



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**IMPLEMENTACIÓN DE LEAN AL PROCESO DE PERFORACIÓN & TRONADURA
DEL RAJO SUR - DIVISIÓN EL TENIENTE-CODELCO CHILE**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN
GESTIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS**

VLADIMIR ANTONIO CISTERNAS CISTERNAS

**PROFESOR GUÍA
IVAN BRAGA CALDERÓN**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN
JUAN PABLO ZANLUNGO MATSUHIRO
LUIS ZAVIEZO SCHWARTZMAN**

**SANTIAGO DE CHILE
2016**

RESUMEN

En los últimos años la minería del cobre ha enfrentado un escenario de disminución paulatina del precio del Cobre, el término del Súper Ciclo, además, una marcada disminución en las leyes del mineral y un aumento importante en los costos asociados a la mano de obra, así también, escasez de energía y agua para los distintos procesos.

Por tanto, las minas en operación, deben adoptar prácticas de Excelencia Operacional que permitan aumentar productividad y reducir costos, con el fin de lograr operaciones más eficientes.

El método de Excelencia Operacional usada en este estudio es la Metodología Lean, que corresponde a una forma de trabajo diseñada en la empresa Japonesa Toyota, que desde el año 1950 encontró una manera de desarrollar su proceso productivo, logrando mejores resultados con menos recursos.

En este estudio en particular, se revisa la implementación de la Metodología Lean al proceso de Perforación & Tronadura de la mina Rajo Sur, demostrando el efecto en la mejora de productividad, mejora en la calidad de la perforación y reducción de costos principalmente en aceros de perforación, y mejoramiento de la granulometría del material tronado a un menor costo.

Los principales planes de acción implementados son “Control Integral de Perforación” y “Optimización de Mallas y Tipos de Explosivos”, los cuales permitieron abordar las brechas detectadas en el mapeo de proceso de Perforación & Tronadura, controlando la calidad de la perforación desde la programación de la perforación hasta que la malla de pozos perforados es entregada al proceso de tronadura para el carguío de explosivo. Además, se intensifica el control del diseño de las mallas, secuencia de iniciación, tipos de explosivos y continuamente revisar los resultados obtenidos en cuanto a granulometría del material tronado, incluyendo el rendimiento de los equipos de carguío.

En el caso del proceso de Perforación la experiencia fue exitosa debido a que logra reducir los costos en los aceros de perforación, a través de medidas simples como un adecuado uso y cuidado de los equipos y de los elementos de perforación, maximizando la duración los aceros logrando un ahorro de 5% respecto al periodo antes de implementar la metodología Lean.

Durante la implementación Lean en el proceso de tronadura se logra reducir los costos promedio de 0,33 US\$/Ton en el primer semestre de 2015 hasta un costo promedio de 0,28 US\$/Ton en los últimos 3 meses del año 2015.

De acuerdo a la implementación de la Metodología Lean en las actividades del proceso es un avance importante hacia el logro de alcanzar la Excelencia Operacional, estos resultados obtenidos en estos pocos meses indican que el camino es el correcto, sin embargo, se debe seguir perseverando dentro del equipo de trabajo para alcanzar los objetivos trazados y así instaurar una cultura de mejoramiento continuo dentro de la organización.

DEDICATORIA.

A mi eterno amor Laura, por siempre estar a mi lado, brindándome todo su amor, comprensión y paciencia durante estos años, y para quien ha sido muy importante en mi desarrollo profesional.

A mi hija Florencia, por ser una motivación constante para esforzarme cada día.

A mi madre Modesta por su constante apoyo y preocupación.

A Dios por su infinito amor y bendiciones en nuestras vidas.

TABLA DE CONTENIDO.

1.	INTRODUCCIÓN.	1
1.1.	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.	2
2.	ANTECEDENTES DE DIVISIÓN EL TENIENTE.	2
2.1.	ANTECEDENTES DE MINA RAJO SUR.	3
3.	OBJETIVOS Y ALCANCES.	5
3.1.	OBJETIVO GENERAL.	5
3.2.	OBJETIVOS ESPECIFICOS.	5
3.3.	ALCANCES.	6
4.	METODOLOGÍA Y MARCO CONCEPTUAL.	6
4.1.	METODOLOGÍA LEAN.	6
4.2.	METODOLOGÍA LEAN IMPLEMENTADA EN DIVISIÓN EL TENIENTE.	9
4.2.1.	DISEÑO DE ESTÁNDARES OPERACIONALES Y CONFIRMACIÓN DE PROCESOS.	12
4.3.	MARCO CONCEPTUAL.	15
5.	PLAN DE TRABAJO Y RESULTADO ESPERADO.	16
5.1.	PLAN DE TRABAJO.	16
5.2.	RESULTADO ESPERADO.	17
6.	DESARROLLO Y EJECUCIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN LEAN DE PERFORACIÓN & TRONADURA.	18
6.1.	DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	18
6.2.	MAPEO DE PROCESOS	26
6.3.	TALLER DE TRABAJO Y PRIORIZACIÓN DE PLANES DE ACCIÓN.	30
6.4.	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PLANES DE ACCIÓN	31
6.4.1.	CONTROL INTEGRAL DE PERFORACIÓN.	31
6.4.2.	OPTIMIZACIÓN DE MALLAS Y TIPOS DE EXPLOSIVOS	37
6.4.3.	PLANES DE ACCIÓN DE MEDIANO PLAZO	41
7.	RESULTADOS DE IMPLEMENTACIÓN LEAN	43
8.	CONCLUSIONES.	45
9.	BIBLIOGRAFÍA	48
9.1.	APOYO INSTITUCIONAL	48
10.	ANEXOS	49

INDICE DE TABLAS.

Tabla N°5.1: Carta Gantt de Implementación LEAN.....	17
Tabla N°6.1: Velocidad Efectiva de Perforación por Litología.	22
Tabla N°6.2: Comparación de Características de Explosivos usados en Rajo Sur.	39
Tabla N°6.3: Resumen de Iniciativas Lean y los Logros Alcanzados.	42
Tabla N°7.1: Seguimiento de Implementación LEAN en el Proceso de P&T.....	45

INDICE DE ILUSTRACIONES.

Figura N°1.1: Esquema de Actividades en el Trabajo y Desperdicios Clásicos.	1
Figura N°2.1: Ubicación Geográfica de División El Teniente.	3
Figura N°2.2: Emplazamiento de Mina Rajo Sur.	4
Figura N°2.3: Diagrama de Proceso de Mina Rajo Sur.	4
Figura N°4.1: Esquema de Actividades en el Trabajo.	7
Figura N°4.2: Desperdicios Clásicos en el Trabajo.	8
Figura N°4.3: Herramientas Metodología LEAN.....	9
Figura N°4.4: Diagrama de Implementación de Gestión Lean.	10
Figura N°4.5: Integración de los Estándares de Excelencia Operacional.	11
Figura N°4.6: Diseño de Estándares Operacionales y Confirmación de Procesos.	12
Figura N°4.7: Estructura de la Eficacia Total del Equipo (OEE).	13
Figura N°4.8: Calculo de Eficacia Total del Equipo (OEE).	14
Figura N°4.9: Herramientas para Operativizar la implementación LEAN.	16
Figura N°6.1: Árbol de Valor del proceso de Perforación.	18
Figura N°6.2: Uso de las Horas por Turno de la Flota de Perforación.	19
Figura N°6.3: Horas Efectivas por Turno de las perforadoras de Producción.	20
Figura N°6.4: Utilización Efectiva y Utilización Operativa de las Perforadoras.....	21
Figura N°6.5: Velocidad Efectiva de Perforación por Litología.	21
Figura N°6.6: Rendimiento en metros de los triconos.	22
Figura N°6.7: Árbol de Valor del Proceso de Tronadura.	23
Figura N°6.8: Kgs de Explosivos mensuales por tipos de explosivos usados.	24
Figura N°6.9: Longitud Real de los Pozos (cambio de adaptador superior).	24

Figura N°.10: Cantidad de Pozos Tronados por tamaño de malla.	25
Figura N°.11: Estructura de empresa Orica (antes de Sept 2015).	25
Figura N°.12: Mapa de Proceso Simplificado del Proceso de Perforación.	26
Figura N°.13: OEE de las perforadoras (Enero a Septiembre de 2015).	27
Figura N°.14: Pérdidas Actuales en el Proceso de Perforación.	28
Figura N°.15: Mapa de Proceso Simplificado del Proceso de Tronadura.	28
Figura N°.16: Pérdidas Actuales en el Proceso de Tronadura.	29
Figura N°.17: Matriz de Facilidad de Implementación vs Nivel de Impacto.	30
Figura N°.18: Estándar de Trabajo para el Control de la Longitud de los Pozos.	32
Figura N°.19: Check List de Entrega de Malla de Perforación.	33
Figura N°.20: Adaptadores Superiores de 67" de largo.	35
Figura N°.21: Longitud Real De Pozos Perforados con Nuevo Adaptador.	36
Figura N°.22: Propuesta de Configuraciones de Diseño.	38
Figura N°.23: Granulometría estimada (P80 en mm).	38
Figura N°.24: Kgs de Explosivos mensuales por tipos de explosivos usados.	40
Figura N°.25: Cantidad de Pozos Tronados por tamaño de malla.	40
Figura N°.26: Proyecto de Reducción de Costos Fijos de Tronadura.	41
Figura N°.27: Proyecto de Reducción de Costos por Disminuir Flota CAT MD- 6240.	42

1. INTRODUCCIÓN.

El presente estudio está orientado a la Excelencia Operacional, específicamente al proceso de Perforación & Tronadura de mina Rajo Sur, para lo cual se espera lograr la implementación de una cultura de mejoramiento continuo a través de la incorporación de una metodología o forma de trabajo basada en la filosofía Lean, que permita obtener las mejores prácticas de la industria, contribuyendo a mejorar la productividad y la disminución de los costos en el proceso.

La filosofía Lean es una metodología de trabajo que surge después de la Segunda Guerra Mundial en la industria automotriz japonesa, específicamente en el sistema de producción de Toyota, la cual les permitió lograr mejores resultados (calidad, producción, flexibilidad, etc.) con menos recursos (esfuerzo humano, herramientas, espacio físico, etc.), consiguiendo obtener una sustentable mayor eficiencia que la producción en masa usada hasta ese entonces por la industria automotriz de EEUU (Transformación LEAN en División El Teniente, Jose Bustamante Valdés, Gerencia de Operaciones, Octubre 2013).

La metodología Lean (Lean significa “esbelto” o “sin grasa”) consiste en un proceso dinámico, en el cual todas las personas que laboran en un proceso productivo eliminan de manera continua, ordenada y sistemática los “desperdicios clásicos” como: transporte innecesario, exceso de inventario, movimientos que no agregan valor, tiempos de espera, sobreproducción, deficiente uso de los equipos, repetición del trabajo, etc., eliminando todo lo que no agrega valor al proceso. De esta forma mejora el desempeño obteniendo ahorros en el proceso, creando valor y logrando obtener una ventaja competitiva.

El esquema de actividades en el trabajo y los desperdicios clásicos se muestra en la Figura N°1.1.

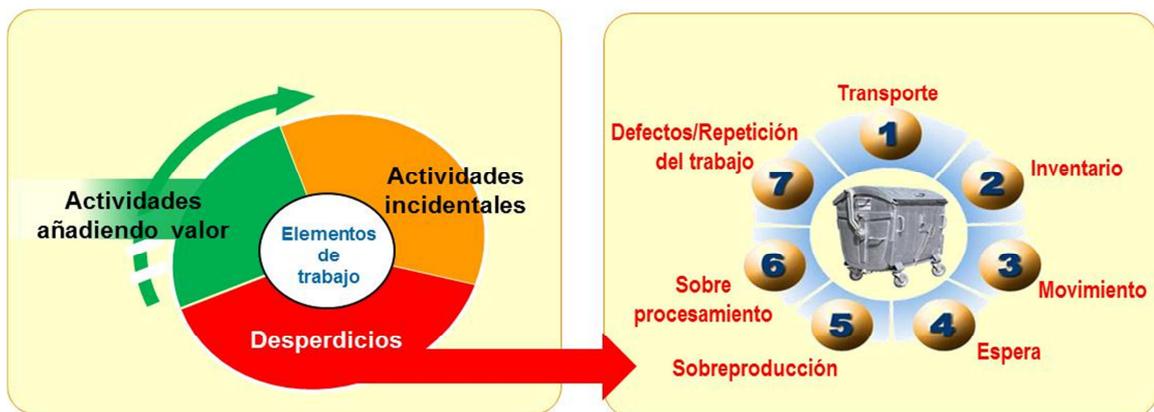


Figura N°1.1: Esquema de Actividades en el Trabajo y Desperdicios Clásicos.

Esta filosofía de trabajo está basada en la disciplina, definición y cumplimiento de estándares, permitiendo producir más con menos, generando un cambio en la manera de mirar los procesos, permitiendo lograr mejoras a través de implementar soluciones simples y de alto impacto de forma perdurable, y a su vez motiva a un ambiente de

trabajo en que se identifiquen y solucionen problemas activamente, obteniéndose una cultura organizacional eficiente.

Considerando que mina Rajo Sur tiene una baja ley de cobre (Ley media 0.6%Cu Total), alto costo de explotación y un corto periodo de operación, es que tiene la obligación de ser una operación eficiente, con altos rendimientos y operados al mas alto estándar disponible de la excelencia operacional, en cada uno de sus Procesos Unitarios.

Lo anterior, motiva a implementar la metodología Lean al Proceso de Perforación & Tronadura de mina Rajo Sur, donde se han detectado desviaciones principalmente en la calidad del producto final (granulometría del material tronado), además se detectan oportunidades de mejoras en el proceso de perforación, principalmente se ha notado un menor rendimiento de los aceros de perforación (asociado a un mayor desgaste y perdidas de aceros en incidentes operacionales) y una baja calidad de la perforación en cuanto a profundidad (provocando re-perforación de pozos). Las cuales impactan en la productividad del Rajo Sur, así también en los costos tanto del proceso de P&T, como en costos asociados a uso de equipos de apoyo, uso de martillos pica roca y eventuales sobregastos por mayor uso de energía en proceso de Chancado y Molienda de la planta de proceso.

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.

En el proceso de Perforación & Tronadura de mina Rajo Sur se requiere implementar una metodología de excelencia operacional, que permita detectar las pérdidas o desperdicios existentes actualmente en el proceso, para lo cual se usará tanto la información disponible desde las bases de datos del área como información proveniente del sistema de control de flota.

De acuerdo a lo anterior, se diseñarán y desarrollarán estándares de trabajo basados en las mejores prácticas que permitan establecer una disciplina operacional, las cuales provocarán reducir los costos de los procesos, asegurar la calidad en el resultado final del material tronado y así obtener el mayor beneficio para la División.

El presente estudio está en sintonía con uno de los desafíos estratégicos de División El Teniente, que corresponde al avance en la transformación de gestión Lean a toda la organización, generando una adopción de prácticas de Excelencia Operacional en sus procesos que permitan transitar desde la eficacia a la eficiencia.

