoración de la gestión, en tanto disciplina, en la organización de operaciones minero-metalúrgica.

Comúnmente se menciona, inclusive al interior de la Corporación, que los problemas de costos de CODELCO, se deben principalmente a la fortaleza de los sindicatos y a la cultura

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

organizacional existente, lo cual resulta una franca exageración si se considera con objetividad, toda la discusión sostenida a lo largo de este trabajo.

Si bien es cierto, el sistema sindicalista presenta muchos excesos, no es menos cierto, en primer lugar; que la ausencia de sindicatos también los presenta y en segundo lugar: que la esencia de lo discutido hasta ahora no guarda directa relación con el accionar de los sindicatos, sino más bien con la mala gestión de operaciones existente en CODELCO y con la escasa motivación por parte de las personas, a provocar cambios de fondo en la organización.

Es común escuchar a gerentes, superintendentes e ingenieros especialista, tanto de mina como de planta, decir que su poder se ve limitado por la acción de los sindicatos, no obstante, en este estudio se indicó y en algunos casos hasta se demostró, que muchos de los problemas operacionales se deben principalmente al desorden, a la desidia, al escaso control ejercido en situaciones que es de perogrullo controlar, a malas prácticas, al desconocimiento de ciertas materias propias de la gestión y por sobre todo a la falta de un buen liderazgo respaldado por un buen sistema de gestión.

En otras palabras, el margen existente entre la situación actual y una óptima es demasiado amplio como para afirmar que este es imposible de salvar debido, única y exclusivamente, a la acción de los sindicatos. Si bien es cierto, estos pueden oponerse a muchos proyectos de cambio, no tiene ningún sentido afirmar que quieran oponerse, por ejemplo, a la minimización de la variabilidad de las coordenadas de los pozos, o a la presencia de un data warehouse como sistema de medición o inclusive a la redefinición del sistema de incentivos, toda vez que un nuevo sistema de incentivos puede, inclusive, ser mucho más beneficioso para ellos.

Mas bien, es necesario entender que CODELCO es una empresa estatal surgida en el gobierno socialista del Pdte. Salvador Allende y como tal, se caracteriza por una cultura organizacional fuerte y por el gran poder que poseen los trabajadores en la toma de decisiones, lo cual redundante entre otras cosas, en beneficios económicos altos, de los cuáles se benefician todos, inclusive aquellas personas que culpan de los problemas, al mundo sindical.

En todo este estudio ha estado implícita la siguiente tesis de trabajo:

Es posible abordar la eficiencia operacional de CODELCO sin atentar contra su legado histórico fundacional, pero al mismo tiempo, No es posible abordar la eficiencia operacional de CODELCO sin profesionalizar su gestión de operaciones

Luego, consecuente con la formación profesional recibida por el autor, se concluye que es posible abordar la problemática de CODELCO a la luz de hechos objetivos, aprovechando las oportunidades de mejora descubiertas en este estudio, empleando tecnología y conocimientos de gestión y al mismo tiempo, respetando tanto la cultura organizacional como el legado histórico que implica su fundación, a saber: Ser una *EMPRESA ESTATAL* que explote y comercialice el cobre de Chile y cuyos beneficios sean administrados por el estado para beneficio de todos los ciudadanos.

Anexos

Anexo 1 – Técnica Mine to Mill

Antecedentes

Mine to Mill es en la actualidad, una marca registrada por el *Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre* (JKMRC).

El JKMRC nació en los años '60, en Brisbane, Australia, como un equipo de investigación. El año 1970 fue incorporado oficialmente a la Universidad de Queensland, como un centro de investigación que tenía como objetivo, desarrollar soluciones técnicas a problemas propios de la industria minera de gran escala.

Es el más grande centro de investigación australiano en esta área. Ha colaborado con los más grandes grupos de investigación alrededor del mundo y entregado soluciones a la mayoría de las compañías mineras de la industria mundial.

Posee gran reputación en el desarrollo de aplicaciones exitosas, tales como; herramientas de modelamiento y análisis y el diseño de instrumentos de medición.

El año 1986 se crea el *JKTech*, como un centro de transferencia tecnológica, cuyo principal objetivo consistía en hacer viables las soluciones desarrolladas por el *JKMRC* y entregar soluciones concretas a la industria. En la actualidad *JKTech* posee clientes en más de 30 países.

Los productos más conocidos del *JKTech* son; *JKTech Drop Weight test*, *Point Load test* (ambos, test de medición de dureza en rocas), *JKSimMet* (software de modelamiento de alto nivel y simulación de procesos minero-metalúrgicos), entre otros.

En 1998, los investigadores de *JKMRC* condujeron una investigación referente a la optimización mina a molienda (*Mine to Mill*), es decir tendiente a determinar las condiciones que favorecían una visión holística del proceso minero-metalúrgico.

La investigación arrojó soluciones concretas que maximizaban los beneficios económicos a partir de ciertas prácticas de fragmentación y reducción del tamaño del mineral.

La evaluación de las prácticas de tronadura en orden a optimizar el tamaño del material fragmentado consideró el proceso total de conminución y no solo la minimización de los costos de la tronada.

Una de las primeras experiencias concretas consistió en la introducción de esta técnica en compañías mineras norteamericanas, las cuáles poseían un amplio margen de mejoras antes de la implementación de la técnica, lo cual derivó en ahorro de costos de hasta un 10%.

En resumen, *Mine to Mill* surge en el contexto de una investigación académica y deriva, tal vez sin proponérselo, en un concepto de gestión de los procesos de conminución, lo cual se

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

traduce en el desarrollo de una técnica de operación, la que en definitiva es implementada inicialmente en compañías mineras estadounidenses.

Posteriormente algunas de las personas que integraron el equipo original se integraron a su vez a *Metso Mineral* (una compañía australiana) y operaron al alero de una unidad de negocios independiente y a través de una consultora denominada *Metso Mineral Process Technology Asia Pacific* (en adelante *MMPT-AP*).

A partir de ahí, muchas empresas a lo largo del mundo han desarrolladas técnicas orientadas al Mine to Mill (IM2 en Chile y MAXAM en España, son algunos ejemplos).

Tests de caracterización

➤ Point Load Test

Point Load Test (test de carga puntual), también conocido como Point Load Index y abreviado como PLT (PLI), es una rápida y conveniente forma de determinar la resistencia o fuerza de un mineral (la roca que lo contiene) y también el nivel de fracturas que éste tiene asociado.

El PLT puede ser usado exclusivamente en tronadura o en todo el proceso de Conminución.

Con respecto a la máquina empleada en este tipo de test (*Point load tester*); se compone de un ariete o pistón que obtiene su potencia a través de un mecanismo hidráulico y de dos cilindros puntiagudos y alineados en sentido opuesto el uno con el otro, (aquellos que destacan en la figura). Uno de los cilindros permanece fijo mientras el otro ejerce fuerza sobre la roca de muestra.



Figura 1 – Máquina para realizar test de carga puntual [Fuente: JKTech]

La metodología es como sigue: Una muestra de roca es montada entre los dos cilindros. El cilindro superior ejerce presión creciente sobre la roca, hasta que esta eventualmente cede y se quiebra. La fuerza *peak* (**P**) que registra la máquina refleja la máxima carga que resiste la roca y

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

esta es almacenada para ser usada posteriormente en el cálculo del Point Load Index o índice de carga puntual.

La fuerza P es convertida a un valor de resistencia equivalente en una roca de 50 mm. Esto produce el también llamado valor **Is(50)** o índice de carga puntual de tamaño corregido.

La fórmula estandarizada para convertir la fuerza a Is(50) es la siguiente:

$$\mathbf{Is(50) = F \cdot P / (D_e)^2}$$

Donde:

F = Factor de corrección de tamaño = $(D_e/50)^{0,45}$

P = Carga aplicada (Mega Newton)

$D_e = (4A/\pi)^{0,45}$

A = Mínima sección de área (*cross section*) de la muestra (mm^2)

En este estudio se proponen las siguientes formas compactas de expresar la formula:

$$\mathbf{Is(50) = (16,6 \cdot 10^{-3}) \cdot (P/A^{31/40}) \text{ [MPa]}}$$

$$\leftrightarrow \mathbf{Is(50) = (16,6 \cdot 10^3) \cdot (P/A^{31/40}) \text{ [Pa]}}$$

Donde P y A son las variables que describen la roca de muestra bajo estudio, Pa es igual a Newton/mm^2 y luego el Is(50) corresponde a un valor de presión (Fuerza/Área).

Estos test se realizan sobre una muestra aleatoria de rocas de tal suerte de recolectar una cantidad suficientemente representativa de datos a partir de los cuáles y a través de procedimientos de análisis estadístico se pueda concluir acerca del nivel de resistencia que poseen las rocas de una zona geográfica determinada previamente.

De esta manera se conoce el nivel promedio de presión que es necesario ejercer sobre el mineral extraído de esta zona de tal suerte de tomar decisiones referidas a la ejecución de los procesos propios de la conminución del mineral.

➤ **Rock Quality Designation (RQD)**

RQD es un índice obtenido en el contexto de un sondeo en terreno, en virtud del cual se calcula el porcentaje de material recuperado, también llamado fragmentos del centro (*core pieces*), con más de 10 cm de longitud, el cual queda retenido en el eje del tubo utilizado en el sondeo.

$$\mathbf{RQD = (\sum \text{material de dimensión mayor o igual a 10 cm} / \text{Total material del sondaje}) \cdot 100}$$

Por lo tanto el índice RQD se mide en unidades porcentuales.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Existen varias formas de calcular el RQD. No obstante lo anterior el procedimiento más común que a su vez es el procedimiento usado tanto por MMPT-AP como Andina corresponde al cálculo del RQD en función del número de fracturas por metro, llamado también FF (frecuencia de Fractura), determinadas al realizar el levantamiento litológico-estructural (*detail line*) en el área o zona muestreada.

Hoy en día, RQD es usado como un parámetro estándar (obtenido por sondeo) en la clasificación de la masa asociada a una zona geográfica.

RQD	Rock Quality Classification
<25%	Very Poor
25-50%	Poor
50-75%	Fair
75-90%	Good
90-100%	Excellent

Figura 2 – Clasificación de la masa con RQD [Fuente: Miner's Toolbox]

Técnica Mine to Mill de Metso Minerals Process Technology

Minera Batu Hijau

El siguiente apartado se basará en el documento *Batu Hijau Model for Throughput, Mining and Milling Optimization and Expansion Studies* de propiedad de MMPT-AP.

La técnica de operaciones orientada al Mine to Mill y desarrollada por MMPT-AP, será explicada a partir de la experiencia de implementación en la minera *Batu Hijau*.

Esta mina, perteneciente a la *Newmont Mining Corporation*, es productora tanto de cobre como de oro. Está localizada en el sur-este de *Sumbawa*, en la provincia de *Nusa Tenggara Barat, Indonesia*.

Batu Hijau inició sus operaciones en 1999. La planta estaba conformada por dos circuitos de molienda y había sido diseñada para producir 120.000 toneladas por día (5.000 TPH en promedio) de concentrado de cobre y oro.

A partir del año 2002, Batu Hijau inicia un proceso de mejoramiento de sus operaciones; abarcando desde las mejoras específicas hasta el rediseño de procesos. Intervino el circuito de chancado pebble, lo cual trajo como consecuencia, un aumento en las tasas de rendimiento de la molienda del orden del 10%. Además introdujo cambios en las prácticas de tronadura, las cuales trajeron como consecuencia, el aumento de la fragmentación de los minerales duros y por lo tanto mejoras adicionales en las tasas de rendimiento de la molienda del orden del 2 al 7%.

Es decir, a través de estos antecedentes se pone en evidencia la orientación al mejoramiento continuo característico del perfil de Batu Hijau.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

En esa misma perspectiva, el año 2004, Batu Hijau contrató los servicios de MMPT-AP, para realizar un estudio concerniente a la caracterización del mineral y confeccionar modelos de los dominios (zonas geográficas) específicos asociados a los rendimientos de la molienda, los cuáles serían usados en la predicción de la producción de largo plazo y en la evaluación de las opciones de una eventual expansión de la molienda (SAG y Bolas).

Rendimiento de la Molienda

Las tasas de rendimiento de la molienda son altamente variables, en especial en el corto plazo (en el caso de Batu Hijau, fluctuaban entre las 4.500 TPH y las 7.300 TPH).

Por otro lado, la fuerte incidencia de la tasa de proceso de la molienda en los ingresos totales del negocio, aconseja disponer de un modelo predictivo de esta, tal de poder controlarla y disponer de esta manera de un criterio que permita estimar los ingresos del negocio y operar los procesos en niveles técnica y económicamente viables.

No obstante lo anterior, un modelo predictivo en si mismo, sólo entrega un rango de fluctuación de la tasa de rendimiento de la molienda, bajo un cierto grado de confiabilidad, que inclusive puede ser bajo.

Además, el realismo de un modelo predictivo y por lo tanto su capacidad de predicción es función de un análisis de procesos, previo.

Por lo tanto se necesita de un estudio acabado de todo el complejo operacional localizado “aguas abajo” de la molienda, de tal suerte de poder identificar y analizar las distintas variables que condicionan la tasa de rendimiento de esta.

La idea detrás de este tipo de estudios consiste en la optimización de la entrega de mineral a planta considerando para ello el ingreso del negocio por hora de molienda corrida base (*revenue per mil run hour basis*), de tal suerte que se pueda maximizar el beneficio económico a través de la producción de metal al mínimo costo de producción y proveyendo al mismo tiempo de una base para el proceso de mezcla (esto último se refiere a la mezcla de tipos de metales que ocurre en el molino de acuerdo al tipo de resistencia y litología de origen).

Esta idea a su vez posee dos implicancias de fondo; las tasas de rendimientos de la molienda deben ser incluidas en los planes de producción de la mina y por lo tanto orientar la producción minera hacia la maximización de los rendimientos de la molienda y por último debe existir un sistema de trazabilidad del mineral desde la molienda hasta el yacimiento.

En lo que sigue se hará mención principalmente de la Molienda SAG, pues este tipo de molienda es más cara y mucho más dependiente de la granulometría que la llamada *Molienda Convencional* y por lo tanto es más crítica que esta última.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

La tasa de rendimiento del molino SAG depende de:

1. La tasa de rompimiento de mineral en el molino (*breakage rate*), la cual es función directa de la dureza del mineral o resistencia de la roca.
2. La distribución del tamaño de la alimentación al molino.

Por lo tanto si es posible medir ambas, también es posible medir la tasa de rendimiento del molino SAG y por lo tanto, controlarla.

Es decir, el modelo predictivo de la performance del molino SAG es función de la forma como se modele esta dependencia estructural.

Por otro lado, la tasa de rompimiento del mineral en el molino depende de:

1. Resistencia de la roca (rock strength)

Además, la distribución del tamaño de la alimentación al molino SAG depende de:

1. Estructura de la roca in-situ
2. Resistencia de la roca
3. Prácticas operacionales de la Tronadura
4. Prácticas operacionales del Chancado primario

Por lo tanto se necesita desarrollar un conocimiento de los distintos parámetros geológicos que definen la resistencia y estructura de la roca e incorporarlos al modelo predictivo de la tasa de rendimiento de la molienda.

Volviendo al caso bajo estudio; en el año 2004, MMPT-AP y el equipo Mine-to-Mill de Batu Hijau, condujeron un estudio que tenía como principal objetivo: el diseño de un modelo predictivo de las tasas de molienda, en particular de la molienda SAG y que pasaba necesariamente por la definición de las zonas geográficas específicas que maximizaban el rendimiento de la molienda (*mill throughput domains*) y por lo tanto, por una completa revisión de la dureza y fragmentación del mineral depositado en el cuerpo del mineral (*ore body*) de Batu Hijau.

Dominios de mineral

Si hubiera que identificar el aspecto más crítico de esta técnica sin duda que este vendría dado por la problemática relacionada con la definición de los llamados dominios de mineral (*ore domains*).

Entiéndase por tal a las distintas zonas geográficas ubicadas en el cuerpo del mineral que presentan cierta homogeneidad descriptiva, a partir de las cuáles se extrae y se procesa el mineral de una forma particular en función precisamente de estas características descriptivas.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

La pregunta es: ¿Cuál es el mejor criterio para definir esa homogeneidad? La respuesta no es obvia y requiere de mucha experticia y conocimiento de distintas experiencias operacionales de tal suerte de poder responder la pregunta con fundamentos empíricos.

Para MMPT-AP, un dominio de fragmentación es una zona rocosa en la cual la estructura y resistencia de la roca son similares en toda ella y al ser sometidas a la misma energía de tronadura se obtiene una fragmentación similar. El objetivo de definir estos dominios consiste en la identificación de las áreas del rajo que requieren energía adicional para la tronada así como aquellas áreas, las cuáles pueden producir una fragmentación aceptable con FC más bajos.

De esta manera se obtiene una relación óptima entre cantidad de explosivo usado en la tronadura y fragmentación obtenida. Esto a su vez contribuye a la optimización del proceso en el sentido que minimiza los costos totales de la Conminución y por lo tanto redundando en una mayor eficiencia del proceso minero-metalúrgico, lo cual a su vez responde a la filosofía Mine to Mill.

Muchas empresas mineras alrededor de todo el mundo han definido estas zonas en función exclusiva de la litología, al margen de cualquier consideración relacionada con la resistencia o la estructura de la roca.

Batu Hijau, antes del estudio de MMPT-AP, también definía sus dominios de esa manera, con la diferencia que asociaban los tipos litológicos con rangos RQD.

Ore definition 2000-2003	Ore Definition 2003-Q2 2004
Faulted	Volcanic RQD<40%
Volcanic RQD<50%	Volcanic RQD>40%
Volcanic RQD>50%	Diorite RQD<40%
Diorite RQD<50%	Diorite RQD>40%
Diorite RQD>50%	Intermediate Tonalite RQD<40%
Intermediate Tonalite RQD<50%	Intermediate Tonalite RQD>40%
Intermediate Tonalite RQD>50%	Young Tonalite RQD<40%
Young Tonalite	Young Tonalite RQD>40%
Undifferentiated (Stockpile rehandle)	Undifferentiated (Stockpile rehandle)

Figura 3 – Dominios de mineral de Batu Hijau [Fuente: MMPT-AP]

Batu Hijau dividía cada tipo litológico en dos zonas diferenciadas en función de la partición obtenida a partir de las mediciones RQD y por lo tanto asociaban a cada tipo litológico dos zonas de estructura de roca distinta.

A partir del año 2003 y hasta el año 2004, año en que MMPT-AP realizó el estudio bajo consideración, Batu Hijau solamente cambió el parámetro de particionamiento (*cut-off*) de la medición RQD desde 50% a 40%, debido a que se dieron cuenta que de esta manera se obtenían mejores dominios de tal suerte de poder igualar (*equalising*) la distribución del tamaño del material tronado y por lo tanto entregar material a planta con una misma distribución de tamaño, al margen de las características de origen del material.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Por lo tanto y en la perspectiva del mejoramiento continuo e inspirado en los conceptos desarrollados por JKMRC, Batu Hijau venía considerando, antes del estudio de MMPT-AP, la estructura de la roca, en la definición de sus dominios de mineral y había introducido mejoras en su sistema de medición RQD.

Técnica de definición de dominios de mineral

La técnica de MMPT-AP para definir dominios de mineral descansa en los siguientes conceptos, los cuáles han sido definidos y probados a lo largo de muchos años de experiencia por MMPT-AP.

1. La estructura de la roca en combinación con el factor de carga, determinan el tamaño de la fragmentación ROM y por lo tanto la distribución del tamaño del material tronado.
2. La dureza del mineral y por lo tanto la tasa de rompimiento en el molino SAG puede ser correlacionada con las mediciones de resistencia de la roca, tal como PLT.

► Tamaño de la alimentación al molino SAG

Datos de operaciones-planta en Batu Hijau, tomados entre Noviembre de 2003 y Abril de 2004, confirman las siguientes relaciones:

1. La tasa de rendimiento del molino SAG *decrece* según *crece* el tamaño del material F-80 proveniente de las mediciones efectuadas a través del Split-OnLine.
2. El tamaño de la alimentación al molino SAG *crece* según *crece* el RQD (según baja la FF).

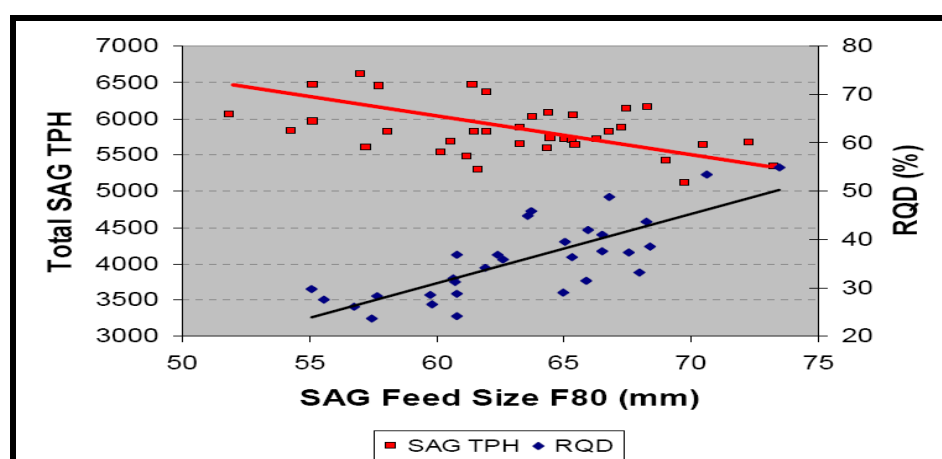


Figura 4 – Relación estructural Batu Hijau [Fuente: MMPT-AP]

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

De lo anterior se concluye que:

1. El flujo del molino SAG es inversamente proporcional al tamaño del material tronado
2. El flujo de material en la última etapa del proceso de Conminución es inversamente proporcional al tamaño del material resultante de la primera etapa del proceso de Conminución.
3. El tamaño del material que alimenta al molino SAG es directamente proporcional a las mediciones RQD e inversamente proporcional a la FF.

Del gráfico de la figura 4 se deduce la siguiente relación promedio entre el flujo del SAG y el tamaño de su alimentación, en Batu Hijau:

$$\Delta\text{FlujoSAG} = -(1000/20) * \Delta\text{F-80} \text{ [TPH/mm]}$$
$$\leftrightarrow \Delta\text{FlujoSAG} = -(50) * \Delta\text{F-80} \text{ [TPH/mm]}$$

Por lo tanto, por cada milímetro que aumenta, en promedio, el tamaño del material de alimentación, el flujo del molino SAG disminuye en 50 TPH.

De igual manera:

$$\Delta\text{F-80} = 0,7 * \Delta\text{RQD} \text{ [mm/\%]}$$

Por lo tanto, por cada punto porcentual que aumenta el RQD, el tamaño F-80 aumenta 0,7 mm, en promedio.

El punto de fondo del Mine to Mill es que esta relación estructural puede ser gestionada con diseños de tronadura adecuados y estandarizados.

➤ Dureza del mineral

La tasa de rompimiento del mineral en el molino es función, como se dijo, de la dureza del mineral o resistencia de la roca. Las propiedades de esta tasa han sido tradicionalmente derivadas a través del test *JKTech Drop Weight (AxB)*, perteneciente a JKTech.

Este test es caro, requiere bastante tiempo y se realiza en laboratorios, por lo tanto resulta ser poco atractivo desde el punto de vista comercial.

Sin embargo, en mediciones de resistencia de roca, realizadas en varios cuerpos de mineral se ha descubierto la existencia de una relación directa entre el test *JKTech Drop Weight* y el *Point Load test (PLT)*.

Si se considera que este último test es barato, rápido y puede ser aplicado en terreno (*in-situ*), se concluye que es una alternativa mucho más competitiva. De hecho es empleada por MMPT-AP como parte de su técnica para definir dominios de mineral.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

En Batu Hijau se realizaron más de 12.000 pruebas entre test PLT y test AxB, tendientes a conformar una muestra aleatoria y representativa del cuerpo del mineral, el cual poseía una capacidad cubificada en 1,3 billones de toneladas.

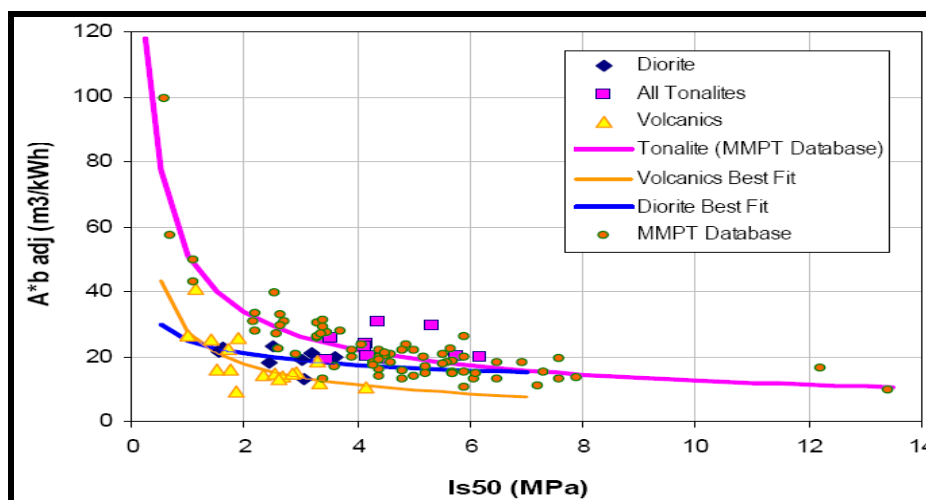


Figura 5 – PLT v/s test AxB en Batu Hijau [Fuente: MMPT-AP]

Los resultados demostraron una baja resistencia al rompimiento y por lo tanto altas tasas de rompimiento y por lo tanto buenas expectativas acerca de las tasas de rendimiento de molienda.

Además se demostró una alta relación entre el PLT y el test AxB, pero cada litología mostró su propia relación PLT/AxB.

El gráfico de la figura 5 muestra las distintas relaciones entre ambos test existentes al interior de cada litología. Es decir, al margen del tipo de litología que se esté considerando, siempre es posible encontrar una relación directa entre ambos test.

Además, las mediciones de dureza del mineral arrojaron valores bajos para todas las litologías. En particular si se empleaba el PLT, se descubrió que la mayoría de los valores se encontraban entre 2 Is50 (MPa) y 6 Is50 (MPa) y por lo tanto las tasas de rompimiento de mineral y las tasas de molienda tenían buenas expectativas.

Por otro lado, MMPT-AP encontró que las muestra de PLT confeccionadas por Batu Hijau tenían errores, los cuáles se debían a las siguientes causas:

1. Presencia de datos “pobres” en la colección, los cuáles habían sido obtenidos a partir de muestras tomadas desde pozos llenos, (antes de ser perforados) durante el año 2002. Estos datos fueron removidos de la colección por MMPT-AP en 2004.
2. Cálculos incorrectos de PLI (uso de fórmulas alternativas). Los valores de PLI fueron recalculados aplicando la fórmula estandarizada.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

En conclusión, los dominios de rendimiento de la molienda pueden ser definidos a partir de la dureza del mineral y el tamaño de la alimentación al molino (como función directa, esta última, de la estructura de la roca). PLI (PLT) se puede usar para estimar la dureza del mineral y RQD para estimar su tamaño.

Una revisión y análisis de los datos obtenidos y graficados a partir de las pruebas de RQD y PLI arrojó los siguientes resultados:

1. La existencia de tres dominios distintos por cada prueba.
2. Como consecuencia de lo anterior, se construyó una matriz de 3x3 para modelar todas las combinaciones posibles entre dureza y tamaño.
3. Como consecuencia de lo anterior se identificaron 9 dominios de rendimiento de molienda

Los rangos fueron establecidos de tal suerte de distribuir de manera uniforme el nivel tanto de RQD como de PLI.

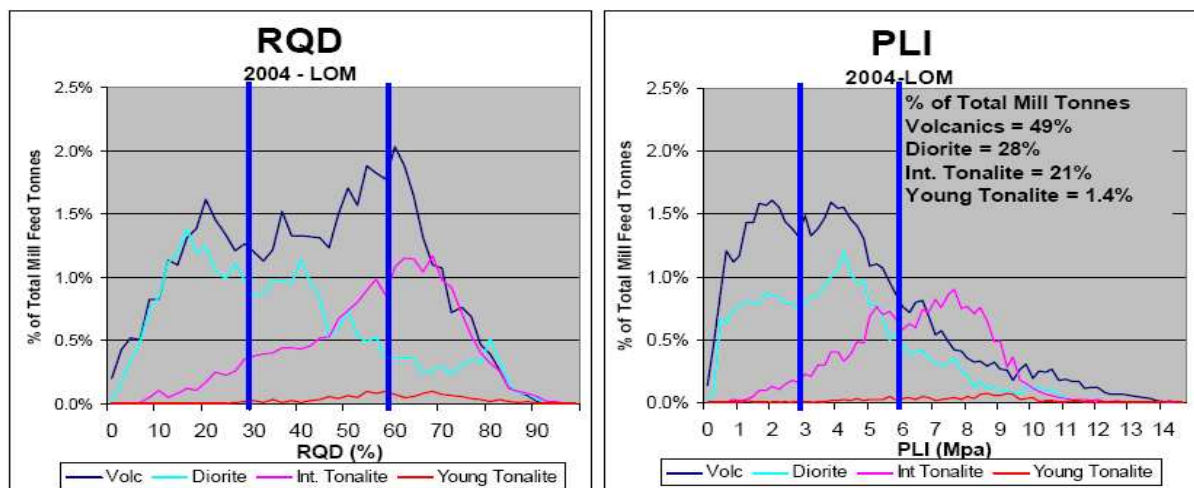


Figura 6 – Rangos de RQD y PLI [Fuente: MMPT-AP]

Cada dominio fue categorizado de una manera particular de tal forma de poder diferenciarlo de los demás. Por lo tanto cada dominio (categoría) tenía asociado un rango de RQD y un rango de PLI, lo cual reflejaba la intersección de las graficas de ambos test.

Esta matriz de dominios fue aplicada para cada una de las cuatro mayores litologías identificadas por el estudio (Volcanita, Diorita, Tonalita intermedia y Tonalita joven), las cuáles se muestran en la figura 6. Por lo tanto se obtuvieron 36 (9x4) dominios.

La siguiente etapa consistió en simplificar el problema, tratando de disminuir la cantidad de dominios. Luego, a través de la búsqueda de asociaciones entre dominios colindantes se

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

redujo la cantidad de dominios a 16, cada uno de los cuáles contenía entre el 5% y 10% del tonelaje total del cuerpo del mineral de Batu Hijau.

A manera de explicación de la figura 7, considérese el primer dominio (V-FS), el cual corresponde a Volcanita-Fina fragmentación (bajo RQD) Blando (bajo PLI). La primera letra representa la litología, la segunda letra representa el tamaño del mineral y la tercera letra representa la dureza del mineral. Si se observa con detención se podrá comprobar que este dominio tiene asociado un rango RQD entre 0% y 30% y un rango PLI entre 0 MPa y 3 MPa.

		16-Domains		
		RQD 0-30	RQD 30-60	RQD >60
Volcanic	PLI 0-3	V-FS	V-CS	
	PLI 3-6		V-MM	V-CM
	PLI >6	V-FH	V-MH	V-CH
Diorite	PLI 0-3	D-FS	D-CS	
	PLI 3-6		D-CM	
	PLI >6	D-FM	D-CH	
Intermediate Tonalite	PLI 0-3	IT-MM		IT-CH
	PLI 3-6			
	PLI >6	IT-MH		
Young Tonalite	PLI 0-3	YT-CH		
	PLI 3-6			
	PLI >6			

V = Volcanic
 D = Diorite
 IT = Intermediate Tonalite
 YT = Young Tonalite
 F = Fine fragmentation (ie low RQD)
 M = Medium Fragmentation or Hardness
 C = Coarse Fragmentation (ie very High RQD)
 S = Soft (low PLI)
 H = Hard (High PLI)

Figura 7 – Matriz de dureza del mineral [Fuente: MMPT-AP]

Estandarización del Diseño (Cookbook)

A partir de todo lo anterior y en particular a partir de la identificación de los dominios, la metodología desarrollada por MMPT-AP considera la definición de los parámetros de diseño de perforación y tronadura (dril & blast design) por cada uno de los dominios identificados en la etapa anterior (para una mejor comprensión del tema, considere todo lo dicho en este estudio acerca del diseño; cap. 2 y 4).

Estos parámetros han sido identificados y probados a lo largo de años de experiencia en varios cuerpos de mineral y por lo tanto tienen un carácter empírico. Por lo tanto, en función de la experiencia pasada y en función de las características propias de cada nuevo cuerpo de mineral, MMPT-AP en conjunto con el cliente (Batu Hijau, en este caso) propone un set de parámetros de diseño específicos para ese macizo rocoso en particular.

La idea central es estandarizar el diseño y las operaciones mina en función de un conocimiento acabado y objetivo del cuerpo del mineral, cuyas características han sido identificadas siguiendo metodologías científicas y fundadas en argumentos racionales.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

A su vez, la idea de estandarizar el diseño es igualar (equalizing) los rendimientos de la molienda a partir de la tronadura de minerales de distinto origen y características.

La figura muestra algunos de los parámetros que fueron definidos por cada uno de los 9 dominios originales, (sin considerar aún, la litología).

Se observa, por ejemplo que a medida que PLI y RQD disminuyen, la malla aumenta y el factor de carga disminuye, pues no se hace necesario aplicar tanta energía en la tronadura en esas condiciones (malla: Burdem x Espaciamiento; si el espaciamiento aumenta, aumenta el espacio entre pozos).

