



## Campaña de Sondajes para Proyectos Geo-Mineros y sus amenazas de pérdidas

Cinthya Ivonne Vega Cares

**Profesora Patrocinante:** Dra. María Eugenia Cisternas Silva

**Profesores Comisión:** Sr. Ramiro Ulises Bonilla Parra

Msc. Abraham Elías González Martínez

### Resumen

Las empresas mineras requieren de campañas de perforación de sondajes con fines prospectivos, para caracterizar el macizo rocoso en términos: **geológicos-geometalúrgicos** (unidades, calidades y porcentaje de mineral-leyes/tonelaje, porcentaje de recuperación, etc.); **geotécnicos** (calidad del macizo rocoso: propiedades físicas, mecánicas y su comportamiento) e **hidrogeológicos** (implementación para recuperación de agua subterránea), con el fin de actualizar sus modelos anualmente.

Los Programas de Exploración con sondajes dan la partida a una serie de fases de ejecución del proyecto, responsabilidad que en la industria minera recae en el área de Geología: planificación, supervisión, cumplimiento de los objetivos de las campañas y la administración de los contratos.

Al finalizar el año 2017, en Minera Centinela fue aprobado un programa de 55.000 m de sondajes diamantinos, para ejecutar durante el año 2018, dando inicio en el mes de marzo a la campana de perforación anual, con seis equipos sonda convencional y uno automatizado (Rod handler).

Anteriormente, Minera Centinela había realizado campañas de perforación, sin embargo, esta vez sería especial por los desafíos que conlleva perforar con la interacción de áreas de Producción Mina, induciendo nuevas amenazas de pérdidas, las que fueron detectadas, y dieron origen a este trabajo.

**Palabras Claves:** Exploración Minera; sondajes diamantina multipropósito, Amenazas de Pérdidas.

### 1 Introducción

Minera Centinela, dentro de su plan de actualización de Modelos Geológicos, Geo-metalúrgicos y Geotécnicos requiere realizar un Programa de Perforación durante el período 2018-2019, el que debe ejecutarse dentro de los más altos estándares de Seguridad y Calidad.

#### 1.1 Objetivo General

Definir y corregir amenazas de pérdidas antes y durante el desarrollo de un programa de perforación de sondajes, dentro del ámbito minero, entregando herramientas de gestión a los geólogos encargados.

#### 1.2 Objetivos Específicos

- a) En un Mapa de Proceso convencional, para todas las etapas, descubrir:
  - actividades que no agregan valor al negocio,
  - actividades que, de no ser controladas en sus riesgos, podrían producir pérdidas al negocio.
- b) Realizar mejoras necesarias a los Mapas de Proceso durante el desarrollo de la Campaña de Perforación actual para planes de perforación futuros.

#### 1.3 Ubicación

El área de trabajo se encuentra localizada en el Distrito Centinela (II Región de Antofagasta) a unos 60 Km, al sur de la ciudad de Calama. Con una altitud promedio de 2.300 m s.n.m., se ubica en un sector de suaves relieves asociados al fl

anco este de la Cordillera Domeyko (Figura 1).

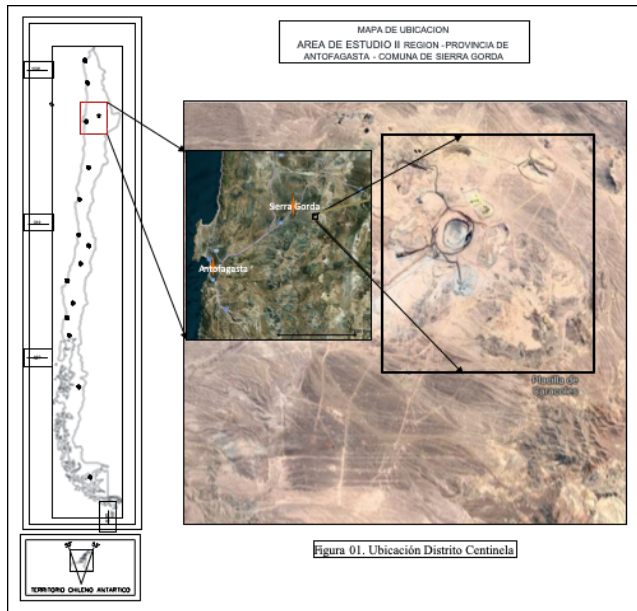


Figura 1: Plano Ubicación Distrito Centinela

#### 1.4 Agradecimientos

Mis sinceros agradecimientos a Minera Centinela que autorizó este trabajo, especialmente a la Srta. Leyla Vaccia Izami, Superintendente de Geología, quien promovió este informe dando su apoyo incondicional.

También agradezco a la Dra. María Eugenia Cisternas Silva, quien acepta ser mi profesora Patrocinante y ha sido gran motivadora para finalizar este proceso de titulación.

Finalmente, agradezco a mi familia: madre, padre; Carlos, mi esposo y a la motivación que generan en mí mis hijos: Fernanda, Carlos y Laura.

## 2 Definición del Problema

La perforación con fines prospectivos es una actividad que tiene un amplio campo de acción en minería, desarrollándose transversalmente en etapas de exploración y explotación. Utiliza diferentes técnicas y métodos para obtener información desde subsuperficie, permitiendo con esto, caracterizar el macizo rocoso en términos **geológicos-geometalúrgicos** (unidades, calidades y % de mineral-leyes/tonelaje, % de recuperación, etc); **geotécnicos** (calidad del macizo rocoso: propiedades físicas y mecánicas; y su comportamiento) e **hidrogeológicos** (implementar

instalaciones para recuperación de aguas subterráneas), todas disciplinas fundamentales en la consideración de elección del diseño de extracción.