2. ANTECEDENTES DE DIVISIÓN EL TENIENTE.

La División El Teniente es un complejo productivo que considera entre sus instalaciones una mina subterránea explotada por métodos de hundimiento, una mina a Rajo Abierto, las plantas de beneficio de mineral de Sewell y Colón, la Fundición de Caletones y las instalaciones de infraestructura propias de una explotación minera a gran escala:

Sistema de suministros de agua, energía eléctrica, logística de entrada y salida de productos, manejo de residuos y desechos industriales, entre otros.

Las áreas productivas de División El Teniente se encuentran ubicada en la Cordillera de los Andes de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins, en la Comuna de Machalí, a aproximadamente unos 80 km al Sudeste de la ciudad de Santiago y ubicada a 44 km al Este de la ciudad de Rancagua.



Figura N°2.1: Ubicación Geográfica de División El Teniente.

2.1. ANTECEDENTES DE MINA RAJO SUR.

La mina Rajo Sur se ubica al sur del yacimiento El Teniente y explota reservas mediante el método Rajo Abierto en el entorno del cráter generado por la minería subterránea. Inició su producción en el año 2012 y envía su producción a través de camiones de extracción (CAEX), los que vacían el mineral a los piques de traspaso hacia el FFCC Teniente 5, donde mayoritariamente el mineral es enviado a la planta de chancado-molienda de Sewell. Su vida productiva se extiende hasta el año 2021. La tasa régimen de producción será del orden de 20.000 t/d.

El siguiente esquema muestra la ubicación del Rajo Sur, respecto a las minas subterráneas de División El Teniente.

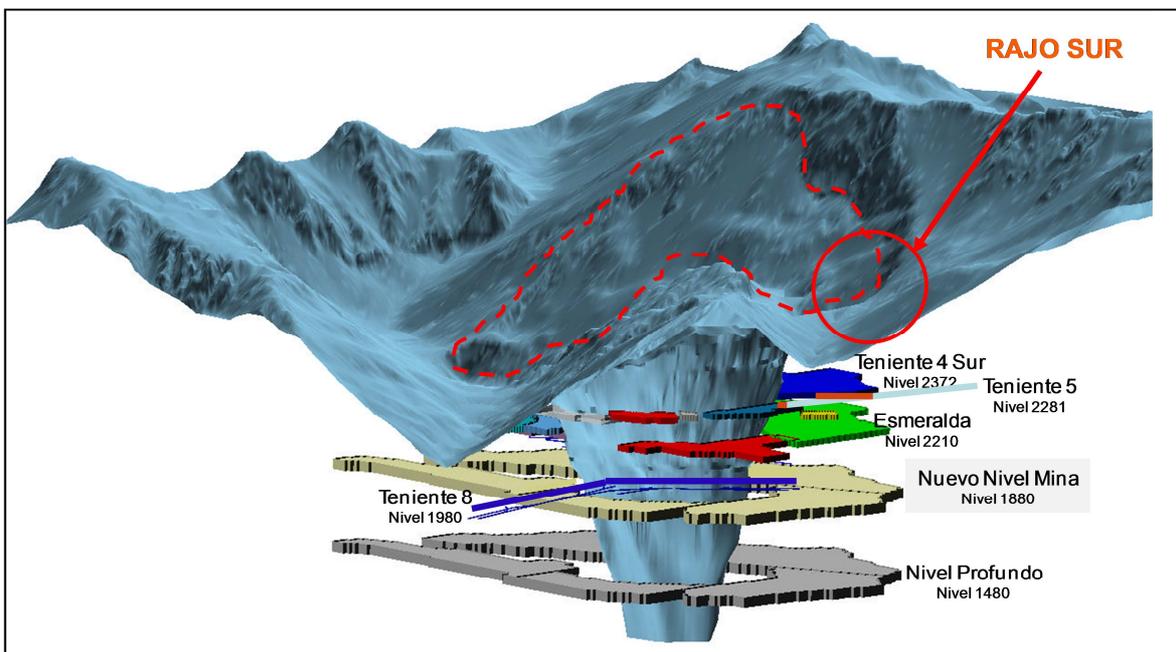


Figura N°2.2: Emplazamiento de Mina Rajo Sur.

El diagrama de proceso (Layout) de Mina Rajo Sur se muestra en la Figura N°2.3.

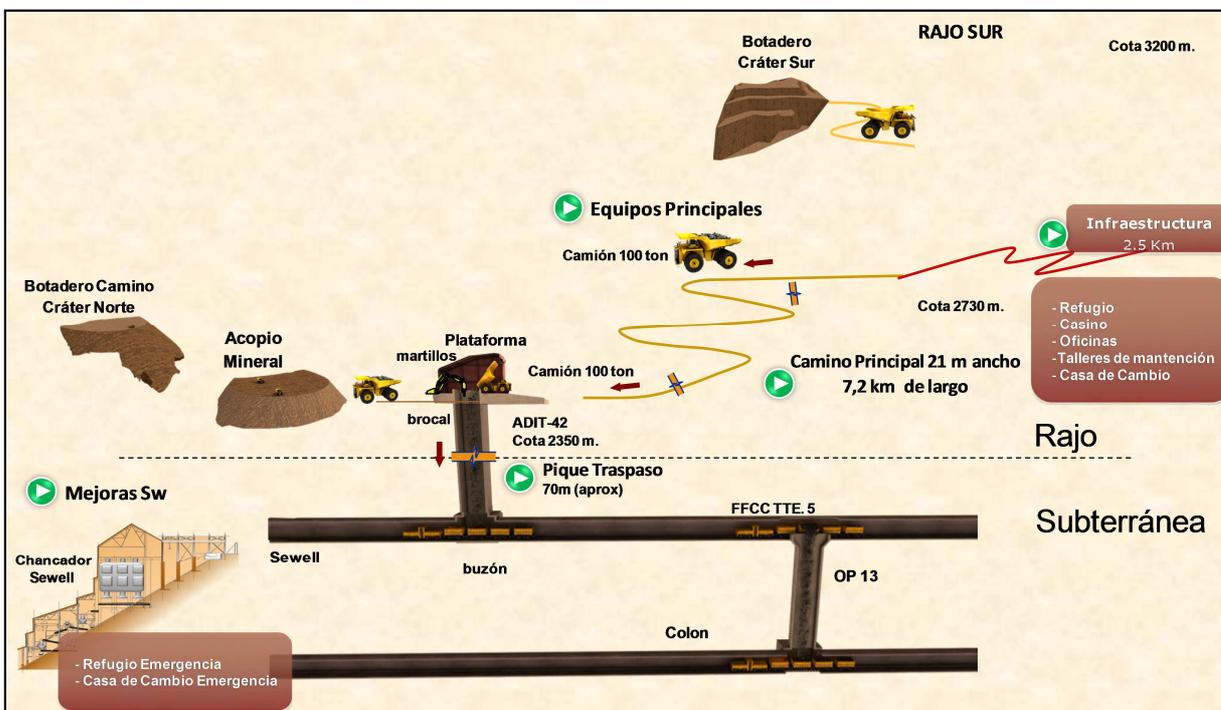


Figura N°2.3: Diagrama de Proceso de Mina Rajo Sur.

3. OBJETIVOS Y ALCANCES.

3.1.OBJETIVO GENERAL.

Fomentar el mejoramiento de la eficiencia a través de la excelencia operacional en el proceso de Perforación & Tronadura de Mina Rajo Sur, para lo cual a nivel divisional se ha elegido la implementación del sistema de gestión LEAN (Transformación LEAN en División El Teniente, Jose Bustamante Valdés, Gerencia de Operaciones, Octubre 2013), con el fin de disminuir las pérdidas operacionales que afectan a los rendimientos de perforación, menor duración de los aceros y por ende mayor costo de perforación. A su vez aplicar las mejores prácticas para asegurar la calidad del material tronado con el fin de optimizar el rendimiento de los equipos de carguío y transporte.

3.2.OBJETIVOS ESPECIFICOS.

Implementación de las mejores prácticas de forma perdurable en el proceso de perforación y tronadura a través de la aplicación del sistema de gestión LEAN, con el fin de eliminar las pérdidas o “desperdicios” detectados, logrando obtener un proceso eficiente que permita minimizar incidentes operacionales, mejorar la calidad del producto final y a su vez reducir los costos.

Revisión del efecto de estas mejores prácticas en el incremento de la calidad del proceso de perforación, prolongando la duración de aceros de perforación, reduciendo la cantidad de pozos a reperfilar y minimizar los incidentes operacionales.

Revisión del efecto de estas mejores prácticas en la optimización de la calidad del material tronado, obteniendo la granulometría adecuada que permita aumentar los rendimientos de carguío, disminuyendo el uso de equipos de apoyo en las frentes de carguío.

Revisión del efecto de estas mejoras prácticas en la reducción de costos, en el caso de la perforación uno de los principales costos a controlar corresponde a los aceros de perforación, y en el caso de tronadura principalmente corresponde a los costos de los altos explosivo como ANFO y/o Emulsiones (dependerán del tipo y cantidad de explosivo).

Fomentar la Disciplina Operacional dentro de los procesos productivos generando un cambio en la manera de mirar los procesos, permitiendo lograr mejoras a través de implementar soluciones simples y de alto impacto de forma perdurable, con el fin de lograr implantar una cultura organizacional que nos permita construir operaciones de excelencia.

3.3. ALCANCES.

Implementación de las mejores prácticas de forma perdurable en el proceso de perforación y tronadura. El alcance de este estudio consiste en implementar el sistema de gestión Lean en el proceso de perforación & Tronadura de Rajo Sur, con el fin de apoyar continuamente al equipo de trabajo en la planificación, seguimiento y control de las prácticas operacionales del proceso con un enfoque preponderante en la excelencia operacional.

En el caso de la Perforación, en este estudio se considera solamente la perforación de pozos de producción y Buffer (Amortiguamiento), por tanto no se considera la perforación de pozos de precortes.

Respecto a lo anterior la información real considerada en los análisis corresponderá a la reportada por el sistema de control de flotas Jigsaw. Además, se consideran 3 meses para implementación del sistema de gestión Lean en Perforación & Tronadura.

4. METODOLOGÍA Y MARCO CONCEPTUAL.

4.1. METODOLOGÍA LEAN.

Lean surge en la época de post Segunda Guerra Mundial como un sistema fundamentalmente más eficiente que la producción en masa (Manual de Agentes de Cambio, Gerencia de Desarrollo Teniente Futuro, 2012). Es un método de trabajo diseñado a partir de la experiencia de la empresa automotriz Toyota, que desde la década de 1950 encontró una manera de desarrollar su proceso productivo, logrando mejores resultados (calidad, producción, flexibilidad, etc.) con menos recursos (esfuerzo humano, herramientas, espacio físico, etc.).

El pensamiento Lean es el proceso dinámico, determinado por el conocimiento y focalizado en el cliente mediante el cual todas las personas en una empresa determinada eliminan de manera continua los desechos y crean valor.

La filosofía LEAN se basa en 5 principios:

1. **Valor:** implica centrarse en aquellas actividades o procesos productivos que agregan valor al cliente final.
2. **Cadena de Valor:** implica examinar los procesos desde el punto de vista de lo que busca el cliente final, considerando a su vez los procesos como clientes del proceso anterior y proveedores del siguiente.
3. **Flujo:** busca la mayor continuidad posible entre los diversos procesos y actividades productivas, eliminando desperdicios.
4. **Producción:** de acuerdo a las necesidades del cliente final, con el objetivo de mantener pequeñas cantidades de inventario y evitar la sobreproducción.
5. **Perfección:** busca siempre mejorar cada uno de los procesos que existen.

Entre sus postulados básicos se cuentan:

- **Calidad:** búsqueda de cero defectos, detección y solución de problemas en su origen.
- **Desperdicios:** eliminación de actividades que no generan valor, optimización de recursos.
- **Mejora continua:** reducción de costos, mejora de la calidad, aumento de la productividad y mejorar comunicación.
- **Producción:** guiada por la demanda del cliente final o necesidades de la actividad o proceso siguiente.
- **Flexibilidad:** producción rápida de diferentes mezclas de gran variedad de productos sin perder eficiencia.

A grandes rasgos, la Filosofía LEAN busca la:

- Estandarización de procesos, con el foco en la optimización de recursos.
- Detección y análisis de errores o problemas.
- Solución de errores o problemas.

Actividades del Trabajo

El conjunto de actividades que se realizan diariamente en el trabajo se pueden distribuir en tres categorías dependiendo de la utilidad que éstas representan para el cliente: actividades que añaden valor, actividades incidentales y desperdicios.



Figura N°4.1: Esquema de Actividades en el Trabajo.

Desperdicios Clásicos

De acuerdo a lo establecido en la figura anterior, se desprende que los desperdicios corresponden a cualquier actividad absolutamente innecesaria para la realización del trabajo. De acuerdo con la filosofía LEAN (Manual de Agentes de Cambio, Gerencia de Desarrollo Teniente Futuro, 2012) se han identificado 8 clásicos tipos de desperdicios, los cuales deben ser eliminados para así aumentar la proporción de las actividades que añaden valor, generando beneficios para los clientes, la organización y los empleados. La figura siguiente ilustra gráficamente estos clásicos desperdicios.



Figura N°4.2: Desperdicios Clásicos en el Trabajo.

Herramientas LEAN

La filosofía LEAN se materializa en la práctica, a través de la aplicación de una amplia variedad de herramientas, muy diferentes entre sí, que se han ido implementado con éxito en empresas de diferentes sectores y tamaños. Estas herramientas se pueden implantar de forma independiente o conjunta, atendiendo a las características específicas de cada caso.

LEAN cuenta con las siguientes herramientas, que pueden utilizarse para mejorar los procesos según el objetivo requerido:

- 5S
- SMED
- OEE
- Takt Time
- VSM
- Kaizen
- Kanban
- Diálogos de Desempeño
- 5 Por qué?
- Estándares

Las herramientas de metodología LEAN se muestran gráficamente en la Figura N°4.3.

