

# ESCUELA DE POSGRADO NEWMAN

MAESTRÍA EN  
GESTIÓN MINERA Y AMBIENTAL



**Análisis y propuesta de mejora de la calidad de perforación a diamantina utilizando el proceso seis sigma aplicando las etapas DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar),  
Zamora-Ecuador 2022**

**Trabajo de investigación  
Para optar el Grado a Nombre de la Nación de**

Maestro en  
Gestión Minera y Ambiental

**Autor**

Bach. Jiménez Martínez, Luis Xavier

**Docente Guía**

Mtro. Leo Rossi, Ernesto Alessandro

**TACNA – PERÚ**

**2022**

“El texto final, datos, expresiones, opiniones y apreciaciones contenidas en este trabajo son de exclusiva responsabilidad del (los) autor (es)”

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO .....	3
ÍNDICE DE TABLAS .....	6
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	7
INDICE DE ANEXOS .....	8
RESUMEN .....	9
ABSTRACT .....	10
INTRODUCCIÓN .....	11
CAPITULO I: ANTECEDENTES DEL PROBLEMA .....	13
1.1 Título del tema .....	13
1.2 Planteamiento del Problema .....	13
1.3 Objetivos de la investigación (general y específicos).....	15
1.3.1 Objetivo general del diagnóstico .....	15
1.3.2 Objetivos específicos.....	15
1.4 Justificación .....	16
1.5 Metodología .....	17
1.5.1 Tipo de Investigación .....	17
1.6 Enfoque.....	17
1.7 Alcance y limitaciones.....	17
1.7.1 Alcance .....	18
1.7.2 Limitaciones.....	18
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO .....	19
2.1 Introducción .....	19
2.2 Estado del arte.....	19
2.3 Calidad y mejora .....	20
2.4 Sistemas para aplicar calidad .....	21
2.4.1 Total Quality Management (TQM) .....	21
2.4.2 Norma ISO 9001 .....	21
2.4.3 Sistema Lean Six Sigma.....	22
2.5 Mejora Seis Sigma.....	22
2.5.1 Principios de Lean Six Sigma .....	23
2.5.2 Fases del proceso de mejora.....	24
• DMAIC1. Definir .....	24
• DMAIC2. Medir.....	24

• DMAIC3. Analizar .....	25
• DMAIC4. Mejorar .....	25
• DMAIC5. Controlar .....	25
2.6 Flujo del proceso.....	25
2.7 Plan de control de procesos.....	26
2.8 Control de estadístico de los procesos .....	26
2.9 La actividad minera .....	26
• Minería en el Ecuador .....	27
• Exploración y explotación minera .....	28
CAPITULO III. MARCO REFERENCIAL.....	30
3.1 Proceso de perforación diamantina.....	30
3.2 Etapa de Pre – Perforación.....	30
3.2.1 Ubicación y construcción de plataforma .....	30
3.2.2 Traslado de taladro de perforación a plataforma .....	30
3.2.3 Instalación de plataforma.....	30
3.3 Etapa de Perforación .....	31
3.3.1 Inicio de perforación .....	31
3.3.2 Instalación de tubería de perforación para extracción del testigo de roca ..	31
3.3.3 Inyección de fluidos de perforación .....	31
3.3.4 Obtención del testigo de roca .....	31
3.3.5 Extracción tubo interior con el testigo o muestra de roca .....	32
3.3.6 Extracción del testigo o muestra de roca desde el tubo interior.....	32
3.3.7 Maniobras de herramientas y tuberías de perforación.....	32
3.4 Etapa de Post – Perforación .....	32
3.4.1 Medición de trayectoria.....	32
3.4.2 Retiro de la tubería o sarta de perforación y desarmado del equipo. ....	33
3.4.3 Cierre y entrega de plataforma .....	33
3.4.4 Entrega producto final - Cajas con testigos de perforación .....	33
3.5 Calidad.....	34
3.6 Metodología de mejora Seis Sigma .....	34
3.7 Valoración práctica de la utilidad de la Metodología seis sigma aplicando las etapas DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar) .....	34
3.7.1 Variables del diagnóstico .....	35
3.7.2 Indicadores de las variables .....	35

3.8	Micro ambiente .....	36
3.8.1	Análisis interno .....	37
3.8.1.1	Filosofía Departamento de Exploración.....	37
3.8.1.2	Misión .....	37
3.8.1.3	Visión.....	37
3.8.1.4	Valores departamento de exploración .....	37
CAPITULO IV RESULTADOS .....		38
4.1	Valoración metodología seis sigma aplicando las etapas DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar) .....	38
4.2	Macro ambiente .....	43
4.2.1	Análisis externo .....	43
4.2.1.1	Aspectos políticos.....	43
4.2.1.2	Aspectos económicos.....	44
4.2.1.3	Aspectos ambientales .....	44
4.2.1.4	Aspectos sociales.....	46
4.3	Diseño de la Mejora .....	46
4.3.1	Definición actividad de trabajo en fase de exploración .....	46
4.3.2	Estructura Departamento de Perforación minera Lundin Gold .....	46
4.4	Diseño de la Mejora .....	48
4.4.1	Indicadores operativos de perforación.....	48
4.5	Mecanismos de control .....	48
4.5.1	Control en la Pre – Perforación.....	48
4.5.2	Control de la ubicación y construcción de plataforma.....	51
4.3.2.	Control del Traslado de taladro de perforación a plataforma.....	52
4.5.3	Control en la etapa de perforación.....	52
4.5.4	Control cierre y entrega de plataforma .....	55
CAPITULO V: SUGERENCIAS Y CONCLUSIONES.....		57
5.1	SUGERENCIAS.....	57
5.2	CONCLUSIONES .....	60
BIBLLIOGRAFIA.....		62
ANEXOS.....		64

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de relación diagnostica .....	36
Tabla 2. Empresa investigada .....	39
Tabla 3. Criterio de aceptación del proceso de mejora.....	39
Tabla 4. Fallos inesperados.....	40
Tabla 5 Percepción de tener ventaja competitiva .....	41
Tabla 6. Reducción de costos y gastos .....	42
Tabla 7. Modelo acta de reuniones .....	49
Tabla 8. Check list para ubicación y construcción de la plataforma .....	51
Tabla 9. Check list traslado de plataforma .....	52
Tabla 10. Registro de inspección y liberación de plataforma.....	53
Tabla 11. Registro de inspección taladros .....	54
Tabla 12. Registro cierre ambiental.....	55
Tabla 13. Puesta en marcha propuesta de mejora.....	56

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Establecer calidad en fase de exploración .....	34
Ilustración 2. Nivel de aprobación de la propuesta de mejora .....	39
Ilustración 3. Falta de continuidad por fallos.....	40
Ilustración 4. Aplicación por beneficio en competitividad.....	41
Ilustración 5. Disminución de las salidas de dinero .....	42
Ilustración 6. Organigrama estructural Lundin Gold .....	47
Ilustración 7. Propuesta Organigrama estructural Departamento de Exploración	47

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Formato de la encuesta .....	64
Anexo 2: Encuesta realizada sobre el análisis y propuesta de mejora a la calidad de perforación.....	65
Anexo 3: Fases de a exploración. Exploración inicial, toma de muestras de suelos para análisis geoquímico. ....	65
Anexo 4: Exploración avanzada construcción de una plataforma para perforación. ....	66
Anexo 5: Plataforma donde se asienta un taladro de perforación a diamantina de características helitransportable. ....	66
Anexo 6: Transporte por línea larga helicóptero de un motor hidráulico componente de un taladro de perforación a diamantina .....	67
Anexo 7: Obtención del producto final testigo de perforación .....	67

## RESUMEN

El Departamento de Exploración de la empresa Lundingold radicada en el Ecuador y con base de operaciones en la parte oriental del territorio nacional tiene como objetivo estratégico la exploración de nuevos depósitos minerales (Greenfield) y la ampliación de nuevas reservas con exploraciones cercanas al yacimiento (Brownfield), esto es posible debido a que posteriormente de haber realizado procesos exploratorios en determinadas superficies, se procede a hacer nuevas evaluaciones geológicas superficiales en las que intervienen mapeos y muestreos geoquímicos en las superficie por investigar, el método de exploración directo más usado es justamente la perforación a diamantina, en el Ecuador técnicamente, legalmente y ambientalmente esta fase minera se la conoce como Exploración Avanzada.

La presente propuesta de mejora es una investigación que mantiene un enfoque cualitativo, a partir de datos extraídos por la práctica de la actividad, que no necesariamente deben ser estadísticos, sino más bien por la experiencia de expertos en el tema de exploración, pues las deficiencias que se tiene en el proceso no solo se provocan en el ámbito operativo de la perforación diamantina, esta falencias o fallas responden también al ejercicio técnico - administrativo y de gestión en la actividad investigada.

Además, se presenta y propone un diagnóstico para la mejora de la calidad de perforación a diamantina utilizando las herramientas de Seis Sigma aplicando las etapas Dmaic, con la cual se desarrolló un análisis interno de los procesos de la actividad de perforación a diamantina, adicionalmente también fueron analizados los aspectos externos que afectan a la calidad de la perforación, para establecer instrumentales en procesos claves para optimizar aspectos puntuales en la fase de exploración.

El diseño de mejora se fundamentó en los Indicadores operativos de perforación que tienen la finalidad de establecer metas operativas logrando hitos fundamentales como la obtención de datos históricos para la comparación entre períodos de actividad y conseguir indicar los principales fallos y la periodicidad en las fases de exploración.

## ABSTRACT

The Exploration Department of the Lundingold company located in Ecuador and with operations base in the eastern part of the national territory has as strategic objective the exploration of new mineral deposits (Greenfield) and the expansion of new reserves with explorations close to the deposit (Brownfield ), this is possible because after having carried out exploratory processes on certain surfaces, new surface geological evaluations are carried out in which geochemical mapping and sampling of the surface to be investigated is involved. The most used direct exploration method is precisely the diamond drilling, in Ecuador technically, legally and environmentally this mining phase is known as Advanced Exploration.

The present proposal for improvement is an investigation that maintains a qualitative approach, based on data extracted from the practice of the activity, which should not necessarily be statistical, but rather from the experience of experts in the subject of exploration, since the deficiencies that occurs in the process are not only caused in the operational field of diamond drilling, these shortcomings or failures also respond to the technical-administrative and management exercise in the investigated activity.

In addition, a diagnosis is presented and proposed for the improvement of the quality of diamond drilling using the Six Sigma tools applying the Dmaic stages, with which an internal analysis of the processes of the diamond drilling activity was developed, additionally also The external aspects that affect the quality of the perforation were analyzed, to establish instruments in key processes to optimize specific aspects in the exploration phase.

The improvement design was based on the drilling operational indicators that have the purpose of establishing operational goals, achieving fundamental milestones such as obtaining historical data for the comparison between periods of activity and being able to indicate the main failures and the periodicity in the exploration phases.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años el Ecuador ha tenido un importante crecimiento económico con el desarrollo de dos proyectos mineros a gran escala denominados como proyectos estratégicos, históricamente a nivel global, se ha mantenido el criterio social acerca de que la actividad minera muestra una serie de relaciones conflictivas que afectan los aspectos sociales, ambientales y económicas de los países que la poseen, a partir del Mandato Minero en el año 2008 y el nuevo Reglamento Ambiental para actividades de Minería expedida en el año 2009 se inicia un hecho importante con la forma de manejar y controlar las actividades mineras, exigiendo a las empresas el cumplimiento de un estricto manejo ambiental y social para sus planes de exploración, explotación y cierre de mina, es por esto que muchos de los antiguos aspectos concernientes a las fases iniciales y avanzadas de exploración deben cumplir con licencias ambientales que analizan en detalle el cumplimiento de las normas y su ejecución.

El objetivo de esta investigación y propuesta de mejora es determinar mayores estándares productivos y de manera general dada que la actividad se desarrolla en zonas que generalmente se encuentran en sitios lejanos, agrestes, desérticos, selváticos e inhóspitos donde el abastecimiento con equipos, maquinaria, repuestos, suministros, materiales, insumos y mano de obra es complicado, además que el mantener las actividades de trabajo de manera permanente representan constantes retos para los directores e inversionistas.

De tal manera a todo anteriormente expuesto las empresas mineras enfrentan dificultades en el cumplimiento de metas y objetivos, lo cual representa generalmente retrasos o rendimientos productivos por debajo de lo esperado, por tal razón es necesario e importante identificar las razones de estas fallas o errores que se cometen en procesos reiterativos, para posteriormente mediante la aplicación de la metodología denominada Lean Six Sigma buscar de mejorar y optimizar los procesos y tiempos de respuesta hacia las diferentes contingencias que se presentan en la exploración a diamantina para corregir las deficiencias y fortalecer los procesos.

El Capítulo I, describe el planteamiento del problema en el que se contextualiza los principales elementos que son el conjunto de factores internos y externos que se deben analizar para la intervención de la propuesta, objetivo general y los específicos, justificación, metodología, definiciones utilizando el proceso Seis Sigma aplicando las etapas DMAIC.

El Capítulo II, hace referencia al marco teórico, a la calidad y mejora, al sistema Lean Six Sigma, sus principios, procesos y control de los procesos, por lo que partiendo de las bases teóricas es posible establecer parámetros objetivos que sirven para sustentar la mejora.

El Capítulo III, se indica el marco referencial es decir se toma una empresa minera para describir los procesos de la perforación a diamantina que realiza, se aplica la metodología de mejora Seis Sigma, para valorar de manera práctica la utilidad de la Metodología seis sigma aplicando las etapas DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar).