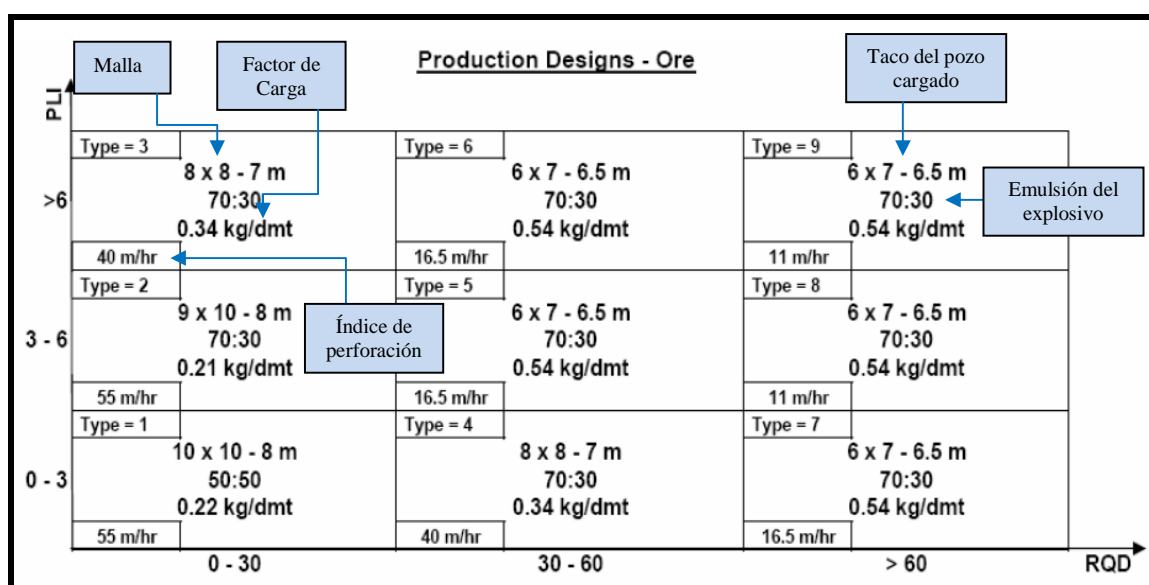


Figura 8 – Parámetros del diseño por dominio (Cookbook) [Fuente: MMPT-AP]

Modelamiento integrado sistema conminución

A continuación se procede a modelar el sistema productivo de tal suerte de obtener modelos predictivos de las tasas de rendimiento de la molienda en función de todas las variables identificadas en las etapas anteriores.

Este modelo debe satisfacer las siguientes condiciones:

1. Debe considerar las variaciones del rendimiento de la molienda como una función de las diferencias en el tamaño de la alimentación al molino.
2. Debe considerar las variaciones del rendimiento de la molienda como una función de las variaciones de las tasas de rompimiento del mineral (de su nivel de dureza).
3. Debe estar enfocado en la predicción de los rendimientos de la molienda y no en la predicción de la fragmentación del material tronado (P80).

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

4. Debe ser un modelo que entregue estimaciones de corto, mediano y largo plazo.
5. Debe considerar las estimaciones de los beneficios económicos como una función de las variaciones de rendimiento de la molienda.
6. Finalmente, deber ser un modelo integrado que abarque todas las etapas de la Conminución.

MMPT-AP condujo en Batu Hijau el modelamiento del proceso de conminución completo, es decir; tronadura, chancado y molienda. El objetivo principal consistió en la estimación del tamaño de la alimentación al SAG, del nivel de dureza del mineral y la consiguiente tasa de rendimiento del SAG (la parte del estudio relacionada con la molienda convencional, no será considerada aquí).

Los modelos componentes del modelo integrado eran los siguientes:

1. Modelo de fragmentación de tronadura
2. Modelo del chancador primario
3. Modelo del circuito de la molienda (SAG, Bolas, Ciclones y Chancador Pebble)

Cuando aquí se habla de modelamiento, en realidad se está hablando de modelos de simulación de alto nivel. Para su confección se empleó el software perteneciente a JKTech, llamado JKSimMet.

Los resultados de las simulaciones combinadas de los tres modelos mencionados arriba fueron divididas en tres categorías; *coarse/hard*, *mean* y *fine/soft*. Estas categorías se aplicaron a cada litología por separado. Los inputs de esos modelos fueron los siguientes:

1. Los datos de masa de roca provistos por las pruebas de RQD, los cuáles fueron usados para estimar la distribución del tamaño del mineral.
2. Los datos UCS inferidos a partir de los datos de PLI
3. Test AxB y los PLI correlacionados con estos

El modelo de fragmentación de tronadura asumió diseños de tronadura con alturas de bancos de 15 mts, diámetros de perforación de 0,311 mts y un burdem y espaciamiento de 7mts y 6mts respectivamente. Los datos de P80 fueron usados para validar las predicciones de los modelos.

Los números aleatorios de las distintas distribuciones de probabilidad asociadas, fueron obtenidas a partir de simulaciones de Monte Carlo paralelas.

La distribución del tamaño ROM fue estimada usando el modelo de fragmentación de tronadura y las simulaciones de Monte Carlo. Se consideraron 1000 iteraciones del modelo a efecto de obtener estimaciones más realistas. Se consideró un intervalo de confianza de 95%.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

La fragmentación ROM fue usada como input en el modelo del Chancador primario, el cual a su vez fue usado para predecir el tamaño de la alimentación del molino SAG. Las simulaciones del chancador fueron hechas considerando un *closed side setting* de 125 mm.

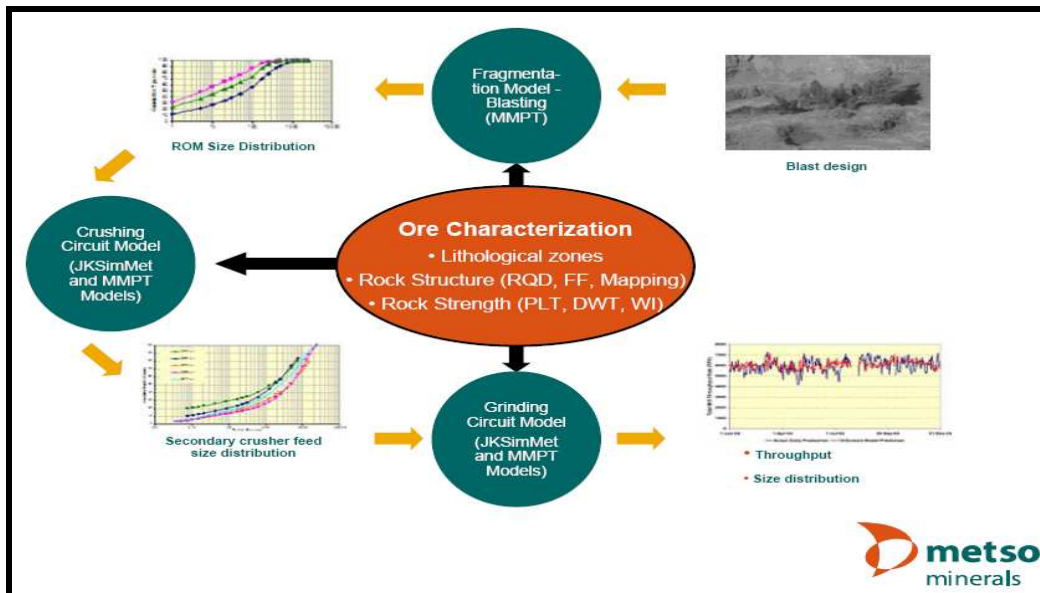


Figura 9 – Sistema Modelamiento Integrado Proceso Conminución
[Fuente: MMPT-AP]

Las estimaciones obtenidas a partir de este modelo fueron usadas como input del modelo del circuito de la molienda. En este último modelo se mezclaron las estimaciones por cada tipo de mineral, tal como sucede en el sistema de molienda real, donde se mezclan todos los tipos de minerales y se obtuvieron por lo tanto, estimaciones de las tasas de rendimientos de la molienda más realistas, las cuáles fueron comparadas con los valores de los rendimientos diarios promedios.

Validación de los modelos

En esta etapa se validaron los diferentes modelos diseñados a partir del agrupamiento de dominios tal como se señaló anteriormente y tal como consigna la figura 10, de tal suerte de obtener un nivel de detalle requerido para producir modelos predictivos de las tasas de molienda, lo más representativos y exactos posibles.

- 8-ore domains used historically based on 4 Lithologies and 2 ranges of RQD ($<40\%$)
- 9-ore hardness domains (matrix) based on 3 ranges of RQD and PLI but not lithology
- 24-domains based on 4 Lithologies, 2 ranges of RQD ($<40\%$) and 3 ranges of PLI (<3 , $3-6$, >6)

Figura 10 – Set de dominios validación modelos [Fuente: MMPT-AP]

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Según el gráfico siguiente, el modelo de los 24 dominios produjo la mejor curva (*Model TPH igual a Actual TPH*), mostrando con ello que una combinación de litología, RQD y PLI es necesaria para un modelo de rendimiento de la molienda con un alto nivel de precisión. Los datos, además indicaron la necesidad de considerar la litología en los modelos.

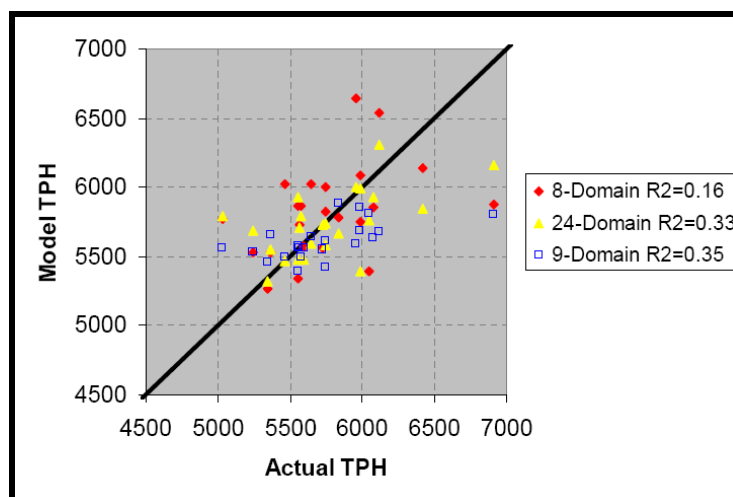


Figura 11 – Resultados validación preliminar [Fuente: MMPT-AP]

Resultados del estudio

➤ Fragmentación material tronado

Se usaron dos regímenes para el diseño de tronadura:

1. Factor de carga histórico con pequeñas variaciones entre los tipos de mineral (el factor de carga fluctuó entre 0,25 kg/ton y 0,35 kg/ton)
2. La “receta” de diseño (Cookbook) propuesta en el estudio, con altos factores de carga en los minerales más duros (el más alto fue de 0,54 kg/ton)

Las simulaciones mostraron una alta variación en la fragmentación ROM por cada litología como consecuencia de diferentes resistencias de roca (PLI), diferentes calidades de masa de roca (RQD) y diferentes diseños de tronadura.

Como nomenclatura; se usó *hb* para representar el diseño desde el Cookbook y *c* para representar el diseño antiguo.

En el eje vertical se representa el porcentaje acumulado pasante (el % del total del material con el tamaño asociado en el eje horizontal, medido en mm). Conforme la curva se ubica en posiciones más altas, significa que un mayor porcentaje del total del material pasado a planta es fino (bajo las exigencias particulares del molino SAG bajo estudio, las cuáles no son

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

necesariamente iguales a las exigencias de otros molinos, como por ejemplo el molino SAG de Andina).

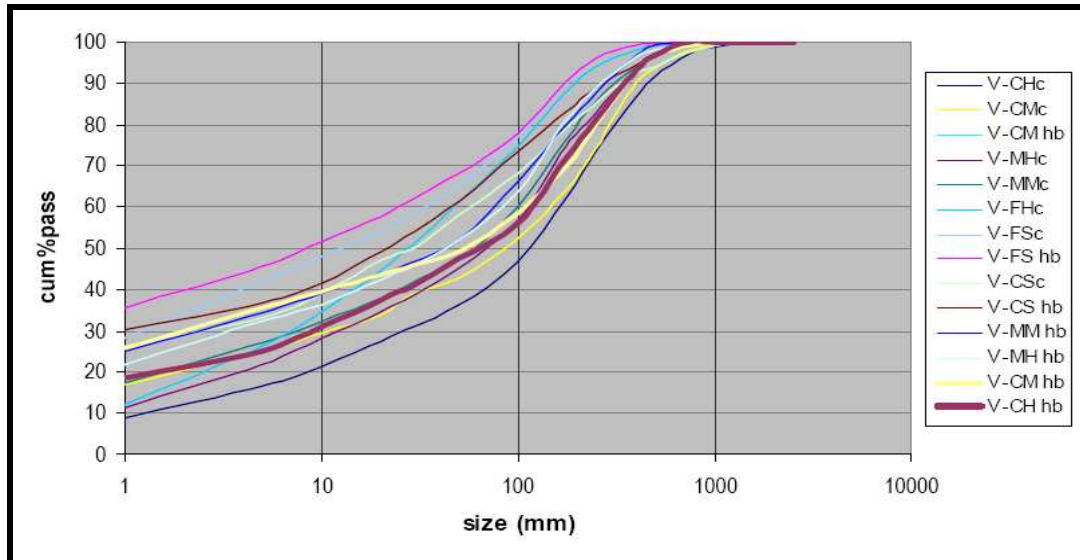


Figura 12 – Distribución fragmentación ROM (solo Volcanita) [Fuente: MMPT-AP]

Considere, para efecto de una mayor comprensión, el dominio V-FS (Volcanita-Fine Soft), que de hecho es la curva más alta del set. La curva propia del régimen hb está en una posición más alta que aquella correspondiente al régimen c y por lo tanto tiene una mayor performance con casi un 80% del total del material pasante bajo los 10 cm (3,94”).

Considere ahora, el dominio V-CH (Volcanita-Coarse Hard), que de hecho es el más duro de todos los dominios; La curva asociada al régimen hb (la curva más gruesa del set) se ubica muy por encima de su correspondiente al régimen c (V-CHc). En efecto; En el régimen hb, alrededor del 55% del material pasante se ubica bajo los 10 cm mientras que en el régimen c, un 47% se ubica en este rango.

No olvidar lo mencionado anteriormente, en el sentido que por cada mm extra de tamaño de la alimentación al molino, la tasa de rendimiento del SAG baja en 50 TPH. Se subentiende que si mejora la fragmentación en la tronadura, no solo disminuyen los costos de la molienda SAG sino que disminuyen los costos de C&T.

Por lo tanto, la performance de la distribución ROM, mejora considerablemente en especial en los minerales más duros, aunque dicho sea de paso, la figura evidencia que aún no se había alcanzado la equalización perfecta cuando se tomaron estas medidas.

Una situación de excelencia en la performance de tronadura en un escenario con MTM se debería caracteriza por curvas casi idénticas sin importar el tipo de mineral de origen.

➤ Tamaño de la alimentación al chancador primario

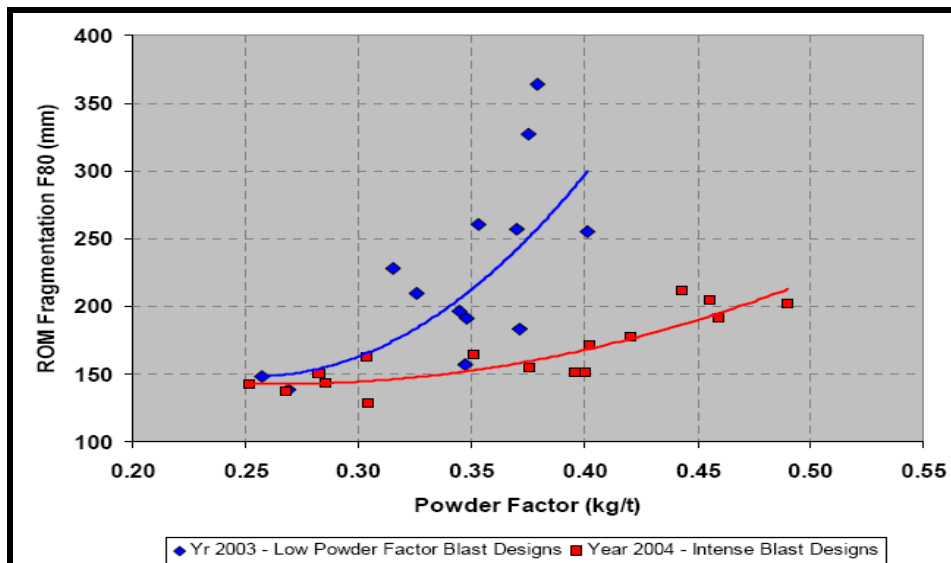


Figura 13 – Alimentación chancador primario [Fuente: MMPT-AP]

Con respecto al chancador primario se pueden decir dos cosas:

1. La variabilidad del tamaño de la alimentación se redujo considerablemente
2. El tamaño de la alimentación se redujo considerablemente.

Esto último implicó una mejora sustancial en el nivel de operación del chancador primario y por lo tanto en su eficiencia, lo cual derivó en otro tipo de consecuencias en materia de ahorros por concepto de energía, desgaste de materiales, etc. los cuáles no fueron contabilizados por el citado estudio.

El gráfico anterior consideró los promedios anuales de los valores F80, de cada uno de los 16 dominios definidos anteriormente y su correspondiente factor de carga.

La tabla 1 muestra que en promedio, el tamaño del mineral tronado cayó en 69,31 mm, lo cual correspondió a un 31%. Por otro lado, la desviación estándar de estos datos cayó en 51,06 mm lo cual a su vez correspondió a un 75% y por lo tanto, evidenció una de las más grandes consecuencias de la aplicación de esta técnica, a saber; una marcada tendencia a la estandarización de los resultados operacionales.

Por otro lado, si se analizan los datos referentes a los factores de carga empleados en los dos escenarios alternativos, esto es; sin Mine to Mill y con Mine to Mill (tabla 2), se tiene que el factor de carga promedio subió en un 6,9%, lo cual no deja de ser interesante sobre todo si se considera que el tamaño promedio del material tronado disminuyó en un 31%; esto es por cada punto porcentual que aumenta el factor de carga, el tamaño de material tronado disminuye en aproximadamente 4,5 puntos porcentuales (*Rendimiento del factor de carga*).

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Tabla 1 – Tamaño material tronado con MTM y sin MTM [Realización personal]

	F80 sin MTM	F80 con MTM
	140	130
	150	140
	158	140
	184	146
	190	150
	195	150
	210	150
	230	155
	255	160
	258	160
	260	175
	330	180
	367	190
		201
		206
		212
Promedio	225,15	155,85
Desv Estándar	68,19	17,13
Caída Promedio	69,31	30,78%
Caída Desv Estándar	51,06	74,88%

Con respecto al alza de la desviación estándar asociado a los valores del factor de carga con MTM, se puede señalar lo siguiente:

1. Los sistemas tienden al equilibrio a través del comportamiento compensatorio de sus partes.
2. Si la idea es estandarizar el tamaño del material tronado, esto se compensa con un aumento de la variabilidad de las técnicas empleadas en la tronadura para estandarizar el tamaño de materiales que obedecen a tipologías muy disímiles entre si.

Por otro lado, no debe olvidarse que los costos de aplicar esta técnica corresponden a los aumentos de los costos debido al aumento del factor de carga y no a la variabilidad de los valores asociados al factor de carga como tal.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Tabla 2 – Factor de carga con MTM y sin MTM [Realización personal]

	FC sin MTM	FC con MTM
	0,255	0,25
	0,27	0,262
	0,318	0,28
	0,33	0,285
	0,34	0,308
	0,345	0,308
	0,345	0,35
	0,375	0,375
	0,38	0,388
	0,37	0,4
	0,4	0,4
	0,37	0,419
	0,358	0,44
		0,458
		0,46
		0,48
Promedio	0,343	0,366
Desv Estándar	0,042	0,076
Alza Promedio	0,024	6,91%
Alza Desv Estándar	0,034	80,81%

➤ Tasa de rendimiento de la molienda

Con respecto a la tasa de rendimiento de la molienda, que sin duda constituye, la principal justificación de esta técnica en lo que se refiere a la maximización de las TPH de los molinos, en particular del molino SAG, el siguiente gráfico muestra las siguientes relaciones:

1. A medida que aumenta la dureza del mineral, aumenta el factor de carga de la tronadura.
2. Lo anterior excluye las tipologías FS, FH y FM dependiendo de la litología considerada, en las cuáles los factores de carga son prácticamente los mismos en un escenario sin MTM y un escenario con MTM.
3. A medida que aumenta el factor de carga según el diseño estandarizado en función de los dominios definidos previamente, aumentan también las TPH de la molienda, (salvo en los casos en que este factor de carga no varía, según lo señalado en el punto 2).

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

4. Los aumentos de las tasas de rendimiento de la molienda fluctúan entre el 10% y el 15%.

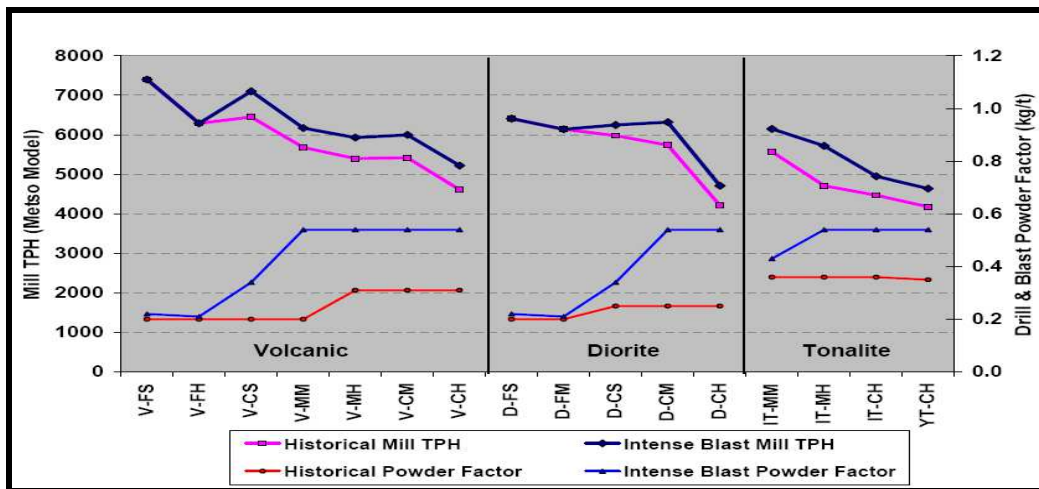


Figura 14 – Tasa Rendimiento Molienda sin MTM y con MTM [Fuente: MMPT-AP]

➤ Modelo predictivo Tasa de rendimiento de la molienda

Uno de los productos más valorados de este tipo de estudio es el modelo predictivo de las tasas de la molienda en función del tiempo y de las diferentes tipologías del material.

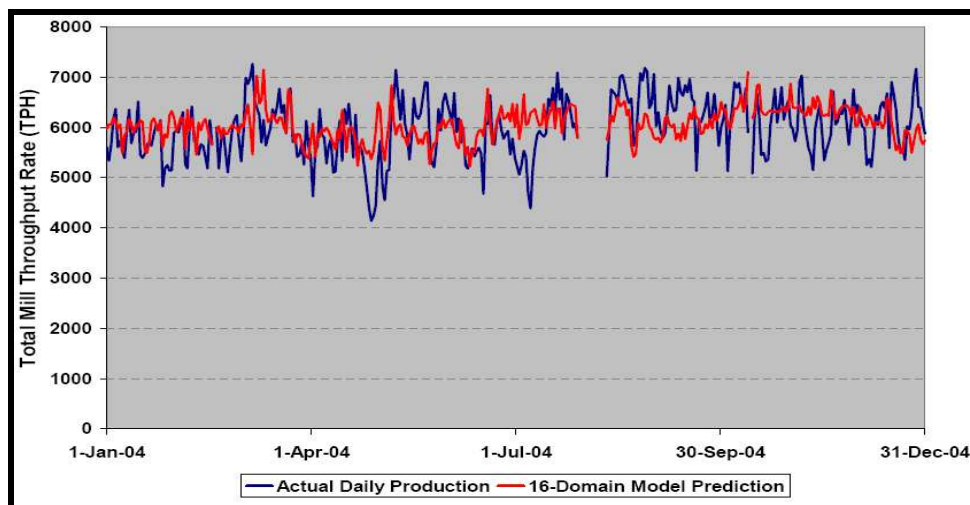


Figura 15 – Modelo predictivo Tasa Rendimiento Molienda [Fuente: MMPT-AP]

La principal función de un modelo predictivo es el control que se puede tener sobre la performance de un proceso, en este caso de las distintas performance correspondientes a los distintos procesos anteriores a la molienda.

La figura muestra la capacidad predictiva del modelo confeccionado por MMPT-AP, en el marco del estudio hecho en Batu Hijau. De la figura se observa que el modelo no es capaz de predecir los valores extremos del rendimiento de la molienda, con lo cual pierde capacidad predictiva.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

La tabla siguiente muestra que la capacidad predictiva del modelo decrece conforme el horizonte de tiempo considerado tiende al corto plazo, llegando a un porcentaje de error promedio de un 10% en la predicción de los rendimientos diarios.

Tabla 3 – Capacidad predictiva del modelo en función del tiempo [Fuente: MMPT-AP]

	Average TPH	Average Error TPH	Average Error %
Actual Production	6,062		
Annual Model Prediction	6,070	9	0%
Monthly		258	4%
Weekly		401	7%
Daily		578	10%

Las principales razones que esgrime MMPT-AP para explicar esta disminución de la capacidad predictiva del modelo, en el corto plazo son:

1. Las irregularidades de la mina al aplicar el diseño estandarizado.
2. La incapacidad del modelo de incorporar los efectos no-lineales sobre las tasas de rendimiento, que se producen cuando se mezclan los diferentes tipos de minerales.

No obstante lo cual, MMPT-AP ha introducido mejoras tanto en la implementación de la técnica como en el modelamiento, de tal suerte de mejorar la precisión de los modelos predictivos.

Anexo 2 – Criterios de Calidad ISO 9001

A continuación se enumeran aquellos criterios de calidad propios de la norma ISO 9001 que serán considerados en el diseño de los subsistemas *Business Process Management* y Esquema *Business Intelligence* abarcando este último al Sistema de Información y al Sistema de control de procesos. Por lo tanto, la solución propuesta en este estudio se enmarca en algunos de estos criterios, supliendo de esta manera la ausencia de una propuesta formal de calidad en la MRA. Cada criterio será explicado desde el punto de vista del impacto que tiene en una o más de los subsistemas consignados arriba.

- **Enfoque basado en procesos (Introducción 0.2. Letras a, b, c y d):** Identificación y descripción del sistema de procesos (estructura de procesos). Empleo del enfoque cliente-proveedor en la definición del sistema de procesos (procesos cliente y procesos proveedor). La identificación de los requisitos del sistema (de los procesos cliente). Claridad de los objetivos de cada proceso y su aporte de valor. Medición de resultado y mejora continua a partir de mediciones. “El seguimiento de la satisfacción del cliente requiere la evaluación de la información relativa a la percepción del cliente acerca de si la organización ha cumplido sus requisitos” (ISO, 2000)
- **Sistema de gestión de la calidad (Requisitos generales 4.1. Letras a hasta e):** Letras a y b se refiere a la estructura de procesos. Letra c se interpreta aquí como la sistematización del control de la variabilidad, tendiente a maximizar la consecución de los objetivos y por ende, la eficacia del sistema. Letra d se refiere a las TI necesarias tanto para el seguimiento de los procesos como de la medición de su variabilidad. Letra e se refiere a la medición y análisis en sí mismos. Letra f se refiere al mejoramiento continuo a través de la implementación de cursos de acción correctivos según proceda (este estudio solo persigue la identificación y diseño de los elementos de gestión necesarios para el mejoramiento continuo y por lo tanto abarca las letras a hasta e).
- Este estudio no se referirá a la los requisitos de la documentación (Requisitos de la documentación 4.2), pues esto ya está implementado en la MRA; de hecho, a esto se redujo la implementación de la norma ISO 9001.
- **Procesos relacionados con el cliente (7.2):**
 - **Determinación de los requisitos relacionados con el producto (7.2.1):** El sistema debe determinar y consignar los requisitos del cliente sobre el producto, lo cual incluye características físicas y tiempos de entrega (Letra a).
 - **Revisión de los requisitos relacionados con el producto (7.2.2):** El sistema debe revisar los requisitos que tiene asociado el producto, antes de que este sea entregado al cliente. Debe existir definición de los requisitos del producto (letra a); Deben estar explicitadas las diferencias entre lo solicitado y lo entregado (letra b) y la organización debe tener la capacidad para cumplir con los requisitos definidos (letra c). Deben existir, por tanto, registros tanto de los requisitos del producto solicitados, de los eventuales cambios en los

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

requisitos y de las eventuales diferencias entre lo solicitado por cada cliente y lo entregado realmente.

- **Comunicación con el cliente (7.2.3):** El sistema debe ser capaz de especificar e implementar disposiciones eficaces para facilitar la comunicación con el cliente (se interpreta aquí, como un medio de comunicación eficaz). Abarca las letras a, b, c (información sobre el producto, los pedidos, las modificaciones efectuadas tanto por el cliente como por el proveedor y finalmente, la retroalimentación del cliente en la forma de observaciones generales, quejas, etc.).

- **Medición, análisis y mejora (8):**
 - **Generalidades (8.1):** letras a, b y c. Incluye la determinación de los métodos aplicables (técnicas estadísticas) tanto para la demostración del grado de eficacia del sistema como para apoyar la mejora continua del sistema.

 - **Seguimiento y medición (8.2):**
 - ✓ **Satisfacción del cliente (8.2.1):** Uso de medidas de desempeño que midan la satisfacción del cliente. Incluye la explicitación de los métodos destinados a la obtención y utilización de dicha información.

 - ✓ **Auditorías internas (8.2.2):** Las herramientas de información pondrán a disposición de los usuarios, la información en tiempo real y/o por turno y/o por tronadas, lo cual facilitara el ejercicio de auditorías internas periódicas (se subentiende que en la actualidad se realizan auditorías en base a documentos, por lo tanto el sistema de información que se diseñará en este estudio entrega una nueva perspectiva tendiente a facilitar las auditorías).

 - ✓ **Seguimiento y medición de los procesos (8.2.3):** Los métodos de seguimiento y medición deben demostrar la capacidad de los procesos para alcanzar los objetivos, los cuales están condicionados por las variables críticas y las condiciones iniciales de procesos; los reportes que se diseñen en este estudio deberán medir la capacidad de los procesos y deberán entregar las pautas para la implementación de acciones correctivas.

 - ✓ **Seguimiento y medición del producto (8.2.4):** La misma idea del punto 8.2.3, salvo que en este caso se mide específicamente la calidad del producto.

 - **Control del producto no conforme (8.3):** Esto se realiza a partir de 8.2.4. No se especifica el detalle acerca de los procedimientos de control, solo se indica que el control es posible a partir de los reportes empleados en el seguimiento.

 - **Análisis de los datos (8.4):** “La organización debe determinar, recopilar y analizar los datos apropiados para demostrar la idoneidad y la eficacia del sistema de gestión de la calidad y para evaluar dónde puede realizarse la mejora continua de la eficacia del

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

sistema de gestión de la calidad. Esto debe incluir los datos generados del resultado del seguimiento y medición y de cualesquiera otras fuentes pertinentes.” (ISO, 2000). Además “El análisis de datos debe proporcionar información sobre

- a) la satisfacción del cliente (véase 8.2.1),
 - b) la conformidad con los requisitos del producto (véase 7.2.1),
 - c) las características y tendencias de los procesos y de los productos, incluyendo las oportunidades para llevar a cabo acciones preventivas, y
 - d) Los proveedores” (ISO, 2000).
- **Mejora (8.5):**
 - ✓ **Mejora continua (8.5.1):** “La organización debe mejorar continuamente la eficacia del sistema de gestión de la calidad mediante el uso de la política de la calidad, los objetivos de la calidad, los resultados de las auditorías, el análisis de datos, las acciones correctivas y preventivas y la revisión por la dirección.” (ISO, 2000).
 - ✓ Con respecto a **Acción correctiva (8.5.2)** y **Acción preventiva (8.5.3)** se indica que el establecimiento de los procedimientos documentados es resorte de la MRA. En este estudio solo se identifican condiciones de gestión, sin entregar mayores detalles y por lo tanto se deja un margen de acción que debe ser abordado por los funcionarios de la MRA. Además se subentiende que estos dos tipos de acciones se ejecutan a partir de los medios de monitoreo de los procesos, explicitados en este estudio.

Anexo 3 – Descripción y Análisis de la Estructura de procesos

Estructura de procesos SPMRA

Antes de proceder a la descripción de los procesos se diagramará la estructura de procesos del SPMRA, en la cual la Planta es considerada como el cliente directo de C&T y la GRMD (Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo) inicia las operaciones mina. Esto último es concordante con lo señalado en el segundo capítulo de este estudio, en el sentido que la descripción y el análisis estarán centrados preferentemente en el SPMRA.

El diagrama muestra que la GRMD inicia el proceso desarrollado en la MRA, dando a conocer sus requerimientos acerca de la cantidad de material que esta última debe entregar, los cuáles son función directa de los objetivos operacionales que debe alcanzar la Planta.

Finalmente la Planta y particularmente los procesos de la Conminución y en particular la Línea SAG, obtiene cierto grado de satisfacción condicionado a la calidad de éste producto y a los flujos de entrega de C&T; vale decir, al grado en que sus requerimientos coinciden con las características del producto final entregado por la MRA.