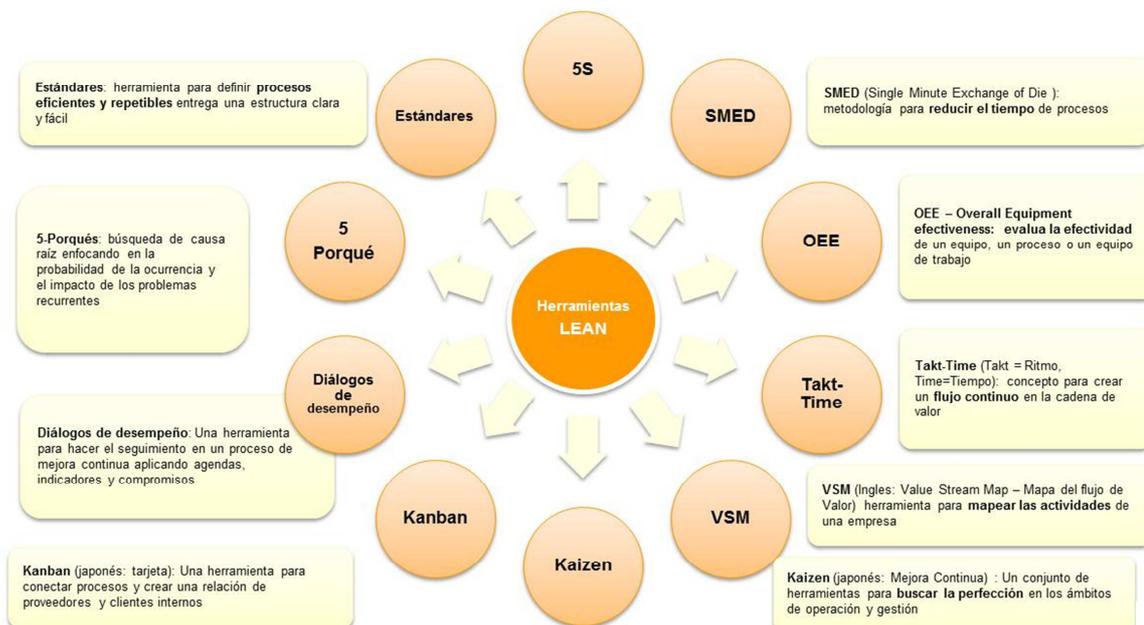


Figura N°4.3: Herramientas Metodología LEAN.

4.2. METODOLOGÍA LEAN IMPLEMENTADA EN DIVISIÓN EL TENIENTE.

La metodología considerada en este estudio estará basada en la implementación del sistema de gestión o filosofía Lean utilizada en División El Teniente, la cual considera los siguientes 3 pasos:

1) Estandarizar el Proceso

- a. **Diagnóstico** (Análisis de Información de datos, Revisar Mapas de Proceso y Cadena del Valor, Identificación de Pérdidas y Análisis Causa-Raíz)
- b. **Diseño** (Definición de Roles, Diálogo de Desempeño, Generar Estándares, Check List, Taller de análisis interdisciplinario y Tableros de Gestión/ KPIs)
- c. **Implementación** (Gestión del Desempeño, Resolución de Problemas, Estandarización y Desarrollo de Personas).
- d. **Excelencia Operacional**

2) Sustentar la Excelencia Operacional

- i. **Cimientos Lean:** Propósito en Mejora Continua Constante
- ii. **Pilares Lean:** Gestión del Desempeño, Resolución de Problemas, Estandarización y Desarrollo de Personas.
- iii. **Resultados Lean:** Impacto en Indicadores del Negocio

3) Capacitación y Entrenamiento

- Capacitación a los miembros del equipo con el fin identificar desafíos, cuellos de botella y oportunidades de mejora en los procesos productivos

Los pasos de implementación de sistema de gestión Lean se muestra en la Figura N°.4.

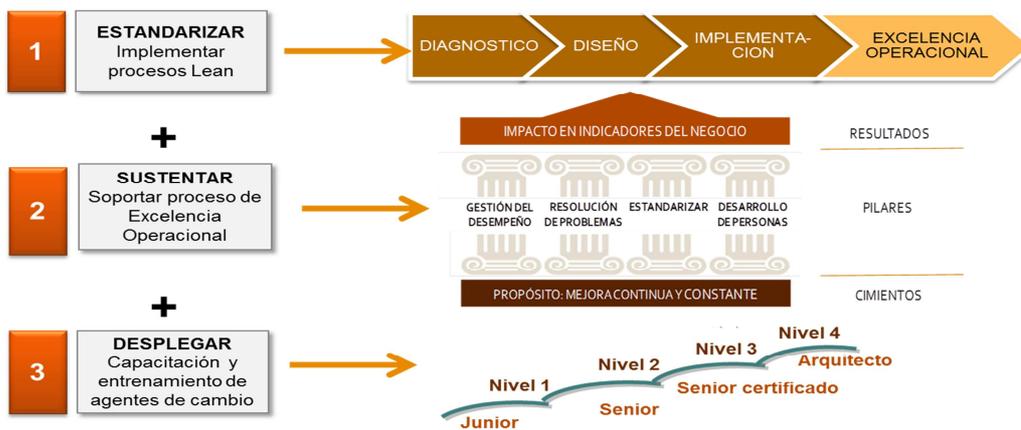


Figura N°.4: Diagrama de Implementación de Gestión Lean.

Considerando que la metodología o filosofía Lean se origina en la industria automotriz japonesa y que en los últimos 10 años ha sido aplicado de forma importante a la industria manufacturera (Administración de Operaciones “Producción y Cadena de Suministros”, Richard B. Chase & F. Robert Jacobs, 13ª Edición, 2014), es necesario considerar antecedentes, alcances y consideraciones relevantes de implementación de la filosofía Lean en los procesos de la industria minera.

Por esta razón, en el presente estudio se emplean las consideraciones y modificaciones aplicadas durante la implementación de la metodología Lean en la División El Teniente, durante los últimos 5 años. Entre ellas se destaca, la estructuración y definición más clara de sus etapas y actividades, capacidad de organización y seguimiento continuo con enfoque en 3 pasos principales: Estandarizar Procesos, Sustentar la excelencia operacional y Capacitar de forma continua.

Estandares de Excelencia Operacional

La aplicación de la filosofía LEAN y sus consecuentes beneficios para cualquier organización (mayor calidad, menores costos, aumento de productividad, etc.), se encuentran directamente relacionados con la instauración de soportes dentro de la

cultura organizacional. A partir de lo anterior se han establecido cuatro tipos de estándares, llamados estándares de excelencia operacional, los cuales permiten la correcta asimilación de esta filosofía dentro de la metodología diaria de trabajo. Además, estos estándares definen con claridad el comportamiento esperado de la organización para lograr sustentar en el tiempo los cambios que la filosofía LEAN incorpora en los distintos ámbitos de la estructura organizacional. Los estándares de excelencia operacional corresponden a:

- 1.- Estándar de Gestión del Desempeño.
- 2.- Estándar de Resolución de Problemas.
- 3.- Estándares Operacionales y Confirmación de Procesos.
- 4.- Estándar de Desarrollo de Personas.

En la siguiente figura se puede apreciar el ámbito de aplicación de los estándares de excelencia operacional dentro de la estructura organizacional, a través de los sistemas de gestión, sistema operativo y de las mentalidades y conductas:



Figura N°4.5: Integración de los Estándares de Excelencia Operacional.

4.2.1. DISEÑO DE ESTÁNDARES OPERACIONALES Y CONFIRMACIÓN DE PROCESOS.

El diseño de los estándares y su correspondiente confirmación de procesos es una secuencia que requiere 5 etapas principales operacionales (Estándares de Excelencia Operacional del Proceso de Extracción, Gerencia de Operaciones, División El Teniente, Diciembre 2013):

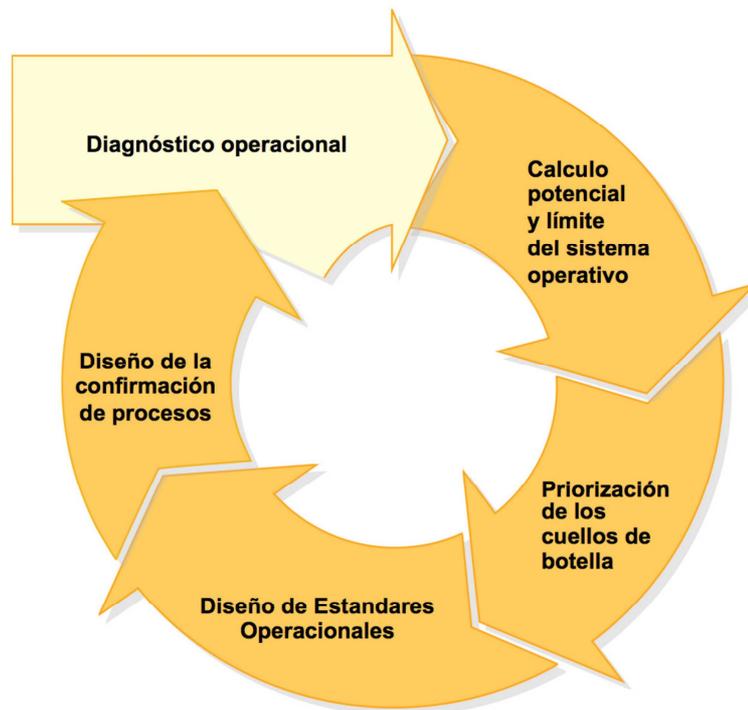


Figura N°4.6: Diseño de Estándares Operacionales y Confirmación de Procesos.

A. Diagnóstico Operacional

El diagnóstico operacional se basa en la recopilación y análisis de información del proceso para el cual se busca generar los estándares operacionales. El objetivo del diagnóstico es identificar cuáles son las brechas y cuellos de botella en el estado actual del proceso productivo.

Para la identificación de brechas y cuellos de botella, existe una herramienta LEAN muy útil que permite establecer la efectividad / eficiencia de equipos o procesos denominada Overall Equipment Effectiveness (OEE) / Overall Process Efficiency (OPE). A continuación se explican ambas herramientas.

Eficacia Total del Equipo – Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Es una herramienta que permite analizar el tiempo efectivo de utilización de las máquinas, con lo cual se puede obtener el nivel de eficiencia de su uso.

Es un concepto desarrollado en Toyota por el ingeniero Seiichi Nakajima y hoy se ha convertido en un estándar internacional reconocido por las principales industrias alrededor del mundo.

Se funda en el hecho de que las máquinas son diseñadas sobre la base de una cierta capacidad de producción, aunque en la práctica, por diferentes razones, la producción siempre es menor a dicha capacidad.

El OEE considera las principales fuentes de pérdida de eficiencia y las posiciona en categorías para monitorear y mejorar el desempeño de manera más fácil y estructurada.

En la Figura N°4.7, se puede apreciar la estructura general de un OEE:

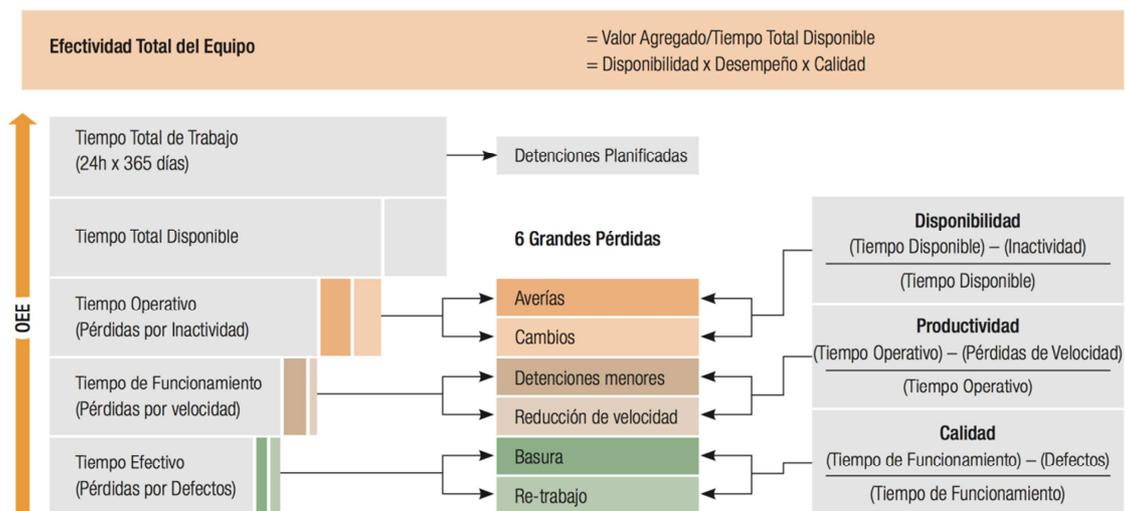


Figura N°4.7: Estructura de la Eficacia Total del Equipo (OEE).

Al observar la Figura anterior, se detectan 6 principales fuentes de pérdida de eficiencia (averías, cambios, detenciones menores, reducción de velocidad, basura y re-trabajo) que generan una disminución de los 3 parámetros fundamentales para la producción industrial (disponibilidad, productividad y calidad).

En la Figura N°4.8 se muestra un ejemplo de cálculo de un OEE que muestra la diferencia entre el tiempo total disponible y el tiempo efectivo real:

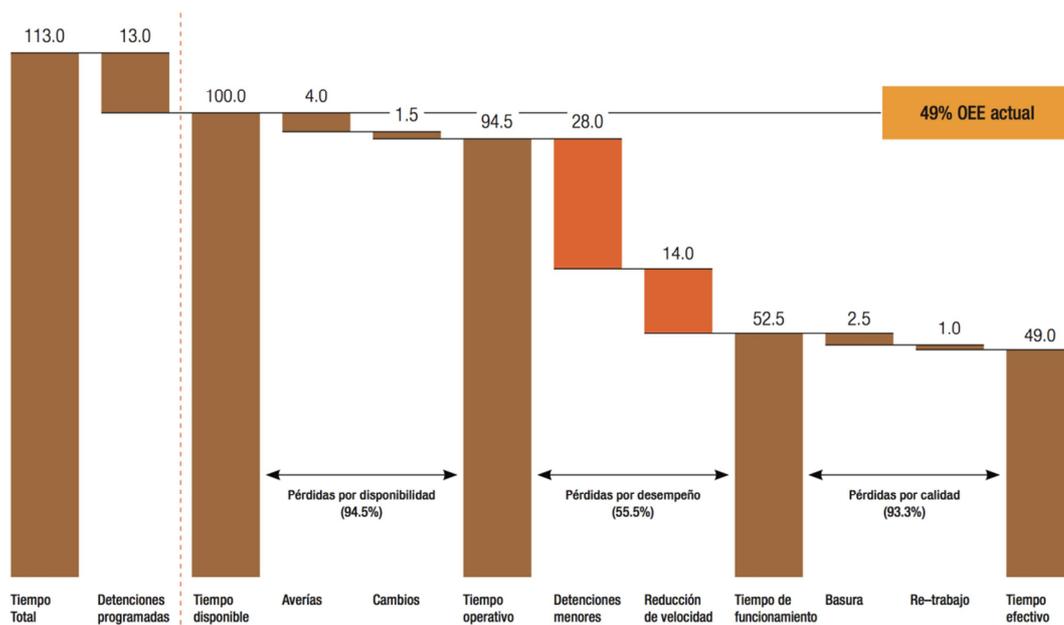


Figura N°4.8: Calculo de Eficacia Total del Equipo (OEE).

Este tipo de herramienta también puede ser utilizada para analizar la eficiencia de las actividades humanas, lo que permite identificar que porcentaje del tiempo dedicado al trabajo efectivamente aporta valor en la cadena de producción. Si se analiza la eficiencia del trabajo manual, la herramienta recibe el nombre Overall Process Efficiency (OPE).