Un programa de perforación es la base de la Campaña de Sondajes y tiene como objetivo producir cambios en la categorización de los modelos deducidos en las distintas disciplinas mencionadas anteriormente. Como resultado mejora la data y aumenta la confianza para tomar mejores decisiones en la programación y ejecución de planes de producción, en el ámbito de la actividad minera. Finalmente, se logra dar mayor certeza de cumplimiento a los planes mineros diseñados semanal, mensual y anualmente, y/o proyecciones a futuro.

Es importante destacar que a pesar de contar con experiencias de campañas de perforación anteriores o de considerar para la ejecución a empresas especializadas en las actividades a desarrollar, podrían ocasionarse pérdidas económicas por:

- a) Deficiente evaluación de riesgos
  - de las tareas a realizar durante la perforación propiamente tal;
  - relativo a la comunicación eficiente en la interacción con otras áreas de trabajo presentes, sobre todo en zonas de actividad productiva como es la minería;
  - de las personas que participarán en las actividades a desarrollar.
- b) Ineficiencia:
  - en la definición de actividades y sus requerimientos en bases técnicas del servicio licitado;
  - en la definición de cantidad equipos de trabajo y de personas necesarias para control de las actividades a desarrollar (personal interno y externo);
  - en la revisión de la calidad de los equipos de perforación y de apoyo ofertados.

Por todo lo anterior, es importante, al inicio de una campaña de Perforación, realizar una serie de consideraciones de seguridad, técnicas y administrativas. Este análisis garantizará el buen desarrollo del programa, dentro de los plazos esperados por el cliente contratante de los servicios y ayudará a cumplir con el objetivo corporativo que es: "obtener muestras, desde sondajes, con calidad,

en tiempo y forma, a partir de una zona con intensa actividad de desarrollo minero y alta probabilidad de interacción con otras actividades y empresas.

Es en este contexto que, durante el año 2018, la Superintendencia de Geología de Minera Centinela, perteneciente al grupo minero AMSA, decide realizar una campaña de aproximadamente 55.000 m de sondajes diamantinos multipropósito, utilizando seis equipos Sonda convencionales y uno de tipo Rod Handler, para actualizar los modelos: Geológico, Geometalúrgico y Geotécnico, además de realizar instalaciones hidrogeológicas, dando así origen al presente estudio sobre las amenazas de pérdidas existentes en proyectos de perforación expuestos a estos desafíos: avances de perforación prospectiva versus cumplimiento del plan minero.

### 3 Metodología de trabajo para ejecutar el Plan Perforación 2018-2019

En organizaciones estructuradas, como son las compañías mineras de alto rendimiento, como es el caso de Minera Centinela, es necesario ser rigurosos en la aplicación de un método de desarrollo y control del Proyecto de Perforación, con el fin de minimizar pérdidas durante su avance. Inicialmente, una vez que se ha definido la necesidad de realizar una campaña de perforación de sondajes, inmediatamente se produce la necesidad de organizar una serie de actividades e información a considerar, con el fin de asegurar la correcta ejecución de los trabajos, en un ambiente seguro y coordinado con otras áreas involucradas. El ordenamiento de la secuencia de trabajo se debe realizar por etapas, como las que se proponen en este informe. Es así que se definen fundamentalmente cuatro etapas de desarrollo:

**Etapas 1:** Puesta en marcha de contrato con empresa licitada para servicio de perforación de sondajes.

**Etapas 2:** Implementación de proceso de inducción de personal de perforación.

**Etapas 3:** Implementación de actividades de previas relacionadas a la coordinación con otras áreas de trabajo intervenidas por el desarrollo de la campaña de perforación.

**Etapas 4:** Inicio de Perforación de Sondajes propiamente tal.

La primera etapa consistente en la puesta en marcha

o “kick off” del proyecto, se realiza la reunión de arranque de contrato entre la empresa mandante y la empresa adjudicada con el servicio de perforación de sondajes multipropósito, instancia en que se revisarán punto a punto el cumplimiento de todos los requerimientos de seguridad, administrativos y técnicos del contrato de perforación. Dicha reunión debe ser constituida por al menos los administradores de cada empresa (mandante y contratista) y asesores en prevención de riesgos de las mismas. En dicha reunión se evalúan porcentualmente los estados de cumplimiento de los requerimientos, siendo los tópicos considerados “CRÍTICOS” los que frenarán el inicio o avance de la Campaña si es que no se han implementado satisfactoriamente. De ser así, se originará una nueva instancia de reunión hasta alcanzar cumplimiento 100% en los requerimientos denominados críticos. Una guía para esta evaluación son las herramientas de seguridad: Estándares de Riesgos de Fatalidad Transversales (ERFT) y Estándares de Riesgos de Fatalidad Particulares (ERFP) (Figura 2).