En el Capítulo IV, se presentan los resultados de la valoración metodología seis sigma aplicando las etapas DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar). Así también se exponen los aspectos políticos, económicos y ambientales dentro del marco de la legislación vigente en el Ecuador, los que hacen posible lograr una mejora objetiva y a la vez enmarcan el marco institucional de una empresa minera, además de establecer mecanismos de controles estratégicos, como la ubicación y construcción de plataforma, el traslado de taladro de perforación a plataforma y el control en la etapa de perforación en donde se registra la inspección y liberación de plataforma, además de la inspección taladros.

El Capítulo V, contiene las sugerencias y conclusiones acerca de las grandes oportunidades de desarrollar implementaciones lean con herramientas de control para empresas mineras con el objetivo de identificar todos los procesos estratégicos de la perforación a diamantina y tomar como un modelo directo para las mejoras que se plantean y se obtienen con los indicadores ofreciendo oportunidades de mejora.

# **CAPÍTULO I - ANTECEDENTES DEL PROBLEMA**

## **1.1 Título del tema**

Análisis y propuesta de mejora de la calidad de perforación a diamantina utilizando el proceso Seis Sigma aplicando las etapas Dmaic (definir, medir, analizar, mejorar y controlar), Zamora- Ecuador 2022.

## **1.2 Planteamiento del Problema**

En las actividades de minería se tienen diferentes acciones de trabajo que permiten por un lado establecer la existencia del recurso mineral y por otro la explotación de la mina como actividad económica para un empresa pública o privada, algo fundamental para el negocio minero es la perforación, la cual puede ser, manual, neumática, eléctrica, hidráulica o combinaciones de estas (Jave, 2002), dentro de esta actividad se tiene la perforación a diamantina, que es un método de exploración usado en etapas tempranas de trabajo denominada scout drilling (Perez & Ponce, 2015) y en etapas de definición la exploración avanzada, en función de definir y dimensionar la naturaleza del recurso mineral en un yacimiento, con el cual se consiguen resultados que permiten determinar las condiciones de rentabilidad de los yacimientos, la cuantificación a priori del valor de un recurso mineral inferido en etapas tempranas y avanzadas, ayuda a establecer el valor del recurso mineral indicado y medido aumentando el nivel de certeza del yacimiento (ARCOM, 2016).

Para ejecutar las etapas antes mencionadas, es necesario utilizar mallas de perforación de manera sistemática para lograr evidencias reales que sirvan para justificar las inversiones por realizarse, también se opera con esta técnica en la etapa de extracción del recurso mineral, además de que todos los estudios que se realizan a través de la perforación a diamantina obedecen a distintas normas que garantizan el cumplimiento, transparencia e integridad de la actividad, como en el caso del código JORC, el cual establece que, “un recurso mineral no es más que una concentración u ocurrencia de un material solido o liquido de interés económico, que se encuentra dentro o sobre la corteza terrestre en tal forma, ley (o calidad) y cantidad que dan razones considerables para considerar una eventual extracción y explotación

generando un beneficio económico. La ubicación, cantidad, ley, continuidad y otras características geológicas de un Recurso Mineral dentro de un yacimiento deben ser conocidas, estimadas e interpretadas a partir de la evidencia y conocimiento geológico específico, que incluye el muestreo a través de la perforación diamantina, la cual es necesaria para poder cuantificar el recurso mineral. Los Recursos Minerales se indicaron se subdividen en orden de creciente confianza geológica en las siguientes categorías: Inferido, Indicado y Medido. Todos los reportes de Recursos Minerales deben satisfacer las normas y requerimientos que existen para justificar expectativas razonables para una eventual extracción económica (tener el mayor grado de certeza posible), sin importar la clasificación del recurso". (AUSIMM, 2012, pág. 11)

Para establecer un contexto real de operaciones, operatividad y rentabilidad de la empresa minera Lundingold es necesario realizar un análisis de algo fundamental como son los tiempos de producción real, específicamente a lo referido al avance de la perforación (metraje), por unidades de tiempo sean estas horas, días, semanas, meses, años y con ello determinar el grado de desviación de tiempos óptimos establecidos para la actividad de perforación a diamantina, logrando con esto fundamentar parámetros normalizados en tiempos y avances de trabajo, que a su vez permiten conocer los nudos críticos o cuellos de botella que logran un nivel de afectación significativo para la producción real del proceso de perforación y de esta manera poder definir donde se concentran las mayores desviaciones de las actividades implícitas de la perforación.

De acuerdo a la investigación que está enfocada en la operatividad de la perforación en donde se lleva un registro con avances y novedades en la perforación, en donde a priori se han identificado desde fallas operativas hasta procesos deficientes de comunicación conjuntamente con una débil experticia al momento de realizar el manejo de maquinarias y equipos, lo que provoca retrasos en la producción, daños en los equipos y una afectación integral a toda la empresa debido a que se generan tiempos ociosos en ciertas áreas de la planta de producción hasta que se realicen las respectivas reparaciones y la puesta en marcha de todo el proceso de perforación, esto a la postre se traduce en considerables pérdidas económicas constantes para los inversionistas del proyecto.

El presente tema de investigación identifica los problemas principales del proceso de perforación a diamantina que siempre resulta en el no cumplimiento de los tiempos de entrega debido a la baja producción de avances diarios y mensuales de perforación, en la etapa de definición se intenta identificar el proceso del no cumplimiento con el tiempo de entrega debido a la baja producción en la perforación.

En la etapa de medición es conveniente realizar un análisis con los elementos adicionales tales como movimientos de taladros e instalación a la cual exceden los tiempos denominados de espera por la empresa contratista de perforación en base a otras causas como tiempos de stand-by o denominados tiempos de espera (Instituto de Seguridad Minera, 2018), por causas fuera de control del cliente como por ejemplo el clima o daños en los equipos de traslado como el helicóptero que se usa para la movilización de los taladros.

En la etapa de análisis es necesario determinar las causas-raíces que crean todas las variables identificadas en el proceso de medición y es aquí donde se crean las propuestas de mejora para esas causas identificadas con el objetivo de optimizar el proceso de perforación a diamantina, para empresas mineras en fases de exploración donde se ejecuta extensos programas de perforación en superficie para los cuales el uso de una metodología como la DMAIC es una alternativa de mejora y reducción de variabilidad en el proceso de perforación a diamantina.

### **1.3 Objetivos de la investigación (general y específicos)**

#### **1.3.1 Objetivo general del diagnóstico**

Mejorar la calidad de perforación a diamantina utilizando el proceso Seis Sigma aplicando las etapas Dmaic.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- a. Realizar el diagnóstico situacional del Departamento de Exploración de la minera Lundin Gold para la mejora de la calidad de perforación a diamantina utilizando el proceso Seis Sigma aplicando las etapas Dmaic.

- b. Desarrollar un análisis interno de procesos y articulación de la actividad de perforación a diamantina en el Departamento de Exploración de Lundin Gold.
- c. Analizar los aspectos externos que afectan la realización óptima de procesos en la actividad de perforación.

#### **1.4 Justificación**

Las empresas mineras en las fases de exploración desarrollan programas de perforación utilizando perforadoras a diamantina para lo cual ha necesitado contratar este servicio, siendo el objetivo de este análisis y propuesta de mejora optimizar la calidad del proceso de perforación utilizando la metodología DMAIC (Definir, medir, analizar, implementar y controlar).

De acuerdo a experiencias con programas de perforación pasados en los cuales no se tiene un análisis comparativo-referencial es posible e importante plantear una mejora al control interno debido al alto el grado de operaciones y gestiones que se necesita para iniciar, mantener y finalizar en programas de perforación.

La mejora en la gestión de la perforación a diamantina permite controlar problemas identificados, incluso no programados, además de que generar mejoras en los presupuestos anuales que son asignados para esta actividad, con esto es posible conseguir que la información tenga un nivel de certeza confiable en beneficio del interés del estudio del recurso minero, optimizando el uso de personal y de equipos que dispone la empresa para apoyar y acompañar durante todo el programa de perforación

Por lo tanto, es importante que a partir de este estudio se estandarice los procesos de gestión y mejora continua que permitan realizar campañas de perforación a diamantina optimizando los recursos y eligiendo la metodología adecuada para su ejecución, tomando en consideración que la actividad de perforación a diamantina es considerada una actividad muy dinámica y sensible porque siempre está desarrollándose dentro de diversas variables operativas, de seguridad industrial o del mismo conocimiento que se genera a medida de la operación avanza lo que obliga a

buscar alternativas y soluciones relevantes de acuerdo a la exigencia del negocio e industria minera.

## **1.5 Metodología**

### **1.5.1 Tipo de Investigación**

En cuanto el proceso investigativo del estudio, es importante apoyarse en una investigación de tipo descriptiva – documental, ya que es necesario por un lado conocer la estructura o composición de la fase de exploración a diamantina con los diferentes elementos tanto operativos como administrativos que tienen concurrencia en esta actividad y que pueden ser explicados desarrollados con el método descriptivo y también es necesario por otro lado analizar lo procedente de diferentes fuentes especializadas en el tema de exploración minera con la finalidad de establecer parámetros normalizados que puedan aplicarse para diferentes empresas que se dedican a prestar este servicio.

Este tipo de investigación aplicada permite observar y analizar procesos que tiene a su cargo la fase de exploración con la finalidad de mejorar los aspectos referentes a movilización, montaje y desmontaje de plataformas, suministros de insumos, reparación de daños en equipos, para así controlar parámetros técnicos en función de disminuir costos debido a paros del equipo de trabajo debido a fallos presentados.

## **1.6 Enfoque**

Prácticamente la investigación mantiene un enfoque cualitativo, pues se desea explorar el fenómeno a profundidad, a partir de datos extraídos por la práctica de la actividad, que no necesariamente deben ser estadísticos, sino más bien por la experiencia de expertos en el tema de exploración pues las deficiencias no solo se provocan en el ámbito operativo de la perforación diamantina, estas fallas o falencias responden al ejercicio técnico - administrativo y de gestión en la actividad investigada.

## **1.7 Alcance y limitaciones**

### **1.7.1 Alcance**

En la definición del proyecto se establece el alcance del estudio que comprende exclusivamente la fase de perforación a diamantina que se realiza en empresas mineras, utilizando el proceso Seis Sigma aplicando las etapas DMAIC, en las siguientes etapas:

- DMAIC1. Definir
- DMAIC2. Medir
- DMAIC3. Analizar
- DMAIC4. Mejorar
- DMAIC5. Controlar

### **1.7.2 Limitaciones**

Entre las principales se tiene:

- El estudio no abarca el resto de las fases de la actividad minera para proyectos mineros.
- Los análisis corresponden a documentación, datos e información especializada y de expertos.
- La propuesta de mejora responde a situaciones de exploración a diamantina en condiciones estandarizadas de espacio geográfico para exploración y tipos de suelo.

## **CAPÍTULO II - MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Introducción**

Dentro del ámbito empresarial ha sido necesario ir incrementando herramientas de gestión operativas que permitan mejorar los procesos empresariales con objetivos de optimizar el uso de recursos y generar condiciones organizativas-operativas adecuadas, para lograr mayores beneficios económicos por la actividad desarrollada.

La minería no es la excepción y apunta actualmente a lograr mayores estándares productivos debido a que la actividad y desarrollo de las minas representa competitividad y de por sí varias dificultades entre ellas, inicialmente la ubicación de las zonas de exploración, donde se realizan los trabajos, que generalmente se encuentran en sitios lejanos, agrestes, desérticos, selváticos e inhóspitos donde el abastecimiento con equipos, maquinaria, repuestos, suministros, materiales, insumos y mano de obra es complicado, además que el mantener las actividades de trabajo de manera permanente representan constantes retos para los directores e inversionistas.

De tal manera y debido a la coyuntura anteriormente descrita las empresas mineras enfrentan dificultades en el cumplimiento de metas y objetivos, generalmente retrasos o rendimientos productivos por debajo de lo esperado, por tal razón la identificación de las razones de estas fallas o errores que se cometen mediante la aplicación de una metodología denominada Lean Six Sigma en busca de mejorar los procesos y tiempos de respuesta hacia las contingencias que se presentan.

### **2.2 Estado del arte**

Varios de los aspectos de la exploración a diamantina en minería han sido analizados, generalmente por el nivel de complejidad que representa realizar esta actividad en minería a la vez que se busca optimizar las tareas que implica estos trabajos.

En este sentido se tiene una investigación realizada por Karla Bacilio de la Universidad Privada del Norte realizada en el Perú en el año 2018 titulado “Propuesta

de mejora utilizando la metodología DMAIC en el proceso de perforación de frentes para incrementar los ingresos del área de minado en una empresa minera”, en la cual se planteó como objetivo optimizar la calidad de perforación al interior de la mina por lo que tuvo que identificarse causas raíz que provocan variabilidad y afectación en la perforación.

También en este contexto se realizó un proyecto desarrollado por Guillermo Alcántara acerca del “Análisis y mejora de procesos en una empresa de automatización industrial y electrificación aplicando DMAIC”, elaborado en 2017 en Perú, con el objetivo de mejorar el proceso de fabricación por lo que el estudio se enfoca principalmente en realizar esfuerzos por concepto de ahorro basado en reducir tiempos de algunas actividades investigadas.

### **2.3 Calidad y mejora**

Cada vez que se analizan procesos en las empresas, se estiman aspectos fundamentales cuya tendencia se enfoca en sustentar la organización bajo parámetros que incluyan aspectos de calidad y mejora, ya que son elementos que permiten la perpetuidad de la entidad

Partiendo de los significados de calidad se tiene que según Juran y Gryna, la calidad tiene múltiples significados, siendo:

a) Conjunto de características de un producto que satisfacen las necesidades de los clientes y, en consecuencia, hacen satisfactorio dicho producto.

b) La calidad consiste en no tener deficiencias (Los Santos & De Obesso, 2020).