B. Cálculo de Potencial y Límite del Sistema Operativo

A partir de las brechas y cuellos de botella encontrados en el diagnóstico, se deben generar palancas de mejora operacionales. Estas palancas son acciones concretas que permiten incrementar el desempeño y por ende disminuir las brechas actuales del proceso.

Posteriormente, a través de justificaciones y argumentos válidos se debe cuantificar el potencial de mejora de cada palanca, con lo cual se estipula el límite del sistema operacional.

El objetivo de establecer el límite del sistema operativo no es sólo generar las metas u objetivos deseados para cada palanca, sino que además se debe relacionar objetivamente cada una de las mejoras operacionales con el impacto final de desempeño que éstas conllevan (producción, disponibilidad, etc.).

C. Priorización de los Cuellos de Botella

Al haber relacionado cada una de las palancas de mejora con el impacto final de desempeño respectivo, es fácil priorizar aquellas palancas en las cuales se deben enfocar los esfuerzos por modificar la manera actual de hacer las cosas con el objetivo de reducir los cuellos de botella correspondientes. Es así como en esta etapa ya se tiene claridad sobre qué tareas del proceso productivo deberían ser estandarizadas.

D. Diseño de Estándares Operacionales

Un estándar operacional es la concretización de las iniciativas ideadas para lograr el potencial de mejora de las palancas seleccionadas en la priorización de los cuellos de botella.

Los estándares operacionales tienen una estructura muy sencilla para que así cualquiera logre entender rápidamente su contenido.

E. Diseño de la Confirmación de Procesos

Una vez que ya se han establecido los estándares operacionales, se debe diseñar una confirmación de procesos para corroborar la adherencia a éstos. La confirmación de procesos debe ser un checklist muy sencillo con preguntas objetivas que permitan discernir rápidamente el cumplimiento de los estándares operacionales.

Es muy importante que las confirmaciones de proceso tengan un espacio destinado a la identificación de la persona que la realiza y un lugar para escribir compromisos que puedan ayudar a aumentar la adherencia a los estándares operacionales a lo largo del tiempo.

4.3. MARCO CONCEPTUAL.

El Marco Conceptual del presente estudio considera como base la literatura y documentación asociada a temas de Excelencia Operacional, particularmente al origen, principios, fundamentos, áreas de aplicación y estrategia de la filosofía LEAN.

Además, se dan a conocer los principios Lean que son aplicables a la industria de la minería, principalmente a la implementación realizada en División El Teniente durante los últimos 4 años. En forma particular se puede indicar que durante el año 2013, la aplicación de la filosofía LEAN al proceso de producción de la mina Diablo Regimiento (Excelencia Operacional Programa Lean, Gerencia Operaciones, División El Teniente, Julio 2014), les permitió mejorar sus indicadores operacionales, principalmente incrementar la utilización efectiva en un 31%, así también incrementar las tasas de producción en un 25%. Además, esta herramienta permitió desarrollar personas con competencias en mejora continua y excelencia operacional.

A continuación se muestra un resumen con las herramientas disponibles para operativizar la implementación del modelo de gestión LEAN.



Figura N°.9: Herramientas para Operativizar la implementación LEAN.

5. PLAN DE TRABAJO Y RESULTADO ESPERADO.

5.1. PLAN DE TRABAJO.

A continuación se presentan las principales actividades que se deben realizar en el proceso de investigación de este estudio con los respectivos plazos en cada una de ellas, con el fin de cumplir con los objetivos propuestos de este estudio y con los objetivos de negocio de la Gerencia, donde el foco principal corresponde a reducir y/o eliminar las pérdidas o desperdicios en cada uno de los procesos de las distintas áreas productivas que permitan apalancar el actual Plan de Reducción de Costos Divisional. En la siguiente tabla N°.1, se presenta la carta Gantt para la implementación de LEAN en el proceso de Perforación & Tronadura.

Tabla N°5.1: Carta Gantt de Implementación LEAN.

	Septiembre		Octubre				Noviembre				Diciembre	
	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 1	Sem. 2
Diagnóstico de Proceso Actual de P&T	█	█										
Mapeo de Procesos			█	█								
Taller de Análisis				█	█							
Diseño de Planes de Acción					█	█						
Implementación LEAN							█	█	█	█		
Seguimiento										█	█	
Resultados de Implementación											█	█

Los detalles de cada una de las actividades indicadas en la Carta Gantt anterior, se explican a continuación:

- **Etapa de Diagnóstico:** Análisis de la información a partir de Base de Datos Jigsaw y/o reportes operacionales.
- **Mapeo de Procesos:** Identificar desviaciones y oportunidades en los procesos del perforación & tronadura, cuantificando su impacto respecto al producto final.
- **Taller de Análisis:** Identificar planes de acción y priorización. Considera la participación del equipo de trabajo (directos y de apoyo).
- **Diseño de los Planes de Acción:** Con el análisis consolidado se termina por definir los planes de acción a implementar.
- **Implementación LEAN:** Desarrollo e implementación de Estándares, Diálogos de Desempeño, Control del Proceso, Análisis Causa Raíz y Desarrollo Personal.
- **Seguimiento:** Apoyo a la implementación de cada una de la acciones y planes de acción a realizar.
- **Resultados de Implementación:** Revisión de los resultados de las acciones implementadas

5.2. RESULTADO ESPERADO.

La Implementación del sistema de gestión LEAN en el proceso de Perforación & Tronadura de Rajo Sur, a través de un trabajo en equipo y enfocado en la excelencia operacional permitirá reducir las pérdidas operacionales, optimizar los rendimientos de perforación y prolongar la duración de los aceros con el fin de lograr un ahorro de 3% en el costo de aceros de perforación. Además, permite generar una malla de perforación de buena calidad para el siguiente proceso de tronadura.

Así también, en el proceso de tronadura permite lograr una adecuada calidad de la granulometría y porcentaje de finos del material tronado, a través de eliminación de ineficiencias del proceso y estandarización del trabajo, a su vez permite controlar los costos de tronadura. Respecto al proceso siguiente de la cadena del valor, permite aumentar los rendimientos de carguío y transporte, así también minimizar los eventos de detención en la planta asociados a sobretamaño del mineral.

6. DESARROLLO Y EJECUCIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN LEAN DE PERFORACIÓN & TRONADURA.

De acuerdo a la metodología y al plan de trabajo del presente estudio se realizan las distintas actividades requeridas para desarrollar, ejecutar e implementar el sistema de gestión LEAN en los procesos de Perforación & Tronadura, detectando las brechas y oportunidades de mejoras, así mismo estableciendo en conjunto los planes de acción a ejecutar y posteriormente implementar estas mejoras prácticas de forma estandarizada en cada una de las etapas de trabajo de los procesos productivos involucrados en el análisis, con el fin de lograr los objetivos trazados que permitan impactar y mejorar el negocio.

6.1. DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Con el fin de identificar las variables más relevantes del proceso de perforación que explican los resultados del negocio, se determina el árbol de valor del proceso de Perforación que se presenta en la Figura N°.1.

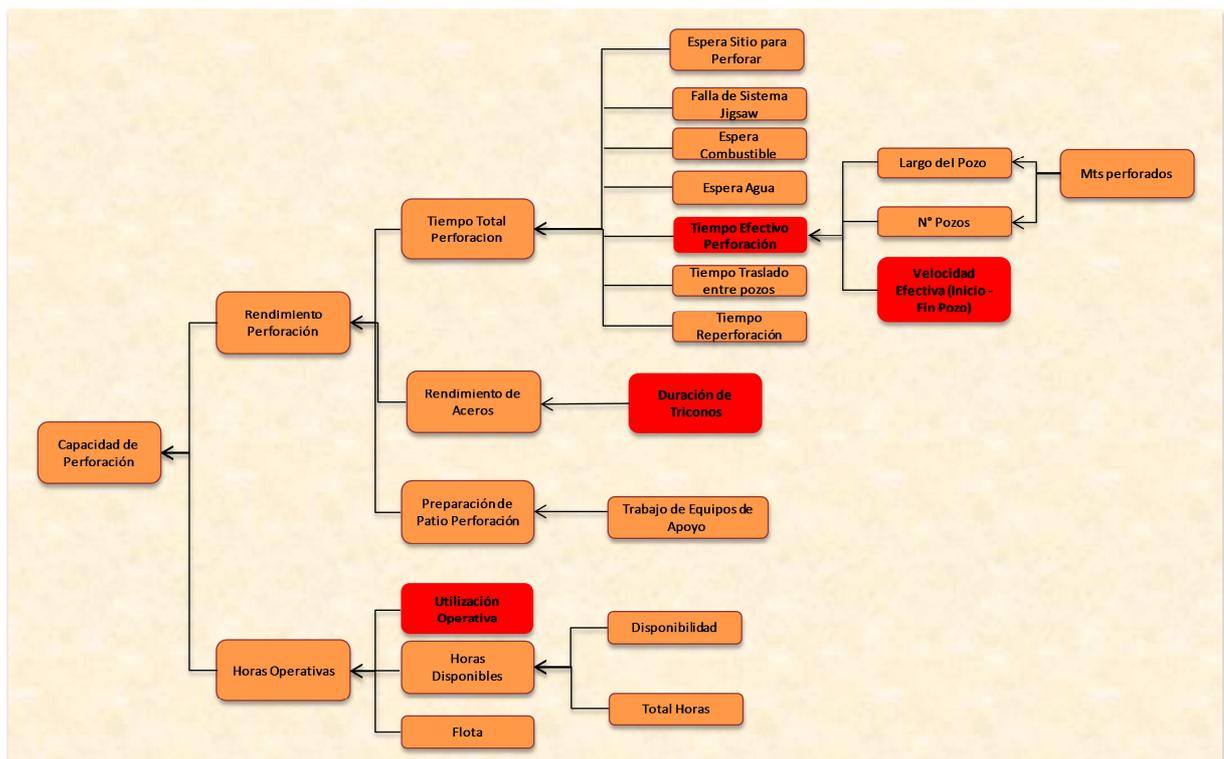


Figura N°.1: Árbol de Valor del proceso de Perforación.

De acuerdo a la figura anterior, las variables más relevantes del proceso de perforación de Rajo Sur son:

- Utilización Operativa
- Duración de Triconos (metros)

- Tiempo Efectivo de Perforación
- Velocidad Efectiva de Perforación

En el caso del análisis de información, se utilizan las bases de datos del área y la información reportada por el sistema de control de flotas Jigsaw, entre el 01 de Enero 2015 hasta el 30 de Septiembre del 2015. Los principales indicadores que se analizan en el proceso de perforación son:

- Uso de Horas por Turno de las Perforadoras
- Horas Efectivas/turno por Flota de perforadoras
- Utilización Efectiva vs Utilización Operativa
- Velocidad Efectiva de Perforación
- Rendimiento de Aceros de Perforación (Triconos)

A continuación en la Figura N°.2 se muestra el Uso de las Horas por turno (hrs / turno) de la Flota de Perforación Primaria (2 equipos).

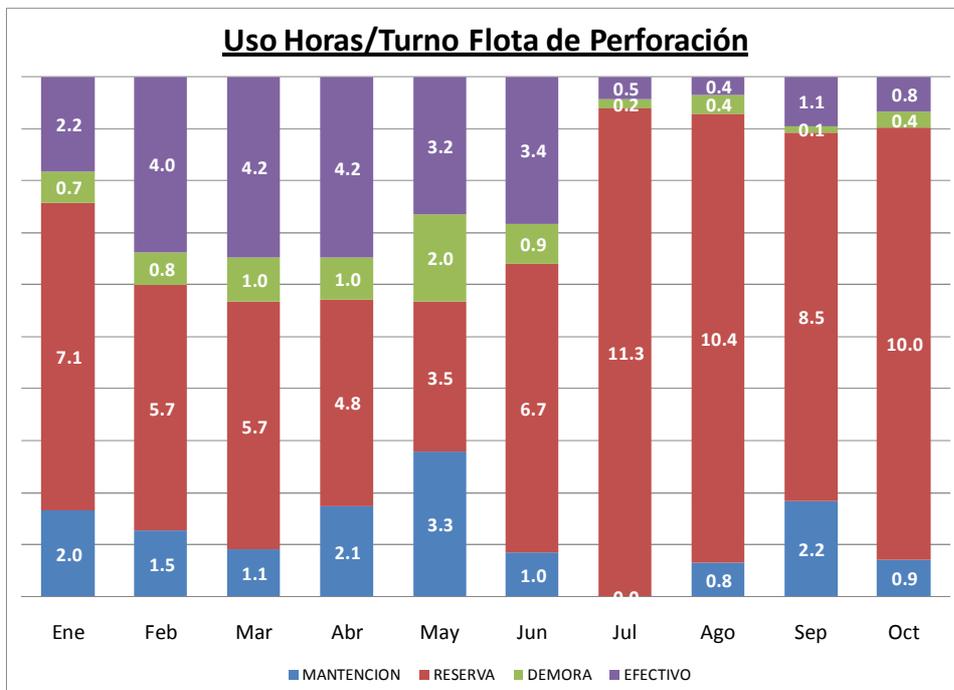


Figura N°.2: Uso de las Horas por Turno de la Flota de Perforación.

De la figura anterior se observa que las horas efectivas de la flota de perforadoras de producción son bastante bajas respecto a las 12 horas del turno, lo cual se explica por una cantidad importante de horas de reserva, principalmente por la categoría “Sin Requerimiento”.

En la Figura N°.3 se muestra las horas efectivas p or turno de las perforadoras según el target programado en el plan.

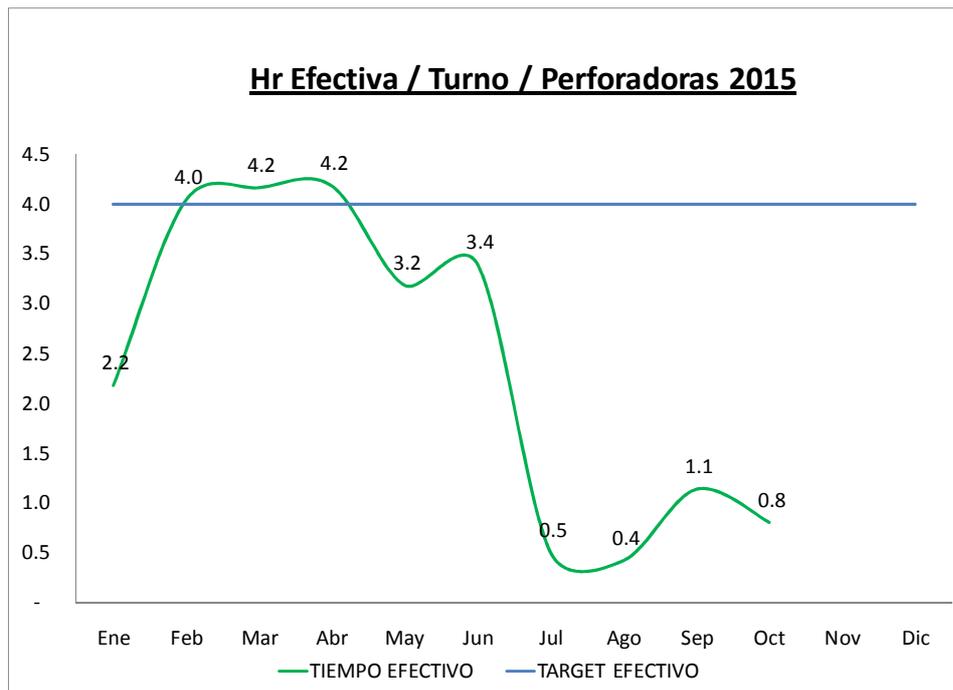


Figura N°6.3: Horas Efectivas por Turno de las perforadoras de Producción.