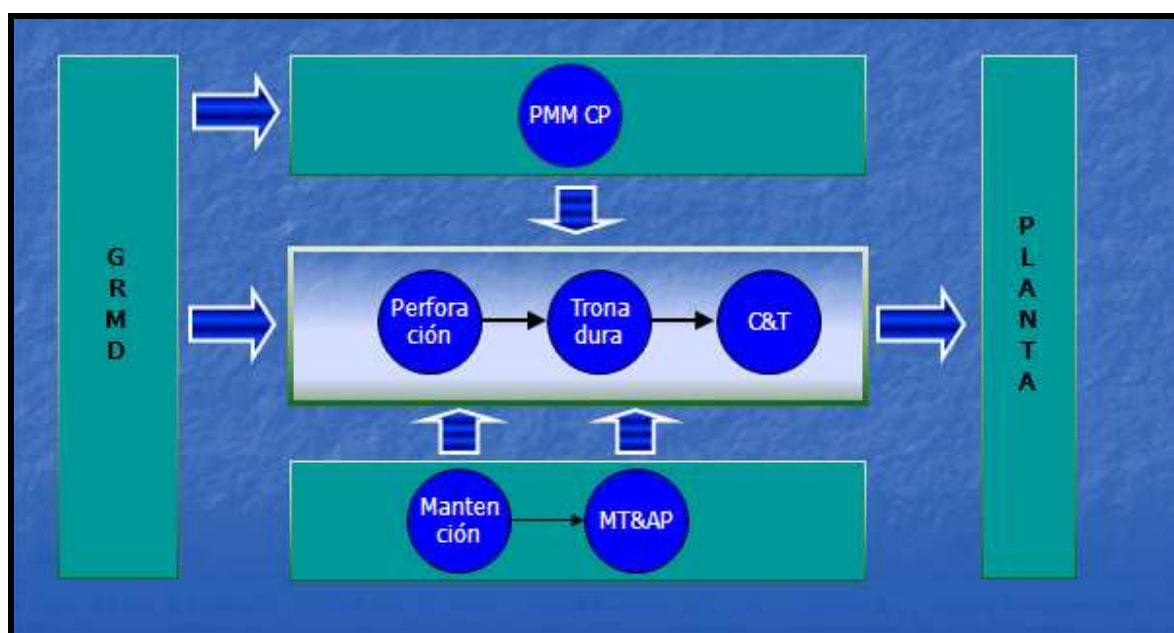


Figura 1 – Estructura de procesos SPMRA-SAG [Realización personal]

Es necesario señalar que la relación operacional entre la MRA y la Planta es más compleja e imprecisa que lo señalado en el párrafo anterior, debido a las razones señaladas en el capítulo 2, apartado 3, puntos 2 y 3. No obstante lo anterior, el modelo sigue siendo válido.

El diagrama también muestra que existen tres tipos de procesos; Estratégicos (PMM CP), Productivos (P&T y C&T) y Apoyo (MT&AP, Mantención).

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Descripción de procesos

Este ítem aborda los criterios de calidad identificados en la introducción y en los requisitos generales, letras a y b (requisito 4.1).

Los objetivos de la descripción de procesos son los siguientes:

1. Describir los procesos empleando una metodología acorde con los requerimientos de la norma ISO 9001.
2. Proponer una forma estandarizada de descripción de los procesos acorde con los requerimientos de la norma ISO 9001
3. Realizar un análisis comparativo de la complejidad asociada al diseño de cada uno de los procesos.

Los diagramas de procesos diseñados bajo el estándar BPMN se listan en el Anexo 4 – Modelos de procesos bajo el estándar BPMN

- **Planificación Minero-Metalúrgica de Corto Plazo (PMM CP)**

- **Objetivo:** Seleccionar, secuenciar y caracterizar los polígonos a ser explotados durante el mes.
- **Responsable:** Ingeniero Especialista.
- **Entradas:** Definición de bancos seleccionados y caracterizados previamente por la GRMD, Requerimientos de lastre y mineral hechos por la GRMD y Requerimientos técnicos de la Planta.
- **Salida:** Plan mensual de operaciones no caracterizado (salida secundaria) y Plan mensual de operaciones caracterizado (salida principal).
- **Variables críticas:** Tiempo de uso de equipos, Rendimiento de equipos, Accesibilidad a los bancos, geometría de los bancos y Límite de los bancos.
- **Interrelaciones con otros procesos:** Se relaciona con **Geología** y **PMM CP (Planta)** para efectos de formular el plan mensual de operaciones caracterizado. Se relaciona con **P&T** y **C&T** para efectos de ajustar plan mensual de operaciones caracterizado y como parte de las reuniones periódicas que sostiene con los distintos actores que conforman el SPMRA.
- **Límites:** El proceso general desarrollado en la MRA se inicia con las actividades de planificación de operaciones; luego es uno de los límites del SPMRA y por lo tanto se constituye en la interfaz del mismo. En lo que respecta al límite “*aguas abajo*”, éste es relativamente difuso; en teoría las actividades de planificación finalizan con el plan mensual de operaciones caracterizado, pero en la práctica la confección del **Diseño** se desarrolla con recursos propios de Planificación pero enfocado a satisfacer las necesidades operacionales de **P&T** y liderado por personal de este proceso.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

➤ **Indicadores:** No posee indicadores de ningún tipo.

➤ **Secuencia de actividades:**

1 El *Ingeniero Especialista Planificación* considera uno o más bancos identificados en el plan de producción de largo plazo. Esto se realiza a partir de la consideración de cualquiera de los dos documentos siguientes, según sea el caso:

1.1) Plan de operaciones minero-metalúrgicas de largo plazo (Po).

1.2) Plan de operaciones propuesto por la propia MRA, a partir de la modificación parcial del plan anterior (P1).

2 El *Ingeniero Especialista Planificación* subdivide los bancos bajo consideración, en zonas menores llamadas polígonos y fija una secuencia de explotación, de acuerdo a las siguientes variables:

2.1) Caracterización geológica del banco (estas forman parte de la PMM-LP).

2.2) Límite del banco fijado por PMM-LP (línea).

2.3) Accesos estratégicos a los polígonos (un polígono se genera cuando la presencia de estos accesos, facilitará su futura explotación).

2.4) Geometría del banco.

2.5) Restricciones geomecánicas (caracterización geomecánica anual asociada al rajo).

3 El *Ingeniero Especialista Planificación* realiza una iteración sub-optimizante a efecto de establecer qué polígonos de aquellos generados en la actividad anterior serán efectivamente explotados. La idea es; explotar los polígonos tal que la sumatoria de sus tonelajes, cubicados previamente, se acerque lo más posible a las tmh (tanto de lastre como de mineral) demandadas por la PMM-LP, para el mes que se está planificando. Este objetivo estará restringido por la disponibilidad y rendimientos históricos y proyectados tanto de los equipos como de la maquinaria necesaria para la explotación de los polígonos.

4 El *Equipo de geólogos MRA*, caracteriza desde un punto de vista geológico, cada uno de los polígonos que quedaron dentro del plan de producción mensual (modelos predictivos). Esta caracterización se hace desde el punto de vista de las siguientes variables:

4.1) Composición

4.2) Mineralogía

4.3) Litología

4.4) Estimaciones (*Work Index*, % Recuperación de Cu y % Recuperación Mo)

4.5) Tonelaje total de material (sin diferenciación de mineral, mineralizado y lastre)

5 El *Equipo de geomecánicos MRA*, caracteriza desde un punto de vista geomecánico el macizo rocoso asociado a los distintos polígonos que quedaron dentro del plan de producción mensual. Se incluyen entre otras, las siguientes variables:

5.1) Frecuencia de fractura

5.2) Resistencia a la compresión

- 6 *Funcionarios PMM CP* miden todas las distancias posibles por cada uno de los polígonos seleccionados en la iteración anterior. Esta actividad consiste en medir para cada uno de los polígonos las distancias de cada polígono a cada uno de los botaderos, al pique directo y al pique de traspaso. Además incorpora los datos relacionados con las distancias totales con pendiente. (Esto se realiza en forma paralela a las actividades de caracterización geológica).

- **Perforación y Tronadura (P&T)**

- **Diseño**

- ➔ **Objetivo:** Diseñar la malla y determinar los parámetros operacionales asociados a un polígono.

- ➔ **Secuencia de actividades:**

- 1 *Funcionarios P&T* determinan en primer lugar, si es posible diseñar una malla por cada polígono planificado. Esto se realiza polígono a polígono, a lo largo de todo el mes y en función de objetivos y restricciones operacionales, relacionados principalmente con tronadura (en la práctica, la malla es función, principalmente de los vaivenes operacionales diarios y no responde necesariamente al cumplimiento del plan operacional, por lo que es frecuente que exista variabilidad con respecto al plan operacional).
- 2 Un *Funcionario P&T* determina, tanto los parámetros operacionales como la malla asociada a uno o más polígonos. Esto se realiza en función de la caracterización geológica, las distancias calculadas y los modelos de caracterización geomecánica de corto plazo (los parámetros operacionales serán especificados en detalle, en el apartado siguiente).
- 3 *Ingeniero Especialista P&T* ordena al *Jefe de turno*, que coordine la preparación del terreno en el cual se marcará la malla. La preparación del terreno será ejecutada por *operarios MT&AP*.
- 4 *Ingeniero Especialista P&T* entrega a los *topógrafos MRA*, dependientes de *PMM CP*, las coordenadas x e y de cada uno de los pozos que conforman la malla diseñada previamente.
- 5 *Topógrafos MRA*, después que el terreno ha sido preparado, marcan las coordenadas x , y de cada pozo y retornan virtualmente, la coordenada z determinada en terreno.
- 6 Un *Funcionario P&T* recibe la coordenada z y la agrega a las demás y genera el diagrama de perforación, el cual será usado tanto por Perforación como por Tronadura.
- 7 El mismo *Funcionario P&T* le entrega el diagrama de perforación ya sea a otro *Funcionario P&T* o a *PMM CP* para que éste último ponga el diagrama de perforación a disposición de los *Operadores de perforadoras*, ya sea en formato virtual y/o papel, según sea la calidad de la cobertura en el sitio donde se ubica la malla.

➤ Operaciones

I Perforación

- **Objetivo:** Perforar los pozos de un polígono previamente diseñado, en función de su diagrama de perforación.
- **Entradas:** Polígono previamente diseñado (u otro cualquiera que se estime conveniente), Diagrama de perforación, Parámetros operacionales (todos, salvo los relacionados con explosivos) y Caracterización geomecánica del polígono.
- **Salida:** Polígono perforado y Flujo de datos operacionales.
- **Variables críticas:** Condiciones iniciales geomecánicas y de terreno asociadas al polígono, Calidad asociada al diseño y a la implementación del diseño, Tiempo de uso efectivo de perforadoras, Cobertura y Disponibilidad de triconos.
- **Interrelaciones con otros procesos:** En lo concerniente al diseño e implementación de la malla; se relaciona con **PMM CP, Geotecnia y MT&AP**. En lo que respecta a la cobertura; depende de la disponibilidad del diagrama en el **Dispatch (Control de procesos)**
- **Límites:** Las actividades se inician con el Diseño (el diseño de la malla en función de los parámetros operacionales, previamente determinados en función, a su vez, de las variables, principalmente geomecánicas) y finalizan con la entrega de un polígono perforado, el cual es el input de Tronadura.
- **Indicadores:** Índice de perforación (*toneladas tronadas/Mts. perforados*), Velocidad de perforación (*mts/hrs*) y todos los indicadores de tiempo definidos por la norma **ASARCO**. Estos indicadores se encuentran disponibles al final de cada mes y se expresan en término de esta unidad de tiempo.
- **Secuencia de actividades:**

INICIO PERFORACIÓN

- 1 El *Ingeniero Especialista P&T* entrega el diagrama de perforación visado al *Supervisor de Operaciones* (jefe de turno).
- 2 El *Supervisor de Operaciones* le encarga al *Operador Perforación* la realización de las actividades necesarias para desarrollar el proceso de perforación, de acuerdo al diagrama de perforación, al plano, al Reglamento de Operaciones MRA y al instructivo SGI-I-MR-100. Cada operador debe ingresar al **DISPATCH**, ciertos valores necesarios para que posteriormente se mida el rendimiento de las perforadoras.
2.1 Si hubiese desviaciones son anotadas en el libro de registros de perforación (formato papel).

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

3 El *Supervisor de Operaciones* y el *Supervisor ayudante* controlan todo el proceso generando acciones tendientes a corregir eventuales desviaciones, tales como agregar pozos auxiliares a la malla de perforación, de acuerdo a observaciones que le puede hacer el *Operador Perforación*.

3.1 Si esto último fuese efectivo el *Supervisor de Operaciones* y el *Supervisor ayudante* deben informar al *Ingeniero Especialista P&T*, la realización de las actividades realizadas.

FIN PERFORACION

II Tronadura

- **Objetivo:** Maximizar la cantidad y calidad asociadas al material obtenido a través de la tronadura.
- **Entradas:** Polígono previamente perforado, Parámetros operacionales del diseño (tipo y cantidad de explosivo).
- **Salida:** Frente de carguío.
- **Variables críticas:** Condiciones iniciales geomecánicas asociadas al polígono, Disponibilidad de insumos para la fabricación de explosivos, Disponibilidad de camiones fábrica, Calidad asociada a la perforación (pozos cortos, pozos largos y consistencia de las coordenadas espaciales diseñadas).
- **Interrelaciones con otros procesos:** Solamente con **MT&AP** al inicio del proceso.
- **Límites:** Con Perforación, al inicio del proceso y con C&T, al final de éste.
- **Indicadores:** Factor de carga (*kg explosivos/toneladas tronadas*). No responde a la norma *ASARCO* y no tiene soporte en el Dispatch.
- **Secuencia de actividades:**

INICIO TRONADURA

- 1 El *Ingeniero Especialista P&T* entrega al *Supervisor de explosivos (ORICA)*, el área perforada.
- 2 La *EE.CC* de explosivos (*ORICA*) verifica que los parámetros de diseños coincidan con los valores registrados en terreno, en particular la medida de los pozos de todas las mallas perforadas, realizándose las anotaciones respectivas en el Diagrama de Perforación (formato papel y digital). Cualquier desviación (pozos cortos, por ejemplo), lo comunica al *Ingeniero Especialista P&T*.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

2.1 Si esto último fuese efectivo

2.1.1 el *Ingeniero Especialista P&T* decide las medidas a tomar (por ejemplo, repasar y/o cargar con explosivos, dependiendo de la ubicación de ellos en la malla a tronar).

2.1.2 El *Ingeniero Especialista P&T* le encarga al *Supervisor de Operaciones* que implemente las medidas tomadas.

- 3 La *EE.CC.*, empleando *camiones fabrica*, carga los pozos con explosivos, de acuerdo al diseño y al procedimiento de transporte y almacenamiento de explosivos SMR, SGI-P-MR-102. Este hecho se indica en el *Registro de Calibración (formato papel)*, en donde se indica longitud del pozo, cantidad de explosivo por pozo y total y longitud de taco por pozo (longitud del pozo que abarcan los explosivos dentro de él).
- 4 *Supervisor de explosivos (ORICA)*, comunica al *Supervisor de Operaciones*, una hora antes de concluir el carguío de explosivos, en la malla a tronar, el pronto término de la operación.
- 5 El *Supervisor de Operaciones* ejecuta la evacuación de la mina de acuerdo al procedimiento de Evacuación por Tronadura SMR SGI-P-G-MR-101.
- 6 El *Supervisor de Operaciones* le comunica a la *EE.CC* (Supervisor en terreno) la autorización para efectuar la tronadura
- 7 La *EE.CC* ejecuta la operación de tronadura.
- 8 La *EE.CC* entrega el área ya tronada al *Supervisor de Operaciones*.

FIN TRONADURA

- **Carguío y Transporte (C&T)**

- **Objetivo:** Cargar y transportar el material tronado a los destinos previamente definidos.
- **Entradas:** Frente de carguío y Líneas de calidad geológicas.
- **Salidas:** Servicio de entrega de material tronado y Flujo de datos operacionales.
- **Variables críticas:** Calidad asociada al frente de carguío (calidad de la tronadura), Tiempo de uso, tanto de cargadores como de camiones de transporte.
- **Interrelaciones con otros procesos:** Con **Geotecnia**; Al inicio del proceso y para efectos de planificar las actividades. Durante el transcurso del proceso, interactúa principalmente con **MT&AP**, cuyos equipos de apoyo operan durante gran parte de las faenas junto a los cargadores. Finalmente el proceso es apoyado durante todo el tiempo, por el **Dispatch** y a su vez, este recoge los datos operacionales asociados al proceso.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

- **Límites:** Al inicio de las operaciones, con Tronadura y por ser el último proceso del sistema, se relaciona directamente con la Planta, a través de su sistema de Transporte de mineral.
- **Indicadores:** Todos los indicadores definidos por la norma **ASARCO**, en lo concerniente al tiempo y al rendimiento de equipos.
- **Secuencia de actividades:**

INICIO CARGUÍO Y TRANSPORTE

- 1 *C&T* conoce tanto la Planificación de largo plazo como la de corto plazo ya que esta es entregada por la *SPMM* a la *SMR* y detallada por esta última y por *PMM CP*.
- 2 En conformidad con el punto anterior, *C&T* conoce toda la información referente a los bancos y polígonos a perforar y tronar.
- 3 *C&T* recibe del *Supervisor de Operaciones*, las frentes de carguío ya preparadas por *MT&AP*.
- 4 El *Operador de Carguío* bajo el control del *Supervisor de Operaciones* ejecuta la actividad de carguío en conformidad con el Reglamento de operaciones MRA. Se utiliza el *DISPATCH*, como registro de control. Esta actividad consiste en cargar el material tronado separándolo según granulometría y riqueza de mineral y en función de esto se decide su destino: el estéril para botadero; el mineralizado se acopia en los estoqueados, para poder ser usado en el futuro y el mineral se carga para ser transportado a los piques.
 - 4.1 Si no se cumplieren los parámetros de calidad se usan los instructivos *SGI-I-MR-200* y *SGI-I-MR-201*, según el tipo de material cargado.
- 5 El *Operador de Camiones de Extracción* bajo el control del *Supervisor de Operaciones* ejecuta la actividad de transporte de material ya cargado, al destino asignado, según el tipo de material, lo cual es conocido por el operador a través de la pantalla del *DISPATCH* Esto se realiza de acuerdo al Reglamento de Operaciones MRA.
 - 5.1 Si es estéril a los botaderos.
 - 5.2 Si es mineralizado a los estoqueados.
 - 5.3 Si es mineral a los distintos sistemas de traspaso (piques directos o convencionales) de acuerdo al Reglamento de Operaciones MRA.
- 6 El *Operador Transporte* descarga el material transportado una vez que ha llegado a su destino programado. El registro de datos relacionados con la operación la hace El *Operador Transporte* en el *DISPATCH*.
 - 6.1 Si es mineral; Una vez que ha sido depositado en los sistemas de traspaso se considera entregado al proceso de *Transporte y Chancado* de la Planta.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

6.2 Si no; C&T actualiza la información relativa a la cantidad de estéril y mineralizado, depositado en los botaderos y estoqueados respectivamente, a través del *DISPATCH*.

FIN CARGUIO Y TRANSPORTE

Nota: Por C&T se entiende acá, al equipo de C&T

Identificación de las variables críticas por proceso

En este apartado se identificarán las variables que condicionan tanto los objetivos de los procesos como la calidad de sus respectivos outputs y por lo tanto se identificarán las fuentes de variabilidad del sistema.

Los criterios de calidad considerados son los siguientes:

- 1. Sistema de gestión de calidad (Requisitos generales 4.1 Letra c):** Sistematización del control de la variabilidad, tendiente a maximizar la consecución de los objetivos operacionales y por ende, la eficacia del sistema. Luego, para lograr aquello es necesario previamente identificar las fuentes de variabilidad.
- 2. Determinación de los requisitos relacionados con el producto (7.2.1):** El sistema debe determinar y consignar los requisitos del cliente sobre el producto, lo cual incluye características físicas y tiempos de entrega (Letra a). Se asume que estos requisitos son función de las fuentes de variabilidad; cada proceso-cliente maximiza su nivel de satisfacción a partir de la minimización de la variabilidad de las características del producto que recibe de su proceso-proveedor y eso pasa necesariamente por la identificación de estas fuentes de variabilidad.

Análisis de proceso

Un proceso debe hacer frente a la suma combinada de condiciones operacionales iniciales y un input de cierta calidad, ambos, en la práctica no gestionables, por parte de los operadores del proceso.

Entonces, el output final es la resultante de la capacidad de los operadores para poder gestionar eficientemente sus recursos y operar de la mejor manera posible el proceso de tal suerte de enfrentar estas condiciones iniciales y la calidad del input en pos de lograr el mejor output posible.

Ahora bien, lo que marca la diferencia entre el input y el output es la capacidad del proceso y más exactamente, de los operadores del proceso de adaptar sus prácticas de operación a la calidad variable del input y a las características cambiantes de su entorno (condiciones iniciales).

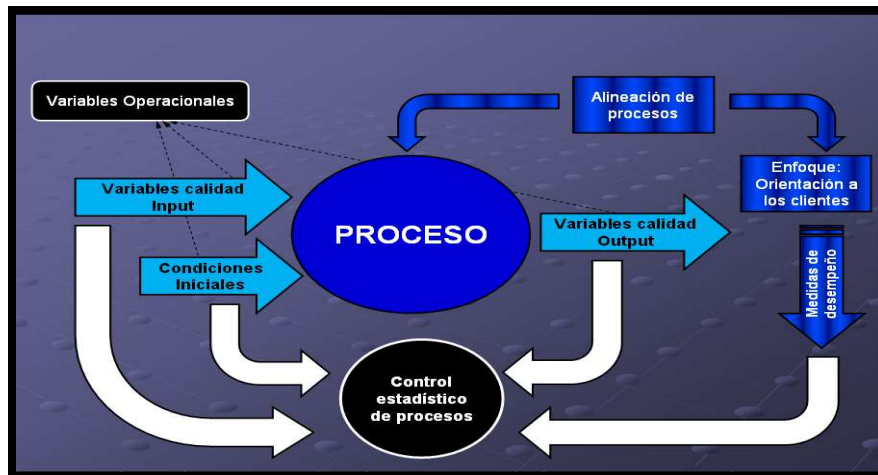


Figura 2 – Análisis de proceso [Realización personal]

La figura anterior muestra en parte lo señalado anteriormente; al descomponer las variables operacionales relacionadas directamente con la calidad y al mostrar que las medidas de desempeño, miden el comportamiento del proceso frente a una determinada situación operacional.

En lo que concierne a la P&T, las condiciones iniciales corresponden a las características geológicas y geomecánicas del macizo rocoso, frente a las cuáles lo único que es posible hacer es planificar sólo los polígonos factibles de explotar y diseñar para cada uno de ellos, mallas descritas por parámetros operacionales adecuados a estas condiciones. De esa manera se hace frente a las condiciones iniciales.

Objetivo de la gestión de calidad en el SPMRA

Cabe preguntarse primero: ¿Cuáles son los requerimientos operacionales que debe satisfacer el SPMRA?

Respuesta: **Entrega de material tronado de una cierta Granulometría, a un cierto Flujo.**

Nótese bien que esto constituye un servicio, donde la cantidad de toneladas tronadas (*tmh*) y la granulometría son características intrínsecas al producto final, en cambio, el tiempo efectivo en el que son transportadas, es una característica extrínseca al producto y guarda directa relación con el servicio de entrega.

Esto último define el objetivo final que debiera perseguir todo el SPMRA y por lo tanto plantea la necesidad de alinear la concepción e implementación de un sistema de calidad a estos objetivos operacionales.

En todo este apartado se considerará a la granulometría como la principal variable de salida del SPMRA (Ver capítulo 4.9 Influencia de la granulometría en la Línea SAG), aunque en

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

la práctica, todo el sistema está orientado exclusivamente, a la cantidad de material pasado a Planta, como objetivo final del SPMRA, bajo un esquema de gestión APO.

Tanto el SPMRA como todos y cada uno de los procesos que lo componen, tienen requerimientos operacionales los cuáles deben satisfacer en pos del cumplimiento de éste objetivo final.

No obstante, la figura 3 muestra que es la granulometría la variable que afecta el rendimiento efectivo del SAG (*toneladas métricas molidas/tiempo efectivo de proceso*).

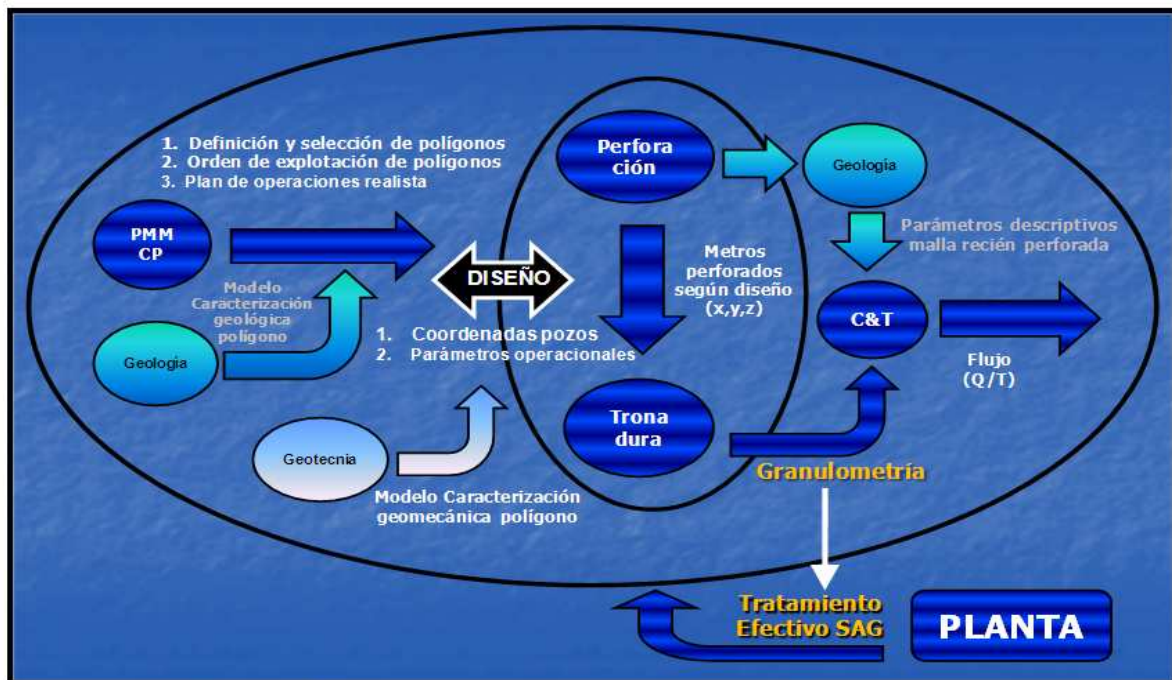


Figura 3 – Requerimientos operacionales procesos del SPMRA [Realización personal]

En relación con los requerimientos que tiene cada uno de los procesos al interior del SPMRA, se puede señalar lo siguiente:

Antes que nada es conveniente señalar que el Diseño se encuentra ubicado entre la Planificación y las Operaciones de P&T, lo cual grafica la situación empírica, caracterizada por la ambigüedad de la responsabilidad operativa sobre el diseño, lo cual constituye una de las muestras de mayor ineficiencia del SMRA, (Ver capítulo 2).

El Diseño debe cumplir con los requerimientos asociados tanto a la identificación correcta de las coordenadas de cada pozo diseñado en la malla como a los parámetros operacionales propiamente tales, los cuáles en conjunto, determinarán la forma de operación de P&T.

Perforación a su vez, debe perforar todos los pozos establecidos en el diseño, en las coordenadas correctas en que fueron diseñados.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Tronadura por otro lado, es el proceso que debe responder directamente por la calidad del frente de carguío y en particular por la granulometría asociada a él, no obstante lo cual, esta situación no solamente es función de su desempeño sino del desempeño de todos los actores involucrados *aguas abajo*.

Carguío y Transporte, finalmente, se hace cargo del frente de carguío en cualquier situación o estado en la que este se encuentra y debe cargar y transportar el material tronado a sus destinos finales, en particular; el mineral debe ser transportarlo a los piques, a través de los cuáles legará a la Planta.

Cabe señalar que el flujo de transporte (*toneladas transportadas/tiempo efectivo de proceso*) es función de la calidad asociada al frente de carguío, la cual, en la práctica, se reduce a la dureza del mismo, determinado principalmente por la granulometría del material que lo compone.

Por lo tanto a mejor calidad del frente, mayor flujo y viceversa, por lo cual la calidad final del frente de carguío y por ende la calidad final del producto y del flujo asociado al servicio de entrega es función directa de la calidad asociada a cada una de las actividades realizadas *aguas abajo*.

Criterio de Calidad

Después de todo lo señalado anteriormente, se hace necesario poder definir un criterio que guie la identificación de las variables críticas del cumplimiento de los objetivos por cada proceso. Este criterio mostrará como identificar las condicionantes más decisivas de la calidad del producto de cada proceso y por ende, que aspectos del sistema real deben ser controlados.

Se define entonces como criterio de calidad; *el seguimiento de los diferentes estados por los que atraviesa un polígono al ingresar al SPMRA*.

Empleando como referencia el paradigma *Entidad-Estado*; un polígono será modelado como una entidad dinámica, la cual ingresa a un sistema que lo somete a una serie de acciones, fruto de lo cual, esta entidad muta algunas de sus características (atributos) y adquiere otras, cambiando de estado.

Con lo cual se puede señalar que la entidad; polígono, cambia a tal nivel mientras permanece en este sistema que al salir de él, de hecho ya ni siquiera es un polígono.

Se pondrá especial énfasis en los atributos que va adquiriendo el polígono conforme avanza por el sistema, pues estos arrojarán luz de cuáles aspectos es necesario controlar, como elementos decisivos de la calidad final del producto (material tronado de una cierta granulometría, pasado a Planta a un cierto flujo).

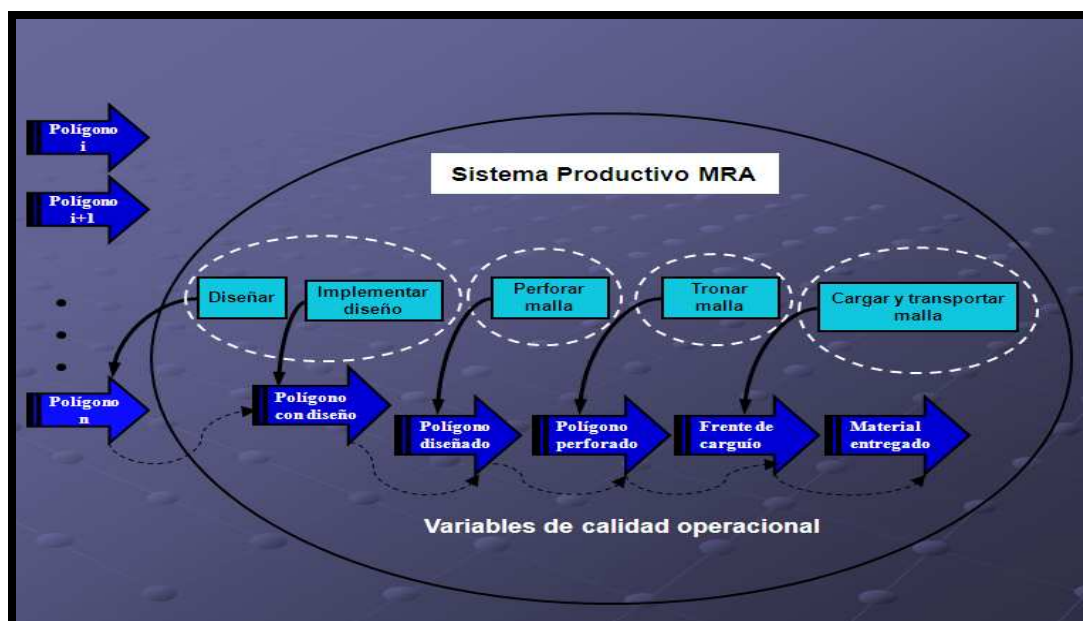


Figura 4 – Criterio de Calidad [Realización personal]

La figura 4 muestra los cinco estados por los que atraviesa el polígono al ingresar al SPMRA

1. Polígono con diseño
2. Polígono diseñado
3. Polígono perforado
4. Frente de carguío
5. Material entregado

Nótese que el punto de partida es un polígono con diseño y por lo tanto la resultante de la acción de diseñar una malla para un polígono determinado, lo cual a su vez muestra que el punto de referencia de la calidad radica en el diseño.

El diseño define todos los parámetros operacionales que determinarán a P&T, vale decir; la forma como perforar y tronar la zona geográfica definida inicialmente como un polígono.

Por lo tanto, lo que en definitiva se plantea desde el punto de vista de la calidad, es el control del diseño en sí mismo, así como el control del grado de aplicabilidad de estos parámetros operacionales a lo largo de P&T y sus implicancias en C&T.

Luego, los distintos atributos que va adquiriendo el polígono en su paso por el SPMRA, se transforman en las variables de calidad operacional, las cuáles representan las condicionantes críticas de las distintas actividades (acciones) que el sistema ejerce sobre el polígono y que por lo tanto interesa determinar y controlar.

Variables de Calidad del SPMRA

En este apartado se mostrarán en detalle los atributos que adquiere un polígono en su tránsito por el SPMRA, los cuáles representan las condicionantes críticas de las distintas actividades en las que participa y por lo tanto constituyen las exigencias mínimas que el sistema hace para poder garantizar la calidad final del producto.

Tal como se dijo en el tercer capítulo, la metodología empleada para estos efectos consistió principalmente en la recopilación empírica, mediante la constatación en terreno de cuáles eran estas variables, las cuáles fueron posteriormente validadas por el equipo de P&T, en particular por el ingeniero especialista.

Como se dijo en apartados anteriores el diseño es la clave de la calidad en el SPMRA, pues ésta marca la pauta de todas y cada una de las acciones operativas propias de P&T e incide indirectamente en el flujo de C&T.

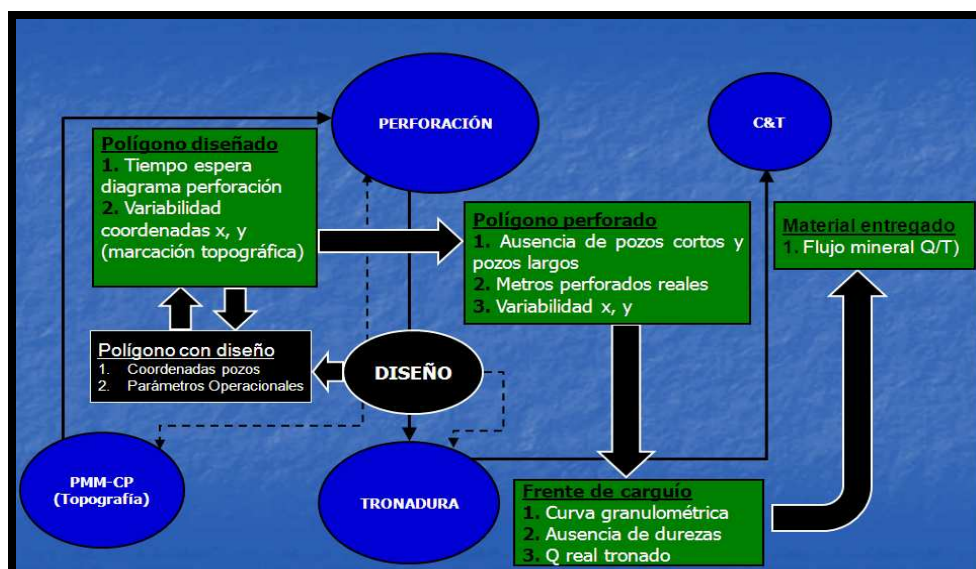


Figura 5 – Variables de calidad operacional SPMRA [Realización personal]

La idea de fondo de este análisis consiste en fijar un marco de referencia y establecer las fuentes de variabilidad de ese marco a lo largo del sistema, vale decir; identificar los parámetros propios del diseño e identificar donde y como podrían variar estos, como consecuencia de la interacción de un polígono ya diseñado con el SPMRA.

