



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MINAS

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL DE MINAS

**BENEFICIOS ECONÓMICOS ASOCIADOS A LA IMPLEMENTACIÓN DE LA
METODOLOGÍA QA/QC EN PERFORACIÓN DE OPERACIÓN LOS BRONCES**

MILENKO NICOLÁS MATULIC RÍOS

**PROFESOR GUÍA:
MAURICIO MÉNDEZ MARDONES**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
JAIME CHACÓN FERNÁNDEZ
SERGIO BARRERA ROJAS**

SANTIAGO DE CHILE
2015

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR

AL TÍTULO DE: Ingeniero Civil de Minas

POR: Milenko Nicolás Matulic Ríos

FECHA: 06/04/2015

PROFESOR GUÍA: Mauricio Méndez Mardones

BENEFICIOS ECONÓMICOS ASOCIADOS A LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA QA/QC EN PERFORACIÓN DE OPERACIÓN LOS BRONCES

El actual escenario económico ha propiciado que las compañías mineras apliquen sistemas de gestión en sus procesos para contrarrestar la disminución del precio del Cobre y el aumento sostenido de costos de servicios.

La operación Los Bronces se ha alineado con esta estrategia y ha considerado emplear la metodología del aseguramiento y control de calidad. Esta técnica de gestión busca prevenir defectos en los procesos y controlar la calidad de los productos en pos de la satisfacción de los clientes. Para que ésta dé resultados requiere apoyarse en un sistema de gestión que contribuya a la eficacia y eficiencia de la organización. Esto debe estar respaldado por la metodología del mejoramiento continuo, que le dará un carácter sustentable al proyecto en el tiempo.

Particularmente, en esta investigación se aborda el proceso de perforación, reconociendo actividades clave para su intervención, relacionadas con la implementación en terreno del diseño de perforación. Luego, a partir del análisis de su situación actual en Los Bronces, se propone un sistema de gestión que considera 3 etapas: planificación de procesos, control de gestión y gestión del mejoramiento.

La planificación involucra la creación de indicadores clave de desempeño a partir de las oportunidades identificadas, para lograr las conductas y prácticas que aseguren un proceso de excelencia. Posteriormente, el control de gestión determina cómo se analizará la información de los indicadores, es decir, generará alarmas ante incumplimientos de los requerimientos establecidos para el equipo de perforación; y definirá horizontes de tiempo para la intervención de los sub-procesos y asignará responsables y plazos de control. Finalmente, en la etapa de gestión del mejoramiento, se determinan los grupos de tareas, el rol de la jefatura y las herramientas de gestión para cumplir con una cartera de proyectos.

La investigación concluye evaluando el aporte del sistema de gestión en la compañía, al estimar la influencia del cumplimiento de cada indicador de desempeño, consiguiendo un ahorro de 10,9 MUS\$ anuales.

El ahorro calculado no sería efectivo de no lograrse un liderazgo y participación activa de todos los integrantes del proceso. Ambos conceptos combinados y ligados a la estructura del sistema de gestión, permiten de manera estructurada y sistemática, cambiar las prácticas e ir instalando una cultura de excelencia en las operaciones.

ABSTRACT OF THESIS SUBMITTED TO OPT

FOR THE DEGREE OF: Mining Engineer

BY: Milenko Nicolás Matulic Ríos

DATE: Apr, 6th, 2015

GUIADANCE PROFESSOR: Mauricio Méndez
Mardones

**ECONOMIC BENEFITS ASSOCIATED WITH APPLICATION OF QA/QC
METHODOLOGY IN DRILLING IN LOS BRONCES MINE**

The current economic scenario has contributed to the appliance of management systems in the mining industry to offset the decrease of the copper price and the sustained rise in the operative costs.

With time Los Bronces mine has aligned with this strategy and also has considered investing in the QA&QC methodology (Quality Assurance/Quality Control). This management technic seeks to prevent process deficiencies and to do quality control on the products for a better compliance with the customer's requirements. The support of a management system needed to achieve positive results, contributing to the efficiency and the effectiveness of the organization. This must be backed up with the continuous improvement theory which will give, in time, sustainability to the project.

Particularly, this research refers to the drilling process, acknowledging key activities for its intervention, related to implementation in the field of drilling design and from the analysis of the current state of Los Bronces a 3 stage management system it's proposed: process planning, control management and improvement management.

Planning involves creating key performance indicators (KPI's) from the opportunities identified to accomplish behavior and practices that ensure an excellence process. Later, management control stablish how the information provided by the KPI's is going to be analyzed, this means defining time ranges for the intervention of sub processes and people in charge of them. Finally the improvement management stage is where task groups, the role of leadership and the management tools are defined to comply with a project briefcase.

The research ends evaluating the Drilling process benefit associated with the management system, estimating the influence of achieving each KPI, getting savings of about 10,9 MUS\$ per year.

Calculated savings would not be effective if the leadership and active participation of all members of the process is not achieved. Both concepts combined and linked to the structure of the management system, allow a structured and systematic way, for changing practices and installing a culture of excellence in operations.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradecer a mis padres José y Mariela por todo el amor, cariño y apoyo durante todos estos años. Sin ustedes no habría podido conseguir este logro. Me entregaron lo mejor dejando de lado muchas cosas, lo que hace más lindo haber llegado hasta aquí. Por todo el ánimo que me dieron en momentos difíciles y que ahora se ven los frutos de tanto esfuerzo. Todo esto es por ustedes, muchísimas gracias. Por supuesto a mis hermanos Stephan y Danica por todos los buenos momentos vividos y los que están por venir. Siempre en las buenas y en las malas, los quiero mucho. A mi polola que siempre estuvo ahí en todo momento, incluso apoyando en las tareas más tediosas del trabajo, por su amor incondicional, muchas gracias.

A mis tíos Juan, Sonia, Dinko, Mónica y Nicolás por todos estos años. Este último que ya no está con nosotros, pero estoy seguro habría estado muy feliz pues siempre me daba palabras de aliento y apoyaba en lo que fuese. Muchas gracias a todos ustedes por tantos favores, la paciencia y todo el cariño que día a día me entregaron.

A mis queridos compañeros, muchos ya dejamos de vernos, pero siempre estaré agradecido por esas largas noches de estudio, paciencia, la voluntad de oro y los buenos momentos vividos fuera del contexto académico. En especial a los más cercanos de minas (Cristóbal, Mario, Natalia, Pato, Jaime, Pablo, Sebastián y todo el equipo de fútbol “Rossin”), que compartimos muy buenos momentos e incluso reíamos ante los peores panoramas. Muchas gracias por todo.

A todo el equipo de Anglo American Los Bronces y colaboradores, por darme la oportunidad de poder aplicar lo que he aprendido todos estos años. Por su confianza y buena onda día a día, lo cual permitió pudiera llegar hasta esta etapa.

Agradecer también a mis profesores de la comisión: Mauricio, Jaime y Sergio, por todo el apoyo brindado en sus correcciones y dudas que me resolvieron. Siempre con la mejor disposición y permitiendo que pudiera adquirir los conocimientos necesarios para llevar a cabo esta investigación.

Finalmente a mi universidad por darme las herramientas necesarias que me han permitido traspasar cada obstáculo y desafío laboral. Con mucho cariño y dedicación este trabajo, mi humilde aporte a esta gran familia universitaria.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	viii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE ECUACIONES	x
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Motivación.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo general.....	2
1.2.2 Objetivos específicos	2
1.3 Alcances.....	2
1.4 Metodología de trabajo.....	3
2 ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO	4
2.1 Definición de Calidad.....	4
2.1.1 Parámetros de la calidad	4
2.1.2 Determinación de la calidad	5
2.1.3 Expresión de la calidad	5
2.1.4 Beneficios de la calidad	6
2.2 Gestión de la calidad.....	6
2.2.1 Sistema de Gestión	7
2.2.2 Indicadores de gestión	7
2.2.3 Herramientas de Gestión.....	8
2.3 Mejoramiento continuo: ciclo de Deming	10
2.4 Análisis PEPSC y recursos de producción	11
2.5 Aseguramiento y Control de la Calidad: QA/QC.....	12
3 ANTECEDENTES DE OPERACIÓN LOS BRONCES.....	13
3.1 Operación Los Bronces	13
3.2 Geología del yacimiento.....	14
3.3 Descripción proceso de perforación en operación Los Bronces.....	15
3.3.1 Análisis PEPSC	15
3.3.2 Recursos de producción de la perforación.....	18
3.3.3 Organigrama general Superintendencia.....	20

3.3.4 Equipos de perforación	21
3.3.5 Proceso de perforación	22
3.4 Estándares actuales de perforación.....	24
3.4.1 Estándares de seguridad.....	24
3.4.2 Modelo de Tiempos Anglo American	25
3.4.3 Indicadores clave de desempeño actuales.....	27
3.4.4 Descripción de las actividades involucradas con la perforación	28
3.5 Estándar de la perforación (guía operacional).....	37
4 ANÁLISIS SITUACIÓN ACTUAL	40
4.1 Problemática en Los Bronces	41
4.2 Preparación superficie de trabajo	43
4.2.1 Control estándar plataforma	43
4.2.2 Control marcas topográficas	44
4.3 Ejecución de la perforación	45
4.3.1 Variables operacionales	45
4.3.2 Control longitud de pozos de producción	54
4.3.3 Gestión de aceros	61
5 SISTEMA DE GESTIÓN.....	62
5.1 Planificación de procesos	64
5.1.1 Inputs	67
5.1.2 Indicadores de desempeño.....	69
5.2 Control de gestión.....	77
5.3 Gestión del mejoramiento.....	84
5.3.1 Aplicación del Ciclo de Deming.....	84
5.3.2 Rol de la supervisión	89
5.3.3 Rol ingeniero QA/QC	89
5.3.4 Cartera de proyectos propuesta – operación Los Bronces.....	91
6 ESTIMACIÓN DEL BENEFICIO ECONÓMICO ASOCIADO A LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN (CON QA/QC)	92
6.1 Procedimiento y explicación de la estimación de beneficios	94
6.1.1 Control de longitud de pozos.....	94
6.1.2 Control de malla de perforación	95

6.1.3 Entrega áreas en plazo (servicios y topografía).....	95
6.1.4 Tiempos	95
6.1.5 Eventos	96
6.1.6 Velocidad efectiva	96
6.1.7 Cuociente velocidades operativa y efectiva.....	96
6.1.8 Gestión de aceros.....	96
6.2 Estimación Beneficios Económicos asociados al Sistema de Gestión.....	97
6.2.1 Desglose por KPI y gestión de aceros	97
6.2.2 Beneficio acumulado	100
7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	102
8 GLOSARIO.....	105
9 BIBLIOGRAFÍA.....	107
10 ANEXOS.....	108
A. Memoria de Cálculo y otros detalles	108
B. Estadísticas y gráficos de reportes	110
C. Reportes de perforación	115
D. Herramienta de reconocimiento: afiche informativo.....	118
E. Modelo de Tiempos: diagrama de flujo de decisión	119
F. Tablero de control de gestión	120

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Mina Los Bronces	1
Ilustración 2: Ciclo de Deming - Mejoramiento Continuo.....	10
Ilustración 3: Recursos de producción.....	11
Ilustración 4: Vista satelital mina Los Bronces - Fuente: Google Earth	13
Ilustración 5: Unidades geológicas de Los Bronces	14
Ilustración 6: Análisis PEPSC	15
Ilustración 7: Recursos de producción de la producción	18
Ilustración 8: Organigrama general Superintendencia perforación y tronadura.....	20
Ilustración 9: Perforadoras Pit Viper 4 (amarilla) y Bucyrus PEB 8 y 10 (naranja).....	22
Ilustración 10: Diagrama proceso general de ejecución perforación	23
Ilustración 11: Fundamentos Modelo de Tiempos de Anglo American.....	25
Ilustración 12: Plan diario perforación	28
Ilustración 13: Plan semanal perforación	29
Ilustración 14: Planificación mensual perforación	29
Ilustración 15: Roca de marcaje	31
Ilustración 16: Ejemplo reporte marcación topográfica	32
Ilustración 17: Ejemplo plano de perforación	33
Ilustración 18: Información topográfica por pozo - plano teórico.....	35
Ilustración 19: Correcciones de mensura - revisión de longitud de pozos	36
Ilustración 20: Diagrama categorías internas a analizar - proceso perforación.....	40
Ilustración 21: Situación de costos en perforación, previo a la implementación del sistema de gestión.....	41
Ilustración 22: Material sin fragmentar en la pata del banco	43
Ilustración 23: Pared saneada	43
Ilustración 24: Esquema categoría interna de tiempos de perforación	45
Ilustración 25: Ejemplo reporte actual de perforación - Tiempo traslado entre pozos.....	47
Ilustración 26: Cuociente tasa o velocidades por equipo	48
Ilustración 27: Velocidad promedio por equipo	49
Ilustración 28: Cuociente velocidades por grupo operadores.....	49
Ilustración 29: Frecuencia tiempos perdidos y panne	50
Ilustración 30: Pareto GAPS - toda categoría - reportes de perforación	51
Ilustración 31: Pareto GAPS información Despacho	52
Ilustración 32: Fases Operación Los Bronces	54
Ilustración 33: Caída de material en pozo por tránsito de equipos.....	55
Ilustración 34: Pozo post-muestreo	56
Ilustración 35: Estaca - información final pozo por Operador	57
Ilustración 36: Situación anterior control largo pozos (sin QA/QC).....	57
Ilustración 37: Situación actual control largo pozos (con QA/QC).....	58
Ilustración 38: Sobre y sub-perforación por fase	59
Ilustración 39: Espacio muestral por rango - control largo pozos	59
Ilustración 40: Sobre y sub-perforación versus número de pozos por día	60
Ilustración 41: Ejemplo tabla control de aceros de perforación	61
Ilustración 42: Etapas sistema de gestión propuesto	63
Ilustración 43: Organigrama - equipo de perforación	65
Ilustración 44: Reconocimiento operador - estrella de oro.....	76

Ilustración 45: Calificación del operador en el casco (ejemplo: operador no cumple con indicador “V.C”)	76
Ilustración 46: Requerimientos control de gestión - KPI 1 - 9	77
Ilustración 47: Requerimientos control de gestión - KPI 10 desempeño operadores	77
Ilustración 48: Resumen control de gestión	79
Ilustración 49: Minuta reuniones - control de gestión	80
Ilustración 50: Etapas ciclo de Deming a aplicar	84
Ilustración 51: Ejemplo diagrama de causa y efecto	86
Ilustración 52: Gestión del mejoramiento - diagrama de árbol de acciones	88
Ilustración 53: Cartera de proyectos sistema de gestión propuesto - carta Gantt	91
Ilustración 54: Distribución costos mina – Los Bronces	92
Ilustración 55: Distribución gastos internos perforación – Los Bronces	92
Ilustración 56: Esquema estimación ahorro por control largo pozos	94
Ilustración 57: Beneficio económico asociado al sistema de gestión	100
Ilustración 58: Distribución de ahorros por KPI	101
Ilustración 59: Reducción de costos de perforación mensual por implementación sistema de gestión	101
Ilustración 60: Pareto panne – reportes de perforación	112
Ilustración 61: Pareto demoras – reportes de perforación	113
Ilustración 62: Pareto reservas – reportes de perforación	113
Ilustración 63: Pareto consecuencias – reportes de perforación	114
Ilustración 64: Reporte actual	115
Ilustración 65: Reporte propuesto - parte superior	116
Ilustración 66: Reporte propuesto - parte inferior	117
Ilustración 67: Ejemplo de afiche informativo y de reconocimiento	118
Ilustración 68: Diagrama de flujo de decisión - Modelo de Tiempos	119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Herramientas de gestión para reuniones	9
Tabla 2: Equipos de perforación Anglo American	21
Tabla 3: Tareas en perforación - ejemplos de eventos no deseados y medidas de control	24
Tabla 4: Distribución de categorías de tiempo	26
Tabla 5: Conceptos de categorías de tiempo	26
Tabla 6: Indicadores clave de desempeño - KPI	27
Tabla 7: Estándar plataforma perforación, al reverso de reporte de perforación	30
Tabla 8: Tarjeta de identificación banderas topografía (réplica)	32
Tabla 9: Inputs plano perforación	34
Tabla 10: Tiempos promedio por GAP	53
Tabla 11: Cantidad por GAP	53
Tabla 12: Cantidad de días estudiados por fase (Septiembre- Noviembre 2014)	58
Tabla 13: Nueva clasificación de dureza por UCS	67
Tabla 14: Dureza por unidad geotécnica	68
Tabla 15: Resumen tipos de control QA/QC por GAP	71
Tabla 16: KPI nuevo 8 - RPM y empuje por dureza	73
Tabla 17: KPI nuevo 9.1 - límites de control de velocidades	73
Tabla 18: Gestión del mejoramiento – fase A planificación de objetivos	85

Tabla 19: Gestión del mejoramiento – fase B aplicación de contramedidas.....	87
Tabla 20: Gestión del mejoramiento - fase B plan de acción (carta gantt)	87
Tabla 21: Costo aceros por metro.....	108
Tabla 22: Resumen estimaciones - porcentaje de ahorro con respecto al costo de perforación mensual.....	109
Tabla 23: Estadística descriptiva sobre-perforación.....	110
Tabla 24: Estadística descriptiva sub-perforación.....	110
Tabla 25: Estadística descriptiva reportes de perforación - velocidad efectiva	111
Tabla 26: Estadística descriptiva reportes de perforación - velocidad operativa	112
Tabla 27: Tablero de control de gestión - 1/2.....	120
Tabla 28: Tablero de control de gestión 2/2 (reverso).....	121
Tabla 29: Tablero de control de Gestión - evaluación desempeño operadores	122

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Indicador de eficiencia 1.....	8
Ecuación 2: Indicador de eficiencia 2.....	8
Ecuación 3: Indicador de eficiencia 3.....	8
Ecuación 4: Indicador de nivel de calidad 1	8
Ecuación 5: Indicador de nivel de calidad 2.....	8
Ecuación 6: Tiempo traslado entre pozos - Reporte actual de perforación	47
Ecuación 7: KPI nuevo 1: nivel calidad pozos	69
Ecuación 8: KPI nuevo 2: Nivel cantidad pozos	69
Ecuación 9: KPI nuevo 3: nivel malla de perforación.....	69
Ecuación 10: KPI nuevo 4: eficiencia entregas de área (servicios y topografía)	70
Ecuación 11: KPI nuevo 5: eficiencia planificación y secuencia.....	70
Ecuación 12: KPI nuevo 6 - control tiempos preparación y ejecución	71
Ecuación 13: KPI nuevo 7.1 - control de evento: sin marcas topográficas	72
Ecuación 14: KPI nuevo 7.2 - control de evento: sin agua.....	72
Ecuación 15: KPI nuevo 7.3 - control de evento: sin repaso pozo.....	72
Ecuación 16: KPI nuevo 7.4 - control de evento: plataforma bajo estándar	72
Ecuación 17: KPI nuevo 8 – control RPM y empuje por dureza	73
Ecuación 18: KPI nuevo 9.1 - control velocidad efectiva de perforación por tipo de roca.....	74
Ecuación 19: KPI nuevo 9.2 - cuociente de velocidades de perforación	74
Ecuación 20: KPI nuevo 10.1 - eficiencia velocidad perforista	74
Ecuación 21: KPI nuevo 10.2 - cuociente de velocidades para perforistas.....	74
Ecuación 22: KPI nuevo 10.3 - Nivel de seguridad e iniciativa.....	75
Ecuación 23: Costo total de perforación.....	93
Ecuación 24: Perforación ejecutada	93
Ecuación 25: Número de perforadoras	93
Ecuación 26: Cálculo horas mensuales por GAP.....	97
Ecuación 27: Cálculo costo mensual por GAP.....	97
Ecuación 28: Cálculo gasto a partir de costo metro equipos.....	108
Ecuación 29: Cálculo gasto a partir costo hora equipos.....	108
Ecuación 30: Costo total aceros (metros anuales).....	108

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación

Ante el panorama económico actual, Anglo American busca mejorar el precio de su acción en el mercado para obtener mayores utilidades. Esto requiere un cambio sustancial en sus operaciones, específicamente en el ámbito del mejoramiento de la gestión.

El potencial beneficio económico de la perforación en el negocio minero, ha impulsado a la compañía a emplear la metodología del aseguramiento y control de la calidad, también conocida y desde aquí mencionada como: “QA/QC” o “Quality Assurance and Quality Control”. Esta filosofía tendrá el objetivo de crear valor a través del control de los distintos subprocesos. Sin embargo, se desconoce su real impacto económico en la operación.

El entender los procesos, sus distintas interacciones y los clientes asociados, permitirá asegurar y controlar la calidad del producto. Por tanto, se requiere instaurar un sistema de gestión que utilice esta información y aproveche de forma óptima la infraestructura y las capacidades del capital humano. Lo anterior permitirá reducir costos y en función de ello, se podrá valorizar la metodología.

Actualmente en el área de perforación de operación Los Bronces, existen estándares o tareas relacionadas con el QA/QC, pero se realizan de forma intuitiva en el proceso. Por tanto, para poder lograr un desempeño de excelencia se requiere implementar un sistema de gestión; un lenguaje común, que propicie un mejoramiento continuo y permita dar las pautas de trabajo, es decir, el “cómo hacer las cosas”, de forma sistemática. Con ello se podrán modificar las conductas operacionales y lograr una implementación de calidad del diseño de perforación.

Para elaborar un sistema de gestión efectivo, se debe focalizar los esfuerzos en las actividades críticas, es decir, las que aporten mayores beneficios a la compañía, tanto en el ámbito de la seguridad como en lo económico; cuantificados mediante indicadores de desempeño.

La presente investigación pretende estimar el beneficio asociado a la implementación del QA/QC en el área de perforación de operación Los Bronces, donde la principal problemática se relaciona con no reproducir a cabalidad el diseño y planificación de la perforación en terreno. Esto ha provocado retrasos en el proceso, cambios en los programas, resultados indeseados en tronadura, costos adicionales al corregir defectos y subutilización de recursos.



Ilustración 1: Mina Los Bronces

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Estimar el beneficio económico asociado a la aplicación de la metodología QA/QC en perforación.

1.2.2 Objetivos específicos

- Proponer un sistema de gestión basado en la metodología QA/QC para el proceso de perforación.
- Determinar la información técnica requerida (inputs y outputs), para el proceso de perforación.
- Identificar oportunidades de agregar valor en perforación.

1.3 Alcances

Desarrollar un sistema de gestión en el área de perforación de operación Los Bronces, basado en las metodologías de aseguramiento, control de calidad y mejoramiento continuo, que permita planificar, analizar, evaluar y asegurar la correcta implementación del diseño de perforación en terreno, sin intervenir en el diseño propiamente tal. Además, estimar el beneficio económico asociado a su implementación.

El sistema se aplicará dentro del marco de 2 subprocesos de perforación: preparación de la superficie de trabajo y ejecución de la perforación.

Se analizará la situación actual del área de perforación, según la información obtenida entre Septiembre y Diciembre de 2014, para las actividades con mayor potencial económico de los equipos internos de perforación de Anglo American:

- a) Preparación de superficie de trabajo:
 - Control de condiciones estándar plataforma de perforación
 - Control de marcas topográficas
- b) Ejecución de la perforación:
 - Variables operacionales
 - Control de longitud de pozos de producción.
 - Gestión de aceros

Los valores que aparecen son referenciales y no constituyen la realidad de la operación, ya que están truncados por distintos ponderadores, para salvaguardar la información de Los Bronces, Anglo American (*).

La estimación de beneficios tendrá un enfoque general del proceso, con nivel de detalle que puede abarcar hasta las 5 actividades seleccionadas, exponiendo los casos con aporte significativo.

1.4 Metodología de trabajo

Para la preparación de la propuesta del sistema de gestión, se trabaja directamente en la operación Los Bronces. En primera instancia se recopila información referente a la mina, conociendo los distintos procesos de ésta y cómo interaccionan, para interiorizarse en el tema.

La metodología de trabajo propuesta es la siguiente:

- a) Revisión e investigación: recopilación de información referente a Los Bronces. Búsqueda bibliográfica acerca de la calidad y su gestión. Resultado del QA/QC en otras industrias. Revisión de estándares QA/QC de perforación.
- b) Selección de información: se filtra la información recopilada identificando los puntos fundamentales del QA/QC y los requerimientos de un sistema de gestión, útiles para la aplicación en la mina.
- c) Análisis situación actual en Los Bronces: se recopilan datos que entregan información para identificar oportunidades. Realizar estadísticas de los registros de perforación.
- d) Entrevistas abiertas: se realizan consultas a los operadores.
- e) Elaboración del sistema de gestión: se adaptan los conceptos de calidad a las condiciones de la faena. Posteriormente se planifica el sistema.
- f) Preparación de presentaciones: selección de puntos fundamentales de la planificación, control de gestión y mejoramiento del sistema. Entrevistas abiertas solicitando sugerencias. Revisión del plan.
- g) Exposición de ideas: reuniones con áreas involucradas y jefatura para exponer propuesta y generar acuerdos de servicio.
- h) Puesta en marcha: reuniones con operadores, capacitaciones y seguimiento en faena.

2 ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO

El siguiente estudio bibliográfico busca definir los principales conceptos relacionados con un sistema de gestión de calidad. Las definiciones proporcionadas por Cristián Ferrada en el libro “Mejora Continua de Sistemas de Gestión”, enuncian los temas principales relacionados con esta investigación.

2.1 Definición de Calidad

La calidad se define como “la aptitud para el uso”. “Calidad es el grado en el que conjunto de características inherentes satisface las necesidades o expectativas establecidas, generalmente implícitas u obligatorias”.

“En un sentido estrecho, calidad significa calidad de producto. En un sentido amplio calidad significa calidad de producto, calidad de trabajo, calidad de servicio, calidad de información, calidad de procesos, calidad de organización, calidad de personas (incluyendo a los ejecutivos), calidad de sistemas, calidad de objetivos, etc.” [1]

2.1.1 Parámetros de la calidad

La calidad es un concepto complejo que involucra muchos aspectos y que puede ser especificada a través de los siguientes parámetros:

- **Funcionalidad:** las características básicas de un producto o servicio, incluyendo la seguridad del mismo.
- **Confiabilidad:** la probabilidad de que un producto falle dentro de un determinado tiempo, bajo determinadas condiciones.
- **Conformidad:** el grado en que un producto o servicio satisface ciertos requisitos y condiciones de uso.
- **Durabilidad:** el tiempo de vida de un producto bajo condiciones normales de uso.
- **Características accesorias:** Aquellas que refuerzan el funcionamiento básico de un producto o servicio.
- **Servicios:** prontitud, competencia, cortesía, facilidad de reparación, etc.
- **Percepción:** imagen, experiencia previa, publicidad, reputación, etc.

Para ser competitivo puede ser más efectivo concentrarse en algunas dimensiones en lugar de perseguirlas todas. No obstante lo anterior, la calidad se puede descomponer en dos grandes dimensiones:

a) **Calidad del objetivo**

Se refiere a los atributos que posee un producto o servicio que hace que los clientes estén o no satisfechos. Los clientes son en definitiva quienes definen la calidad objetivo que sale del proceso. Para mejorar la calidad objetivo es necesario conocer cuáles son las necesidades y expectativas de los clientes y diseñar, o rediseñar el producto o servicio de modo de satisfacer esa necesidad.

b) **Calidad de ejecución**

Se refiere a cómo se están haciendo las cosas. ¿Cuán eficientes son los procesos? ¿Cuáles son los niveles de reprocesos y desperdicios? Calidad de ejecución tiene que ver con la forma en que operan los procesos dentro de la organización. Una mala calidad de ejecución se traduce en costos innecesarios que se transmiten al cliente externo. Para mejorar la calidad de ejecución se debe mejorar los procesos y sus insumos. [1]

2.1.2 Determinación de la calidad

El cliente es quien determina la calidad, el cual puede ser tanto interno como externo.

- a) Cliente externo: incluye no sólo al consumidor final, sino también a los procesadores intermedios y a los comerciantes. Otros clientes que no son compradores y que tienen alguna conexión con el producto corresponden a las entidades gubernamentales reguladoras.
- b) Cliente interno: incluye todas las áreas de la organización que afectan la calidad del producto.

Satisfacer al cliente implica ofrecerle un producto o servicio:

- a) De alto valor:
 - Consistentemente.
 - Bajo todas las condiciones de uso.
 - Durante largo tiempo.
 - Sin efectos colaterales indeseables.
- b) Al más bajo costo posible.
- c) En el momento, lugar y cantidad adecuados.

La satisfacción del cliente es la base de sustentación para la supervivencia de la empresa.

[1]

2.1.3 Expresión de la calidad

La calidad se expresa por medio de las características del producto. Éstas pueden ser de dos tipos:

- a) Características verdaderas: corresponde a las características de la calidad que el cliente o consumidor requiere satisfacer en relación con un determinado producto o servicio.
- b) Características sustitutas: corresponde a las características o condiciones necesarias para alcanzar la calidad verdadera o real.

En resumen, hay tres pasos importantísimos que deben ser considerados en la aplicación del control de la calidad:

- Comprensión de las verdaderas características de la calidad.
- Determinación de los métodos para medirlas.
- Descubrimiento de las características sustitutas de la calidad y entendimiento de las relaciones entre ambas.

Para estar seguros que los participantes del control de calidad entienden estos tres pasos, las empresas deben utilizar productos terminados reales.

A continuación se indican los principales aspectos que deben ser considerados para expresa las características de la calidad:

- Determinar la unidad de producto.
- Determinar el método de medición
- Determinar la importancia relativa de las características de la calidad.
- Llegar al consenso sobre fallas y no conformidades.
- Poner a descubierto las no conformidades latentes.
- Observar la calidad estadísticamente. [1]

2.1.4 Beneficios de la calidad

La implementación de la gestión de la calidad en una empresa lleva a mejorar la calidad de los productos y procesos con el consiguiente aumento de la productividad y mayor captación del mercado.

La búsqueda de la calidad de un producto, servicio, proceso y trabajo, a través de técnicas estadísticas y en forma participativa, trae como consecuencia una alta productividad, alta motivación por el trabajo y por supuesto alta calidad y utilidades, dando lugar a una administración estable. [1]

2.2 Gestión de la calidad

El concepto de gestión de la calidad se basa en lo siguiente:

- La organización tiene una declaración estratégica compartida, que incluye: visión, misión, política de la calidad y valores conocidos y entendidos por todos.
- La empresa tiene un enfoque de procesos sistémico que se orienta a satisfacer y ojalá exceder las necesidades y expectativas de los clientes, tanto internos como externos.
- El liderazgo es ejercido por todos aquellos que tienen personas a su cargo. La organización completa es un solo equipo con objetivos claramente definidos y comunes. No existen barreras ni divisiones entre áreas distintas.
- Los ejecutivos, profesionales y trabajadores son permanentemente entrenados y capacitados, de modo que desarrollen todo su potencial para el logro de los objetivos de la empresa.
- Los procesos, en su totalidad, están siendo medidos, monitoreados y mejorados por equipos multidisciplinarios y entrenados.
- Las personas que trabajan en la empresa están sensibilizadas y tienen conciencia de la necesidad de hacer bien las cosas.
- La organización proporciona un marco apropiado para la existencia de relaciones mutuamente beneficiosas con sus proveedores.

“La gestión de la calidad es un proceso sistémico de gestión liderado por la dirección superior de la organización, centrado en la calidad, basado en la participación de todos sus

miembros, que tienen como objetivo el éxito a largo plazo, que utiliza el método científico para mejorar continuamente el desempeño de los procesos de la organización, con el objeto de alcanzar y en lo posible exceder permanentemente las expectativas de los clientes, para el beneficio de todos los miembros de la organización y de la sociedad.

“La estructura de la organización requiere de un conjunto de sistemas de gestión. Estos últimos pueden definirse como la estructura organizacional, las políticas, los objetivos, las responsabilidades, los procedimientos y los recursos necesarios para responder a los distintos requerimientos dentro de la organización. Siendo la satisfacción al cliente un propósito clave de toda organización, entonces ésta debe contar con un sistema de gestión de la calidad que tenga la capacidad de lograr dicho propósito consistentemente.” [1]

2.2.1 Sistema de Gestión

Identificar, entender y gestionar los procesos interrelacionados como un sistema, contribuye a la eficacia y eficiencia de una organización en el logro de sus objetivos.

Un enfoque para desarrollar e implementar un sistema de gestión de la calidad, comprende diferentes etapas:

- Determinar las necesidades y expectativas de los clientes y de otras partes interesadas;
- Establecer la política de la calidad y los objetivos de la calidad de la organización;
- Determinar los procesos y las responsabilidades necesarias para lograr los objetivos de la calidad;
- Determinar y proporcionar los recursos necesarios para lograr los objetivos de la calidad;
- Establecer los métodos para medir la eficacia y eficiencia de cada proceso;
- Aplicar dichas medidas para determinar la eficacia y eficiencia de cada proceso;
- Determinar los medios para prevenir no conformidades y eliminar sus causas;
- Establecer y aplicar un proceso para el mejoramiento continuo del sistema de gestión de la calidad. [1]

Los siguientes tópicos enunciados por Jesús Montoliu en el libro “Conseguir la Excelencia en las Operaciones”, proporcionan la base para la estimación del beneficio económico y las herramientas de análisis del sistema de gestión.

2.2.2 Indicadores de gestión

La medición del estado o desempeño de un proceso permite evaluar cuán bien éste se desenvuelve, propiciando una toma de decisiones eficiente y oportuna. Esto por medio de indicadores, que permiten identificar oportunidades de mejoramiento.

Para medir el desempeño de un subproceso se utilizará uno de estos cuatro indicadores, agrupados en categorías:

a) **Eficiencia:**

- Unidades versus Tiempos

Ecuación 1: Indicador de eficiencia 1

$$Eficiencia\ 1 := \frac{Unidades\ producidas \cdot Tiempo\ de\ ciclo\ ideal}{Tiempo\ real\ de\ producción} \cdot 100$$

- Cumplimiento especificaciones

Ecuación 2: Indicador de eficiencia 2

$$Eficiencia\ 2 = \frac{Especificaciones\ que\ se\ cumplen}{Total\ de\ especificaciones\ requeridas} \cdot 100$$

Ecuación 3: Indicador de eficiencia 3

$$Eficiencia\ 3 = \frac{Eventos\ esperados}{Eventos\ ocurridos} \cdot 100$$

b) **Nivel de calidad:**

- Unidades producidas versus rechazadas

Ecuación 4: Indicador de nivel de calidad 1

$$Nivel\ Calidad\ 1 = \frac{Unidades\ producidas - Unidades\ rechazadas}{Unidades\ producidas} \cdot 100$$

- Satisfacción del cliente

Ecuación 5: Indicador de nivel de calidad 2

$$Nivel\ Calidad\ 2 = \frac{Número\ de\ clientes\ satisfechos}{Número\ de\ clientes\ totales} \cdot 100 [2]$$

2.2.3 Herramientas de Gestión

Se han establecido herramientas para el control de calidad, que en conjunto pueden proporcionar una metodología práctica y sencilla para la solución efectiva de problemas, la realización de mejoras y el establecimiento de controles en las operaciones del proceso y su estabilización.

Algunas de estas herramientas se definen a continuación:

a) Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto es un gráfico de barras verticales, que representa factores sujetos a estudio en forma ordenada de ocurrencia o de importancia, de mayor a menor, con el objeto de determinar qué problemas resolver y en qué orden realizarlos.

Se elabora recogiendo datos del número de diferentes tipos de no conformidades, reprocesos, desechos, reclamos, o de pérdidas de dinero, junto a sus diferentes frecuencias de aparición, las que se presentan en orden decreciente de ocurrencia. [1]

b) Diagrama de Causa y Efecto

También conocido como Diagrama de Ishikawa, esta herramienta permite ilustrar las diferentes causas que afectan un proceso, identificándolas y relacionándolas unas con otras. Para cada efecto generalmente surgirán varias categorías de causas principales que pueden ser resumidas en las llamadas “6 M’s”: mano de obra, máquina, métodos y materiales, medio ambiente y medición. [1]

Tabla 1: Herramientas de gestión para reuniones

EJEMPLOS DE HERRAMIENTAS DE GESTIÓN PARA REUNIONES		
Herramienta	¿En qué consiste?	¿Para qué se utiliza?
Brainstorming	Generación de ideas en grupo, de forma metódica, en un entorno creativo, libre y sin inhibidores.	Para generar la máxima cantidad posible de ideas entorno a un tema, que de otra forma podrían quedar sin salir a la luz
FODA	Descripción de la situación actual de la compañía, departamento, mercado, etc., clasificado en: fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas	Para identificar los factores claves de éxito, mediante el análisis exhaustivo de la situación de la compañía, departamento, etc. y las condiciones de su entorno.
Benchmarking	Comparación de procedimientos y resultados de un área con otras de la propia compañía (similares o diferentes)	Para identificar oportunidades y campos de mejora, en base a la comparación y análisis de diferencias.
Diagrama de afinidades	Generación en grupo de hechos y opiniones respecto a un tema, de forma escrita y estructurada, agrupándolo por afinidades y definiendo sus relaciones.	Para clarificar e identificar los aspectos más importantes de temas que no están claros y en que existen diferentes opiniones y puntos de vista.
Diagrama de árbol	Clasificación de un tema general en varias "ramas"	Se utiliza para: 1) Desglosar un objetivo. 2) Desglosar estrategias o acciones. 3) Analizar causas de un efecto.

[2]

2.3 Mejoramiento continuo: ciclo de Deming

La mejora continua consiste en la identificación y eliminación de todo lo que no aporta valor al producto o servicio final dentro del proceso, para proporcionar al cliente lo que requiere y garantizando siempre la seguridad de las personas.

El ciclo de Deming es uno de los aspectos más importante que se debe seguir en la realización de cualquier tipo de actividad humana que pretenda ser eficiente, tanto a nivel empresarial como individual.

Se trata definir y aplicar cuatro etapas fundamentales para la realización de cualquier actividad. El nombre PDCA viene de las iniciales en inglés de cada una de las etapas:

- a) **Planificar**: consiste en establecer los objetivos de la actividad y determinar los medios y recursos que se van a utilizar para desarrollarla.
- b) **Realizar**: se trata de desarrollar y aplicar la actividad según los objetivos y medios planificados. Si es necesario, deberá formarse adecuadamente a las personas que deben hacerlo.
- c) **Comprobar**: siempre, después de realizar una actividad planificada se debe verificar dos aspectos principales:
 - Si la actividad se ha desarrollado según los planes previstos o ha habido deficiencias, retrasos, etc.
 - Si los resultados son los deseados, es decir, con las actividades aplicadas, se han cumplido los objetivos.
- d) **Actuar**: una vez verificados ambos aspectos, si no se han cumplido, se deben aplicar las medidas correctivas para:
 - Volver a recuperar las actividades de los planes previstos.
 - Reconducir las actividades para cumplir los objetivos.