El target de metros a perforar considerado en el plan, demuestra que existe una holgura de equipos de perforación, debido a que se ha considerado mantener una perforadora por fase, y de esta forma minimizar los traslados, sumado a que por la estrechez de las fases, quedan varios días del mes sin lograr generar nuevos patios de perforación por el avance de la extracción de acuerdo a su ancho operacional.

En la Figura N°6.4 se compara la Utilización Operativa vs Utilización Efectiva de las perforadoras, donde las principales demoras corresponden a cambio de turno y colación.

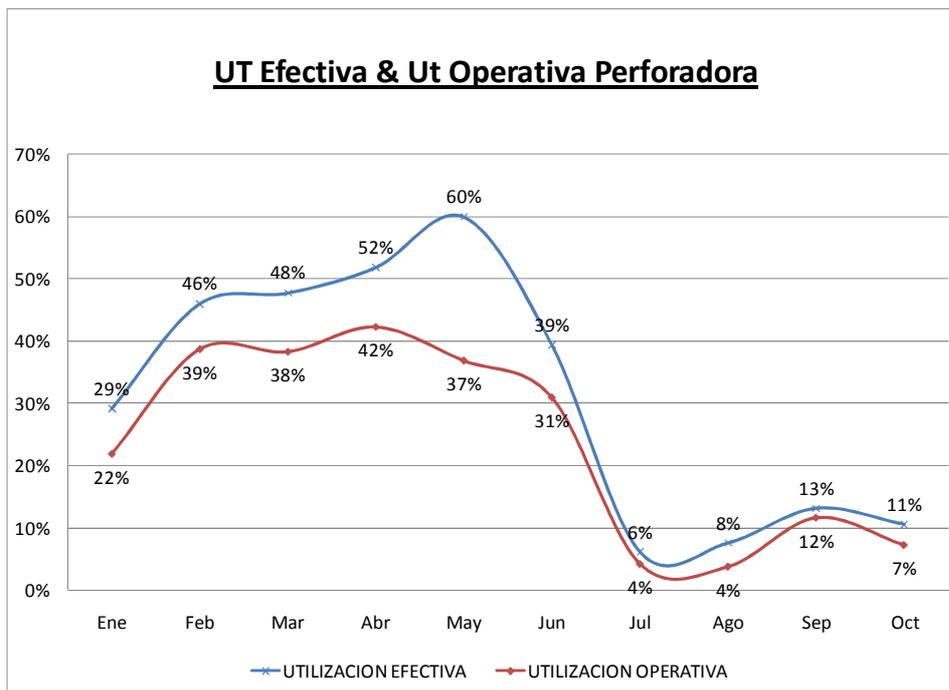


Figura N°6.4: Utilización Efectiva y Utilización Operativa de las Perforadoras.

La Velocidad Efectiva de Perforación Real obtenida mensualmente según la Litología se muestra en la Figura N°6.5, estos valores de velocidad dependen principalmente de la dureza o resistencia de la roca, medida en MPa.

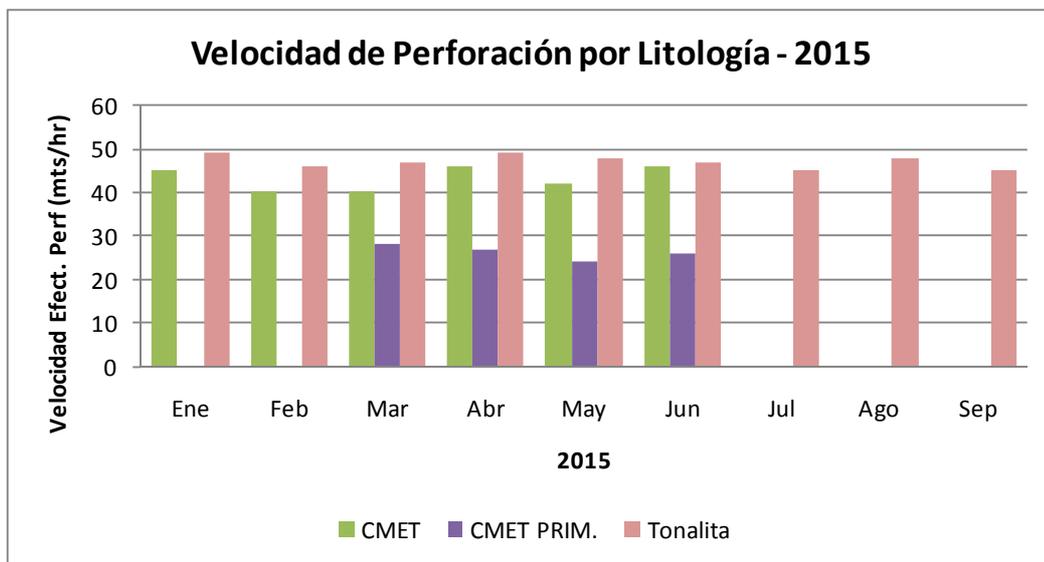


Figura N°6.5: Velocidad Efectiva de Perforación por Litología.

En la tabla N°.1 se indican las velocidades reales de perforación en el tiempo efectivo de operación según la Litología y la resistencia de la roca.

Tabla N°.1: Velocidad Efectiva de Perforación por Litología.

			Velocidad Real Efectiva de Perforación (mts/h) - 2015								
Fases	Litología	Resistencia (MPa)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Fase 1	CMET	20 - 40	45	40	40	46	42	46	-	-	-
	CMET PRIM.	90 -130	-	-	28	27	24	26	-	-	-
Fase 2	Tonalita	20 - 60	49	46	47	49	48	47	45	48	45

El Rendimiento en metros reales perforados de los Aceros de Perforación, principalmente de los Triconos, se muestra en la la Figura N°.6.

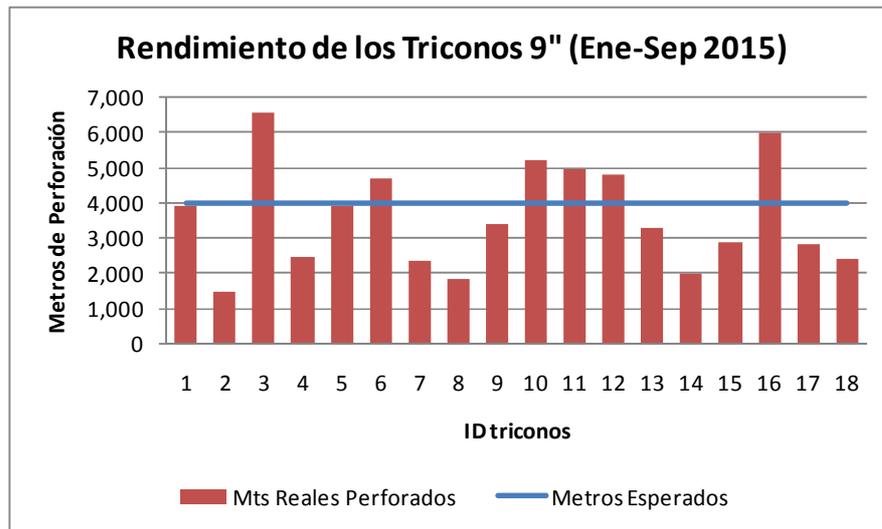


Figura N°.6: Rendimiento en metros de los triconos.

Con estos antecedentes del proceso de perforación expuestos, se puede concluir que la utilización de la flota de 2 perforadas es baja (<40%), por su parte las velocidades de perforación son favorables debido a la condición de resistencia de la roca (blanda a regular), y los rendimientos de los triconos ha sido menor a lo esperado (<4,000m).

En el caso del proceso de Tronadura, las variables más relevantes del proceso de perforación que explican los resultados del negocio se determinan también a través del árbol de valor, el cual se presenta en la Figura N°6.7.

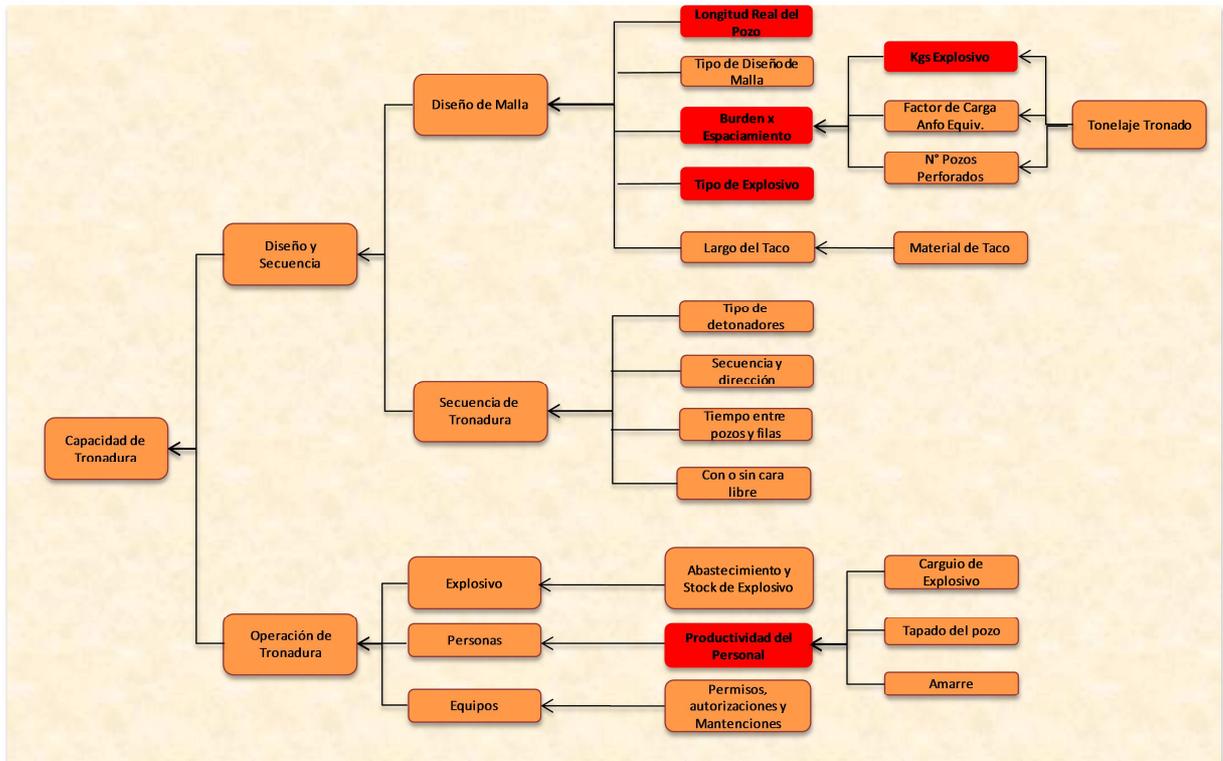


Figura N°6.7: Árbol de Valor del Proceso de Tronadura.

De acuerdo a la Figura N°6.7, las variables más relevantes del proceso de tronadura de Rajo Sur son:

- Kgs de explosivo
- Tipo de Explosivo
- Longitud real de los pozos
- Burden x Espaciamiento
- Productividad del Personal

En el caso del análisis de información, se utilizan las bases de datos del área, entre el 01 de Enero 2015 hasta el 30 de Septiembre del 2015. Los principales indicadores que se analizan en el proceso de tronadura:

- Kgs de explosivo consumidos
- Tipos de Explosivos usados durante 2015
- Longitud real de los pozos
- Tamaños de mallas (Burden x Espaciamiento)
- Dotación de Personal de empresa de explosivos Orica.

En la Figura N°.8 se muestran la cantidad y tipos de explosivos usados mensualmente, además del tonelaje tronado real.

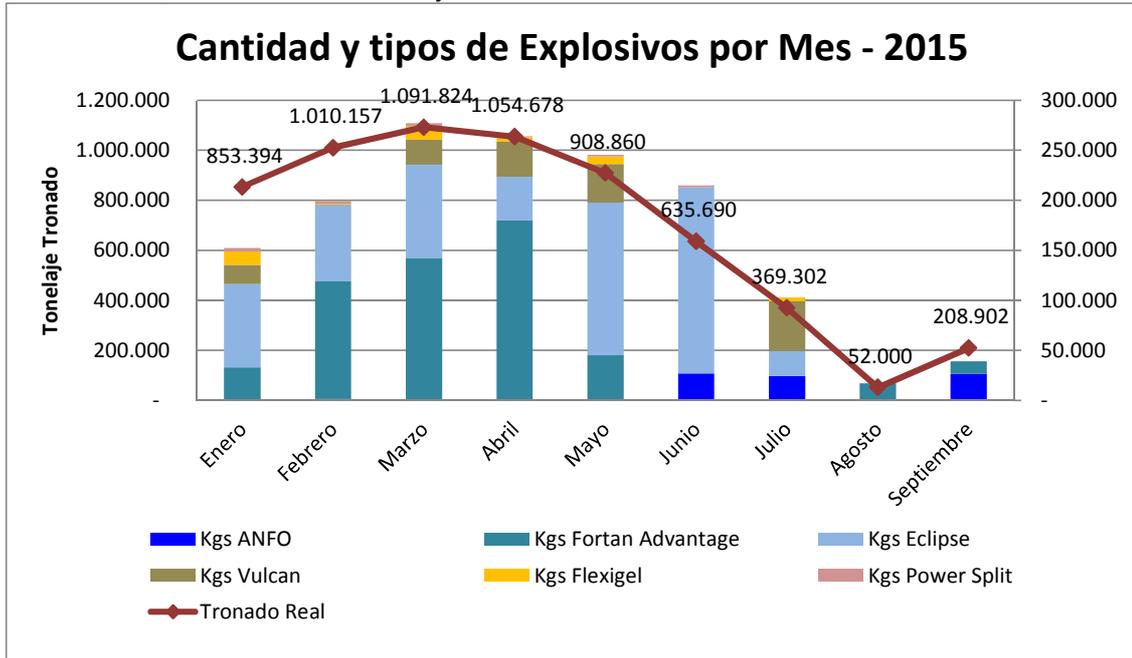


Figura N°.8: Kgs de Explosivos mensuales por tipos de explosivos usados.