A continuación se identifican todas las variables de calidad operacional identificadas, incluyendo los parámetros operacionales del diseño.

1 Calidad del Diseño

- 1.1 Burden: Distancia de cada a pozo a la cara libre mas próxima (mts)
- 1.2 Espaciamiento: Distancia entre cada pozo (mts)
- 1.3 Diámetro de perforación: (mts)
- 1.4 Cantidad de pozos

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

- 1.5 Coordenadas (x, y, z) de cada pozo
- 1.6 Metros totales a perforar ($\sum Z_{\text{teóricos}}$); (mts)
- 1.7 Taco: Cantidad de material en la parte alta del pozo para contraer el impacto (mts)
- 1.8 Explosivo
 - 1.8.1 Factor de carga (Kg explosivo/toneladas tronadas)
 - 1.8.2 Tipo: Parámetros por tipo de explosivo
 - 1.8.3 CU: Cantidad de explosivo por pozo y/o cantidad de explosivo por malla (Kg)

2 Calidad de Implementación del diseño

- 2.1 Tiempo espera por diagrama de perforación
- 2.2 Variabilidad coordenada x
- 2.3 Variabilidad coordenada y

3 Calidad de la perforación

- 3.1 Pozos cortos
- 3.2 Pozos largos
- 3.3 Metros perforados reales: Es decir $\sum Z_{\text{reales}}$ en comparación con $\sum Z_{\text{teóricos}}$
- 3.4 Variabilidad coordenada x (*Contribución a la variabilidad hecha por perforación*)
- 3.5 Variabilidad coordenada y (*Contribución a la variabilidad hecha por perforación*)

4. Calidad de la Tronadura.

- 4.1 Curva granulométrica: En comparación con la curva granulométrica solicitada por la planta. Información disponible en toneladas y en porcentajes
- 4.2 Ausencia de durezas: Se subentenderá que la curva granulométrica es un buen indicador de la dureza del frente. A medida que mejora la distribución del tamaño del material mejora el estado del frente y este se vuelve menos duro (la única forma de constatar durezas es a través de inspección visual).
- 4.3 Cantidad de toneladas tronadas: El porcentaje de la cantidad de toneladas tronadas reales sobre la cantidad de toneladas cubicadas por geología.

5 Calidad de C&T

- 5.1 Flujo mineral

Lo anterior es la resultante de una especie de análisis retrospectivo indirecto, efectuado a partir de la granulometría y que determina las variables críticas por proceso que la afectan, concibiendo la granulometría como la principal variable de control que mide el desempeño del SPMRA.

Por otro lado es conveniente contrastar estas variables con los objetivos particulares de cada uno de los procesos involucrados; Perforación, Tronadura y C&T:

➔ **Diseño:** Diseñar la malla y determinar los parámetros operacionales asociados a un polígono.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

- **Perforación:** Perforar los pozos de un polígono previamente diseñado, en función de su diagrama de perforación.
- **Tronadura:** Maximizar la cantidad y calidad asociadas al material obtenido a través de la tronadura.
- **C&T:** Cargar y transportar el material tronado a los destinos previamente definidos

Si se analizan las variables de calidad teniendo en mente estos objetivos se llega a las siguientes conclusiones:

1. Las variables de calidad son aquellas que determinan la calidad del producto final a lo largo de todos los procesos involucrados.
2. Las variables de calidad son aquellas que determinan la calidad del output de cada uno de los procesos involucrados y por lo tanto del input de los procesos siguientes.
3. Las variables de calidad son aquellas que condicionan los objetivos particulares de cada uno de los procesos involucrados.

Alineación de los procesos

El siguiente apartado considerará los siguientes criterios de calidad:

1. **Enfoque basado en procesos (Introducción 0.2. Letras a, b, c y d):** En lo que se refiere al empleo del enfoque cliente-proveedor y su ligazón por medio de medidas de desempeño.
2. **Generalidades (8.1):** Referente a las formas concretas tendientes a demostrar el grado de eficacia del sistema y su importancia en el apoyo del mejoramiento continuo, lo que aquí se traduce como el empleo de medidas de desempeño.
3. **Satisfacción del cliente (8.2.1):** A través del uso de medidas de desempeño orientadas a la medición de la satisfacción del cliente.

A partir de todo lo dicho hasta el momento en materia de Calidad, se está en condiciones de plantear una forma concreta de poder medir el desempeño del SPMRA y de cada uno de los procesos que lo conforman.

El objetivo es cuantificar el grado de eficacia con que cada proceso responde a situaciones operacionales particulares caracterizadas por una calidad determinada de su input, a partir de lo cual se estaría en condiciones de identificar donde se producen los problemas que derivan en la variabilidad de los parámetros operacionales y cual es el grado real de responsabilidad que tiene cada proceso.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

El paradigma de gestión que acá se propone, es el paradigma de *Orientación a los clientes*, tal como lo indican la norma ISO 9001 y la metodología Six Sigma.

Para tales efectos, ya se identificó la secuencia de procesos, los requerimientos o intereses que cada uno de estos tiene en relación con el proceso anterior y las fuentes de variabilidad del sistema.

Corresponde ahora definir indicadores que midan el grado de eficacia con que cada proceso satisface esos requerimientos.

La forma concreta de registrar la calidad del output, que cada proceso entrega a sus clientes, estará dado por la implementación de un sistema de reportes, el cuál informará las condiciones en que cada uno de ellos recibió el input del proceso anterior y las condiciones en que entregó su output al proceso siguiente, lo cual a su vez, implica la existencia de un *Sistema de Gestión de la Información* que sea capaz de apoyar a cada uno de los actores involucrados y documentar estos eventos.

Medidas de desempeño por proceso

Se propone alinear los procesos en función de medidas de desempeño que tengan como principal norte; medir el desempeño de cada uno de ellos a partir del grado de control que estos tienen sobre cada una de las variables críticas que los condicionan.

Según la *Guía para una gestión basada en procesos*, del *Instituto Andaluz de Tecnología*, texto que ha sido considerado en el transcurso de este estudio, los siguientes son los pasos en el establecimiento de indicadores (medidas de desempeño):

1. Se determinan los objetivos del proceso (ya realizado).
2. Se determina como estos objetivos podrían no ser alcanzados y por lo tanto se determina el tipo de resultado que interesa medir (ya realizado).
3. Se determinan los indicadores que se emplearán en función del tipo de resultado identificado anteriormente.
4. Se establecen los valores ideales asociados a cada uno de estos indicadores.
5. Se diseña e implementa un soporte, generalmente electrónico, de tal suerte de poder formalizar el empleo del indicador y beneficiarse de las mediciones.

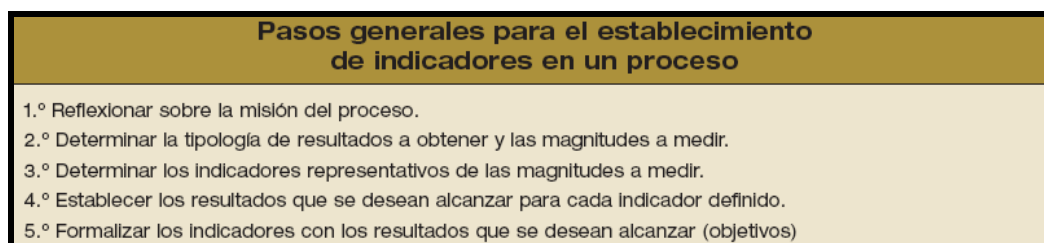


Figura 6 – Modelo determinación de indicadores [Fuente: Instituto Andaluz de Tecnología]

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Considérese además la siguiente frase extraída del mismo texto: "Para la gestión de algunos procesos puede ser también importante considerar la información proveniente de otros indicadores que, aún cuando no reflejen la consecución de la misión, son necesarios para la toma de decisiones. Estos indicadores suelen estar vinculados de alguna forma con las entradas al proceso, las cuáles provienen bien de otros procesos de la organización o bien desde el exterior de la misma" (Instituto Andaluz de Tecnología, p. 37).

Ahora bien y desde el punto de vista del control de procesos, que es lo que en definitiva se persigue con el diseño e implementación de un sistema de calidad, considérese la siguiente frase extraída del mismo texto: "Solo es posible que funcione el bucle de control si se es consciente de que la actuación sobre las variables de control consiguen alterar los resultados del proceso y, por tanto, los indicadores, es decir, si existe una relación "causa-efecto" entre las variables de control y los indicadores." (Instituto Andaluz de Tecnología, p. 38).

Por lo tanto y en función de todo lo señalado hasta ahora, se esta en condiciones de afirmar lo siguiente:

1. Desde el punto de vista metodológico; antes de definir los indicadores es necesario determinar todas las fuentes de variabilidad asociadas al objetivo perseguido por el proceso.
2. Estas fuentes de variabilidad identifican directa o indirectamente las variables críticas que precisamente están detrás de estas fuentes de variabilidad. Por ejemplo si consideramos que Perforación busca perforar los pozos en función del diseño, esto es respetando las coordenadas (x,y,z) de cada pozo; la *variabilidad de alguna de estas coordenadas* es una causa de variabilidad y por lo tanto es una variable crítica que interesa minimizar y definir a partir de ella, un indicador que pueda medirla.
3. Los indicadores, por tanto, deben informar acerca del comportamiento de las variables críticas.
4. Esta propuesta de calidad fusiona armónicamente los dos criterios mencionados anteriormente; vale decir: las variables de calidad como determinantes de la misión de un proceso y como condicionantes de su output.
5. Desde el punto de vista de un Sistema de Control de la Calidad existe una relación de causa y efecto entre las variables de control de calidad y los indicadores.

A continuación se listan los indicadores de desempeño:

➤ **Medidas de desempeño Implementación diseño**

1. **Tiempo total de espera por disponibilidad diagrama de perforación**
2. **Total metros variabilidad coordenada x**
3. **Total metros variabilidad coordenada y**

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

➤ Medidas de desempeño Perforación

4. **Porcentaje Pozos Cortos** = $100 * (\text{Metros pozos cortos} / \text{Metros totales perforados})$
5. **Porcentaje Pozos Largos** = $100 * (\text{Metros pozos largos} / \text{Metros totales perforados})$
6. **Porcentaje Metros totales perforados** = $100 * (\text{Metros totales perforados} / \text{Metros totales teóricos})$
7. **Total metros variabilidad coordenada x**
8. **Total metros variabilidad coordenada y**

La tasa de avance de los metros perforados se calcula usando la fórmula para el cálculo del porcentaje de metros totales perforados, la cual actualiza este valor conforme se ingresan los nuevos datos correspondiente a metros perforados.

➤ Medidas de desempeño Tronadura

9. **Porcentaje <1"** = $100 * (\text{Tmh <1"} / \text{Tmh totales})$
10. **Porcentaje <6"** = $100 * (\text{Tmh <6"} / \text{Tmh totales})$
11. **Porcentaje >6"** = $100 * (\text{Tmh >6"} / \text{Tmh totales})$
12. **Porcentaje Q tronado** = $100 * (\text{Q cubicado} / \text{Q tronado real})$

➤ Medidas de desempeño C&T

13. **Flujo mineral carguío** = $\text{Tmh mineral cargadas} / \text{Tiempo efectivo carguío}$
14. **Flujo mineral transporte** = $\text{Tmh mineral transportadas} / \text{Tiempo total transporte}$
15. **Tiempo Efectivo Ablandamiento Terreno**
16. **Avance C&T** = $100 * (\text{Tmh polígono transportadas} / \text{Tmh totales polígono})$

Tanto el tiempo efectivo de ablandamiento como el porcentaje de avance de C&T se incluyeron como indicadores extras para complementar la información entregada por las medidas de desempeño, las cuáles son funciones de las variables críticas.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Modelo Alineación de procesos

La figura 7 muestra que las operaciones mina y las operaciones planta se pueden alinear a partir de dos flujos paralelos; un flujo físico y un flujo informativo.

El flujo físico permite la circulación del material extraído en mina a través de las distintas operaciones del sistema hasta transformarse en el concentrado de cobre final. El flujo informativo permite por un lado, la comunicación entre los distintos procesos del sistema y por otro lado, el almacenamiento común de los datos asociados tanto a las variables de entrada como a las variables de salida, lo cual incluye las variables críticas y las medidas de desempeño por proceso.

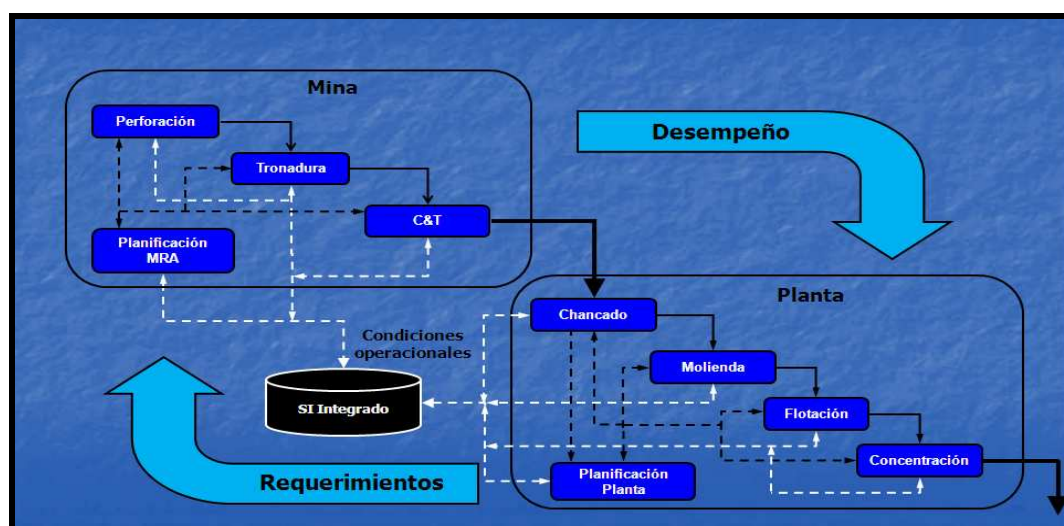


Figura 7 – Modelo General Alineación de procesos [Realización personal]

La figura muestra que los distintos flujos informativos convergen al el mismo sistema de información, el cual almacena y procesa bajo un criterio integrado, todos los datos mencionados anteriormente, pero al mismo tiempo, permite la recuperación de datos y/o información desde el sistema.

Según este modelo, los procesos son alineados con el objeto de maximizar la satisfacción del cliente, en el cual, un proceso es considerado cliente del proceso que le antecede y proveedor del proceso que le precede, resultado de lo cual, toda la línea de procesos del sistema tendría que experimentar una maximización de su nivel de satisfacción.

En cualquier caso, la presencia de un soporte electrónico que es capaz de almacenar y medir tanto las variables críticas que condicionan los objetivos y la calidad final de las salidas operacionales, así como las medidas de desempeño, entrega las claves del mejoramiento continuo que persigue en última instancia, el perfeccionamiento del sistema en su conjunto.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Las figuras 8, 9, 10 y 11 muestran visiones parciales por proceso del modelo general graficado en la figura 7.

Estas figuras grafican la relación concreta y específica existente al interior de cada proceso, entre las variables críticas, los objetivos del proceso y las medidas de desempeño. Se puede apreciar como el objetivo es afectado por el set de variables críticas identificadas previamente y como estas definen las medidas de desempeño que en definitiva miden el comportamiento de cada proceso a partir del comportamiento de las variables críticas.

En el caso del diseño, se puede apreciar que la confección del diseño está condicionada a la calidad asociada a los parámetros escogidos para cada polígono, lo cual plantea la necesidad de poseer estándares que entreguen una justificación de porqué emplear unos parámetros u otros, lo cual en efecto, aborda el MTM (en este apartado no se proponen medidas de desempeño relacionadas con los parámetros del diseño, pues se entiende que esto es resorte preferentemente de la empresa especializada en el tema).

Para finalizar la consideración del diseño, entiéndase que el diseño como tal es responsable no solo del diseño como tal, sino también de la implementación de la malla y por lo tanto se asume que no tiene sentido hablar de diseño hasta que la malla no está marcada en terreno (en un escenario; sin malla on-line).

En conclusión, el control de las variables críticas es de responsabilidad del proceso, pues en la medida que su efecto sea minimizado, es posible que éste logre su objetivo y maximice de esta forma la calidad del producto entregado al proceso siguiente, lo cual se mide en ultima instancia, a través de las medidas de desempeño que tiene asociadas.

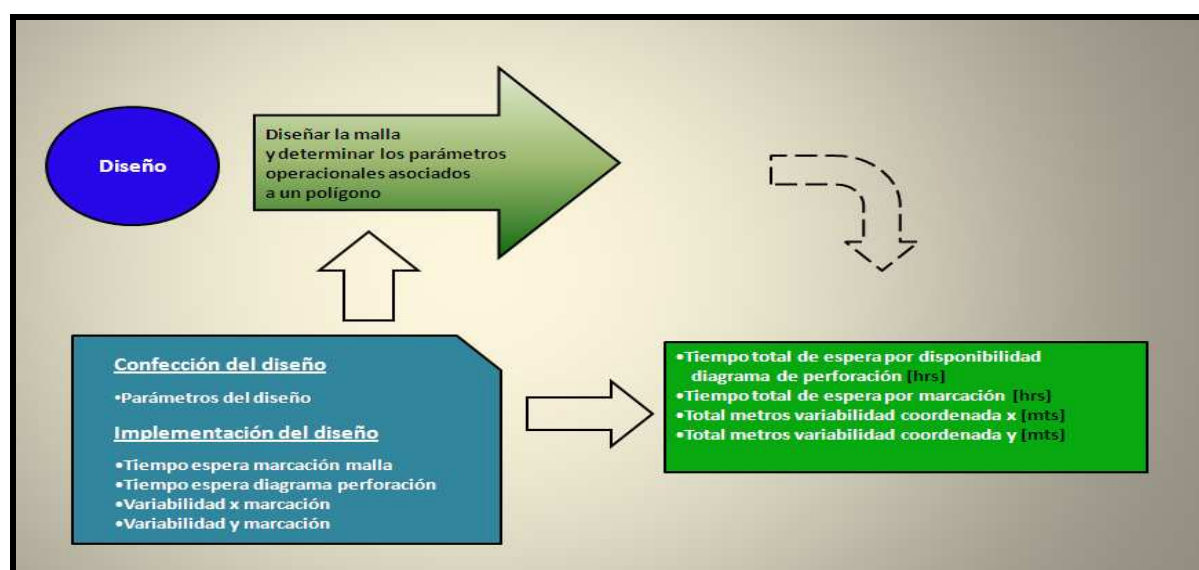


Figura 8 – Modelo Alineado de Diseño [Realización personal]

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

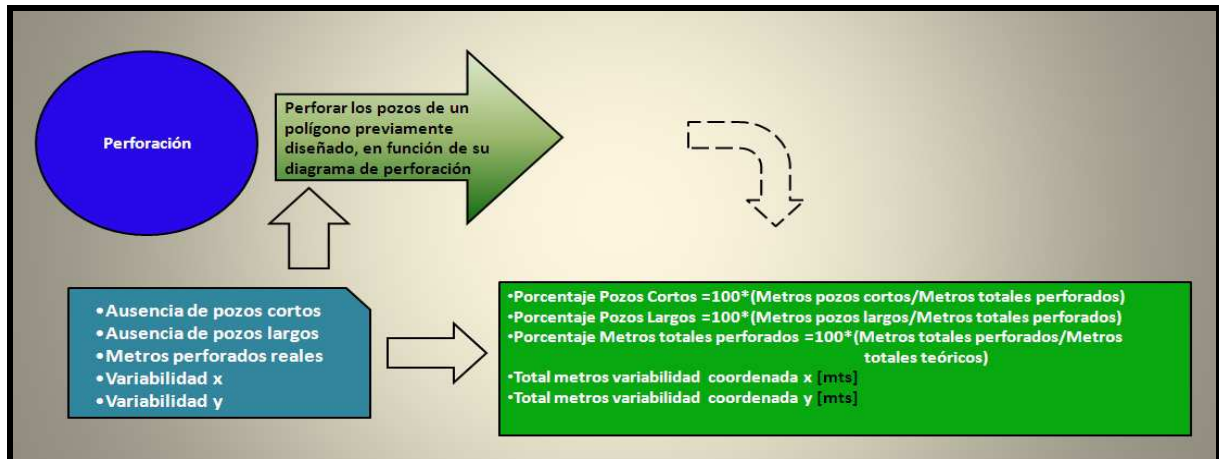


Figura 9 – Modelo Alineado de Perforación [Realización personal]

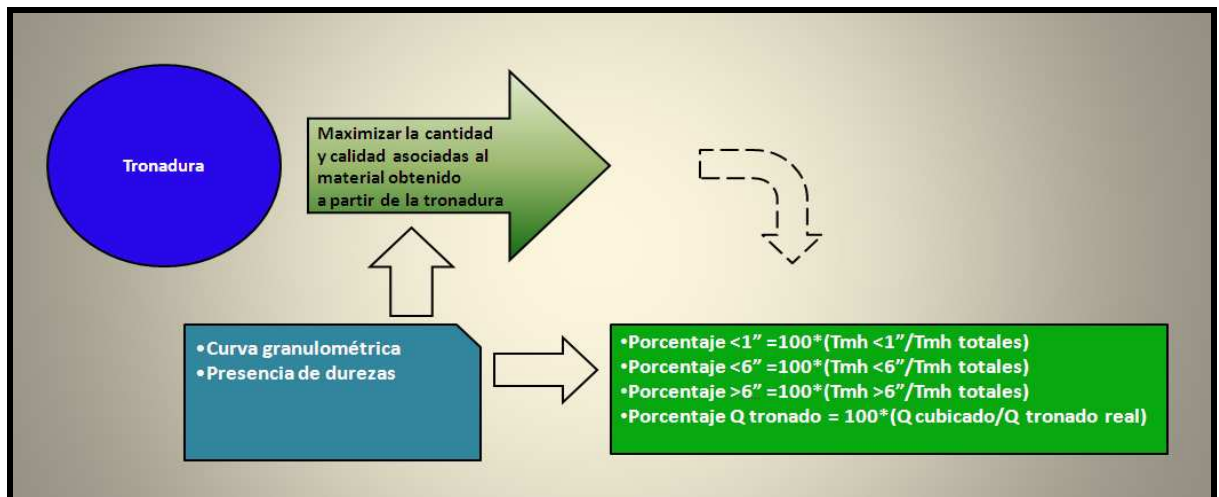


Figura 10 – Modelo Alineado de Tronadura [Realización personal]

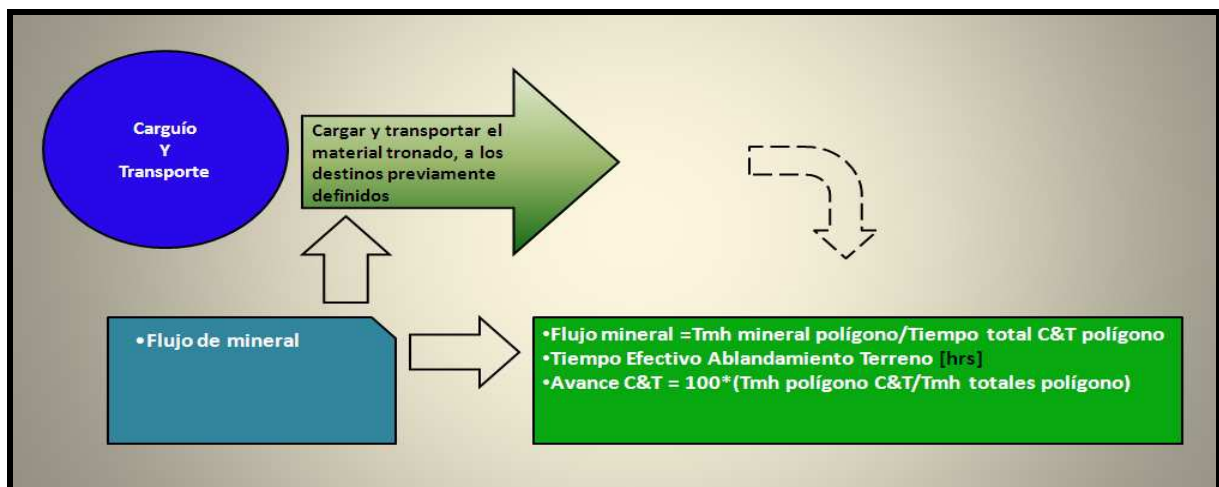


Figura 11 – Modelo Alineado de C&T [Realización personal]

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Finalmente, la figura 12 muestra un esquema de un modelo de alineación de objetivos, en un escenario con MTM, el cual propone objetivos para cada proceso y el diseño, poniendo énfasis en la alineación de los objetivos con respecto a los requerimientos del molino SAG.

En este estudio no se profundizará en este punto, pues esto es propio de un escenario caracterizado por la consolidación del empleo de esta técnica.

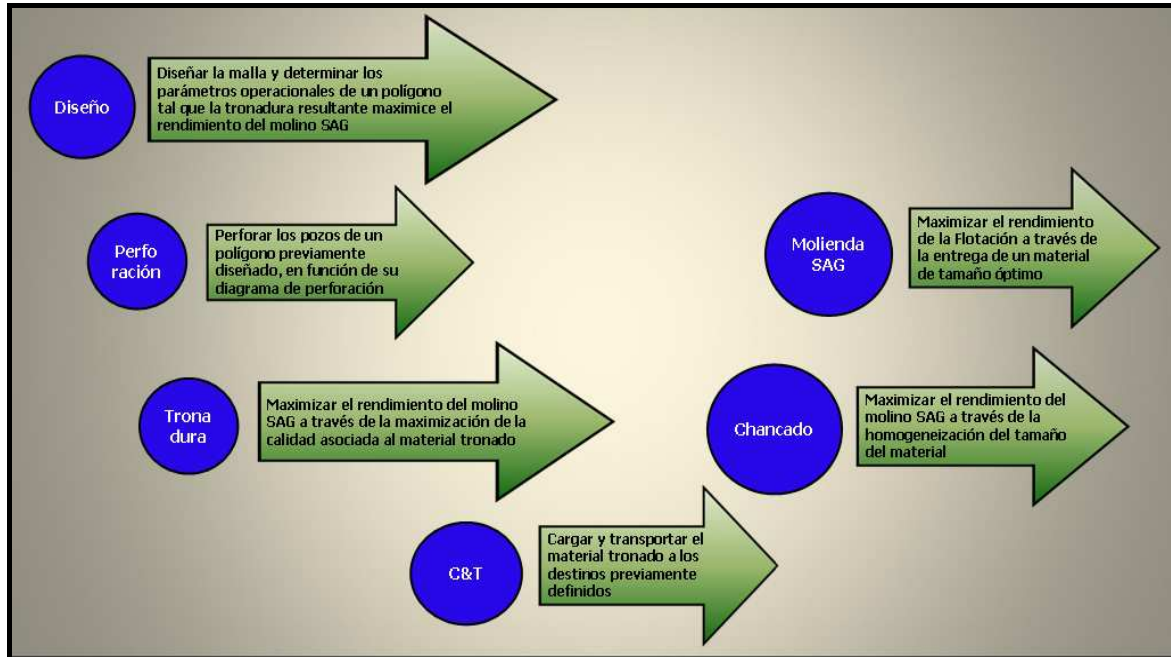
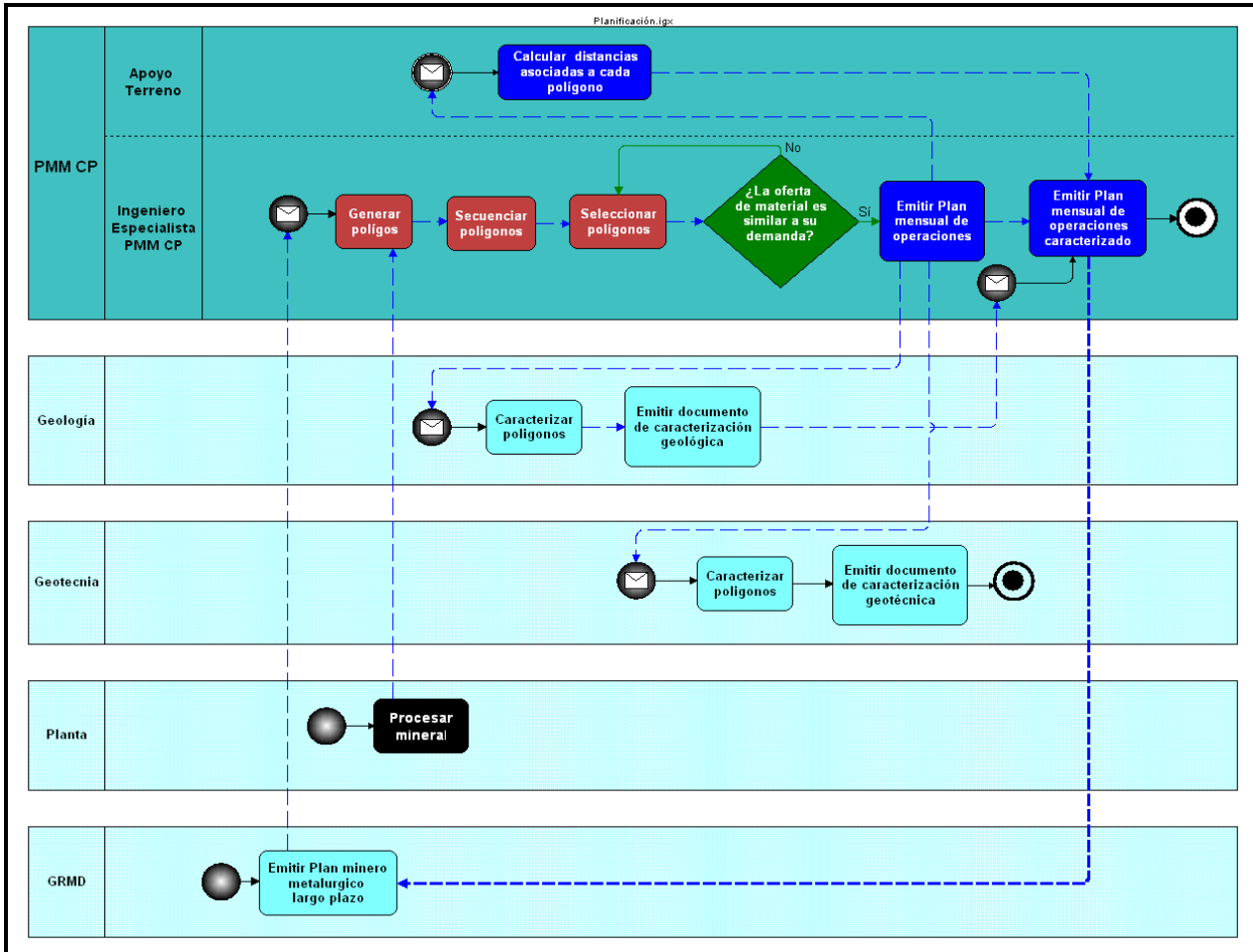


Figura 12 – Modelo General Alineación de Procesos con MTM [Realización personal]

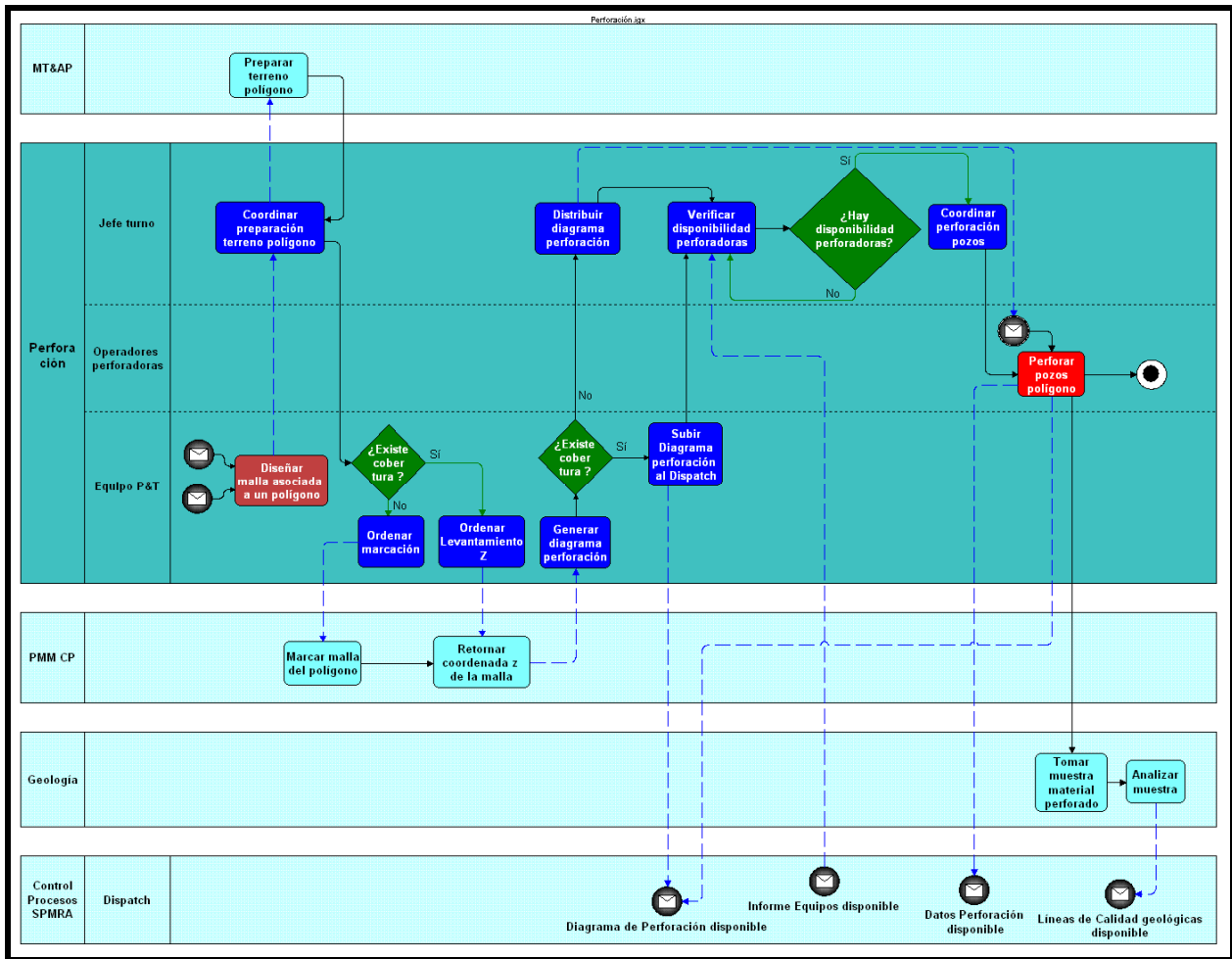
Anexo 4 – Modelos de procesos bajo el estándar BPMN