Por otro lado, si se han conseguido los objetivos planificados, se debe capitalizar lo aprendido para que sirva de experiencia en futuros casos o para otras áreas y volver a planificar objetivos más ambiciosos. Es decir, que este ciclo no se acaba aquí, es continuo. [2]

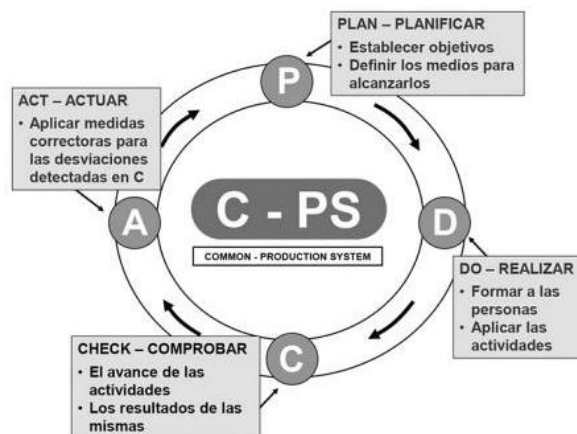


Ilustración 2: Ciclo de Deming - Mejoramiento Continuo

2.4 Análisis PEPSC y recursos de producción

La sigla PEPSC involucra los conceptos de Proveedores, Entradas, Procesos, Salidas y Clientes de un sistema. Es un modelo que identifica los requerimientos, productos y los agentes involucrados tanto al inicio como al final del proceso. A continuación se describen sus conceptos:

- Proveedores: entidades que proveen entradas al proceso tales como materiales, información y recursos. Las entradas del proceso permiten identificar proveedores.
- Entradas: todos los materiales, información y soporte (tangible o intangible) que se necesita para apoyar el proceso.
- Proceso: son las actividades o acciones necesarias para convertir las entradas en salidas.
- Salidas: corresponden a los resultados tangibles de un proceso.
- Clientes: son las entidades o personas para quienes la salida es creada. [3]

Para realizar los productos y/o servicios que se ofrecen a los clientes, cualquier proceso Proveedor-Cliente, requiere de unos inputs o recursos que se transforman en el producto o servicio final. Estos se clasifican en lo que se denomina las 5M, que simbolizan lo siguiente:

- Personas: se refiere a todas las personas ligadas al citado proceso, cuya misión principal es transformar las entradas en productos y/o servicios finales.
- Materiales: todo el conjunto de elementos que son transformados durante el proceso.
- Máquinas: los elementos que son utilizados para transformar los inputs en productos o servicios finales.
- Métodos: la manera en que las personas transforman los materiales, utilizando las máquinas, cuando el proceso así lo requiere.
- Medio Ambiente: condiciones externas que pueden influir en el proceso, como la temperatura, humedad, etc. [2]

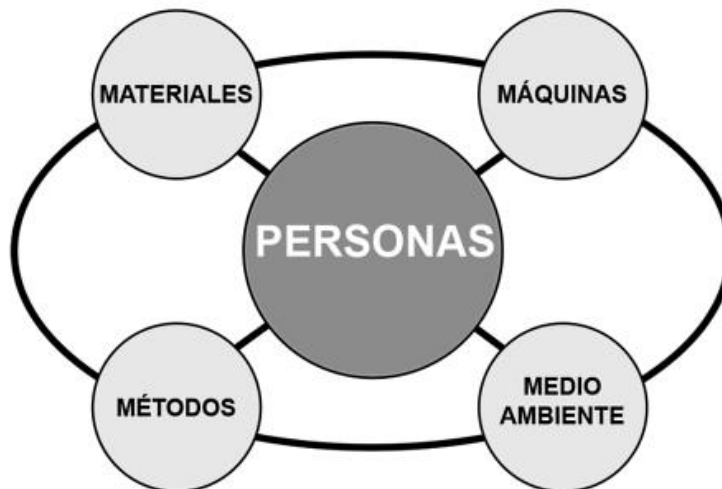


Ilustración 3: Recursos de producción

2.5 Aseguramiento y Control de la Calidad: QA/QC

El “Quality Assurance and Quality Control” o más conocido como QA/QC, corresponde a la filosofía de Aseguramiento y Control de la calidad. Es una metodología aplicable a distintos rubros, por lo cual no existe una fórmula o pauta a seguir para su implementación.

El éxito que pueda lograr su implementación dependerá de lo riguroso y sistemático que sea el sistema de gestión y la efectividad de la aplicación del mejoramiento continuo. Esto determinará la sustentabilidad en el tiempo del QA/QC y por supuesto, de la compañía, medidos por el logro de resultados significativos, que hagan más competitiva a la entidad en el mercado.

El Control de Calidad (QC) es un sistema de actividades técnicas rutinarias para identificar defectos, medir y controlar la calidad de una actividad o producto determinado [4], encontrando y eliminando fuentes de problemas de calidad por medio de herramientas correctivas y equipos, según los requerimientos del cliente.

Los responsables de ello son las personas pertenecientes a los equipos específicos que prueban los defectos del producto.

Un ejemplo de QC en perforación, es el control de longitud de pozos, posterior a la implementación del diseño.

Los principios del control de la calidad son los siguientes:

- Cumplimiento de los objetivos de la calidad dispuestos por la gerencia
- El control de la calidad debe ser una herramienta de reducción de costos
- El control de la calidad debe estar orientado a las acciones correctivas

Por otra parte, el Aseguramiento de Calidad (QA) es un set de actividades de gestión planificadas y sistemáticas, que permiten asegurar la calidad de los procesos, mediante la prevención de defectos [4]. Por tanto, es un proceso de carácter proactivo.

Ésta busca mejorar el desarrollo y pruebas de procesos, al establecer un sistema de gestión de calidad y la evaluación de su implementación.

Ejemplos de QA en la operación, son las verificaciones en terreno de procedimientos de perforación.

3 ANTECEDENTES DE OPERACIÓN LOS BRONCES

3.1 Operación Los Bronces

Mina Los Bronces se encuentra ubicada en la Región Metropolitana, a 65 kilómetros de Santiago y entre 3.500 y 4.000 metros sobre el nivel del mar. Sus coordenadas geográficas son 33° 01' latitud Sur y 70° 18' longitud Oeste.



Ilustración 4: Vista satelital mina Los Bronces - Fuente: Google Earth

El acceso se realiza desde el Retén de las Puertas en el Arrayán, Comuna de Las Condes, por un camino en buen estado, transitable durante todo el año.

Los Bronces es una mina de cobre y molibdeno que se explota a rajo abierto. El Movimiento Mina en lo que va del año 2014 es de 500.000 tpd aproximadamente.

El mineral que se extrae es molido y transportado por un mineroducto de 56 kilómetros a la planta de flotación Las Tórtolas, en la que se produce cobre y molibdeno contenido en concentrados. Además, en la mina se produce cobre en cátodos.

En 2013 produjo 416.300 toneladas de cobre fino, entre cátodos de alta pureza y cobre contenido en concentrado, además de 3.344 toneladas de molibdeno contenido en concentrado. [5]

3.2 Geología del yacimiento

El yacimiento consiste de un sistema de tipo Pórfido Cuprífero que cubre un área aproximada de 12 Km², en el que posteriormente se emplazan varias brechas hidrotermales, dispuestas en un cuerpo tubular de dirección general N-S.

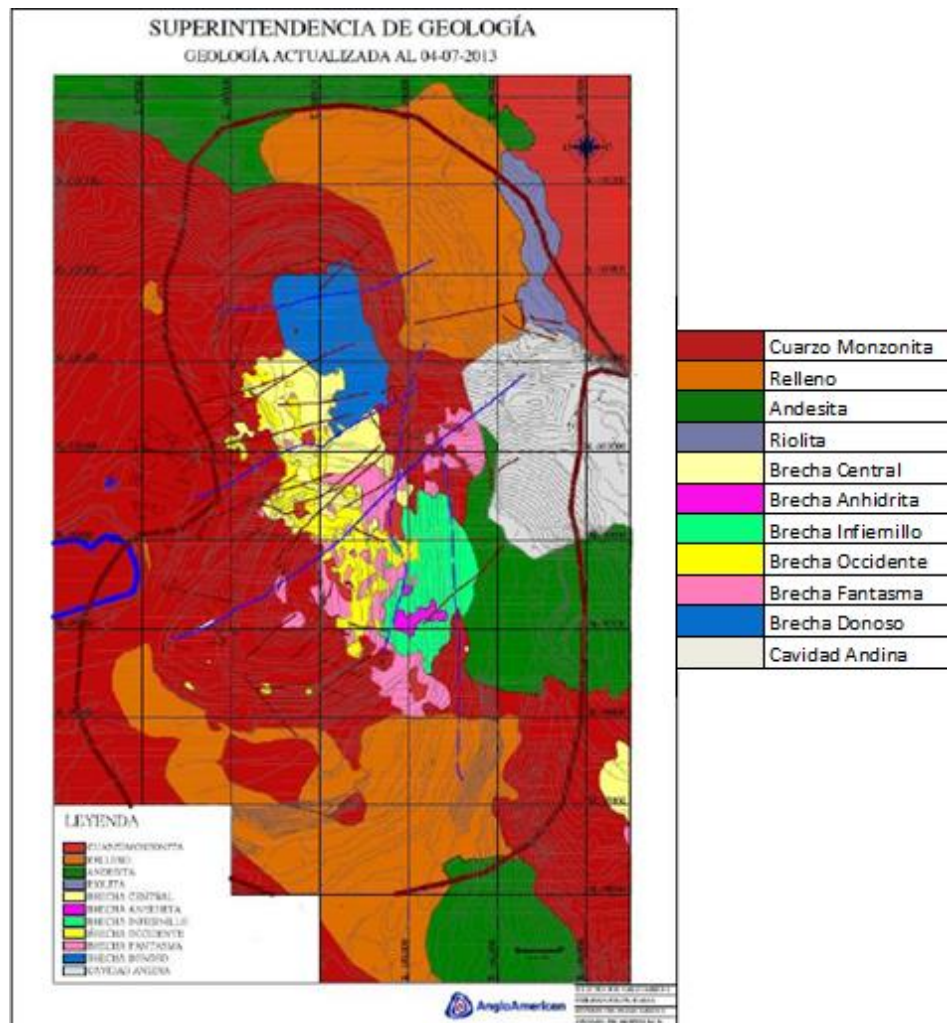


Ilustración 5: Unidades geológicas de Los Bronces

El Pórfido Cuprífero presenta la zonación típica tanto en la alteración como mineralización, con su centro ubicado en el área de la mina Río Blanco, distante 1 Km hacia el E-N.

En el sector de Los Bronces, la mineralización es diseminada, en tanto que en el sector Este se presenta en vetillas. La diseminación disminuye rápidamente hacia el Oeste y la alteración principal en el área del yacimiento es de tipo Cuarzo-sericítica.

Cada brecha presenta sus propias características en cuanto a volumen, forma, matriz, clastos y tipo de mineralización, siendo la composición y características de la matriz, los factores principales para la clasificación de las brechas[5].

3.3 Descripción proceso de perforación en operación Los Bronces

Para poder analizar las distintas problemáticas que dan origen a esta investigación, se requiere visualizar el proceso de perforación de forma general, identificando los proveedores, clientes y sus respectivas entradas y salidas. Cabe mencionar que el análisis se basará en las interacciones directas e indirectas con el proceso de perforación.

3.3.1 Análisis PEPSC

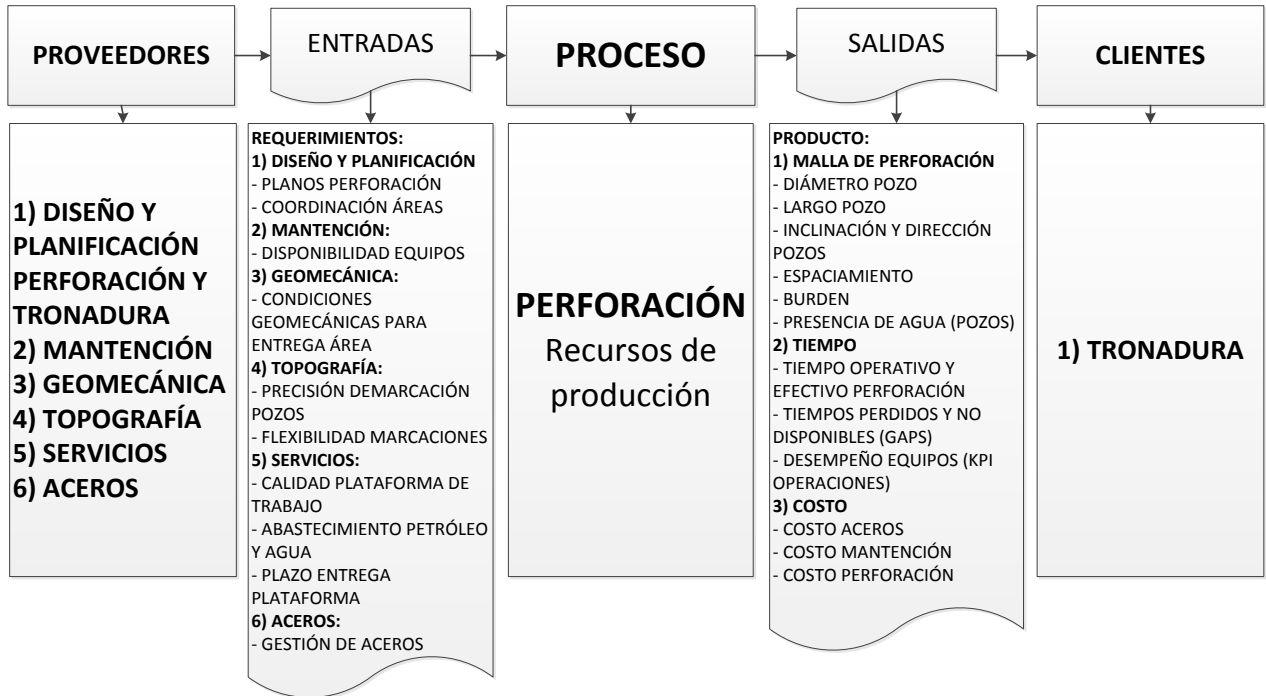


Ilustración 6: Análisis PEPSC

Proveedores:

- Diseño y planificación: es el área de diseño y planificación de la perforación de Anglo American que provee la información necesaria para ejecutar las labores, según la planificación diaria, semanal y mensual (genera planos de perforación). Además, puede realizar correcciones al programa y retroalimentar a la perforación, revisando su impacto en la tronadura.
- Mantenión: su principal función es realizar reparaciones (mecánicas, eléctricas, etc.), mantenciones preventivas y ajustes a las perforadoras, permitiendo que los equipos estén disponibles para las labores programadas. Anglo American la administra.
- Geomecánica: también administrada por Anglo American, tiene como función revisar las condiciones geomecánicas de las áreas de trabajo, asegurando una operación continua y minimizando riesgos. Por lo tanto, revisa la labor de servicios en la plataforma y banco, de

manera de asegurar las condiciones estándares necesarias para autorizar la entrega del área a topografía.

- d) Topografía: área encargada del levantamiento topográfico de plataforma y de la demarcación de pozos previo a la perforación. Labor clave en la correcta implementación del diseño de perforación en terreno.
- e) Servicios: la Superintendencia de Servicios de Anglo American provee las condiciones óptimas de plataforma para la perforación. Realiza trabajos en el área de perforación para permitir una operación segura y continua.
- f) Aceros: área que provee de aceros para la perforación (triconos, barras, etc.).

Cientes:

- a) Tronadura: desde el punto de vista de la perforación, esta área es su cliente directo y la administra Anglo American. En primer lugar este proceso se preocupa de que la malla de perforación sea de calidad y para lo cual mensura los pozos perforados corroborando su longitud, diámetro, etc. De esta manera entrega la retroalimentación necesaria para corregir pozos o avalar el cumplimiento de diseño. Posteriormente, se da paso a las labores de tronadura, donde define las secuencias de detonación según la información de estructuras, litologías y otras condiciones operacionales de la mina.

Entradas:

- a) Diseño y planificación de la perforación:
 - Planificar la perforación: entrega el plan diario, semanal y mensual, con la información requerida para la ejecución de perforación.
 - Coordinar las distintas áreas en pos del cumplimiento del programa.
- b) Mantenimiento:
 - Asegura la disponibilidad de equipos para evitar retrasos en el programa.
- c) Geomecánica:
 - Define condiciones de estabilidad del sector para un trabajo seguro.
 - Entrega el área a Topografía.
- d) Topografía:
 - Precisión Demarcación Pozos.
 - Flexibilidad marcas topográficas.
- e) Servicios:
 - Calidad plataforma de trabajo.
 - Plazo entrega plataforma.
 - Abastecimiento de agua y petróleo (empresa contratista).
- f) Aceros:
 - Asistencia oportuna para reponer aceros defectuosos o dañados.
 - Registro información de aceros.

Salidas:

- a) Correcta ejecución del diseño: se determina el producto de perforación (a evaluar por el cliente) según los siguientes parámetros:
 - Diámetro pozo
 - Longitud pozo
 - Inclinación y dirección pozos
 - Espaciamiento y Burden
 - Presencia de agua en pozos
- b) Plazo de entrega de la malla de perforación: esto dependerá de los distintos indicadores de desempeño y de que cada actividad no exceda su duración estimada.
 - Tiempo operativo y efectivo de perforación (*ver sección 4.3.1*)
 - Tiempos perdidos y no disponibles (*ver sección 3.4.2 Modelo de Tiempos Anglo American*)
 - Indicadores clave de desempeño (KPI) operación:
 - Uso de disponibilidad física
 - Eficiencia
 - Utilización efectiva
 - Rendimiento operativo
 - Rendimiento efectivo
- c) Costos de perforación: fundamentales a la hora de medir la competitividad de la compañía en esta área.
 - Costos totales de perforación:
 - Costos aceros: determinado a partir de rendimientos y metros perforados (registro de aceros).
 - Costos mantención
 - Otros costos de perforación

3.3.2 Recursos de producción de la perforación

En el siguiente esquema se muestran los recursos del proceso de perforación en Los Bronces:

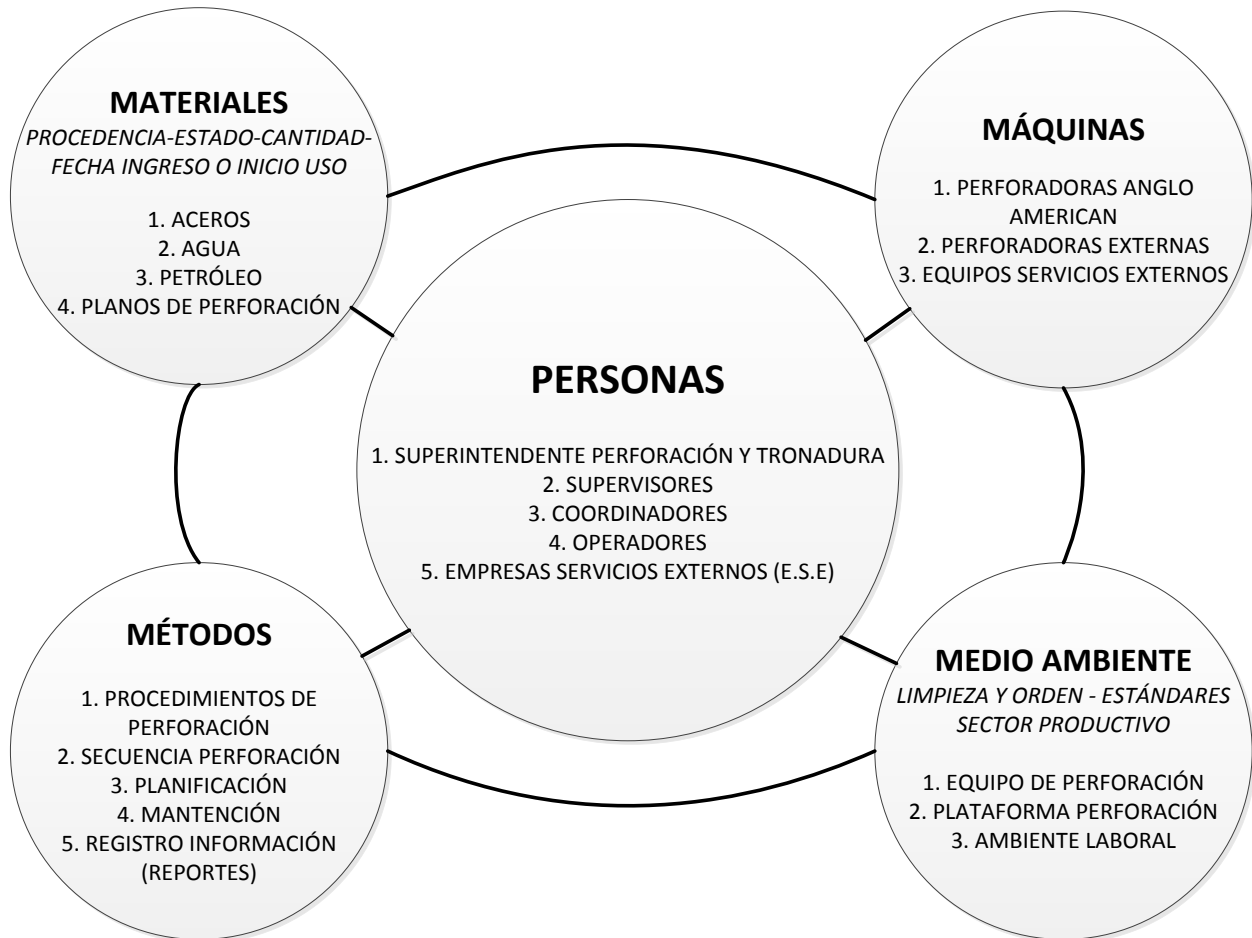


Ilustración 7: Recursos de producción de la producción

Al analizar los recursos de un proceso, también se puede considerar la medición y la gestión. Sin embargo, para efectos de esta investigación, serán descritos en la sección donde se detalla el sistema de gestión (*ver capítulo 5 SISTEMA DE GESTIÓN*). El análisis anterior da cuenta de ciertos puntos relevantes a considerar para la creación del sistema de gestión.

La definición de actividades claves permite enfocar la gestión de la Superintendencia de perforación y tronadura, donde la revisión de tiempos operacionales (mediante el estudio de reportes de perforistas), proporciona información relevante para identificar las principales interferencias operacionales del proceso.

La primera actividad corresponde al control de estándares de la plataforma de perforación. En ella se detectan retrasos importantes en la entrega de la superficie de trabajo, costos adicionales

en saneamiento por tronaduras no óptimas y no conformes a la implementación de los parámetros de diseño de la malla de perforación (burden, espaciamiento y coordenadas).

Por otra parte, el marcaje topográfico presenta ciertas deficiencias que no aseguran una perforación precisa. Sin embargo, se sigue utilizando debido a la ausencia de un sistema de GPS operativo en las perforadoras. Este procedimiento ha presentado retrasos en sus labores tanto por interferencias propias de la empresa externa, como por demoras en los trabajos del Departamento de Servicios. Las principales causas detectadas son las siguientes: derrames sin limpiar y/o superficie no estandarizadas; armado de camellón que estorba labores, tránsito no estandarizado de equipos dentro de la malla de perforación; retrasos de carguío y en la entrega de la información de Despacho.

Por el lado de la ejecución de la perforación se estudian 3 actividades, donde la primera se relaciona con los tiempos operacionales. Se detectan allí oportunidades importantes que podrían favorecer incluso la coordinación y desempeño de otros procesos. Bajo este ámbito se puede optimizar el rendimiento de velocidades y controlar el desempeño de operadores, grupo de operadores y de los mismos equipos. Además, se recopila información de utilidad para la gestión de tiempos perdidos y operativos. Los llamados GAPS permiten identificar los principales “cuellos de botella” de la operación.

En cuanto al control de longitud de los pozos, ésta ha sido gestionada desde principios de año para reducir la cantidad de no conformidades en la ejecución del diseño de perforación: sobre-perforaciones y sub-perforaciones. A pesar de ello, siguen encontrándose oportunidades, pero controlarlo no es trivial; depende muchos factores tales como: la técnica y experiencia del operador, la planificación y la coordinación de todo el personal de la Superintendencia. Esto justifica la idea de elaborar un sistema de gestión que permita modificar las conductas operacionales. Tarea que no es sencilla pues implica un planeamiento sistemático, capacitación, y mejoramiento continuo que proporcione un cambio real hacia la cultura de excelencia.

Finalmente, la gestión de aceros, un tema no menor pues abarca un alto porcentaje de los gastos de la Superintendencia. Ésta requiere un control y estudio adicional por el tema de desgastes, mejoramiento de inputs de perforación y un método para revisar los estados de pagos e información entregada por la empresa de servicios; todo esto en pos de la reducción de costos.

3.3.3 Organigrama general Superintendencia

La organización de la Superintendencia de perforación y tronadura en Los Bronces se conforma de la siguiente manera:

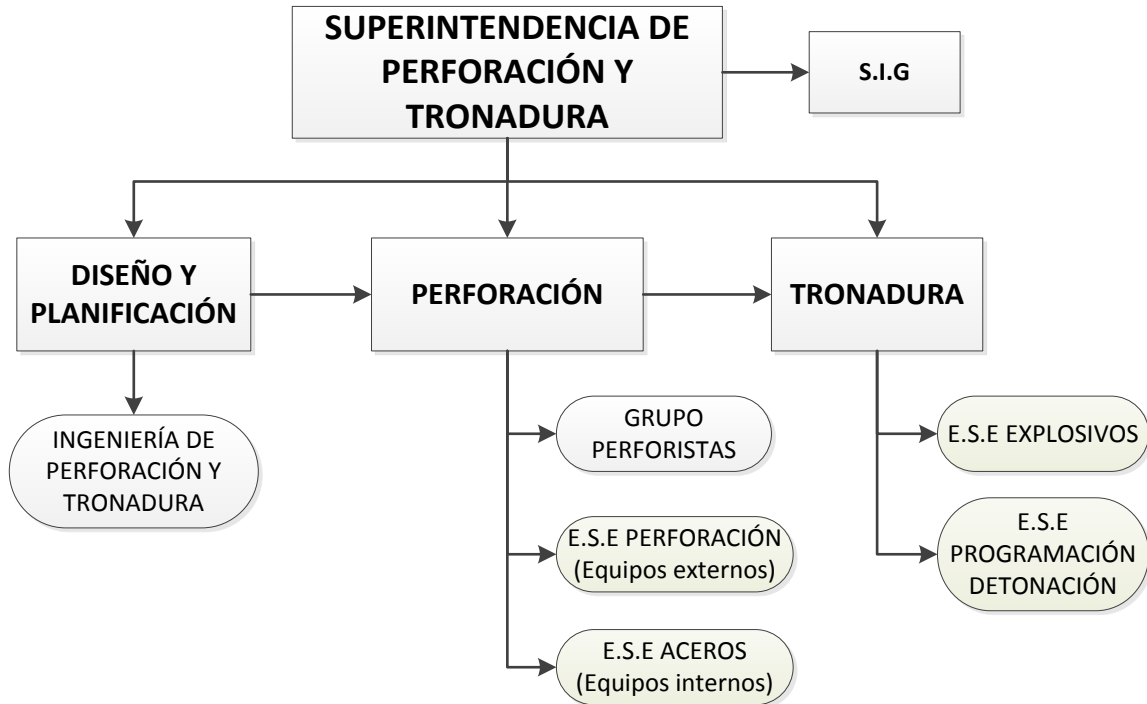


Ilustración 8: Organigrama general Superintendencia perforación y tronadura

El S.I.G corresponde al “Sistema Integrado de Gestión”, a cargo de una persona interna de Anglo American que asesora en la prevención de riesgos tanto a las empresas externas como a los operadores de perforadoras. Además, realiza capacitaciones a los perforistas y se preocupa de apoyar a los con menor experiencia.

Por otra parte existen 4 empresas colaboradoras, las E.S.E o “Empresas de Servicios Externos”. Éstas ejercen, en algunos casos, la función de proveedores del proceso (aceros, explosivos) y en otros, realizan labores de ejecución (perforación con equipos externos, programación detonadores y carguío de explosivos).

3.3.4 Equipos de perforación

Los equipos internos de Anglo American, pertenecientes al proceso de perforación, son operados por perforistas y gestionados por coordinadores y jefes de turno; con el apoyo de una empresa externa proveedora de aceros, como se puede apreciar en la *Ilustración 8*.

En la *Tabla 2*, se resume la información acerca de la totalidad de equipos de perforación en operación Los Bronces.

Cabe mencionar que el presente estudio abarca solamente los equipos de perforación internos de Anglo American.

Tabla 2: Equipos de perforación Anglo American

Flota Perforación	Motor	Marca	Modelo	Código
Anglo American	Eléctrico	Bucyrus - Caterpillar	HR49	PEB05
			HR59	PEB08
			HR49-R2	PEB09
				PEB10
	Diésel	Pit Viper - Atlas Copco	PV 271	PPV01
			PV 351	PPV02
				PPV03
				PPV04
				PPV05
				PPV06
Servicio externo	Diésel	Sandvik	DK32	
			DK33	
		Atlas Copco	ROC15	
			ROC16	
			ROC17	
			ROC19	
			ROC20	



Ilustración 9: Perforadoras Pit Viper 4 (amarilla) y Bucyrus PEB 8 y 10 (naranja)

En la próxima sección se describirán los pasos a seguir, las decisiones que toman los operadores diariamente, así como también la información requerida y que se entrega durante el proceso de perforación (*ver Ilustración 10*).

3.3.5 Proceso de perforación

El proceso de perforación lo realizan los operadores, quienes son informados diariamente de sus labores por su contra turno y el coordinador de grupo de operadores que les corresponde.

A continuación un diagrama de flujo con el procedimiento de los operadores que describe el proceso operacional completo:

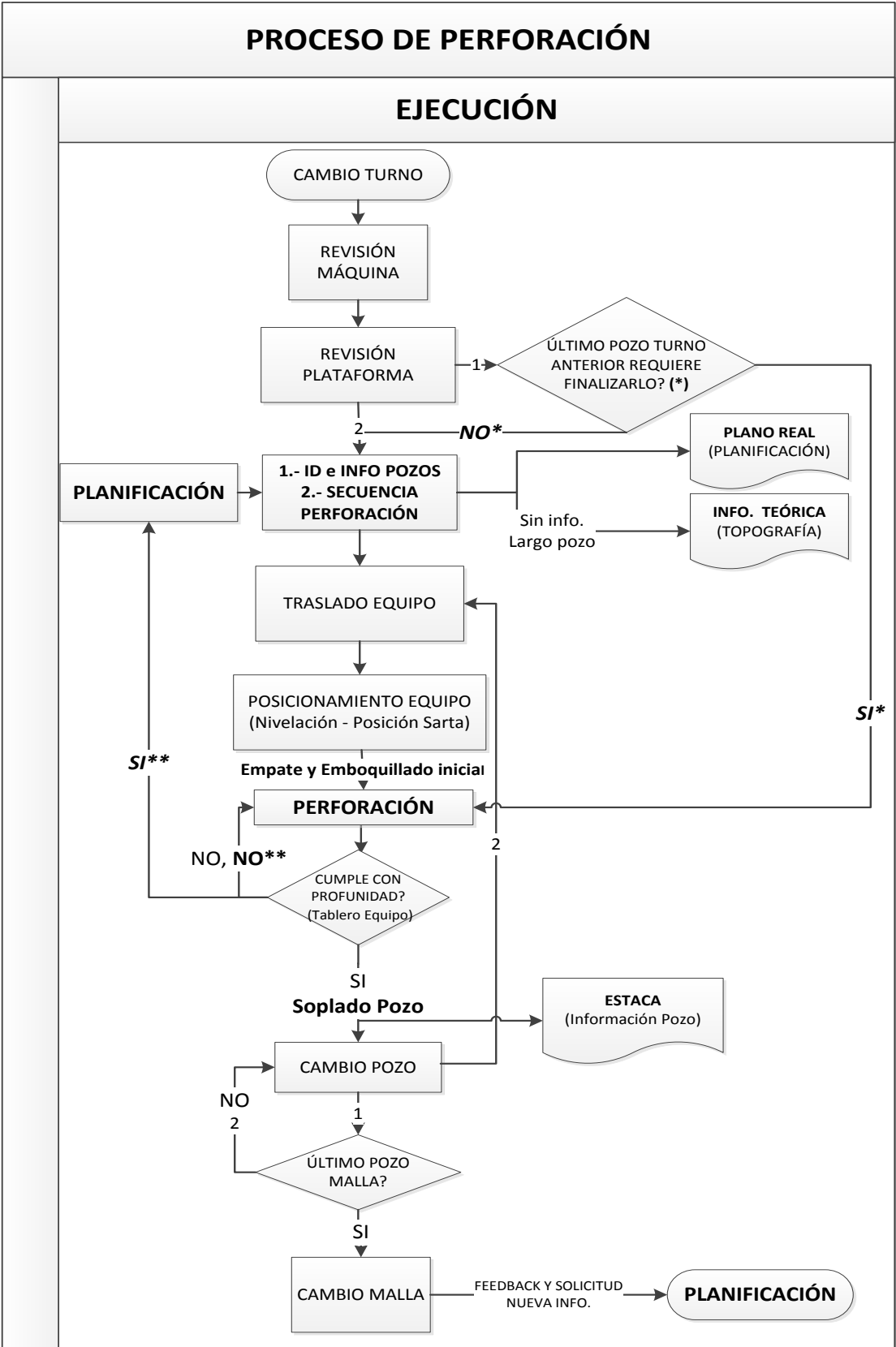


Ilustración 10: Diagrama proceso general de ejecución perforación

3.4 Estándares actuales de perforación

3.4.1 Estándares de seguridad

3.4.1.1 Identificación y evaluación de riesgos en las actividades de perforación

En la *Tabla 3*: se exponen las tareas que se realizan antes y durante el proceso de perforación. Además, se muestran algunos ejemplos de eventos no deseados y sus respectivas medidas de control.

Tabla 3: Tareas en perforación - ejemplos de eventos no deseados y medidas de control

Tareas en perforación	Evento no deseado	Medidas de control
Traslado a plataforma de perforación	Colisión	Estar autorizado y poseer las competencias exigidas para conducir en el área mina rajo
Revisión plataforma	Choque	Cumplir y respetar reglamento de tránsito interior mina rajo
Revisión perforadora	Atropellamiento	Realizar chequeo del vehículo antes de utilizarlo (AFRS)
Traslado perforadora entre pozos	Desbarrancamiento	Aplicar técnicas de manejo a la defensiva en todo momento
Traslado perforadora en interior rajo mina	Golpeado por caídas de rocas por transitar cerca de pared de banco	Evaluar condición de pared de talud, previo al inicio del trabajo
Perforación	Caída mismo nivel por hielo o superficie de trabajo irregular	Mantener control de la superficie y estar atento a condiciones del entorno. Prohibición de correr y hablar por teléfono celular
Abastecimiento de agua, combustible y aceros de perforación	Exposición a altura geográfica	Mantener 100% del personal de P&T con exámenes vigentes
Cambio de aceros y accesorios de perforación	Exposición a sílice	Dar a conocer los riesgos de sílice a personal de P&T

3.4.2 Modelo de Tiempos Anglo American

El Modelo de Tiempos de Anglo American sea crea con el objeto de estandarizar los modelos de tiempo de todas las operaciones. Ello permite calcular indicadores de desempeño que estudia el área de Despacho mina. A continuación se muestra un desglose de sus clases:

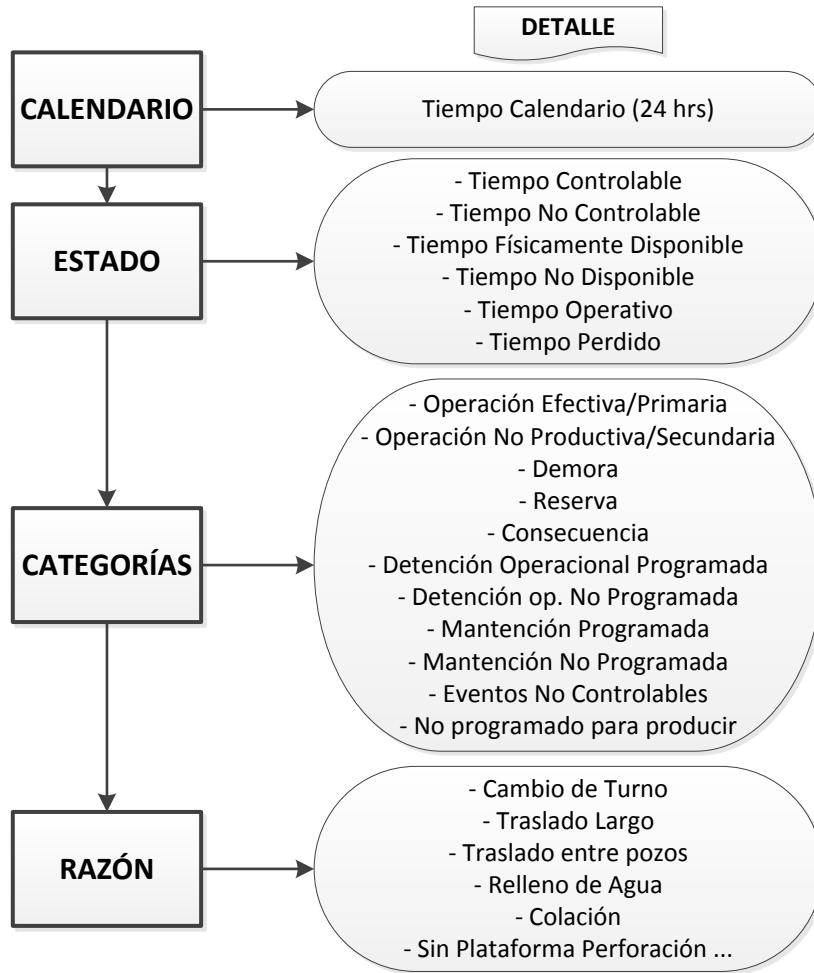


Ilustración 11: Fundamentos Modelo de Tiempos de Anglo American

Se puede apreciar cómo se agrupan las categorías del Modelo de Tiempos en la *Tabla 4*:

Tabla 4: Distribución de categorías de tiempo

Tiempo total calendario (0)										
Tiempo controlable (0.1)								Tiempo no controlable (0.2)		
Tiempo físicamente disponible (0.1.1)					Tiempo no disponible (0.1.2)					
Tiempo Operativo (*)		Tiempo perdido (**)								
Operación efectiva / primaria (1)	Operación no productiva / secundaria (2)	Demora (3)	Reserva (4)	Consecuencia (5)	Detención operacional programada (6)	Detención operacional no programada (7)	Mantenimiento programada (8)	Mantenimiento no programada (9)	Evento no controlable (10)	No programado para producir (11)

En el *Anexo E. Modelo de Tiempos*: diagrama de flujo de decisión, se muestra el diagrama de flujo de decisiones del modelo de tiempos es decir, la forma correcta de asignar estados, categorías y razones. En la *Tabla 5* se encuentra la descripción de cada categoría y sus códigos respectivos:

Tabla 5: Conceptos de categorías de tiempo

Categorías		Nº	Descripción
Tiempo disponible	Operación Efectiva/Primaria	1	Tiempo en el cual los equipos están operativos y siendo utilizados para Producción.
	Operación no productiva/Secundaria	2	Tiempo en el cual los equipos están operativos y realizando actividades no productivas o secundarias. Nota: considera las pérdidas operacionales inherentes al proceso.
	Demora	3	Tiempo que implica un retraso en la producción.
	Reserva	4	Tiempo asignado a equipos de repuesto. Inmediatamente disponibles para producción.
	Consecuencia	5	Tiempo de detención del equipo producto de eventos externos a él.
Tiempo no disponible	Detención operacional programada	6	Tiempo de detención programada causada o requerida por operaciones, que implica que los equipos queden inoperables
	Detención operacional no programada	7	Tiempo de detención no programada causada o requerida por operaciones, que implica que los equipos queden inoperables
	Mantenimiento programada	8	Tiempo producto de trabajos de mantenimiento incluidos en el plan de mantenimiento semanal confirmado. Nota: considera las PM's, inspecciones, Backlogs, Modificaciones y Continuidad de tareas.
	Mantenimiento no programada	9	Tiempo producto de trabajos de mantenimiento no incluidos en el plan de mantenimiento semanal confirmado.
Tiempo no controlable	Evento no controlable	10	Tiempo atribuible a factores externos y fuera de control de la operación que afecta a toda la operación.
	No programado para producir	11	Tiempo en el cual el equipo no está programado dentro del plan de producción.