En la Figura N°.9 se presenta la longitud real de los pozos, donde se observa que desde Junio se logra 11.8 mts debido al cambio en el largo del adaptador superior de 40" a 67".

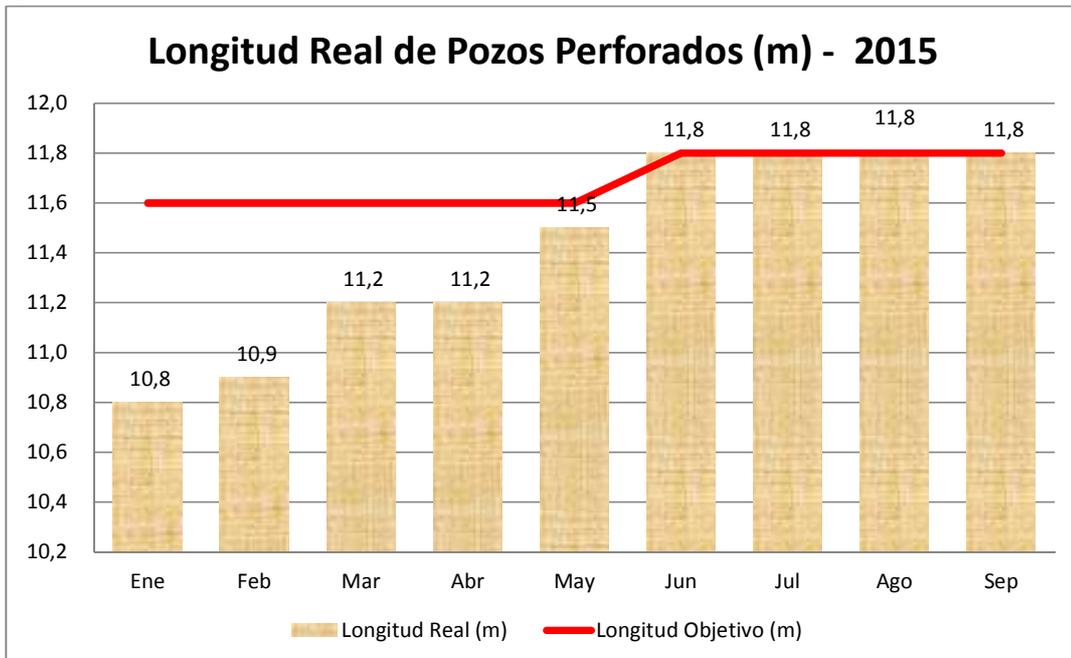


Figura N°.9: Longitud Real de los Pozos (cambio de adaptador superior).

En la Figura N°.10 se muestra la cantidad de pozos tronados por mes según el tamaño de la malla (Burden x Espaciamiento) y la cantidad de tronadas por mensuales.

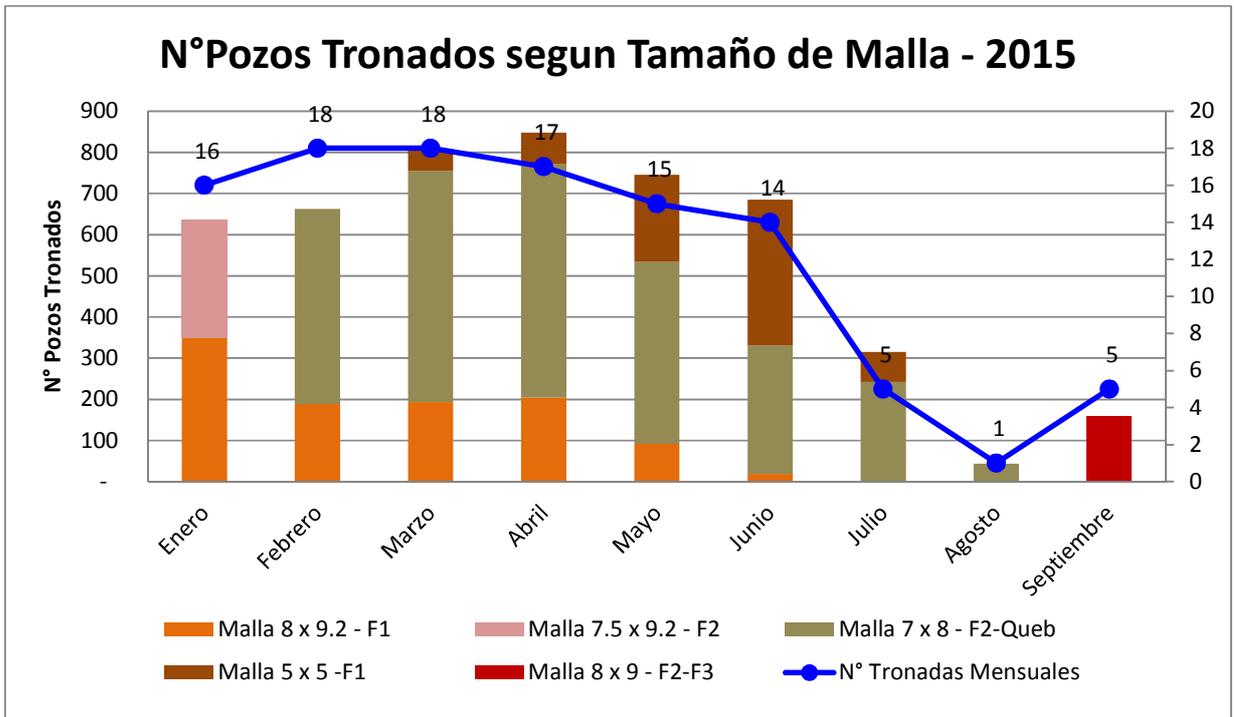


Figura N°.10: Cantidad de Pozos Tronados por tamaño de malla.

En el caso de la productividad se obtiene que es bastante baja al compararla con la industria, el resultado fue de 18 (toneladas de explosivo/total de personas del servicio de tronadura), el estándar de la industria varía entre 40 y 60 (Ton. explosivo/HH).

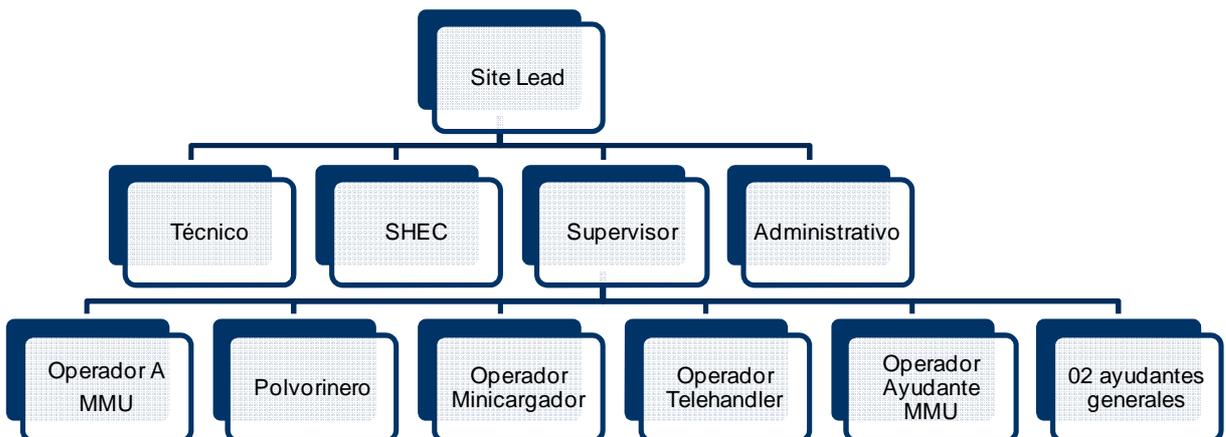


Figura N°.11: Estructura de empresa Orca (antes de Sept 2015).

6.2. MAPEO DE PROCESOS

En el caso del proceso de perforación se genera un mapa de proceso simplificado el cual se muestra en la Figura N°.12, donde también se indican los principales objetivos del proceso productivo.

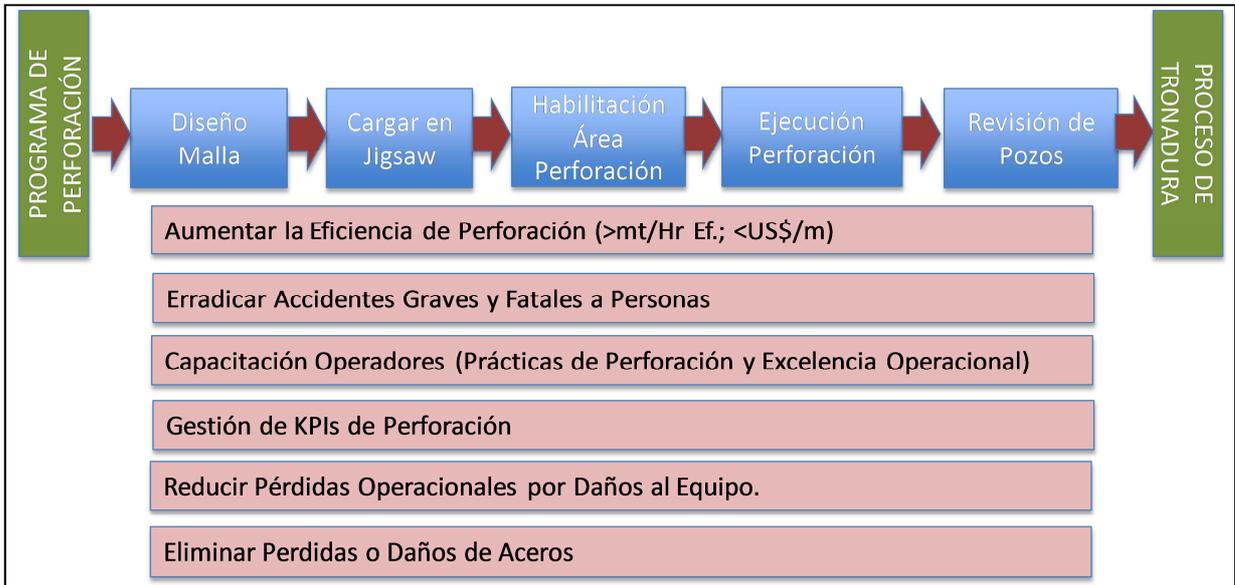


Figura N°.12: Mapa de Proceso Simplificado del Proceso de Perforación.

Además, en el caso de la perforación se incorpora un análisis de una herramienta frecuentemente usada en la implementación de la filosofía LEAN, la cual corresponde a la **OEE (Eficiencia Total del Equipo)**, de los equipos de Perforación, entre enero y septiembre 2015 (Base de datos del sistema de control de flotas Jigsaw), con el fin de detectar las principales pérdidas operaciones y demoras que se presentan en el proceso de perforación.

En la Figura N°.13 se presenta la OEE de la flota de perforación de producción, donde de las 12 horas nominales fueron 10.5 hrs disponibles, 3.16 hrs operativas y **2.36 hrs efectivas de perforación**, principalmente afectadas por reservas como “Equipo sin requerimiento”, “Cambio de turno”, “Colación” y “Condiciones climáticas”, entre otras.

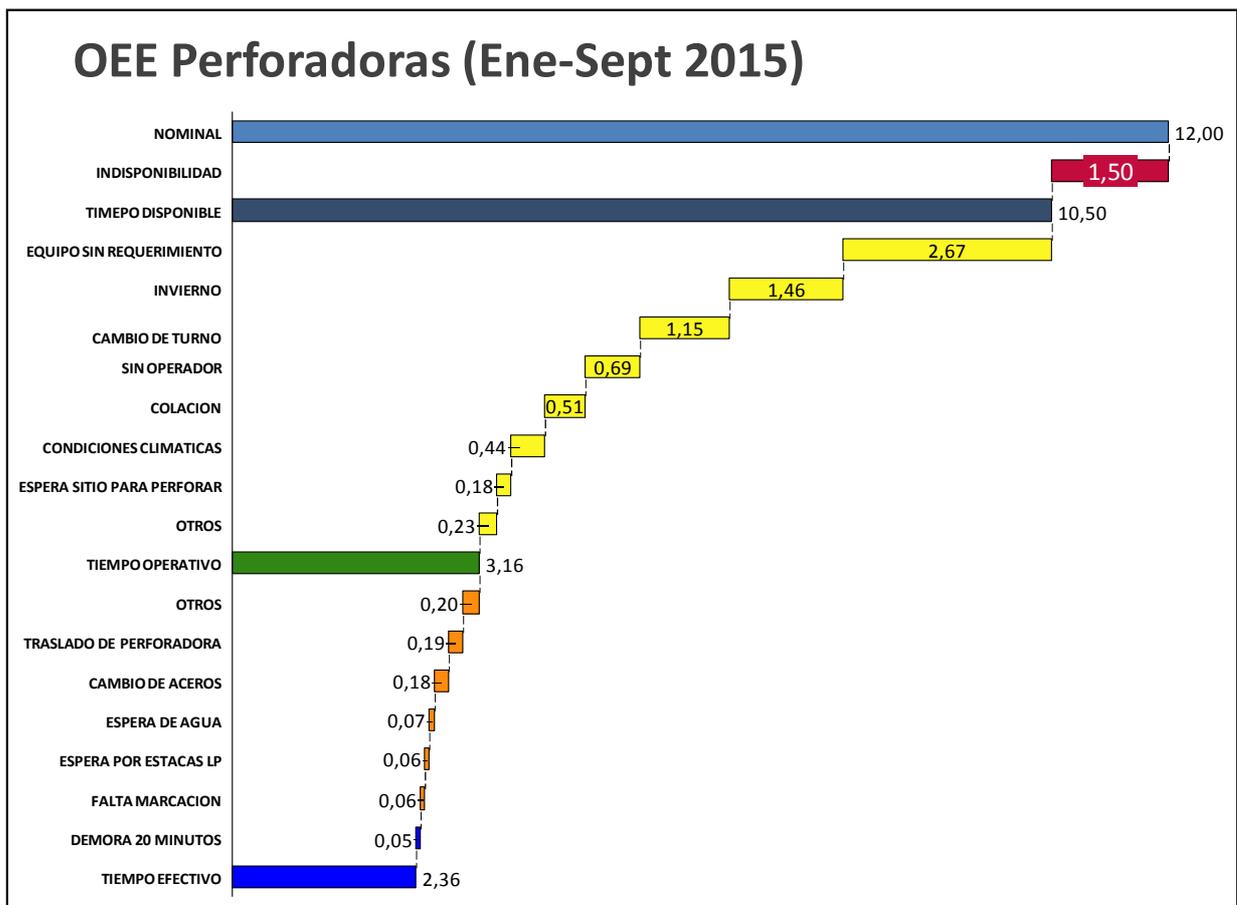


Figura N°.13: OEE de las perforadoras (Enero a Septiembre de 2015).