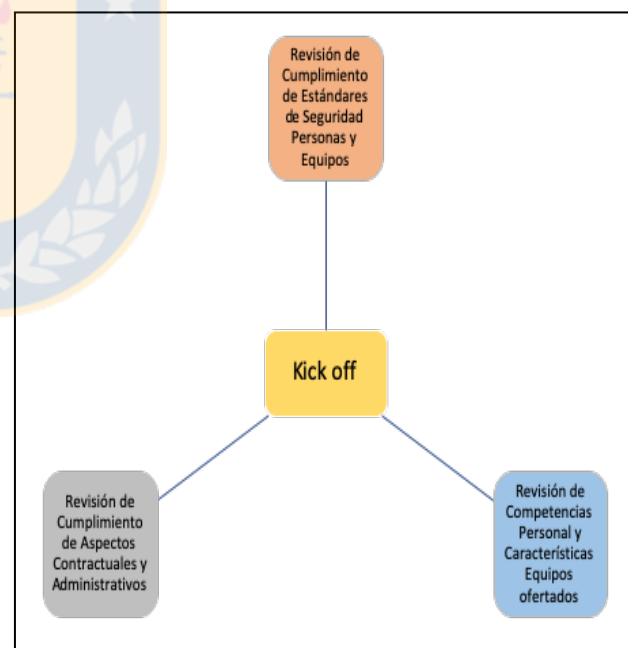


Figura 2: Grafico de Ciclo Puesta en Marcha de Proyecto

En la segunda etapa se requiere que todo el personal que participará en los trabajos de perforación sea inducido a la cultura de seguridad y comportamiento en el área de trabajo, según los estándares establecidos por la empresa mandante, que para el caso de Minera Centinela, corresponden a la internalización ERFT y de ERFP, además del análisis

de control de riesgos en todas las direcciones (HCR360). Para el logro de este requerimiento se organizan reuniones masivas para la inducción de estos aprendizajes, los que serán evaluados individualmente y deberán ser aprobados por cada trabajador, demostrando el 100% de comprensión de los tópicos tratados.

Posteriormente, durante toda la campaña, deberán realizarse seguimientos periódicos a los equipos de trabajo, para confirmar la internalización de la información entregada, a través de instrumentos y herramientas de seguridad establecidas por el mandante (Figura 3).

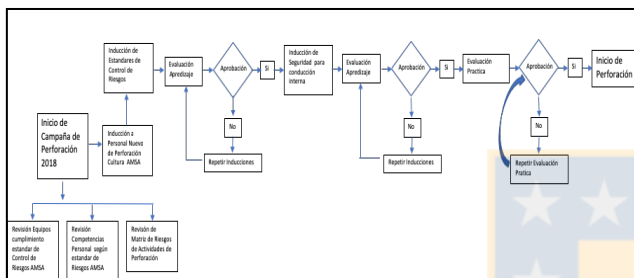


Figura 3: Mapa de Proceso Implementación de Campaña

En la tercera etapa se establece el protocolo de comunicación con las áreas de producción intervenidas, por efecto de las actividades propias de la perforación de sondajes. Esta relación debe ser diaria, logrando involucramiento efectivo y participativo en las reuniones de avance de desarrollo y producción de zonas con actividad minera, turno a turno, con el objetivo de informarse desde primera línea sobre la disponibilidad de lugares geográficos con opción de solicitar intervención.

Normalmente, de parte de los equipos de trabajo de extracción existe una cierta resistencia a compartir las áreas de trabajo, debido a los impactos negativos que pudiesen ocurrir a la producción, como retrasos en tronaduras por evacuaciones ineficientes. Por ello en dichas reuniones se deben lograr acuerdos que potencien tanto las actividades productivas como de desarrollo de programa de sondajes (Figura 4).

Finalmente, la cuarta Etapa, consistente en la perforación propiamente tal, se inicia con la actividad de instalación de sonda, lo que se produce una vez que se le ha asignado el área de trabajo a la

empresa de perforación (Figura 5).

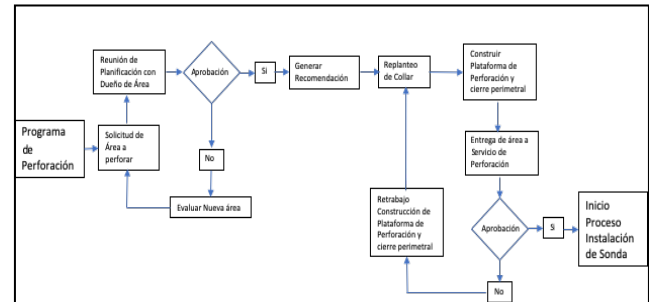


Figura 4: Mapa de Proceso Pre-Perforación

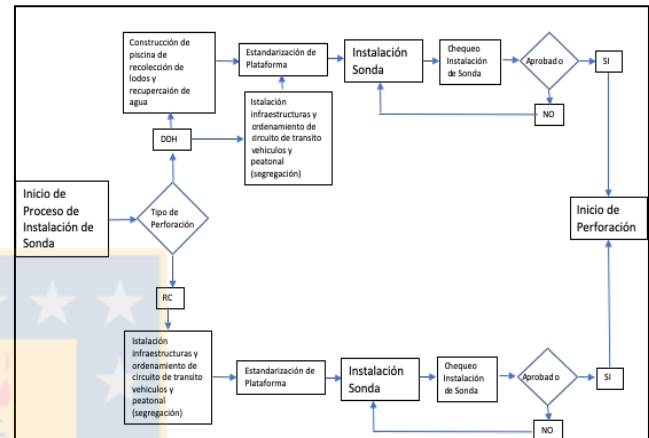


Figura 5: Mapa de Proceso de Perforación

Iniciada la etapa de perforación, comienza el ciclo de verificación y seguimiento de cada uno de los procesos en curso, dando con esto consistencia a la planificación desarrollada, registrándose las desviaciones que pudiesen ocurrir, para luego realizar las correcciones necesarias en cada uno de los pasos sugeridos en las etapas de desarrollo del programa o Campaña de Perforación de Sondajes.

#### 4 Avance de Campaña y Debilidades en los Procesos

Durante la ejecución de la campaña multipropósito de Perforación de sondajes 2018-2019 de la Superintendencia de Geología de Minera Centinela, las distintas etapas de desarrollo del proyecto supervisadas sufrieron cambios en sus planes de control, salvo la Etapa 1 que por definición queda sujeta a revisiones mensuales para evaluar los avances de cumplimiento de requerimientos no críticos.