3.4.3 Indicadores clave de desempeño actuales

Los indicadores actuales de desempeño se basan principalmente en disponibilidad, efectividad y rendimiento de equipos. En la *Tabla 6* se entrega el detalle de cada indicador y para calcular el valor de cada KPI, se utilizan los códigos de la *Tabla 4*:

Tabla 6: Indicadores clave de desempeño - KPI

	KPI	Abrev.	Descripción	Fórmula
Operación	Uso de Disponibilidad Física	UDF	Porcentaje del tiempo físicamente disponible en que el equipo se encuentra operativo	$(1) / (0.1.1)$
	Eficiencia	EF	Porcentaje del tiempo operativo en que el equipo opera de forma efectiva/primaria	$(1) / (*)$
	Utilización Efectiva	UE	Porcentaje del tiempo total calendario en que el equipo opera de forma efectiva/primaria	$(1) / (0)$
	Rendimiento Operativo	RO	Unidades de producción sobre el tiempo operativo	Unidades de producción / (*)
	Rendimiento Efectivo	RE	Unidades de producción sobre el tiempo de operación efectiva/primaria	Unidades de producción / (1)
	Efectividad General de los Equipos	OEE	Relación porcentual que mide la eficiencia productiva de un equipo o proceso, involucrando indicadores de utilización, rendimiento y calidad	$UE \cdot \frac{Producción\ real}{Producción\ objetivo} \cdot \frac{Calidad\ real}{Calidad\ objetivo}$

3.4.4 Descripción de las actividades involucradas con la perforación

A continuación se explican los inputs, procesos previos y el control actual de la perforación: es el cómo debería funcionar el proceso según la compañía. En el capítulo 4 *ANÁLISIS SITUACIÓN ACTUAL*, se revisarán los desvíos más importantes.

a) Diseño y planificación: plan diario, mensual y semanal de planificación.

Para el caso de la perforación, se entrega información con respecto a: KPI de perforación (*ver sección 3.4.3 Indicadores clave de desempeño actuales*), la preparación de cara, banco, secuencia y planificación de la perforación (mallas a perforar en un plazo definido).

El plan de perforación y tronadura elaborado por el área de diseño y planificación, se realiza diaria, semanal y mensualmente:

El plan diario se entrega todas las mañanas y se revisa en la reunión diaria con todo el equipo de perforación (8:00 am).

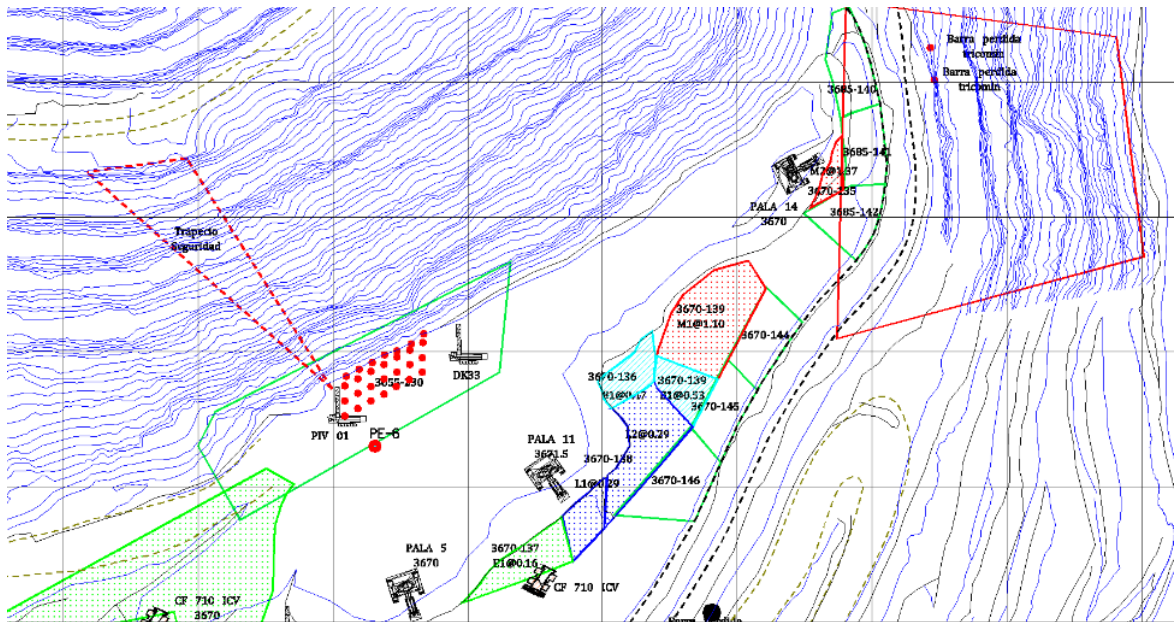


Ilustración 12: Plan diario perforación

En tanto el semanal, tiene un formato similar y enuncia también las labores de servicios para habilitar áreas de perforación. A continuación un ejemplo:

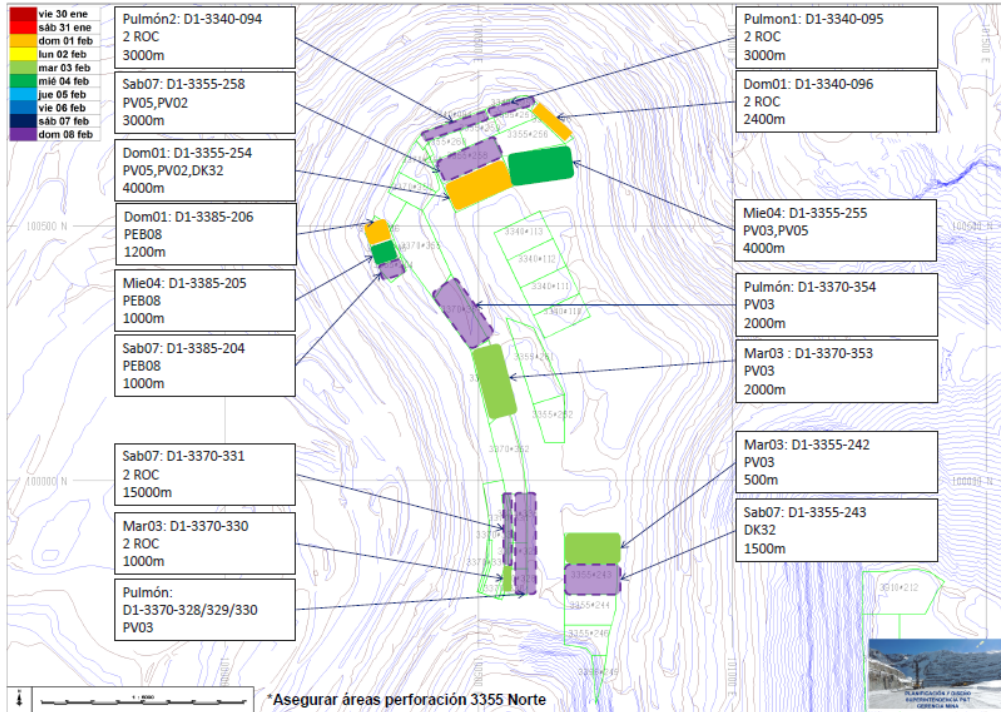


Ilustración 13: Plan semanal perforación

El plan mensual se entrega vía mail a todo el equipo y se aprecian los polígonos planificados para perforar dentro del mes. Se explica en detalle en reunión interna mensual.

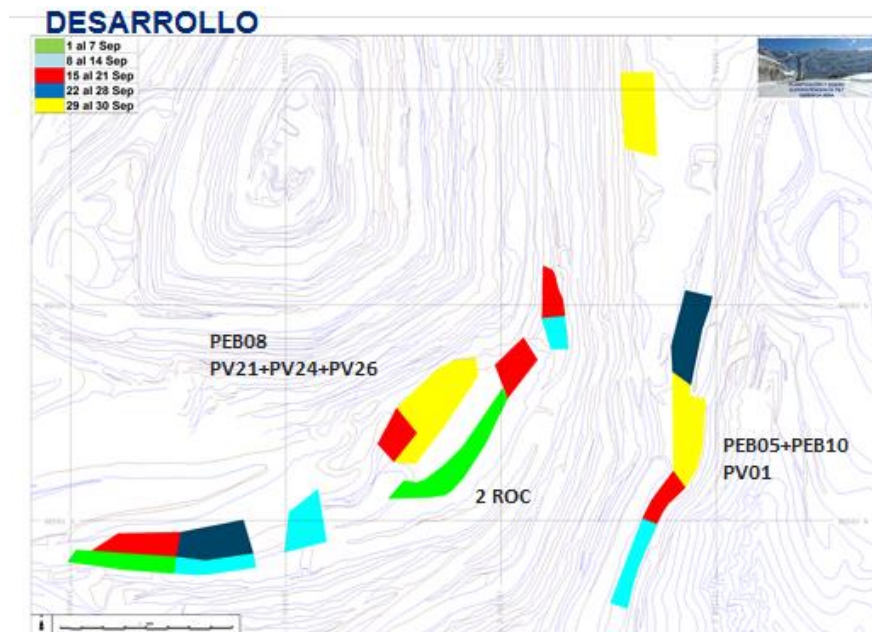


Ilustración 14: Planificación mensual perforación

b) Preparación Plataforma

La preparación cara/banco o plataforma de perforación, debe cumplir con ciertos estándares que son revisados por los operadores del área. En las tronaduras de contorno, los encargados de aprobar el traspaso de área a perforación es topografía, quién ingresa al área previa autorización del Departamento de Geomecánica. La planificación de la preparación de plataforma es fundamental para cumplir con los plazos de ejecución de la perforación.

Este se realiza mediante el chequeo de plataforma (*ver Ilustración 10*), cercano al inicio de turno, según la *Tabla 7*, que se encuentra al reverso del reporte actual de perforación (*ver Ilustración 64 en Anexos*).

Las labores de recuperación de los estándares de la superficie de trabajo, las realiza el área de Servicios de Anglo American y es evaluada por la empresa colaboradora encargada del marcaje, la cual no da inicio a su labor hasta que se logren las condiciones esperadas.

Tabla 7: Estándar plataforma perforación, al reverso de reporte de perforación

LISTADO VERIFICACIÓN DE RECEPCIÓN DE PLATAFORMA DE PERFORACIÓN								
FASE		BANCO		DISPARO		OBSERVACIONES	SI	NO
CUMPLE		ACEPTABILIDAD MÍNIMA: ITEMS 1,2,3,6,9.-						
OBSERVACIONES								
1. ACCESOS A PLATAFORMA (ANCHO>10 METROS, PENDIENTES<15%, BERMA DE 0.6 METROS ALTO Y PERFILADO)								
2. ANCHO MÍNIMO PLATAFORMA SEGÚN EQUIPO: (30 METROS PARA PERFORADORAS DE PRODUCCIÓN)								
3. BERMA DE SEGURIDAD CRESTA BANCO (0.6 METROS)								
4. CIERRE PERIMETRAL (CORDÓN DE SEGURIDAD CON 2 VENTANAS DE ACCESOS PARA EQUIPOS DE ABASTECIMIENTO Y TRONADURA)								
5. NIVELACIÓN (+/- 0.5 METROS DE COTA DE BANCO)								
6. SUPERFICIE DE TRABAJO SEGURO (PERFILADO)								
7. CRESTA DE BORDE DE BANCO SEGURA (MATERIAL DE SOPORTE O SANEADO)								
8. UBICACIÓN DE CABLES (EN FUNCIÓN DEL DESPLAZAMIENTO DE LOS EQUIPOS)								
9. LETRERO DE INGRESO								
10. LETRERO DE ZONA RESTRINGIDA								
11. REVISIÓN TERRENO POR GEOMECÁNICO (SI LO AMERITA)		NOMBRE Y FIRMA GEOMECÁNICO				NOMBRE Y FIRMA COORD. PERFO.		

c) Marcaje topográfico

El procedimiento que se realiza es el siguiente:

- Se recibe el diseño de la malla de perforación por parte de la empresa que programa la tronadura.
- Cargar libreta de GPS (coordenadas pozos) según la información anterior.
- Se replantean en terreno las coordenadas, realizando marcas dependiendo si están las condiciones estándar de plataforma.
- El marcaje se realiza mediante GPS y se deja una roca pintada de rojo en la ubicación del pozo.

En las labores de marcaje, se requieren las siguientes herramientas e inputs:

- Sistema GPS (equipo topográfico)
- Pintura
- Roca a pintar (obtenida de la misma malla de perforación)



Ilustración 15: Roca de marcaje

- Banderas (*ver Tabla 8*).
- Reporte diario fotográfico (control interno de la empresa de servicios topográficos).
- Plástico verde (“paloma” o información topográfica por pozo, *ver Ilustración 18*).

El procedimiento está a cargo de 2 personas y el rango promedio de tiempos en marcar 50 pozos es de 20-25 minutos.

Al finalizar las labores diarias, se entrega un informe a la Superintendencia de perforación y tronadura con los avances realizados. A continuación se muestra un ejemplo del reporte:

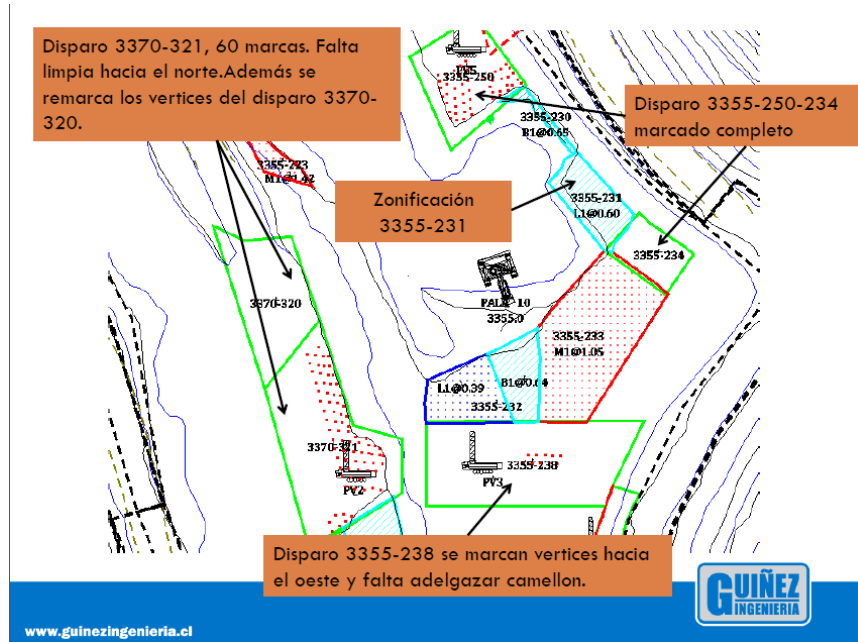


Ilustración 16: Ejemplo reporte marcación topográfica

Para conocimiento de otras áreas, topografía entrega una tarjeta, la cual indica qué representa cada color de las banderas colocadas en terreno. El detalle a continuación en la *Tabla 8*.

Tabla 8: Tarjeta de identificación banderas topografía (réplica)

ITEM A IDENTIFICAR	COLOR BANDERA	
Marcación para identificación de pozos con número de disparo, número de pozos, profundidad de pozo.	Verde	
Marcación material tronado y separación de disparos tronados (incluye monos límites).	Amarillo	
Marcación de inicio y fin de rampas.	Amarillo Rojo	Amarillo+Rojo
Marcación de BACKUP.	Verde Rojo (nota)	Verde+Rojo (nota)
Marcación de zonas de seguridad, galerías, piques, caserones.	Azul Rojo (nota)	Azul+Rojo (nota)
Marcación de pozos en galerías	Celeste	
Marcación de pozos de auscultación	Celeste+Verde	Celeste+Verde

d) Inputs ejecución perforación

Para ejecutar la perforación se requiere definir las características de cada pozo y la malla respectiva. La información es elaborada por el área de diseño y planificación, y entrega los siguientes parámetros:

- **Definición dominio tronadura:**
 - Diámetro Pozo
 - Profundidad o largo pozo
 - Espaciamiento
 - Burden

En la *Ilustración 17* se observa un ejemplo del plano de perforación. Contiene el polígono o malla de perforación, tabla de inputs y en la parte superior izquierda, la escala y dirección Norte. Éste se entrega a los operadores y es la principal guía para la ejecución dado que no se encuentra operativo el sistema GPS de las perforadoras.

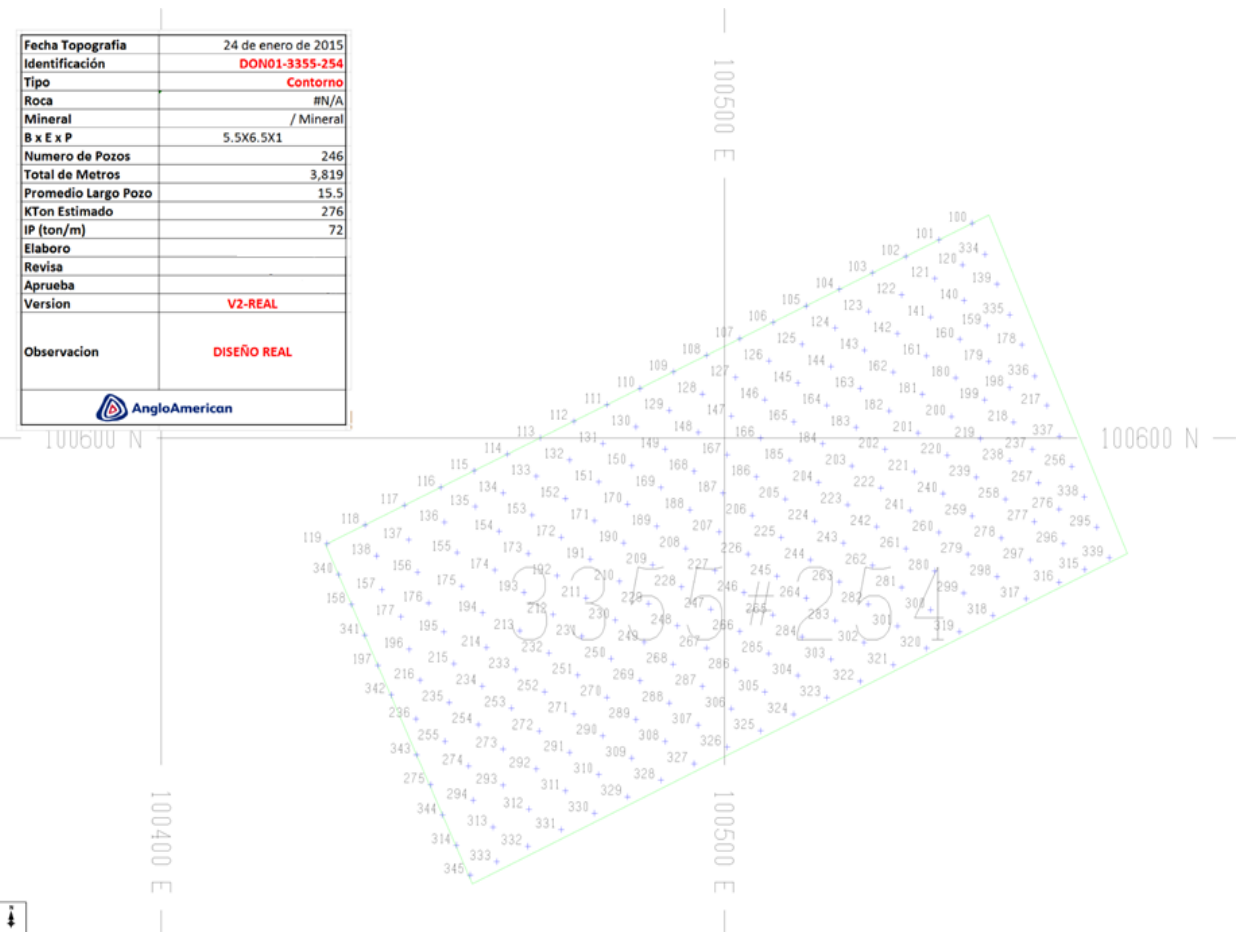


Ilustración 17: Ejemplo plano de perforación

En la *Tabla 9* se resumen los datos entregados a los operadores (tabla dentro del plano de perforación):

Tabla 9: Inputs plano perforación

Fecha Topografía	Ejemplo: "29 de Septiembre de 2014"
Identificación	"FASE"- "COTA"- "N°DISPARO"
Tipo	Precorte (doble/simple), producción, contorno, rampa, hundimiento, auscultación y combinaciones
Roca	"TIPO DE ROCA" / "DUREZA: dura, media, blanda"
Mineral	Mineral/Lix/Estéril
B x E x P	Burden, espaciamiento y pasadura en metros
Número de Pozos	Ejemplo: "60"
Total de Metros	Ejemplo: "800" metros
Promedio Largo Pozo	Ejemplo: "16" metros
Kton Estimado	Tonelaje total malla en [Kton]
IP (ton/m)	Índice de perforación: tonelaje total malla [ton] / Suma metros perforados, malla [m]
Elaborador	"(Ingeniero planificación tronadura – empresa colaboradora)"
Revisor	"(Ingeniero de planificación y diseño de perforación y tronadura - Anglo American)"
Aprueba	"(Superintendente perforación y tronadura - Anglo American)"
Versión	Plano teórico o real
Observación	Tricono propuesto: código RB-"Número de 2 dígitos" (3 tipos de tricono disponibles)

La clasificación de dureza por tipo de roca se realiza actualmente según la resistencia a la compresión uniaxial de la roca UCS:

1. Dura: mayor a 110 [MPa].
2. Media: mayor o igual a 100 y menor o igual a 110 [MPa].
3. Blanda: menor a 100 [Mpa].

El parámetro IP o “índice de perforación”, entrega un nuevo control de diseño. Su valor debiese estar dentro de un rango, por ejemplo, índices cercanos a 150 (ajustable a condiciones de la operación).

Por otra parte, como se indica en la *Tabla 9*, la versión del plano puede ser real o teórica. Se diferencian en que la real contiene al reverso la profundidad de los pozos, incluyendo la pasadura. En cambio, la teórica no tiene esa información y topografía se encarga de corregir la cota real e indica en un plástico verde (conocida como “paloma”) la información: largo de cada pozo, cota, número de disparo y de pozo. Es decir, si la versión del plano es “Teórica” (ver *Ilustración 18*), ese plástico contiene la cota, el número de disparo, número de pozo.

Existen dos razones que explican el por qué existen ambas versiones. Una de ellas es que se utiliza como control para que topografía verifique en terreno las profundidades de pozos, para los casos de precorte o cuando se presenta una malla sobre relleno. La otra razón es por temas de falta de recursos (diseñadores). El área de ingeniería de la empresa, colaboradora de programación de la tronadura, realiza varias labores, y en algunos casos no dan abasto para agregar los largos de los pozos en los planos. En el *capítulo 6 ESTIMACIÓN DEL BENEFICIO ECONÓMICO*

ASOCIADO A LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN (CON QA/QC) se explica cómo se estima la frecuencia de planos teóricos versus los reales.



Ilustración 18: Información topográfica por pozo - plano teórico

Otro aspecto importante es el documento que genera planificación de perforación y tronadura, posterior a la revisión de mensura de largo de pozos que realiza la empresa de servicios de explosivos. Lo prepara la empresa contratista que programa la tronadura y se denomina “OT” u “Orden de Trabajo”. En ella se describen las recomendaciones e inputs recopilados para el diseño de la tronadura, corrigiendo el plano según sea el caso, en base la información final de los pozos perforados. La autoriza el jefe de planificación y diseño de perforación y tronadura de Anglo American. Respaldo el documento con su firma, se da inicio al proceso de tronadura.

3.4.4.5 Evaluación de la perforación: tronadura

La evaluación de la implementación del diseño de perforación, como se mencionó anteriormente, queda a cargo de la empresa de explosivos, la cual mediante mensura corrobora la longitud de los pozos de perforación.

En la *Ilustración 19* se puede apreciar la corrección manual entregada al área de diseño y planificación. Con ello se retroalimenta el desempeño de los operadores:

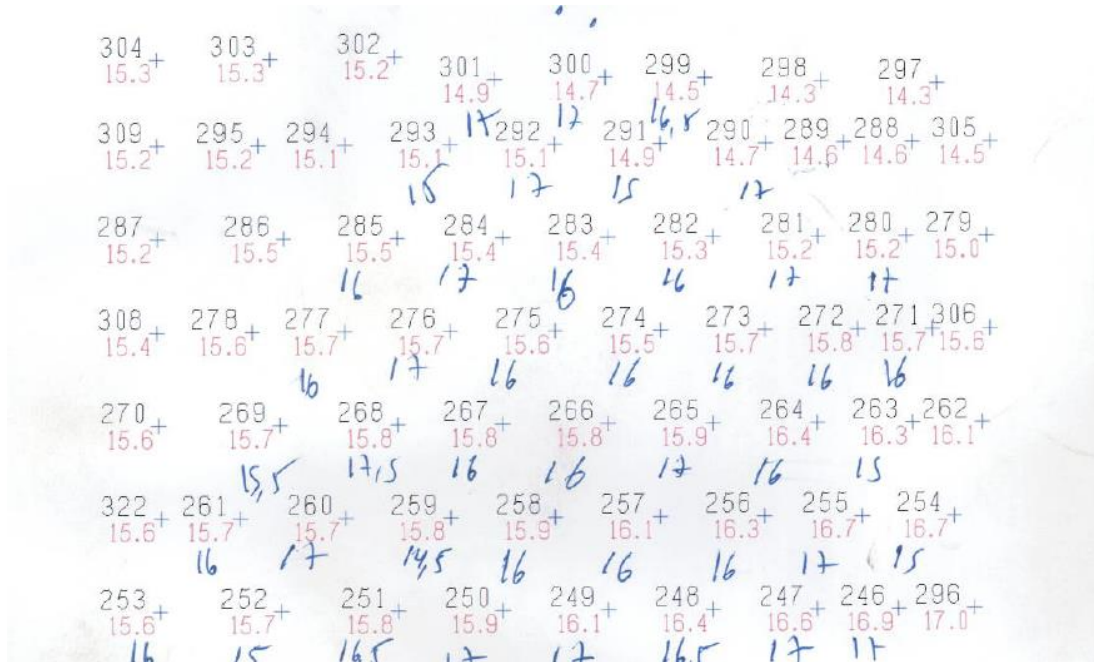


Ilustración 19: Correcciones de mensura - revisión de longitud de pozos

Se recomienda la mensura por parte de los operadores, previo a la entrega del área a tronadura, pero no existe un control que asegure esa medición.

Las variables para evaluar los resultados de la tronadura y que también responsabiliza a la perforación, son las siguientes:

- Fragmentación: mediante el análisis de P80 (software Split). A cargo de la empresa de servicios que programa la detonación.
- Logro de la línea de programa del banco: cumplimiento de línea de diseño (cresta y pata).
- Ausencia sobre-piso en disparo de producción: material remanente por sobre la superficie planificada post-tronadura.
- Ausencia de sobre-excavación de piso del disparo de producción: material remanente en la superficie post-tronadura.
- Ausencia sobre-tamaños: granulometrías gruesas.

3.5 Estándar de la perforación (guía operacional)

Para que el proceso de perforación sea de excelencia, se deben considerar ciertos temas para la creación de nuevos KPI en la operación. Muchos de ellos no serán estudiados en detalle en esta investigación, pero sin duda podrán ser revisados posteriormente en caso de priorizar otras problemáticas.

La siguiente guía entregará información relevante para detectar los potenciales de mejoramiento de la perforación.

Estos nuevos estándares estarán contenidos en la primera etapa del sistema de gestión propuesto (*ver sección 5.1 Planificación de procesos*).

A continuación la “guía o sueño operacional” para la perforación descrita por el autor de esta investigación:

a) Seguridad:

- La administración y los operadores tienen completo conocimiento acerca de cada procedimiento y sus riesgos asociados.
- Se da a conocer oportunamente, cada acto o condición subestándar en la operación y se definen medidas correctivas en conjunto con los coordinadores y jefes de turno. Cualquier cambio al programa como consecuencia de algún plan de acción o nueva actividad, es informado a la administración.

b) Canales de información:

- La interacción y comunicación entre los distintos procesos involucrados en la operación, es ordenada y fluida.
- Comunicación fluida y de confianza entre la administración y los operadores. Existe liderazgo visible y apoyo continuo, fomentando el buen ambiente laboral y una implementación de excelencia del diseño de perforación.
- Las directrices para operar deben ser claras y simples. Cualquier cambio al programa inicial se argumenta, registra e informa oportunamente.
- El operador es capacitado previo a la implementación de cualquier medida correctiva, plan de acción o KPI.
- La información sobre procedimientos y detalles técnicos están disponibles en cada área de trabajo.
- El canal de información está siempre disponible y tiene definidas prioridades para cada tema, de manera de que se optimice el tiempo de respuesta.
- Registro completo, de calidad y con digitalización automática de datos operativos, para el análisis en tiempo real de procesos.
- Se dispone de un reporte de perforación completo, con inputs bien definidos, ajustados a las condiciones de la operación; y que además, permite comparar su información con la de Despacho, para una toma de decisiones acertada y oportuna.
- Flujo de información completa y de calidad entre operadores al inicio y final del turno. Se retroalimentan desempeños, se revisan medidas correctivas y se define en conjunto con el coordinador, la planificación diaria, incluyendo tiempos en revisiones iniciales, finales y controles de la calidad de la perforación.

- Se informa a todo el equipo acerca de los principales indicadores. Se reconoce a los mejores desempeños y se apoya a los que requieren nivelación.

c) Preparación de la plataforma:

- La operación define claramente y documenta la calidad exigida a un banco o cara debidamente preparados. Esta definición deberá incorporar la terminología para los requisitos de limpieza, el nivel, la cantidad máxima de relleno a utilizar y las calificaciones máximas longitudinales y transversales.
- Se revisa al inicio de cada turno el estándar de plataforma, exigiendo el cumplimiento de todas las consideraciones técnicas establecidas.
- Antes de iniciar la operación de preparación de la cara y banco, el área es inspeccionada para asegurar de que no haya un equipo trabajando por debajo de la cara o la cresta, y se examina el sector para garantizar que no haya anomalías geomecánicas. Cualquier singularidad debe ser inspeccionada por personal capacitado, para asegurar las labores.
- Se cumplen plazos de entrega de plataforma: el equipo requerido para la preparación de la cara y banco se debe programar con antelación para garantizar que el trabajo pueda llevarse a cabo de manera eficiente (a la hora programada). La operación asegura que la cara y banco estén disponibles para la perforación cuando sea necesario.

d) Perforación

- Se ejecuta la totalidad de los pozos a perforar en el plazo programado.
- La perforación de pozos cumple con el diseño establecido: la malla de perforación no tiene pozos largos, cortos, desviados y cumple con su ubicación y características predefinidas (burden y espaciamiento).
- Existe un control de sobre y sub-perforación: la operación tiene un procedimiento documentado para la medición de los barrenos, estipulando claramente lo que se va a medir, por quién y cuándo. La conciliación se llevará a cabo entre el patrón de perforación planificada y pozos perforados reales. Esta verificación deberá ser entregada al ingeniero tronador permitiendo que tenga el tiempo suficiente para ajustar los explosivos finales de carga de fondo y columna.
- Los equipos de perforación utilizan navegación satelital y garantizan la precisión del posicionamiento y perforación de barrenos. El sistema está disponible y es monitoreado continuamente.
- Panel de la perforadora operativo y funcionando óptimamente: ubicación de pozos, actualizados y con su malla correspondiente.
- Existe un control topográfico de lo real versus el diseño teórico.
- Se ejecutan las labores de perforación según los estándares establecidos: empate, emboquillado, soplado de pozos, correcto uso de rotación y empuje, etc.
- La operación tendrá un procedimiento documentado para la correcta colocación y el movimiento de equipos de perforación en y entre los bancos. Este procedimiento deberá basarse en los riesgos, garantizar la seguridad y ser de alta calidad.
- El operador utiliza los controles remotos para revisar la correcta implementación del diseño y evita condiciones de riesgo. De ser necesario, otro perforista colabora para dirigir maniobras, controlar tiempos y mejorar la precisión de la perforación.

- Proceso sin detenciones ni retrasos:
 - Se cumplen plazos programados para perforar.
 - Equipos disponibles para operar de forma óptima, sin detenciones no programadas (revisión de KPI actuales).
 - Control eficiente de ingreso al área: se programa el ingreso de vehículos externos a la perforación. Se definen sectores de circulación y se controla el ingreso vía radio.
 - Se registran y controlan los tiempos de perforación efectivos y operativos.
 - Se registra y controla diariamente el desgaste de aceros.
 - Se registran y controlan los tiempos perdidos y no disponibles.
- e) Inputs:
- Se preparan inputs de perforación con 1 semana de anticipación.
 - Inputs de perforación con información completa: plano de perforación con unidades geológicas, tipo de roca (dureza y abrasividad), resistencia a la compresión por pozo, tricono ideal para el terreno, etc. Se realizan análisis por variaciones de modelos de triconos: características, configuración de insertos, etc.
 - Se evalúan los inputs posterior a la ejecución de la perforación.
- f) Reporte de rendimiento y mejora
- La operación da a conocer la medición de la fragmentación y condiciones post-tronadura (retroalimentación de la implementación de perforación).
 - El proveedor de aceros debe tener claramente definidos los procedimientos, funciones y responsabilidades. Se establece lo que se va a medir, por quién, cuándo.
 - El área de perforación monitorea rendimientos de equipos (velocidades de perforación).
- g) Costos:
- Los costos del proceso de perforación son competitivos en el mercado.
 - El proceso debe revisar continuamente sus costos y establecer planes para reducirlos gradualmente.
 - El proceso de perforación se evalúa mediante la unidad de costo [\$/m].

4 ANÁLISIS SITUACIÓN ACTUAL

La presente investigación se originó ante el requerimiento de operación Los Bronces de mejorar la implementación del diseño de perforación, lo cual demanda en primer lugar, identificar oportunidades en el proceso.

En este capítulo se profundiza en la situación actual de la mina, vale decir un diagnóstico que permita verificar si se justifica la creación de un sistema de gestión y mejoramiento en la ejecución de la perforación, y facilita la identificación de focos de gestión para dirigir los esfuerzos y lograr una administración más eficiente del proceso.

Primeramente, para lograr un análisis eficaz, se requiere recolectar información, pero no de cualquier actividad, sino de las que sean consideradas críticas en perforación. Estas fueron entregadas parcialmente por la Superintendencia, por lo que también fue necesario observar en terreno los procedimientos para detectar oportunidades donde agregar valor a la operación. De esta manera se encontraron otros temas relevantes, pero restaba aún consultar a otras áreas para que pudieran dar otra perspectiva y no se omitiera alguno.

Para identificar otras actividades se obtuvo información del Departamento de Control de Gestión, el de despacho, servicios, geomecánica y corto plazo. Además, se entrevistó a gente de experiencia que interactúa directamente con la ejecución del diseño de perforación. Esto entregó una lista de actividades que, en muchos casos, coincidían con las ya identificadas. Se agrupan entonces de la siguiente manera:

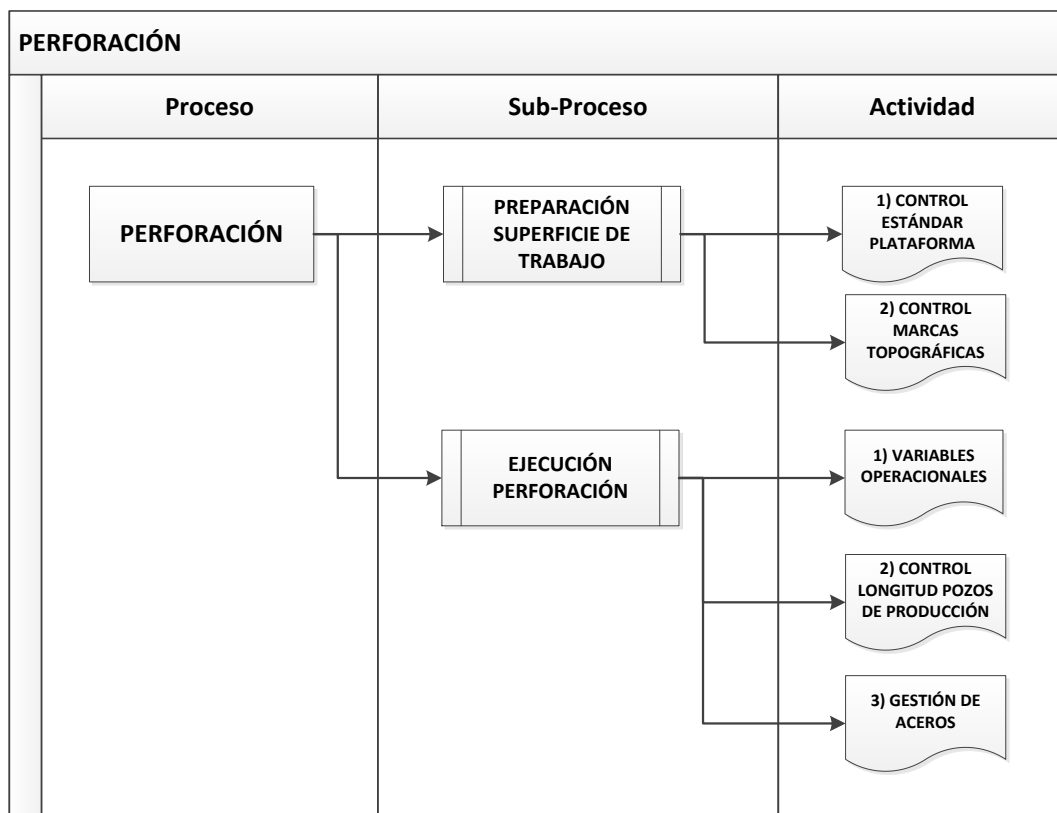


Ilustración 20: Diagrama categorías internas a analizar - proceso perforación

Para simplificar el análisis y posterior creación del sistema de gestión, se subdivide la perforación en dos subprocesos, y a su vez estos en cinco actividades (ver *Ilustración 20*).

Los estándares, requerimientos y procedimientos descritos en la sección anterior para cada área involucrada en el proceso, dan la base para analizar de forma crítica las actividades seleccionadas. Se detectaron factores que influyen en la calidad, dando pautas para la elaboración y la creación de indicadores de desempeño y sistemas de medición (ver *5.1 Planificación de procesos*).