Finalmente las brechas o pérdidas actuales detectadas en el mapeo de proceso de perforación se muestran en la Figura N°.14, donde cabe destacar que estas corresponden a las siguientes:

- Detención por preparación de patio de perforación.
- Baja Utilización de la Flota de Perforación.
- Menor rendimiento de Triconos.
- Incidentes Operacionales al Equipo.
- Pozos Cortos.

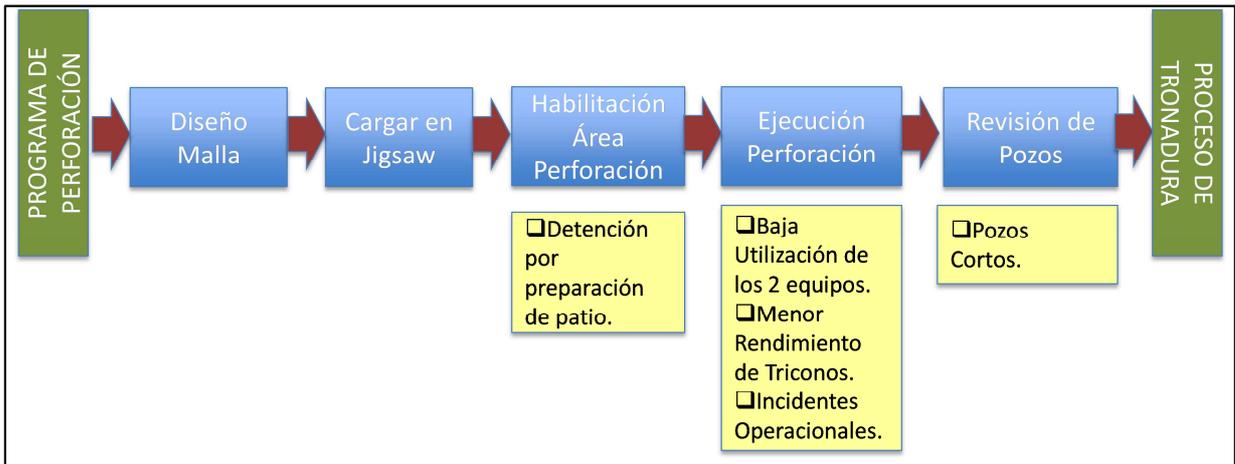


Figura N°.14: Pérdidas Actuales en el Proceso de Perforación.

En el **Anexo 1** se muestra un Mapeo de Proceso detallado de la Preparación de Área y Ejecución de la Perforación.

En el caso del proceso de tronadura se genera un mapa de proceso simplificado el cual se muestra en la Figura N°.15, donde también se indican los principales objetivos del proceso productivo.

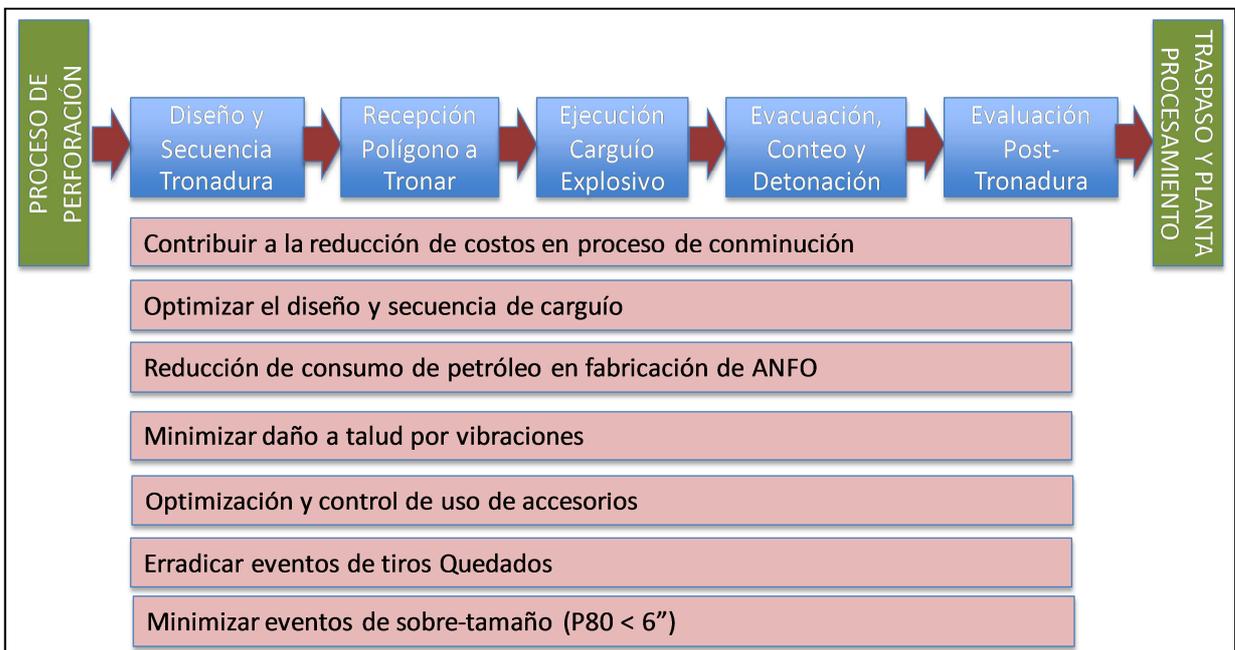


Figura N°.15: Mapa de Proceso Simplificado del Proceso de Tronadura.

Finalmente las brechas o pérdidas actuales detectadas en el mapeo de proceso de tronadura se muestran en la Figura N°.16, donde cabe destacar que estas corresponden a las siguientes:

- Sobregastos en Explosivos Costosos.
- Mallas inefficientes.
- Demora en recepcionar malla por reperfóraci3n.
- Baja Productividad de empresa Orica.
- Frentes de extracci3n dura o apretada.

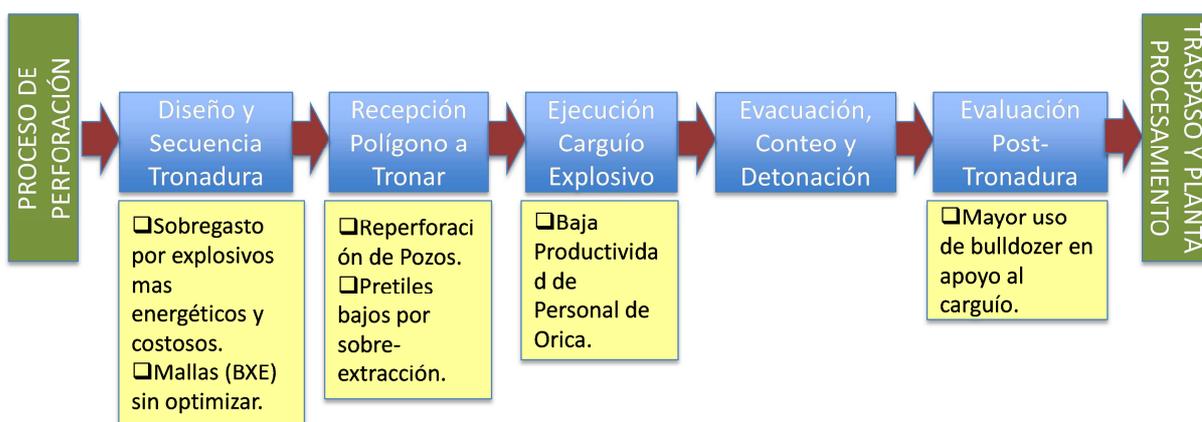


Figura N°.16: Pérdidas Actuales en el Proceso de Tronadura.

En el **Anexo 2** se muestra un Mapeo de Proceso detallado del Diseño & Secuencia de Tronadura y la Ejecuci3n del Carguío de Explosivo.

Posteriormente, todas estas oportunidades de mejoras detectadas se clasifican según una matriz determinística y cualitativa, con el fin de priorizar los planes de acción a implementar según su facilidad de Implementación y su nivel de impacto al negocio, ver Figura N°.17.

De acuerdo a la matriz de la Figura N°.17, el siguiente capítulo se concentra en diseñar los planes de acción para implementar las ideas del cuadrante (cajetines de color verde) que corresponde de Alta Facilidad de Implementación y Alto Nivel de Impacto, los cuales permiten lograr los objetivos de este estudio.

Finalmente se concluye que este tipo de reuniones, talleres y/o capacitaciones permiten generar la participación activa de trabajadores, sumado a que aprenden cuales son las principales ineficiencias y desperdicios dentro de sus tareas diarias, así también, permite que ellos propongan ideas para generar potenciales soluciones para eliminar los desperdicios del proceso.

6.4. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PLANES DE ACCIÓN

En esta etapa se termina por definir el plan de acción que permite solucionar las pérdidas o desperdicios detectados, y a su vez, se realiza la implementación de la metodología LEAN al proceso de Perforación & Tronadura a través de las herramientas que entrega esta metodología de Excelencia Operacional como son Estandarizar los procesos, Generar los Diálogos de Desempeño , Análisis Causa Raíz, Confirmación de Procesos y Desarrollo del Personal.

6.4.1. CONTROL INTEGRAL DE PERFORACIÓN

El plan de acción de “Control Integral de Perforación” permite abordar las siguientes oportunidades de mejoras detectadas en la etapa anterior:

- Pozos Cortos
- Reperforación
- Preparación Patio de Perforación
- Duración Triconos
- Incidentes Operacionales

Este plan de acción permite abordar todas estas variables, controlando la calidad de la perforación desde la programación de la perforación hasta que la malla de pozos perforados es entregada al proceso de tronadura para el proceso de carguío de explosivo. Lo anterior es apalancado mediante las herramientas que entrega el sistema de gestión LEAN que se describen a continuación:

ESTANDARES DE TRABAJO

Los estándares de trabajo permiten que la tarea o trabajo asignado se realice de forma sistemática evitando las desviaciones, con el fin de que todo operador previamente capacitado pueda realizar el trabajo de la misma forma, provocando que el mejoramiento continuo se instale en la cultura de la organización. Por esta razón, se genera un Estándar para el operador de perforación, el cual indica todas las actividades relevantes que se deben realizar para el control de largo de los pozos de producción, lo cual ayuda a evitar que se generen desviaciones asociadas al largo de los pozos, las cuales pueden provocar sobregastos por re-perforación y/o demoras en la entrega de la malla de perforación al proceso de tronadura.

En la Figura N°.18 se muestran de forma resumida el Estándar de Trabajo para el Control de la Longitud de los Pozos por parte del operador.

Operador Perforación - Estándar Control de Largo Pozos

1. Verificar Largo de diseño del pozo en Jigsaw	
2. Revisar Columna de Perforación	
3. Realizar Perforación según Procedimientos	
4. Trasladar Equipo a otro Pozo	
5. Medir longitud Real del Pozo Perforado	
6. Reportar a Jefe de Turno en caso de desviación	

Figura N°.18: Estándar de Trabajo para el Control de la Longitud de los Pozos.

Además, se genera un Check List de Entrega de Malla de Perforación el cual debe ser completado de forma diaria para cada tronadura por parte del Supervisor de Producción de Perforación & Tronadura, Geólogo de Producción, Jefe de Turno y Supervisor de Tronadura (Empresa Orica), donde se indican las principales condiciones del entorno de la malla de perforación, condiciones de terreno, configuraciones de diseño, condición del proceso de muestreo geológico de pozos, condiciones operacionales y condiciones

de proceso de tronadura. De esta forma esta herramienta correspondería a una última barrera para el control de la calidad de la perforación.

Una adecuada y sostenida ejecución de este Check List permite minimizar desviaciones en el proceso, y de esta manera evita que se provoquen demora en la entrega de malla perforación al proceso de tronadura, resguardando la calidad de la misma.

En la Figura N°.19 se muestra el Check List de Entrega de Malla de Perforación que debe ser completada por la supervisión que interactúa en el proceso de Perforación & Tronadura.

CHECK LIST DE ENTREGA DE MALLA DE PERFORACIÓN A TRONADURA										
1.- Identificación.					4.- Geología - Muestreo					
Fecha:	Fase:	Banco:	Polígono:		Condición			Si	No	Comentario
Descripción de sector:					1 ¿Existe autorización para el ingreso a malla?					
Realizado por	Nombre:	Grupo:	# Revisión:		2 ¿Detritus de perforación se encuentran en buen estado?					
2.- Evaluación condición del patio (marque con una X según corresponda).					3 ¿Se realiza coordinación para muestreo con operador dueño de área?					
Condición					4 ¿Existe tiempo suficiente para realizar muestreo?					
1 ¿Patio de perforación esta nivelado?	Si	No	Comentario		5 ¿Se revisa cartilla de perforación (pull down, rpm, tpo de perforación)					
2 ¿El patio cuenta con pretil de segregación y dos accesos?					¿Malla muestreada y entregada?			Si	No	Comentario:
3 ¿La altura de los pretil de borde es de no mas de 0.5 mts de altura?					Geólogo de Producción					
4 ¿La altura de los pretil donde transitan CAEX, es de 1.5 mts de altura?					Nombre			Firma		
5 ¿El patio esta limpio sin material esponjado del polígono contiguo?					5- Tronadura -Orica					
6 ¿Existe visera en el corte donde están los pozos de borde?					Condición			Si	No	Comentario
7 ¿La estabilidad de los taludes del sector, permite perforar en el banco?					1 ¿Existe pretil de seguridad en el área que delimita área de trabajo?					
8 ¿La malla de perforación de producción esta en Jigsaw?					2 ¿Hay pozos cortos o inexistentes?					
9 ¿En la perforación de precortes existe pretil entre la pata y los pozos?					3 ¿Hay material apropiado para el tapado?					
10 ¿La Línea de diseño esta lograda?					4 ¿Los equipos están fuera de los 20 metros del ultimo pozos?					
11 ¿Los precortes están marcado e identificados en terreno?					5 ¿Se revisa cartilla de perforación (pull down, rpm, tpo de perforación)					
12 ¿Se realizó saneamiento de la pared, antes de marcar precortes?					¿Malla tronada y sin PTQ?			Si	No	Comentario:
13 ¿La malla de perforación de precortes esta en Jigsaw?					Supervisor Orica					
14 ¿Se entrega planos de producción y precortes a perforista?					Nombre			Firma		
15 ¿Existe presencia de agua en el piso?					Supervisor de Producción:					
3.- Aprobación.					Nombre			Firma		
Observaciones:					Ingeniero P&T:			Nombre		Firma
¿Patio de Perforación aprobado?					Si	No	Comentario:			
Supervisor de Producción:					Nombre			Firma		
Ingeniero P&T:					Nombre			Firma		
6.- Limpieza post Tronadura					Se realiza limpieza de tronada			Si	No	Comentario:
Supervisor de Producción:					Nombre			Firma		

Figura N°.19: Check List de Entrega de Malla de Perforación.

DEFINIR ROL Y RESPONSABILIDADES

Con el objetivo de indicar claramente la función y tareas que debe realizar cada uno de las personas involucradas en el proceso, según su cargo y función, es que se definen los roles y responsabilidades de cada uno de los entes que participan directa o indirectamente en el proceso, con el fin de evitar duplicidad de trabajo, eliminar trabajos innecesarios y principalmente evitar desperdicios en el desarrollo del trabajo.