A su vez, la calidad y mejora representan o son términos dinámicos que requieren modelación para cada caso en particular, por tanto, está sujeto a modificarse positivamente y continuamente como un ciclo virtuoso sin fin, entonces es impensable estimar que se levanten procesos con el objetivo de implantar sistemas de calidad sin generar la debida periodicidad de cambios tanto organizativos, como de gestión y operación en busca del perfeccionamiento de todas y cada una de las actividades.

## **2.4 Sistemas para aplicar calidad**

En la oferta de herramientas para gestionar calidad existen diferentes posibilidades que fueron acuñadas y perfeccionadas con este objetivo entre las más reconocidas se encuentran Total Quality Management (TQM), Norma ISO 9001 y Lean Seis Sigma, cuyo propósito es implementar procesos que impulsen la calidad en las empresas.

### **2.4.1 Total Quality Management (TQM)**

La mayoría de instrumentos que buscan optimizar los recursos para la satisfacción de clientes internos y externos tienen detrás de ellos varios años de desarrollo hasta llegar a ser lo que son al día de hoy, elementos concatenados cuyos apartados están bien definidos y diferenciados.

La Total Quality Management o Administración de la Calidad Total responde a un estilo de gestión empresarial centrado en la mejora de efectividad, flexibilidad y competitividad de una organización (Griful & Canela, 2012), esto también permite conceptualizar la empresa desde un esquema global, obligatorio, en donde no es posible puntualizar un departamento en específico, sino que su accionar es macro, lo cual también representan una dificultad a la hora de presentar soluciones estratégicas y económicas para implementar.

### **2.4.2 Norma ISO 9001**

Al momento de necesitar el obtener acreditaciones de Calidad, la norma ISO es la adecuada, ya que presenta la posibilidad de certificar bajo norma procesos que obedecen a esquemas de Calidad, en donde esta certificación consiste en verificar características o propiedades de un producto o servicio para que estén de acuerdo con las especificaciones técnicas o normativas que le son de aplicación (Sánchez, 2017).

Entonces cuando se busca a nivel externo o sea el mercado generar mayor respaldo y reputación para las empresas, es estratégico obtener una acreditación ISO

9001, pero esta necesita mantenerse o recertificarse continuamente, lo cual representa un esquema tedioso tanto para los empresarios como para los trabajadores ya que toca destinar tiempo para el cumplimiento de cada uno de los parámetros requeridos, además que el enfoque es poco adaptado a las organizaciones o partes de ella que generan servicios internos como es el caso de las mineras cuyos productos finales son un conjunto de esfuerzos y servicios intrínsecos que se han ejecutado mancomunadamente.

### **2.4.3 Sistema Lean Six Sigma**

La tendencia de los Sistemas Lean es lograr la agilidad de procesos empresariales en base a la reducción u optimización de tiempos en la productividad, en pocas palabras para la comprensión de la metodología integralmente, es interesante definir algunos términos principales como los descritos a continuación:

- Lean = eficiencia y velocidad (herramientas y métodos para aumentar la velocidad en los procesos).
- Six Sigma = calidad (proceso estadístico para aumentar la calidad).
- Lean Six Sigma (la combinación permite aumentar la velocidad y la calidad, y conseguir que cualquier proceso sea más ágil, productivo y rentable),
- Sistema de gestión Lean Six Sigma (mi sistema de gestión sólido e integrado en toda la empresa para toda la empresa) (Socconini & Reato, 2019).

Analizando entonces y, en definitiva, lo que se busca con Lean Six Sigma es evitar las acciones ineficaces, ineficientes y las demoras dentro del ciclo productivo, para esto se generan controles y posteriormente ajustes en cada subproceso de la organización, por más pequeños o insignificantes que parezcan con la finalidad de llevar un mapa actualizado de la situación de la empresa y su actividad operacional en el ámbito de la exploración a diamantina.

## **2.5 Mejora Seis Sigma**

Uno de los aspectos fundamentales de Six Sigma es la mejora, es decir, obtener mayores y mejores resultados en base a análisis estadísticos de procesos

dentro de la empresa en donde se identifican las principales etapas de este, se estiman, normalizan y estandarizan las demoras o comúnmente denominados desperdicios para mediante actividades de planificación proponiendo cambios sustanciales y objetivos que permitan lograr efectivamente las mejoras y el aumento de la rentabilidad.

### 2.5.1 Principios de Lean Six Sigma

De acuerdo a Socconini (2019, p. 20) Lean Six Sigma se puede definir como un proceso continuo y sistemático de identificación y eliminación de desperdicios o excesos, entendiendo como exceso toda aquella actividad que no agrega valor en un proceso, pero si costo y trabajo, esto ampara incluso y conforme al criterio de la alta dirección exclusivamente la parte productiva o puede intervenir en la totalidad de la entidad.

En este sentido se tiene las Leyes de Lean Seis Sigma conforme a Martínez y Morales, (2022, p. 30), que se refieren a:

- **LEY CERO: La Ley del Mercado.** Los aspectos críticos de calidad para el cliente se tratan en primer lugar.
- **PRIMERA LEY: La Ley de la Flexibilidad.** La velocidad de un proceso es directamente proporcional a la flexibilidad.
- **SEGUNDA LEY: La Ley del Foco.** El 80% del retraso en cualquier proceso es provocado por el 20% de las actividades.
- **TERCERA LEY: La Ley de la Velocidad.** La velocidad media del flujo de un proceso es inversamente proporcional al número de "cosas" en curso o trabajo en proceso (WIP, Work in Progress) y a la variación promedio entre la oferta y la demanda.

Estos principios generales permiten marcar premisas dominantes para cada aspecto general de los procesos, claro está que a partir del desarrollo de la

metodología Lean Six Sigma se tienen que marcar objetivos claros, que sean medibles y fáciles de alcanzar, cuya aplicabilidad y beneficio no quede en intenciones, sino que se llegue a implementar en todas sus partes, obviamente esta metodología puede aplicarse por fases hasta ahondando en la flexibilidad que proporciona la metodología.

Entonces esto, va anclado a los principios de esta misma metodología que comprende el priorizar las necesidades de los clientes, ojo pueden ser internos y externos en algunos casos, además introducir fluidez a los procesos, añadir valor a través de reducir desechos, eliminar variación, colaborar, hacer esfuerzos científicos y sistemáticos, y comprender los procesos (Martínez y Morales, 2022). Partiendo de estos criterios el principal rumbo o destino de la metodología pone de manifiesto al cliente como una de las aristas principales y fundamentales, recordando que la razón de ser de las empresas u organizaciones son los clientes y es bajo su satisfacción que los empresarios enfocan sus esfuerzos.

## **2.5.2 Fases del proceso de mejora**

El método aplicado por Lean Six Sigma o Seis Sigma es conocido como DMAIC que significa definir, medir, analizar, mejorar, controlar que representan las fases del desarrollo del proceso de mejora, a continuación, se describe cada una de las etapas.

- **DMAIC1. Definir**

Es donde se elige y describe qué proceso se aborda, cómo se desarrollan actualmente, y cuáles serán los objetivos, requisitos, recursos y planificación del proyecto (Soler & Pérez, 2018), el primer acápite o punto de partida es una especie de diagnóstico que establece las condiciones problemáticas de organización, conjuntamente con la definición del objetivo y meta por alcanzar.

- **DMAIC2. Medir**

Se refiere a medir variables críticas de la calidad, verificar que puedan medir bien y determinar la situación actual (Rojas, 2012, p. 307), es fundamental la

recopilación de datos para cuantificar la gravedad de las ineficiencias del proceso y su capacidad para conseguir los requisitos marcados.

- **DMAIC3. Analizar**

Analizar los datos para identificar problemas (McNett, 2021, p. 74), con los datos se investigan las fuentes de variabilidad o factores críticos para la calidad, cuyo control repercutirá en una reducción de defectos y en consecuencia su número.

- **DMAIC4. Mejorar**

Esta es una fase en la que se proponen mejoras concretas en los procedimientos, para cumplir con los requisitos impuestos, en esta fase es importante testar soluciones alternativas, ya que representa innovar para determinar soluciones potenciales para aplicarlas posteriormente a pequeña escala para observar la efectividad del proceso (Alaya, 2016).

- **DMAIC5. Controlar**

Es vital institucionalizar el nuevo sistema y realizar el seguimiento de la estabilidad del mismo conforme al transcurso del tiempo (Miller, 2015), este último paso ayuda a verificar y sostener el éxito de la metodología, obviamente bajo la observación y control de lo establecido para reconocer los impactos que se han logrado.

## **2.6 Flujo del proceso**

Cada vez que necesitamos realizar una prospección de la realidad de una empresa es necesario iniciar con el establecimiento de macro procesos, y procesos derivados de estos, lo que permite cuantificar los tiempos de demora por cada actividad de trabajo.

Entonces según (Heize & Render, 2015, p. 257), un flujo de proceso es un dibujo empleado para analizar el movimiento de personas y/o materiales como una especie de diagramación a detalle de las actividades en la planta de producción, por

lo tanto, a partir de este esquema es posible modificar adecuadamente la forma de producción.

## **2.7 Plan de control de procesos**

El control que propone Lean Six Sigma proviene de un plan en donde se inscriben acciones que deben ejecutarse rigurosamente eliminando así las consabidas desviaciones del curso de la gestión, además de que es posible aprovisionar recursos en función de lograr los objetivos del plan, conviniendo el compromiso entre el nivel jerárquico superior y los propietarios de la empresa para llevar a cabo estas acciones planificadas.

## **2.8 Control de estadístico de los procesos**

Los controles estadísticos de procesos implican evaluar las variaciones y el comportamiento dentro de la producción que puedan afectar a la calidad del producto final, por lo cual es posible anticiparse e identificar estos problemas para evitar posibles afectaciones o pérdidas (López, 2016), además se le conoce como CEP o SPC por sus siglas en inglés se usa para efectuar los estudios donde se presentan variaciones de producción y también para obtener señales estadísticas para monitoreo (Socconini, Luis, 2020, p. 342). El control estadístico es fundamental a la hora de realizar la mejora de procesos o la adaptación de nuevas maneras de producir, ya que son los resultados obtenidos a partir del análisis lo que permite llevar un registro de datos históricos en intervalos de tiempo que se vuelven cíclicos por lo cual es posible generar propuestas beneficiosas para las organizaciones.

## **2.9 La actividad minera**

La existencia de minerales en la naturaleza ha permitido al ser humano mediante la explotación lograr recursos económicos importantes para su subsistencia en unos casos y en otros para alcanzar ciertos niveles de riqueza, esto también ha favorecido a civilizaciones y varios países desde tiempos remotos de la humanidad hasta la actualidad.

Se debe tomar en cuenta que los minerales son una de las tres formas de la naturaleza, las otras dos son vegetales y animales, por su uso como materias primas o commodities, los minerales se clasifican en tres tipos a partir de una combinación de usos y características: energéticos, no metálicos y metálicos.

Los minerales energéticos incluyen carbón, petróleo, gas natural y uranio, los no metales incluyen materiales de construcción: arena, piedras, mármol, fertilizantes, potasio y roca fosfórica y otros. Los metales más importantes por volumen de ventas lo constituyen el hierro y acero, aluminio, cobre, oro, níquel, plomo, zinc y estaño, aunque otros de menor valor de venta son imprescindibles para la sociedad moderna, tales como el silicio y el indio para la electrónica (Dammert, 2021).

Todos estos bienes son necesarios para usos que la población en general actualmente necesita, como movilización, construcción, agricultura, tecnología o materias primas para producir otros productos incluso para la fabricación de bienes suntuarios pues la aplicación de los minerales es amplia y genera economías de escala conjuntamente con cadenas de valor favorables para el entorno empresarial minero.

- **Minería en el Ecuador**

Uno de los aspectos fundamentales para la economía ecuatoriana es la extracción minera, actividad por la cual se obtienen muchos ingresos económicos para el país, debido a esta facultad de lograr recursos goza de la aceptación del Gobierno pues es un medio que permiten gestionar los planes estatales en cuanto a inversiones y gastos que genera el aparataje público del País.

Según el (Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2021) en el año 2020, la minería en el Ecuador generó USD 810 millones en exportaciones, permitió la recaudación de USD 430 millones por impuestos y captó USD 374 millones por concepto de Inversión Extranjera Directa.

Estas cifras representan la capacidad de la minería de convertir los minerales en dinero, por lo que se aprovechan recursos no renovables en función de sostener economías estatales entonces se requiere la participación activa de empresas

públicas y privadas que trabajen mancomunadamente y logren el mutuo beneficio, por tanto, es necesario que las empresas sean competitivas, eficientes y eficaces que cuiden el medio ambiente y desarrollen su actividad minera dentro de un marco jurídico o bajo norma legal vigente en el País.

- **Exploración y explotación minera**

La minería comprende el proceso de extracción, explotación y aprovechamiento de minerales que se hallan en la superficie terrestre con fines comerciales. Se pueden identificar siete fases de la actividad minera:

- a. Prospección, es la búsqueda de nuevas áreas mineralizadas.
- b. Exploración, consiste en la determinación del tamaño y forma del yacimiento, así como del contenido y calidad del mineral en él existente. La exploración incluye también la evaluación económica del yacimiento. Esta fase comprende las siguientes actividades: mapeo geológico; muestreo geoquímico de sedimentos a lo largo de drenajes; muestreo sistemático de suelo y líneas de geofísica; y, muestreo de afloramientos y sondajes.
- c. Explotación, es el conjunto de operaciones, trabajos y labores mineras destinadas a la preparación y desarrollo del yacimiento y a la extracción y transporte de los minerales. Entre sus principales actividades se encuentran: apertura y/o mejora de vías; instalación de campamentos y equipos de producción; extracción, triturado, transporte, molienda y concentración; construcción y operación de escombreras y depósito de relaves; transporte de concentrados a puerto marítimo; y cierre de la mina.
- d. Beneficio, comprende el tratamiento de los minerales explotados para elevar el contenido útil o ley de los mismos.
- e. Fundición, son los procedimientos técnicos destinados a separar los metales de los correspondientes minerales o concentrados producidos en el beneficio.
- f. Refinación, consiste en los procedimientos técnicos destinados a convertir los productos metálicos en metales de alta pureza.