A medida que fue avanzando el programa de perforación, se detectaron debilidades que originaron desviaciones de seguridad y calidad,

evidenciadas por incidencias que obligaron a la revisión de las herramientas de Control, modificándose procedimientos y protocolos de trabajo en cada una de las actividades redefinidas como críticas y que podrían producir pérdidas.

De acuerdo a las observaciones realizadas, los riesgos de pérdidas se concentraron fundamentalmente en:

- Actividades propias de la perforación, ya que ésta, en general, es considerada una de las actividades más riesgosas dentro del ámbito minero, por la existencia de energías permanentes y residuales involucradas (cinética, rotacional y mecánica).
- Riesgos propios de la interacción entre equipos de trabajo en áreas geográficas intervenidas, donde trabaja más de una empresa.
- Fallas en la supervisión de actividades por deficiencia o incapacidad de reacción de la supervisión para evitar impacto a equipos de trabajo de áreas productivas extractiva e incumplimiento de la planificación acordada.
- Administración del riesgo a través de procedimientos y protocolos de trabajo para tareas rutinarias que podrían provocar pérdidas económicas de menor cuantía.

En la Figura 6 se muestran las debilidades en los procesos de perforación.

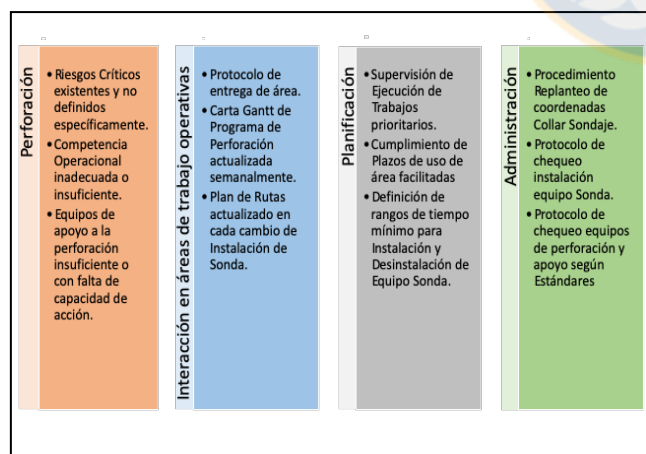


Figura 6: Gráfico debilidades durante el proceso de perforación.

Las debilidades detectadas durante la ejecución de los trabajos permitió realizar mejoras, gestionando cambios en los pasos de 3 de las 4 etapas sugeridas.

Como era de esperar, dichas debilidades y la gestión de cambios impactaron en el costo de la campaña de

sondajes a la compañía minera, así como también produjeron impactos negativos por demoras y detenciones de actividades, tanto de perforación de sondajes como extractivas de la mina. No obstante, el avance y desarrollo del programa de perforación inicial, en el tiempo, no sufrió desviaciones importantes a lo largo de 1 año de Campaña, período que abarca este informe (Mayo 2018 a Mayo 2019), tal como se puede apreciar en el gráfico de evolución de programa global de perforación campaña Geología 2018-2019 (Figura 7), donde se aprecia que la curva “Real Perforado DDH” mantiene una pendiente similar a la proyección del programa (“Programa Acumulado” o Proyección).

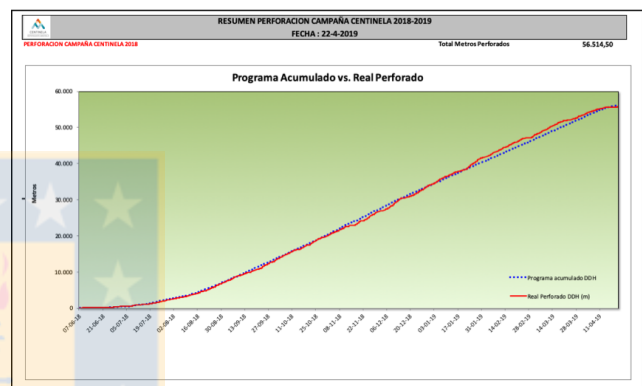


Figura 7: Gráfico de Evolución de Programa Global de Perforación Campaña Geología 2018-2019.

Sin embargo, cumplir con el avance de un programa no implica que no existan impactos en el ámbito económico.

Luego del análisis de incidencias ocurridas durante el periodo de ejecución de la campaña, se pudo concluir que todo trabajo que presenta algún tipo de deficiencias, impactará a la evolución del proyecto, debido a que se logra el objetivo de avance pero a un mayor costo monetario y/o de imagen, en caso de incidencias graves.

Una forma de compensar estas pérdidas es que toda desviación detectada debe ser documentada y su mejora debe ser diligentemente gestionada para, de esta manera, evitar pérdidas a futuro en el mismo proyecto o en otros que se originen para actualizar los datos geológicos que se requieran redefinir. A esto se le denomina “Internalizar el Aprendizaje”. Un ejemplo de ello es la confección de éste informe para que sea de utilidad a quien lo consulte.

## 5 Resultados

Durante la ejecución de la campaña multipropósito de perforación de sondajes realizada en el periodo 2018-2019 en Minera Centinela, se recolectaron documentos y experiencias que desde su inicio se manifestaron como alertas de amenazas de pérdidas, produciendo detenciones al proyecto para re-evaluar si se estaban controlando adecuadamente todas las tareas y actividades críticas. Paulatinamente los mapas de proceso fueron enriquecidos con nuevas consideraciones y pasos a seguir, incorporando procedimientos, protocolos y formatos específicos a la matriz de riesgo del servicio de perforación y a otras tareas necesarias para el desarrollo del proyecto.