1 Planificación minero-metalúrgica de corto plazo (PMM CP)



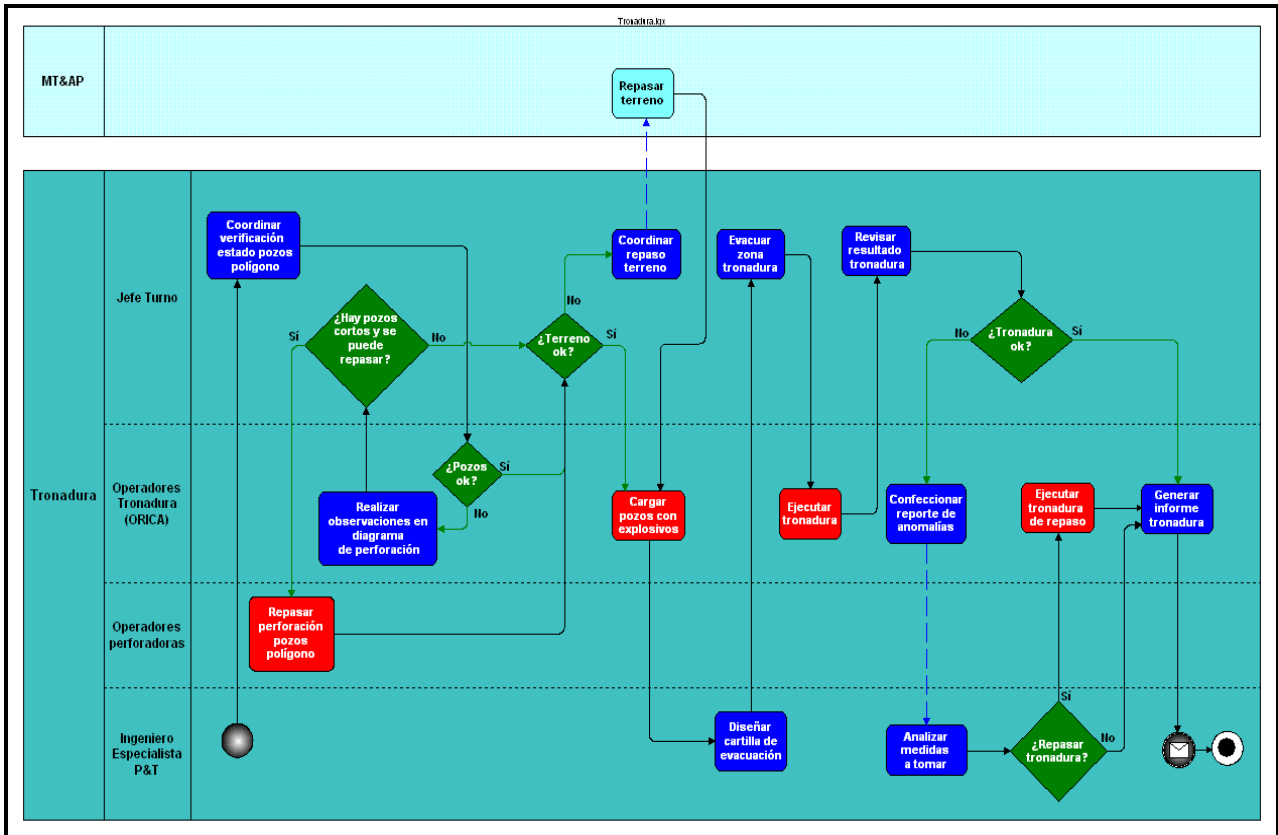
Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

2 Perforación



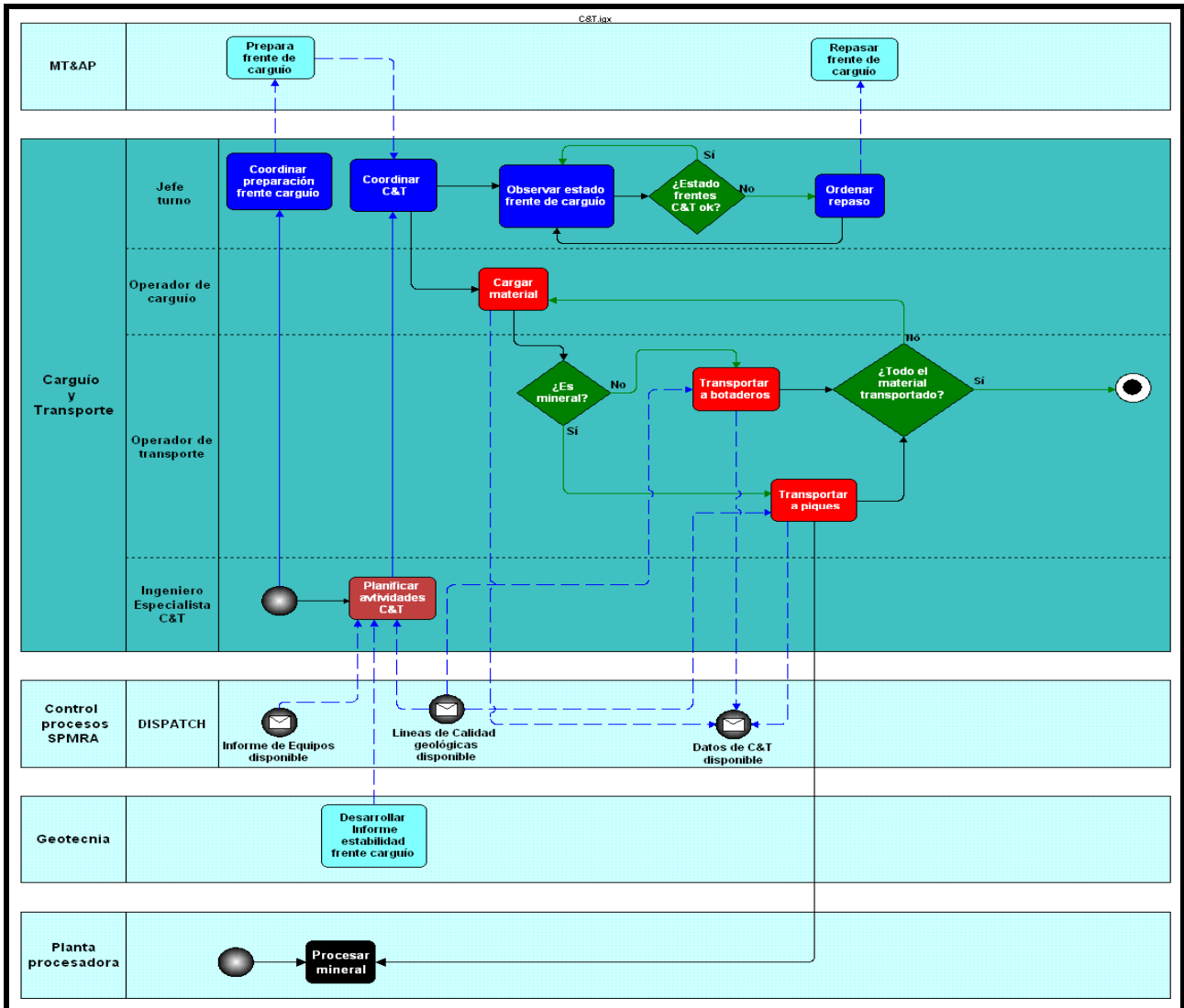
Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

3 Tronadura



Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

4 Carguío y Transporte (C&T)



Anexo 5 – Tablas Base de Datos Relacional

1. Polígonos

Fecha	Polígono	Control		Rajo		Geología		Dimensiones [m]		
Fecha Ingreso sistema	Id Polígono	Tipo	Estado	id Rajo	Fase	Dominio	Cubicación [ton]	Largo	Ancho promedio	Alto promedio
23-Abr-07	3560-001	Buffer	1	DL	2	BT-FH	130.590	236	45	15

Estado 1: Polígono está en el plan. Estado 2: Polígono no está en el plan. Estado 3: Mezclas de polígonos. Los polígonos pueden ser ingresados al sistema al momento de ser planificados o al momento de ser diseñados (esto último, propio del estado 2 y 3). Un mismo polígono puede tener asociado varias fechas por efecto directo del desorden presente en el sistema operativo.

2.1 Dominios Fragmentación MTM

Geología	Mine to Mill					
Dominio	Id explosivo	Taco [m]	Factor de carga [kg/ton]	Burden [m]	Espaciamiento [m]	Diámetro perforación [m]
H-VD	Apex-130	6.6	0,345	6	7	0,27

2.2 Caracterizaciones Geológicas

Polígono	Composición [%]		
id polígono	Cu	Mo	As
3560-001	0,93	0,01	0,01

Mineralogía							Estimaciones		
Cpy	Py	Bo	Min Sec	Lim	Ox Cu	Ser	WI [kwh/ton]	RecCu [%]	RecMo [%]
3	3	2	1	0	0	0	13	94	70

Litología [%]										
GDRB	GDCC	AN	BXT	BT	PQM-PDL	BXTTO	BXMGD	BXTO	BXPDL	BXGDRB
0	60	0	20	15	5	0	0	0	0	0

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

2.3 Líneas de calidad geológicas

Polígono	Zona	Material		
id polígono	Id Zona	Tipo material	Tmh	Destino
3560-001	1	Mineral	90.560	PD

Composición LC [%]					Estimaciones LC		Descripción LC
Cu	Mo	As	Pb	Ley Corte	WI	RecCu	Observaciones
0,45	0,056	0,01	0	0,75	13,67	89,9	toneladas aproximadas

2.4 Caracterizaciones geotécnicas

Polígono	Variables Geotécnicas	
id polígono	F F [f/m]	Resistencia a la Compresión [MPa]
3560-001	8-14	120

3.1 Estado del terreno (polígono)

Polígono	Turno			Equipo	Estado terreno	MT&AP
id polígono	Fecha	id turno	Hora	id perforadora	Estado del Polígono	id equipo apoyo
3560-001	22-Abr-07	A	12:45	PER-610	Malo	TRAC 890

Este modelo sólo mide el estado del terreno y el tiempo de apoyo destinado a mejorar el estado del polígono, al momento de perforar. No mide los tiempos de apoyo anteriores (antes de marcar).

3.2 Estado del terreno (frente de carguío)

Polígono	Turno			Equipo	Estado terreno	MT&AP
id polígono	Fecha	id turno	hora	id cargador	Estado del frente	id equipo apoyo
3560-001	22-Abr-07	A	12:45	C241	Ablandando	TRAC 890

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

4.1 Operaciones (Perforación por turno)

Turno		Equipo	Polígono	Perforación
Fecha	id Turno	id perforadora	id polígono	Metros perforados [m]
22-Abr-07	A	PERF610	3560-001	3.567

4.2.1 Operaciones (Tronadura: Información general)

Tronadura			Polígono	Explosivo	Turno		Gasto [US\$]	Material [ton]
id tronada	Tipo	Empresa	id polígono	id explosivo	Fecha	id turno	gasto tronada	Toneladas tronadas
11	buffer	ORICA	3560-001	Apex-130	23-Abr-07	A	100.000	345.000

Bajo este modelo, se subentiende que es posible tronar varias veces al día y que un mismo polígono puede ser tronado mas de una vez (cuando existen montículos que no fueron cargados en la tronada).

4.2.2 Operaciones (Tronadura: Distribución material por tronada)

Tronadura	Turno	Polígono	Material [ton]		
			id tronada	Fecha	id polígono
11	23-Abr-07	3560-001	243.433	0	101.567

4.2.3 Operaciones (Tronadura: Explosivos por tronada)

Tronadura	Turno	Polígono	Explosivo	
			id tronada	Fecha
11	23-Abr-07	3560-001	Apex-130	34567

4.3 Operaciones (Carguío por turno)

Turno		Equipo	Polígono	Carguío
Fecha	id Turno	id cargador	id polígono	Toneladas cargadas [ton]
22-Abr-07	A	C241	3560-001	35.890

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

4.4 Operaciones (Transporte por turno)

Turno		Equipo	Polígono	Transporte
Fecha	id Turno	id camión	id polígono	Toneladas transportadas [ton]
22-Abr-07	A	C111	3560-001	5.456

4.5 Operaciones (Movimiento de tierras por turno)

Turno		Equipo	Polígono	MT&AP	Tiempo
Fecha	id Turno	id equipo	id polígono	Clave tarea	Total
22-Abr-07	A	TRAC 890	3560-001	A-1	0,75
22-Abr-07	A	TRAC 890	3560-002	A-2	1,25

En un mismo turno, un mismo equipo puede realizar la misma tarea en el mismo polígono, varias veces. De ahí que todos los campos en conjunto constituyen la clave. Por otro lado, se asume que los usuarios conocen los significados de las claves de las tareas.

5.1 Equipos

Equipo	
id equipo	tipo
PER-610	Perforadora

5.2 Explosivos

Explosivo	Características				
	Densidad [gr/cm ³]	Volumen de gas [lts/kg]	Energía [kCal/kg]	Presión detonador [kBar]	Velocidad detonación [m/s]
Apex-130	45,6	23,7	768	34,8	345,8

6 Tiempo

Equipo	Turno		Tiempos Norma Asarco									
	Fecha	Id turno	EFE	Perd Oper	DPR	DNPR	Oper	RES	Disp	Mant Prog	Mant Imprev	Nominal
PER-610	22-Abr-07	A	3,96	0	2,34	5,4	11,7	0	11,7	0	0,3	12

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

7.1 Calidad (Diseño)

Turno	Polígono	Diseño				
Fecha	Id polígono	Id explosivo	Taco [m]	Factor de carga	Burden [m]	Espaciamiento [m]
23-Abr-07	3560-001	Apex-130	6.6	0,345	6	7

Diseño		
Diámetro perforación [m]	Metros perforados [m]	Numero de pozos
0,27	3740	220

7.2 Calidad (Ubicación pozos)

Polígono	Coordenadas [m]			
id polígono	Id pozo	x	y	z
3560-001	1	0	0	17
3560-001	2	7	7	17

7.3 Calidad (Implementación Diseño espacial)

Polígono	Turno	Calidad implementación diseño espacial		
id polígono	Fecha	id pozo	Variabilidad X [m]	Variabilidad Y [m]
3560-001	23-Abr-07	2	0,4	0,89

7.4 Calidad (Implementación Diseño temporal)

Polígono	Turno	Calidad implementación diseño temporal [hrs]	
id polígono	Fecha	Tiempo espera por marcación	Tiempo espera diagrama perforación
3560-001	23-Abr-07	2,3	4,45

7.5 Calidad (Perforación)

Polígono	Calidad perforación [m]					
id polígono	id pozo	Metros perforados reales	Pozo corto	Pozo largo	Variabilidad X	Variabilidad Y
3560-001	1	3710	5,7	0	0	0,78

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

7.6 Calidad (Tronadura)

Polígono	Turno	Calidad Tronadura [%]					
id polígono	Fecha	Q tronado real [ton]	<1" pasante	< 6" pasante	> 6"	<1" Exigencia SAG	<6" Exigencia SAG
3560-001	23-Abr-07	154.789	8	53	47	10	60

Los porcentajes de <1" y <6" son porcentajes acumulados y esto es válido tanto para el material pasante como para las exigencias del SAG.

7.7 Calidad (C&T)

Polígono	Calidad C&T			
id polígono	Avance C&T [%]	Tiempo ablandamiento frente C&T [hr]	Flujo mineral carguío [ton/hr]	Flujo mineral transporte [ton/hr]
3560-001	100	4,5	144,6	489,6

Anexo 6 – Reportes de Calidad

1 Calidad del diseño

Reporte Calidad del Diseño										
Fecha	Dominio	Polígono	Explosivo	Taco	Burden	Espaciamiento	Diámetro Perforación	Factor de carga	Cantidad Pozos	Metros Perforados
01-Ene-05										
	GDC-MH									
		3724-011								
		DISEÑO REAL	Apex-150	6,6	7	9	0,27	0,24	49	835,75
		DISEÑO MINE TO MILL	Apex-150	6,0	7	7	0,27	0,32		

Proceso Responsable: Perforación y Tronadura

Proceso Receptor: Perforación y Tronadura

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

2 Coordenadas pozos

 Reporte Coordenadas Pozos Polígono				
Polígono	id pozo	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z
3724-011				
	1	24.715.825	26.189.380	17
	2	24.707.404	26.181.962	17
	3	24.673.800	26.203.099	17
	4	24.675.251	26.205.597	17
	5	24.682.500	26.213.260	17
	6	24.697.618	26.222.373	17
	7	24.717.915	26.218.852	17
	8	24.720.305	26.218.843	17
	9	24.729.650	26.222.368	17
	10	24.742.060	26.219.603	17
	11	24.731.471	26.204.864	17
	12	24.715.825	26.189.380	17
	13	24.684.836	26.163.182	17
	14	24.674.935	26.156.407	17
	15	24.659.811	26.190.812	17
	16	24.663.653	26.192.550	17
	17	24.671.523	26.199.177	17
	18	24.673.800	26.203.099	17

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

3 Calidad Implementación diseño

Reporte Calidad Impementación Diseño						
Polígono	Fecha	id pozo	Variabilidad X	Variabilidad Y	Tiempo espera diagrama perforación	Tiempo espera por marcación
3724-011						
04-Ene-05						
		1	4		4,45	2,23
		2		1,23		
		4		0,76		
		8	3,5	3,1		
		12	0,1			
		13	0,3			
		19	0,67			
		30	1,23			
		33		2,3		
TOTAL			9,8	7,39	4,45	2,23

Nota: La dimensión espacial está en mts y la dimensión temporal está en hrs

Proceso Responsable: Planificación Corto Plazo

Proceso Receptor: Perforación y Tronadura

4 Calidad Perforación

Reporte Calidad Perforación						
Polígono	Pozos Cortos	Pozos Largos	Variabilidad X	Variabilidad Y	Metros Totales Perforados	Metros Totales Teóricos
3724-011						
	10,40	5,70	10,00	23,30	830,7	612
INDICADORES	1,25%	0,69%	10,0	23,3	135,74%	
EXIGENCIAS	0,5%	0,5%	10	10	100%	
DIFERENCIAS	0,75%	0,19%	0,00	13,30	-35,74%	


Nota: Las unidades están en mts, salvo que se diga lo contrario

Proceso Responsable: Perforación


Proceso Receptor: Tronadura

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

5 Calidad Granulometría


 Reporte Calidad de la Granulometría						
Polígono	Fecha	< 1° Pasante	< 6° Pasante	> 6°	< 1° Exigencia SAG	< 6° Exigencia SAG
3724-011	06-01-2005					
INDICADORES [%]		5,33	44,96	55,04	10,00	60,00
DIFERENCIAS [%]		4,67	15,04			
Proceso Responsable: Tronadura Proceso Receptor: Carguío y Transporte						

6 Calidad Carguío y Transporte

 Reporte Calidad Carguío y Transporte				
Polígono	Flujo promedio Carguío	Flujo Promedio Transporte	Tiempo Ablandamiento	Toneladas transportadas
3724-011				
INDICADORES	608,27	108,46	6,02	27.860,00
EXIGENCIAS	710,00	210,00	2,50	
DIFERENCIAS	-101,73	-101,54	3,52	
Proceso Responsable: Carguío y Transporte Proceso Receptor: Chancado				

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

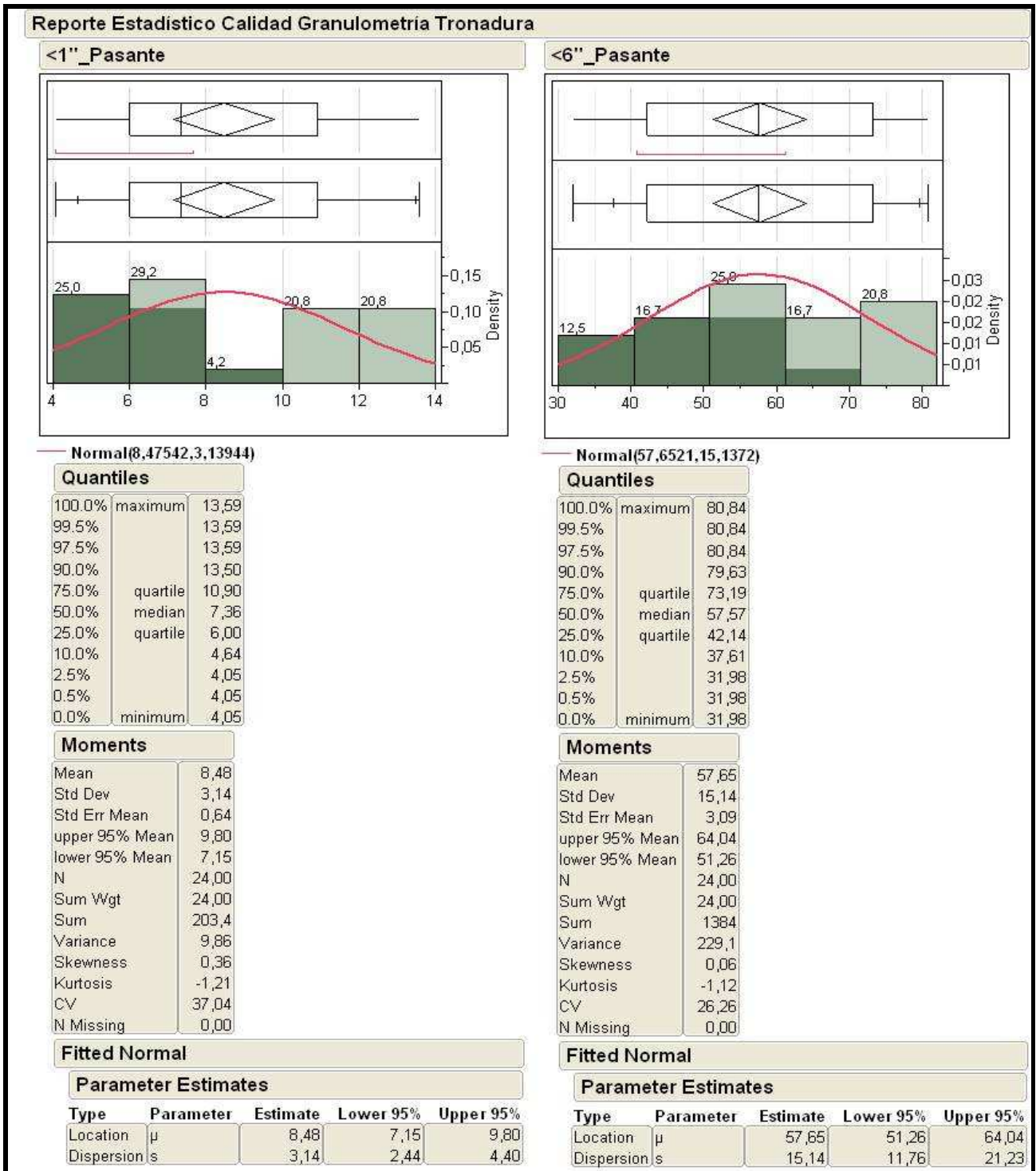
7 Reporte enfoque actual de control

 Reporte Material Movido por polígono											
Polígono	TMH cubicadas	TMH LC	Metros perforados teóricos	Metros perforados reales	Fecha tronada	Mineral	Mineralizado	Esteril	TMH tronadas	Tipo explosivo	Cantidad explosivo
3724-011											
	120.000	120.000	835,75	830,70	06-Ene-05	100.000	0	25.362	125.362	Apex-150	40.065
Indice de Perforación				150,91							
Proporción Metros perforados				0,99							
Factor de carga				0,32							
Proporción TMH tronadas				1,04							
Unidad Responsable: Superintendencia MRA											
Unidad Receptora: Superintendencia Ingeniería de Procesos											

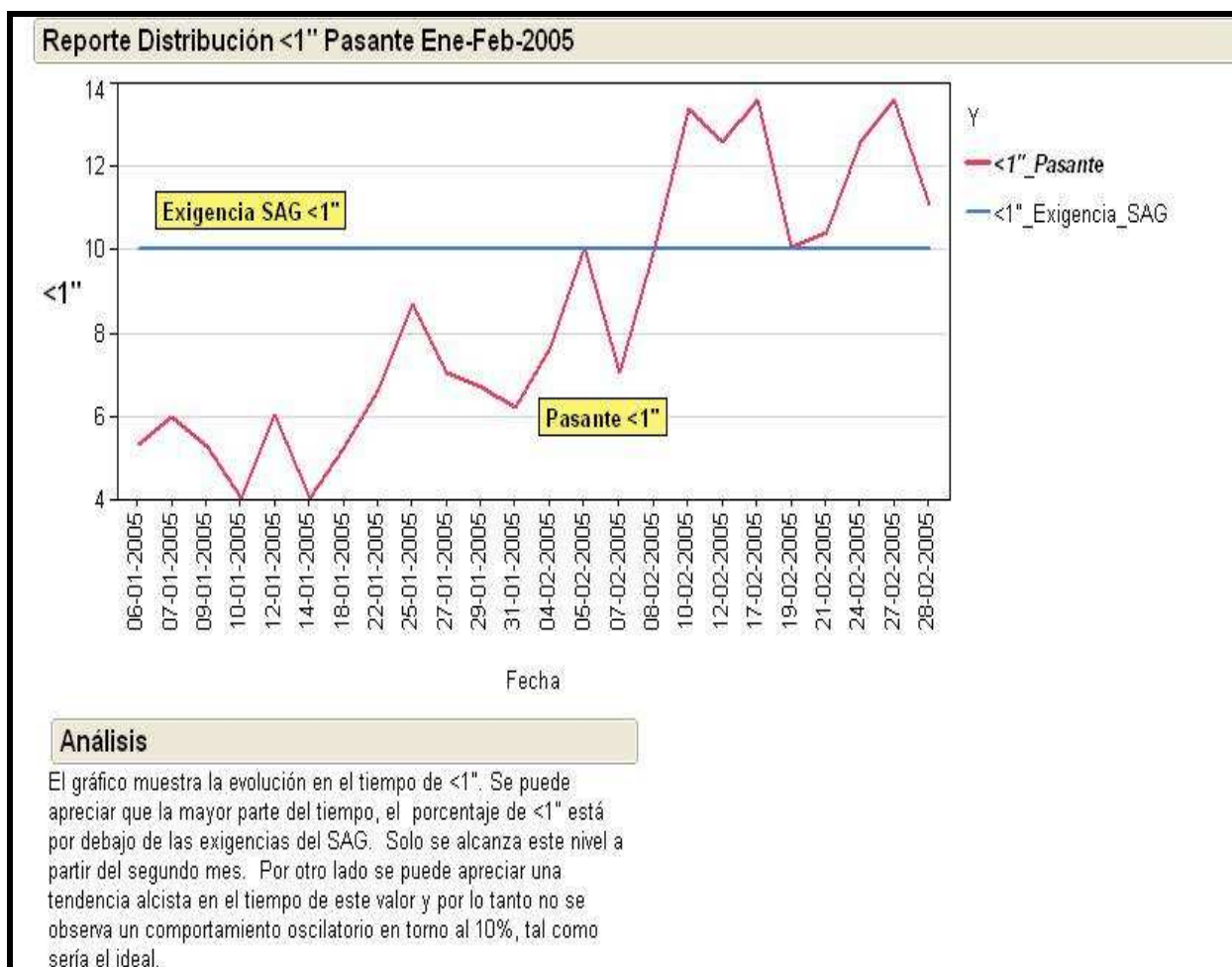
Nota: Los reportes 1 al 7 se despliegan automáticamente por pantalla cuando se accede a la BD confeccionada en Access. Esto se realiza activando las macros respectivas en el panel de control del DBMS asociada a la BD.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

8 Reporte Estadístico Calidad Granulometría



9 Análisis Distribución temporal <1" Pasante



Nota 1: Los reportes 8 y 9 se despliegan por pantalla automáticamente al acceder a la aplicación confeccionada en JMP, la cual a su vez, actualiza estos reportes automáticamente cada vez que se conecta vía ODBC a la BD confeccionada en Access.

Nota 2: Los reportes 1 al 7 y los reportes estadísticos 8 al 9 en conjunto, implementan los criterios de la norma ISO 9001 que dicen relación con el monitoreo de los procesos y la medición de la satisfacción del cliente como función de la variabilidad de los objetivos de los procesos en un contexto de alineación de procesos.

Anexo 7 – Resultados Estudio Data mining

1. Sistema Multivariable Geológico-Geomecánico

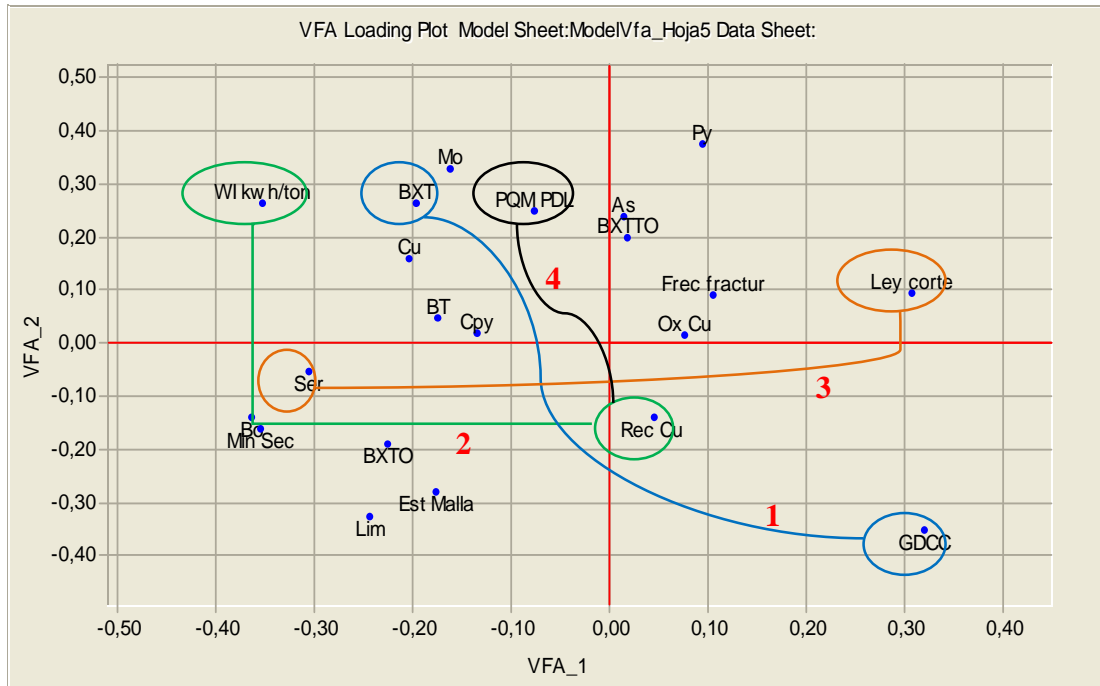


Figura 2 – Loading Plot VF 2 v/s VF 1. Geología-Geotecnia [Realización personal]

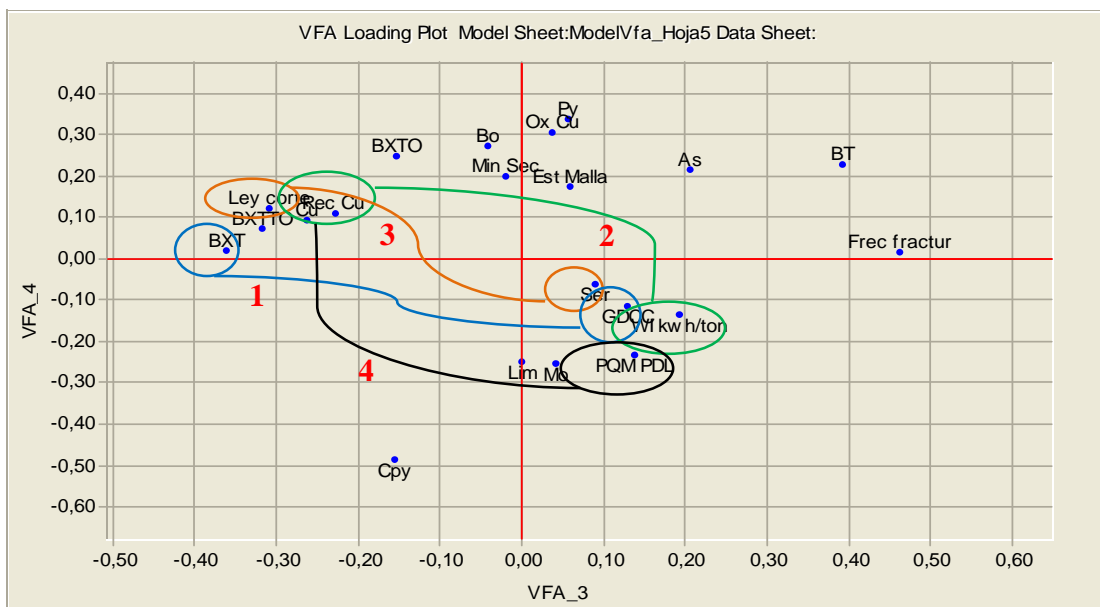


Figura 3 – Loading Plot VF 4 v/s VF 3. Geología-Geotecnia [Realización personal]

Está fuera del alcance de este estudio la realización de análisis más acabados, no obstante lo cual se pueden extraer algunas conclusiones como la siguiente: El sistema es relativamente

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

complejo pues tiene asociado una variabilidad alta (en comparación con el sistema Molienda SAG, por ejemplo).