- g. Comercialización, consiste en la compraventa de minerales o la negociación de contratos que tengan por objeto la negociación de cualquier producto resultante de la actividad minera (BCE, 2017).

Dentro de estas fases existen complejidades que requieren especial atención y tratamiento ya que son procesos clave que interfieren en el normal desarrollo de la explotación minera, por lo tanto, es preponderante establecer las condiciones empresariales en las que se han desarrollado las actividades de trabajo.

## **CAPITULO III - MARCO REFERENCIAL**

En relación al establecimiento de la metodología DMAIC, es necesario plantear los aspectos directrices que sirven como base para desarrollar la propuesta de mejora en establecimientos que desarrollan perforación a diamantina, para el presente caso la Minera Lundin Gold al área de perforación a Diamantina.

### **3.1 Proceso de perforación diamantina.**

El proceso de perforación a diamantina consta de 3 etapas esenciales para llevar a cabo la operación:

### **3.2 Etapa de Pre – Perforación.**

#### **3.2.1 Ubicación y construcción de plataforma**

La ubicación de la plataforma es realizada en terreno, para esto es necesario realizar una inspección técnica y visual del terreno, verificar todos los aspectos de seguridad para su construcción (no se encuentre en sitios pantanosos, de deslizamientos, terrenos movedizos, etc.), esta ubicación se la realiza con coordenadas GPS.

#### **3.2.2 Traslado de taladro de perforación a plataforma**

Se realiza el traslado de todos los componentes del taladro de perforación, herramientas, materiales e insumos que serán destinados al proceso de perforación a través de un helicóptero adecuado para izaje de cargas.

#### **3.2.3 Instalación de plataforma**

La instalación de la plataforma se realiza con un plan de trabajo coordinado exclusivamente con la contratista a cargo del equipo de perforación, se instala las bases necesarias y los anclajes adecuados sobre las cuales se realiza el montaje del taladro y todas las facilidades que servirán de apoyo para el proceso de perforación,

siguiendo los protocolos y procedimientos de medio ambiente y seguridad industrial de la empresa contratante

### **3.3 Etapa de Perforación**

#### **3.3.1 Inicio de perforación**

Antes de iniciar la perforación se realizan inspecciones necesarias a través de un check list de inspección de equipos para verificar el estado de todos los componentes del taladro de perforación, una vez aprobado esto, se pone en marcha y se da inicio a la perforación siempre cuidando los parámetros de indicadores mecánicos y físicos de la perforación.

#### **3.3.2 Instalación de tubería de perforación para extracción del testigo de roca**

Esta instalación por lo general en etapas de exploración avanzada se trata de sondajes negativos (inclinación menor a 0° vertical) se procede con la instalación manual de las barras seguido de la inserción manual del tubo interior que es el tubo que obtendrá la muestra de roca

#### **3.3.3 Inyección de fluidos de perforación**

Consiste en la preparación de los fluidos mezclando los polímeros con agua para obtener una mezcla homogénea, seguida de la instalación de la cabeza inyectora en la parte superior del cabezal para empezar con la inyección de fluidos en el momento mismo de la perforación a través de una broca o corona con diamantes.

#### **3.3.4 Obtención del testigo de roca**

El propósito de esta actividad es la de obtener una muestra de roca del subsuelo dentro del tubo interior, para esto es importante que el operador del taladro controle indicadores de presión y torque hasta la obtención total de la muestra. Una vez lleno el tubo interior, se detiene la perforación e inyección de fluidos y se procede al corte de la roca en el subsuelo.

### **3.3.5 Extracción tubo interior con el testigo o muestra de roca**

Para el caso de sondajes negativos se inicia con el descenso del dispositivo denominado pescante, el cual va enganchado al cable wireline el cual ayuda con el ascenso del tubo interior, para luego realizar el desacople y obtener la muestra de roca.

### **3.3.6 Extracción del testigo o muestra de roca desde el tubo interior**

Se lo extrae desacoplando el resorte y culetín del tubo interior, para luego depositar el testigo en la caja porta testigo manteniendo la longitud y profundidad de perforación.

### **3.3.7 Maniobras de herramientas y tuberías de perforación**

Se refiere al proceso en donde se realiza la inserción y retiro de barras, cambio de insumos de perforación o reducción de diámetro de perforación, todo esto contando con la sincronización del panel hidráulico de control en el momento de acople y desacople de las barras o tubería de perforación. La reducción de diámetro es necesario retirar todas las barras de diámetro de inicio de perforación (por ejemplo, línea HQ), para el cambio de nueva línea NQ es necesario retirar la zapata y la corona o broca de perforación junto con la tubería de menos diámetro que la del inicio, luego se va descendiendo la tubería hasta llegar al fondo del pozo donde se ha perforado hasta el momento e iniciar la obtención del testigo con un nuevo diámetro hasta llegar a la profundidad programada o la que el especialista geólogo indique.

## **3.4 Etapa de Post – Perforación**

### **3.4.1 Medición de trayectoria**

Para medir la trayectoria del pozo o sondaje es necesario insertar una herramienta que mide varios parámetros como longitud, ángulo de desviación del pozo, azimuth del pozo, magnetismo, etc, esta herramienta desciende hasta la profundidad de fondo para realizar pruebas de mediciones cada 3 metros hasta llegar

a superficie, posteriormente se verifica que los parámetros medidos tengan las condiciones reales y adecuadas para proceder a descargar la información, seguidamente se desarma la herramienta con la finalidad de organizar el retiro de la tubería o sarta de perforación.

### **3.4.2 Retiro de la tubería o sarta de perforación y desarmado del equipo.**

Una vez realizadas la medida de trayectoria del pozo o sondaje a profundidad, se pausa la perforación para proceder a retirar toda la tubería, aquí el operador debe ir controlando que la tubería no sufra daños o atoramientos en las diferentes formaciones geológicas tratando de recuperar todos los tubos usados en la perforación, posteriormente se procede a desarmar el equipo para que sea movilizado hasta la siguiente plataforma de ser necesario o caso contrario si dentro de la planificación es necesario realizar un sondaje con diferente ángulo de perforación se mantiene el equipo en la misma plataforma para proceder con un nuevo sondaje.

### **3.4.3 Cierre y entrega de plataforma**

Una vez movilizado todo el equipo de perforación y las facilidades es procedente limpiar la plataforma y mediante un registro es entregada al personal de Medio Ambiente para su regeneración ambiental, existen casos que las plataformas son mantenidas en stand by porque existe la posibilidad de regresar a perforar desde la misma plataforma dependiendo de las condiciones e información geológica o en su defecto para realizar sondajes que ayudan a definir las reservas de un depósito o yacimiento mineral encontrado.

### **3.4.4 Entrega producto final - Cajas con testigos de perforación**

Este es un proceso dinámico realizado durante todo el transcurso de la perforación, se le presenta en este punto debido a que al ser una entrega constante los geólogos y los supervisores de la perforación revisan periódicamente los elementos para encontrar inconsistencias en la producción (obtención de testigos o muestras de perforación) y poder evitar errores o desviaciones en la entrega del producto final, recordando que los testigos o muestras de roca son el corazón y el

objetivo principal de la perforación, debido a que se realizan todas las interpretaciones, análisis y estudios para encontrar, definir o concluir en la búsqueda de un yacimiento mineral.

### 3.5 Calidad

Este término se basa en un proceso integral para las fases de exploración a diamantina, en donde se involucra todos los procesos, recursos y acciones que son parte de la actividad, partiendo desde:

#### Ilustración 1

##### *Establecer calidad en fase de exploración*



Fuente: El Autor

Nota: La calidad está establecida como un proceso integral para una única actividad de la minería denominada fase de exploración a diamantina.

### 3.6 Metodología de mejora Seis Sigma

A más de establecer la calidad como proceso integral es necesario que se anteponga criterios de dinamismo, es decir se construya un círculo virtuoso el cual permite mantener actividades repetitivas para identificar, evaluar y corregir problemas acerca calidad y la productividad de la fase de exploración.

### 3.7 Valoración práctica de la utilidad de la Metodología seis sigma aplicando las etapas DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar)

A fin de conocer la utilidad y aplicabilidad de la Metodología Seis Six aplicando etapas DMAIC, por medio del criterio de expertos se estimó conveniente realizar una

investigación en tres empresas mineras con base de operación en el Ecuador y que tienen fase de exploración a diamantina, conjuntamente con técnicos experimentados en el desarrollo de esta actividad.

### **3.7.1 Variables del diagnóstico**

Entre las principales variables se hace constar:

- a. Análisis interno
  
- b. Análisis externo

### **3.7.2 Indicadores de las variables**

- a. Indicadores análisis interno Microentrono
  - ✓ Base filosófica
  
  - ✓ Organigrama
  
  - ✓ Localización
  
  - ✓ Infraestructura
  
- b. Indicadores análisis interno Macroentrono
  - ✓ Aspectos políticos
  
  - ✓ Aspectos económicos
  
  - ✓ Aspectos ambientales
  
  - ✓ Aspectos sociales

Tabla 1

*Matriz de relación diagnóstica*

<b>Objetivos específicos del diagnóstico</b>	<b>Variables</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Técnica</b>	<b>Fuentes</b>
Desarrollar un análisis interno de procesos y articulación de la actividad de perforación a diamantina en el Departamento de Exploración de Lundin Gold	a.	Análisis interno	Microentrono ✓ Base filosófica ✓ Organigrama ✓ Localización ✓ Infraestructura	Entrevista- encuesta  Departamento de exploración Lundin Gold
	b.	Análisis externo	Macroentrono ✓ Aspectos políticos ✓ Aspectos económicos ✓ Aspectos ambientales ✓ Aspectos sociales	Investigación documental  Fuentes bibliográficas y sitios de internet especializados

Fuente: Elaboración propia

### 3.8 Micro ambiente

Al referirse al aspecto a nivel micro es necesario aclarar que el Departamento de Exploración de Lundin Gold, no tiene planteado elementos fundamentales básicos como es su filosofía de trabajo que debe estar acoplado a nivel institucional, por lo tanto, es fundamental estas directrices funcionales para esta área de trabajo.

### **3.8.1 Análisis interno**

Se definen los aspectos fundamentales que rigen el desarrollo y la actividad de trabajo del Departamento de Exploración en Lundin Gold.

#### **3.8.1.1 Filosofía Departamento de Exploración**

Desde este ámbito se definen lineamientos bajo los que están todas las actividades de planificación y operativas desarrolladas por el Departamento de Exploración de Lundin Gold.

#### **3.8.1.2 Misión**

Cumplir con parámetros y metas operativas que permitan incrementar el nivel de productividad del Departamento de Exploración de Lundin Gold,

#### **3.8.1.3 Visión**

Al 2027 tener un estándar de productividad confiable, acorde a las exigencias del trabajo minero y que este en continuo perfeccionamiento.

#### **3.8.1.4 Valores departamento de exploración**

Es fundamental establecer los siguientes valores departamentales:

- Responsabilidad
- Compromiso
- Honestidad
- Colaboración
- Pro actividad
- Amabilidad
- Orden
- Puntualidad

## CAPITULO IV - RESULTADOS

### 4.1 Valoración metodología seis sigma aplicando las etapas DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar)

A fin de conocer la utilidad y aplicabilidad de la Metodología Seis Sigma aplicando etapas DMAIC, por medio del criterio de expertos se estimó conveniente realizar una investigación en la empresa minera Lundin Gold con base de operación en el Ecuador y que tiene fase de exploración a diamantina, tomando en cuenta los aspectos de mayor relevancia o claves para evidenciar que es posible mejorar estratégicamente.