Por otra parte, dentro de la actividad de Variables Operacionales, se revisaron las brechas o GAPS que determinaron las tareas con mayores tiempos promedio y mayor frecuencia. Éstas permitieron identificar oportunidades de mejoramiento, tanto para las tareas propias de la perforación como en la coordinación con otras áreas. Se pudieron detectar GAPS recurrentes y no gestionados como: “sin marcas topográficas” y “sin estándares plataforma”.

4.1 Problemática en Los Bronces

El escenario actual económico ha llevado a las compañías mineras a redoblar sus esfuerzos en la reducción de costos. La operación Los Bronces se está haciendo parte de esto debido al aumento de sus costos de perforación, con tendencia clara al alza desde inicios de 2014 (ver *Ilustración 21*). Con valores ocultos por acuerdo de confidencialidad de Anglo American (*), se utilizarán en el capítulo final para estimar los beneficios económicos asociados a la gestión.

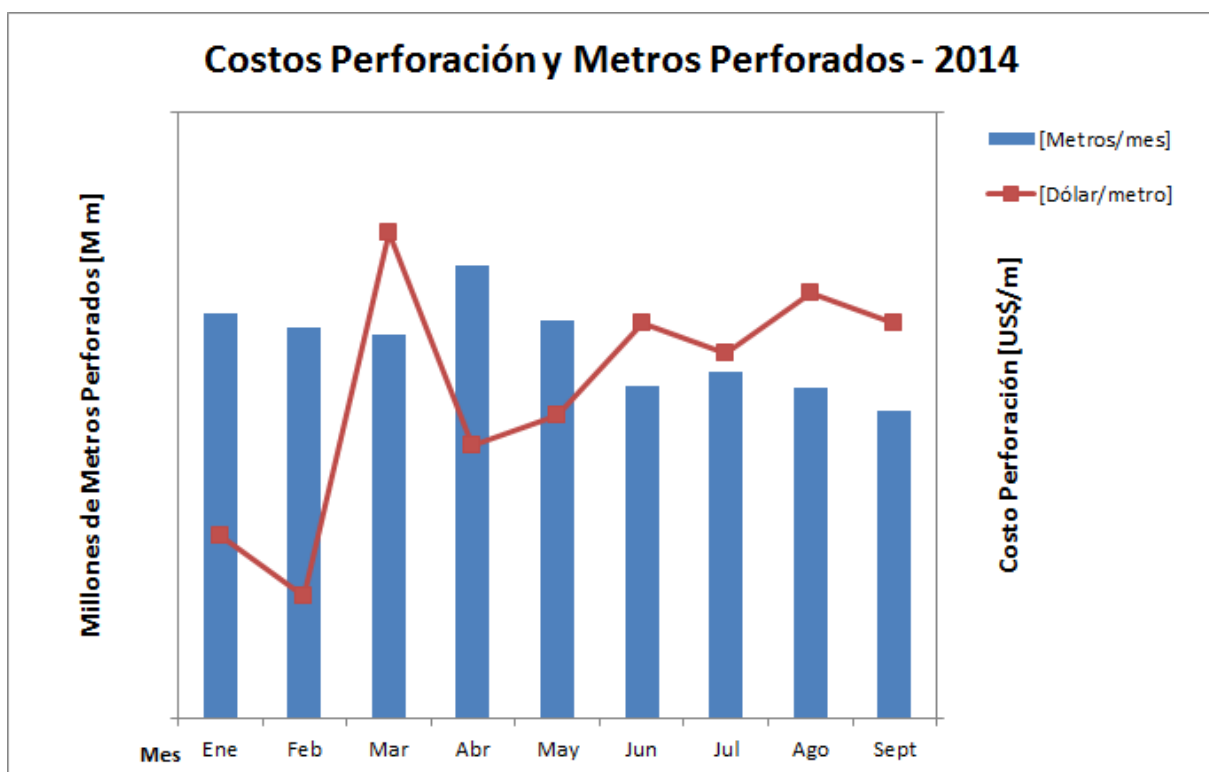


Ilustración 21: Situación de costos en perforación, previo a la implementación del sistema de gestión

Se define una guía operacional (*ver sección 3.5*), donde se determinan los puntos esenciales para mejorar el proceso. Sin embargo, para que esto pueda implementarse y ser exitoso en el tiempo, depende de la aplicación de un sistema de gestión que abarque los temas esenciales, otorgando mayor competitividad a la compañía en el mercado. Éste debe ser sistemático y requiere participación proactiva de toda persona involucrada en el proceso.

La perforación en este momento no es prioridad para los sistemas de control pues carguío y transporte se llevan la mayor parte de los costos de la mina. Sin embargo, en este trabajo se desea cuantificar su potencial, que lo hará ver como una operación con mayores oportunidades de mejoramiento y como una actividad clave para generar un producto de calidad para el cliente y que permitirá acondicionar la operación, en pos de la continuidad operacional y la excelencia en el desempeño de los procesos posteriores.

La calidad del producto (granulometría) y los retrasos operacionales (carguío), son en parte consecuencia del proceso aguas arriba poco óptimo. La correcta implementación del diseño de los pozos en terreno por parte del área de perforación, es fundamental para determinar el éxito de la tronadura. Además, se debe revisar si los inputs o información que se utiliza para tomar decisiones en la perforación, es la que en realidad se requiere para generar un producto de calidad.

De momento sólo se tienen indicadores de calidad para rendimientos de los equipos de perforación, pero no existe mayor control sobre la preparación y su correcta ejecución.

La planificación, el control y mejoramiento continuo basado en la metodología de aseguramiento y control de calidad, permitirán tener un proceso de perforación de excelencia y sustentable en el tiempo.

4.2 Preparación superficie de trabajo

4.2.1 Control estándar plataforma

El área de Servicios de Anglo American es la encargada de entregar los estándares requeridos para el trabajo en la plataforma de perforación, ya sea corrigiendo material cohesionado de la pata de los bancos (tractor oruga o bulldozer) o reduciendo el tamaño de bolones y saneando paredes (pica rocas), entre otras labores.

El área de servicios inicia los trabajos en el sector, reestableciendo los estándares de esas superficies, para luego ser evaluados por el equipo de geomecánicos de la compañía. De lograrse las condiciones esperadas de estabilidad y saneamiento de superficies, se entrega el área a topografía, quien sólo puede realizar sus labores bajo ese escenario. Por tanto, cualquier deficiencia de la plataforma (revisar estándares en *Tabla 7*), implica un retraso de los procesos posteriores: topografía y perforación.

Dentro de los problemas advertidos, se encuentran los retrasos en la entrega, costos adicionales de saneamiento por tronadura no óptima (requiere corregir sobre-pisos y sobretamaños) y en muchos casos, se adjudica esta responsabilidad a la mala implementación del diseño de perforación (pozos sobre, sub-perforados y/o no conformidades en la malla).



Ilustración 22: Material sin fragmentar en la pata del banco



Ilustración 23: Pared saneada

4.2.2 Control marcas topográficas

El control de marcas topográficas está a cargo de una empresa de servicios y cualquier retraso afecta directamente a los procesos posteriores. Cabe mencionar que el sistema GPS de las perforadoras no se encuentra operativo y esta etapa permite dar mayor precisión en la perforación, a pesar de no ser una metodología óptima.

Para despacho, se asigna al incumplimiento de topografía la razón “sin marcas topográficas”, pero se investigó que no era la única causa.

La empresa contratista para trabajar debe exigir, por temas de seguridad, que la plataforma de trabajo sea estándar (*ver 4.2.1 Control estándar plataforma*); por lo tanto, su asignación en el Modelo de Tiempos es correcta en cuanto al trabajo, pero no identifica la real causa del retraso en el marcaje.

Los retrasos pueden abarcar varias horas y se pueden producir por las siguientes razones (principalmente condiciones sub-estándares de plataforma):

- Derrames sin limpiar y/o superficie sin corregir (servicios)
- Trabajo motoniveladora: arma camellón con material del área (servicios)
- Tránsito de equipos
- Carguío pala o cargador
- Retrasos despacho

En los casos en que se responsabiliza directamente al área de topografía por retrasos en las entregas de áreas, las principales causas detectadas son la falta de herramientas de topografía (*ver sección Marcaje topográfico*), o desviaciones por oportunidad: se realiza marcaje de algunos sectores y no de la plataforma completa. Esto último es perjudicial para las labores de ejecución de la perforación, puesto que cuando la perforadora trabaja en el sector incompleto sus maniobras posteriormente se ven restringidas y surgen inconformidades como la caída de detrito en los pozos (ya sea por arrastre de material del cable de la perforadora eléctrica u otros elementos de la Pit Viper). Se debe priorizar entonces, una labor completa para evitar este tipo de problemas.

4.3 Ejecución de la perforación

4.3.1 Variables operacionales

La optimización de los tiempos de perforación es crucial para poder reducir costos de perforación. Un aumento en la velocidad efectiva de perforación puede generar un impacto importante en la operación, pero para ello se requiere tener un control estricto sobre los tiempos de perforación, tanto efectivos como operativos. A continuación se definen conceptos importantes a tener en cuenta, previo al análisis.

a) Conceptos

- **Tiempo efectivo:** corresponde al tiempo de perforación, medido desde que está posicionado la broca en la superficie a perforar hasta completar la profundidad del pozo (incluye soplado del pozo).
- **Tiempo operativo:** equivale a la suma de los tiempos de traslado entre pozos, maniobras y perforación efectiva. El tiempo de traslado entre pozos es definido en el reporte actual de perforación (*ver en Anexos, Ilustración 64: Reporte actual*), como la suma de los tiempos de maniobras (nivelación y posicionamiento sarta), más el de traslado entre pozos.
- **GAPS:** causas de retrasos en los procesos. Brechas entre perforación efectiva y operativa. Corresponde a las “razones” en el Modelo de Tiempos de Anglo American.



Ilustración 24: Esquema categoría interna de tiempos de perforación

b) Registro de datos

Se realizó un análisis de los reportes de perforación de la operación Los Bronces, en los cuales los operadores registran sus actividades y eventos del turno. La estadística descriptiva se encuentra en la sección de anexos (*ver Tabla 25 y Tabla 26*).

Un aprendiz de la Superintendencia es el encargado de corroborar que los metros coincidan con la información de Despacho, pero no se controlan los tiempos ni velocidades de perforación.

Para objeto de este estudio, se digitalizó la información de los reportes manuales (*ver ejemplo en Ilustración 25*), entre los meses de Septiembre y Diciembre de 2014. A partir de esto se tiene una base de datos robusta para el análisis en detalle del proceso de perforación actual en los Bronces.

Por otra parte, los datos de Despacho para perforadoras, fueron entregados por la Vicepresidencia técnica de Anglo American.

El registro que toma Despacho desde el panel de control del equipo, digitado por el operador, se encontró que en varias ocasiones contenía información inconsistente; por ejemplo, tiempos de perforación de un pozo de 12 horas, traslado entre pozos de 180 minutos, entre otros. O bien se consideraba asignado a la perforadora un código que en realidad correspondía al área de carguío o servicios.

A continuación se entregarán los resultados de la investigación de los reportes actuales y de ser posible, se comparará la información con la de Despacho.

c) Velocidades de perforación

Esta variable no aparecía en la información de Despacho, solamente los tiempos y no era una fuente confiable, pues como se mencionó anteriormente, los tiempos por pozo no eran coherentes con las labores realizadas. Por tanto, la información consistente para la revisión de esta variable se obtiene a partir de los reportes manuales de los operadores. En tanto, la frecuencia de “razones” o GAPS se pueden evaluar para ambos registros y se representan más adelante por diagramas de Pareto.

Otro tema a considerar fue que en los reportes el tiempo de traslado entre pozos (*ver novena columna de la Ilustración 25*) equivale al tiempo en maniobras y traslados del equipo. Por tanto, el tiempo operativo corresponde a lo anterior más el tiempo de perforación efectiva.

Se detecta que en el reporte se escribe correctamente la hora inicial y final de la perforación efectiva, pero en la mayoría de los casos no se registra el tiempo de traslados entre pozos. Por tanto, para poder digitalizar esa información y estudiarla, se obtiene la diferencia entre la hora final del primer pozo y la inicial del siguiente (*ver Ilustración 25 y Ecuación 6*). Ese GAP será el tiempo de traslado entre pozos.

AngloAmerican Personas que marcan la diferencia en minería

Perforadora N° 142-04	Operador: confidencial			Tricón en uso 1435157	
Fecha: 05/10/2018	Grupo: 1 2 3 4	Turno: A B C	Cambio Tricón		
Plan de Perforación: (i) (No)	Cavilados: SI NO		Cambio de Barro		

Dispare	Nº Pozo	RPM	Presión	Metros	Inicia	Final	Diferencia	Traslado entre Pozos	Mts Relleno	Mts Rotura	Observaciones
3125.212	223	90	300	40.00	18:50:22	18:50:42	20				
11	11	322	11	11	18:50:22	18:50:42	20				
11	11	320	11	11	18:50:42	18:51:02	20				
11	11	319	11	11	18:50:42	18:51:02	20				
11	11	318	11	11	18:50:42	18:51:02	20				
11	11	317	11	11	18:50:42	18:51:02	20				
11	11	316	11	11	18:50:42	18:51:02	20				
11	11	315	11	11	18:50:42	18:51:02	20				
11	11	314	11	11	18:50:42	18:51:02	20				
11	11	313	11	11	18:50:42	18:51:02	20				
11	11	312	11	11	18:50:42	18:51:02	20				
11	11	311	11	11	18:50:42	18:51:02	20				
11	11	310	11	11	18:50:42	18:51:02	20				
11	11	309	11	11	18:50:42	18:51:02	20				
11	11	308	11	11	18:50:42	18:51:02	20				
11	11	307	11	11	18:50:42	18:51:02	20				

314.50 *USAR DE COPPI A 2400 HRS.

PERFORACION & TRONADURA
 REVISADO
 07 ENE 2018

Ilustración 25: Ejemplo reporte actual de perforación - Tiempo traslado entre pozos

Ecuación 6: Tiempo traslado entre pozos - Reporte actual de perforación

$$\text{Tiempo traslado entre pozos} = (\text{Hora inicial}_{\text{pozo } i+1} - \text{Hora final}_{\text{pozo } i}) [\text{min}]$$

Además, para reducir los errores asociados a la estadística, se corrigieron los tiempos de perforación mal calculados, y en muy pocos casos las inconsistencias entre hora inicial y hora final (hora de finalización de un pozo mayor que la inicial del siguiente).

Otra consideración importante es el filtro realizado a las velocidades efectivas, que deben ser menores o iguales a 80 [m/h] (recomendación de la empresa colaboradora a cargo de la gestión de aceros).

A continuación se indican los resultados más relevantes acerca de los reportes de perforación.

d) Resultados

En la *Ilustración 26* se describe la relación entre el rendimiento operativo y efectivo, según su cociente (*se deben ocultar algunos valores por acuerdo de confidencialidad (*)*).

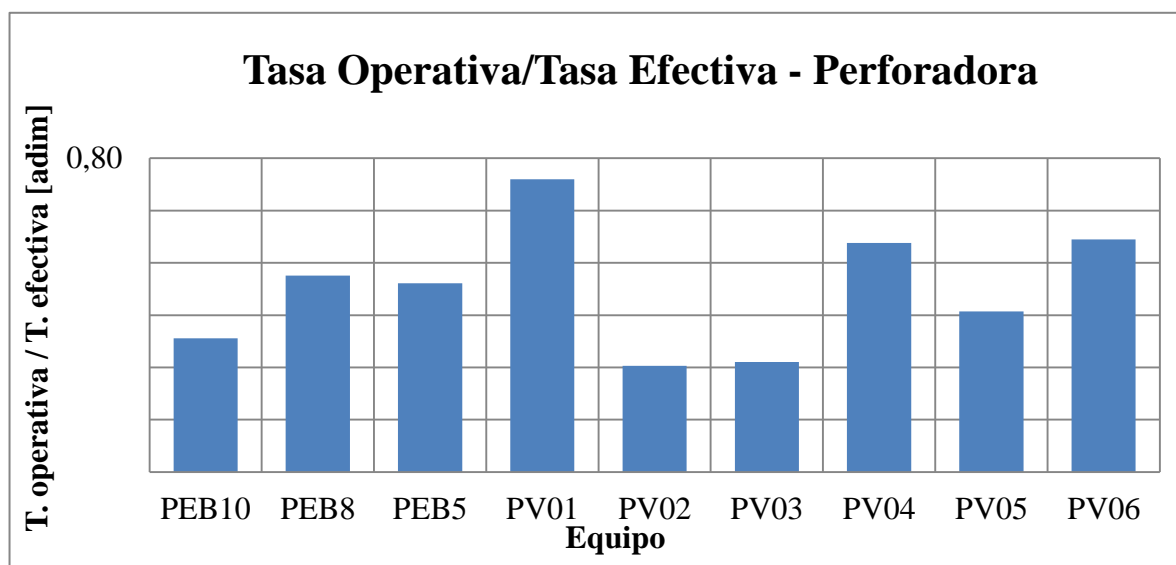


Ilustración 26: Cuociente tasa o velocidades por equipo

Cabe destacar que el cociente o razón entre tasas es muy similar entre todos los equipos, con un promedio de 0,76.

Con esta información es posible definir un objetivo para este indicador: se conoce, por estudio de mercado, que en operaciones optimizadas se tienen valores entre 0.9 – 0.95. Debido a las diferencias entre faenas, es recomendable considerar un rango óptimo según las condiciones de la mina en estudio, en este caso, un valor cercano al promedio calculado.

También se estudiaron las velocidades por separado. Se puede apreciar en la *Ilustración 27*, que por ejemplo las Pit Viper 2 y 3 tienen velocidades altas, pero un cociente menor. Esto se explica por mayores tiempos operativos; justamente este indicador promueve que exista poca brecha entre los tiempos efectivos y operativos, para que el tiempo de traslado y maniobras sea menor. Lo ideal es que la diferencia entre esos tiempos sea la menor posible, es decir, que los equipos con mayor cociente de velocidades (más cercanas a 1), son más eficientes, puesto que registran tiempos de maniobras, posicionamiento y traslado menores.

Una de las posibles causas de mayores tiempos operativos se relaciona con el desempeño del operador, quien podría estar realizando maniobras y traslados de manera poco eficiente. Por lo tanto, se recomienda hacer un seguimiento a sus labores: procedimientos, capacidad resolutive frente a distintas condiciones operacionales y control de tiempos operativos y GAPS.

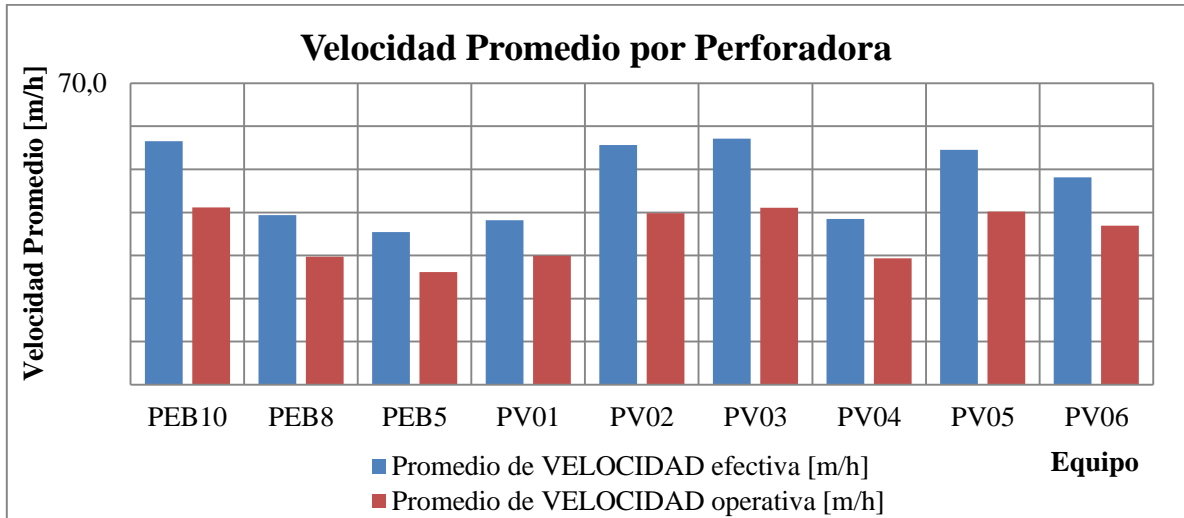


Ilustración 27: Velocidad promedio por equipo

Revisando las velocidades operativas y efectivas por equipo (ver Ilustración 27), se observa que la flota Bucyrus, específicamente el equipo PEB10, es el que logra mayores velocidades, lo cual hace sentido por ser el modelo más nuevo.

Se recomienda revisar el rendimiento de las Pit Viper 1 y 4, por la similitud en sus resultados. Esto no debiese ocurrir ya que la 1 utiliza más de una barra (“Multi-Pass”), lo cual de por sí la hace menos eficiente (tiempo extra en acople de barras).

También se evidencian mejores velocidades para las Pit Viper “Single-Pass”. De todas maneras es conveniente seguir operando con la “Multi-Pass” (PV01), puesto que es más flexible en cuanto a técnicas de perforación (permite realizar tiros inclinados).

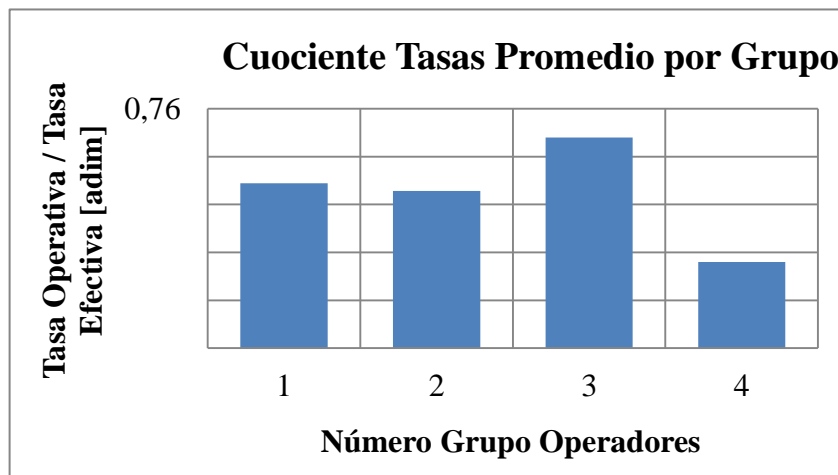


Ilustración 28: Cuociente velocidades por grupo operadores

En el gráfico anterior (*Ilustración 28*), se puede apreciar una forma de evaluación del desempeño de operadores. Se recomienda elaborar rankings de operadores según velocidad y tiempos de GAPS (no se expondrán en este trabajo por acuerdo de confidencialidad (*)). Con ello se busca corregir conductas y dirigir los esfuerzos de coordinadores y capacitador de la Superintendencia, para apoyar a los que estén más débiles y reconocer los mejores desempeños (*ver Ilustración 67*).

e) GAPS

A continuación se incluyen los resultados para los tiempos perdidos y “panas” (agrupa tiempos no disponibles críticos). Esta última categoría, pese a no pertenecer al estado “tiempo perdido” se considera en él, pues permite disponer de información de utilidad (dada la recurrencia de eventos) para generar acuerdos con el área de mantención.

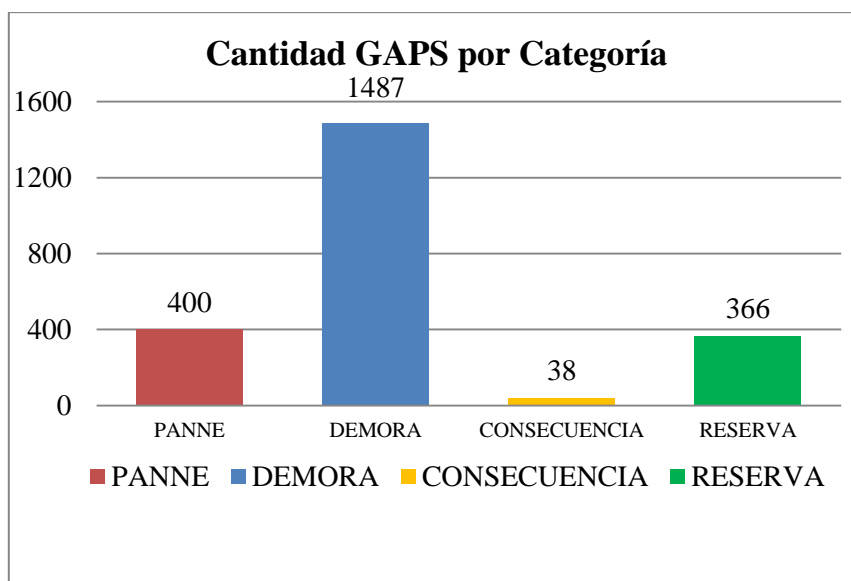


Ilustración 29: Frecuencia tiempos perdidos y panne

Dentro de los tiempos perdidos las demoras tiene la mayor frecuencia, y junto con la categoría de consecuencias se clasifican como GAPS gestionables. Sin embargo, se considera también el control de la categoría “reservas” en esta investigación, dada su criticidad (alta frecuencia de algunos casos). En el sistema de gestión propuesto se crean indicadores de desempeño para controlar las razones críticas en las distintas categorías.

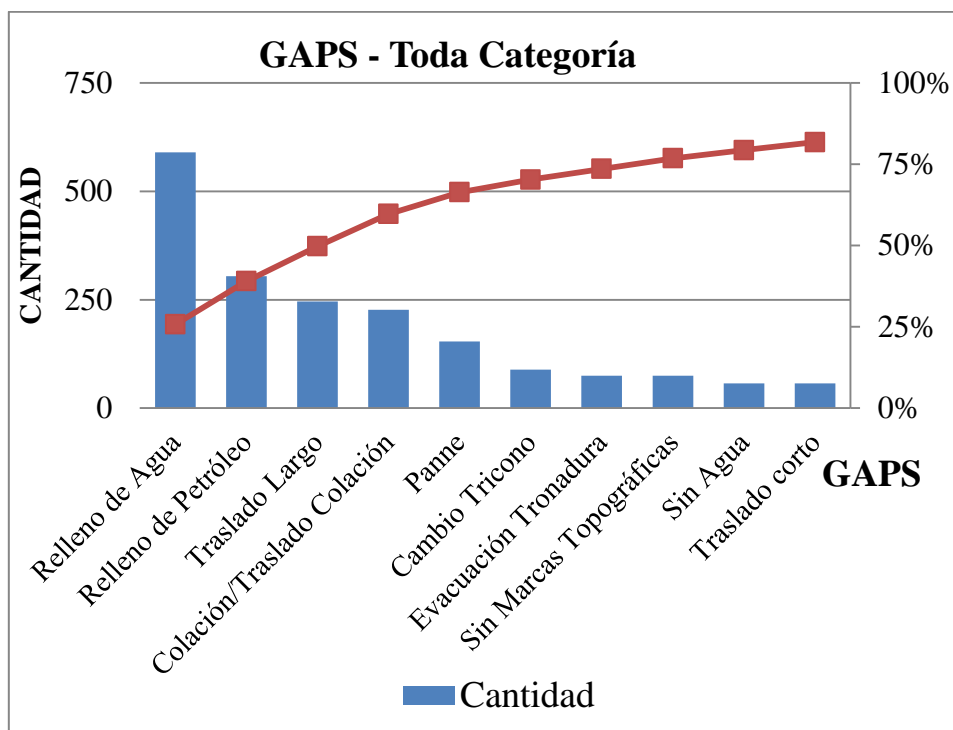


Ilustración 30: Pareto GAPS - toda categoría - reportes de perforación

En la representación anterior (*Ilustración 30*) se evidencian los GAPS críticos. Más adelante, se proponen indicadores para su gestión.

El GAP “planos”, que no aparece en el gráfico anterior por tener menor cantidad de casos, indica que el operador perdió tiempo para obtener los planos de perforación. Se registran pocos eventos de este tipo en los reportes, pero muchos de ellos no son dados a conocer. Esto requiere corrección inmediata mejorando la planificación y control de entrega de documentos.

Por otra parte, el evento “pozo fracturado” es una consecuencia de un evento externo y se relaciona con la perforación del banco superior. Se recomienda revisar estos casos individualmente, debido a los riesgos de seguridad asociados.

Otro tema importante es que en el Modelo de Tiempos no existe diferencia entre colación y traslado a colación. Para fines del análisis, se consideraron como traslados los GAPS en que no se explicitaba su observación en el reporte, pero que tenían tiempos perdidos grandes no registrados (tiempo traslado entre pozos muy grande, sin observaciones), dentro de los horarios más recurrentes de colación. Sería mejor identificar como traslado a colación la diferencia entre el tiempo total del GAP con el tiempo autorizado para dichos fines (60 minutos). De esta manera no se tendría que agregar una nueva razón a Despacho, que pudiese confundir a los operadores.

El traslado a colación se puede controlar y optimizar, por ejemplo, organizando las asignaciones a casinos.

A continuación se observa el gráfico con frecuencias obtenidas de los datos de Despacho (ver *Ilustración 31*).

Un GAP importante entregado por Despacho es el cambio de turno, pues los operadores no registran estas pérdidas en los reportes.

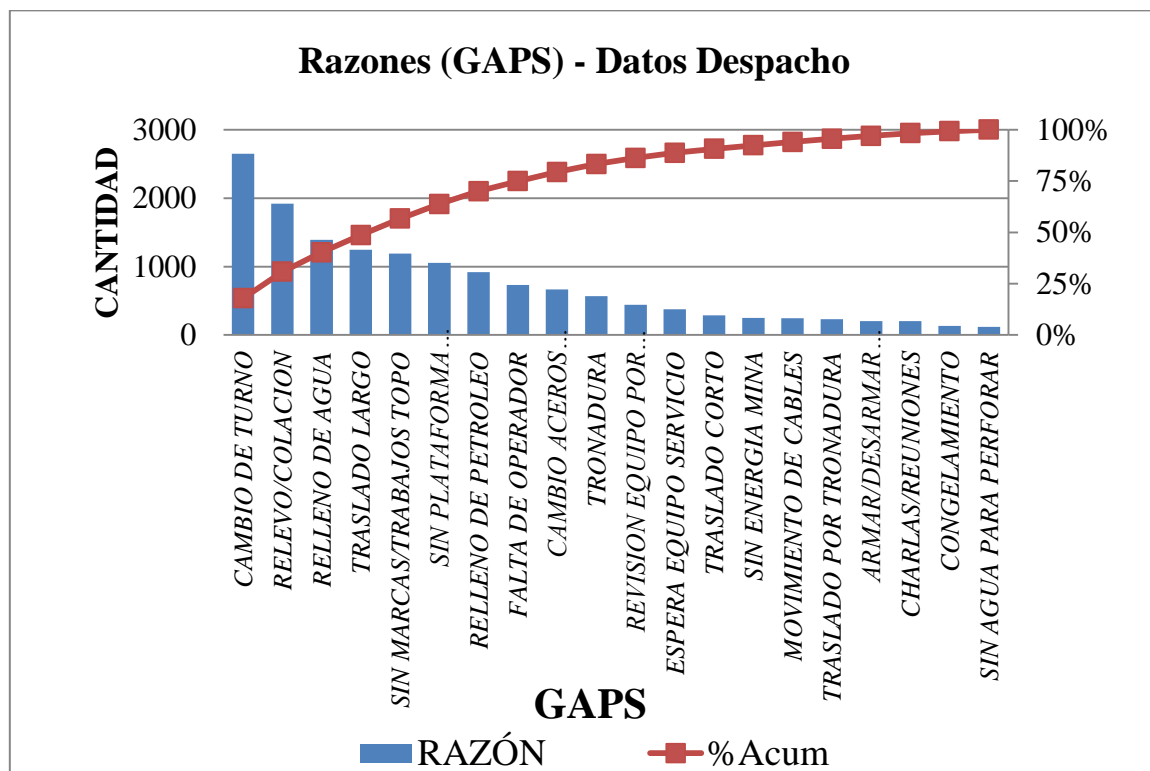


Ilustración 31: Pareto GAPS información Despacho

Destacan los tiempos perdidos en “relevo/colación” (colación y traslado a colación) y “sin marcas topográficas”, lo que sugiere realizar un plan para controlarlos. Por otra parte, se ordena de mayor a menor, los GAPS por cantidad de eventos registrados.

Las razones identificadas no coinciden con las de los reportes (*Ilustración 30*), por lo que la información más confiable es la que proviene de los registros de perforadoras. A partir de esos datos se elaboran tablas con el resumen de los tiempos promedio y cantidad de eventos para los GAPS más importantes (Tabla 10 y Tabla 11). Esta información será utilizada más adelante para calcular el beneficio económico asociado a la implementación del sistema de gestión.

Tabla 10: Tiempos promedio por GAP

GAPS (toda categoría)	Tiempo Promedio Traslado entre pozos [min]
Traslado Colación	173
Relleno de Petróleo	19
Relleno de Agua	13
Cambio Tricono	35
Sin Marcas Topográficas	88
Sin Operador	68
Pozo Fracturado	61
Estándar Plataforma deficientes	59
Sin Agua	36
Espera Equipo Servicio	32
Sin Energía	26
Repaso Pozo	9
Sin Petróleo	4

Tabla 11: Cantidad por GAP

GAPS (toda categoría)	Cantidad
Relleno de Agua	590
Relleno de Petróleo	304
Traslado Colación	227
Cambio Tricono	89
Sin Marcas Topográficas	75
Sin Agua	57
Repaso Pozo	40
Estándar Plataforma deficientes	31
Espera Equipo Servicio	29
Sin Energía	13
Sin Operador	11
Pozo Fracturado	4
Sin Petróleo	3

4.3.2 Control longitud de pozos de producción

Los Bronces actualmente tiene 3 fases operativas: Donoso, Casino e Infiernillo. Su distribución espacial se muestra en el siguiente plano:

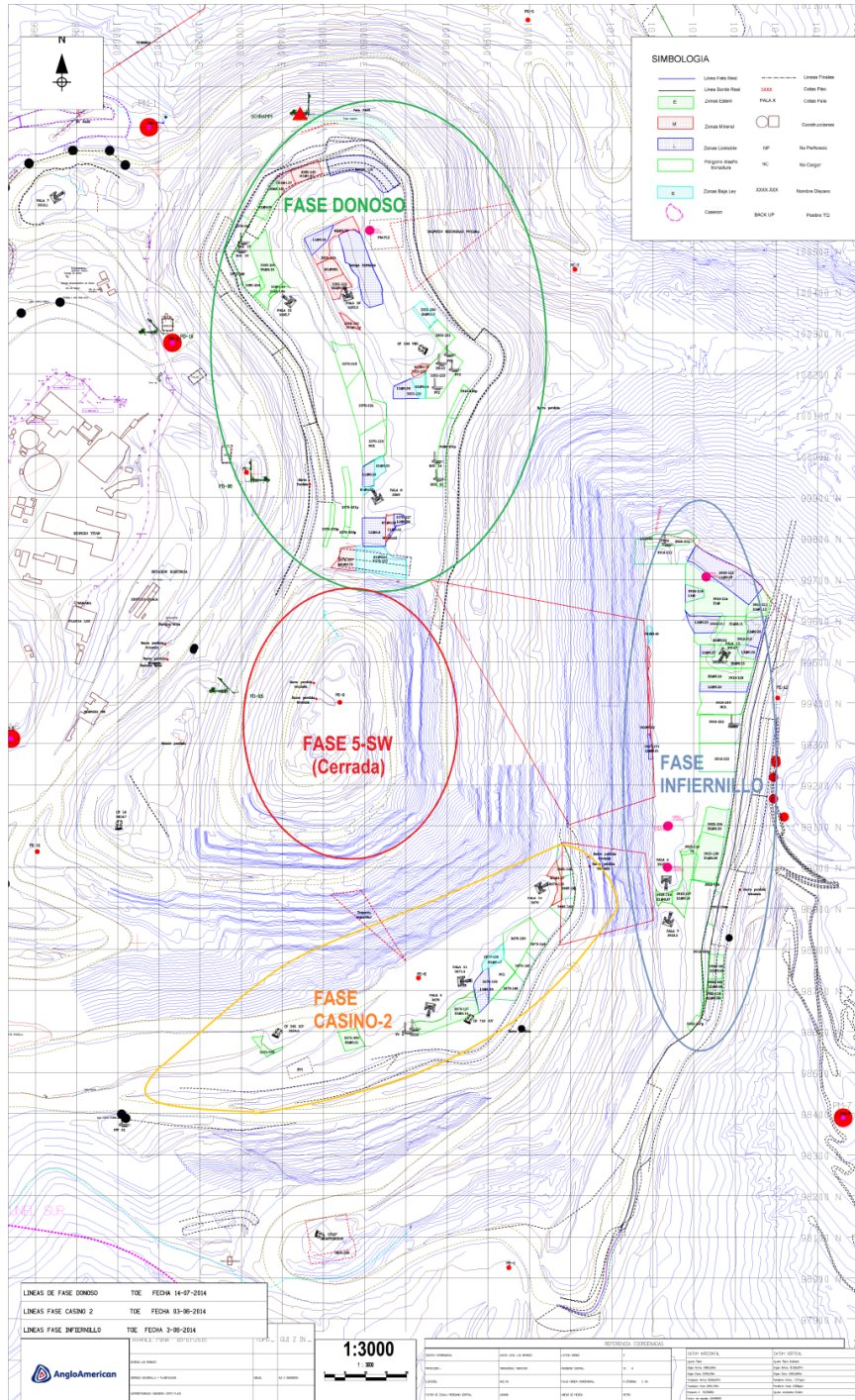


Ilustración 32: Fases Operación Los Bronces

Actualmente la Fase 5 Sur Oeste (5-SW) se encuentra cerrada pues concluyó su ciclo productivo.

En esta sección se realizó un análisis de la sobre y sub-perforación en Los Bronces. Su importancia radica en que es una de las causas con mayor impacto en el proceso, pudiendo generar condiciones inseguras y tronaduras deficientes. A continuación se revisarán antecedentes sobre esta problemática.

a) Sobre y sub-perforación

Las causas de estas imprecisiones son distintas. Por un lado, la sobre-perforación se origina principalmente por prácticas operacionales, y la sub-perforación está más bien ligada a la planificación de la perforación y las condiciones del equipo.

Las principales causas de estas imprecisiones son las siguientes:

- Sobre-perforación:
 - *Prácticas operacionales:* ejemplo, empate defectuoso.
 - *Consideración errada de información de planificación.*
- Sub-perforación:
 - *Condiciones del equipo:* ejemplo, largo de barra no es suficiente para perforar el pozo.
 - *Prácticas operacionales:* al igual que en el caso anterior, un empate defectuoso.
 - *Secuencia y planificación:* ejemplo, rampas, mallas o sectores no entregados a perforación. Es decir, no se trabaja en toda el área contemplada.
 - *Movimientos del equipo:* los cables de una perforadora eléctrica durante el traslado entre pozos, pueden provocar por arrastre, la caída de material dentro de estos.



Ilustración 33: Caída de material en pozo por tránsito de equipos

- *Equipos de muestreo:* se toman muestras del cutting de los pozos en forma manual (2 personas con poruña o herramienta muestreadora) y cae una cierta cantidad de material dentro del pozo.