A continuación se señalarán las conclusiones acerca de las correlaciones que muestra el estudio de DM. Los gráficos loading plot analizados son VF2 v/s VF1 y VF 4 v/s VF 3 y por lo tanto, dentro del 40% de la variabilidad del sistema (para que exista correlación, esta debe existir en ambos gráficos). El orden de las conclusiones corresponderá a la numeración considerada en los gráficos loading plot.

1. Se observa una correlación fuertemente negativa entre los grupos litológicos; GDCC y BXT, los cuáles de hecho son los grupos litológicos mayoritarios (ambos mineralizados). Se observa, además que ambos explican fuertemente la variabilidad del sistema (tienen asociados índices relativamente altos).
2. Se observa una correlación negativa entre el % de Recuperación de Cu en planta y el WI, lo cual implica que conforme aumenta el % Rec Cu asociado al mineral, esto trae aparejado una disminución de la energía necesaria para romperlo, lo cual puede deberse a múltiples razones que solo quedarán claras cuando se analice el modelo PLS (esto último es también válido para el punto 3).
3. Existe correlación negativa entre la Ley de corte y el tipo de mineralogía, Sericita, lo cual implica que conforme aumenta el porcentaje de este tipo de mineralogía, disminuye la Ley de corte asociado al mineral presente en la zona de corte, lo cual no es menor si se considera que este tipo de mineralogía es la tercera en importancia.
4. Esta correlación es la más obvia de todas, pues tal como se dijo antes, los pórfidos (PQM-PDL) son en general, estériles y por lo tanto están correlacionados negativamente con la Rec Cu.

Desde el punto de vista de la importancia absoluta de cada uno de los grupos litológicos, se observa que esta varía de 6% a 3,7%, explicando alrededor del 30% de la variabilidad del sistema geológico-geotécnico (Figura 4).

Se observa que el grupo BXTTO es la variable más importante de dicho sistema, (BXTTO es más variable que el resto), no obstante el hecho de que este grupo tiene una presencia dentro de la muestra de sólo un 3,5%.

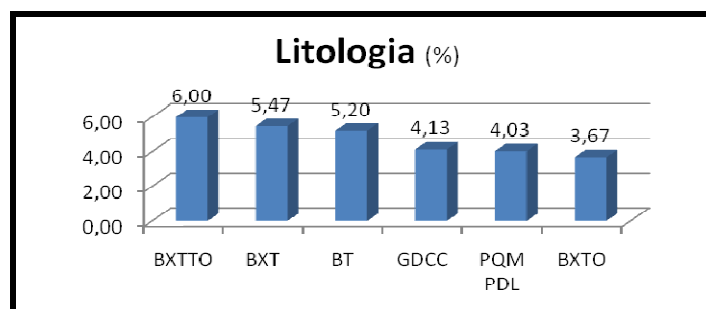
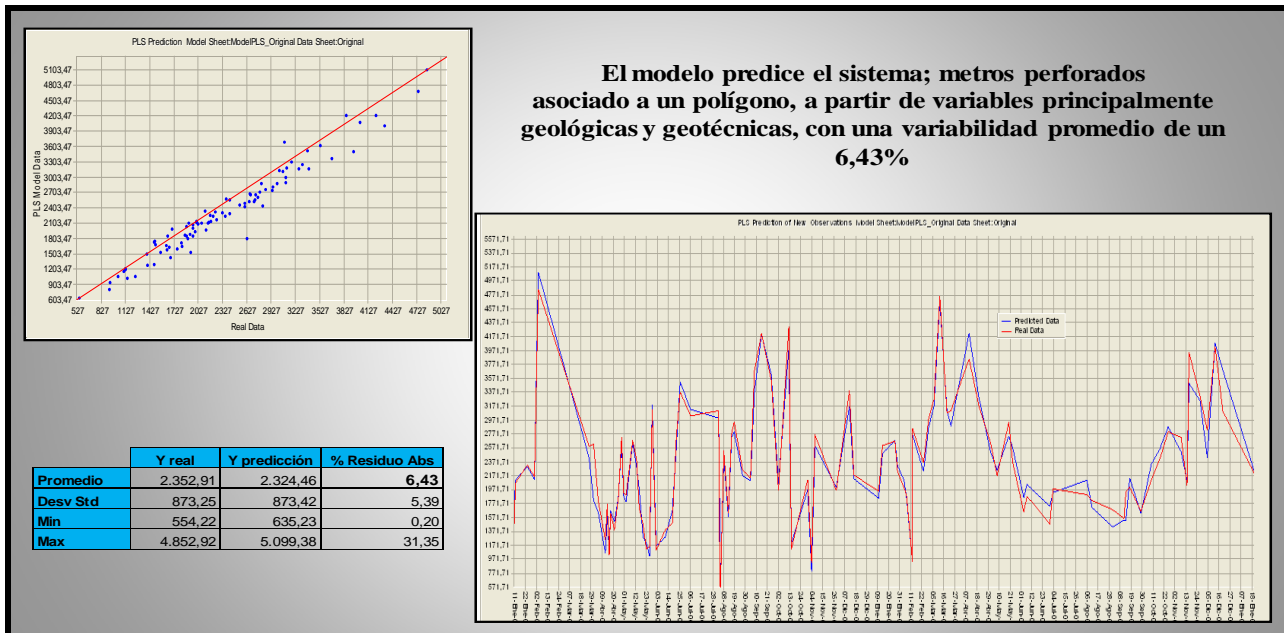


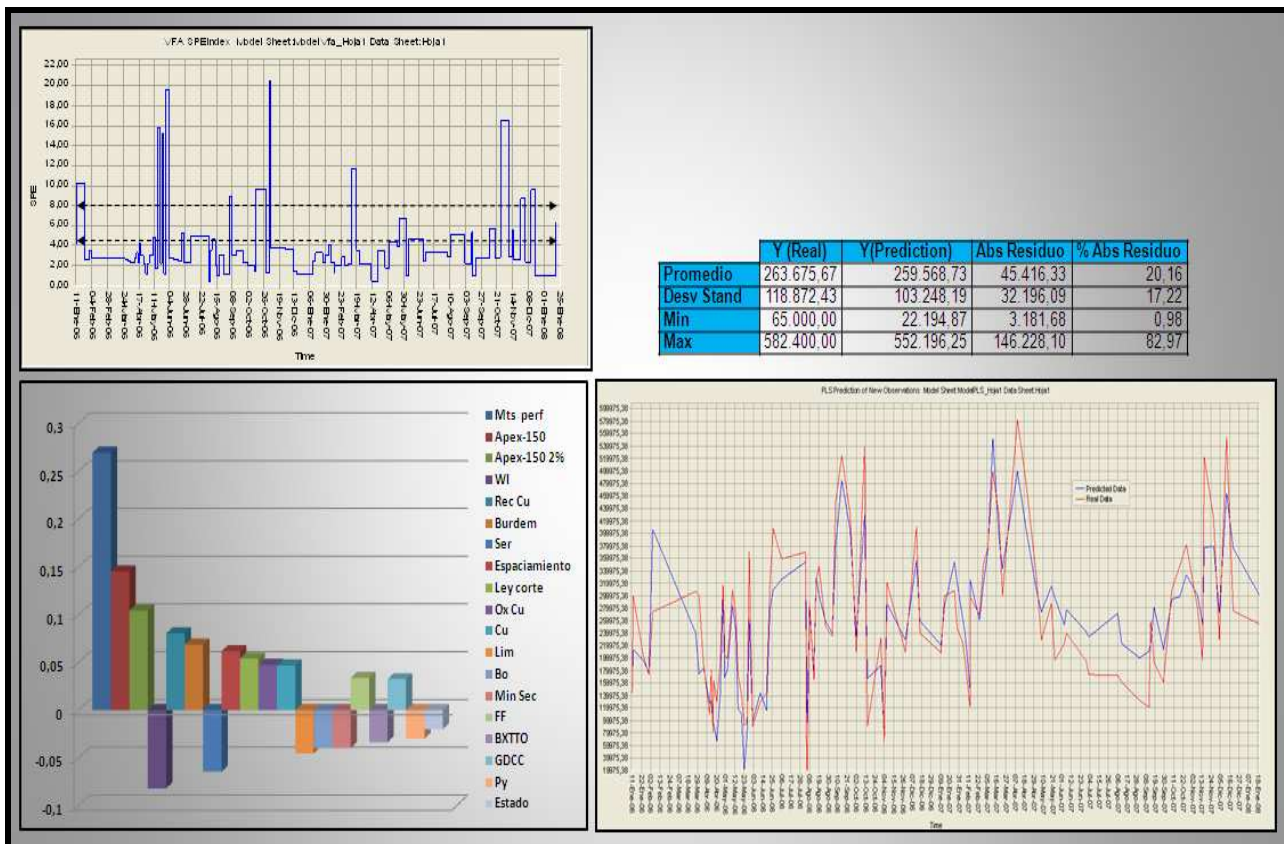
Figura 4 – Relación grupos litológicos [Realización personal]

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

2. Sistema Multivariable Diseño-Perforación



3. Sistema Multivariable Tronadura



Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

4. Sistema Multivariable Molienda SAG

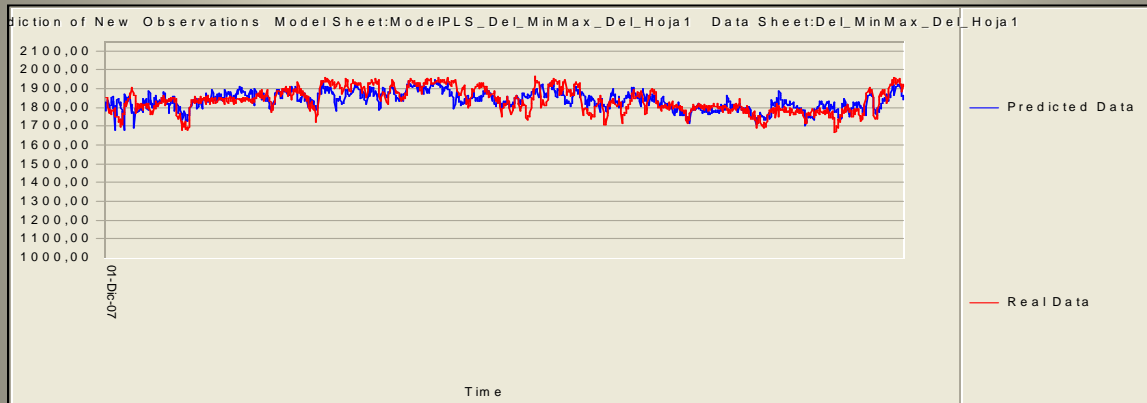
MODELO

$$TPH = 3802,673 + (2,43 * X_1) + (-7,07 * X_2) + (-25,70 * X_3) + (-2,81 * X_4) + (174,73 * X_5) + (-10,22 * X_6) + (0,039 * X_7) + (-9,08 * X_8) + (0,05 * X_9) + (-3,45 * X_{10}) + (1,16 * X_{11})$$

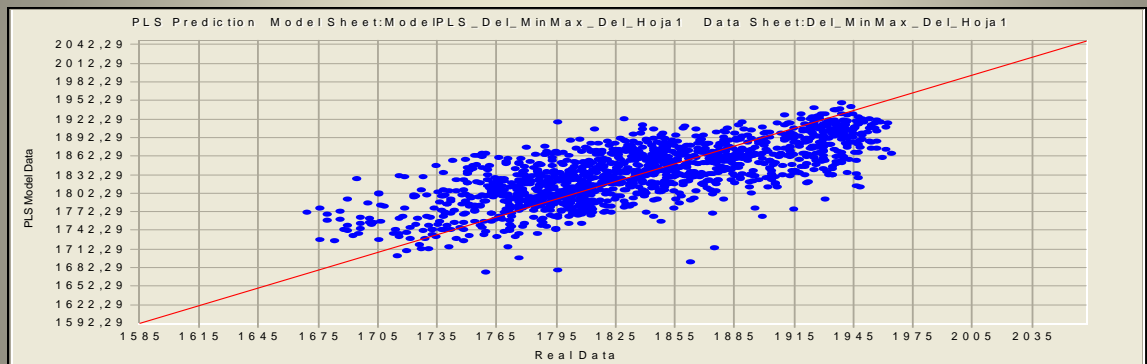
MOMENCLATURA

X ₁	=	(-1°) (%)
X ₂	=	Gruesos (%)
X ₃	=	Top size (")
X ₄	=	Presión descanso (psi)
X ₅	=	Velocidad molino (rpm)
X ₆	=	Ruido molino (%)
X ₇	=	Potencia molino (kw)
X ₈	=	Pebbles generados (%)
X ₉	=	Prechancado (%)
X ₁₀	=	Pebbles retornados SAG (%)
X ₁₁	=	Pebbles retornados Molino Bolas (%)

RESULTADOS DEL MODELO



CALIDAD DEL MODELO



Anexo 8 – Análisis Variográfico

Concepto

El análisis variográfico es una de las herramientas más potentes y simples que existen en materia de análisis de las fuentes de variabilidad de los procesos. Se trata de estudiar las causas de variabilidad de las variables operacionales a través del tiempo.

En realidad, el análisis variográfico tiene un origen muy distinto a ese: esta técnica se estudia en centros académicos paralelos a los centros académicos, en los cuales se estudia la teoría estadística bayesiana clásica. En efecto, es estudiada por geólogos, geomensores, ingenieros forestales, entre otros.

Su objetivo original apunta al análisis del comportamiento espacial de una propiedad o variable, presente en una zona dada. Por ejemplo: detección de direcciones de anisotropía, correlación espacial, patrón de la dirección de desplazamiento de un cardumen de peces, entre muchos otros.

Francis Pitard (matemático norteamericano), el año 1998 demostró que era posible adaptar la metodología desde la dimensión espacial a la dimensión temporal y creó un software a través del cual se podían realizar análisis variográficos centrados en el comportamiento en el tiempo de las variables.

Entonces, en su aplicación crono-estadística, el análisis variográfico tiene como principal componente la siguiente función, denominada Variograma:

$$V(t) = (1/2 * (N-t)) * \sum_{L=1}^N (X(L) - X(L+t))^2$$

Donde:

N:= cantidad de muestras

t:= intervalo de tiempo

L=1...p; p tal que existe algún t tal que X(p+t)=X(N)

Para entender mejor esta técnica, considere el siguiente ejemplo, en el cual una variable cualquiera presenta el siguiente comportamiento en función del tiempo.

Tabla 1 – Ejemplo Función Variograma [Realización personal]

t	X(t)
1	2
2	4
3	3
4	6
5	3

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Algunas iteraciones de la función son las siguientes:

$$V(1) = (1/2*4)*((2-4)^2+(4-3)^2+(3-6)^2+(6-3)^2) = 8/23$$

$$V(2) = (1/2*3)*((2-3)^2+(4-6)^2+(3-3)^2) = 5/6$$

En conclusión, por cada valor de t , se consideran las diferencias en el tiempo de la variable medida, entre todos los pares posibles, de acuerdo al intervalo de tiempo considerado. Para un t dado, el argumento de X aumenta constantemente en t unidades y por lo tanto en cada iteración de L se van considerando las diferencias de un nuevo par a un mismo intervalo de tiempo.

Conforme t aumenta el intervalo considerado aumenta y la cantidad de pares de valores funcionales considerada, disminuye.

Esta función es finalmente graficada y a partir de este gráfico se realiza el análisis variográfico propiamente tal.

Una gráfica cualquiera $X(t)$ v/s t muestra el comportamiento en el tiempo de la variable medida. En cambio una gráfica $V(t)$ v/s t muestra el comportamiento en el tiempo de las diferencias experimentadas por la variable.

Por lo tanto, constituye una excelente aproximación al comportamiento de la variabilidad asociada a la variable medida; de ahí su nombre.

A través de la gráfica 2 se puede apreciar por ejemplo, la magnitud del cambio de la variabilidad asociada a una variable dada, los periodos de tiempo en que más varía, la existencia de tendencias, la existencia de ciclos si es que los hubiese, entre otros.

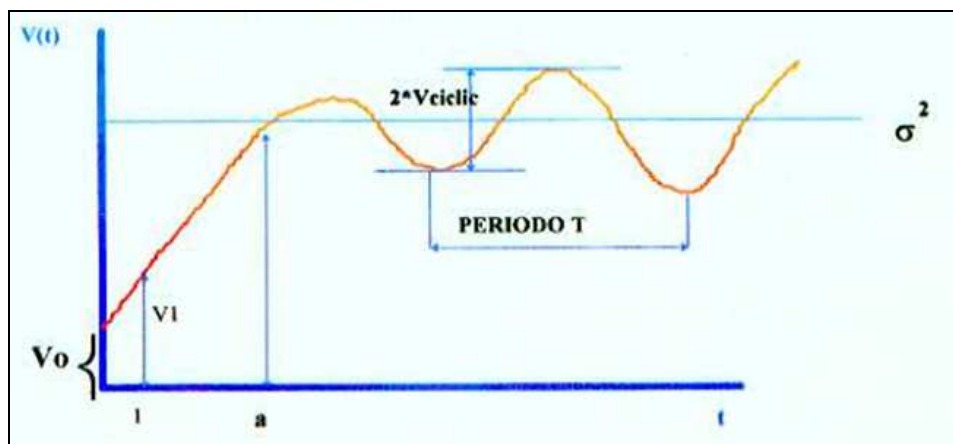


Figura 2 – Gráfica de la función Variograma [Fuente: CODELCO]

V_0 representa el comportamiento en el origen de la función $V(t)$ y mide la ley de una muestra por sí misma y está determinada por los errores de muestreo y/o análisis, el soporte de muestreo y por microestructuras de variabilidad del proceso (comúnmente a V_0 se le llama efecto pepita).

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

$V1$ representa la varianza de error al estimar una muestra por otra muestra vecina. Si $V1$ es grande con respecto a $V0$ significa que entre cada intervalo de muestreo, suceden muchas cosas en el proceso que no fueron modeladas. Esto se corrige aumentando la frecuencia de muestreo. Para *Francis Pitard*, $V1-V0$ representa la varianza del proceso.

a representa el intervalo de tiempo en el cual dos observaciones son independientes (alcance del proceso). Nótese que $V(a) = \sigma^2$; es decir, en $t=a$, $V(t)$ comienza a desacelerar y adquiere un valor final en este intervalo igual a σ^2 . Esto se interpreta diciendo que en promedio el proceso tarda a unidades de tiempo en mantener una determinada tendencia para luego cambiar. Por procedimiento se recomienda muestrear a intervalos de tiempo de magnitud a .

La gráfica muestra, además, las oscilaciones en torno a la varianza. Representa un comportamiento cíclico de la variabilidad asociada a la variable medida. Obviamente, esto trae consigo un periodo de ciclo. Por ejemplo, si este periodo es relativamente alto es conveniente investigar las causas del ciclo, lo cual puede dar una idea de qué controlar y como hacerlo.

Otro concepto importante que es necesario explicar, es el concepto de tendencia; se dice que la variabilidad de una variable bajo estudio experimenta una tendencia bajo control cuando la curva $V(t)$ tiende asintóticamente a estabilizarse en torno a un valor. Un caso particular es cuando la curva oscila en torno a un valor como es el caso de la figura anterior.

Cuando la curva $V(t)$ crece indefinidamente, se dice que la variabilidad está fuera de control y es por lo tanto una situación de cuidado. Un análisis variográfico bien realizado puede mostrar cuando una variable esta fuera de control y esto puede estimular una toma de decisiones tendiente a cambiar esta situación.

Análisis variográfico Toneladas Por Hora Molino SAG

El siguiente análisis variográfico se realizó con la misma muestra, con la cual a su vez se realizó el análisis en DM referente a las TPH SAG.

La muestra estuvo compuesta de 1.409 datos tomados a intervalos de 1 minuto. Consideró los datos que abarcaron el período; 1/12/2007 9:45 AM – 2/12/2007 9:13, en total; 23,48 horas aproximadamente.

Al observar la figura 3 se comprueba que $j=352$ no es un buen instante para calcular $V[\text{trend}]$, pues el Variograma completo, esto es; con los 1.409 minutos, demuestra que la variabilidad tiende a estabilizarse en torno al minuto 700 y no en el minuto 352; es decir, en ese instante la curva desacelera. Si se observa con detención, la variabilidad se descontrola en torno al minuto 1.100 (esto es a las 5:00 AM, aproximadamente, del día 2 de diciembre). Este razonamiento lleva a proponer $\text{Trend } j=701$, tal como se aprecia en la figura 4.

Por lo tanto esto demuestra que la variable permanece controlada en intervalos de tiempo largos, (701 minutos o 11,6 horas) lo cual a su vez habla bien de la performance del proceso de Molienda en esta situación particular.

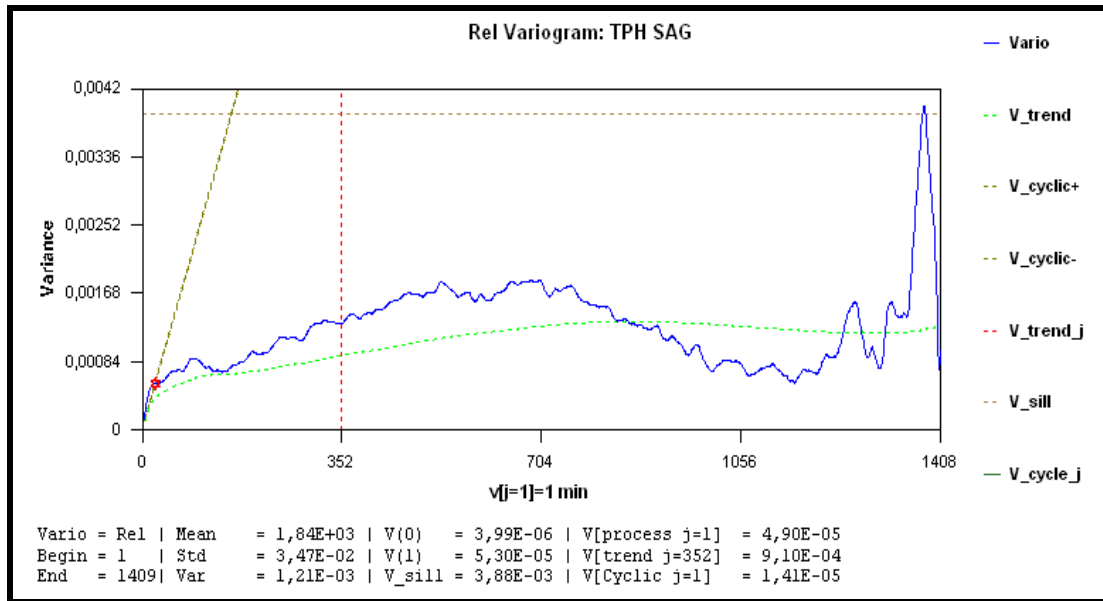


Figura 3 –Primer Variograma TPH SAG [Realización personal]

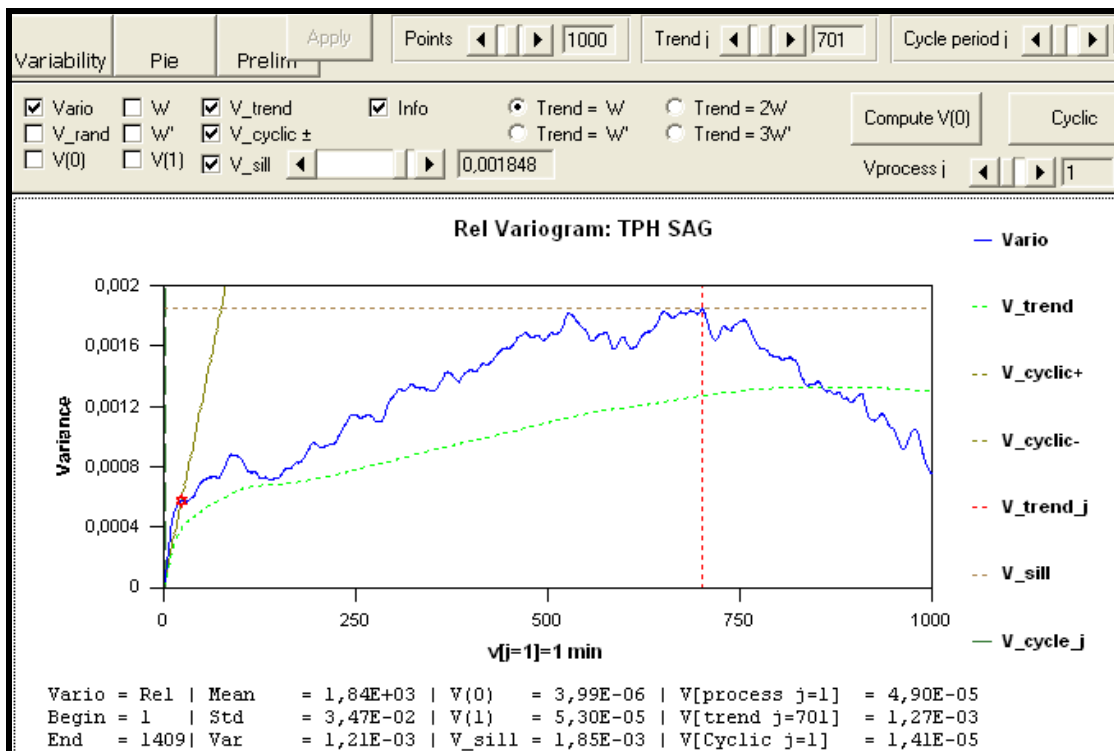


Figura 4 –Variograma definitivo TPH SAG [Realización personal]

Anexo 9 – Primera Aproximación Implementación BPM en Andina

Extracto del Perfil de Proyecto: Business Process Management en la división Andina de CODELCO

Sistema objetivo

Sistema productivo asociado al macro proceso de Conminución de la División Andina de CODELCO.

Situación Actual

1. Aspectos negativos

Algunas características del sistema objetivo que afectan negativamente la eficiencia del resultado operacional, son las siguientes:

- Modelo del negocio minero-metalúrgico que concibe a la mina como una fuente proveedora de materias primas de la planta y que provoca que tanto los incentivos como el control de la mina, estén focalizados en las actividades de traspaso de material a planta.
- Estrategia del negocio minero-metalúrgico que busca maximizar los ingresos de la corporación, **exclusivamente**, a través de la maximización de la cantidad de producción.
- Modelo de gestión que planifica, dirige y controla las operaciones a través de la planificación y control de unidades operativas separadas en pos de la consecución de los distintos objetivos de cada una de ellas.
- Subutilización de la disciplina de gestión, manifestado en aspectos tales como: Ausencia de una propuesta formal de Calidad en la MRA, Ausencia de control estadístico de procesos en la Planta, Subutilización del SAP R/3 y del SAP BW, Ausencia de un sistema informático y de control integrado, entre otros.

2. Aspectos positivos

Algunas características del sistema objetivo que fortalecen la implantación de Business Process Management, son las siguientes:

- Existencia de una Subgerencia de Operaciones, la cual en teoría, podría brindar una visión holística del sistema objetivo.
- Existencia de una Dirección de Staff orientada a la Excelencia y Calidad operacional.
- Estructura de procesos bien definida a lo largo de todo el sistema objetivo.
- Discusión y gestión de algunos proyectos innovadores tales como; Mine to Mill, Sistema de costeo ABC, Medición y Control de las variables operacionales de P&T, entre otros.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

- ➔ Existencia del Proyecto de expansión de Andina (PDA) que pretende convertir a la MRA en la mina rajo abierto más grande del mundo en 2016 y que indirectamente gatilla una discusión de fondo relacionada con la determinación del modelo de negocio más adecuado para estar a la altura de un desafío de esa envergadura.

Enfoque del proyecto

Todos los principios enunciados aquí, constituirán el enfoque de este proyecto y tendrán como referencia el macro proceso de Conminución. Los principios son los siguientes:

- Se define como criterio de identificación de los procesos claves del negocio, el nivel de influencia de un proceso sobre los demás, en vez de considerar el nivel de gasto de estos.
- Los procesos claves del macro proceso Conminución son Perforación y Tronadura (incluyendo el diseño) a diferencia del enfoque minero tradicional, centrado en C&T.
- El proceso empieza en la mina y finaliza en la Planta: La mina NO es una fuente proveedora de materias primas del proceso desarrollado en la planta
- La tierra es LA fuente proveedora de materias primas del proceso minero-metalúrgico
- Cada proceso es proveedor del proceso que le sigue y cliente del proceso que le antecede, si lo hubiere.
- Se hace necesario definir un proceso paralelo al proceso central, centrado en la gestión informativa y orientado a la obtención de una nueva perspectiva del conocimiento de los procesos de negocio, en virtud de lo cual; medir, controlar, analizar y mejorar estos últimos.
- La principal dimensión de control de los procesos mineros es la dimensión espacial, a diferencia del enfoque de control tradicional que es exclusivamente temporal.
- Desde el punto de vista del nivel de detalle, el enfoque de control de los procesos minero-metalúrgicos deberá estar puesto en los aspectos desagregados del sistema a diferencia del enfoque actual que se centra en el control de variables agregadas.
- El control de gestión de costos se debe basar en modelos de costeo por actividades, los cuáles deberán ser la expresión de la gestión del conocimiento asociado a las variables explicativas de las fuentes de gasto.

Planificación estratégica

Se pretende fortalecer la actual misión de CODELCO a través de la maximización del margen operacional, producto de una estrategia de negocios centrada en la excelencia operacional y en la

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

intervención de los procesos y que persiga el mejoramiento continuo de estos últimos y por tanto, la contención de costos operacionales a partir del control de las fuentes de gasto. Lo anterior hace necesario una línea de acción táctica que opere a partir de la medición, control, gestión y mejoramiento continuo de los procesos de negocio, vale decir; se hace necesario implementar **Business Process Management**.



Figura 1 - Planificación estratégica del proyecto

Concepto de Business Process Management

BPM es un paradigma de gestión cuyas múltiples implicancias en todas las áreas de una organización lo convierten en un concepto relativamente complejo. No obstante, los beneficios que envuelve su implementación compensan con creces esta dificultad inicial.

Una definición sería la siguiente: *"Consecución de la estrategia organizacional a través de la gestión, control y mejoramiento de los procesos de negocio relevantes"* (Jeston y Nelis, 2006).

Lo anterior implica las siguientes líneas de acción:

1. Medición, control y mejoramiento de los procesos de negocio, principalmente de los procesos claves de este, considerando en cada uno de ellos, todas las dimensiones funcionales que sean necesarias para estos fines; logística, Mantenimiento, Costos, etc.
2. Existencia de una instancia administrativa reconocida en toda la organización la cual tenga como principales funciones; identificar, implementar, dirigir y controlar todos los proyectos que sean necesarios ya sea para fortalecer el sistema BPM al interior de la organización como para mejorar continuamente los procesos de negocio bajo un esquema BPM consolidado.

Caso de estudio

Macro Proceso de Conminución

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Dimensiones por proceso

Tiempo, Cantidad material procesado, Calidad y Costos.

Reseña del proyecto

Con este proyecto se está apuntando a la maximización de la eficiencia asociada al sistema objetivo, a través de la consecución de un escenario denominado: **Mejoramiento Continuo de los procesos de negocio que conforman la Conminución**, lo cual a su vez es función de la implementación de un sistema de gestión de operaciones centrado en el monitoreo de los procesos y en la existencia de una instancia administrativa que controle el estado de avance de una serie de proyectos claves tal de fortalecer en el sistema objetivo, una estructura de gestión basada en procesos.

Para tales efectos se identificarán y definirán los proyectos que fortalecerían este paradigma al interior del macro proceso de Conminución. La idea es “intervenir” ciertos proyectos que se encuentran actualmente en desarrollo en la división, en el sentido de controlar sus estados de avance y eventualmente, destinar flujos de recursos tal de acelerar y/o garantizar su éxito e identificar uno a más proyectos que en la actualidad no existen en Andina y que son necesarios para lograr estos mismos fines.

Cadena de Valor

La figura 2 muestra la cadena de valor asociada a este proyecto. En ella se puede apreciar que la Contención de costos es consecuencia directa de la eficiencia operacional y que esta se alcanza a partir de un escenario de Mejoramiento continuo, el cual, a su vez es alcanzado a partir de dos escenarios previos; Integración de operaciones y Control de los procesos de negocio.

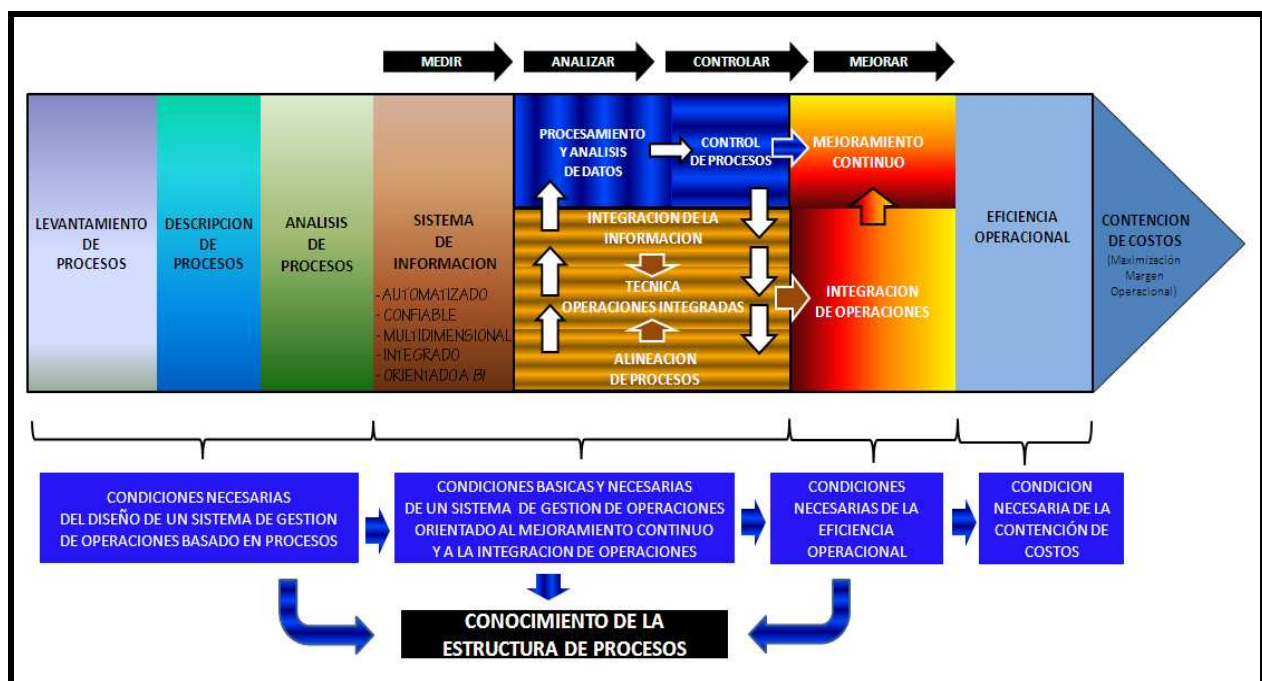


Figura 2 – Cadena de Valor del proyecto

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Estos dos últimos escenarios son alcanzados solamente, a partir de la existencia de un escenario de Análisis de las colecciones de datos pertenecientes a las distintas variables provenientes a su vez de las distintas dimensiones operacionales asociadas a los procesos de negocio, previamente alineados bajo un enfoque cliente-proveedor.