Para estimar la muestra se recoge datos agrupados y se la realiza el cálculo de la muestra en base a la fórmula del cálculo de la muestra de poblaciones finitas:

Fórmula para la muestra:

$$n = \frac{PQ * N}{(N - 1) \frac{E^2}{Q^2} + PQ}$$

n = Tamaño muestra. 48

PQ = Varianza de la población, valor constante = 0.25

N = Población / Universo

(N-1) = Corrección geométrica, para muestras grandes >30

E = Margen de error estadísticamente aceptable = 0.05 (5%)

K = Coeficiente de corrección de error, valor constante = 2

$$n = \frac{0,25 * 48}{(48 - 1) \frac{0,05^2}{2^2} + 0,25}$$

Total = 42,95 ≈ 43 elementos para la encuesta

Tabla 2

*Empresa investigada*

<b>Empresas</b>	<b>Operadores área de perforación</b>
Lundin Gold	43

Fuente: Investigación propia

01. Cree que es importante establecer un proceso de mejora de la exploración a diamantina en la empresa que trabaja

Tabla 3

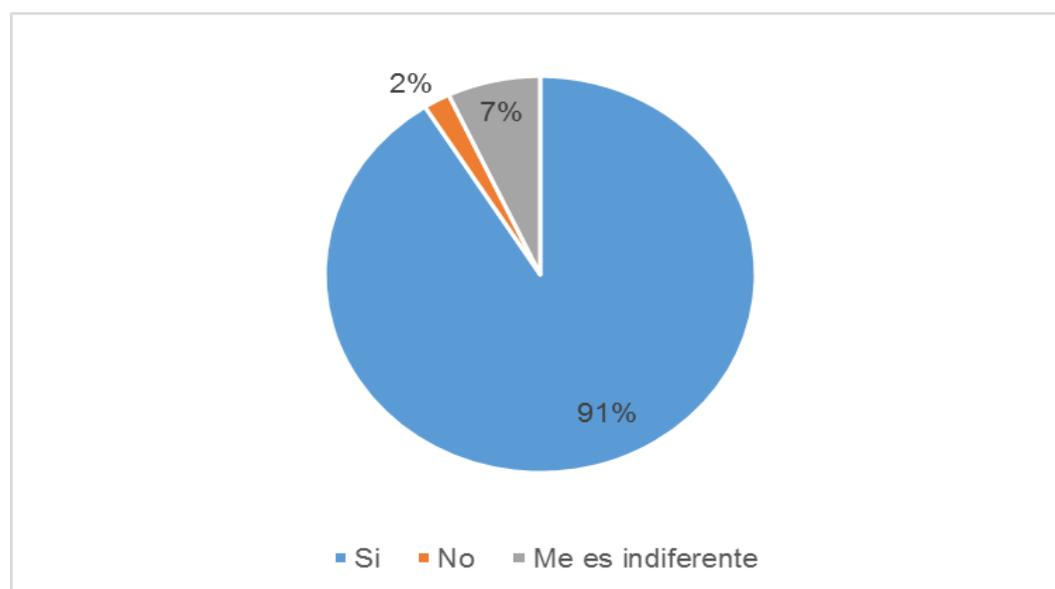
*Criterio de aceptación del proceso de mejora*

<b>Empresas</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>
Si	39	91%
No	1	2%
Me es indiferente	3	7%
Total	43	100%

Fuente: Investigación propia

Ilustración 2

*Nivel de aprobación de la propuesta de mejora*



Fuente: Investigación propia

## ANALISIS

De acuerdo a las personas investigadas se obtuvo que mayoritariamente con un 91% apuestan por la mejora mediante procesos modernos que permitan lograr en desarrollo efectivo en la actividad de perforación

02. En la fase de exploración generalmente se presentan fallos inesperados que provocan el retraso de las metas de perforación

Tabla 4

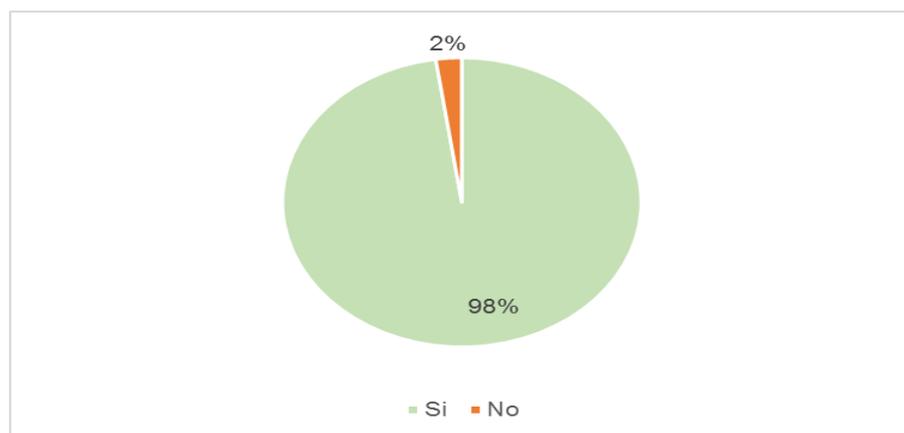
### *Fallos inesperados*

<b>Empresas</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>
Si	42	98%
No	1	2%
Total	43	100%

Fuente: Investigación propia

Ilustración 3

### *Falta de continuidad por fallos*



Fuente: Investigación propia

## ANALISIS

Del grupo de expertos de la empresa sometida a investigación el 98% responde que tiene fallos que no están programados lo que demuestra que existe oportunidad para

reprogramar las actividades de perforación en virtud de solventar fallos en todo sentido tanto en el ámbito administrativo como operativo.

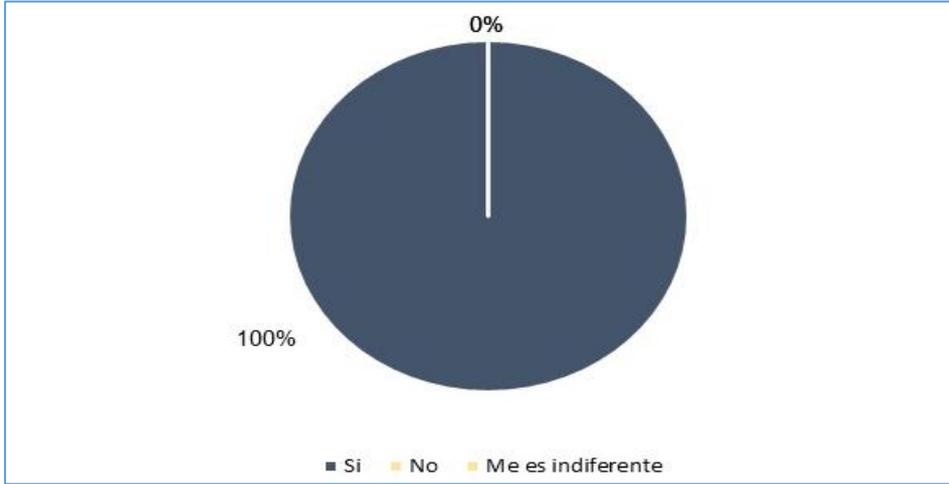
03.A su criterio la empresa lograría ventaja competitiva aplicando seis sigma aplicando las etapas DMAIC

Tabla 5  
*Percepción de tener ventaja competitiva*

<b>Empresas</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>
Si	43	100%
No	0	0%
Me es indiferente	0	0%
Total	43	100%

Fuente: Investigación propia

Ilustración 4  
*Aplicación por beneficio en competitividad*



Fuente: Investigación propia

**ANALISIS**

Una de las preocupaciones en las empresas mineras es lograr un buen nivel de competitividad, obviamente las actividades de perforación en la fase de exploración refieren de manera práctica los avances en la operatividad por adoptar estrategias,

que permita evitar paras innecesarias que permitan mejorar los procedimientos por lo tanto la tendencia del criterio experto es del 100%.

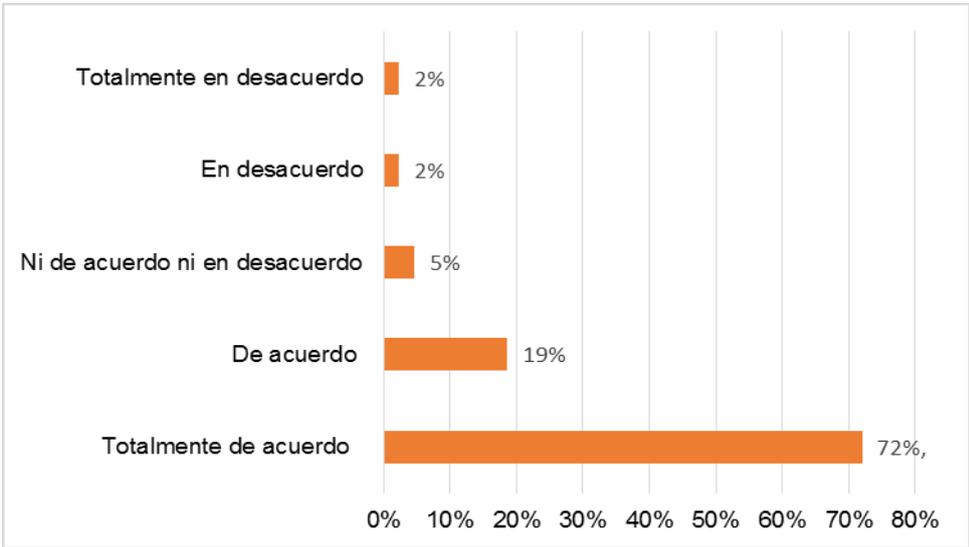
04. Es posible reducir costos y gastos por efecto de adoptar el proceso Seis Sigma en la fase de perforación.

Tabla 6  
*Reducción de costos y gastos*

<b>Empresas</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>
Totalmente de acuerdo	31	72%
De acuerdo	8	19%
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	2	5%
En desacuerdo	1	2%
Totalmente en desacuerdo	1	2%
Total	43	100%

Fuente: Investigación propia

Ilustración 5  
*Disminución de las salidas de dinero*



Fuente: Investigación propia

**ANALISIS**

En el estricto sentido del flujo de dinero por concepto del ahorro generado por mejora de la calidad de perforación a diamantina, una proporción bastante alta como

son totalmente de acuerdo y de acuerdo que sumados representan un 91%, generan el razonamiento de que al aplicar seis sigma por etapas DMAIC es posible inclusive reducir las cuentas de costos y gastos lo cual de igual manera generar beneficios para las empresas mineras.

## **4.2 Macro ambiente**

Prácticamente a nivel macro se ha mantenido bajo una figura legal denominada concesión minera que actualmente está vigente en el país y es reconocida para permitir la operación de empresas mineras dentro del territorio nacional.

### **4.2.1 Análisis externo**

En la parte externa se toman en cuenta los principales aspectos que de una u otra forma marcan la permanencia y futuro de la minera Lundin Gold en el Ecuador.

#### **4.2.1.1 Aspectos políticos**

El Ecuador en el ámbito político ha soportado varios sucesos que se han destacado por determinar una inestabilidad política que ha marcado perjuicios en diferentes segmentos y sectores de la población que van desde reformas a la Constitución, el derrocamiento de varios presidentes elegidos por el voto popular, hasta golpes de estado generados a partir de las fuerzas armadas, para últimamente entrar en una espacie de polarización política del electorado con tendencia hacia un populismo que ha marcado síntomas y casos de corrupción disfrazados de acciones políticas populares en favor de la nación, a lo cual la revista PRIMICIAS publica un artículo que menciona “Corrupción e inestabilidad política, retos de Ecuador para hacer negocios”, en donde de acuerdo a un análisis reciente de la situación política en el Ecuador a nivel de Latinoamérica se identificó que entre los principales problemas existentes se destacan: la corrupción, inestabilidad política y la demanda insuficiente conforme al informe del centro brasileño de estudios económicos Fundación Getulio Vargas (FGV), en el que participaron 151 economistas, entrevistados para realizar el estudio (PRIMICIAS, 2021).

#### **4.2.1.2 Aspectos económicos**

Al respecto la economía se tomó datos de la previsión a nivel global pues los productos y subproductos de origen minero se cotizan y venden en un mercado internacional que también atraviesa por etapas volátiles las cuales afectan positiva o negativamente a las empresas y sus actividades económicas en donde:

En el contexto global según el informe del Banco Mundial se prevé un crecimiento económico mundial descendente del 5,7 % en 2021 al 2,9 % en 2022, se establece que oscile en torno a ese ritmo durante el período 2023-24, a medida que la guerra en Ucrania afecte la actividad, la inversión y el comercio en el corto plazo; la demanda reprimida se disipe, y vayan eliminándose las políticas monetarias y fiscales acomodaticias, así como también sea el resultado de los daños derivados de la pandemia y la guerra, este año, el nivel de ingreso per cápita de las economías en desarrollo se ubicará casi un 5 % por debajo de su tendencia previa a la pandemia, en donde se acota también que los confinamientos en China, los trastornos de la cadena de suministro y el riesgo de estanflación afectan el crecimiento y por lo tanto para muchos países, será difícil evitar la recesión”, afirmó el presidente del Grupo Banco Mundial, David Malpass (BANCO MUNDIAL, 2022).

Se cita lo anterior en función de la afectación económica que pudiera representar esta situación para las empresas mineras debido a que los bienes de venta son materias primas que sirven de base para elaborar productos suntuarios, por lo que su adquisición está sujeta a la disponibilidad adicional de dinero en las personas y por otro lado el oro también se utiliza en la fabricación de mercancías tecnológicas que cuentan con un mercado en crecimiento pero que también destina sus ingresos para solventar primeramente sus necesidades básicas insatisfechas.

#### **4.2.1.3 Aspectos ambientales**

Al respecto de lo ambiental, el Ecuador tiene una legislación vigente tutelada por LEY DE MINERIA publicada en el Registro Oficial Suplemento 517 del 29 de enero del 2009 con una última modificación: el 21 de agosto del 2018, en la cual se define:

## Título I

### DISPOSICIONES FUNDAMENTALES

#### Capítulo I

#### DE LOS PRECEPTOS GENERALES

Art. 1.- Del objeto de la Ley. - La presente Ley de Minería norma el ejercicio de los derechos soberanos del Estado Ecuatoriano, para administrar, regular, controlar y gestionar el sector estratégico minero, de conformidad con los principios de sostenibilidad, precaución, prevención y eficiencia. Se exceptúan de esta Ley, el petróleo y demás hidrocarburos.

Con lo cual se establece un marco jurídico que permite ejercer la actividad minera, dentro de consideraciones generales y específicas en donde estipula claramente las obligaciones y atribuciones de las entidades mineras que han logrado alguna concesión para la exploración y explotación de minerales, por lo tanto y en favor de esto se expide:

#### INSTRUCTIVO OTORGAMIENTO CONCESIONES MINERAS MINERALES METALICOS

Según Acuerdo Ministerial 2 del Registro Oficial 722 del 30 de marzo 2016 y con última modificación el 28 de julio del 2017

Art. 1.- Ámbito de aplicación.- El presente Instructivo se aplicará a nivel nacional, a las personas naturales o jurídicas, nacionales o extranjeras, públicas, mixtas o privadas, comunitarias y de autogestión cuyo objeto social y funcionamiento se ajusten a las disposiciones legales vigentes, y que requieran someterse a los procesos de otorgamiento de concesiones de minerales metálicos establecidos en el presente instructivo, en concordancia con los procedimientos establecidos en la Ley de Minería, el Reglamento General a la Ley de Minería y el Reglamento del Régimen Especial de Pequeña Minería, en la medida en que fueren aplicables.