Ilustración 34: Pozo post-muestreo

- Ingreso de equipos externos: se observa que equipos externos a veces se desplazan sobre los pozos o cercanos a estos, ingresando material en su interior.
- Espacio entre mallas o GAP de plataforma: por temas de seguridad, en la operación se deja un espacio reducido entre mallas llamado “GAP”, que muchas veces dificulta el tránsito de equipos, obligando a utilizar vías alternativas cercanas a los pozos. El sobrequebre generado de la tronadura de la malla anterior, también influye en este factor (aumenta la superficie del GAP).

b) Mediciones

Desde el mes de Enero se comenzó a controlar el largo de pozos con la información obtenida por mensura de la empresa de servicios de explosivos. El procedimiento considera una medición en terreno: el jefe de implementación de la contratista, evalúa con huincha el largo real de los pozos post perforación. Esa información la toma un encargado de la empresa de servicios, resumiendo los datos recopilados en el porcentaje del promedio de pozos sobre y sub perforados del disparo. Esto llega finalmente a la Superintendencia de perforación y tronadura, quien controla el promedio mensual de las desviaciones (única herramienta de gestión para este tema actualmente).

Previo a Septiembre, la tolerancia de la sub y sobre-perforación era de aproximadamente 1 metro. Desde ese mismo mes se optó por manejar una tolerancia de 1 metro para pozos cortos y 50 centímetros para los largos. Estas diferencias se acuerdan debido a que algunos equipos no están calibrados y en otros casos se entregan longitudes de pozos inexactas.

Posterior a la perforación, el operador identifica los pozos con sus medidas finales (observadas en el panel de control de la perforadora) en una estaca (ver *Ilustración 35*). En ésta se escribe el número del pozo, el largo final y el operador a cargo.



Ilustración 35: Estaca - información final pozo por Operador

c) Análisis información disponible entre Septiembre y Noviembre de 2014

Entre los meses de Septiembre y Octubre de 2014 se decide acotar la tolerancia de sobreperforación. Ésta se definió en un principio para corregir una deficiencia técnica que no se puede controlar: la caída de material cuando se saca la sarta del pozo al finalizar la perforación. En los siguientes esquemas se representa la situación corregida por el QA/QC.

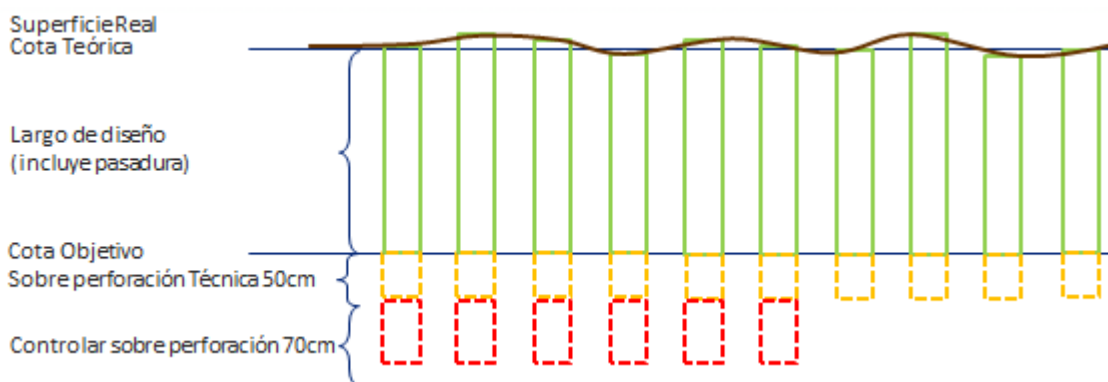


Ilustración 36: Situación anterior control largo pozos (sin QA/QC)

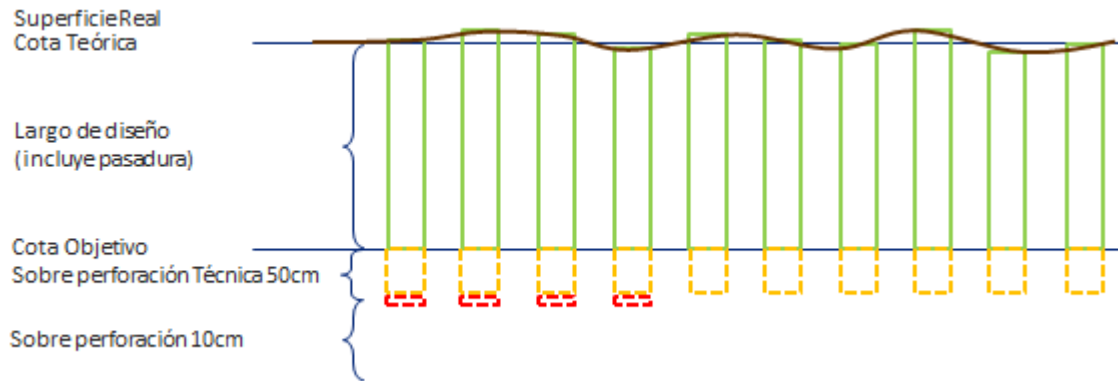


Ilustración 37: Situación actual control largo pozos (con QA/QC)

La información entregada por la Superintendencia corresponde al porcentaje de sobre y sub-perforación por malla (una por día). Los disparos se escogen de distintas fases dependiendo del programa de tronadura.

De esta manera, se analizó la información de 3 meses, obteniéndose lo siguiente:

Tabla 12: Cantidad de días estudiados por fase (Septiembre- Noviembre 2014)

FASE	Cantidad [días]
CASINO	29
DONOSO	49
INFIERNILLO	11
Total	89

Se midió en más oportunidades en la fase Donoso, ya que es el terreno más complicado de perforar. Predomina la unidad geológica “Brecha Donoso”, la más dura de operación Los Bronces.

En el próximo gráfico se observa que la tendencia entre fases tanto para la sobre como sub-perforación es similar y que los pozos largos son los que poseen mayores desviaciones (*ver estadísticas en Anexo B. Estadísticas y gráficos de reportes*).

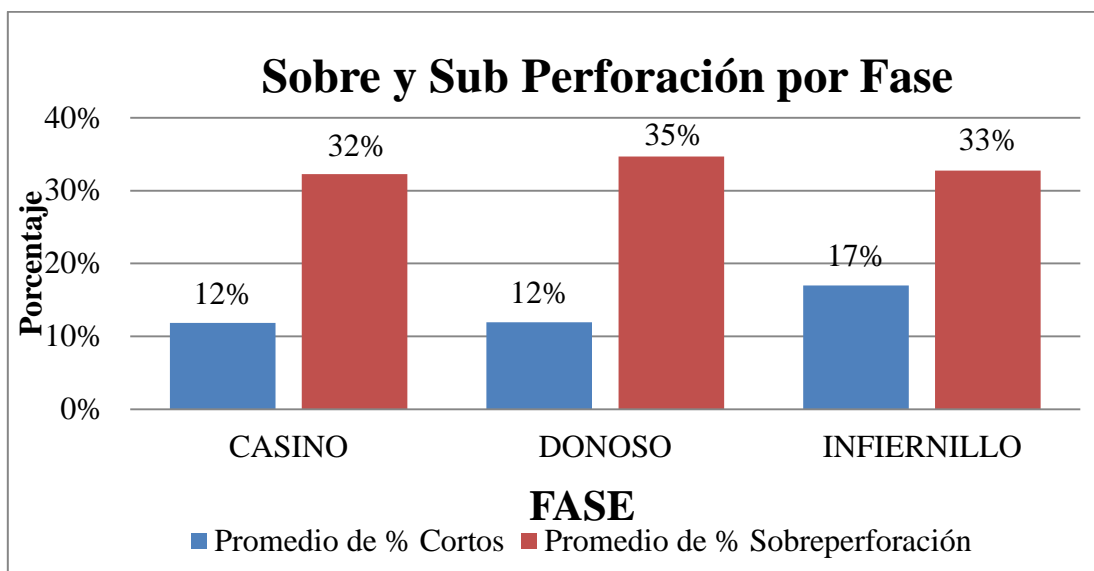


Ilustración 38: Sobre y sub-perforación por fase

Por otra parte, se estudiaron los rangos de número de pozos para observar si existía alguna relación entre el trabajo realizado diario (número de pozos por malla) y su porcentaje de cumplimiento de largo de los pozos. A continuación la agrupación por rango:

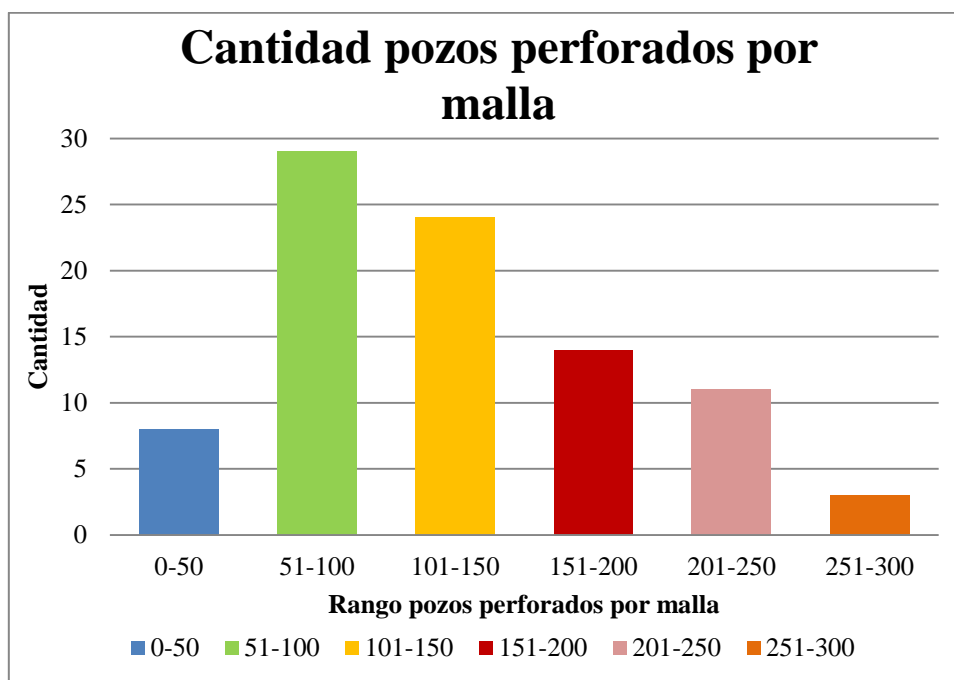


Ilustración 39: Espacio muestral por rango - control largo pozos

La *Ilustración 38* indica que la tendencia se mantiene comparando la sobre y sub-perforación para los rangos intermedios (2, 3 y 4). Esto pues tienen la mayor cantidad de datos, a pesar de no ser de todas formas, una base de datos robusta.

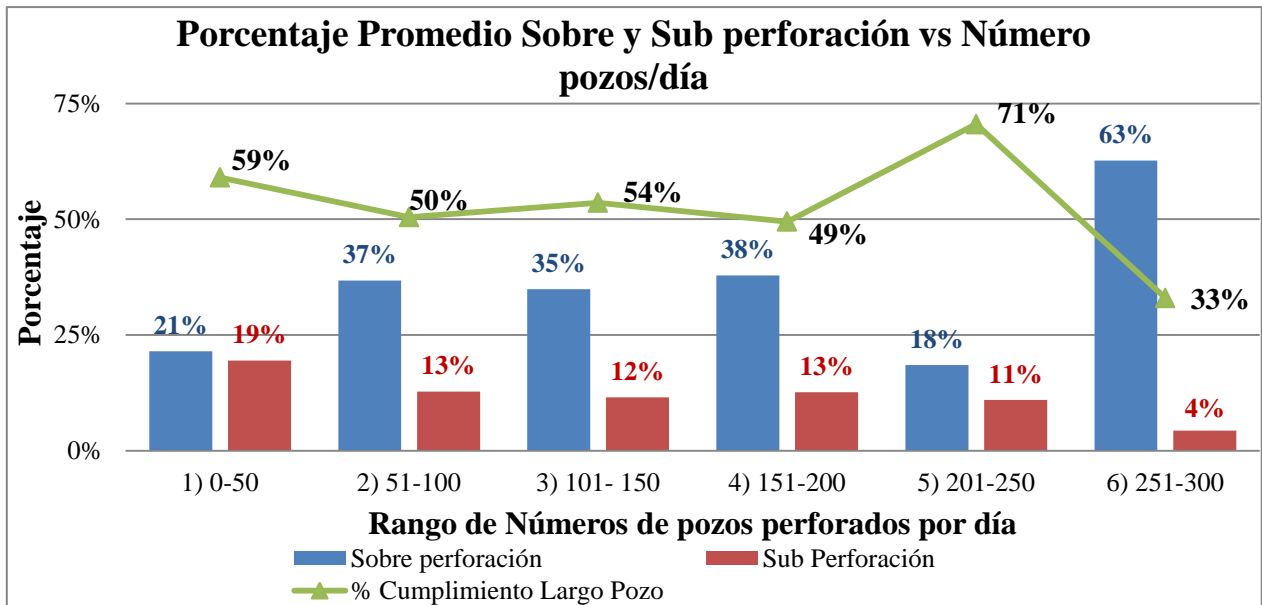


Ilustración 40: Sobre y sub-perforación versus número de pozos por día

Para los casos extremos llama la atención los rangos 1 y 5 donde la sobre-perforación cae. Por tanto, sería recomendable realizar una distribución de datos más uniforme entre los rangos y así determinar si la tendencia de las marcas de clase intermedias se mantiene.

Una posible medida si se mantiene la tendencia en estudios posteriores, sería diseñar mallas de 50 a 200 pozos para reducir la variabilidad de la implementación en terreno. Es decir, lograr un cumplimiento estable como el de los rangos intermedios (*ver Ilustración 40*); de manera de controlar mejor el proceso, facilitando la toma de decisiones y la aplicación de medidas correctivas o planes de acción.

4.3.3 Gestión de aceros

El suministro y gestión de aceros para los equipos internos de perforación de Los Bronces está a cargo de una empresa externa de servicios.

El control de costos se mide en [US\$/m], y el objetivo propuesto por la Superintendencia de perforación y tronadura es el aumento de la velocidad efectiva de perforación en [m/h], lo que permitiría utilizar menos equipos y por tanto una reducción importante de los costos del proceso. El control de desgastes se realiza por cada acero como se muestra en la *Ilustración 41*.

Con respecto a los aceros, hay varios temas que revisar. En primer lugar, actualmente no se dispone de un sistema estándar para medir la dureza. Esta variable se midió hace mucho tiempo y no ha sido actualizada (dureza relacionada con el Work index, SPI, por ejemplo). Podría ser que los triconos no sean necesariamente los óptimos para los sectores que se están explotando actualmente, pudiendo producir un mayor desgaste y menores rendimientos.

Por otra parte, se requiere que Anglo American elabore un sistema de control de desgastes. De esta manera se podría corroborar la información entregada por la empresa de servicios, controlar los costos asociados al contrato y generar planes de acción que permitan cumplir la vida útil de los aceros y planificar la reposición de estos.







		P#5	P#8	P#9	P #10	PV1	PV2	PV3	PV4	PV5
	DESGASTE									
	CAMBIO	OPERATIVO	OPERATIVO	OPERATIVO	OPERATIVO	OPERATIVO	OPERATIVO	OPERATIVO	OPERATIVO	OPERATIVO
	FECHA DE CAMBIO									
	OBSERVACION									
		17"	17"	5 1/2"	5 1/2"					
	DESGASTE	50%	80%	95%	65%	35%	60%	70%	50%	95%
	ESTATUS	OPERATIVO	OPERATIVO	OPERATIVO	OPERATIVO	OPERATIVO	OPERATIVO	OPERATIVO	OPERATIVO	OPERATIVO
	FECHA DE CAMBIO									
	METROS CONTRATO	86000	86000	86000	50000	48500	50000	50000	50000	50000
METROS REALES	51350	30600	2744	27800	48000	21500	20000	34700	1500	
	DESGASTE	50%	90%	75%	100%	20%	40%	40%	50%	95%
	CAMBIO	OPERATIVO	OPERATIVO	OPERATIVO	OPERATIVO	OPERATIVO	OPERATIVO	OPERATIVO	OPERATIVO	OPERATIVO
	FECHA DE CAMBIO									
	METROS CONTRATO	62000	62000	62000	20000	37700	20000	20000	20000	20000
	METROS REALES	27350	3500	17180	1740	30000	21500	32200	34700	1500
	DESGASTE	20%	100%	65%	95%	10%	20%	35%	90%	90%
	CAMBIO	OBSERVACION	OPERATIVO	OPERATIVO	OPERATIVO	CAMBIO	CAMBIO	OPERATIVO	OPERATIVO	OPERATIVO
	FECHA DE CAMBIO					Semana 24 al 28	Semana 24 al 28			
	METROS CONTRATO	43150	43150	43150	15000	27000	15000	15000	15000	15000
	METROS REALES	21350	300	17180	1740	30000	21500	14500	3700	1500
	DESGASTE	70%	95%	65%	95%	10%	20%	35%	90%	90%
	CAMBIO	OPERATIVO	OPERATIVO	OPERATIVO	OPERATIVO	CAMBIO	CAMBIO	OPERATIVO	OPERATIVO	OPERATIVO
	FECHA DE CAMBIO					Semana 24 al 28	Semana 24 al 28			
	METROS CONTRATO	43150	43150	43150	10500	27000	10500	10500	10500	10500
	METROS REALES	21350	3500	16600	1740	30000	21500	14500	3700	1500
	DESGASTE	85%	95%	90%	30%	65%	90%	35%	60%	95%
	CAMBIO	OPERATIVO	OPERATIVO	OPERATIVO	OPERATIVO	OPERATIVO	OPERATIVO	OPERATIVO	OPERATIVO	OPERATIVO
	FECHA DE CAMBIO									
	METROS CONTRATO	38800	38600	38600	15000	27000	15000	15000	15000	15000
	METROS REALES	7150	100	1710	22700	13700	2600	14500	13500	700

Ilustración 41: Ejemplo tabla control de aceros de perforación

5 SISTEMA DE GESTIÓN

Un sistema de gestión permite que todo el personal del proceso (supervisores y trabajadores) tenga un rol activo en su gestión, con el objeto de capturar toda su experiencia, conocimiento y creatividad en la agregación de valor. Todo esto de manera estructurada y sistemática, utilizando las herramientas de la metodología del QA/QC para lograr los objetivos impuestos por la compañía. El análisis del capítulo anterior da cuenta de la importancia de crear un sistema de gestión y entrega ciertos puntos relevantes a considerar.

La definición de actividades claves permite enfocar la gestión de la Superintendencia de perforación y tronadura, donde la revisión de tiempos operacionales (mediante el estudio de reportes de perforadoras) proporciona información relevante para identificar las principales interferencias operacionales del proceso.

La primera actividad estudiada corresponde al control de estándares de la plataforma de perforación. En ella se detectan: retrasos importantes en la entrega de la superficie de trabajo, costos adicionales en saneamiento por tronaduras no óptimas y no conformidades de la implementación de los parámetros de diseño de la malla de perforación (burden, espaciamiento y coordenadas de los pozos).

Por otra parte, se realizó marcaje topográfico, un método no óptimo, pero que se utiliza debido a la ausencia de un sistema de GPS operativo en las perforadoras. Se detectaron retrasos en las labores topográficas, tanto por interferencias propias de la empresa colaboradora como por demoras en los trabajos del Departamento de Servicios: derrames sin limpiar, superficie no estandarizadas, armado de pretilos que estorba labores; tránsito no estandarizado de equipos dentro de la malla, retrasos de carguío y descoordinaciones con el área de Despacho.

Por el lado de la ejecución de la perforación se estudiaron 3 actividades, donde la primera se relaciona con las variables operacionales. Se evidencian allí oportunidades importantes que podrían favorecer incluso la coordinación y desempeño de otros procesos. Bajo este ámbito se puede optimizar rendimientos y controlar el desempeño de operadores, grupo de operadores y de los mismos equipos. Además, se recopila información de utilidad para la gestión de tiempos perdidos y operativos. Los llamados GAPS permiten identificar las principales interferencias operacionales o “cuellos de botella” de la operación.

En cuanto al control de longitud de pozos, éste ha sido gestionado desde principios de año para reducir la cantidad de inconformidades en la ejecución del diseño de perforación: sobre-perforaciones y sub-perforaciones. A pesar de ello, siguen encontrándose oportunidades, pero controlarlo no es trivial; depende de muchos factores tales como: la técnica y experiencia del operador, la planificación y la coordinación de todo el personal de la Superintendencia. Esto justifica la idea de elaborar un sistema de gestión que permita modificar las conductas operacionales. Tarea que no es sencilla pues implica un planeamiento sistemático, capacitación y mejoramiento continuo que proporcione un cambio real hacia la cultura de excelencia.

Finalmente, la gestión de aceros, un tema no menor pues abarca un alto porcentaje de los gastos de la Superintendencia. Ésta requiere un control y estudio adicional por el tema de desgastes, mejoramiento de inputs de perforación y un método para revisar los estados de pagos e información entregada por la empresa de servicios; todo esto en pos de la reducción de costos.

En cuanto a los KPI actuales (*ver 3.4.3 Indicadores clave de desempeño actuales*), son indicadores de resultado del proceso y representan típicamente “cuánto se usa el activo” o “cuánto rinde el activo”, buscando la optimización de la flota.

A pesar de ser un buen sistema de medición, no permite evaluar los distintos subprocesos. Esto origina la necesidad de generar otras alarmas ante inconformidades, en especial para la ejecución del diseño de perforación.

Por otra parte, es claro que no existen evidencias de un control de gestión de estos indicadores, ni la acción de mejoramiento en los subprocesos. Se realizan más bien trabajos aislados e intuitivos de control y no sistemáticos.

En resumen, las mediciones realizadas en cuanto a tiempos, sobre-perforación, sub-perforación, etc., dan cuenta que existen oportunidades y que el aspecto central asociado al objetivo de ejecutar el plan y diseño con calidad no se está logrando.

Se propone, entonces, un sistema cíclico de 3 etapas, que permitirá mejorar continuamente el proceso, de manera de hacerlo sustentable en el tiempo. Se divide en: planificación de procesos, control de gestión y gestión del mejoramiento. El detalle de cada una de ellas en la sección siguiente.

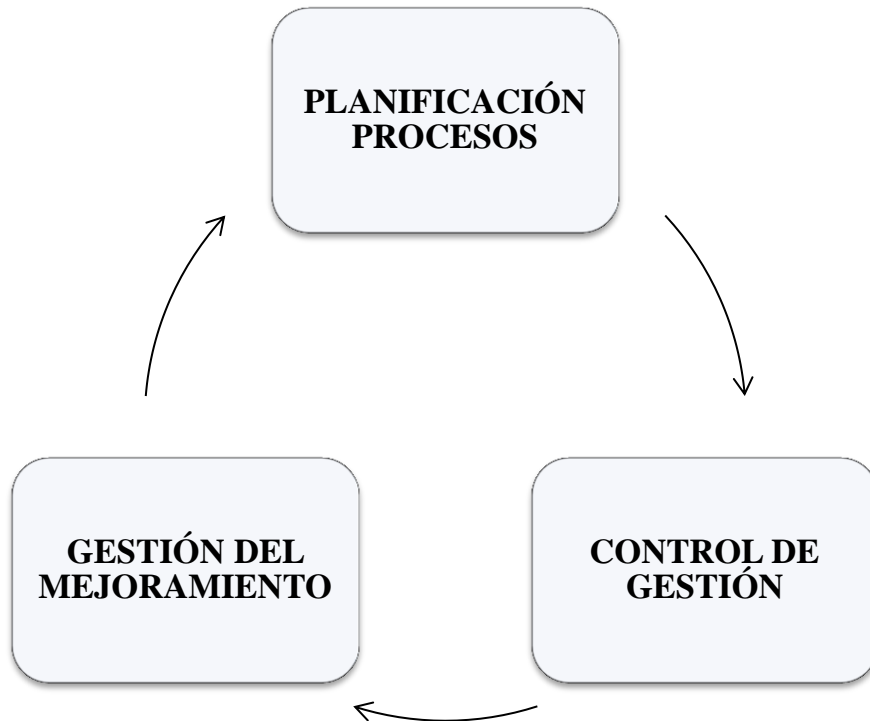


Ilustración 42: Etapas sistema de gestión propuesto

5.1 Planificación de procesos

El objetivo de esta etapa es construir indicadores de desempeño para los subprocesos definidos en la *Ilustración 20*, en base al estándar de perforación (*ver 3.5 Estándar de la perforación (guía operacional)*). Además, establecer requerimientos por cada uno de ellos, de manera de generar las condiciones para detectar anomalías en el proceso.

En resumen, la planificación pretende lograr conductas y prácticas operacionales que aseguren un proceso de excelencia, mediante indicadores que alerten frente a un incumplimiento del estándar y/o exigencias definidas.

Los KPI deben estar definidos en base a los rendimientos actuales y ser evaluados constantemente, de manera de que el sistema de medición agregue valor en el proceso.

La construcción de indicadores se realiza a partir del ideal de perforación, es decir, lo que debería lograr un proceso de excelencia. Algunas consideraciones relevantes son:

- “El proceso no debe tener sobre-perforación o sub-perforación”.
- “Debe cumplir exactamente lo planificado”.
- “No deben existir tiempos de espera ni retrasos”.
- “Los operadores deben conocer todas las características y variables a utilizar en la malla de perforación”.
- “El proceso de perforación debe tener costos competitivos en el mercado”.

A partir de esto nacen los KPI.

La dirección de esta etapa está a cargo de los supervisores del área (jefes de turno), el jefe de planificación y diseño, y el ingeniero QA/QC (*ver Ilustración 43*). Luego, los acuerdos logrados serán revisados por el Superintendente.

Este primer equipo de trabajo debe reunirse cada dos semanas de manera de poder retroalimentar los estándares y requerimientos definidos, ya que los indicadores pueden en un principio no estar ajustados; es decir, ser muy exigentes o por el contrario sub estimar el desempeño de la operación. Esto equivale a sobreestimar el potencial de mejoramiento y nunca alcanzar metas, o bien, realizar mediciones que no arrojen deficiencias en el proceso, con la consiguiente capacidad ociosa de recursos de control.

Las reuniones serán en un principio 4 (filtros de indicadores) e involucrarán a todo el equipo de perforación. Se desarrollarán en la sala de conferencias del edificio de operaciones (Titán), los miércoles a las 13:30. Ese horario permitirá no interferir otras reuniones y aprovechar los tiempos después de almuerzo. Lo ideal es que coincidan con el inicio y final de los turnos, para mantener informado a todo el personal.

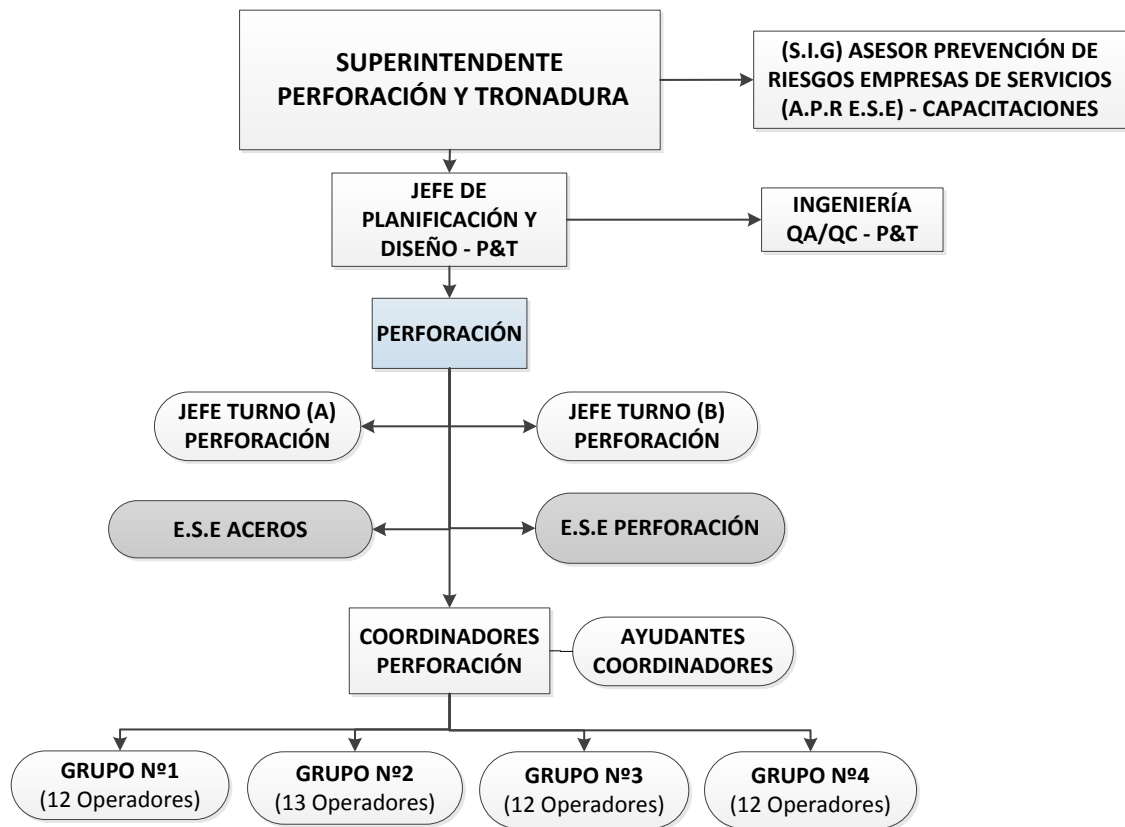


Ilustración 43: Organigrama - equipo de perforación

La planificación entregará una herramienta para que los operadores puedan evaluar su desempeño mientras trabajan, para que se vayan dando cuenta de sus errores, dejando en claro que no se castigará según sus ineficiencias o retrasos, pero sí, la advertencia frente a la omisión de información. La idea es que se vea esto como un seguimiento de las labores para el apoyo de operadores y no una forma de “inspección y castigo”. Esto permitirá ir generando una cultura de excelencia e involucramiento con el proceso: ellos deberán aplicar correctamente estándares (planificación), generar alarmas frente a deficiencias (control de gestión) y elaborar propuesta de mejora para la resolución de problemas (gestión del mejoramiento). El grado de involucramiento y proactividad, también será evaluado por un KPI.

En una primera etapa, los operadores deben ser capacitados y consultados acerca de los nuevos indicadores e inputs propuestos (primer filtro). Estos serán difundidos en una o dos presentaciones en la sala de conferencias del edificio Titán de operaciones a las 13:30 horas los días miércoles y se entregarán mediante un afiche-resumen en las perforadoras (KPI ajustados y acordados en conjunto).

Posteriormente, se deberá agendar reuniones con los Superintendentes de cada área de operaciones (segundo filtro), donde se definirán acuerdos para la coordinación de las distintas actividades y KPI que se implementarán.

Luego de su aprobación, se dará a conocer esta etapa mediante una presentación a Gerencia mina y posteriormente, la Gerencia General (tercer filtro). Será dirigida por el

Superintendente, el jefe de diseño y planificación, y el ingeniero QA/QC (ver carta Gantt al final de este capítulo). En ella se darán a conocer los objetivos, planes preliminares, indicadores a implementar y el beneficio económico asociado a su implementación.

Por supuesto, los indicadores deberán ser difundidos en toda la organización, pero antes requieren ser actualizados (acuerdos de etapas anteriores) y evaluados en terreno previamente, mediante mediciones en las distintas fases de extracción. Esto consistirá en pruebas diarias durante 2 semanas en 1 o 2 perforadoras, donde se ajustarán los límites de control, requerimientos y eficiencia del nuevo reporte, para luego publicarlos al resto del equipo de perforación (coordinadores, grupos de operadores, jefes de turno etc.).

La difusión consistirá en enviar una presentación resumen vía mail a toda la organización (firma de la Superintendencia de perforación y tronadura). La idea es poder recibir recomendaciones para filtrar indicadores (de ser necesario), o bien, recibir aportes para dar prioridades a ciertos temas en la implementación de los primeros meses. De esta manera se asignarán correctamente las labores QA/QC, para cumplir con la planificación eficientemente.

El objetivo principal de la difusión es poder mostrar a la organización las mejoras que se están implementando en el proceso y su potencial beneficio económico, lo cual revelará la importancia de la ejecución de la perforación, en la cadena de valor de la compañía. Esto podría dar paso a replicar el sistema en otros procesos.

Luego de informar a la organización, se procede en 10 semanas (máximo), capacitar a los operadores y cualquier integrante del equipo de perforación que lo requiera.

El fin de estas actividades es fomentar una cultura de autoevaluación, control y mejoramiento continuo, que permitirá influir favorablemente de forma directa e indirecta, en la reducción de costos y otorgará seguridad a la implementación del diseño de perforación.

A continuación se detalla la información referente a los inputs e indicadores propuestos.

5.1.1 Inputs

5.1.1.1 Reporte de perforación:

- **Control razones críticas:** agregar al reporte de perforación las razones de tiempo perdido más recurrentes del análisis de perforación entre Septiembre y Diciembre de 2014 (ver *Ilustración 65 en Anexo C*). Esto para controlar las causas de mayores retrasos en la operación. Por ejemplo, las razones: relleno agua y petróleo, sin marcas topográficas, cambio aceros, traslado largo y corto, etc. Se evaluarán por medio de los KPI propuestos.
- **Control de desgaste de aceros:** esto permitirá controlar la labor de la empresa proveedora de aceros, para corroborar que la información de sus controles sea efectiva. De esta manera, existirá un control en terreno y administrativo de los aceros de perforación y sus costos, facilitando la revisión del estado de pago y propiciar la identificación de oportunidades para elaborar planes de acción. El reporte incluirá los aceros: tricono, barra, anillo guía, adaptador tricono, anillo guía, amortiguador y adaptador superior. Cada uno tendrá un estándar de medición para determinar si cumplió su vida útil o está cerca de hacerlo (colaboración del capacitador de perforistas).
- **Eventos perforación:** agrupar eventos críticos de seguridad de la perforación en los reportes para contabilizarlos por turno. Roturas y rellenos, son algunos ejemplos.
- **Requerimiento a servicios:** solicitar al área de servicios el número de eventos de sobretamaños y sobre-pisos por turno y mes. Esta información no se registra actualmente e indicaría si el diseño de tronadura es el adecuado para las condiciones de la malla, o bien, si la implementación del diseño de perforación es óptima. Su registro se incluirá en el nuevo reporte (ver *Ilustración 65*).
- **Dureza roca por pozo en malla de perforación:** se incluirán el siguiente parámetro en la tabla de información del plano (ver *Tabla 9*). Se determina identificando el disparo y catalogándolos según tipo de roca.
 - Dureza: en primer lugar, se obtiene información del Departamento de Geomecánica, el cual determina el UCS por cada unidad geotécnica de la mina (ver *Tabla 14*). Luego, a partir del registro semanal elaborado por el área de planificación (donde se describe el tipo de roca de cada malla), se asignará a cada disparo una dureza según lo siguiente:

Tabla 13: Nueva clasificación de dureza por UCS

Dureza Terreno	UCS [MPa]
Duro	Mayor o igual a 111
Medio	51-110
Blando	0-50

Por otra parte, se evaluará definir dominios dentro de la malla (revisión del modelo de bloques), para identificar contactos litológicos o alguna otra condición que pueda influir en la perforación. Esto permitirá ser más precisos en la categorización, dada la variabilidad geológica dentro de un disparo.

Cabe mencionar que se estudió incluir como input el parámetro de abrasividad. Sin embargo, el equipo de perforación decidió que no será un requisito puesto que las unidades geotécnicas de Los Bronces no tienen un carácter abrasivo relevante.

Para el apoyo de la ejecución de la perforación, en la *Tabla 14* se resume la información entregada por el Departamento de Geomecánica (dureza de cada unidad geotécnica). Esto permitirá verificar durante la perforación, si la unidad asignada a la malla, fue bien definida por el modelo de bloques. En caso de no coincidir con la información del plano, se debe retroalimentar al área de diseño.

Tabla 14: Dureza por unidad geotécnica

Unidad Geotécnica	Código	Ambiente Geológico	UCS [Mpa]	Dureza Terreno (Nueva clasificación - UCS)
Brecha Donoso	BXD	Primario	136	Duro
		Secundario		
Brecha Central Potásica	BXC K	Primario	101	Medio
		Secundario		
Brecha Central Cuarzo-sericítica	BXC QS	Primario	60	Medio
		Secundario		
Brecha Occidente	BXO	Primario	112	Duro
		Secundario	61	Medio
Brecha Infiernillo	BXI	Primario	45	Blando
		Secundario		
Brecha Fantasma	BXF	Primario	42	Blando
		Secundario		
Andesita	AND	Primario	115	Duro
		Secundario		
Riolita	RIO	Primario	68	Medio
		Secundario		
Cuarzomonzonita Cuarzo-sericítica	QM QS	Primario	133	Duro
		Secundario	91	Medio
Cuarzomonzonita Potásica	QM K	Primario	149	Duro
		Secundario		

Con toda esta información se podrá escoger él o los mejores triconos para cada malla, donde se tienen 3 modelos hasta el momento: RB 53, 60 y 63; para roca blanda, media y dura, respectivamente (*ver rangos de dureza actuales en sección Inputs ejecución perforación*).

Se evaluará para la próxima licitación en el 2015 (dadas las restricciones contractuales con la empresa de servicios) incluir esta nueva clasificación de durezas, y según ello utilizar otros modelos de triconos como alternativas a la lista de los que ya están. Esto implica evaluar los rendimientos de los trépanos recomendados, mediante pruebas en terreno. Esto posibilitará que los operadores puedan escoger los triconos (fomentando su participación en la gestión de aceros) con más precisión y retroalimentar al modelo geológico.

5.1.2 Indicadores de desempeño

5.1.2.1 Estándares control ejecución

A continuación se presentan las ecuaciones para evaluar el desempeño del proceso:

- a) **Control de longitud de pozos:** se contabilizan diariamente los pozos largos y cortos en el nuevo reporte de perforadoras (*ver Ilustración 66*). Requerimiento: 70% semanal.

Ecuación 7: KPI nuevo 1: nivel calidad pozos

$$\text{Nivel Calidad Pozos} = \frac{\text{Pozos producidos} - (\text{Pozos largo} + \text{Pozos cortos})}{\text{Pozos producidos}} \cdot 100$$

- b) **Control de número de pozos:** junto con el control anterior, se corrobora que estén perforados todos los pozos de la malla antes de pasar a tronadura, o bien se contabiliza los que ya están listos y se informa al equipo de perforación. Requerimiento: 95% semanal.

Ecuación 8: KPI nuevo 2: Nivel cantidad pozos

$$\text{Nivel Cantidad Pozos} = \frac{P. \text{ producidos} - P. \text{ sin perforar o incompletos}}{\text{Pozos programados}_{(\text{diario por malla})}} \cdot 100$$

- c) **Control de malla de perforación:** utilizando el procedimiento que se describirá en la segunda etapa del sistema de gestión, se contabilizarán en el nuevo reporte (*ver Ilustración 66*), los pozos que no cumplen con las características de diseño. Requerimiento: 95% semanal.