Considerando los resultados logrados durante el estudio, se presentan a continuación, a través de los mapas de proceso correspondientes, las modificaciones y mejoras a las etapas de evolución de la campaña de perforación. Es así que se presentan las siguientes modificaciones a 3 de los 4 mapas de procesos identificados como etapas básicas para el óptimo desarrollo de esta campaña de sondajes o para cualquier otro programa.

**Etapa 1:** Puesta en marcha de contrato con empresa licitada para servicio de perforación de sondajes (Figura 8). No sufre modificaciones. Sólo se enriquece con la propuesta de secuencia de revisión documental, en un orden lógico y estatus de requerimientos ya que en este sentido aumentan los controles críticos.

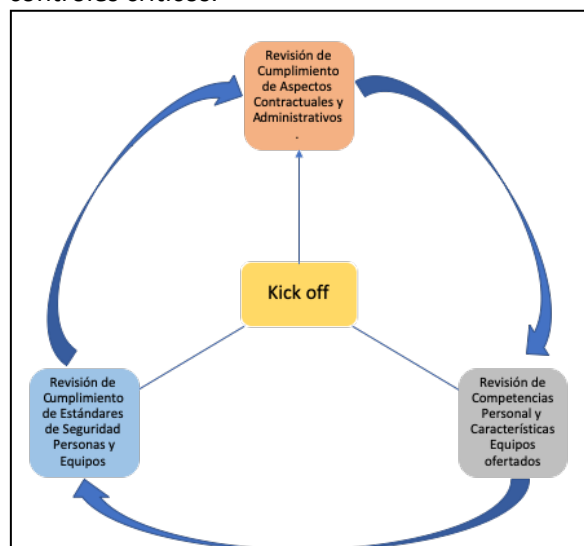


Figura 8: Gráfico de Ciclo Puesta en Marcha de Proyecto.

**Etapa 2:** La implementación de campaña es la etapa para poner en funcionamiento todas las actividades, resguardando los controles críticos que exigen las herramientas de seguridad. Sin embargo, la motivación por dar el inicio lo más pronto posible, ya sea por el mandante como por el contratista, suele adelantar situaciones no deseadas. La revisión de los requerimientos a personas y equipos debe realizarse sin caer en excesos de confianza, es decir, si las Bases Técnicas de Licitación de Servicio especifican ciertas características en competencias para las personas y antigüedad para los equipos, esto debe ser verificado en esta instancia.

Una mirada somera o insuficiente podría ocultar una deficiencia severa que podría generar una alta probabilidad de incidencia, incluso una fatalidad.

Tomando en cuenta estas consideraciones, esta etapa se ha detallado en cada uno de los pasos, incorporando cambios en los procedimientos y protocolos, provenientes de las revisiones de controles críticos a actividades que han presentado incidencias, como fue el caso del cambio de diámetro de línea de perforación. Originalmente el procedimiento de esta actividad indicaba que el cambio de diámetro lo debía realizar el equipo humano de perforación y actualmente señala que debe ser ejecutado por un equipo especializado (mantención). A esta fase se le ha agregado además el chequeo de características (mecánicas, eléctricas, etc.) de los equipos Sonda y de apoyo, en cuanto a garantizar la autonomía de evacuación desde zonas críticas y/o un plan de evacuación sin dependencia de apoyo por parte del mandante (Figura 9, fuera de texto).

**Etapa 3:** en el proceso de pre-perforación es muy importante, lograr efectividad en la ejecución del programa de sondajes, de acuerdo a las prioridades definidas por el cliente, es decir, dar continuidad a la campaña de perforación considerando zonas de interés prioritario para la actualización de modelos geológicos, es muy importante. La planificación de los trabajos a ejecutar durante la etapa de perforación debe ser conocida y comprendida por todos los actores relevantes que participen, de alguna manera, en las áreas a intervenir con la campaña de perforación de sondajes. Por ello la comunicación entre áreas debe ser formal, ya sea en

reuniones o foros multidisciplinarios, donde se entregue información, se reciba retroalimentación y, sobre todo, se logren acuerdos coherentes con la realidad existente en las áreas de intensa actividad minera. En base a lo anterior, el mapa de proceso de esta etapa se enriqueció con pasos que derivaron directamente de recomendaciones realizadas por clientes internos (pertenecientes tanto a Geología como a otras áreas de trabajo) y externos (pertenecientes a empresas colaboradoras). Fundamentalmente, se reforzó el control de comunicación de información relevante y el control en el replanteo de coordenadas de sondajes (Figura 10, fuera de texto).s.

**Etapa 4:** En el Inicio de Perforación de Sondajes existen varias instancias de potenciales fallas de proceso que pueden impactar de manera importante el desarrollo óptimo del programa. Es por ello que se propone dividir esta etapa en 2 subetapas:

- 4.1. Instalación de Equipo Sonda
- 4.2. Perforación propiamente tal.

Ambas por si solas presentan múltiples oportunidades de brechas que, de no ser descubiertas a tiempo, podrían desencadenar eventos no deseados, causando amenazas de pérdidas o pérdidas.

Particularmente, cuando la campaña de perforación de Sondajes debe realizarse en zonas con intenso desarrollo minero, se hace necesario mantener el control de todas las actividades necesarias para la Instalación de un equipo. En primer lugar, se evaluó considerar un protocolo de instalación en áreas complejas. Normalmente un documento de esta naturaleza no existe y no se aplica en áreas libres de interacción y ciertamente, en el inicio del programa estudiado, no se había detectado la necesidad de éste.