Art. 2.- Del objeto del Instructivo.- El presente Instructivo tiene por objeto establecer el procedimiento administrativo coordinado y uniforme para los procesos de

otorgamiento de concesiones de minerales metálicos en los regímenes de pequeña minería, mediana minería y minería a gran escala (LEXIS, 2018).

#### **4.2.1.4 Aspectos sociales**

El Estado Ecuatoriano, es un país declarado pluricultural y multiétnico en la Carta Magna, por lo tanto, existen varias pueblos y nacionalidades asentadas en el territorio nacional, además que las etnias prevalentes son la mestiza, blanca, indígena, afrodescendiente, montubio, las cuales son conglomerados ubicados tanto en las partes urbanas y como rurales del Ecuador.

### **4.3 Diseño de la Mejora**

#### **4.3.1 Definición actividad de trabajo en fase de exploración**

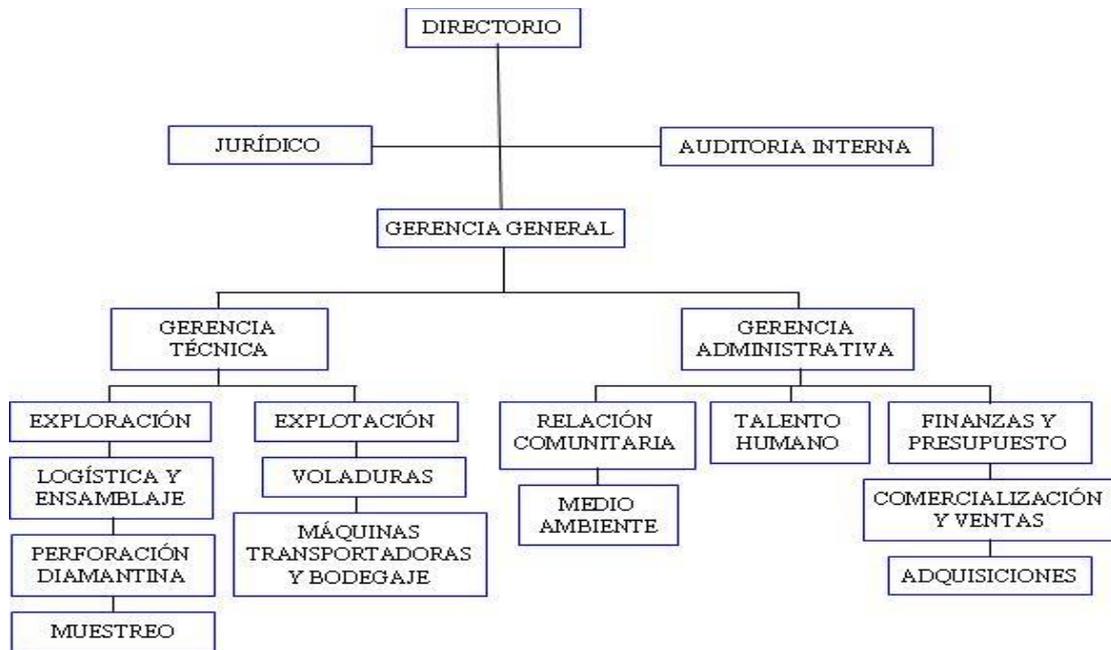
El Departamento de Exploración es una unidad de trabajo de la minera Lundin Gold, que cumple metas de trabajo previa planificación, planteadas por unidad de tiempo semanal, mensual y trimestral, para lo cual realiza la ubicación y construcción de plataformas, el traslado del taladro de perforación en lo que se refiere a la primera etapa previa a la perforación misma, en la cual se maneja aspectos de logística, utilización, instalación y puesta en marcha de equipos e insumos, conjuntamente con los equipos de trabajo involucrados en esta actividad. Posteriormente como segunda etapa, inicia la perforación, se instala tubería de perforación para extracción del testigo de roca, procedemos a inyectar de fluidos de perforación, se ejecuta maniobras con herramientas y tuberías para perforación, finalmente retiramos la tubería o sarta de perforación y se procede a desarmar el equipo.

#### **4.3.2 Estructura Departamento de Perforación minera Lundin Gold**

En este sentido el Departamento de Perforación actualmente no cuenta con un orgánico estructural que permita determinar adecuadamente los deberes y obligaciones de cada uno de los trabajadores de esta unidad por lo cual se adjunta el estructural general para posteriormente estructurar el Departamento de Perforación.

Ilustración 6

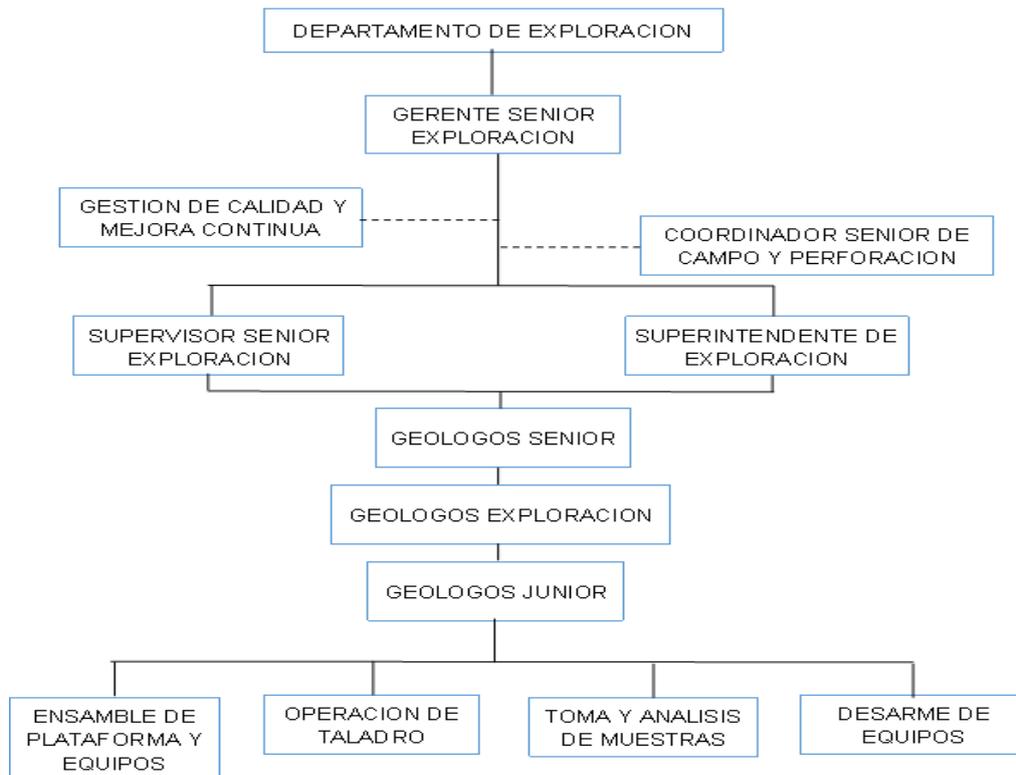
Organigrama estructural Lundin Gold



Fuente: (Lundin Gold, 2018)

Ilustración 7

Propuesta Organigrama estructural Departamento de Exploración



Fuente: Elaboración propia

#### **4.4 Diseño de la Mejora**

La mejora a partir de la metodología Lean Six Sigma marca beneficios con elementos que se destina para optimizar procesos.

##### **4.4.1 Indicadores operativos de perforación**

La finalidad de establecer indicadores corresponde a marcar metas operativas con las cuales se logra dos objetivos fundamentales, por un lado, se tendrá datos históricos para realizar comparativas entre periodos de actividad y otro aspecto responde a que se consigue indicar los principales fallos y su periodicidad en la fase de exploración a diamantina.

<b>Indicadores operativos perforación</b>	<b>Unidad de medida</b>
Unidad de tiempo	semanal
Proyección de perforación proyectada	en metros
Perforación alcanzada	en metros
Numero de taladros utilizados	unidades
Rendimiento por broca	metros
Principales fallos encontrados	horas de retraso

#### **4.5 Mecanismos de control**

En esta etapa se determina los elementos utilizados para ejercer control sobre cada una de las actividades de trabajo de exploración a diamantina entre las que se destacan formatos checklist en donde es posible establecer todos los detalles a tener en cuenta para dar inicio a las actividades previas, durante y posteriores a la perforación a diamantina.

##### **4.5.1 Control en la Pre – Perforación**

Antes de la perforación como tal es necesario establecer cada uno de los detalles obligatorios de observar y cumplir.

- **Conformación del equipo de trabajo**

Para realizar la planificación de la exploración a diamantina se mantendrá una reunión de trabajo, en donde se establecen los colaboradores, las funciones y obligaciones de cada uno de ellos además de los instrumentos que van a utilizar como herramientas de gestión.

- **Reunión de trabajo**

Tiempo máximo permitido	1 hora
Número de participantes	7 técnicos
Equipos a utilizarse	5 computadores personales

- **Conformación de la mesa técnica**

La mesa técnica estará conformada por dos técnicos especialistas en perforación a diamantina, un técnico en logística, un técnico en aprovisionamiento y un geólogo especialista en perforación.

**Preside:** Gerente General (responsable), acompañado por el Gerente/Director de operaciones.

**Registra datos:** Secretari@

- **Listado de asistencia**

**Contiene:** Datos de los participantes y acuerdos, resultados, compromisos con fechas y tiempos asignados para cada actividad.

Tabla 7

*Modelo acta de reuniones*

Anverso

**MOTIVO DE LA REUNIÓN:** \_\_\_\_\_

**LUGAR:** \_\_\_\_\_

**FECHA:** \_\_\_\_\_

Hora inicio: \_\_\_\_\_ Hora fin: \_\_\_\_\_

N°	Nombres y Apellidos	Empresa	Teléfono	Mail	Firma

Nombre del responsable

Firma

Fuente: Elaboración propia

Reverso

**Temas tratados**

1.-

2.-

3.-

**Expositor 1:** \_\_\_\_\_

Criterio técnico

**Expositor 2:** \_\_\_\_\_

Criterio técnico:

**Expositor 1:** \_\_\_\_\_

Criterio técnico:

Acuerdos y Compromisos (con fechas y horarios para ejecución)

1.-

2.-

3.-

4.-

5.-

6.-

Observaciones:

.....  
.....

Nombre del responsable

Firma

Fuente: Elaboración propia

#### 4.5.2 Control de la ubicación y construcción de plataforma

Como mecanismo de mejora para el control de la ubicación de la plataforma se propone utilizar check list de ubicación y construcción de plataforma, como medio de optimización del proceso.

Tabla 8

Check list para ubicación y construcción de la plataforma

FORMATO DE PROCEDIMIENTO		Código Plataforma:				
TITULO: CHECK LIST DE UBICACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE PLATAFORMA		Versión:	01			
		Fecha :				
MOTIVO	<input type="checkbox"/> RECEPCIÓN <input type="checkbox"/> DESPACHO					
UBICACION WGS84 UTM		RESPONSABLE DE LA UBICACION				
NORTE		NOMBRE	CONDICION			
ESTE		FECHA	OK BUENO			
Z		AREA	D DEFECTUOSO			
DESV MAGNETICA			RE REGULAR			
			F FALTA			
			NA NO APLICA			
UBICACIÓN TERRENO		CONDICION			OBSERVACIONES	
		OK	D	RE		F
Topografía accidentada						
Topografía plana						
Intervención desbroce biótico						
Intervención rescate biótico						
Accesos, caminos hasta plataforma						
ESTADO DE VIGAS Y TABLONES		CONDICION			OBSERVACIONES	
		OK	D	RE		F
Calidad de vigas y tablones completas para construcción						
Vigas y tablones completas para construcción						
ORIENTACION AZIMUTH PLATAFORMA		CONDICION			OBSERVACIONES	
		OK	D	RE		F
Impermeabilización de plataforma						
Nivelación de plataforma						
Orientación plataforma con azimuth requerido						
FACILIDADES EN TORNO A PLATAFORMA		CONDICION			OBSERVACIONES	
		OK	D	RE		F
Ubicación sitio para tubería						
Ubicación sitio para generador y bomba de combustible						
Ubicación sitio paramédico						
Ubicación zona DZ (lugar de carga y descarga helitransportable)						
Cunetas perimetrales para recoger agua de de retorno						
CONTROL DE INSTALACION DE PLATAFORMA		CONDICION			OBSERVACIONES	
		OK	D	RE		F
Plataforma con entablado operativo						
Iluminación adecuada turno nocturno						
OBSERVACIONES ADICIONALES (Condiciones de trabajo)						
FIRMA RESPONSABLE DE INSPECCIÓN						
Firma	Cargo	Ingeniero o Coordinador de Perforación Campo				

Fuente: Elaboración propia

### 4.3.2. Control del Traslado de taladro de perforación a plataforma

Tabla 9

#### Check list traslado de plataforma

FORMATO DE PROCEDIMIENTO		Código Plataforma:	
TITULO: LIST TRASLADO DE TALADRO A PLATAFORMA		Version:	01
		Fecha :	
MOTIVO	<input type="checkbox"/> RECEPCIÓN <input type="checkbox"/> DESPACHO		
COORDENADAS PLATAFORMA WGS84 UTM		RESPONSABLE DE TRASLADO	
NORTE		NOMBRE	CONDICIÓN
ESTE		FECHA	OK BUENO
Z		AREA	D DEFECTUOSO
			RE REGULAR
			F FALTA
			NA NO APLICA
COMPONENTES TALADRO		CONDICIÓN	
		OK	D
		RE	F
		NA	
OBSERVACIONES			
Desarmado total de taladro para traslado			
Cargas para izaje con helicoptero			
Cargas cumplen con peso requerido para izaje (1000 Lb)			
Carga de tubería está de acuerdo al número de tubos en procedimiento			
CHECK LIST Y PLAN DE VUELO		CONDICIÓN	
		OK	D
		RE	F
		NA	
OBSERVACIONES			
La operación cuenta con el plan de vuelo y firmas involucrados			
El Plan de vuelo especifica todos los componentes a ser trasladados			
Se realizó la inducción seguridad pre operaciones al personal			
PERSONAL ENTRENADO PARA LA OPERACIÓN		CONDICIÓN	
		OK	D
		RE	F
		NA	
OBSERVACIONES			
Se cuenta con dos load master para enviar y recibir las cargas			
Personal que ayuda al armado del taladro cuenta con el entrenamiento			
Los técnicos load master revisaron las eslingas, fajas y mallas para transp			
OBSERVACIONES ADICIONALES (Condiciones de trabajo)			
FIRMA RESPONSABLE DE INSPECCIÓN			
Firma	Cargo	Ingeniero o Coordinador de Perforación Campo	

Fuente: Elaboración propia

### 4.5.3 Control en la etapa de perforación

Al respecto se adjunta check list que encierra todos estos controles, que son el inicio de perforación la instalación tubería de perforación para extracción del testigo de roca, conjuntamente con la inyección de fluidos de perforación, además del control maniobras de herramientas y tuberías de perforación para finalmente el retiro de tubería o sarta de perforación y desarmado del equipo.