Ecuación 9: KPI nuevo 3: nivel malla de perforación

$$\text{Nivel malla de perforación} = \frac{\text{Pozos producidos} - \text{Pozos desalineados}}{\text{Pozos producidos}} \cdot 100$$

- d) **Entregas de área en plazo:** se realizará un control de los tiempos perdidos críticos reportados y un seguimiento a las entregas de área de servicios y topografía. Se evaluarán por medio de un KPI las entregas del área de servicio (**S**) a topografía (**T**) y de ésta última a perforación. Requerimiento: 80% semanal.

Ecuación 10: KPI nuevo 4: eficiencia entregas de área (servicios y topografía)

$$\text{Eficiencias servicios y topografía} = \frac{N^{\circ} \text{ mallas entregadas en plazo}_{(S,T)}}{N^{\circ} \text{ mallas a entregar}_{(S,T)}} \cdot 100$$

e) **Control planificación y secuencia perforación:** este control verificará que dentro de la planificación se cumpla la secuencia de perforación, procedimientos y movimientos del equipo. Con ello se busca atacar causas de inconformidades como las que pueden provocar pozos sub-perforados, o bien condiciones sub-estándar de seguridad.

El coordinador debe controlar las maniobras por radio durante el turno y al final verificar en terreno las direcciones de secuencia y movimientos. El coordinador registrará los eventos diarios inconformes con lo planificado, de manera de retroalimentar al operador e informar de lo ocurrido al turno siguiente. Este KPI no sólo contabilizará los pozos perforados fuera de secuencia, sino que también cualquier cambio de programa en la ejecución, como un evento no conforme más. El requerimiento será de 95% semanal.

Ecuación 11: KPI nuevo 5: eficiencia planificación y secuencia

$$\text{Eficiencia planificación perfo.} = \frac{\text{Pozos prog.} - \text{Pozos perfo. fuera de secuencia}}{\text{Pozos programados a perforar}} \cdot 100$$

5.1.2.2 Estándar tiempos y eventos

Los tiempos de ciclo ideales para cada uno de los KPI se determinaron del análisis de reportes de perforadoras (Septiembre - Diciembre 2014), definiendo un rango de tiempo (límite de control).

La *Tabla 15* resume los GAP más críticos por número de eventos. Algunos de ellos no son controlables, pero sí medibles. Por tanto, sus KPI se definirán según número de eventos o rango de tiempo estándar.

Además, se muestra un resumen de los tipos de controles de calidad, su prioridad y las características recogidas de la sección de análisis para definir prioridades de los controles según: número de eventos, tiempo por GAP y tipo de control (*ver sección 4.3.1*). Las prioridades con mismo número, deben controlarse simultáneamente.

Tabla 15: Resumen tipos de control QA/QC por GAP

Prioridad	TIPO CONTROL	GAPS (toda categoría)	Número de Eventos
1	<i>Tiempo</i>	Relleno de Agua	590
2	<i>Tiempo</i>	Relleno de Petróleo	304
3	<i>Tiempo</i>	Traslado Colación	227
4	<i>Tiempo</i>	Cambio Tricono	89
1	<i>Eventos</i>	Sin Marcas Topográficas	75
2	<i>Eventos</i>	Sin Agua	57
3	<i>Eventos</i>	Repaso Pozo	40
4	<i>Eventos</i>	Estándar Plataforma deficiente	31
5	<i>Eventos</i>	Espera Equipo Servicio	29
6	<i>Eventos</i>	Sin Energía	13
7	<i>Eventos</i>	Sin Operador	11
8	<i>Eventos</i>	Pozo Fracturado	4
9	<i>Eventos</i>	Sin Petróleo	3

Luego, los KPI por “Tipo de Control” son los siguientes:

- a) **Control tiempos:** se controlarán las primeras cuatro prioridades de la *Tabla 15*, definidas por número de casos registrados en los reportes de perforadoras y algunos de ellos, también con pérdidas operacionales importantes en cuanto a tiempo. Requerimiento: 95% semanal.

Ecuación 12: KPI nuevo 6 - control tiempos preparación y ejecución

$$Eficiencia\ Tiempo\ i := \frac{N^{\circ}\ eventos_i\ dentro\ del\ tiempo\ estándar}{N^{\circ}\ eventos_i\ totales} \cdot 100$$

- **Tiempos a controlar (estándar o límites de control):** se definen a partir del estudio de reportes de perforación.
 - Relleno de agua: 9 – 11 min
 - Relleno de petróleo: 9 – 11 min
 - Cambio tricono: 22 – 28 min
- **Caso especial (tiempo):**
 - Traslado colación: el rango de tiempo (tolerancia) dependerá de la distancia al casino móvil.
 - **Casinos en Los Bronces:**
 - i. Central (Edificio Titán): 1 hora desde fase más lejana.
 - ii. Infiernillo: 20 min aproximadamente desde fase Infiernillo.
 - iii. Casino: ubicado en el patio de la empresa externa proveedora de aceros. 15 min aproximadamente desde fase casino.

b) **Control eventos indeseados:** se debe diferenciar por tipo de evento y se medirán los primeros cuatro con mayor prioridad de la *Tabla 15*.

El cumplimiento exigido por evento, será en un principio de 80% semanal. Dada su criticidad y recurrencia es de esperar que en los primeros meses, no se alcance el porcentaje ideal en todos los eventos.

- Sin marcas topográficas:

Ecuación 13: KPI nuevo 7.1 - control de evento: sin marcas topográficas

$$\text{Eficiencia marcaje topográfico} = \frac{\text{Áreas marcadas}}{\text{Áreas con marcaje planificado}} \cdot 100$$

- Sin agua: los avisos de requerimiento al equipo de servicio, implican que el operador debe calcular según el flujo de agua promedio utilizado, a qué hora se agotaría. Esto permitirá prevenir los tiempos muertos por espera de abastecimiento. Se controlará este desvío según el siguiente KPI.

Ecuación 14: KPI nuevo 7.2 - control de evento: sin agua

$$\text{Eficiencia agua disponible} = \frac{N^{\circ} \text{ eventos de relleno de agua en plazo}}{N^{\circ} \text{ de avisos requerimiento}} \cdot 100$$

- Repaso pozo:

Ecuación 15: KPI nuevo 7.3 - control de evento: sin repaso pozo

$$\text{Nivel de Calidad sin repaso pozo} = \frac{N^{\circ} \text{ pozos producidos} - N^{\circ} \text{ repasos}}{N^{\circ} \text{ pozos producidos}} \cdot 100$$

- Plataformas bajo estándar: si se entrega el área, a pesar de que la plataforma no se encuentre estandarizada, debe contabilizarse esta condición.

Ecuación 16: KPI nuevo 7.4 - control de evento: plataforma bajo estándar

$$\text{Eficiencia estándares plataforma} = \frac{N^{\circ} \text{ plataformas estándar}}{N^{\circ} \text{ plataformas entregadas}} \cdot 100$$

5.1.2.3 Estándar rendimientos

a) **RPM y empuje:** estos parámetros no se registran correctamente y también serán incluidos dentro del nuevo reporte. Con ello se podrá conseguir información valiosa para determinar causas de desperfectos y control de los mismos, y revisar estándares de mantención.

Se utilizarán rangos de RPM y empuje por tipo de roca: dura, media o blanda, definidos en un estudio realizado por el capacitador de perforación.

La regla general es que para roca dura se debe utilizar una menor rotación y mayor empuje, al revés para las más blandas. Con esto se cumplirá con los requerimientos de los fabricantes y permitirá sacarle un mayor rendimiento a los aceros de perforación. El resumen de los límites de control en la siguiente tabla (requerimiento: 90% semanal):

Tabla 16: KPI nuevo 8 - RPM y empuje por dureza

Dureza / Nuevas Variables	RPM	Empuje [KN]
Duro	60-75	300-151
Medio	76-90	150-51
Blando	91-110	50-0

Ecuación 17: KPI nuevo 8 – control RPM y empuje por dureza

$$\text{Eficiencia parámetros perfo.} = \frac{\text{Cantidad pozos con parámetro promedio ideal por dureza}_{(D,M,B)}}{\text{Cantidad de pozos perforados}} \cdot 100$$

b) **Control velocidades de perforación.**

- Velocidad perforación efectiva (dureza roca: dura, media, blanda): se incluirá su control en el nuevo reporte de perforación (ver *Ilustración 65*).

Los rangos de tiempos por dureza se determinaron mediante un cálculo simple de transformación de unidades, en base al estudio de reportes de perforadoras. Además, se considera el largo de pozo promedio de aproximadamente 16 metros, obteniéndose lo siguiente:

Tabla 17: KPI nuevo 9.1 - límites de control de velocidades

Dureza Terreno	Control Tiempo [min]	Control Velocidades (equivalencia) [m/h]
Duro	27 - 38	25 - 36
Medio	17 - 24	40 - 56
Blando	12 - 15	64 - 80

Se muestra en la *Tabla 17* los límites de control de velocidades y su equivalente en minutos de perforación por pozo. A los operadores les será más fácil llevar un control del tiempo, por lo que se les exigirá evaluar su perforación según los minutos que demoren en terminar un pozo (velocidad efectiva), en función del tipo de roca que estén perforando. Por supuesto estos límites son una primera aproximación, que se puede ir ajustando mediante el mejoramiento continuo y así determinar velocidades óptimas según datos de terreno actualizados.

Este control será útil para un análisis de velocidades por equipo y de terrenos e incluso, permitiría estudiar las velocidades a lo largo del pozo para retroalimentar al modelo de bloques

(perfil y planta). Habrá un KPI más específico para evaluar el desempeño de los operadores en la próxima sección.

El requerimiento será un mínimo de 80% semanal (ajustable), haciendo diferencias para equipos Bucyrus y Pit Viper. A continuación el indicador:

Ecuación 18: KPI nuevo 9.1 - control velocidad efectiva de perforación por tipo de roca

$$Eficiencia\ Veloc.\ perfo. = \frac{Cantidad\ pozos\ con\ Velocidad\ promedio\ ideal\ por\ dureza_{(D,M,B)}}{Cantidad\ de\ pozos\ perforados/malla} \cdot 100$$

- Cuociente de velocidades: este indicador permitirá además, evaluar la velocidad operativa (traslados y maniobras).

Ecuación 19: KPI nuevo 9.2 - cuociente de velocidades de perforación

$$Cuociente\ Velocidades\ perforación = \frac{Velocidad\ Operativa \left[\frac{m}{h} \right]}{Velocidad\ Efectiva \left[\frac{m}{h} \right]}$$

5.1.2.4 Desempeño operadores

a) Velocidad y cuociente velocidades (V.C):

- Velocidad efectiva operador (V.EF.): al igual que en el KPI 6, se medirá este parámetro pero se analizará en este caso operador a operador. El requerimiento, al igual que en el KPI general de velocidad, será un mínimo de 80% mensual (ajustable a condiciones operacionales).

Ecuación 20: KPI nuevo 10.1 - eficiencia velocidad perforista

$$Eficiencia\ Operador = \frac{Cantidad\ pozos\ con\ Velocidad\ promedio\ ideal - dureza_{(D,M,B)}}{Cantidad\ de\ pozos\ perforados/malla} \cdot 100$$

- Cuociente velocidad operativa y efectiva (V.O.E): con este indicador se evaluará el tiempo operativo en relación con el efectivo. Requerimiento: 80% mensual.

Ecuación 21: KPI nuevo 10.2 - cuociente de velocidades para perforistas

$$Cuociente\ Velocidades\ Operador = \frac{Velocidad\ Operativa \left[\frac{m}{h} \right]}{Velocidad\ Efectiva \left[\frac{m}{h} \right]} * 100$$

- b) Nivel de seguridad e iniciativa (N.S.I):** este KPI busca motivar a la participación de los operadores al cumplir un cierto número de propuestas u oportunidades de mejora, identificación de riesgos o alguna otra observación que agregue valor a la operación dentro del mes. Es decir, se medirá la proactividad del perforista, sujeto al criterio común del ingeniero QA/QC y del monitor o capacitador de operadores. El requerimiento preliminar será de 10 iniciativas mensuales.

Ecuación 22: KPI nuevo 10.3 - Nivel de seguridad e iniciativa

$$\text{Nivel de Seguridad e Iniciativa} = \frac{\text{Logro mensual iniciativas}}{\text{Requerimiento iniciativas mensual}} * 100$$

- c) Mantenimiento perforadora y housekeeping (M.H):** se realizará un ranking de los operadores con menor cantidad de fallas y menor requerimiento de mantenimiento. Para ello se requiere un acuerdo de servicio con el Departamento de Mantenimiento, a quien se le entregará la información referente a GAPS y panas obtenido del estudio de reporte de perforadoras, para luego definir los parámetros de evaluación del reconocimiento. Se realizará el contacto directo entre el mantenedor de perforadoras, el jefe de turno y el capacitador de perforación. Todo esto apoyado por el ingeniero QA/QC para la inclusión en el sistema. Cabe mencionar que se debe revisar el la calibración de los equipos, para diferenciar los desempeños del operador según este factor.

5.1.2.5 Reconocimiento operadores

a) Calificación nivel de operador:

- Estrella de oro: cada estrella indicará que el operador cumplió con los requerimientos semestrales de desempeño, siendo la máxima calificación el obtener las 3: “**V.C**” (estrella izquierda), “**N.S.I**” (central) y “**M.H**” (derecha). *Ver indicadores en el punto anterior.*

Estas se ubicarán en la parte posterior del casco (*ver ilustración 45*).

Adicionalmente, el conseguir las 3 estrellas podría implicar, de ser requerido por el jefe de turno o coordinador de grupo, que el perforista pueda realizar labores de monitor, subiendo su rango, pues dada su calificación, se reconoce que comprende y pone en práctica los estándares, y favorece el mejoramiento continuo del proceso por su actitud proactiva. Esto será un incentivo extra al desempeño de excelencia.



Ilustración 44: Reconocimiento operador - estrella de oro



Ilustración 45: Calificación del operador en el casco (ejemplo: operador no cumple con indicador “V.C”)

- #### b) Afiche informativo mensual:
- se entregará vía correo electrónico y difundirá en la Superintendencia, el resumen mensual de los principales parámetros de la operación, que también incluirá el reconocimiento del operador por su desempeño e iniciativa (*ver Ilustración 67*).

5.1.2.6 Cálculo Eficiencia semanal y mensual

Para verificar los cumplimientos dentro de los distintos horizontes de tiempo, sólo basta multiplicar entre sí los porcentajes de eficiencia o nivel de calidad. Por ejemplo, para calcular la eficiencia semanal, se requiere multiplicar los porcentajes de cumplimiento diarios.

5.2 Control de gestión

En esta fase se determina cómo se analiza la información, se definen los responsables, equipos de trabajo y plazos.

A partir de la etapa de planificación se elabora un tablero de control de gestión (*ver Anexo F. Tablero de control de gestión*) donde se registran los avances, permitiendo generar alarmas (control de gestión) frente a un incumplimiento de los requerimientos definidos por KPI. A continuación un resumen con los requerimientos definidos en la etapa anterior:

N°	KPI	Detalle KPI	Requerimiento inicial [%]
1	Nivel Calidad Pozos	Sobre y Sub-Perforación	70
2	Número de Pozos	Verificación producción	95
3	Calidad malla de perforación	Diseño	95
4	Entregas de Área en Plazo	Servicios	80
		Topografía	80
5	Planificación y Secuencia	Cumplimiento Planificación	95
6	Tiempos	Relleno de Agua	95
		Relleno de Petróleo	95
		Traslado Colación	95
		Cambio Tricono	95
7	Eventos	Sin Marcas Topográficas	80
		Sin Agua	80
		Repaso Pozo	80
		Estándar Plataforma	80
8	RPM y Empuje	Verificación parámetros perforación	90
9	Velocidades Perforación	Vel. Efectiva Perforación	80
		Cuociente Velocidades Operativa/Efectiva	80

Ilustración 46: Requerimientos control de gestión - KPI 1 - 9

KPI	N°	KPI operador	Requerimiento inicial [%]
10	1	Velocidad y Cuociente Velocidades (V.C)	80
	2	Nivel de Seguridad e Iniciativa (N.S.I)	100
	3	Mantenimiento Perforadoras y Housekeeping (M.H)	Criterio jefe mantención y capacitador perforación

Ilustración 47: Requerimientos control de gestión - KPI 10 desempeño operadores

Cabe mencionar que lo óptimo habría sido utilizar sistemas de información en línea para registrar y distribuir los datos tomados en terreno, pero estos no se encuentran disponibles e implicaría mucho tiempo su puesta en marcha; la causa principal es la señal poco robusta en la mina debido a condiciones ambientales. Actualmente se está organizando un equipo en el Departamento de Despacho para mejorar el almacenamiento y uso de información, corrigiendo en primer lugar, las deficiencias del sistema GPS de las perforadoras. Con el sistema de precisión implementado al 100%, se evaluará la inclusión de un sistema de información que permita ingresar automáticamente en formato digital los datos del reporte de perforadoras, facilitando su análisis, para una toma de decisiones eficiente.

Dado lo anterior, de momento se opta por realizar un control de los documentos escritos, lo que requiere la participación del ingeniero QA/QC, quien deberá digitalizar diariamente, la información de los reportes.

En la última etapa del sistema de gestión, se resumirá el rol del ingeniero QA/QC (puede ser alguien de la Superintendencia de perforación que asuma su rol o se dividan las tareas), el cual deberá velar por el cumplimiento de las mediciones, registro y disponibilidad de documentos para el control de calidad (planos, tablero de gestión, reportes de perforación, etc.).

Los controles son de carácter obligatorio, por lo que si algún responsable de esas tareas no puede realizarlas, el ingeniero QA/QC deberá reemplazarlo. Lo ideal sería que pudiese apoyar siempre en las mediciones e inspeccionar las labores en terreno.

Para poder llevar un control exhaustivo de las actividades críticas, se requiere realizar una recopilación de datos a partir de los reportes de perforación y un análisis sistemático de estos, según los horizontes de tiempo definidos en la *Ilustración 48*. Lo primero puede ser realizado por el aprendiz de la Superintendencia y el análisis quedaría a cargo del ingeniero QA/QC, de manera de que éste último pueda realizar observaciones en terreno y tenga contacto directo con los operadores en el día a día. Una actividad propuesta para el ingeniero QA/QC, será el crear un sistema de información que ingrese instantáneamente los datos de los reportes, pero de momento se operará así, para poder implementar en el corto plazo los KPI y revisar su eficacia.

Las actividades de mayor prioridad serán medidas y analizadas en intervalos de tiempo más inmediatos. A continuación se exponen los plazos de controles y análisis para los distintos KPI.

Perforación									
Nº	QA/QC	Tipo	KPI / Input	Detalle	Control (Medición)	Análisis (Reporte)	Prioridad		
1a	Nuevos Input	Input Reportes	Razones Críticas (GAPS)	Pareto GAPS	Diario	Mensual	3		
2a			Desgaste Aceros	Gestión de Aceros			4		
3a			Eventos Perforación	Rotura, Rellenos, otros (seguridad)		Semanal	1		
4a			Requerimientos a Servicios	Eventos: Sobre-tamaños, etc.		Mensual	3		
5a			Dureza por Pozo	Apoyo KPI Velocidades y Modelo de Bloques					
1	KPI	Ejecución	Longitud Pozos	Sobre y Sub-perforación	Diario	Semanal	1		
2			Número Pozos	Control de Producción					
3			Calidad Malla Perforación	Diseño					
4			Entrega de áreas en plazo	Servicios					
5			Planificación y Secuencia	Topografía					
6		Tiempos y Eventos	Control Tiempos	Relleno de Agua		Diario	Mensual	4	
7				Control Eventos					Traslado Colación
									Cambio Tricono Sin Marcas Topográficas
8		Rendimientos	RPM - Empuje	Sin Agua					
				Revisión parámetros ejecución. Causas desperfectos equipo					
	Repaso Pozo								
9	Velocidades Perforación	Velocidades Perforación	Vel. Efectiva Perforación	Semanal	2				
			Cuociente Velocidades (Operativa/Efectiva)						
10	KPI Operadores	Desempeño Personal	Velocidades y Cuociente Rendimientos (V.C)	Control Rendimiento Operadores	Semanal		2		
			Nivel de Seguridad e Iniciativa (N.S.I)	Proactividad en Seguridad y Mejoramiento				Semestral	1
			Mantenimiento perforadora y Housekeeping (M.H)	Control Conductas Operativas y Limpieza		2			

Ilustración 48: Resumen control de gestión

Los resultados obtenidos de los KPI los analizará el ingeniero QA/QC. Debe identificar los indicadores deficientes (los informa en esta etapa), para generar planes de acción en la última fase del sistema de gestión. Además, debe revisar los nuevos inputs y relacionarlos con los KPI, para identificar mejoras y proponer otros análisis que agreguen valor.

El ingeniero debe encontrarse en faena durante su estudio para proceder a la brevedad en caso de tratarse de un tema que afecte la seguridad y/o continuidad operacional (planes de acción inmediatos). También será el encargado de dirigir una reunión informativa (30-45 minutos, 13:30 hrs), en la sala de reuniones con proyector del Edificio Titán de operaciones, acerca del control de gestión que se realizará semanalmente, pero en caso de temas críticos se citará a reunión extraordinaria. En ella participará el jefe de turno, coordinadores, monitor, el ingeniero QA/QC. Se informará del estado de los indicadores en función de la información recopilada de la semana, para los KPI con mayor prioridad y se realizará un Brainstorming para identificar las posibles causas de las deficiencias.

Los jefes de turno y coordinadores deberán aportar en la reunión con la descripción detallada de la problemática detectada, proponer acciones inmediatas (de ser necesario) y realizar sugerencias, como por ejemplo, ajustes a los indicadores. Todo lo anterior en función de la minuta o registro de reunión generado por el ingeniero QA/QC. Ésta posee la siguiente estructura:


		Control de Gestión - QA/QC		Operación Los Bronces	
FECHA	XX-MES-AÑO	HORA INICIO		HORA TÉRMINO	
LUGAR					
OBJETO REUNIÓN					
ASISTENTES	NOMBRE	EMPRESA / OBSERVACIONES	FIRMA		
N°	TEMAS TRATADOS				
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
ITEM	N° KPI	ACUERDOS/COMPROMISOS	ENCARGADO	PLAZO	% CUMP
1					
2					

Ilustración 49: Minuta reuniones - control de gestión

Dentro del mismo mes (día acordado con el ingeniero QA/QC), los jefes de turno completan la minuta con el porcentaje de cumplimiento con los compromisos o acuerdos redactados y la exponen en la reunión de avance, previo al final del turno (20-30 minutos, 13:30 hrs, día acordado previamente). Dependiendo de la criticidad de la problemática, puede ser más de un encuentro, dentro de un plazo que no exceda 2 semanas, para poder abarcar otros temas y no retrasar las labores operacionales. La minuta con el avance será publicada vía correo electrónico a todo el equipo de ejecución, solicitándoles aportes, que podrán ser considerados como iniciativas del KPI de nivel de seguridad y proactividad. Cabe mencionar que el turno entrante debe estar informado acerca de la minuta y el avance para continuar con las labores.

El acuerdo final o planes de acción definitivos pasarán luego a la tercera etapa (gestión del mejoramiento), donde participará el Superintendente, el jefe de diseño y planificación de perforación y tronadura, y el ingeniero QA/QC (equipo directivo QA/QC).

En esta etapa no se pone en marcha el mejoramiento (medidas correctivas), a menos que sea un tema crítico y con previa autorización de la jefatura. Es más bien, un avance para generar ideas que aporten al plan de acción definitivo definido por el equipo directivo. La modificación de

estándares y la cartera de proyectos (planes de acción), serán difundidos por el Superintendente en la próxima fase (detalle en la sección siguiente: *5.3 Gestión del mejoramiento*).

A continuación el detalle del Control de Gestión por cada KPI:

- a) **Nivel de calidad pozos:** el operador debe realizar este KPI al finalizar los pozos del turno, mediante una huincha (esta labor no se realiza con regularidad). La información de la longitud de pozos se debe registrar en el mismo plano, de manera de obligar a que este documento sea un requerimiento de la operación, adicionalmente al tema de las estacas que es útil para otras labores. Sin el plano y sus inputs respectivos, no se puede proceder a controlar la calidad de los pozos, obligando a diseño a darle prioridad a este tema: planos completos y entregados oportunamente. Además, se tiene también al encargado de tronadura para una posterior mensura de pozos, (actividad que ya se estaba realizando). Será entonces un requerimiento de la operación esta doble revisión, para asegurar que el trabajo desarrollado sea de excelencia; que el operador está al tanto de sus aciertos y desaciertos, calidad del producto que entrega al cliente y la importancia de sus pozos perforados para la cadena de valor de la compañía. Dado el carácter crítico de la actividad, es importante que el operador se sienta parte del proceso, es decir, que exista un involucramiento. No es sólo controlar, ya que también debe entrar en contacto con el mensurador de tronadura, para tener feedback de su labor y puede por tanto, autoevaluarse. Por otra parte, el operador debe considerar la cantidad de pozos y el tiempo de traslado en la revisión completa, de manera de realizar la evaluación dentro del turno. Lo anterior previene que no se realice el control por haber cambio de operador. En cuanto a la tolerancia de cumplimiento de longitud de pozo, se realiza un ajuste por la caída inevitable de material al sacar la sarta del pozo. La tolerancia es de +/- 50 cm y puede ser ajustable a medida que se mantenga el desempeño por sobre el requerimiento del KPI.
- b) **Número de pozos:** esta medición la debe realizar el coordinador de grupos de perforistas. Al final de cada turno debe corroborar el número de pozos perforados e identificar los que queden pendientes en cada disparo programado, generando un registro que será entregado al jefe de turno, para actualizar el cumplimiento del plan de perforación.
- c) **Calidad de mallas de perforación:** este control se realiza debido a que no está disponible el sistema GPS en las perforadoras. Los pozos desalineados serán los que no cumplen el Burden y/o Espaciamiento. Se apreciará esto en terreno por medio de una cuerda delgada del largo requerido por tamaño de malla (debe ser facilitado por el Coordinador del grupo de operadores). Para el procedimiento se requieren 2 personas que serán el operador y el coordinador de grupo. Cabe destacar que no es necesario que se realice al final del turno, pues depende de si la malla tiene más del 50% de los pozos perforados. Cumpliendo aquello, se puede medir y así aprovechar tiempos muertos por pana, mantención, relleno de agua, labores de equipos de servicio, etc.

La medición se realiza por “fila” o línea paralela a la cara libre (espaciamiento) y “columna” (burden) de pozos. La cuerda debe pasar por la línea media del primer pozo (operador) y ser sostenida en el último barrenado de la línea por el coordinador (o viceversa).

En caso de que la cuerda no tenga la extensión requerida, se debe controlar la alineación con menor cantidad de pozos y más repeticiones (apoyo de ingeniero QA/QC).

- d) Entregas de área en plazo:** este control es fundamental para evitar retrasos en la planificación de la perforación. Por distintas razones, es recurrente que el área de Servicios o Topografía, no entregue dentro de los plazos estipulados el sector para perforar. Debido a ello se requiere tener un registro mensual de eventos de retrasos en la disponibilidad de la plataforma de trabajo. El encargado de llevar este control será el ingeniero QA/QC, quien deberá estar presente en las fechas correspondientes. Para asegurar la entrega de área, debe estar al tanto 4 días antes de lo planificado, de manera de tener tiempo para aplicar medidas correctivas y coordinar con las áreas involucradas.
- e) Planificación y secuencia:** la medición consta de la revisión de la secuencia de perforación y del programa (colaborado por el control de número de pozos). También deberá considerar el tránsito de vehículos dentro de la malla, por lo que debe estar al tanto de los que entran y salen, incluso los de abastecimiento que no siguen un programa determinado. Con esto se tendrá un control de seguridad adicional en el área de trabajo y se evaluará el cumplimiento secuencial de la ejecución, que ha provocado retrasos en el programa y condiciones sub-estándar.
- f) Control de Tiempos:** los tiempos operacionales serán registrados por el operador en el reporte diario y junto a ello, se le exigirá registrar cada evento y su respectivo tiempo para los 4 GAPS con mayor prioridad (*ver Tabla 15*). Se define para cada uno de ellos, un rango de tiempo estándar, determinado por estadísticas de reportes, sin hacer diferencias entre equipos:
- **Relleno de Agua**
 - **Relleno de Petróleo**
 - **Traslado Colación:** definido por ingeniero QA/QC, optimizando rutas.
 - **Cambio Tricono**
- g) Control de eventos indeseados:** el ingeniero QA/QC evaluará los eventos más recurrentes según la información registrada en los reportes de perforación (sin hacer diferencias entre equipos). Estos son: “sin marcas topográficas”, “sin agua”, “repaso pozo” y “plataforma bajo estándar”.
- h) Control de parámetros de perforación:** se medirá la eficacia de los límites de control de los parámetros de RPM y empuje en la consecución de mayores rendimientos de perforación. El no utilizarlos dentro de los estándares establecidos, puede alterar el buen funcionamiento de los equipos, producir detenciones y mantenciones no programadas, que van en desmedro de la continuidad operacional.

i) Control de velocidades de perforación:

- Velocidad efectiva de perforación: la velocidad ideal por pozo dependerá de la dureza del tipo de roca de la malla. Se tomarán rangos de velocidades para definir como tiempo de ciclo ideal cualquier valor dentro del rango definido por categoría de dureza. Sin embargo, esto requiere un estudio acabado del tema, que está siendo desarrollado por el capacitador de perforación y está considerado dentro de la programación de implementación del sistema de gestión. La definición que se realice será incluida a este KPI.

La información proveniente de reportes no entregó resultados coherentes como para definir el rango de tiempos por dureza (se determinó mediante pruebas en terreno del capacitador de perforistas y cambiando el rango de UCS por dureza).

Esto se puede haber ocasionado porque los inputs de tipo de roca por malla, en este momento, no son los adecuados (no actualizados), o por la variabilidad en la utilización de parámetros operacionales (RPM, empuje), por parte de los operadores en la perforación (conductas y prácticas operacionales). Esto confirma el beneficio potencial de la estandarización de procedimientos de ejecución, enunciados en este sistema de gestión.

El encargado de registrar los datos en los reportes de perforación es el operador. Teniendo el rango de tiempos por dureza, podrá evaluar si el tricono utilizado es el ideal para el terreno en que está perforando y solicitar un cambio del trépano para mejorar la velocidad de perforación (mayor participación del operador).

- Cuociente entre velocidades operativa y efectiva: esta medición nos permitirá controlar el aumento de velocidad efectiva, sin que se escape de control la operativa. Logrando así, una intervención completa sobre el proceso.

Según el análisis de reportes de perforación, se obtiene un cuociente promedio de 76% entre los distintos equipos. En procesos de perforación óptimos (Benchmarking), se puede llegar incluso a valores entre 90 y 95% [6]. Por tanto, sería conveniente partir de un 80% como requerimiento semanal más realista y con el tiempo al ajustar parámetros y controles, aumentar la exigencia del KPI.

Este indicador es básicamente para control semanal. En el horizonte mensual se realizarán rankings por operador. Se reconocerá a los 5 mejores y se reforzará y capacitará a los con menor desempeño (*ver Ilustración 67*).

5.3 Gestión del mejoramiento

En la gestión del mejoramiento se identifican las oportunidades y en base a ello, se determina una cartera de proyectos, es decir, se generan planes de acción para corregir indicadores con desempeño deficiente. Permitirá por tanto, clarificar los objetivos a cumplir y tener un plan de mejoramiento continuo que otorgará excelencia al proceso.

En cuanto a la definición de proyectos a implementar, ésta se basará en la información obtenida por las herramientas de gestión (*ver sección 2.2.3 Herramientas de Gestión*), del capítulo de análisis de situación actual.

En primer lugar, como se mencionó anteriormente, esta etapa busca hacer frente ante los indicadores deficientes del proceso. Debido a ello, se debe recolectar toda la información obtenida de los análisis de la etapa de control de gestión: desde las observaciones del ingeniero QA/QC, hasta las propuestas u oportunidades detectadas por los operadores. Todo en base a la metodología del mejoramiento continuo (ciclo de Deming), e intentando prevenir deficiencias y controlar la calidad del producto de la perforación con el QA/QC.

5.3.1 Aplicación del Ciclo de Deming

Un mejoramiento efectivo del proceso, dependerá del criterio del equipo directivo de perforación, compuesto por el Superintendente, jefe de diseño y planificación, el ingeniero QA/QC y el jefe de turno, para tener una visión global de cada problemática y determinar soluciones más eficaces.

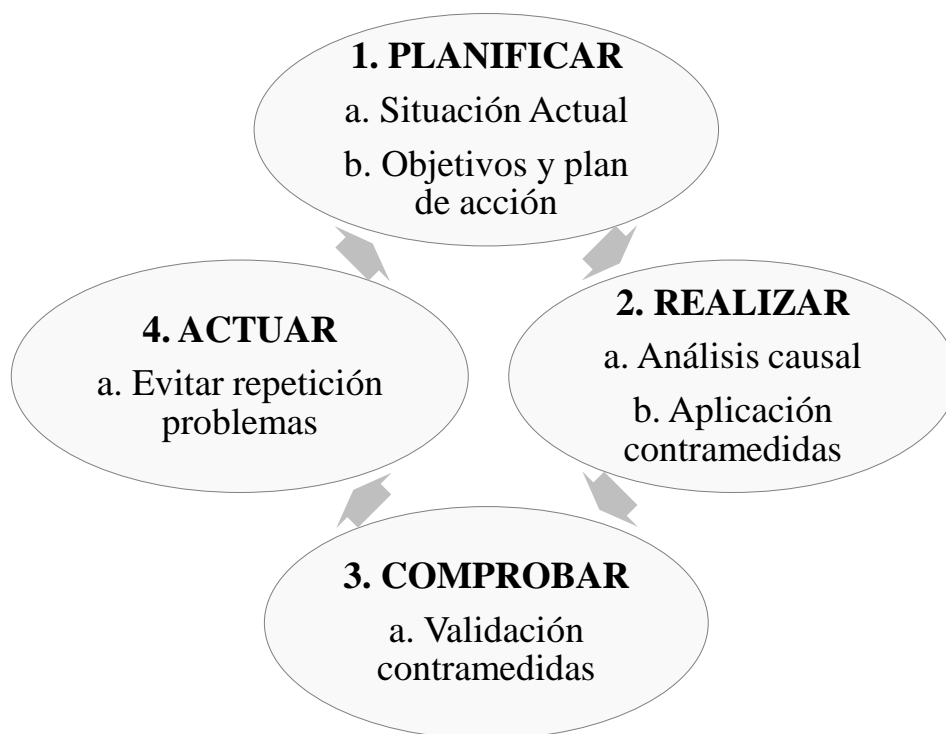


Ilustración 50: Etapas ciclo de Deming a aplicar

Los temas se tratarán en 2 reuniones quincenales de 1 hora cada una (días determinados por el Superintendente, posterior a las reuniones de avance de control de gestión), estructuradas en base al ciclo de Deming. La primera de ellas corresponderá a las dos etapas “planificar” y “realizar” y a la quincena siguiente, las últimas dos (comprobar y actuar).

a) Planificar:

- Determinación de la situación actual: uno de los puntos más importantes para iniciar la resolución de un problema o realizar una mejora, es conocer completamente la situación en que se encuentra el proceso. Se requieren por tanto, datos reales, que para el caso de esta investigación, fueron obtenidos mediante la recopilación de los antecedentes actuales de la perforación en Operación Los Bronces y se espera, se complemente con las reuniones de control de gestión (las alertas generadas) y otras propuestas del equipo, luego de la puesta en marcha del sistema de gestión propuesto. Esto permitirá seleccionar las mejores ideas y convertirlas en planes de acción.

La información referente a la situación actual del proceso, es obra del ingeniero QA/QC, el cual ordena y clasifica mediante representaciones que pueden ser: gráficos de líneas (en esta investigación: costos mensuales de perforación), de barras (contabilizar número de casos por categoría de GAPS y comparar rendimientos), o diagramas de Pareto (GAPS de perforación).

Mientras mayor sea el detalle de los datos, más clara será la representación de la situación actual del proceso, por lo cual será más fácil determinar posteriormente, las causas reales que producen los problemas.

- Definición de objetivos / planes de acciones: luego de conocer la situación actual y tenerla medida con datos reales, se plantean los objetivos para mejorar el proceso (“dónde se está” y “a dónde se quiere llegar”). Estos deben ser medibles y además, ambiciosos y retadores, pero teniendo cuidado de que no sean imposibles de cumplir. Para que pueda ser considerado un objetivo como tal debe considerar un resultado o requerimiento (valor numérico: en la etapa de planificación de esta investigación se encuentran ejemplos de ello) y un plazo para conseguirlo.

Una vez que se determinan los propósitos del mejoramiento, se establece un plan de acciones, que determina las principales actividades para lograr lo planteado. Éste programa será de carácter orientativo, pues será revisado en más detalle en la segunda fase (“Realizar”) y debe considerar: actividades, responsables y fechas de realización.

Tabla 18: Gestión del mejoramiento – fase A planificación de objetivos

Nº	Objetivos	Responsable	Fecha de realización
1	“ ”	“APELLIDO, NOMBRE”	“DÍA-MES-AÑO”
2			
...			

De la etapa de control de gestión nacieron soluciones paliativas o parciales para resolver los problemas más urgentes, que en ésta fase serán evaluados y reconsiderados en caso de haber obtenido buenos resultados.

b) Realizar:

- Análisis de causas: en esta fase, como su nombre lo indica, se quiere identificar las principales causas de las desviaciones al estándar operacional. Para reconocerlas, se consideran los factores que influyen en el proceso (recursos de la producción o “5 M’s”), apoyado por una herramienta de gestión: diagrama de Ishikawa o de causa y efecto (ver Ilustración 1 Ilustración 51).

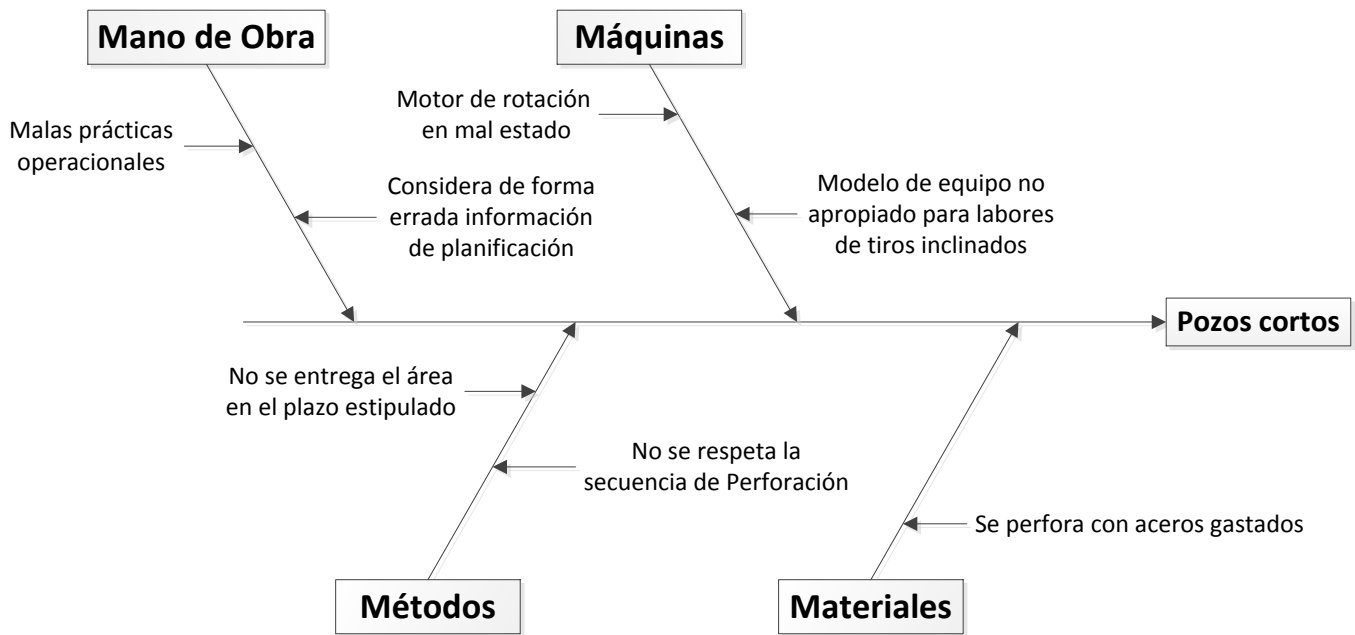


Ilustración 51: Ejemplo diagrama de causa y efecto

Las causas serán determinadas por el Brainstorming realizado en la etapa de control de gestión y profundizada en estas reuniones.