El no controlar estas particularidades del terreno a prospectar ocasionó demoras o retrasos por mala planificación y/o falta de capacidad de reacción para dar el soporte y logística necesario para lograr el propósito de instalación de Sonda o viceversa (desinstalación del equipo), en tiempos restringidos. En general, los equipos de trabajo de perforación de sondajes cuentan con la experiencia y habilidades

necesarias para ejecutar sus tareas, sin embargo, no se debe subestimar la supervisión constante a todo el proceso, ya sea a través de un control externo dispuesto por la empresa mandante o directamente a través de un equipo formado por la empresa mandante. En esto se consideran los pasos de chequeo de instalación de equipos Sonda, antes, durante y después de la instalación (Figura 11, fuera de texto).

Finalmente, una vez superados todos los chequeos propuestos en el Mapa de Proceso de Instalación, es tiempo de iniciar la perforación, tarea que conlleva, en si misma, la mayor concentración de riesgos críticos, debido a la naturaleza de su operación (variados tipos de energías libres).

En la Figura 12 (fuera de texto) correspondiente a la Etapa 4: Mapa de Proceso de Perforación, se puede notar que, con respecto al mapa de proceso original, éste contiene la mayor cantidad de modificaciones o enriquecimiento de proceso, para ayudar a controlar más eficientemente la ejecución de la tarea, minimizando el impacto negativo que podría ocasionar a otras áreas de trabajo al compartir el espacio y la estructura de traslado hacia y desde áreas productivas (La Mina).

## 6 Discusión

El informe realizado en esta oportunidad tuvo como misión plasmar en un documento las mejoras incluidas al programa de perforación realizado en Minera Centinela durante el periodo 2018-2019 (1 año de operaciones).

Las empresas mineras que requieren efectuar actualizaciones de modelos a través de la prospección con perforación de sondajes diamantinos y/o de circulación reversa se enfrentan a grandes desafíos cuando estas operaciones se deben hacer en áreas operativas extractivas. Ambas actividades son necesarias: el desarrollo minero porque es de esta forma como se producen los recursos económicos para el dueño y éste destina recursos para la prospección y la perforación de sub-superficie, para aumentar los recursos mineros y la certeza de sus reservas.

En términos simples, como cualquier negocio, no parece difícil de ejecutar, ya que los recursos

económicos dispuestos para esto permiten realizar trabajos con empresas especializadas y con experiencia en el rubro, tanto en la perforación como en el control de éstos.

Sin embargo, existen factores que podrían hacer perder el control del proyecto, en cualquiera de sus etapas, por ello es tan importante que experiencias como ésta, sean analizadas y queden documentadas en informes de resultados de campaña.

Cabe destacar que, en esta campaña de perforación de Sondajes diamantinos:

- el proyecto se realizó dentro del plazo proyectado.
- se presentaron desviaciones de seguridad y calidad que fueron corregidas inmediatamente.
- los aprendizajes fueron difundidos correctamente para controlar de mejor forma las amenazas de pérdidas.

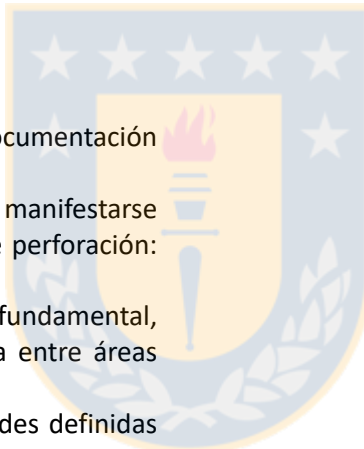
## **7 Conclusiones**

Luego del análisis realizado a la documentación revisada, se concluye que:

- Las amenazas de pérdidas pueden manifestarse en cualquier fase de un proyecto de perforación: al inicio o durante su ejecución.
- La planificación de los trabajos es fundamental, sobre todo la comunicación efectiva entre áreas que comparten espacios de trabajo.
- Los controles críticos de las actividades definidas como críticas deben ser supervisados continuamente.
- No se debe minimizar el riesgo de impacto a las operaciones de producción producto del desarrollo de la campaña de perforación.

## **7 Referencias**

Este trabajo es inédito y no tiene referencias conocidas.