Lo anterior a su vez, solo es alcanzado por medio de un Sistema de Información Integrado que haga posible la captura, almacenamiento, despliegue, análisis y transformación de los datos en información y conocimiento, utilizables en el mejoramiento de los procesos de negocio. Finalmente, esta herramienta informativa es la resultante de una actividad previa de levantamiento, descripción y análisis de los procesos de negocio, la cual guía el modelamiento de dicha herramienta.

Tabla 1 –Condiciones necesarias del Mejoramiento Continuo

Condiciones necesarias de un escenario de mejoramiento continuo
1. Gestión de operaciones basado en el control de los procesos de negocio
2. Medición y análisis de las colecciones de datos asociadas a las variables provenientes de las distintas dimensiones de cada uno de los procesos de negocio
3. Operación de los procesos de negocio de la estructura mina-planta bajo la concepción de que ambos tipos de proceso, son parte de un único macro proceso

Objetivos

Objetivos de largo plazo (propios del Mejoramiento Continuo)

- Mejorar la eficiencia del macro proceso de Conminución, a través del mejoramiento continuo de los procesos de negocio que lo conforman.

Objetivos de corto plazo (propios de la Fase 1 de este proyecto)

- Generar las condiciones necesarias del mejoramiento continuo.
- Desarrollar e implementar un sistema de información, orientado al almacenamiento y análisis conjunto de las distintas colecciones de datos pertenecientes a los procesos de negocio que conforman la Conminución.
- Implementar un sistema de control integrado de la calidad a partir de la medición de la calidad tanto de P&T como de Chancado y Molienda.
- Modelar e implementar un sistema de costeo de actividades de todos los procesos de negocio que conforman la Conminución.
- Evaluar la viabilidad económica de implementar el Mine to Mill en Andina.

Proyectos identificados

Esta propuesta identifica tres tipos de proyectos necesarios para fortalecer un sistema inicial de BPM en Andina:

PROYECTOS ABORDADOS EN ESTA PROPUESTA

1. Sistema Integrado de Información Conminución

- **Objetivo 1:** Desarrollar e implementar un sistema de información orientado al almacenamiento y análisis conjunto de las distintas colecciones de datos pertenecientes a todos los procesos de negocio que conforman la Conminución.
- **Objetivo 2:** Determinar las reales necesidades informativas asociadas al sistema objetivo.
- **Reseña:** Con este proyecto se está apuntando principalmente, al desarrollo de un sistema de información ajustado a las reales necesidades informativas asociadas al sistema objetivo y basado en el conocimiento de los procesos de negocio que lo componen. A lo largo del desarrollo de este proyecto se pretende modelar las estructuras de datos asociadas a todas las dimensiones operacionales consideradas en esta propuesta, aumentando gradualmente la complejidad del modelo y por lo tanto, su nivel de realismo. Conjuntamente con lo anterior, se pretende monitorear el comportamiento de los operadores de los procesos con respecto al uso del sistema en desarrollo (sistema piloto) e introducir los cambios necesarios al mismo, si procediese, de tal suerte de tener claridad de cuál es exactamente el sistema informático requerido, antes de implementar el sistema definitivo, de mayor sofisticación y costo para la corporación.
- **Observaciones:** Considerando las actuales condiciones informáticas del sistema objetivo se hace necesario la existencia de un operador del sistema informático piloto, quien debería ingresar periódicamente los datos desde todas las fuentes informativas y retroalimentar constantemente a los operadores de procesos para efectos de ir generando progresivamente una buena disposición hacia el uso de modelos matemáticos en la toma de decisiones.
- **Stakeholders**

Personas que trabajarían en el desarrollo del proyecto	Personas que se verían afectadas con la ejecución del proyecto
<p>Un profesional del área de gestión industrial que cumpliría las siguientes funciones:</p> <ul style="list-style-type: none">- Implementar y Operar el SI piloto en todas sus etapas- Realizar el levantamiento, descripción y análisis de los procesos Chanc/Moli- Diseñar, validar e integrar todos los modelos contemplados por el proyecto- Formular el proyecto Business Intelligence, si procediese	<ul style="list-style-type: none">- Por pertenecer este proyecto a un proyecto de desarrollo mayor, el principal beneficiario del mismo es la propia División Andina.- Los operadores de todos los procesos de la MRA, Chancado y Molienda, incluyendo los respectivos Superintendentes y Gerentes.- Eventualmente, algunos miembros del PDA- Algunos miembros de la Subgerencia de

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Un profesional del área de gestión informática que cumpliría las siguientes funciones:

- Modelar el data warehouse propio del sistema BI e implementar el sistema BI.

Operaciones, incluyendo el Subgerente de Operaciones

Nota: Por tratarse de un proyecto sin externalidades negativas, no existiría ninguna persona o grupo de personas perjudicadas con la ejecución del proyecto.

- Tecnologías de la Información

TI demandada en el desarrollo del proyecto	Aporte tecnológico efectuado por el proyecto	Relación entre el proyecto ejecutado y la TI actual
<p>1 Alternativas Operación SI piloto:</p> <ul style="list-style-type: none"> - SAP BW - PI System (<i>Process Book</i>) - Microsoft Access (de preferencia, 2007) - Combinación PI-Access - Combinación SAP BW-PI <p>2 Alternativas modelamiento estadístico</p> <ul style="list-style-type: none"> - SPSS - Adquisición Minitab - Empleo de reportes desde softwares privados <p>3 Modelamiento e Implementación BI</p> <ul style="list-style-type: none"> - SAP BW, incluyendo la plataforma BI y la suite BI <p>Nota: Se recomienda el desarrollo previo de <i>Business Explorer</i> y/o la adquisición de <i>Business Object</i>.</p>	<p>1 Software único de procesamiento y análisis de datos operacionales provenientes de procesos mineros y procesos metalúrgicos.</p> <p>2 Procedimientos automatizados de análisis de datos.</p> <p>3 Control analítico integrado de procesos a partir de una misma plataforma</p> <p>4 Utilización óptima del SAP, orientado a la integración y al mejoramiento de los procesos de negocio</p>	<p>Conforme el proyecto BPM vaya desarrollándose y evolucionando en materia informática, desde el uso de un sistema piloto a un sistema BI, se iría conformando un cuadro caracterizado por la integración de los siguientes sistemas:</p> <p>1 SAP BW integrado con PI y la BD Dispatch</p> <p>2 SAP BW integrado con SAP R/3 (FI CO) para efectos de implementar el modelo integrado de costeo ABC al sistema BI.</p> <p>3 SAP BW integrado con cualquier software estadístico para efectos de modelar e implementar el control analítico de procesos</p> <p>Nota: Se solicita que la BD del DISPATCH sea una BD abierta para lograr estos fines.</p>

- Análisis de Riesgo

Fundamentación: El riesgo de este proyecto es considerado de nivel medio a bajo, pues no tiene asociado grandes fuentes de variabilidad que pongan en peligro su éxito. Este proyecto es mas bien un proyecto complejo y requiere de bastante tiempo para desarrollar e implementar el sistema de información definitivo; un sistema BI que mida todas las dimensiones operacionales contempladas en la propuesta. Con todo, las principales fuentes de riesgo son las siguientes:

1. La efectividad de la integración de los distintos sistemas mencionados en el apartado anterior
2. La disponibilidad de recursos para desarrollar un proyecto BI con un profesional del área informática y/o con una empresa especializada.

-Escenario pesimista: Este escenario no aplica para este proyecto: **Probabilidad prácticamente nula.**

-Escenario normal: Defínase como aquel escenario en el cual no se implementa BI en el tiempo estipulado por el proyecto, debido a la poca disponibilidad de recursos económicos y por lo tanto, se

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

mantiene por un tiempo más, la operación del sistema piloto integrado. Si el empleo del SI piloto pone en evidencia los beneficios que envuelve el empleo de un sistema como ese, podría resultar más fácil convencer a la Corporación de consolidar el sistema y por lo tanto con el transcurso del tiempo se podría implementar un sistema BI, toda vez que la Corporación posee todas las herramientas necesarias y por lo tanto existe un costo de oportunidad asociado al no uso de la misma, además que un sistema BI se hace necesario para apoyar el éxito del PDA. Como última alternativa, se podría recurrir al sistema de convenio con memoristas para modelar e implementar el sistema BI. En cualquier caso, el sistema de información definitivo se implementaría igual. Con respecto a la integración de los sistemas, la única fuente de riesgo real viene dada por la condición en la que se encuentre la BD Dispatch; si aún es una BD cerrada es evidente que impediría cualquier intento de automatización. **Probabilidad de ocurrencia media**

– **Escenario optimista:** El sistema es desarrollado en la forma y en los márgenes de tiempo estimados inicialmente, con cierta variabilidad, propia en este tipo de proyectos. Finalmente, cuando el sistema piloto está plenamente desarrollado, ingresa a Andina un profesional del área de gestión informática (dependiente de la TICA) para modelar, implementar y mantener un sistema BI. Claves de este escenario: Convencimiento de los beneficios del sistema por parte de la Corporación y La utilidad del sistema, documentada en la propia experiencia operacional, teniendo por testigos tanto a los operadores de los procesos como a los Superintendentes y Gerentes de Andina (usuarios del sistema). **Probabilidad de ocurrencia media a alta**

– Condiciones de éxito del proyecto

Condiciones que tendrían que cumplirse para que el proyecto sea considerado exitoso	Lo que se demandaría de la Corporación para que se cumplan las condiciones
<p>1. Condición necesaria: Desarrollo de un sistema de información, según el plan detallado en el diagrama de flujo respectivo.</p> <p>2. Condición suficiente: Modelamiento, implementación y operación del sistema BI resultante del ciclo de desarrollo anterior, a cargo de un profesional del área de gestión informática dependiente de la TICA.</p>	<p>1. La Corporación tendría que financiar los costos del proyecto, por el espacio que tome el ciclo de desarrollo del sistema informático (honorarios mensuales al profesional del área de gestión industrial)</p> <p>2. La Corporación tendría que realizar las sgtes. acciones: –Apoyar el proceso de implementación del sistema sobre todo en materia de integración de los sistemas envueltos. –Financiar los costos implicados (aspectos técnicos propios de la integración de sistemas y los honorarios mensuales del profesional del área de gestión informática)</p>

2. Sistema integrado de Costeo ABC en la Conminución

– **Objetivo 1:** Modelar e implementar un sistema de costeo de actividades de todos los procesos de negocio que conforman la Conminución.

– **Objetivo 2:** Contribuir a la contención de costos de la Conminución a través del empleo de modelos integrados y desagregados de control de gestión de costos.

– **Reseña:** Con este proyecto se pretende modelar e implementar un sistema de costeo ABC, en principio solo en la Conminución MRA-Planta y por lo tanto, apuntando en la dirección de contabilizar el nivel de gasto asociado a las actividades que conforman los procesos de negocio, a partir de lo cual se podría contabilizar los costos por proceso, por turno, por tipo de mineral o

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

una combinación de todas ellas. Con la implementación del sistema ABC Chancado-Molienda y con la operación, por lo menos manual del sistema ABC Minas se podría realizar lo sgte.:

i) Diseñar y emplear presupuestos por turno, basados en modelos desagregados por actividades y en el conocimiento del proceso.

ii) Fortalecer el mejoramiento continuo de los procesos y la minimización de los costos unitarios, a través de la medición desagregada y el análisis correlacionado de la dimensión de costos con todas las demás dimensiones operacionales.

- Observaciones: En la actualidad existe un modelo de costeo ABC en la GMIN de Andina, el cual no es operado pues no existe un sistema automatizado de alimentación de datos, debido a que la BD Dispatch es cerrada. Lo anterior obliga una operación manual del sistema, la cual no es posible, pues no existen operadores disponibles. Luego, se propone operar manualmente este sistema, como parte de este proyecto, mientras se soluciona este problema. Además se recomienda aprovechar toda la experiencia ya obtenida en materia de ABC, para modelar e implementar un sistema ABC integrado, toda vez que la BD PI es abierta y que la mejor forma de maximizar el provecho de un sistema ABC es a través de la operación de sistemas integrados y automatizados.

- Stakeholders

Personas que trabajarían en el desarrollo del proyecto	Personas que se verían afectadas con la ejecución del proyecto
<p>Un profesional del área de gestión industrial que cumpliría las siguientes funciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Operar manualmente el sistema ABC Minas hasta que la BD Dispatch sea abierta y/o no exista ningún impedimento técnico para la operación automatizada - Operar el sistema ABC integrado hasta que termine el proyecto, lo cual incluiría el diseño de presupuestos y modelos de costeo por procesos - Diseñar, validar, revisar, mejorar, integrar e implementar los modelos del sistema de costeo ABC Integrado 	<ul style="list-style-type: none"> - Por pertenecer este proyecto a un proyecto de desarrollo mayor, el principal beneficiario de este proyecto es la propia división Andina. - Los operadores de todos los procesos de la MRA, Chancado y Molienda, incluyendo los respectivos Superintendentes y Gerentes. - Los actuales operadores del sistema de reportes de costos tanto de la GMIN como de la GPLAN - Eventualmente, algunos miembros del PDA - Algunos miembros de la Subgerencia de Operaciones, incluyendo el Subgerente de Operaciones <p>Nota: Por tratarse de un proyecto sin externalidades negativas, no existiría ninguna persona o grupo de personas perjudicadas con la ejecución del proyecto.</p>

- Tecnologías de la Información

TI demandada en el desarrollo del proyecto	Aporte tecnológico efectuado por el proyecto	Relación entre el proyecto ejecutado y la TI actual

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

1 Uso del SAP FI CO, como plataforma única del sistema de costeo ABC tanto Minas, como Integrado, lo cual demandaría a su vez, la necesidad de capacitar al profesional involucrado en el proyecto, en el uso del SAP FI CO.

Este proyecto mas que nada, realiza un aporte en materia de innovación, al implementar un sistema de costeo diferente al tradicional en virtud del cual se establece como base de imputación de los costos, el costeo de las actividades operacionales y por lo tanto, por un lado, desaparece la polémica respecto de la determinación arbitraria de la base de cálculo de los costos indirectos y por otro lado, es posible costear los procesos, lo cual finalmente fortalece un sistema BPM.

Este proyecto operaría sobre las tres condiciones de integración de sistemas, mencionadas en el análisis de TI del proyecto de SI integrado. En particular justificaría la integración entre el SAP BW y el SAP FI CO.

Nota: Se solicita que la BD DISPATCH sea una BD abierta.

- Análisis de Riesgo

Supuesto: La inoperatividad actual del sistema costeo ABC Minas se debe principalmente a que la BD Dispatch es cerrada, impidiendo de esta manera la automatización del sistema de alimentación de datos. Como la BD PI es abierta, la automatización de un eventual sistema ABC en la Planta está garantizada y por lo tanto es perfectamente posible modelar e implementar un sistema ABC en la Planta.

Fundamentación: La mayor fuente de riesgo dice relación con el nivel de automatización de los sistemas productivos, de tal suerte que se garantice un flujo periódico de datos a la plataforma ABC haciendo posible el empleo de los modelos y por lo tanto haciendo posible el costeo ABC como tal. Otra fuente de riesgo dice relación con la participación en el proyecto de un grupo de personas expertas en costos operacionales y por lo tanto expertas en el comportamiento de las fuentes de gasto, lo cual posibilite el diseño de modelos realistas y la validación de los mismos. Si estos hechos están garantizados, todo lo que resta realizar, es un levantamiento y posterior análisis de procesos lo más ajustado a la realidad operacional como sea posible, el diseño de los modelos de costos, diferenciando bien los costos indirectos de los costos directos y la mantención de un flujo de comunicación permanente con los expertos en costos. Por lo tanto, **El riesgo de este proyecto es considerado de nivel medio**

- **Escenario pesimista:** Es muy difícil que se de este escenario, pues eso equivaldría a un completo desinterés por parte de los expertos de costos planta, en participar en el proyecto, lo cual es poco probable si se considera que ellos serían los más beneficiados con la introducción de esta herramienta, pues de esta forma se introducirían todos los beneficios asociados al sistema ABC. **Probabilidad de ocurrencia baja**

- **Escenario normal:** Cuando se desarrolla normalmente el modelado ABC Planta y se llega a la implementación del sistema en la misma plataforma que el modelo ABC Minas, pero este no puede ser automatizado aún, pues no existe una BD Dispatch abierta. **Probabilidad de ocurrencia media a alta**

- **Escenario optimista:** Cuando se llega a un modelo integrado y a la operación integrada plenamente automatizada de un sistema de costeo en la Conminución. **Probabilidad de ocurrencia media**

- Condiciones de éxito del proyecto

Condiciones que tendrían que cumplirse para que el proyecto sea considerado exitoso

Lo que se demandaría de la Corporación para que se cumplan las condiciones

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

<p>1. Condición necesaria: Desarrollo del proyecto de costeo ABC integrado</p>	<p>1. La Corporación tendría que financiar los costos asociados al proyecto, por el espacio que tome el mismo (honorarios mensuales al profesional del área de gestión industrial)</p>
<p>2. Condición suficiente: Modelamiento, implementación y operación de un sistema integrado de costeo ABC en todos los procesos de Conminución</p>	<p>2. La Corporación tendría que realizar las sgtes. acciones: -Entregar todas las facilidades para hacer posible la automatización del sistema ABC Minas -Entregar todas las facilidades para capacitar en el uso de SAP FI CO al profesional a cargo del proyecto, -Entregar todo el apoyo posible para poder integrar SAP BW Y SAP FI CO, lo cual se haría necesario al implementar el sistema BI</p>

3. Sistema de Control Integrado de la Calidad

- **Objetivo 1:** Implementar un sistema de control integrado de la calidad a partir de la medición de la calidad tanto de P&T como de Chancado y Molienda

- **Objetivo 2:** Alinear todos los procesos mineros y los procesos de la Conminución Planta en función de medidas de desempeño de orientación al cliente.

- **Reseña:** Con el desarrollo de este proyecto se busca medir la dimensión de calidad de los procesos de negocio que conforman la Conminución. Se pretende modelar e implementar un sistema de control integrado de la calidad, vale decir; un sistema de medición y control de la calidad tanto de los procesos mineros como de los procesos metalúrgicos asociados a la Conminución. De esta manera se persigue generar las condiciones técnicas que posibiliten la alineación de dichos procesos bajo un esquema orientado a medir la satisfacción de los clientes.

- **Observaciones:** Cabe señalar que la implementación de este sistema pasa necesariamente por la implementación de un sistema de medición de la calidad de todos los procesos de la Conminución, en particular de P&T, lo cual a su vez pasa por la medición de las coordenadas reales de los pozos y de la granulometría del material tronado. Por lo tanto, este proyecto es función ya sea, de la realización del proyecto de medición de la Perforación (que está suspendido debido a la actual situación de emergencia imperante en la Corporación) o de la implementación de un sistema de muestreo por aceptación en la Perforación, lo cual es perfectamente factible si se considera que en la actualidad existe por lo menos un ingeniero a cargo de la Perforación, las 24 horas del día, el cual podría dirigir un proceso de muestreo por aceptación.

- Stakeholders

Personas que trabajarían en el desarrollo del proyecto	Personas que se verían afectadas con la ejecución del proyecto
<p>Un profesional del área de gestión industrial que cumpliría las siguientes funciones:</p> <p>- La realización de las tres primeras funciones asociadas al desarrollo del sistema de información integrado y consignadas en el análisis de Stakeholders del proyecto respectivo.</p>	<p>- Por pertenecer este proyecto a un proyecto de desarrollo mayor, el principal beneficiario de este proyecto es la propia división Andina.</p> <p>- Los operadores de todos los procesos de la MRA, Chancado y Molienda, incluyendo los respectivos Superintendentes y Gerentes.</p>

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

- Implementar inicialmente, solo el sistema de control de la calidad por reportes y posteriormente además, el sistema de control analítico de procesos, tanto en la MRA como en Chancado y Molienda.
- Implementar el sistema de alineación de los procesos a través del uso en-línea de medidas de desempeño que midan la variabilidad de los objetivos por proceso.
- Operar el sistema de control de la calidad en cualquiera de sus fases.

- Eventualmente, algunos miembros del PDA
 - Algunos miembros de la Subgerencia de Operaciones, incluyendo el Subgerente de Operaciones.
 - La dirección de Excelencia y Calidad operacional de la división Andina.
- Nota:** Por tratarse de un proyecto sin externalidades negativas, no existiría ninguna persona o grupo de personas perjudicadas con la ejecución del proyecto.

- Tecnologías de la Información

TI demandada en el desarrollo del proyecto	Aporte tecnológico efectuado por el proyecto	Relación entre el proyecto ejecutado y la TI actual
Por ser este, un proyecto dependiente del desarrollo del sistema de información integrado y asumiendo la existencia de un sistema de medición de la granulometría y de un sistema de muestreo por aceptación en Perforación, se concluye que este proyecto no demandaría ninguna TI adicional, comprobándose de esta manera la existencia de una fuente de sinergia entre el sistema de Calidad y el SI integrado.	En función de lo dicho antes, este proyecto más que demandar TI o hacer un aporte tecnológico, lo que realmente realiza es la adición de una nueva perspectiva de control, al sistema de control analítico de procesos, medida y analizada en una misma plataforma, que las demás.	Este proyecto operaría sobre las tres condiciones de integración de sistemas, mencionadas en el análisis de TI del proyecto de SI integrado. Nota: Se solicita que exista previamente un sistema de medición, tanto de Perforación como de Tronadura.

- Análisis de Riesgo

Fundamentación: El riesgo de este proyecto es considerado de nivel medio a alto, pues depende fuertemente de elementos exógenos al mismo, los cuales nunca han existido en Andina, a saber; la medición electrónica de P&T (Ver el segundo tipo de proyectos identificados, p. 16). En la práctica es posible atenuar esta dificultad, implementando un sistema de medición de las coordenadas de los pozos, en la forma de un muestreo por aceptación, pero esto también es exógeno al proyecto y requiere convencer previamente a los involucrados y/o a la gerencia de Andina. La medición de la granulometría es mucho más abordable, toda vez que ya está instalada toda la infraestructura de un sistema de medición Split on-line, restando sólo la instalación del software estacionario. Además, existe la decisión de la Subgerencia de Operaciones de hacerlo. Si la medición de P&T es un hecho, no existe mayor riesgo asociado a la implementación del sistema de calidad integrado, que el propio de implementar el SI requerido para estos efectos.

- **Escenario pesimista:** Defínase como aquel escenario donde el proyecto no puede realizarse en no menos de dos años, debido a la concurrencia inclusiva de las sgtes. causas: **1)** la Corporación no reactiva el proyecto de medición de la Perforación en el corto plazo; **2)** no existe interés de implementar un muestreo por aceptación (medición manual y periódica de las coordenadas de los pozos); **3)** fracasan todos los intentos por implementar un sistema de medición de la granulometría. **Probabilidad de ocurrencia media a alta**

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

- **Escenario normal:** Defínase como aquel escenario en el cual ocurre la primera condición, pero no ocurre ninguna de las dos restantes y por lo tanto en el mediano plazo se puede medir la perforación manualmente, concluir el proyecto Split on-line e implementar el proyecto de Calidad. **Probabilidad de ocurrencia media**

- **Escenario optimista:** Defínase como aquel escenario en el cual ocurre la primera condición, pero no ocurre ninguna de las dos restantes y en el corto plazo se puede medir la perforación manualmente, concluir el proyecto Split on-line e implementar el proyecto de Calidad. **Probabilidad de ocurrencia media a baja**

Nota: Nótese que el proyecto hace abstracción de la reactivación del proyecto de medición electrónica de la Perforación y solamente considera como evento crítico la medición manual de Perforación.

- Condiciones de éxito del proyecto

Condiciones que tendrían que cumplirse para que el proyecto sea considerado exitoso	Lo que se demandaría de la corporación para que se cumplan las condiciones
<p>1. Condición necesaria: Medición manual o electrónica de las coordenadas de los pozos perforados y medición electrónica de la granulometría del material tronado.</p> <p>2. Condición suficiente: Implementación y operación de un sistema de control integrado de la calidad en toda la Conminución.</p>	<p>1. La Corporación tendría que convencerse y aceptar que son imprescindibles para efectos de abordar la eficiencia del sistema objetivo, la realización de las sgtes. acciones: - Reactivar en el CP, el proyecto de medición electrónica de Perforación y/o ordenar a la Superintendencia MRA que se implemente un sistema de muestreo por aceptación periódico en la Perforación. -Agilizar el fallido proyecto de medición de la granulometría vía Split on-line.</p> <p>2. La Corporación tendría que realizar las sgtes. acciones: -Apoyar el desarrollo de este proyecto -Financiar los costos envueltos en el proyecto (honorarios mensuales del profesional del área de gestión industrial)</p>

4. Evaluación económica Mine to Mill

- **Objetivo:** Evaluar la viabilidad económica de implementar el Mine to Mill en Andina.

- **Reseña:** Con este proyecto se está apuntando a evaluar la viabilidad económica de implementar el Mine to Mill (MTM) de *Metso Minerals Process technology* (MMPT-AP). En tal sentido se pretende ir midiendo gradualmente el impacto en la Línea SAG de ciertas acciones realizadas en la MRA, conforme las condiciones de medición de la Calidad lo hagan posible. Finalmente, sólo a partir de la implementación del sistema integrado de medición de la calidad por reportes, se pretende la medición controlada del MTM a partir de lo cual se estaría en condiciones de evaluar en términos económicos la implementación del MTM, usando para ello periodos de prueba mensuales, lo cual facilitaría el análisis comparativo con los costos mensuales propios de un escenario sin MTM.

- **Observaciones:** Convéngase que Andina ya desarrolló un estudio de factibilidad técnica del MTM, con MMPT-AP. De hecho, el estudio arrojó como resultado; un aumento en el flujo del

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

molino SAG (TPH SAG) de un 10%, en un escenario con MTM. En la actualidad Andina posee los estudios que identifican los distintos dominios de fragmentación del rajo Don Luis y los respectivos estándares del diseño de la Tronadura asociados. Por otro lado, este proyecto es una continuación del proyecto de Calidad, pues tal como se demostró en el trabajo de memoria del autor, el MTM es función del desarrollo de un sistema de control y análisis de la calidad. Por lo tanto, este proyecto se puede realizar si y solo si, exista previamente un sistema de medición de la calidad en la MRA.

- Stakeholders

Personas que trabajarían en el desarrollo del proyecto	Personas que se verían afectadas con la ejecución del proyecto
<p>Un profesional del área de gestión industrial que cumpliría las siguientes funciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Realizar todos los análisis del impacto en la Línea SAG de las acciones operacionales de la MRA a partir de la implementación del sistema de control de la calidad (estos análisis son una consecuencia directa de implementar el sistema de control de la calidad y no demandarían esfuerzos extras). - Registrar, describir y analizar el impacto de eventuales mediciones controladas del MTM, las cuales serían realizadas por los operadores de los procesos. - Evaluar a partir de los registros anteriores, la viabilidad económica de implementar el MTM. 	<ul style="list-style-type: none"> - Por pertenecer este proyecto a un proyecto de desarrollo mayor, el principal beneficiario de este proyecto es la propia división Andina. - Los operadores de todos los procesos de la MRA, Chancado y Molienda, incluyendo los respectivos Superintendentes y Gerentes. - Eventualmente, algunos miembros del PDA. - Algunos miembros de la Subgerencia de Operaciones, incluyendo el Subgerente de Operaciones - El grupo MTM Andina. <p>Nota: Por tratarse de un proyecto sin externalidades negativas, no existiría ninguna persona o grupo de personas perjudicadas con la ejecución del proyecto.</p>

- Tecnologías de la Información

TI demandada en el desarrollo del proyecto	Aporte tecnológico efectuado por el proyecto	Relación entre el proyecto ejecutado y la TI actual
Este proyecto no demandaría ninguna TI adicional a la ya demandada por los proyectos; SI integrado y ABC integrado.	La evaluación del MTM en sí misma no realiza aportes tecnológicos. La implementación del MTM constituiría una innovación técnica reconocida mundialmente.	Este proyecto operaría sobre las tres condiciones de integración de sistemas, mencionadas en el análisis de TI del proyecto de SI integrado. Nota: Se solicita que exista previamente un sistema de medición, tanto de Perforación como de Tronadura y por lo tanto se solicita que exista un sistema integrado de control de la calidad.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

- Análisis de Riesgo

Fundamentación: Este proyecto en realidad, es una consecuencia directa del éxito del proyecto de Calidad y está por tanto, determinado por él. No tiene grandes fuentes de variabilidad adicionales, salvo la decisión por parte de los operadores de la MRA de realizar pruebas controladas de MTM, las cuales, ellos realizan en la actualidad en condiciones de medición desfavorables, por lo tanto, la realización de pruebas controladas y monitoreadas por un SI, les sería conveniente. **El riesgo de este proyecto es considerado de nivel medio a alto**, debido a su estrecha relación con el proyecto de Calidad.

- **Escenario pesimista:** Es función del escenario pesimista del proyecto; Sistema de Control Integrado de de la Calidad. **Probabilidad de ocurrencia media a alta**

- **Escenario normal:** Es función del escenario normal del proyecto; Sistema de Control Integrado de de la Calidad. **Probabilidad de ocurrencia media**

- **Escenario optimista:** Es función del escenario optimista del proyecto; Sistema de Control Integrado de de la Calidad. **Probabilidad de ocurrencia media a baja**

- Condiciones de éxito del proyecto

Condiciones que tendrían que cumplirse para que el proyecto sea considerado exitoso	Lo que se demandaría de la Corporación para que se cumplan las condiciones
<p>1. Condición necesaria: Implementación y operación de un sistema de control integrado de la calidad en toda la Conminución.</p> <p>2. Condición suficiente: Evaluación efectiva de la viabilidad económica del MTM en Andina, a partir de pruebas controladas de MTM.</p>	<p>1. La Corporación tendría que realizar dos acciones: - Tomar la decisión de medir periódicamente la P&T - Financiar el desarrollo del proyecto de Calidad</p> <p>2. Superintendencia MRA en conjunto con la respectiva Superintendencia Planta tendrían que realizar las sgtes. acciones: - Mediciones controladas de MTM, en particular una medición de largo alcance a partir de la cual se podría demostrar la eventual viabilidad económica de un futuro proyecto de MTM</p>

➔ PROYECTOS QUE ESTAN EN DESARROLLO EN ANDINA

1. Medición y Control Perforación: La idea es extraer en tiempo real, los modelos geomecánicos y las coordenadas de cada uno de los pozos que están siendo perforados. De esta manera sería posible medir electrónicamente la calidad asociada a la perforación, a través de la comparación de las coordenadas reales y las propias del diseño y al mismo tiempo sería posible desagregar el control, al nivel de pozos. Por otro lado, se pretende rescatar en tiempo real, los datos de los metros perforados y los tiempos involucrados en ello. Además se pretende cargar la malla on-line, de tal suerte de no depender de la marcación en terreno, eliminando de esta manera una fuente de variabilidad asociada al diseño y maximizando, de esta manera la calidad asociada a la perforación. En la actualidad, este proyecto está suspendido debido a la coyuntura de emergencia que está atravesando la Corporación, no obstante su importancia capital en la

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

implementación de un sistema de calidad y del propio MTM, todos claves para abordar la eficiencia operacional.

2. Medición y Control Tronadura: Se pretende implementar un sistema de medición del tamaño promedio del material tronado, lo cual finalmente se traduzca en un flujo de datos en tiempo real a un sistema de información estacionario y abierto, el cual sirva como alimentador de un sistema de información central que permita el análisis correlacionado de la granulometría con las demás variables del sistema. En la actualidad, este proyecto está suspendido debido al escaso control e interés en “sacar adelante” proyectos que implican una forma diferente de pensar el negocio (lo mismo es aplicable al proyecto anterior).

3. Confiabilidad datos Planta: La idea de este proyecto es mejorar el nivel de confiabilidad de los datos asociado al flujo informático proveniente desde la línea de sensores de los equipos y maquinarias de la Planta. Este proyecto ha venido desarrollándose hace bastante tiempo con buenos resultados y en él participa la empresa ABB. Aún está en curso y por lo tanto es mucho más lo que se puede esperar de él. Este proyecto es decisivo para el mejoramiento continuo de los procesos de la Planta y en particular para medir las eventuales prácticas de MTM.

✦ PROYECTOS PARA SER CONSIDERADOS EN EL FUTURO

1. Mejoras modelamiento geológico: La idea es mejorar la precisión y el nivel de detalle del modelamiento geológico-geomecánico a efecto de poder describir el macizo rocoso de manera más desagregada, lo cual a su vez optimice el uso de explosivos en la Tronadura, mejore el conocimiento de los polígonos entrantes el sistema, entre otros.

2. Reconsideración sistema de incentivos en Perforación: La idea es reorientar el sistema de incentivos de los operadores de Perforación en la perspectiva de bonificar la minimización de la variabilidad asociada a las coordenadas reales de los pozos perforados y por lo tanto, del cumplimiento del objetivo de Perforación, mejorando, de esta manera, la calidad tanto de la Perforación como de la granulometría del material tronado.