Otra técnica para identificar los orígenes de las deficiencias es la de los “5 ¿por qué?”, que consiste en preguntarse 5 veces el porqué de una razón determinada e ir completando el diagrama.

Por supuesto es necesario realizar pruebas en terreno para identificar las causas reales y contrastarlas con las encontradas por Brainstorming. Debido a ello, el ingeniero QA/QC debe actualizar el diagrama antes de llegar a esta etapa, de manera de poder disponer de esa información, previo a la definición de contramedidas. Si se mencionan otras causas en las reuniones de directivos, se deberán realizar más pruebas, para luego actualizar las medidas correctivas.

- Aplicación de contramedidas: logrando el análisis anterior, se definen medidas correctivas para eliminar las causas. Se ordenan por prioridad según su posibilidad de aplicación y eficacia.

Esto se resume en un plan de acción, donde se indica qué se debe hacer, el o los responsables y en qué momento se va a aplicar, similar a lo realizado en la tabla anterior.

Tabla 19: Gestión del mejoramiento – fase B aplicación de contramedidas

Nº	Contramedidas	Responsable	Fecha de realización	Estado
1	“ ”	“APELLIDO, NOMBRE”	“DÍA-MES-AÑO”	
2				
...				

Los colores que indican el estado se relacionan con la posibilidad de aplicación y eficacia, siendo el verde, el con mayores facilidades y que pudiese llevarse a cabo de forma más inmediata. En cambio el rojo, indica que su aplicación es compleja. El amarillo en tanto, define una calificación intermedia.

Los planes de acción deben ser revisados cada cierto tiempo. Es por ello, que se debe elaborar una carta Gantt (ver Tabla 20), para realizar un seguimiento al cumplimiento de cada compromiso o actividad. Todo esto en función de las prioridades definidas en la Tabla 19.

Tabla 20: Gestión del mejoramiento - fase B plan de acción (carta gantt)

Plan de acción								
Nº	Actividad	Semana "XX"				Responsable	Estado	% Cumplimiento
		"Día 1"	"Día 2"	"Día 3"	"Día 4"			
1	“ ”					“ ”	OK	100
2							Retrasado	80
3							OK	100

Para el caso de los planes de acción que requieran la participación de otra área, se invitará a alguien que pueda generar compromisos.

En primera reunión quincenal se llegará hasta la generación de planes de acción. En la segunda se debe revisar el cumplimiento de éste (Tabla 20), y deben participar los mismos integrantes de la primera, más algún invitado que pueda aportar en la coordinación de tareas.

Además, otra herramienta para comprender mejor cómo elaborar un plan que involucre interacción entre subprocesos o actividades, se puede descomponer cada uno en otros con un nivel de detalle mayor. Éstas también deben incluir sus responsables y plazos. A modo de ejemplo se muestra el siguiente esquema:

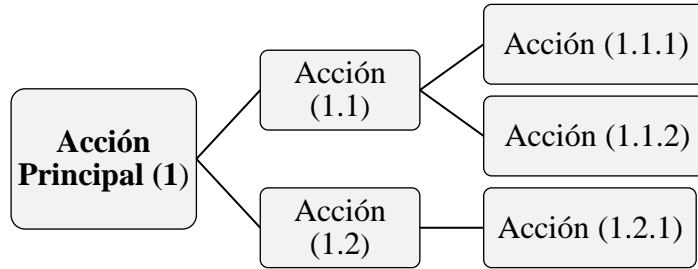


Ilustración 52: Gestión del mejoramiento - diagrama de árbol de acciones

c) Comprobar:

- Validación de la efectividad de las contramedidas: aquí se debe confirmar la eficacia de las contramedidas en función de los objetivos planteados. Se pueden utilizar los mismo gráficos que definen la situación actual, evidenciando un antes y un después de la aplicación de medidas correctivas.

d) Actuar:

- Evitar la repetición del problema: en esta fase se deben establecer los mecanismos necesarios para evitar que la problemática se repita. Esto se realiza mediante la definición de sistemas y estándares necesarios para evitar la repetición de las causas identificadas.

En pocas palabras, la estandarización o la creación de normas, permitirá garantizar la prevención de no conformidades o defectos (aseguramiento de la calidad).

Cabe mencionar, que la estandarización debe ser informada a todo el equipo de perforación mediante las reuniones de cambio de turno y el afiche informativo mensual (ver en Anexo D: Ilustración 67).

El ingeniero QA/QC será el encargado de velar por el cumplimiento de todas las actividades mencionadas en la aplicación del ciclo de Deming.

5.3.2 Rol de la supervisión

El rol de la supervisión en el logro de objetivos de un sistema de gestión es fundamental. Son los encargados de cambiar las conductas y prácticas de la gente, una tarea no menor que puede echar abajo un proyecto de mejoramiento.

El liderazgo y la participación son una excelente combinación, que bajo la estructura del sistema de gestión, permiten de manera estructurada y sistemática, cambiar prácticas e ir instalando una cultura de excelencia en las operaciones. Por tanto, el grado de éxito de la aplicación dependerá del nivel de participación de todos los integrantes del proceso.

La supervisión de perforación debe estar al tanto de los indicadores según su horizonte de medición y el personal a cargo. Esto para realizar medidas correctivas oportunas y dar directrices para el logro de los objetivos impuestos.

El manejo frente al equipo de trabajo es fundamental, por lo que requiere de ciertas habilidades técnicas, de liderazgo y sociales:

- Capacidad de conducción de equipos
- Credibilidad
- Flexibilidad
- Capacidad de gestión del tiempo
- Capacidad de gestión de conflictos
- Alta motivación
- Capacidad de análisis [2]

5.3.3 Rol ingeniero QA/QC

a) Evaluación del Proceso:

- Establecer los Requisitos del Producto, cómo se miden, con qué frecuencia.
- Realizar un análisis de los procesos (por ejemplo SIPOC o PEPSC).
- Del análisis anterior establecer KPI (indicadores claves del proceso) con sus límites de control (rangos de tolerancia), qué afecta, cómo se mide, con qué frecuencia.
- Proponer acciones estándar en caso de desviaciones a KPI de proceso (si es posible).
- En base a los resultados del control del proceso proponer mejoras a éste.
- Verificar continuamente la disponibilidad de insumos y requerimientos, según los estándares establecidos por perforación.
- Participar activamente de los sistemas de medición de KPI, para evaluar su efectividad y correcta implementación.
- Evaluar mensualmente los beneficios económicos asociados a la gestión QA/QC.
- Otros roles específicos determinados en la etapas del sistema:
 - Evaluación de desempeño del proceso: realizar reportes con el análisis de cada KPI.

- Preparar las presentaciones y participar como moderador en las reuniones de las distintas etapas del sistema de gestión.
- Velar por el cumplimiento de las mediciones, registro y disponibilidad de documentos para el control de calidad (planos, tablero de gestión, reportes de perforación, etc.).
- Digitalizar la información de los reportes de perforadoras y posteriormente, crear un sistema de información que ingrese instantáneamente los datos.

b) Elementos de Liderazgo:

- Establecer un liderazgo visible con los operadores.
- Motivar al equipo y generar una actitud proactiva y participativa.
- Habilidades técnicas, de liderazgo y sociales, mencionadas en el rol de la supervisión.

5.3.4 Cartera de proyectos propuesta – operación Los Bronces

La cartera de proyectos será elaborada por el equipo directivo del QA/QC de perforación (Superintendente, Jefe de diseño y planificación, el ingeniero QA/QC y el jefe de turno), que consta de un programa de actividades para dar inicio al primer ciclo del sistema de gestión.

La propuesta de sistema de gestión incluye un programa de actividades (estimado), para la puesta en marcha del proyecto, que se resume en la siguiente carta Gantt.

Sistema de Gestión (ciclo (*))	Nº	Cartera de Proyectos	Duración [semanas]	Mes															
				1	2	3	4	5	6	7	8	9							
Planificación de Procesos	1	Presentación y aprobación Sistema de Gestión	3	■	■	■													
	2	Pruebas en terreno de límites de control KPI's	2		■	■													
	3	Ajustes Sistema de Gestión según requerimientos Superintendencia	2			■	■												
	4	Capacitación equipo de perforación	10			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	5	Puesta en marcha sistema de medición KPI's	continuo								(*)	■	■	■	■	■	■	■	(*)
Control de Gestión	6	Evaluación KPI con prioridad 1 y 2	2									■	■						
	7	Evaluación KPI con prioridad 3 y 4	2											■	■				
	8	Reuniones equipo de perforación	4												■	■	■	■	
Gestión del Mejoramiento	9	Reuniones iniciales equipo directivo perforación	1															■	
	10	Aplicación ciclo de Deming	4															■	■

Ilustración 53: Cartera de proyectos sistema de gestión propuesto - carta Gantt

Una vez aprobado por la directiva, será publicada en todas las reuniones y vía mail a todo el equipo. Por supuesto éste es un plan preliminar, ya que está sujeto a otros proyectos de la Superintendencia y además, puede que se presenten contingencias o cambio de prioridades, por lo que requiere ser ajustado a la realidad actual del proceso.

Para la repetición del ciclo “(*)”, las 2 semanas de puesta en marcha (etapa de planificación), deben incluir la capacitación del equipo de perforación, en caso de haberse realizado cambios en los indicadores de desempeño.

6 ESTIMACIÓN DEL BENEFICIO ECONÓMICO ASOCIADO A LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN (CON QA/QC)

Para analizar el impacto del sistema de gestión en la perforación, es necesario revisar la distribución de costos de la mina e internos de perforación.

Se puede apreciar en el siguiente gráfico la distribución de costos mina, donde la perforación representa un 8% del total. Información obtenida del área de gestión de Anglo American.

Distribución Costos Mina

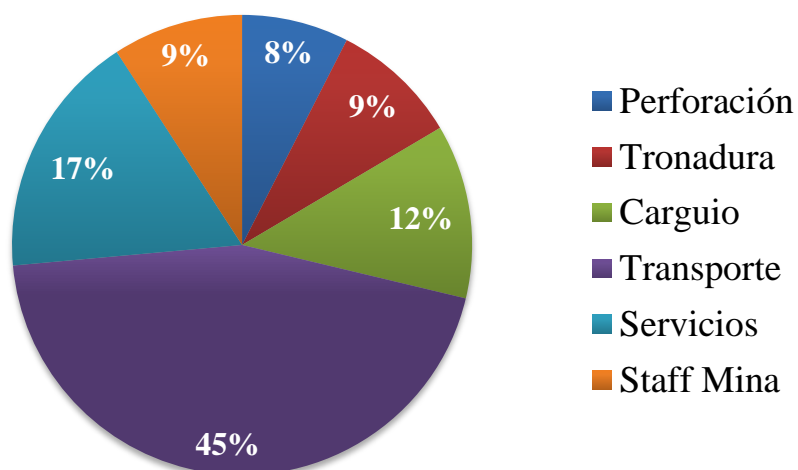


Ilustración 54: Distribución costos mina – Los Bronces

Además, existen gastos asociados a la perforación, donde se destaca el de aceros con un 14%.

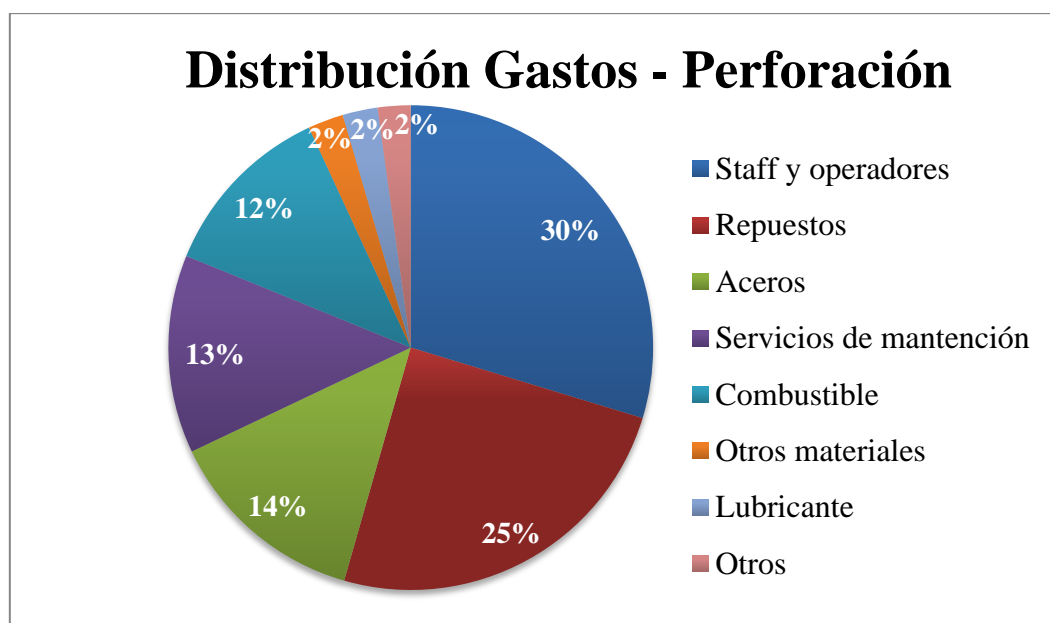


Ilustración 55: Distribución gastos internos perforación – Los Bronces

Por otra parte, se puede estimar la distribución de costos dentro del proceso de perforación, para tener una visión general. No se consideran variables como la vida del tricono ni la velocidad efectiva (ver Ecuación 23: Costo total de perforación, donde sí se incluyen). Sin embargo, se toman en cuenta los costos por metro los principales aceros que se reponen. El cálculo se detalla en Anexo A. Memoria de Cálculo.

Para efectos de las estimaciones de beneficio económico asociado a la implementación del Sistema de Gestión, se utilizarán las siguientes fórmulas:

Ecuación 23: Costo total de perforación

$$\begin{aligned}
 \mathbf{CTP} &= \mathbf{Costo Total de Perforación} \left[\frac{\mathbf{US\$}}{\mathbf{m}} \right] \\
 &= \frac{\mathbf{Costo Tricono [US\$]}}{\mathbf{Vida Tricono [m]}} + \frac{\mathbf{Costo Perforadora} \left[\frac{\mathbf{US\$}}{\mathbf{hora}} \right]}{\mathbf{Velocidad Efectiva perforación} \left[\frac{\mathbf{m}}{\mathbf{hora}} \right]}
 \end{aligned}$$

Ecuación 24: Perforación ejecutada

$$\begin{aligned}
 \mathbf{Perforación Ejecutada} \\
 &= \mathbf{Velocidad de perforación} \left[\frac{\mathbf{m}}{\mathbf{h}} \right] \cdot \mathbf{Número horas trabajadas/mes}
 \end{aligned}$$

Ecuación 25: Número de perforadoras

$$\mathbf{Número Perforadoras} = \frac{\mathbf{Perforación Programada}}{\mathbf{Perforación Ejecutada}}$$

Se estimará en la siguiente sección la reducción de costos asociados a los KPI con aporte significativo y cuantificable. Además, dada la importante contribución a la competitividad del proceso en el mercado, se analizará el impacto del nuevo input para la gestión de aceros.

6.1 Procedimiento y explicación de la estimación de beneficios

6.1.1 Control de longitud de pozos

El control de longitud es una de las actividades con mayor potencial detectado. Acumulado al 2014 se ahorraron cerca de 1 millón de dólares. Fue estimado en base a un procedimiento de análisis por pozo, que se explicará a continuación:

El procedimiento de diseño de la malla de perforación incluye una revisión topográfica en terreno que mide el largo real del pozo. Esto pues la superficie en terreno se presenta dispareja (real) y no perfecta (teórica). Así, se crean los planos reales y teóricos. Por supuesto, estos últimos vienen siendo deficiencias del área de diseño y el modelo que aquí se presenta, no considera esa cantidad de datos para calcular los metros de pozos sobre-perforados y cortos.

Se requieren calcular los metros de desvío de perforación, ponderados para la muestra total.



Ilustración 56: Esquema estimación ahorro por control largo pozos

El rectángulo completo corresponde al universo total de diseños de perforación (porcentajes sólo a modo de ejemplo). De los cuales un 20% (rectángulo celeste), corresponde a los diseños teóricos, es decir, las longitudes de pozos que no fueron ajustadas según las medidas reales de terreno. Estos son defectos que se pueden ocasionar porque los diseñadores no cuentan con la información requerida.

De los diseños reales (80% del total), se toma una muestra (en este caso 60%, ver rectángulo plomo en *Ilustración 56*), la cual se asume representativa y con distribución uniforme del total de diseños.

Luego, de esa muestra seleccionada se caracteriza la muestra con los porcentajes X, Y, Z, que corresponden a la sobre, sub-perforación y pozos que cumplen lo planificado (“tipos pozo”,

rectángulo blanco). Los inputs para cada una de esas categorías son largo promedio pozo y la cantidad de pozos

Posteriormente, se toman 2 diseños de la muestra. Se multiplica la diferencia entre largo de pozos promedio de los diseños seleccionados, por el cociente de número de pozos entre diseños y a su vez, por el número total de pozos, obteniéndose los metros de desvío. Después se multiplican estos por el [costo/m] de perforación y tronadura (por separado, luego se suman). Este último se divide por 0.6 para contabilizar el taco (menor cantidad de explosivo por pozo), que se asumen iguales para todos los barrenos y se tiene la valorización del diseño muestreado.

Luego a este valor se le resta el de la línea base, es decir, el peor caso (cuando el proceso está fuera de control), y se tiene el máximo ahorro posible para la sobre y sub-perforación. La resta de la valorización con la línea base, entrega el valor virtual de lo que se deja de perder (ahorro que se quería calcular).

Cabe mencionar que la línea base se obtiene de un monitoreo que se realiza trimestralmente.

6.1.2 Control de malla de perforación

Los beneficios asociados a la correcta implementación de la malla de perforación, se basan en los costos adicionales que incurren las áreas de servicios y carguío. Esto principalmente por causa de la sobre y sub-perforación que genera que no se cumpla la línea de programa del banco y forma sobre-tamaños post tronadura.

Algunos de los equipos utilizados por servicios son: tractor oruga (bulldozer), cargador frontal, retro excavadora, excavadora, motoniveladora y pica rocas o martillo picador.

A modo de ejemplo, los costos mensuales asociados solamente al equipo martillo picador (corrige sobre-tamaños y sanea paredes), asciende a 102.000 [US\$/mes].

6.1.3 Entrega áreas en plazo (servicios y topografía)

Este punto se relaciona con la reducción de los tiempos operativos, ya que al no tener las condiciones estándar de plataforma ni el marcaje correspondiente, el equipo se subutiliza. Si se tienen las condiciones óptimas de superficie para iniciar la perforación, se pueden reducir las horas perdidas del equipo y por tanto, el uso de éste será más eficiente (ver *Ecuación 23: Costo total de perforación*).

6.1.4 Tiempos

Se estimará el beneficio asociado a tener menos tiempos perdidos y de detención operacional programada, es decir, los tiempos que son gestionables. Las herramientas de gestión (Paretos de sección de análisis), permitirán dirigir los esfuerzos de la etapa de mejoramiento (etapa 3 del sistema propuesto), al elaborar planes de acción para reducir su impacto en la operación. Al igual que en el caso anterior, afectará el [costo/hora] de las perforadoras.

6.1.5 Eventos

Los eventos a evaluar coinciden en que reducirán el tiempo operativo al tener un mayor control, implicando un menor [costo/hora] de los equipos. Además, el reducir el número de eventos “reparo de pozo” y “estándar de plataforma deficiente”, otorgarán mayor seguridad en la operación. El primero requiere re-operar un área donde ya ha estado el equipo (superficie dispereja) y sectores cercanos al pozo pueden ser inestables. El segundo caso, permitirá un mayor control al reporte de plataforma (al reverso del reporte de perforación, *ver Tabla 7*).

6.1.6 Velocidad efectiva

Los input que serán incluidos en el plano como dureza, abrasividad (por malla), permitirán al operador evaluar el tricono a utilizar, el empuje, rotación, entre otras variables. Esto favorecerá el rendimiento y por tanto se tendrá un incremento en la velocidad efectiva, al tener el operador mayor conocimiento sobre su labor.

La velocidad efectiva de perforación es una variable que influye considerablemente en los costos de perforación y será demostrado en la *sección 6.2.1.5 Velocidad efectiva*.

6.1.7 Cuociente velocidades operativa y efectiva

Este KPI no será evaluado debido a que ya se está tomando en cuenta en otros indicadores, como en la velocidad efectiva y los tiempos operativos. Por tanto, será utilizado solamente como control adicional, específicamente para el reconocimiento del desempeño de operadores (elaboración de Rankings mensuales). Por Benchmarking se tiene un rango ideal de este valor, por lo que también permitirá evaluar el desempeño por perforadora, grupo de operadores, etc.

6.1.8 Gestión de aceros

El aporte con respecto a los aceros se relaciona con el nuevo reporte de perforación (*ver Ilustración 66*), el cual permitirá al operador tener un control sobre el desgaste de estos insumos. Previo a esta propuesta, solamente la empresa colaboradora realizaba los controles respectivos e informaba según sus mediciones.

Un mayor control de desgastes permitirá que la vida útil de fábrica se cumpla, factor que incide en la reducción de los costos totales de perforación (CTP).

Luego de investigar el tema de los nuevos inputs, se tendrá la información necesaria por malla para elegir el tricono más indicado por terreno, permitiendo reducir el número de repuestos requeridos.

6.2 Estimación Beneficios Económicos asociados al Sistema de Gestión

6.2.1 Desglose por KPI y gestión de aceros

Para efecto de los cálculos, se estima que el Sistema de Gestión esté implementado al 100% el cuarto mes, y que los beneficios se obtendrán para ese periodo en el mejor caso.

6.2.1.1 Control de longitud de pozos

Este valor ya fue calculado por la Superintendencia y se tiene el registro por mes. Para representar el beneficio de manera más simple, se considera el promedio mensual del ahorro calculado que equivale a 72.500 [US\$/mes].

6.2.1.2 Control de malla de perforación

La reducción de costos asociado a este KPI, no afecta directamente al proceso de perforación. Pues como fue mencionado anteriormente, afecta la tarea de tronadura, por lo cual dentro de los alcances de este análisis, se asume que su aporte es nulo.

6.2.1.3 Entrega áreas en plazo (servicios y topografía)

Observando el tiempo promedio por GAP (*Tabla 10*), el número de GAPS entre Septiembre y Diciembre de 2014 (*Tabla 11*), se tiene lo siguiente: 88 minutos por GAP y 75 eventos en 4 meses para “sin marcas topográficas”; 32 minutos y 29 eventos para “espera equipo de servicio”.

Con esta información se estiman los eventos por mes por cada GAP, obteniéndose 18 y 7 al truncar el valor a la unidad (se asume uniforme la recurrencia de eventos por modelo de perforadora).

Posteriormente, se calculan las [horas/mes] por GAP:

Ecuación 26: Cálculo horas mensuales por GAP

$$\frac{\text{horas}}{\text{mes}}_{GAP i} = \left[\frac{\text{horas}}{\text{evento}_{GAP i}} \right] \cdot \left[\frac{N^{\circ} \text{ eventos}_{GAP i}}{\text{mes}} \right]$$

Finalmente, para valorizar las pérdidas en tiempos operativos, se multiplica lo anterior con el [costo/hora] de cada equipo (promedio anual de [costo/hora] de operación para Pit Viper y Bucyrus):

Ecuación 27: Cálculo costo mensual por GAP

$$\frac{US\$}{\text{mes}}_{GAP i} = \frac{\text{horas}}{\text{mes}}_{GAP i} \cdot \left(\frac{US\$}{\text{hora}_{Pit Viper}} + \frac{US\$}{\text{hora}_{Bucyrus}} \right)$$

Se requiere calcular los [US\$/mes] por GAP, ya que para representar el ahorro máximo, es decir, en un escenario donde existan 0 eventos por GAP, se debe comparar con el caso base (costo mensual de perforación). El gráfico se elabora con la información de la *Ilustración 21: Situación de costos en perforación, previo a la implementación del sistema de gestión*. En la sección 6.2.2 *Beneficio acumulado*, se encuentra la representación.

El resultado final de beneficio para el KPI de entrega de áreas es: 23.842 [US\$/mes].

6.2.1.4 Tiempos y eventos

Se agrupan estos 2 KPI, puesto que el beneficio económico asociado, se calcula de manera análoga al punto anterior por cada GAP.

Resumen procedimiento:

- Buscar datos en reportes (tiempo promedio y cantidad GAPS).
- Utilizar las ecuaciones anteriores por cada GAP.
- Sumar el ahorro por KPI.

Los resultados por KPI son los siguientes:

- Tiempos: 182.697,4 [US\$/mes].
- Eventos (se omite valorización de la seguridad y GAP “sin marcas topográficas” por repetición del KPI 2): 13.443,4 [US\$/mes].

6.2.1.5 Velocidad efectiva

El promedio de velocidad efectiva de los reportes de perforación fue de 48.5 [m/h]. Luego, se estima el beneficio para 51 [m/h] de promedio (escogiendo un aumento menor a 3 puntos en el rendimiento, para darle un carácter más realista a la estimación). Se asume un impacto más conservador, pues las características consideradas por tipo de roca (inputs), aún no reflejan confiablemente el verdadero comportamiento esperado de la roca durante la perforación. Se espera que esta variable tenga una gran influencia en la reducción de costos por su incidencia directa en el cálculo de equipos requeridos.

Posteriormente, se procede a valorizar el incremento considerando 15 horas diarias de trabajo efectivo (cercano a promedio en reportes), metros promedio por mes (datos obtenidos de la *Ilustración 21: Situación de costos en perforación, previo a la implementación del sistema de gestión*) y utilizando las *Ecuación 24* y *Ecuación 25: Número de perforadoras*, se tiene lo siguiente:

- Caso base (48.5 [m/h]):

$$\text{Perforación Ejecutada} = 21.825,0 \text{ [m]}$$

$$N^{\circ} \text{ Perforadoras} = 8,27 \sim 9 \text{ perforadoras}$$

- Caso aumento velocidad efectiva (51 [m/h]):

$$\text{Perforación Ejecutada} = 22.950,0 \text{ [m]}$$

$$N^{\circ} \text{ Perforadoras} = 7,87 \sim 8 \text{ perforadoras}$$

Cabe mencionar que para evitar sub-estimar el número de perforadoras, se aproximan los decimales al entero superior.

El aumento de velocidad permite ahorrar 1 perforadora. Asumiendo que es una Pit Viper, el ahorro es de 4,5 [MUS\$]. (*Fuente: Capacitación perforistas Global Over Drilling*).

6.2.1.6 Cuociente Velocidad Operativa y Efectiva

No se valoriza por razones explicadas previamente (ver sección 6.1.7 Cuociente velocidades operativa y efectiva).

6.2.1.7 Gestión de Aceros

Utilizando la *Tabla 21: Costo aceros por metro*, se establece como objetivo una reducción del 10% en el costo de desgaste de aceros (valor razonable). Se detalle el cálculo en *Anexo A*.

Evaluando el nuevo costo en aceros se obtiene: 5,4 [US\$/m] (antes 6,04 [US\$/m]), lo que equivale a un ahorro de 0,64 [US\$/m].

Utilizando nuevamente los metros promedio mensuales de la *ilustración 19*, el costo ahorrado por mes en concepto de aceros es de 116.765,4 [US\$/mes].

6.2.2 Beneficio acumulado

A modo de poder visualizar fácilmente el aporte de cada KPI y de la gestión de aceros, se muestra el beneficio económico acumulado mensual de manera uniforme. Es decir, cuanto más se desplaza hacia abajo la curva de costos de perforación, mayor es el aporte del KPI a la reducción de costos (se considera una reducción mensual constante por indicador). Cabe mencionar que ésta es una aproximación bastante simplificada, pero útil para evidenciar el aporte del sistema de gestión.

El caso base corresponde a los costos mensuales de perforación entre Enero y Septiembre de 2014, obtenido a partir del [costo/metro] y los metros mensuales representados en la *Ilustración 21*. Luego, se muestra cómo hubiesen sido estos, de haberse implementado el sistema de gestión en Mayo de 2013 y si el ahorro por KPI hubiese sido efectivo en base a las consideraciones y supuestos descritos anteriormente.

Cabe recordar que se estima que el sistema se implemente completamente al octavo mes (preparación y primer ciclo de mejoramiento, ver *Ilustración 53*) desde su puesta en marcha. El [costo/hora] y [costo/metro] de los equipos, se reserva por acuerdo de confidencialidad (*).

De esta manera el “delta” o lo que baja la curva, representa la reducción de costos por mes, acumulado por KPI, observándose claramente los que aportan en mayor medida.

El Beneficio económico estimado es de 0,91 [MUS\$/mes], es decir, 10,9 [MUS\$/año]. Luego, se obtiene la siguiente gráfica de ahorros (detalle en *Anexo A*):

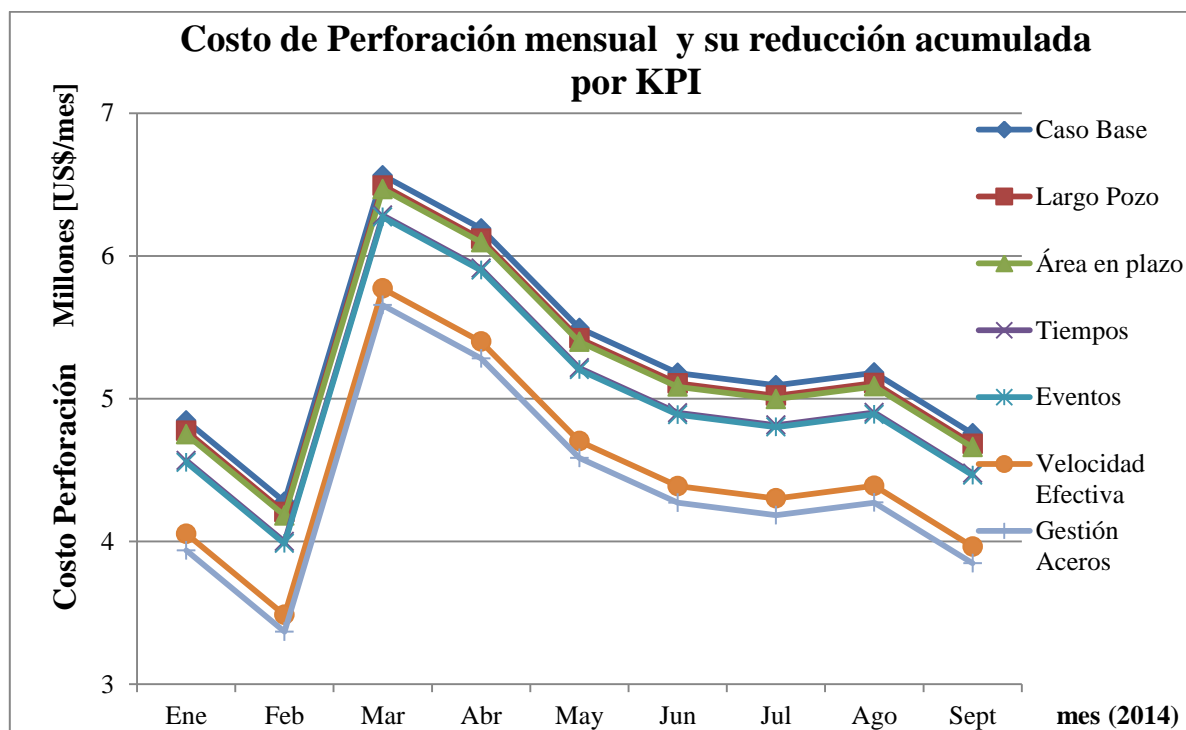


Ilustración 57: Beneficio económico asociado al sistema de gestión

A continuación se representan los porcentajes de aporte por KPI y ahorros en relación al promedio del costo total de perforación mensual.

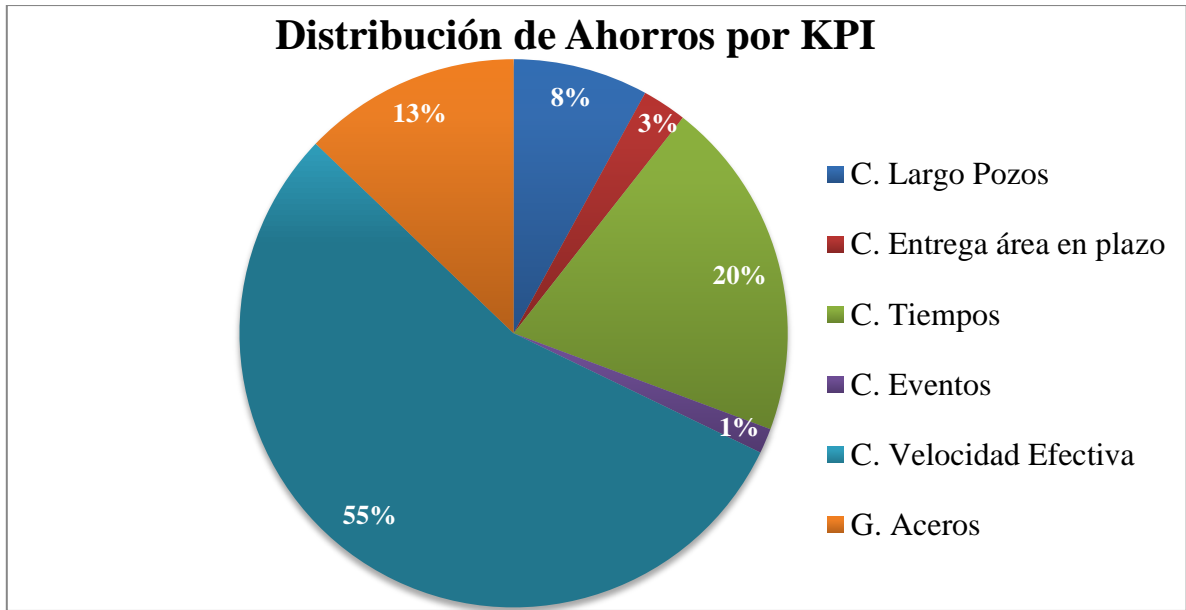


Ilustración 58: Distribución de ahorros por KPI

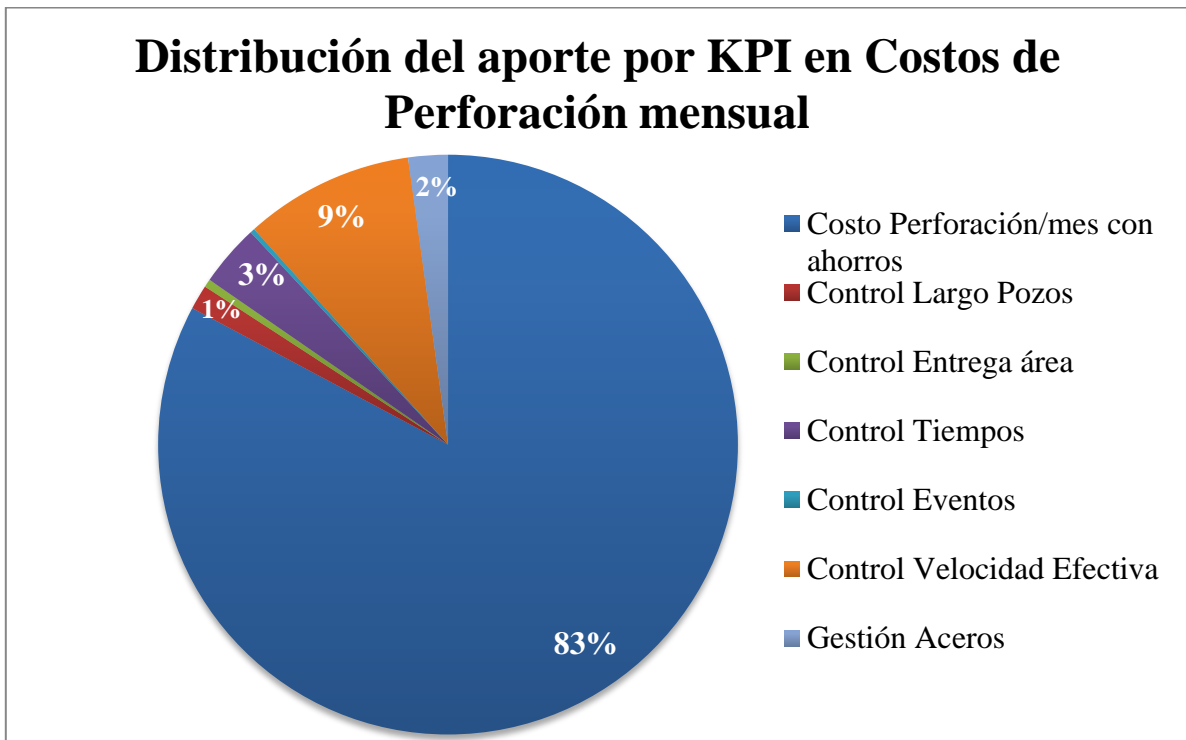


Ilustración 59: Reducción de costos de perforación mensual por implementación sistema de gestión

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La aplicación del QA/QC o aseguramiento y control de la calidad, es replicado en distintas industrias y con resultados exitosos. Sin embargo, no es una pauta de procedimientos definida. Para llevarlo a cabo en una operación minera se debe investigar en detalle el proceso y adaptarlo a las condiciones de ésta.

El aseguramiento de la calidad habla de la prevención, la cual permite evitar contingencias que van en desmedro de la continuidad operacional. En cuanto al control de calidad, éste permite la entrega de un producto que cumple con los requerimientos del cliente, pero que necesita de un sistema de medición y seguimiento constante, para evitar desviaciones.

El QA/QC involucra no sólo revisar caracteres técnicos del sistema, sino también la gente que lo compone. Es fundamental que el líder del proyecto logre entusiasmar y generar un ambiente participativo de mejoramiento continuo, en pos de la consecución de objetivos establecidos y que permita sustentar la organización en el tiempo.