Tabla 10

Registro de inspección y liberación de plataforma

		SISTEMA DE GESTIÓN DE SALUD OCUPACIONAL Y SEGURIDAD INDUSTRIAL				HS - FRM - 0000	
		REGISTRO DE INSPECCIÓN Y LIBERACIÓN DE PLATAFORMA DE PERFORACIÓN				SG - HS - EXP	
Este registro será llenado antes de iniciar la perforación de un nuevo pozo. Será revisado durante la perforación y antes del cierre							
CONTRATISTA:		PROYECTO:	ÁREA:	FECHA:	HORA:		
TURNO DIA <input type="checkbox"/>	LIBERADO POR:	SONDEO / PLATAFORMA:					
TURNO NOCHE <input type="checkbox"/>	PERFORADOR:	FIRMA:	EQUIPO:				
PARAMETROS DE SEGURIDAD MINERA				EVIDENCIA		OBSERVACIONES	
			SI	NO	NA		
1. REQUERIMIENTOS GENERALES							
N°							
1	Se dispone de permiso de trabajo en el sitio.						
2	Se dispone de procedimientos de trabajo difundido al personal.						
3	Se dispone de guardas de seguridad en buen estado.						
4	Se dispone de (2) paradas de emergencia en el taladro de perforación.						
5	Conexión a tierra del taladro de perforación.						
6	Plataforma con entablado operativo						
7	Iluminación adecuada						
8	Cables eléctricos en buen estado						
9	Herramientas de perforación en buen estado						
10	Barra guía para embotura de cable del w inche						
11	Estado de cable del w inche						
12	Estado de tambor de cable w line						
13	Poleas en buen estado						
14	Buen estado de la tubería (roscas, diámetro exterior de tubería)						
15	Buen estado de los pestillos de seguridad						
16	Buen estado del sistema de mordazas para frenos, o freno externo para sacado y metido de tubería.						
17	Las mangueras de alta presión son certificadas y disponen con el dispositivo de seguridad de sujeción.						
18	Registro de mantenimiento de maquinaria						
2. DELIMITACIÓN DE ÁREA							
1	Taladro						
2	Motores						
3	Cubeto de combustible						
4	Cubeto de grasas						
5	Aplamamiento de tubería						
6	Tanque de agua (Bomba)						
7	Stock de herramientas						
8	Stock de materiales						
9	Canaleta para extracción de Testigo						
10	Ubicación de cajas de testigos						
11	Almacenamiento de polímeros para perforación						
12	Tanques o pozos de Sedimentación						
13	Clasificación de desechos						
14	Generador eléctrico						
15	Letrina						
16	Estado de las guardas en equipo de perforación						
15	Otros:						
3. DISPOSICIÓN DE MATERIALES PELIGROSOS							
1	Se dispone de las hojas de seguridad MSDS y el personal conoce lo estipulado en las mismas						
2	Se dispone de cubetos impermeabilizados adecuados						
3	Orden y limpieza de los cubetos						
4	Se dispone en el sitio de material absorbente						
5	Se cumple con señalética según Normativa						
6	Se dispone de un Kit de contingencia ante derrames						
4. REQUERIMIENTOS SSA EPP BÁSICO							
1	Se dispone de EPP de acuerdo a la actividad a ejecutarse, Casco, Botas punta de Acero, Orejeras, Guantes.						
2	Se dispone de ropa de trabajo adecuada para la actividad						
3	Se dispone y conoce MEDEVAC						
4	Se dispone y conoce las medidas de actuación del plan de emergencias						
4	Mascarilla para Covid, alcohol, gel						
5. EQUIPO AUXILIAR							
1							
2							
3							
INSPECCIONADO POR (Nombre Supervisor de Contratista):		FIRMA:	REVISADO POR (Supervisor perforación):		FIRMA:		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11

Registro de inspección taladros

		SISTEMA DE GESTIÓN DE SALUD OCUPACIONAL Y SEGURIDAD INDUSTRIAL						HS - FRM - 000			
		INSPECCIÓN DE TALADROS						SG-HS-EXP			
CHECK LIST DE CONDICIONES GENERALES											
CONDICIONES	OK	CO	FA	VE	RE	LI	CA	NA			
	NORMAL	CORREGIR	FALTANTE	VERIFICAR	REPARAR	LIMPIAR	CAMBIAR	NO APLICA			
CONTRATISTA:				UBICACIÓN:							
NUMERO DE TRABAJADORES:				SUPERVISOR:							
TURNNO:				FECHA:							
ACTIVIDAD:											
MOTOR		OPERATIVO	RESULTADO	CONTROL HIDRAULICO			OPERATIVO	RESULTADO			
MALLA DE VENTILADOR				MANOMETRO DE PRESION							
CAÑERÍAS DE INYECCIÓN Y RETORNO				TABLERO DE MANDO HIDRAULICO							
BATERIA Y NIVEL DE AGUA				MANGUERAS HIDRAULICAS							
ARRANCADOR											
ALTERNADOR											
BANDA DEL VENTILADOR				CASTILLO			OPERATIVO	RESULTADO			
BANDA DEL ALTERNADOR				ESTRUCTURA DE CASTILLO							
TANQUE Y TAPA DE DIESEL				CUERPO PRINCIPAL DE CASTILLO							
FILTRO DE DIESEL				PINES DE SEGURO DE CASTILLO							
FILTRO DE ACEITE				SOPORTE DE CASTILLO							
FILTRO DE AIRE				POLEAS							
SIST. MULTIPLE ADMISION				PRENSA PARA BARRAS			OPERATIVO	RESULTADO			
SIST. MULTIPLE DE ESCAPE				MORDAZAS CHUCK							
RADIADOR Y MANGUERAS				MORDAZAS FRENO PIE							
				CILINDRO HIDRAULICO PRENSA BARRA							
				ACUMULADOR							
UNIDAD DE ROTACION		OPERATIVO	RESULTADO	VARIOS			OPERATIVO	RESULTADO			
MOTOR HIDRAULICO DE ROTACION				TABLERO DE CONTROL							
CHUCK GROUP UNIT				CHAPA DE ARRANQUE							
VASTAGO				PULSADOR DE PARADA DE EMERGENCIA							
FILTRO HIDRAULICO DE LUBRICACION				PALANCA DE ACELERACION							
PIÑÓN DE ROTACIÓN				CABLE WIRE LINE							
BANDA DE ROTACION				GENERAL			OPERATIVO	RESULTADO			
SISTEMA HIDRAULICO		OPERATIVO	RESULTADO	ORDEN Y LIMPIEZA							
TANQUE Y TAPA DE HIDRAULICO				MÁNEJO DE MATERIALES							
FILTRO DE RETORNO PRINCIPAL				ESCALERAS							
FILTRO TANQUE HIDRAULICO				ALUMBRADO ELECTRICO							
BOMBA HIDRAULICA SECUNDARIA				BOTIQUIN PRIMEROS AUXILIOS							
MOTOR WINCHE PRINCIPAL				PLATAFORMA, PASILLOS							
MEZCLADOR DE LODO				ACTUACION PERSONAL			OPERATIVO	RESULTADO			
MOTOR DE BOMBA DE AGUA				COMPORTAMIENTO							
CILINDRO HIDRAULICO DE AVANCE				CONOCIMIENTO DE NORMAS Y PROCEDIMIE							
				ACTUACION EN ACCIDENTES							
				APTITUDES DE TRABAJO							
PROTECCION COLECTIVA		OPERATIVO	RESULTADO	PROTECCION PERSONAL			OPERATIVO	RESULTADO			
SEÑALIZACIONES DE PERFORACIÓN				ROPA DE TRABAJO							
PANTALLA Y REJILLAS DE TALADRO				CASCO							
EQUIPOS CONTRA INCENDIOS				GAFAS							
ARNES DE SEGURIDAD				OREJERAS							
				GUANTES							
				MASCARILLA							
SISTEMA ELECTRICO		OPERATIVO	RESULTADO	EQUIPO DE CEMENTACION			OPERATIVO	RESULTADO			
GENERADOR ELECTRICO				MONTAJE DEL EQUIPO							
CONEXION A TIERRA				VALVULAS							
CABLES ELECTRICOS				TANQUE DE CEMENTACION							
CAJA DE BREAKERS				CONEXION DE FLUIDOS							
BOQUILLAS Y FOCOS				HELICE ( MEZCLADOR)							
OBSERVACIONES:											
INSPECCIONADO POR (Nombre Supervisor Contratista):				FIRMA:		REVISADO POR (Supervisor perforación):				FIRMAS:	

Fuente: Elaboración propia

#### 4.5.4 Control cierre y entrega de plataforma

Tabla 12

*Registro cierre ambiental*

<b>CONTROL POST PERFORACIÓN_CIERRE</b>		<b>AMP-0000</b>			
REGISTRO DE SEGUIMIENTO Y CIERRE DE PENDIENTES AMBIENTALES		Versión 0			
Concesión : _____ Fecha: _____ Realizado por: _____					
<b>MEDIDAS PARA CIERRE Y ABANADO POST-PERFORACIÓN</b>		<b>SI</b>	<b>NO</b>	<b>NA</b>	
El área está limpia y libre de residuos posterior a las operaciones.					
Se ha restaurado el suelo natural del sitio.					
La vegetación desbrozada ha sido esparcida y troceada, para favorecer la degradación de esta y recuperación del suelo.					
De existir cursos de agua junto a la plataforma se han adoptado medidas de control de erosión, y/o evitado que estos sean obstaculizados permanentemente.					
En caso de haber taludes, estos han sido estabilizados o se han adoptado medidas para evitar su deterioro (deslizamientos).					
Se ha retirado todo el material utilizado para la impermeabilización.					
Las manqueras de agua empleadas han sido retiradas o reubicadas-conducidas hacia otra facilidad en operación (respetando los puntos designados por SENAGUA).					
Se han realizado cierre técnico de letrina.					
Es viable la rehabilitación (revegetación del sitio) *. *A futuro se va utilizar el área para otra perforación.					
<b>Observaciones:</b>					
_____ Responsable Ambiente y Permisos		_____ Supervisor de Operaciones			
Nombre:		Nombre:			

Fuente: Elaboración propia

#### 4.5.5 Establecimiento del presupuesto

Tabla 13

*Puesta en marcha propuesta de mejora*

PERSPECTIVA	OBJETIVOS ESTRATÉGICOS	RESPONSABLES	PERIODO DE ANÁLISIS	VALOR (USD)	CRONOGRAMA VALORADO TRIMESTRAL			
					PRIMERO	SEGUNDO	TERCERO	CUARTO
Objetivo General	Mejorar la calidad de perforación en la empresa Lundingold	Departamento de Exploración	Frecuencia trimestral	\$120.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 30.000
Procesos internos	Implementar un nuevo proceso interno en el control de la perforación.	Departamento de Exploración	Frecuencia trimestral	\$20.000	\$ 10.000	\$ 5.000	\$ 2.500	\$ 2.500
	Capacitación interna acerca de la cultura organizacional con respecto al desarrollo de las operaciones de perforación, incluye seguridad industrial y ambiente	Departamento de Exploración	Frecuencia trimestral	\$20.000	\$ 10.000	\$ 5.000	\$ 2.500	\$ 2.500
Procesos externos	Contratación empresa contratista calificada para la perforación a diamantina	Contratista	Frecuencia trimestral	\$3.000.000	\$1.000.000	\$ 750.000	\$ 750.000	\$ 500.000
TOTAL				\$3.160.000	\$1.050.000	\$ 790.000	\$ 785.000	\$ 535.000

Fuente: Elaboración propia

## **CAPITULO V - SUGERENCIAS Y CONCLUSIONES**

### **5.1 SUGERENCIAS**

Luego de investigado y analizado el tema de estudio es importante anotar que se puso en contexto una base sólida de conocimiento, conjuntamente con aquellos impartidos por docentes de la Maestría, la consulta a expertos y la consulta de medios de información especializados en el tema siendo estos impresos, digitales y , claro está que las empresas mineras no suelen ser abiertas al público en general pero gestionando adecuadamente es posible generar información de primera mano para solventar el problema en cuestión, por lo tanto a fin de disponer mayores facilidades con temas de conocimiento en este medio empresarial minero es necesario que las Universidades ocupen roles de investigación que favorezcan a estas entidades para que ellas brinden el apoyo a los estudiantes, docentes y casas educativas, en una dinámica ganar-ganar.