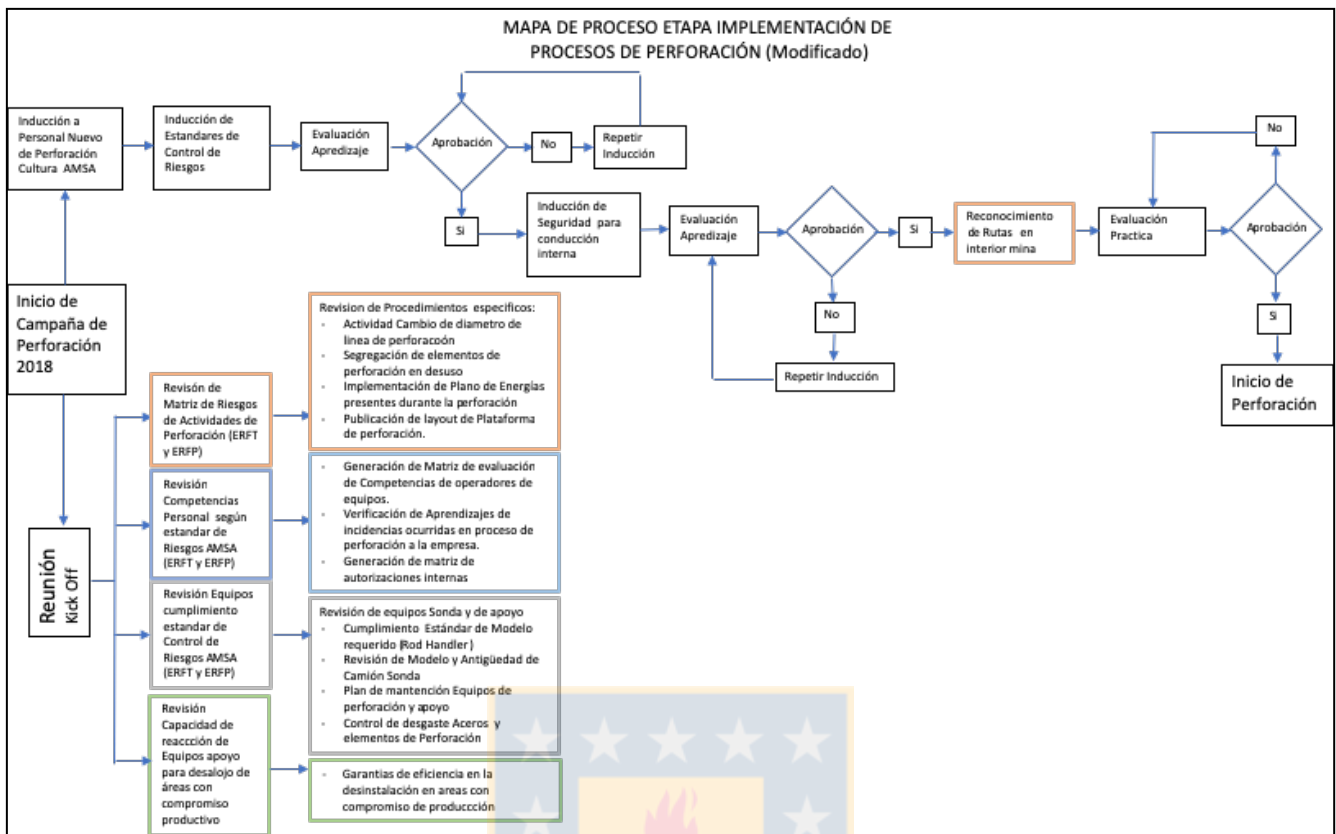


Figura 9: Mapa de Proceso Implementación de Campaña modificado.

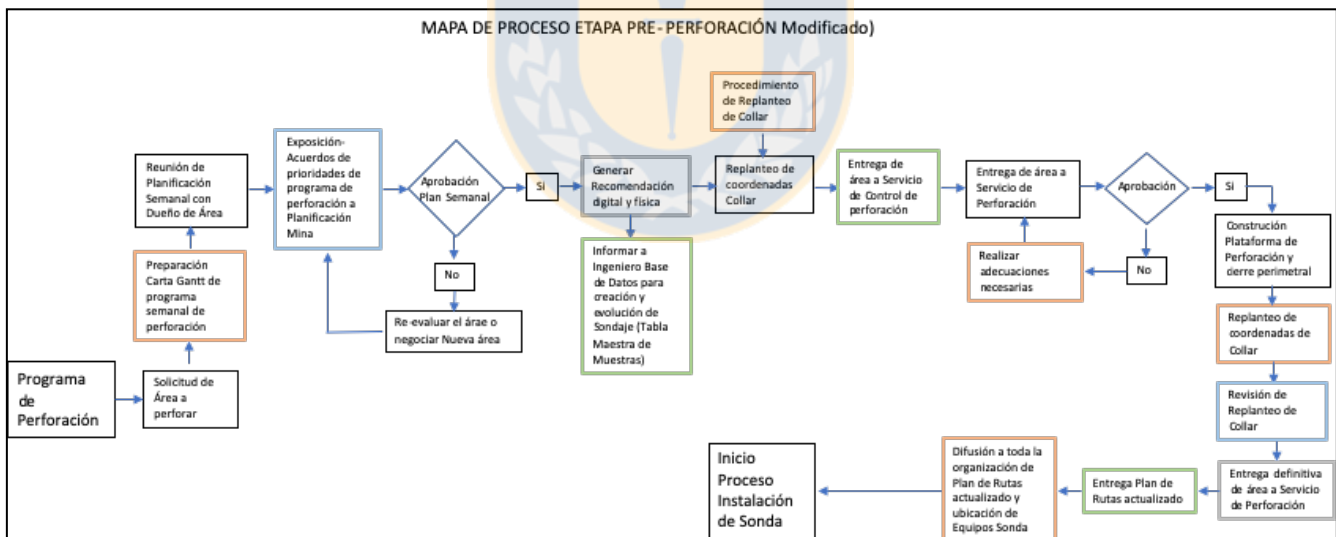


Figura 10: Mapa de Proceso Pre-Perforación modificado.