El proceso de perforación en operación Los Bronces, no es prioridad en este momento para los sistemas de control pues carguío y transporte se llevan la mayor parte de los costos de la mina. Sin embargo, en esta investigación se desea cuantificar su potencial, que lo hará ver como una operación con mayores oportunidades de mejoramiento y como una actividad clave para generar un producto de calidad para el cliente y acondicionar favorablemente, el desempeño de excelencia de los procesos posteriores.

Los KPI actuales, son indicadores de resultado del proceso y representan típicamente “cuánto se usa el activo” o “cuánto rinde el activo”, buscando la optimización de la flota. A pesar de ser un buen sistema de medición, no permite evaluar los distintos subprocesos. Es claro que no existen evidencias de un control de gestión de estos indicadores, ni la acción de mejoramiento en los subprocesos. Se realizan más bien, trabajos aislados e intuitivos de control y no sistemáticos. Es decir, las mediciones realizadas en cuanto a tiempos, sobre-perforación, sub-perforación, etc., dan cuenta que existen oportunidades y que el aspecto central asociado al objetivo de ejecutar el plan y diseño con calidad, no se está logrando.

De acuerdo a las problemáticas identificadas en perforación, se hace necesario implementar un sistema que permita estandarizar los procesos de gestión, de manera de generar un cambio de cultura organizacional, con los consiguientes logros en competitividad.

La creación de un sistema de gestión no es tarea sencilla. Requiere de un análisis descriptivo detallado del proceso y de las distintas interacciones con la cadena de valor de una compañía, siempre tomando en consideración la satisfacción de expectativas y necesidades del cliente, factor clave para definir el éxito o fracaso de una organización.

La aplicación del sistema de gestión implica un estudio completo de la implementación en terreno del diseño de perforación. Un tema pocas veces revisado, pero que define el éxito de los procesos aguas abajo en una mina. Se recomienda realizar un estudio de los subprocesos y sus actividades críticas (con mayor potencial de mejoramiento), para dirigir los esfuerzos y conseguir logros en el corto plazo.

El primer sub-proceso involucrado en la implementación del diseño es la preparación de plataforma. Esta etapa es clave para tener continuidad en el proceso. GAPS recurrentes son los

relacionados con el marcaje topográfico y la estandarización de las superficies de trabajo. La planificación y ejecución de labores anticipada, son medidas correctivas que pueden dar solución a estos desvíos.

El otro sub-proceso es la ejecución e involucra directamente a los operadores. Una aplicación defectuosa de la perforación, tendrá consecuencias importantes en el producto de tronadura: la sobre-excavación, sobre-tamaños, sobre-piso en disparo de producción y no conformidad con la línea de programa de banco, alteran la planificación. Lo anterior es causado principalmente por desvíos en la longitud de pozos (sobre y sub-perforación) y en la calidad de parámetros de diseño de la malla de perforación. Por tanto, es fundamental poder controlar la actividad y medir constantemente su desempeño.

Para dar solución a estas problemáticas se propone un sistema de gestión (cíclico), que considera las etapas de planificación de procesos, control de gestión y gestión del mejoramiento.

En la primera, se construyen los KPI para los subprocesos de preparación y ejecución de la perforación en base al estándar operacional definido (guía operacional), para lograr las conductas y prácticas que aseguren un proceso de excelencia. Se debe procurar que estos sean simples de entender, no exagerar en su cantidad para evitar ineficiencias y que permitan evaluar de forma óptima las actividades críticas detectadas. Para elaborarla se debe explicar el: “¿cómo se realiza?”, “¿quiénes la dirigen?”, “¿cómo se estructuran las reuniones?”, “¿cómo se publican los indicadores?” y “¿cómo se difunden a toda la organización?”.

Posteriormente, se debe definir cómo se analizará la información para un control eficiente, que genere alarmas ante indicadores bajo los requerimientos establecidos por el equipo de perforación (control de gestión). Para su elaboración se deben considerar adicionalmente a lo explicado en la etapa anterior, las siguientes interrogantes: “¿cada cuánto se realizarán los controles?”, “¿dónde se analizarán los resultados de los KPI’s?”, “¿cómo se estructurarán las reuniones?”: “¿quién las dirige y quiénes participan?”, “¿quedan registros (acuerdos, compromisos)?”, “¿cómo se obtienen los datos?”.

Finalmente, en una última etapa, evaluar el cumplimiento de los indicadores y en caso de no tenerse los resultados esperados, aplicar el ciclo propuesto por Deming, para mejorar continuamente el desempeño del proceso. Esto permitirá elaborar planes de acción, contenidos en una cartera de proyectos, que posibilitarán la consecución de objetivos impuestos por la Superintendencia. La creación de esta etapa es muy similar a la de control de gestión y para definirla se deben contestar además, las siguientes preguntas: “¿qué herramientas se utilizan?” y “¿cómo se administra la cartera de proyectos?”.

Por otro lado, puede que los resultados sean positivos en una primera evaluación del desempeño operacional, lo cual indica que los requerimientos deben ser ajustados para hacerlos más exigentes. El no intervenir en los indicadores en este caso, puede producir un estancamiento del potencial de mejoramiento del proceso.

En base a las etapas mencionadas anteriormente, se definen para esta investigación los controles de: longitud y número de pozos, calidad de la malla de perforación, entrega de áreas en plazo (por parte de topografía y servicios), cumplimiento de planificación y secuencia; tiempos y eventos críticos; gestión de aceros, control de variables operacionales (RPM y empuje) y velocidad operativa y efectiva. Esta última fue la que proporcionó mayor beneficio al proceso (íntimamente ligada al control de variables operacionales), permitiendo un ahorro equivalente a 1 perforadora.

Como fue estimada en base a consideraciones conservadoras, se podría esperar un beneficio aún mayor. Sin embargo, para lograrlo, se deben actualizar los inputs relacionados con las características de la roca a perforar y esto requiere un estudio previo de los límites de control en terreno, considerados en la carta Gantt de la cartera de proyectos.

La dureza definida para la elección de triconos corresponde a un modelo antiguo de la mina y además, las unidades de medición no entregan información directamente relacionada con ese parámetro. También se han producido deficiencias en la ejecución, debido a la variabilidad en la utilización de variables operacionales, por parte de los operadores en la perforación. Esto confirma el beneficio potencial de la estandarización de procedimientos de ejecución, enunciados en este sistema de gestión, como parte de un plan de mejoramiento de conductas y prácticas operacionales.

Para avalar la implementación del sistema de gestión se necesita valorizar su importancia económica y su impacto en la compañía. Una forma es estimando el impacto del cumplimiento de los KPI en la operación, lo que implica la consideración de supuestos que le den credibilidad al modelo.

La estimación del beneficio económico se basó en los controles de gestión y la influencia acumulada de dichos indicadores, otorga un ahorro significativo para la compañía.

Mediante la investigación se pudo demostrar que la implementación del sistema de gestión es conveniente. Los resultados arrojaron un ahorro total estimado en los costos de 10,9 [MUS\$/año], lo que equivale a una reducción del 17% del total de costos de perforación. Este antecedente genera una herramienta para persuadir e influenciar cambios en la organización.

El ahorro calculado no sería efectivo de no lograrse una participación activa de cada integrante de la perforación.

El liderazgo y la participación son una excelente combinación, que ligados a la estructura del sistema de gestión permiten de manera estructurada y sistemática, cambiar las prácticas e ir instalando una cultura de excelencia en las operaciones. La importancia radica en generar involucramiento por parte de los operadores en la búsqueda de excelencia y eso sólo se puede lograr mediante un acompañamiento, apertura en el trato y constante comunicación.

Debido a ello, el rol del ingeniero QA/QC definido es fundamental para el logro de metas, ya que para que éstas se realicen de manera óptima, debe haber un seguimiento exclusivo a la gran cantidad de tareas asociadas al sistema de gestión.

8 GLOSARIO

- i. **Acuñadura:** operación destinada a desprender las rocas ubicadas en zonas agrietadas, determinando una remoción sistemática, con el objeto de dejar los taludes o cajas estables, evitando o minimizando la posibilidad de caída de rocas. Trabajo realizado por el equipo pica rocas perteneciente al área de servicio.
- ii. **Adaptador superior:** permite acoplar elementos con diferentes uniones roscadas. Como su nombre lo indica, adaptan diferentes tipos de roscas o pueden adaptar elementos de diferentes diámetros.
- iii. **Amortiguador:** permite la absorción de impactos y vibraciones. Se coloca entre la barra y el cabezal para evitar el daño de éste producto de la perforación.
- iv. **Auscultación:** es una labor con fines de seguridad, en donde se realizan perforaciones para encontrar sectores con material de relleno y galerías de explotaciones previas.
- v. **Barra de perforación:** es cilíndrica, fabricada con aceros especiales flexibles en su interior. A lo largo de ella posee una perforación central y en sus dos extremos tiene hilos machos y hembras.
- vi. **Barra seguidora:** es la segunda barra y se acopla a la barra patera.
- vii. **Barra patera:** es la primera barra que compone la sarta de perforación.
- viii. **Burden:** distancia entre la cara libre del disparo y la primera fila o entre filas.
- ix. **Berma:** es la franja de la cara horizontal de un banco (borde), que se deja especialmente para detener los derrames de material que se puedan producir al interior del rajo.
- x. **Cabina:** es donde se encuentran alojados los comando de cada uno de los elementos de las perforadoras ya sean hidráulicos o electro hidráulicos, indicadores de presiones y temperaturas.
- xi. **Emboquillado:** es el proceso previo a la perforación que mantiene las paredes del pozo húmedo por posibles derrumbes, lográndose mediante la inyección de agua abundante al inicio. Posteriormente, se corta la inyección, hasta que salga material seco para concretar la pared del pozo. Finalmente, se regula el flujo de agua.
- xii. **Empate:** es un procedimiento que busca estabilizar la boca del pozo, desprendiendo toda roca suelta, cuando se inicia la perforación. Se recomienda controlar la empatadura de forma lenta y progresiva, hasta los primeros dos metros de profundidad.
- xiii. **Detrito (cutting):** material fino que se desprende del pozo por la perforación.
- xiv. **Espaciamiento:** distancia entre tiros en una misma fila.
- xv. **Espacio anular:** es el espacio entre el diámetro de la barra y el diámetro del tricono.
- xvi. **Fuente de energía:** es la que genera el funcionamiento de la perforadora. En la perforación rotativa pueden ser dos: eléctrica o diésel.
- xvii. **Gatos niveladores:** cumplen la función de nivelar el equipo de perforación, independiente del nivel del suelo en donde se encuentre.
- xviii. **Hundimiento:** luego de encontrar sectores con material de relleno o galerías por medio de labores de auscultación, se induce el hundimiento de estos (por ejemplo, perforar pozos por los costados), para corregir los riesgos asociados a esas zonas.
- xix. **Longitud de perforación:** largo total del pozo, incluyendo la pasadura.

- xx. **Malla de perforación o disparo:** sector denominado también plato, patio, plataforma o superficie de perforación, donde se ubican los pozos según el burden y espaciamiento definido por el área de diseño.
- xxi. **Muestreo:** es el material removido llamado detrito, para su posterior análisis químico, que determinará el tipo de material y leyes del pozo.
- xxii. **Operador de perforadora:** persona responsable de todas las maniobras de perforación, traslados e instalación y todo lo que ocurra en el área o entorno a su equipo
- xxiii. **Pasadura:** sobre-perforación realizada para minimizar la generación de cayos o sobre-pisos en la pata del banco.
- xxiv. **Relleno:** es el material compactado que se utiliza para nivelar el piso, o bien, el material quebrado (tronado previamente).
- xxv. **Rotura:** durante la perforación se pueden encontrar antiguas excavaciones, generando inestabilidades en el equipo.
- xxvi. **Sobre carga:** terreno agrietado que se genera producto de la tronadura del banco superior o nivelación de piso.
- xxvii. **Tercera barra:** barra de acople que se utiliza para los pozos de mayor longitud.
- xxviii. **Tricono o trépano:** herramienta de corte, formada por 3 conos dentados que ruedan y perforan por el empuje y rotación que le da al equipo. En el caso de terreno relativamente blando, los dientes son agudos, largos y están separados. Para terrenos duros los dientes son cortos, obtusos y están próximos unos a otros.
- xxix. **Velocidad de barrido (o soplado):** es la velocidad ascensional con que las partículas de material removido en el fondo de la perforación son evacuadas a la superficie.

9 BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. F. Dávila, *Mejora Continua de Sistemas de Gestión*, 2004.
- [2] J. Montolio, *Conseguir la Excelencia en las Operaciones*, 2013.
- [3] «Valor y Empresa,» [En línea].
http://www.valoryempresa.com/archives/tutoriales/diagramar_procesos2.htm.
- [4] J. Mangino, «Quality Assurance and Quality Control - Chapter 8,» de *IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management*, 1996.
- [5] A. American, «Angloamerican Chile,» [En línea]. <http://www.angloamerican-chile.cl/our-operations/los-bronces.aspx>.
- [6] Gerardo Alcalá, *Curso de Capacitación Perforadores: Global Over Drilling*.

10 ANEXOS

A. Memoria de Cálculo y otros detalles

i. Equipos:

- [Costo/m] a [MUS\$]

Ecuación 28: Cálculo gasto a partir de costo metro equipos

$$\frac{\text{Costo}}{m}_{\text{Pit Viper}} \cdot \text{metros perforados}_{\text{Pit Viper}} + \frac{\text{Costo}}{m}_{\text{Bucyrus}} \cdot \text{metros perforados}_{\text{Bucyrus}}$$

- [Costo/hora] a [MUS\$]

Ecuación 29: Cálculo gasto a partir costo hora equipos

$$\frac{\text{Costo}}{m}_{\text{Pit Viper}} \cdot \text{metros perforados}_{\text{Pit Viper}} + \frac{\text{Costo}}{m}_{\text{Bucyrus}} \cdot \text{metros perforados}_{\text{Bucyrus}}$$

Ecuación 30: Costo total aceros (metros anuales)

$$CTA [\text{MUS\$}] = \text{Costo aceros} \left[\frac{\text{US\$}}{m} \right] \cdot (\text{mts perforados}_{\text{Pit Viper}} + \text{mts perforados}_{\text{Bucyrus}})$$

ii. Aceros: [6]

Tabla 21: Costo aceros por metro

Acero	Costo [US\$/m]
Tricono	4,1
Barra Patera	0,14
Barra Seguidora	0,14
Amortiguador	0,6
Adaptador Superior	0,06
Adaptador Inferior	0,02
Anillo guía	0,97
Total	6,04

iii. **Datos Beneficio económico acumulado:**

Tabla 22: Resumen estimaciones - porcentaje de ahorro con respecto al costo de perforación mensual

Nº KPI	Indicador	Ahorro [US\$/mes]	Porcentaje entre KPI	Porcentaje c/r Costo Perforación (con ahorro)
1	C. Largo Pozos	72.500,0	8%	1%
3	C. Entrega área en plazo	23.842,0	3%	0%
4	C. Tiempos	182.697,4	20%	3%
5	C. Eventos	13.443,4	1%	0%
6.1	C. Velocidad Efectiva	500.000,0	55%	9%
	G. Aceros	116.765,4	13%	2%
	Total Ahorros/mes	909.248		
	Promedio Costo Perforación mensual sin ahorro	5.287.040		
	% Ahorro/mes	17%		

B. Estadísticas y gráficos de reportes

i. Control Largo Pozos Producción:

Tabla 23: Estadística descriptiva sobre-perforación

<i>Sobre-perforación %</i>	
Media	33,7
Error típico	1,9
Mediana	33
Moda	58
Desviación estándar	18,3
Varianza de la muestra	336,4
Curtosis	-0,8
Coefficiente de asimetría	0,4
Rango	70,9
Mínimo	3,1
Máximo	74
Suma	2.996,3
Cuenta	89
Nivel de confianza (95.0%)	3,86

Tabla 24: Estadística descriptiva sub-perforación

<i>Sub-perforación %</i>	
Media	12,5
Error típico	1,2
Mediana	9
Moda	9
Desviación estándar	11,4
Varianza de la muestra	130,2
Curtosis	5,1
Coefficiente de asimetría	1,7
Rango	68
Mínimo	0
Máximo	68
Suma	1.114,9
Cuenta	89
Nivel de confianza (95.0%)	2,40

ii. Reporte de perforación Anglo American (Septiembre – Diciembre 2014) :

- Espacio Muestral:
 - Total de datos: 13.581 (Sin Filtrar)
 - Turnos sin Reporte: 835 (6,1% del Total)
 - Sin Registro de Observaciones: 10.702 (78,8% del Total) – Sin detalle
 - GAPS: 3.149 (23,2% del Total)
 - GAPS Críticos:
 - Relleno de Agua: 590 (18,7% del Total de GAPS)
 - Relleno de Petróleo: 304 (9,7% del Total de GAPS)

- Estadística descriptiva

Tabla 25: Estadística descriptiva reportes de perforación - velocidad efectiva

Velocidad Efectiva	
Media	48,5
Error típico	0,13
Mediana	48,6
Moda	60
Desviación estándar	14,83
Varianza de la muestra	220,1
Curtosis	-0,48
Coefficiente de asimetría	-0,06
Rango	76,91
Mínimo	10,2
Máximo	80
Suma	590.351,5
Cuenta	12.179
Nivel de confianza (95.0%)	0,26

Tabla 26: Estadística descriptiva reportes de perforación - velocidad operativa

Velocidad Operativa	
Media	36,0
Error típico	0,13
Mediana	36,9
Moda	40,8
Desviación estándar	12,7
Varianza de la muestra	161,4
Curtosis	-0,12
Coefficiente de asimetría	-0,36
Rango	74,6
Mínimo	0,78
Máximo	75,4
Suma	358.231
Cuenta	9.943
Nivel de confianza (95.0%)	0,25

iii. Pareto de Tiempos Perdidos y Panne:

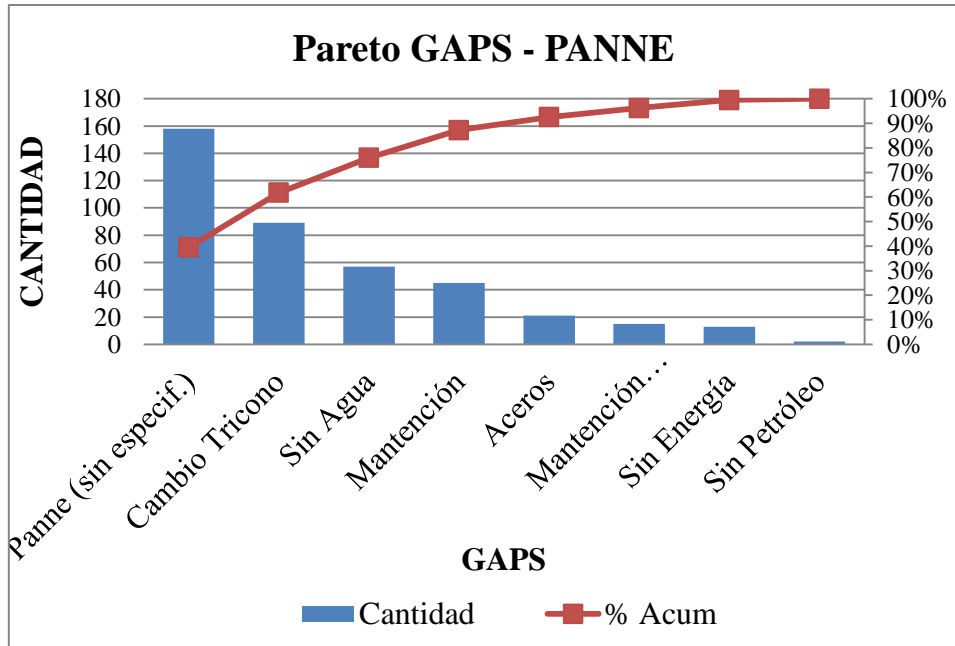


Ilustración 60: Pareto panne – reportes de perforación

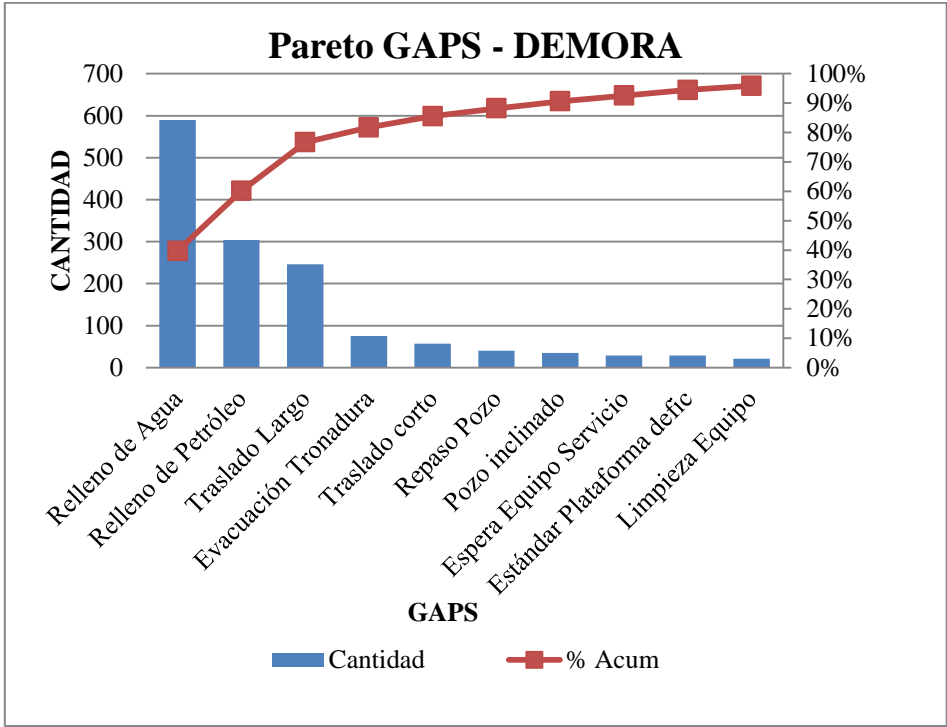


Ilustración 61: Pareto demoras – reportes de perforación

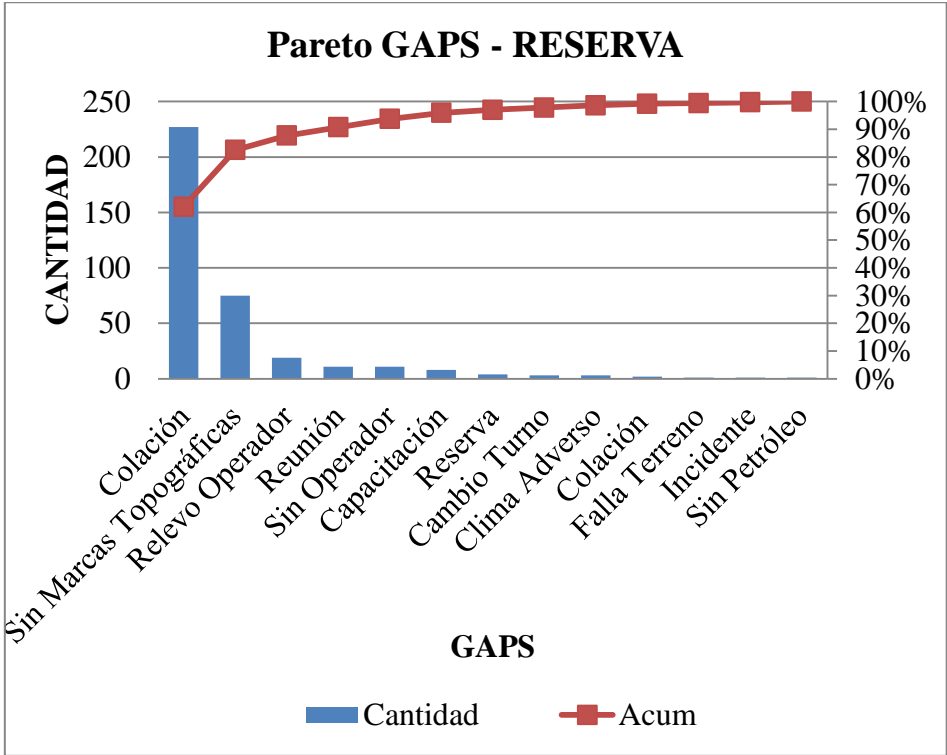


Ilustración 62: Pareto reservas – reportes de perforación

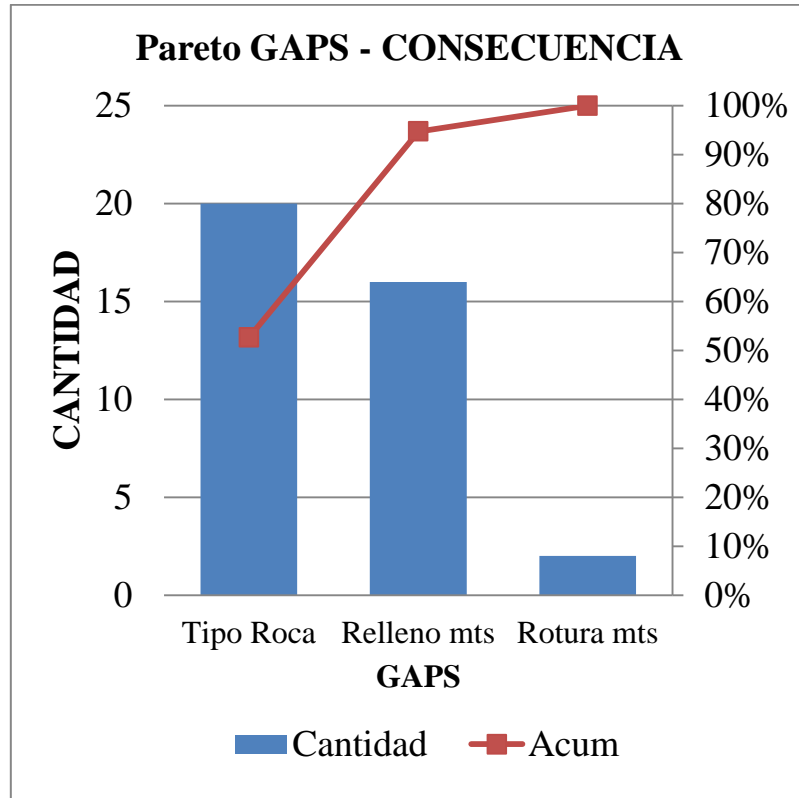



Ilustración 63: Pareto consecuencias – reportes de perforación

C. Reportes de perforación

i. Reporte de perforación actual

El actual reporte de perforación presenta varias falencias, entre ellas la no utilización de algunas mediciones (columnas), como el tiempo traslado entre pozos, metros de relleno y rotura, etc. También se debe reforzar la instrucción puesto que se observa que las RPM por ejemplo, se registran constantes. En terreno se observó que ésta variable se maneja a criterio del operador, dependiendo de las condiciones de cada pozo.



Personas que marcan la diferencia en minería

Perforadora N°			Operador :				Tricono en uso:	
Fecha: / /			Grupo: 1 2 3 4		Turno: A B		Cambio tricono:	
Plano Perforacion: SI NO			Cavidades: SI NO				Fase:	


Disparo	N° Pozo	RPM	Presión	Metros	Inicio	Final	Diferencia	Traslado Entre pozos	Mts Relleno	Mts Rotura	Observaciones
1	-				:	:					
2	-				:	:					
3	-				:	:					
4	-				:	:					
5	-				:	:					
6	-				:	:					
7	-				:	:					
8	-				:	:					
9	-				:	:					
10	-				:	:					
11	-				:	:					

Ilustración 64: Reporte actual

ii. Nuevo reporte de perforación

El nuevo reporte de perforación tiene por objetivo optimizar las variables que se estudiaban y agregar otras que no eran controladas hasta el momento (*ver Ilustración 64*), de manera de poder disponer de mayor cantidad de información a la hora de tomar decisiones.

Lo ideal sería utilizar el sistema de Despacho, pero se comparó esa información con la de los reportes manuales, encontrándose diferencias significativas. Debido a ello, una buena solución a corto plazo será reemplazar el reporte y cuando se solucionen los problemas con la información de Despacho, comparar ambos registros.



REPORTE DE PERFORACIÓN

Fecha _____
Folio Reporte _____

Equipo	Fase	Banco	Disparo	Cota	Operador	Grupo	Turno
Material	Mineral	Lixiviación	Estéril				

N°	ok	CHECK-LIST DIARIO
1		Orugas, Pasador, Seguro, mando final propel (motores-cadenas)
2		Correas del Compresor Auxiliar
3		Nivel Estanque Lubricante, Brocas, Cadenas
4		Nivel Estanque Hidráulico y Grasa
5		Nivel Estanque Agua
6		Engrase Automático, Líneas
7		Funciones de la Dirección
8		Extintores de Incendio (ver indicaciones)
9		Barras, Triconos, Estabilizador
10		Amortiguador (fajas, pernos, alambrado)
11		Gatos de Apoyo (platos, camisas, pasadores)
12		Nivel de Carro de Rotación

N°	ok	CHECK-LIST DIARIO
13		Protección de Cadenas y Ventanas
14		Escalera, Pasamanos y Cubiertas
15		Aseo Cabina y Sala de Máquina
16		Luces Interiores y Exteriores
17		Puertas de Cabina Eléctrica
18		Conexión Cable Eléctrico
19		Control Remoto
20		Nivel Aceite de Compresor Principal y Auxiliar (2)
21		Winche (cable, enrollado cable, gancho, seguro)
22		Llave Caimán (calugas)
23		Porta Herramientas de Trabajo (base, cadenas adaptador)
24		Alarma Barra en Pozo

Datos	Tricono 1	Tricono 2	Adaptador Tricono	Anillo Guía	Barra 1	Barra 2	Barra 3	Adaptador Sup.	Amortiguador
Código IADC									
Nº Serie									
Diámetro (in)									
Desgaste (in)									
Vida Útil [m]									
Metros Acumulados									

Ilustración 65: Reporte propuesto - parte superior

	Pozo N°	Longitud (metros)	Hora Inicio	Hora Fin	Tiempo Perfo. Efectiva (min)	Dureza			RPM	PULL-DOWN (lbs)	Presión de Aire (PSI-BAR)
						Blanda 0 a 50 Mpa	Media 51 a 110 Mpa	Dura > 111 Mpa			
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30											
31											
32											
33											
34											
35											

Pérdidas Operacionales	Tiempo (min)	Nº Eventos
Cambio de Turno		
Revisión Inicio Turno		
Traslado Largo		
Traslado corto		
Traslado Colación		
Colación		
Cambio de Acero (cuál)		
Estándar Plataforma deficiente		
Sin Marcas Topográficas		
Sin Agua		
Sin Operador		
Repazo pozo		
Relleno Agua		
Relleno Petróleo		
Falla Operacional		
Falla Mecánica/Elect.		
Lubricación/Mantenimiento Preventiva		
Limpieza Máquina		
Espera Equipo Servicio (cuál)		
Evacuación Tronadura		
Otros (indicar cuál)		
TOTAL		

Información Equipo	
Horómetro Inicio	
Horómetro Final	

Condiciones Desfavorables (Servicios)	
Item	Cantidad / N° Pozos con desvío
Bolones	
Patás	
Collar	
Sobre-Perfo.	
Sub-Perfo.	
Relleno / Rotura [m]	
Desalineación	

Observaciones	

Revisión	Nombre
Jefe de Turno	
Firma	
Administrador Contrato	
Firma	

Timbre

Ilustración 66: Reporte propuesto - parte inferior

D. Herramienta de reconocimiento: afiche informativo

Se elabora un afiche informativo para la gestión del área de perforación, que busca resumir los aspectos más importantes del proceso para sus trabajadores. Además de informar aspectos relevante del mes (al costado izquierdo de la *Ilustración 67*), reconocerá el desempeño de los operadores más destacados, en función de los límites de control definidos para los KPI. A continuación se expone el afiche propuesto:

<p>AngloAmerican</p> <p>SUPERINTENDENCIA PERFORACIÓN Y TRONADURA OPERACIÓN LOS BRONCES</p> <p>Registro incidentes</p> <table border="1"> <tr> <td>(Tabla)</td> <td colspan="3">Cantidad</td> </tr> <tr> <td>-Contrato</td> <td>Mes</td> <td>Acum. año</td> <td>Meta</td> </tr> <tr> <td>-Operadores</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>-Otros</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p>Información Metros - Velocidad - Estándares</p> <table border="1"> <tr> <td colspan="3">Metros</td> </tr> <tr> <td>Mes</td> <td>Acum. año</td> <td>Meta</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p>Velocidad promedio [m/h]</p> <table border="1"> <tr> <td>Dura</td> <td>Media</td> <td>Blanda</td> </tr> <tr> <td>Dato/ Meta</td> <td>Dato/Meta</td> <td>Dato/ Meta</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p>Nuevo estándar</p>	(Tabla)	Cantidad			-Contrato	Mes	Acum. año	Meta	-Operadores				-Otros				Metros			Mes	Acum. año	Meta				Dura	Media	Blanda	Dato/ Meta	Dato/Meta	Dato/ Meta				<p>TRABAJADOR DESTACADO "MES XX" "AÑO XX" PERFORACIÓN</p> <p>FOTOGRAFÍA</p> <p>"NOMBRE" "CARGO-FUNCIÓN"</p> <p>SE DESTACA POR:</p> <p>"FECHA EMISIÓN"</p>	<p>OPORTUNIDADES RELEVANTES SUPERINTENDENCIA</p> <p>Potencial incidente - Desvío Oportunidad Mejoramiento</p> <p>Medidas Correctivas Plan de Acción</p>
(Tabla)	Cantidad																																			
-Contrato	Mes	Acum. año	Meta																																	
-Operadores																																				
-Otros																																				
Metros																																				
Mes	Acum. año	Meta																																		
Dura	Media	Blanda																																		
Dato/ Meta	Dato/Meta	Dato/ Meta																																		

Ilustración 67: Ejemplo de afiche informativo y de reconocimiento

E. Modelo de Tiempos: diagrama de flujo de decisión

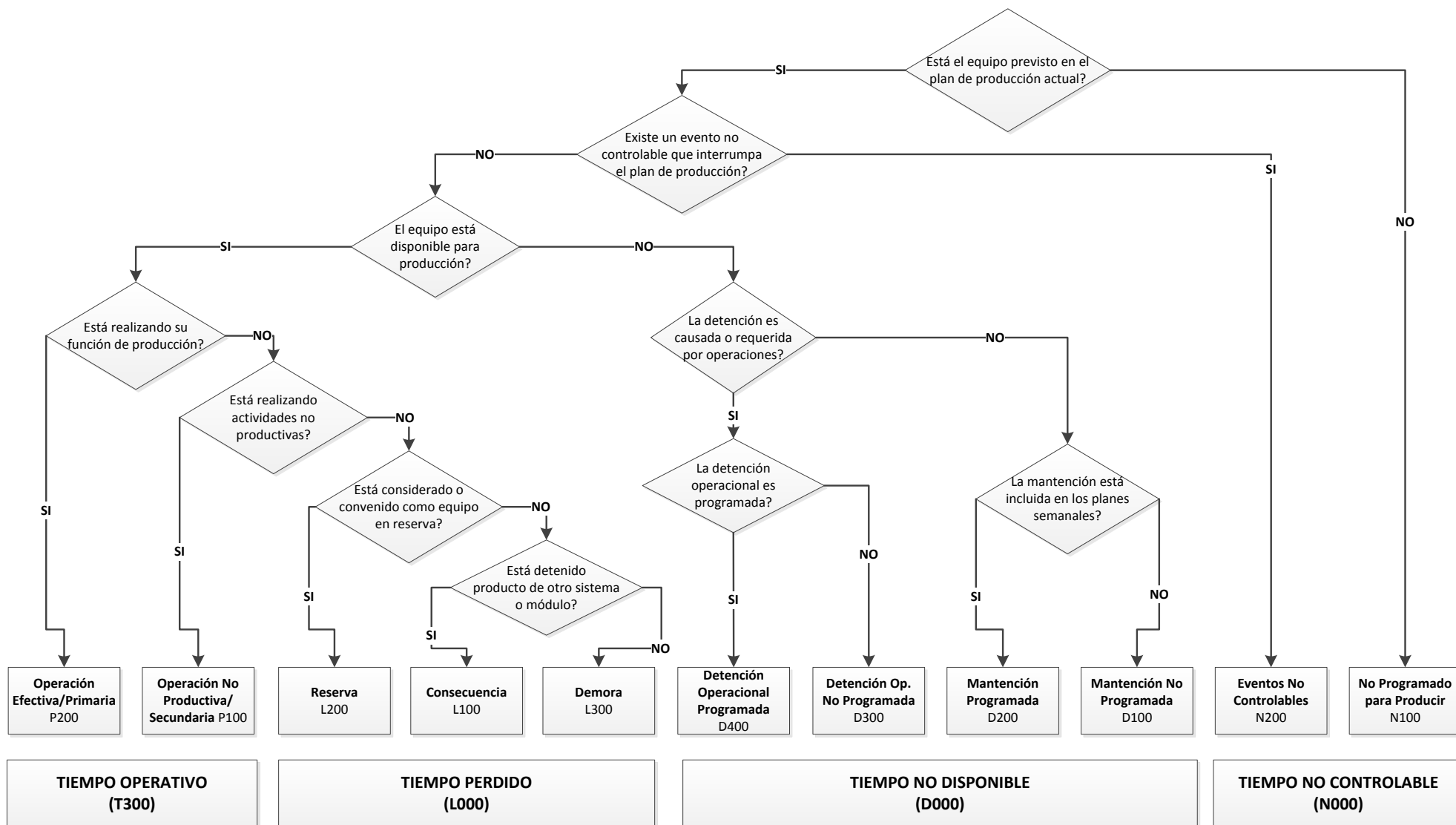


Ilustración 68: Diagrama de flujo de decisión - Modelo de Tiempos

F. Tablero de control de gestión

Tabla 27: Tablero de control de gestión - 1/2

N°	KPI	Detalle KPI	Horizonte de Tiempo (Mediciones)			Estado Indicador						%Implem.	Plazo
			diario	semanal	mensual	diario		semanal		mensual			
						Real	Req.	Real	Req.	Real	Req.		
1	Nivel Calidad Pozos	Sobre y Sub-Perforación											
2	Número de Pozos	Verificación producción											
3	Nivel Alineación Pozos	Diseño											
4	Entregas de área en plazo	Servicios											
		Topografía											
5	Planificación y Secuencia	Cumplimiento Planificación											

Tabla 28: Tablero de control de gestión 2/2 (reverso)

N°	KPI	Detalle KPI	Horizonte de Tiempo (Mediciones)			Estado Indicador				%Implem.	Plazo		
			diario	semanal	mensual	diario		semanal				mensual	
						Real	Req.	Real	Req.			Real	Req.
6	Tiempos	Relleno de Agua											
		Relleno de Petróleo											
		Traslado Colación											
		Cambio Tricono											
7	Eventos	Sin Marcas Topográficas											
		Sin Agua											
		Repaso Pozo											
		Estándar Plataforma											
8	RPM y Empuje	Verificación parámetros perforación											
9	Velocidades Perforación	Vel. Efectiva Perforación											
		Cuociente Velocidades Operativa/Efectiva											