También es necesario que se formalicen los acuerdos y respaldos entre estudiantes y profesionales del sector con temas de investigación o proyectos en términos de confidencialidad para que las empresas no sientan vulnerabilidad por entregar alguna información o brindar las facilidades para que se realicen investigaciones, se utilicen datos de base para desarrollar proyectos planteados.

En este aspecto las Universidades deben jugar un rol proactivo, es decir propositivo para de esta manera tener la capacidad de vincular el circuito empresarial con los consumidores, pues las propuestas de investigación incluso tienen que responder a problemáticas captadas del diario quehacer corporativo, así como estar enfocadas hacia el beneficio de la sociedad.

Además, sea considerado el beneficio de las organizaciones en función de maximizar su rentabilidad por el esfuerzo de inyectar y utilizar recursos para diferentes ámbitos del sector económico, entre ellos la minería que requiere proporcionar ingentes cantidades de dinero y tiempo exclusivamente para poder realizar exploraciones mineras bajo régimen legal, en términos que la comunidad no se sienta

afectada y/o se propicie la vulneración de los derechos ambientales y sociales que así son reconocidos en el Ecuador.

Esta coyuntura obedece a que la complejidad de la exploración y explotación minera maneja procesos internos y externos que apoyan el desarrollo normal de actividades, pero que para la comunidad son temas que no se reflejan en la cotidianidad, más bien solo existen dos posiciones por un lado los gobiernos que venden la idea como un portal de desarrollo para los pueblos, y del otro lado el de los ambientalistas que no dan paso a la práctica a minera con posiciones rigurosas que responden al daño consecuente que puede generar esta actividad para la población y la naturaleza, entonces al permitir que se realicen investigaciones de las fases mineras es posible ir encontrando posiciones medias que logren consensos comunes, obviamente partiendo de que las zonas de intervención si sufren modificaciones, pero los recursos generados son necesarios para la subsistencia de las poblaciones.

Entonces no es una idea o concepto fuera de contexto el querer optimizar los recursos y los esfuerzos utilizando herramientas de gestión de la operatividad en minería con los que se logre implementar estrategia Seis Sigma para lograr desarrollar procesos de calidad, con los que se vaya normalizando cada una de las actividades y acciones lo que permite una variación positiva probada por varias empresas a lo largo y ancho del planeta que dan fe de la practicidad y beneficio de esta herramienta.

Una de las estrategias adquiridas por diversas compañías que buscan prerrogativas competitivas es obtener productos finales de calidad logrando optimizar los costos, mejora de procesos y aplica metodologías prácticas enfocadas al mejoramiento continuo y sugiere una buena imagen a la filosofía empresarial de clase mundial. La utilización del Seis Sigma en las operaciones de exploración geológica de avanzada usando perforación a diamantina puede llegar a generar modelos de procesos en toda la operación, la cual se ha sugerido con la creación y aplicabilidad de la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar).

La sugerencia es crear profesionales con las capacidades y conocimientos sólidos sobre el DMAIC que permitan optimizar los procesos internos de las empresas. Otro aspecto que debemos sugerir o aportar con conocimiento de causa son las

condiciones geológicas en la cuales se desarrollan las campañas de perforación a diamantina siendo una actividad a riesgo en la cual el retorno del capital es explícitamente relacionado al descubrimiento de un yacimiento con leyes de mineral rentables, se deduce la importancia y necesidad de realizar procesos con fines productivos para generar mayor rentabilidad a los proyectos.

Como se determinó cada una de las actividades para la exploración minera a diamantina, etapas en donde se aplica a los aspectos del Microentorno que se plantearon con la finalidad de incluir una base filosófica, adecuada a la coyuntura actual de la empresa, también se aplicó un organigrama específico para el Departamento de Exploración, en el cual se estima las actividades rectoras o principales conjuntamente con los responsables de cada proceso, en cuanto la localización se tiene claro que las perforaciones para exploraciones responden a planteamientos técnicos programados, por lo que varía según los yacimientos existentes, y la infraestructura son los campamentos que se construyen para este fin.

En cuanto al análisis externo Macroentorno, se tiene lo político, que son situaciones coyunturales de las cuales se emiten, leyes, normas, instructivos, acuerdos, convenios y procedimientos que regulan la minería, es decir de lo político nace lo jurídico, y esto permite ejercer la actividad minera en el país por lo tanto es un factor preponderante para su desarrollo, a más de esto esta lo económico como origen de la inversión y capital de trabajo que requiere para la puesta en marcha y funcionamiento operativo, observando siempre los aspectos ambientales que son temas de peso para la comunidad incluso como política de estado, y finalmente se tiene lo social que debe ser puntal del proyecto, pues el beneficio es extensivo tanto para empresarios como comunidad, por lo que el control de estos elementos debe ser continuo para evitar situaciones adversas y de perjuicio para la empresa.

A nivel productivo el eje fundamental son los indicadores operativos de perforación con los respectivos mecanismos de control, que es algo fundamental ya que el control permite medición, y la medición en función de buscar mejora u optimización de los procesos, maquinarias, equipo y personal para lograr mejores y mayores beneficios de la organización.

## 5.2 CONCLUSIONES

Luego de tratar el tema y conocerle es imprescindible que se manejen estándares de producción, con esto es posible normalizar cada una de las actividades, obviamente el presente trabajo está enfocado a clasificar las tareas obligatoriamente, pues es el punto de partida y deben tener control previo además de visualizar que la responsabilidad de llevarle a cabo no recaerá sobre los funcionarios operativos, sino más bien es el jefe de la cuadrilla, del departamento o del área el responsable su éxito en la ejecución, ya que la deficiente coordinación generalmente ha provocado fallos en el sistema por decirle de alguna manera, pues se considera sistema porque existen actividades que deben cumplirse para dar paso a las siguientes y esto generalmente es un acto recurrente, por esa situación es posible normalizar la actividad como tal.

La presente investigación es una propuesta integral de organización en el área de exploración a diamantina para empresas mineras, pues mayoritariamente las actividades de trabajo presentan problemas, estancamientos o cuellos de botella debido a que no se toman en cuenta actividades tan fundamentales como la distribución orgánica de cada una de las áreas, la filosofía de trabajo, la organización y el control que obligatoriamente deben llevarse a cabo, la propuesta de mejora requiere un tiempo de ejecución de cuatro trimestres y un costo estimado de 3.160.000 USD, para toda temporada.

La implementación lean en etapas de la minería como la perforación a diamantina es fundamental para crear y generar cambios en la forma de cómo se llevan los proyectos en Ecuador, como se sabe apenas la minería a gran escala está iniciando en el país y es imprescindible generar valor a las necesidades futuras de gestionar los procesos y solución de problemas; entre ellos a manera de ejemplos: mejoras tecnológicas, mejoras en maquinarias y equipos, utilización de materiales y productos nuevos en el mercado minero que ayuden a reducir o minimizar los posibles impactos ambientales y sociales que genera la operación, mano de obra calificada y no calificada con experiencia en la materia, mejoramiento de los sistemas de producción y gestión que ayuden a enfocar el trabajo usando menos recursos y entregar resultados significativos presentes y futuros..

Finalmente, existen grandes oportunidades de desarrollar implementaciones lean con herramientas de control con el objetivo de cuantificar todos los procesos de la perforación a diamantina y tomar como un modelo directo para las mejoras que se plantean y se obtienen con los indicadores ofreciendo oportunidades de mejora con respecto a estas implementaciones.

## BIBLIOGRAFIA

- Acero, L. (2016). *Minería y desarrollo. Tomo 1: Aspectos jurídicos de la actividad minera*. España: Primera Edición, Editorial Universidad Externado.
- Alaya, A. (2016). *El método Seis Sigma: Mejore los resultados de su negocio*. Estados Unidos: Primera Edición, Editorial 50Minutos.
- AUSIMM. (2012). Recuperado el 05 de 03 de 2022, de Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves: [https://www.jorc.org/docs/JORC\\_Code\\_2012\\_Spanish\\_translation\\_March\\_2018.pdf](https://www.jorc.org/docs/JORC_Code_2012_Spanish_translation_March_2018.pdf)
- BANCO MUNDIAL. (2022). <https://www.bancomundial.org/es>. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2022/06/07/stagflation-risk-rises-amid-sharp-slowdown-in-growth-energy-markets#:~:text=Entre%20los%20mercados%20emergentes%20y,comprendido%20entre%202011%20y%202019>.
- BCE. (2017). <https://contenido.bce.fin.ec/>. Obtenido de <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/cartilla00.pdf>
- Dammert, A. (2021). *Economía minera*. Perú: Primera Edición, Editorial Fondo Editorial de la PUCP.
- Floría, P. (2012). *Gestión de la higiene industrial en la empresa*. España: Séptima Edición, Editorial FC Editorial.
- Jones, D. J. (1990). *The machine that changed the world: Based on the massachusetts institute of technology 5-million-dollar 5-year study on the future of the automobile*. New York: Rawson Associates.
- LEXIS. (2018). <https://www.enamiep.gob.ec/>. Obtenido de <https://www.enamiep.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/09/Instructivo-Otorgamiento-Concesiones.pdf>
- López, P. (2016). *Herramientas para la mejora de la Calidad*. España: Primera Edición, Editorial FENETAL.
- Lundin Gold. (2018). <https://lundingold.com/>. Obtenido de <https://lundingold.com/es/fruta-del-norte/historia/#:~:text=La%20primera%20mina%20de%20oro%20moderna%20a%20gran%20escala%20en%20Ecuador&text=Fruta%20del%20Norte%20fue%20descubierta,plata%20en%20237%2C3%20m>.
- Miller, R. (2015). *Miller. Anestesia*. España : Octava Edición, Editorial Elsevier .
- Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (13 de 01 de 2021). <https://www.rekursosyenergia.gob.ec/>. Obtenido de

<https://www.recursoyenergia.gob.ec/en-2020-la-mineria-dejo-resultados-economicos-positivos-para-el-ecuador/#:~:text=EN%202020%2C%20LA%20MINER%C3%8DA%20DEJ%C3%93%20RESULTADOS%20ECON%C3%93MICOS%20POSITIVOS%20PARA%20EL%20ECUADOR,-Bolet%C3%ADn%20de%20Prensa&>

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. (2015). *Glosario Técnico Minero*. Colombia: Primera Edición, Editorial MME.

Ojeda, J. (2013). *Relaciones comunitarias en la minería peruana*. Perú: Primera Edición, Editorial Juan Manuel Ojeda.

Oyarzún, J. (2021). *Principios de geología y exploración minera*. Chile : Primera Edición, Editorial Universidad de La Serena.

PRIMICIAS. (2021). <https://www.primicias.ec>. Obtenido de <https://www.primicias.ec/noticias/economia/corrupcion-inestabilidad-politica-ecuador-negocios/>

Rojas, M. (2012). *Sistemas de control de gestión*. Colombia: Primera Edición, Editorial Ediciones de la U.,

Sistema de Información Zoonosanitaria del Ecuador (SIZSE). (2019). <https://www.agrocalidad.gob.ec/>. Obtenido de <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/09/Mayo-2019-reporte.pdf>

Socconini, L., & Reato, C. (2019). *Lean Six Sigma. Sistema de gestión para liderar empresas*. España: Primera Edición, Editorial MARGE BOOKS.

Soler, V., & Pérez, A. (2018). *Cuadernos de investigación aplicada*. España: Primera Edición, Editorial 3Ciencias.

Vergara, A. (2002). *Principios y Sistema del Derecho minero*. Chile : Primera Edición, Editorial Jurídica de Chile.

## ANEXOS

### Anexo 1: Formato de la encuesta

Encuesta sobre el análisis y propuesta de mejora a la calidad de perforación a diamantina utilizando el proceso seis sigma aplicando las etapas DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar)

Buenas tardes, mi nombre es Xavier Jiménez estudiante de la Maestría en gestión Minera y Ambiental de la Escuela de Postgrado Neumann; me encuentro realizando una propuesta de mejora por lo que necesito su colaboración realizando la siguiente encuesta.

Fecha de aplicación de la encuesta: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

**Pregunta 1. ¿Cree que es importante establecer un proceso de mejora de la exploración a diamantina en la empresa que trabaja?**

SI	NO

**Pregunta 2. ¿En la fase de exploración generalmente se presentan fallos inesperados que provocan el retraso de las metas de perforación?**

SI	NO

**Pregunta 3. ¿A su criterio la empresa lograría ventaja competitiva aplicando seis sigma aplicando las etapas DMAIC?**

SI	NO

Fotografías de una máquina de perforación a diamantina y evidencia de la encuesta sobre el análisis y la propuesta de mejora.

Anexo 2: Encuesta realizada sobre el análisis y propuesta de mejora a la calidad de perforación.



Fuente: Autoría propia\_Lundingold. Elaborado por: El autor.

Anexo 3: Fases de a exploración. Exploración inicial, toma de muestras de suelos para análisis geoquímico.



Fuente: Autoría propia\_Lundingold.  
Elaborado por: El autor.

Anexo 4: Exploración avanzada construcción de una plataforma para perforación.



Fuente: Autoría propia Lundingold.  
Elaborado por: El autor.

Anexo 5: Plataforma donde se asienta un taladro de perforación a diamantina de características helitransportable.



Fuente: Autoría propia\_Lundingold  
Elaborado por: El autor.

Anexo 6: Transporte por línea larga helicóptero de un motor hidráulico componente de un taladro de perforación a diamantina



Fuente: Autoría propia\_Lundingold.

Elaborado por: El autor.

Anexo 7: Obtención del producto final testigo de perforación



Fuente: Autoría propia Lundingold

Elaborado por: El autor.