3. Estructura de trabajo BPM: El objetivo de este proyecto es definir una estructura administrativa que sea capaz de identificar, gestionar e implementar todos los proyectos necesarios para el mejoramiento continuo de los procesos de negocio. Por lo tanto, definir una estructura de trabajo ad-hoc para fortalecer un esquema BPM en ejercicio. En la actualidad, la estructura que más se aproxima a esto, es la Dirección de Staff de Excelencia y Calidad Operacional, la cual tiene por misión principal el desarrollo del Mejoramiento Continuo principalmente en la Planta.

4. Capacitación SAP y metodologías de gestión: Este proyecto se propone para suplir en parte, la enorme brecha de conocimientos y prácticas de gestión existente entre un potencial promedio y el nivel de conocimientos de gestión de las personas vinculadas directa e indirectamente a la operación de los procesos en Andina. Debido a que lo anterior es evidente respecto del SAP es que este proyecto se orientaría principalmente a fortalecer esta carencia específica.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Análisis de Sinergia

La figura 3 muestra la relación existente entre los proyectos, a lo largo de las fases del macro proyecto BPM. Se puede apreciar una primera fase de 1 ½ año de duración, en la cual se desarrollan los 4 proyectos abordados por esta propuesta, una segunda fase de ½ año de duración en la cual se consolidan los tres elementos de gestión de operaciones que a su vez generan las tres condiciones necesarias del mejoramiento continuo y una fase definitiva de mejoramiento continuo, propiamente tal (Ver carta gantt del proyecto). El detalle de la sinergia existente entre cada par de proyecto se puede apreciar en la figura 4.

La fase 1 corresponde a una etapa de desarrollo de los distintos proyectos que desembocan en la generación de las tres condiciones necesarias del mejoramiento continuo, identificadas en la tabla 1. Nótese que el proyecto de Control de la calidad Integrado, tal como se mencionó anteriormente, es función de dos condiciones exógenas al mismo; medición de la Perforación y medición de la Tronadura, situaciones cuya relevancia queda de manifiesto, más aún si se considera que el proyecto relativo al control de la calidad determina la propia existencia del Mine to Mill, uno de los subsistemas del modelo de gestión de operaciones propuesto aquí.

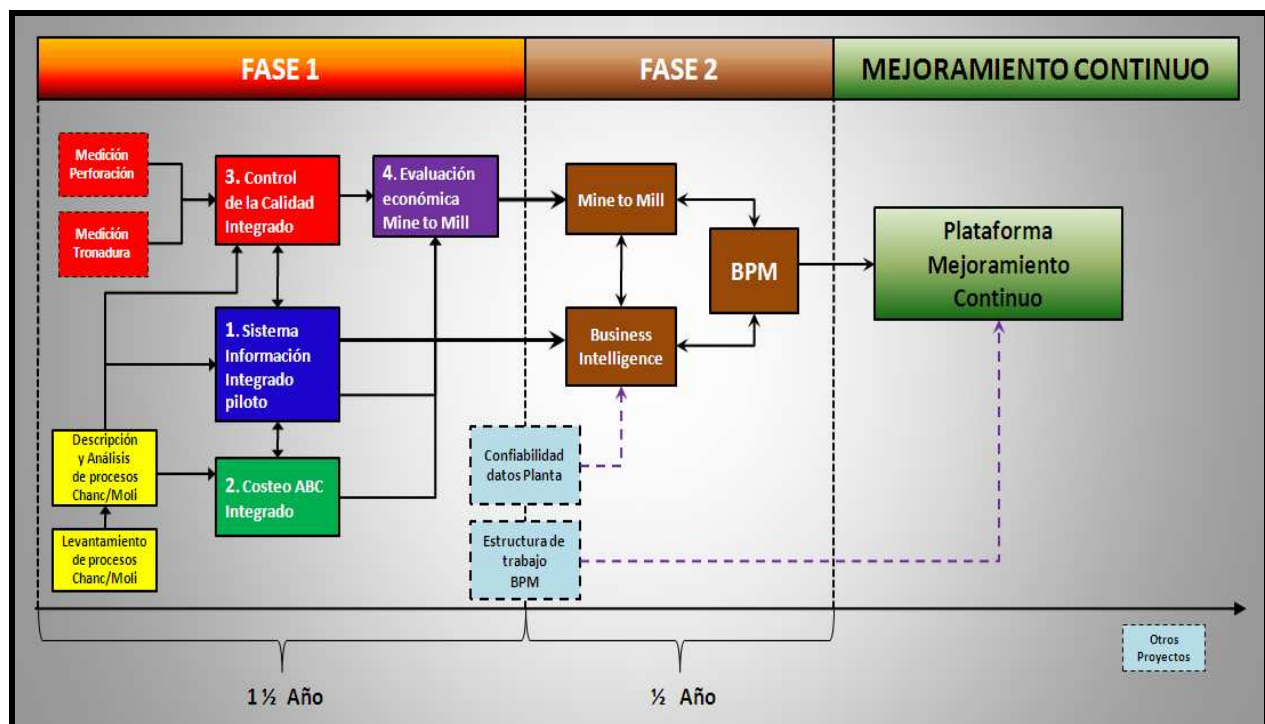


Figura 3 – Sistema de proyectos asociado al Mejoramiento Continuo

La fase 2 corresponde a una etapa del proyecto en la cual se implementan y desarrollan los tres subsistemas de gestión de operaciones que abordan cada una de las tres condiciones necesarias del mejoramiento continuo. Es esencialmente, una fase de pruebas y consolidación de las respectivas herramientas de gestión: Un enfoque de gestión de operaciones focalizado en los procesos de negocio, respaldado por un soporte informático que permita la medición y el análisis

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

necesarios para controlar y mejorar los procesos de negocio y por una técnica de operaciones optimizadora del rendimiento de los procesos de negocio.

El escenario de mejoramiento continuo (después de 2 años de desarrollo del proyecto) se caracteriza por la presencia de una “plataforma de mejoramiento continuo” que opera a partir de:

1. El modelo de gestión de operaciones
2. La estrategia de negocios orientada a la contención de costos
3. El equipo de trabajo BPM operando al amparo de una estructura administrativa

	Sistema de Información	Sistema de Calidad	Costeo ABC	Evaluación Mine to Mill
Sistema de Información		La medición electrónica de P&T determina la existencia de un sistema de Calidad integrado. Un SI entrega un soporte formal para el ejercicio del control de la calidad, en la forma de modelos matemáticos de control y análisis.	Un SI automatizado determina el costeo ABC. Un sistema ABC solo puede ser operado a través de una plataforma alimentada por un flujo de datos periódico. Un SI integrado permite que el sistema ABC entregue sus mayores beneficios	La existencia de un SI integrado hace posible las mediciones de MTM.
Sistema de Calidad	Un sistema de Calidad entrega una nueva dimensión de análisis al SI		Un sistema de calidad permite que el análisis de los costos por proceso considere la calidad de los mismos, en el marco de análisis correlacionados	La alineación de los procesos permite integrar los procesos. El MTM solo puede ser evaluado a partir de un sistema de gestión de la calidad desde P&T hasta los procesos de la Planta
Costeo ABC	Un sistema ABC entrega una nueva dimensión de análisis al SI	Permite medir los costos asociado a la gestión de la calidad bajo un enfoque desagregado a nivel de procesos y actividades		Un sistema de costeo ABC permite medir el impacto económico del MTM en los procesos de la Planta
Evaluación Mine to Mill	—	—	—	

Figura 4 – Relación entre los proyectos

Control del cumplimiento de objetivos

La figura 5 muestra el sistema de objetivos propio del proyecto. Se aprecian los objetivos de CP y los objetivos de LP distribuidos entre las dos fases y el escenario de mejoramiento continuo.

Los objetivos de CP, propios de la Fase 1 están relacionados unívocamente con cada uno de los 4 proyectos propuestos aquí. Por lo tanto, el cumplimiento de estos objetivos se puede medir a través de la verificación de la consecución efectiva de los objetos que persigue cada uno de ellos.

Los dos objetivos de la fase 2 son la consecuencia directa de la existencia de los tres subsistemas del modelo de gestión de operaciones, mostrados en la figura 3, vale decir; Mine to Mill, Business Process Management y Business Intelligence. Luego, la existencia de estos tres subsistemas se traduciría en la consecución de estos objetivos.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Los objetivos del mejoramiento continuo son superlativamente mucho más complejos de medir, pues se trata de objetivos que responden, la mayoría de ellos, al ejercicio del complejo **Gestión-Liderazgo**, verificables por tanto, a través de las acciones correctivas que se implementen a partir de las pautas sugeridas por los modelos de control y análisis. No obstante, todos los indicadores de eficiencia diseñados en las etapas de modelamiento, brindan una buena manera de medir estos objetivos.

A partir de la finalización de la fase 1 se estaría en condiciones de implementar un sistema de medición y control integrado, operado a partir de una misma plataforma, lo cual constituiría una excelente herramienta para medir la eficiencia del sistema operacional.

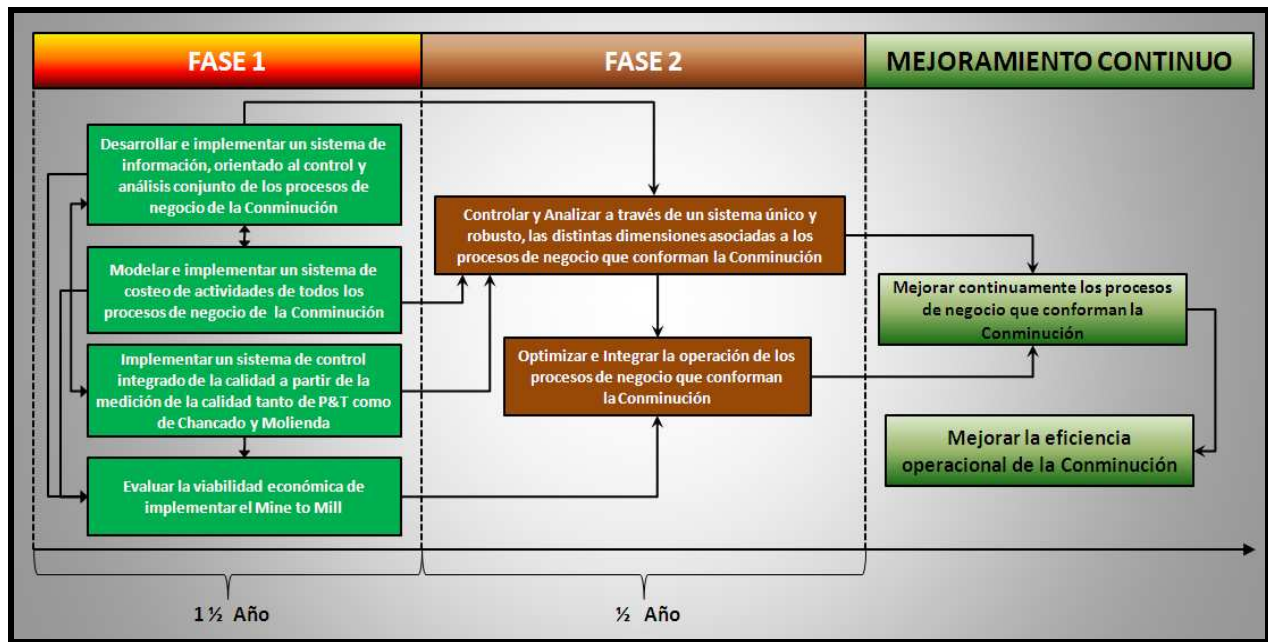


Figura 5 – Sistema de objetivos del proyecto

Este sistema podría medir el **Tiempo**, la **Cantidad** de material movido, los **Costos** y la **Calidad** de cada proceso de la Conminución empleando todos los indicadores y/o medidas de desempeño diseñadas en las etapas previas de modelamiento de cada una de estas dimensiones operacionales (Proyecto de memoria del autor y fase 1 del proyecto).

Por lo tanto, el desarrollo del propio proyecto entregaría las herramientas para medir, primero; el cumplimiento de los objetivos del proyecto propios de la fase 2 y de la etapa de mejoramiento continuo y segundo; el nivel de eficiencia asociada a los procesos tras la incorporación de los elementos de gestión introducidos durante el proyecto.

Además el MTM posee indicadores de medición de eficiencia (indicador de eficiencia del factor de carga, por ejemplo); la metodología BPM de gestión de proyectos, por si sola, posee una serie de indicadores destinados, ya sea, al monitoreo del estado de avance de los proyectos como al monitoreo del mejoramiento de los procesos de negocio tras la implementación de los distintos proyectos y por último, la implementación de un sistema BI facilita el empleo de indicadores pues BI está orientado precisamente a la medición y análisis del negocio a partir de datos e información.

Modelo Gestión Operaciones MRA División Andina - CODELCO

Análisis general de riesgo

La figura 6 muestra las fuentes de riesgo a la que están expuestos los distintos proyectos y elementos que conforman las fases del macro proyecto BPM. Se puede apreciar que el proyecto, Control de la Calidad integrado es el que está expuesto a mayor riesgo, que los dos subsistemas de gestión de la fase 2 son dependientes del nivel de inversión de la Corporación y que la fase de mejoramiento continuo es función, principalmente, de la existencia de una instancia administrativa compuesta de un equipo de trabajo multidisciplinario encargado de la gestión de los distintos proyectos de mejoramiento continuo de los procesos de negocio.

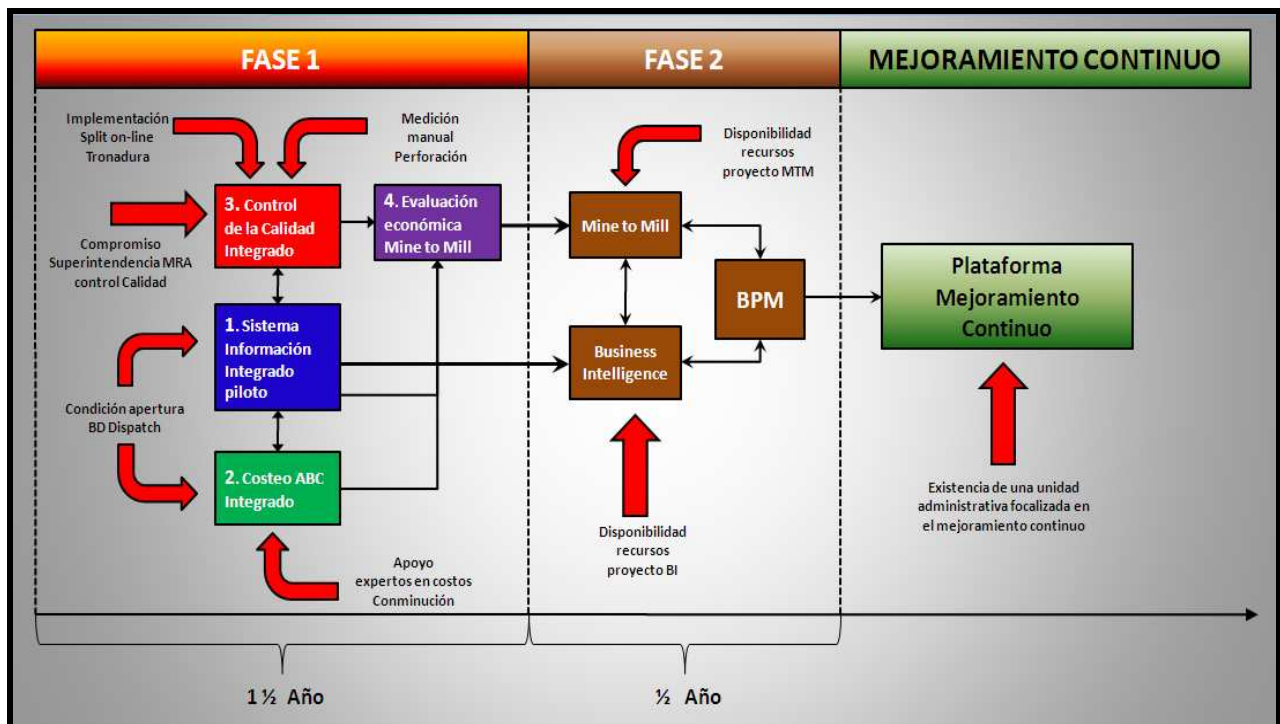


Figura 6 – Análisis de riesgo Proyecto

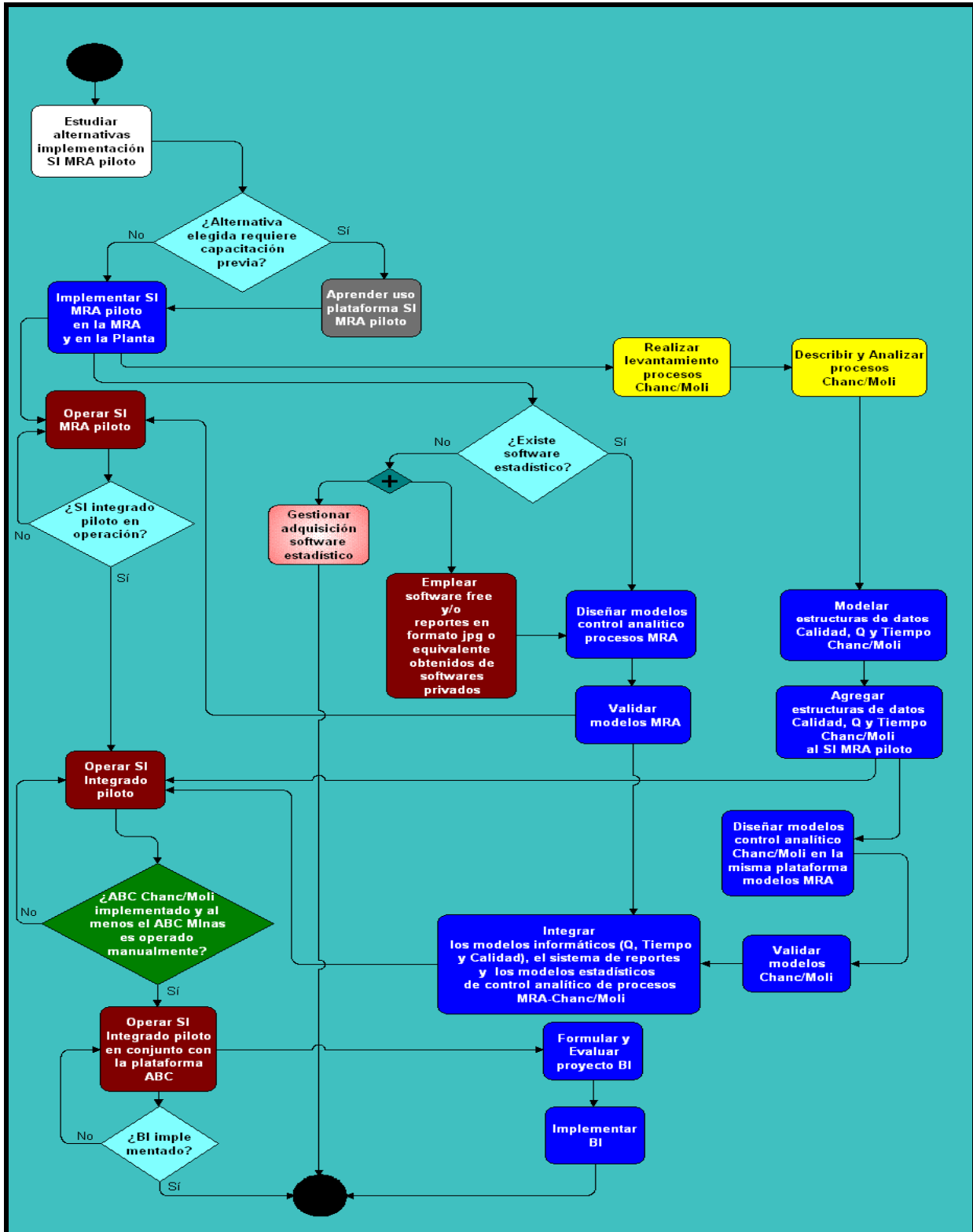
Diagramas de flujo por proyecto

La figura 7 muestra la nomenclatura que debe ser considerada para comprender las relaciones existentes entre cada uno de los proyectos. Tanto los diagramas de flujos como la carta gantt ponen de manifiesto que en un mismo proyecto existen actividades asociadas a otros proyectos, demostrándose de esta forma la sinergia existente entre ellos.

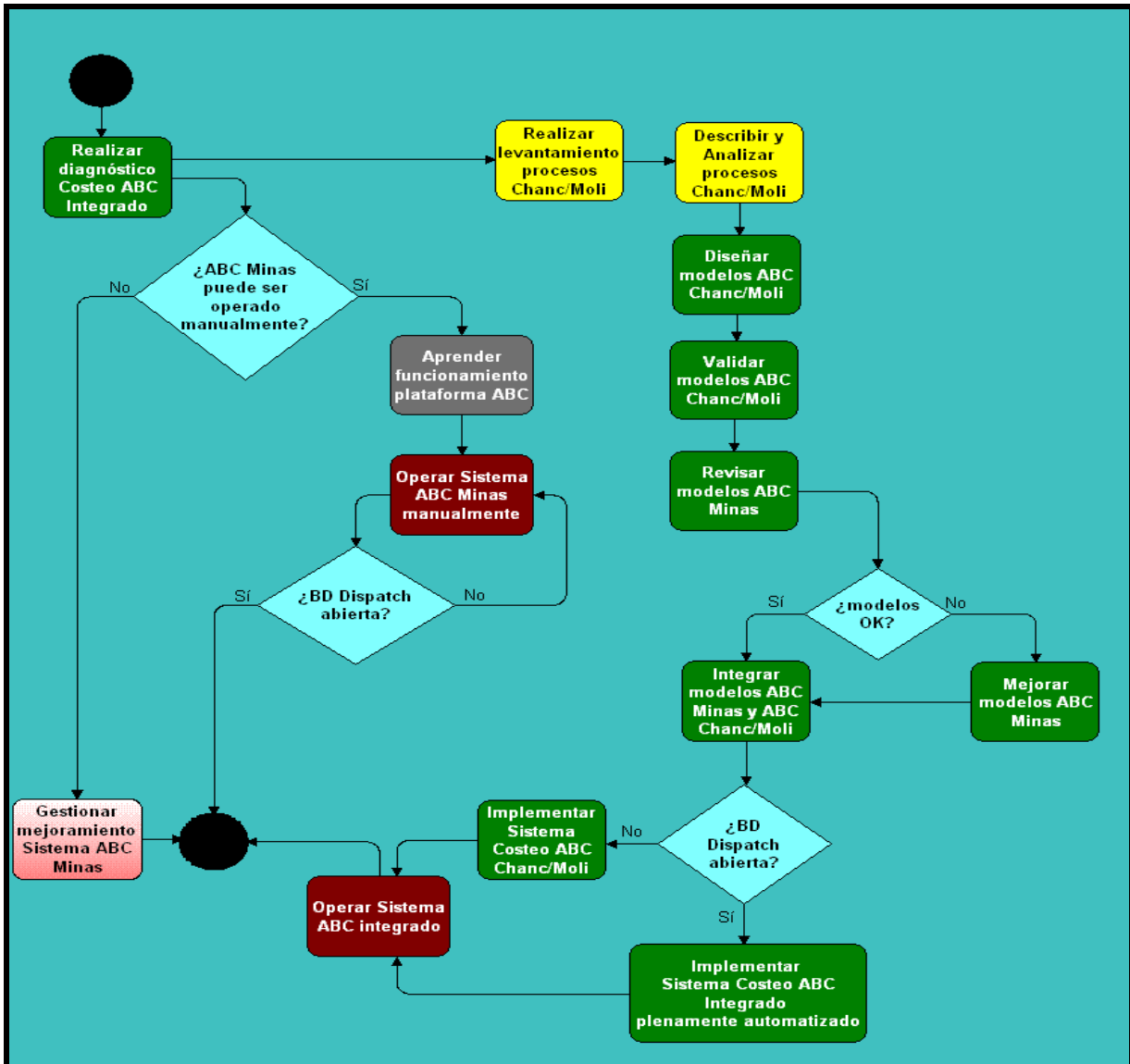


Figura 7 – Nomenclatura Diagramas de flujo y Carta Gantt del proyecto

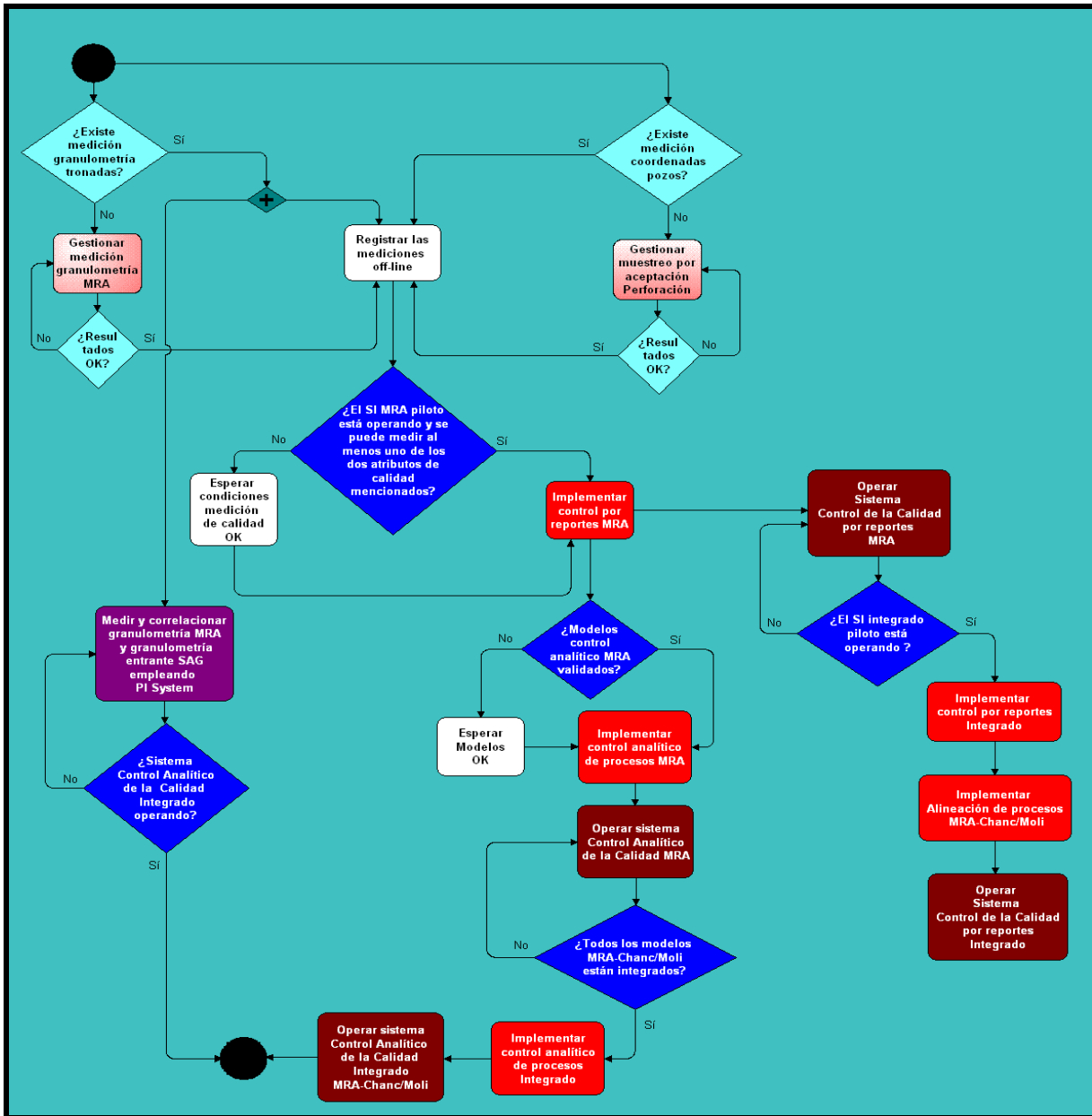
1. Sistema Integrado de Información Conminución



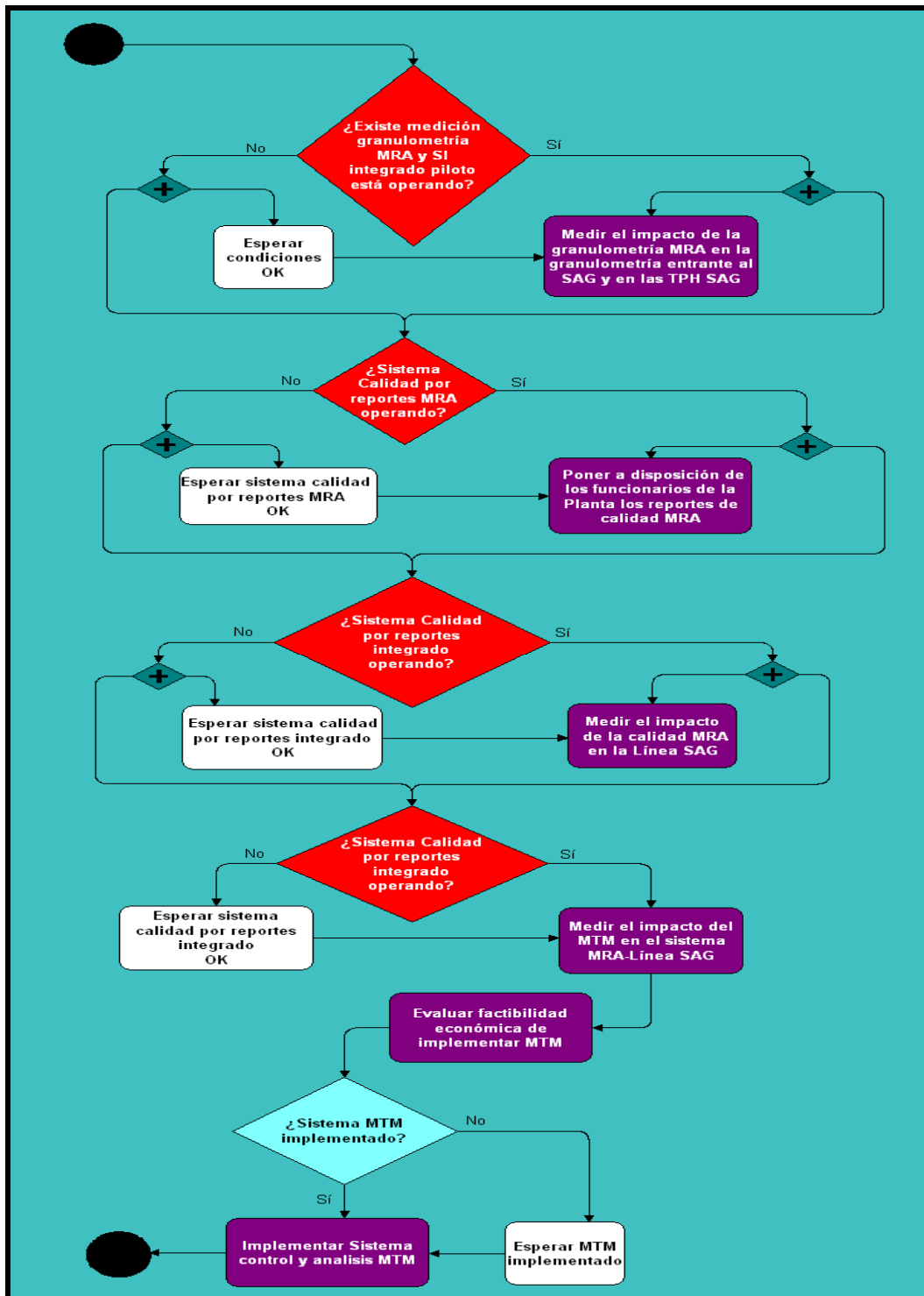
2 Sistema de costeo ABC Integrado



3 Sistema Integrado Control de la Calidad



4 Evaluación viabilidad económica Mine to Mill



Bibliografía

- Anderson, Rolph; Black, William; Hair, Joseph; Tatham, Ronall (2007). **Análisis Multivariante**. Publicado por Prentice Hall.
- Austin, Leonard; Concha Fernando (1994). **Diseño y Simulación de Circuitos de Molienda y Clasificación**. Concepción: Editado por CYTED.
- Bravo, Juan (2005). **Gestión de procesos**. Santiago: Editorial Evolución.
- Burger, Ben; McCaffery, Karen; Jankovic, Alex; Valery, Walter; McGaffin, Ian (2006). **Batu Hijau Model for Throughput, Mining and Milling Optimization and Expansion Studies**. Australia.
- Candia, Jorge; Laengle, Sigifredo (2007). **Contención de costos en CODELCO Chile**. Santiago: Editado por Universidad de Chile
- Casadesús, M. (2005). **Calidad práctica**. Madrid: Editorial Prentice Hall.
- CODELCO-Andina. (2007) **Procedimientos Operativos**. Disponible vía web en <http://portal6.codelco.cl/irj/portal>
- Colacioppo, Juliana; Dance, Adrian; Del Carpio, Silvia; Esen, Sedat; La Rosa, David; Valery, Walter (2007). **Integración y Optimización de Mina a Planta en CODELCO División Andina**. Australia.
- Chiriac; Michalewicz; Schmidt (2007). **Adaptive Business Intelligence**. Australia: Editado por Springer
- Instituto Andaluz de Tecnología. **Guía para una Gestión basada en procesos**. Disponible vía web en http://www.gva.es/fvq/docs/publicaciones/guia_gestionprocesos.pdf
- ISO (2000). **Norma Internacional ISO 9001**. Ginebra
- Nelis, Johan; Jeston, John (2006). **Business Process Management**. Estados Unidos : Editado por Butterworth Heinemann
- Pérez, César (1999). **Control Estadístico de la Calidad**. España: Editado por Ra-Ma
- SAS Institute (2007). **JMP Statistics and Graphics Guide, Release 7**. Estados Unidos
- Universidad Politécnica de Madrid (2007). **El concepto “Mine to Mill” (Operación integrada de Mina a Planta) en la explotación de áridos**. Madrid
- Vallejos, Sofía (2006). **Minería de Datos**. Argentina: Editorial Universidad Nacional del Nordeste