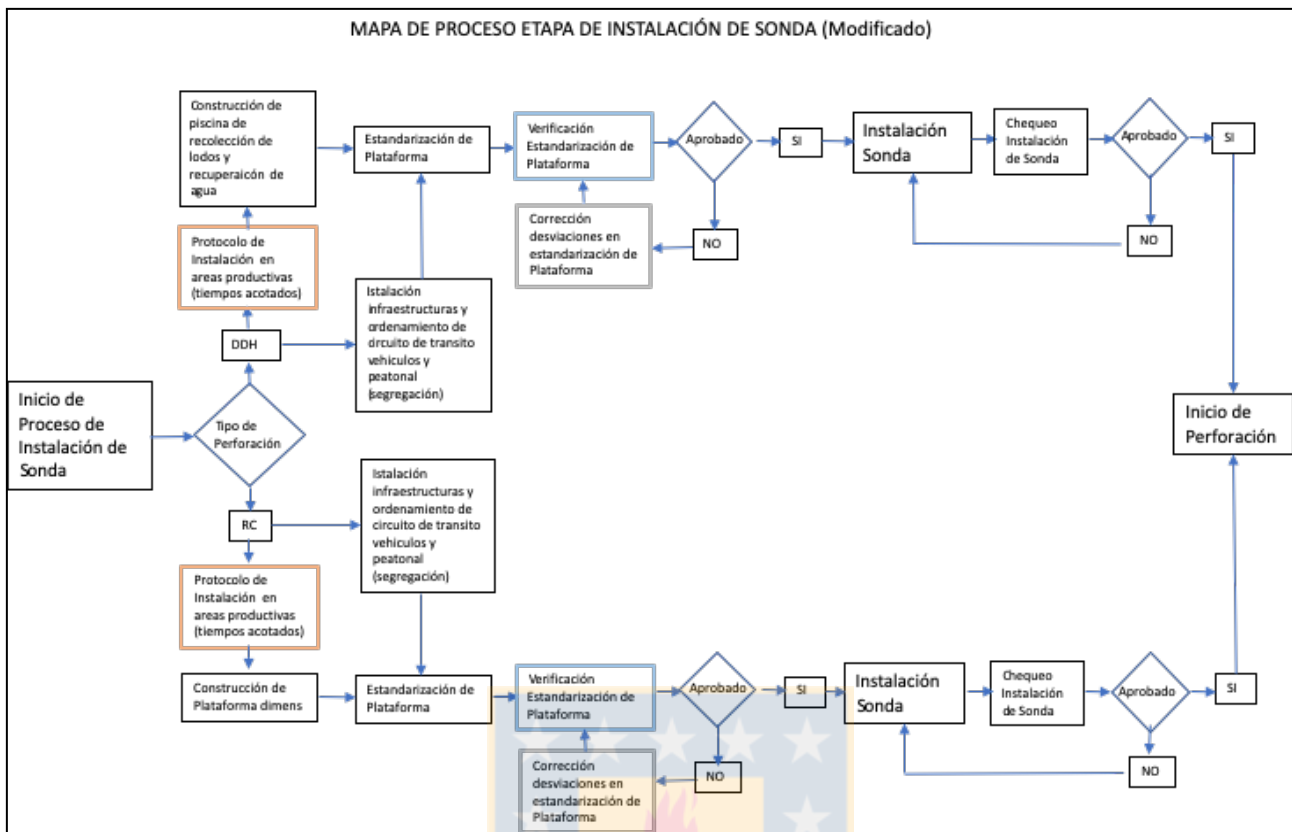


Figura 11: Mapa de Proceso de Perforación-Instalación de Equipo Sonda.

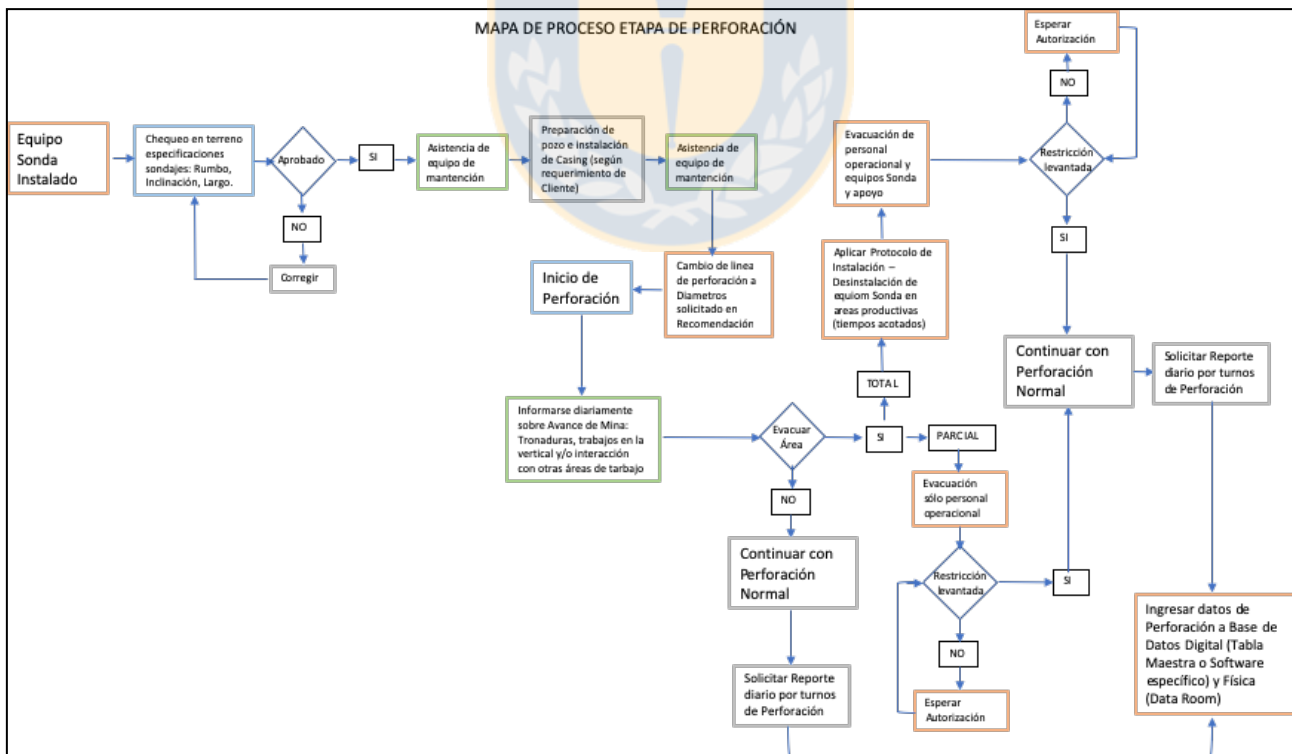


Figura 12: Mapa de Proceso de Perforación modificado.