En el **Anexo 3** se presenta el detalle de las funciones descritas para el rol y responsabilidad de acuerdo al cargo de las personas involucradas en el proceso de Perforación.

CAPACITACIÓN Y EVALUACIÓN

De acuerdo al programa de Capacitación de Mina Rajo Sur, los operadores de perforadoras fueron capacitados durante los meses de Julio y Agosto (Periodo Invernal) en cursos evaluados de aceros de perforación y operación de perforadoras por parte de empresa Triconos Mineros y del personal propio de Capacitación respectivamente, además, recibieron talleres de capacitación en Excelencia Operacional y Metodología LEAN por parte del personal de la Dirección de Excelencia Operacional de la División El Teniente.

En estas jornadas los operadores de perforadoras conocieron los conceptos básicos de la Filosofía LEAN, así también el enfoque actual del negocio minero, por lo que entendieron lo relevante que es la adherencia a la excelencia operacional en la operación con el fin de contribuir con la reducción de costos, principalmente en un escenario de precios bajos del Cobre.

En el caso del curso de perforación el objetivo fue revisar los siguientes aspectos:

- Operación adecuada de perforación.
- Aceros de perforación.
- Estándar en parámetros de perforación.
- Uso excesivo de torque de rotación.
- Traslados.
- Segregación de áreas de perforación.
- Sobre consumo y costos de aceros.
- Reperforación de pozos.
- Doblamiento de barras.
- Operación mixta perforación de precorte y producción.

El total de personas que realizaron el curso fueron 12 operadores, los cuales al final de la jornada rindieron un examen teórico, el cual consideraba aspectos de seguridad, costos y producción. Cabe mencionar que el personal en general obtuvo calificaciones sobre el 80% en sus evaluaciones, sin embargo, existen distintas debilidades que se deben seguir trabajando, por lo que es necesario, continuar con uno de los pilares principales de la filosofía LEAN que corresponde al Desarrollo del Personal.

CAMBIO DE ADAPTADOR SUPERIOR

Con el fin de garantizar la longitud de los pozos, en conjunto con los proveedores de aceros y con el representante de la marca de las perforadoras Caterpillar MD-6240 (Finning), en una reunión en terreno se opta por modificar la sarta de perforación, para lo cual es necesario agrandar el adaptador superior de la perforadora, que hasta ese momento presentaba un largo de 40", y de acuerdo al largo de la torre y a la altura de la plataforma, se calcula que la máxima longitud del adaptador a instalar sería de 67", por lo cual, se procede a solicitar la fabricación del acero con la nueva medida.

En la Figura N°.20 se muestra una fotografía de los nuevos adaptadores superiores, los cuales permiten lograr una longitud de perforación hasta 12 mts, en single pass.



Figura N°.20: Adaptadores Superiores de 67" de largo.

Lo descrito anteriormente se demuestra con en la Figura N°.21, donde se refleja que desde Junio 2015, mes donde se instalan estos nuevos adaptadores, la longitud real alcanza valores promedios de 11,8 mts.

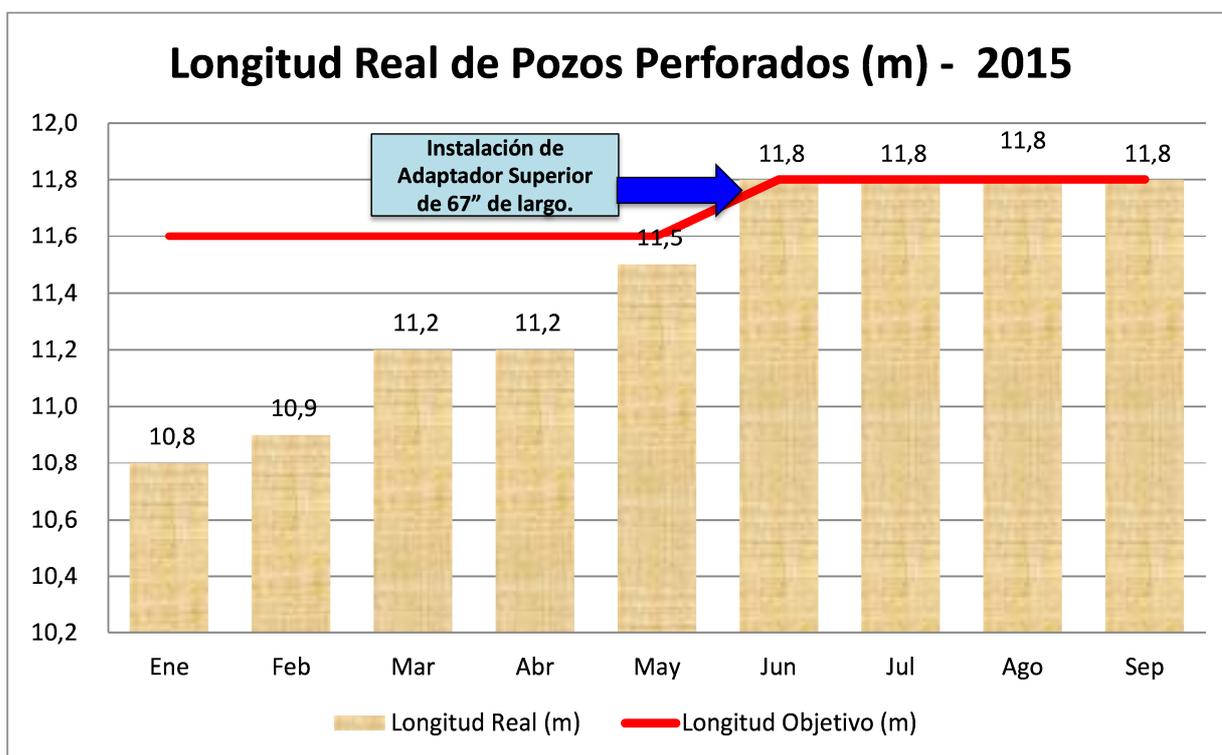


Figura N°6.21: Longitud Real De Pozos Perforados con Nuevo Adaptador.

RECOMENDACIONES PARA PROLONGAR VIDA DEL TRICONO

En las máquinas de perforación se colocan trípticos con las principales recomendaciones para prolongar la vida del tricono, las cuales también están indicadas en el procedimiento de perforación para la flota de perforadas Caterpillar MD-6240.

Entre estas recomendaciones se destacan las siguientes:

- Mantener la rotación mientras el tricono viaja dentro y fuera del pozo.
- No descansar el tricono sobre el fondo del pozo por un largo periodo de tiempo, en el caso de una detención soplar el pozo limpiándolo antes de seguir perforando.
- Use solo barras derechas con una mantención apropiada de los hilos de conexión, barras torcidas disminuirán drásticamente la vida del tricono.
- Para empatar un nuevo pozo reduzca el Pull Down (Empuje) y la rotación.
- Entre otras.

6.4.2. OPTIMIZACIÓN DE MALLAS Y TIPOS DE EXPLOSIVOS

El plan de acción de “Optimización de Mallas y Tipos de Explosivos” permite abordar las siguientes oportunidades de mejoras detectadas en la etapa anterior:

- Frentes de Extracción Duras y Apretadas
- Sobregastos en Explosivos Costosos
- Mallas Ineficientes
- Baja Productividad de Personal Orica

Este plan de acción permite abordar todas estas variables, controlando el diseño de las mallas, secuencia de iniciación, tipos de explosivos y continuamente revisar los resultados obtenidos en cuanto a granulometría del material tronado, incluyendo el rendimiento de los equipos de carguío y las horas de uso de Bulldozer. Todo esto en un proceso iterativo, que continuamente analiza los resultados en cuanto a calidad de la tronadura y también a los costos del proceso, realizando el control del proceso a través de las reuniones semanales de post-tronadura, en conjunto con las otras áreas de trabajo como Planificación, Geología y Geomecánica.

Un poco de historia, en el mes de Enero 2015 se detectan frentes de extracción duras y apretadas en la fase 2, al realizar los Análisis Causales según la Metodología LEAN, se detecta que existía una desviación importante en cuanto a la calidad de la perforación (pozos cortos), mallas irregulares, lo cual sumado a que las mallas eran grandes (8x9, Burden x Espaciamiento), provoca que se presentarán sectores duros que el cargador no podía extraer sin la ayuda de Bulldozer.

Esta condición fue solucionada inmediatamente al reducir la malla a una 7x8, tal como muestra la Figura N°.10, aumentando el consumo de explosivos y gastos variables de tronadura entre los meses de Febrero y Julio, además, en estos meses los explosivos que principalmente se utilizaban correspondían a Emulsiones (Anfos Pesados) que consideraban un costo mayor que el ANFO.

Además, en el caso de la perforación se estandariza el proceso según la metodología LEAN, tal como se describió en el Capítulo 6.4.1.

En el mes de Julio de 2015, al realizar la proyección de costos de tronadura hasta fin de año con el nuevo Plan Minero, se detecta que si continúan las mismas configuraciones (malla 7x8 cargada con Anfo Pesado o Emulsión y con un Factor de Carga en ANFO Equivalente de 240 gr/ton) los costos excederían en un 20% el presupuesto anual. Por tal razón, considerando que hasta ese momento el proceso de perforación ya había mejorado en cuanto a calidad de los pozos perforados, debido a la estandarización y control de las actividades, se analizan distintas configuraciones de diseño de malla y de tipos de explosivos.

Posteriormente se analizan y simulan 3 propuestas, las configuraciones de diseño y explosivo se presentan en la Figura N°.22, además la proyección en cuanto a granulometría estimada en la simulación para cada alternativa se presenta en la Figura N°.23.

DISEÑOS DE PRODUCCION

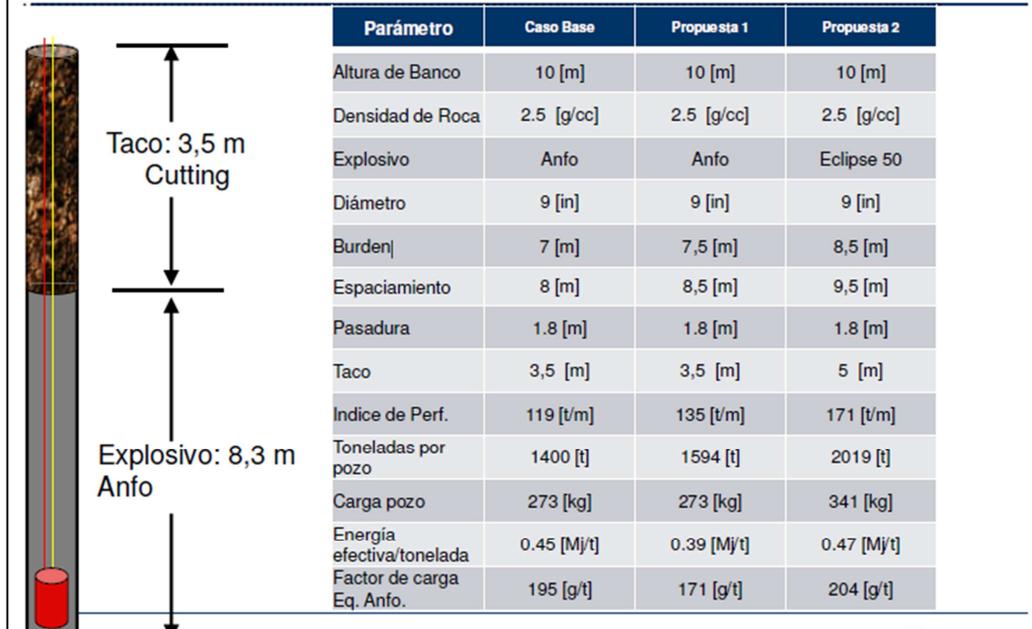


Figura N°.22: Propuesta de Configuraciones de Diseño.

SIMULACION FRAGMENTACION

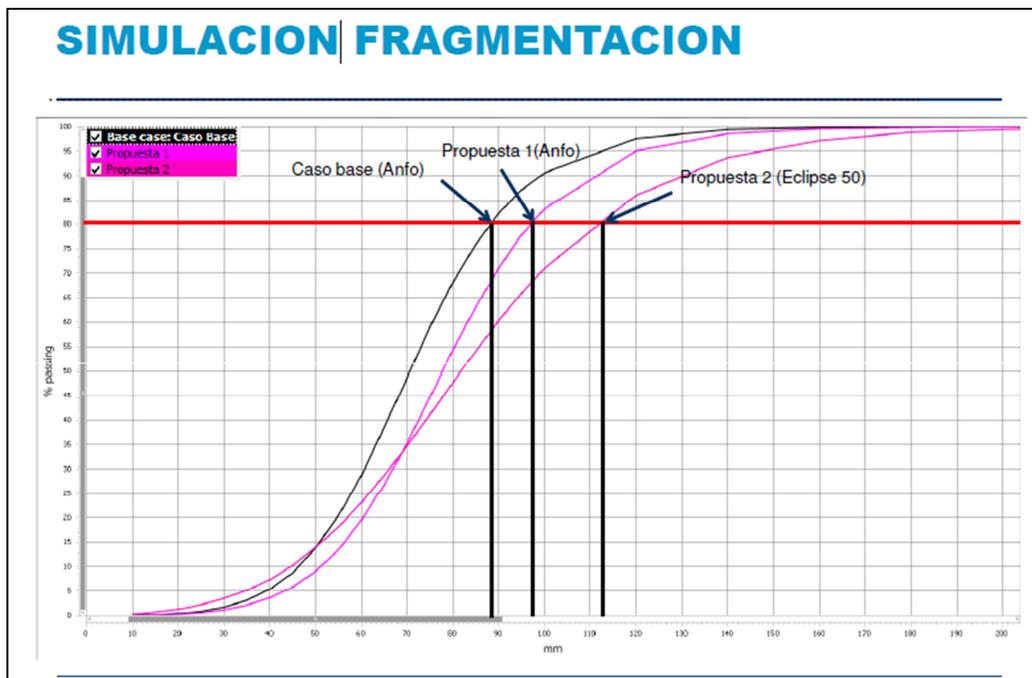


Figura N°.23: Granulometría estimada (P80 en mm).

Finalmente, al opción seleccionada e implementada corresponde a un diseño de malla de 8x9 cargada con ANFO y con un Factor de Carga en ANFO Equivalente de 151 gr/ton, la cual permite reducir la cantidad de kgs de explosivos consumidos debido al aumento del tamaño de la malla, así también se disminuyen los gastos al usar un explosivo más barato como es el Anfo, lo cual implica una reducción en los gastos variables de tronadura.

En la Tabla N°.2 se muestra una comparación cuali tativa en cuanto a Energía, terreno con Temperatura, terreno Reactivo y Costos para cada uno de los explosivos usados hasta Julio 2015 en el Rajo Sur.

Tabla N°.2: Comparación de Características de Explosivos usados en Rajo Sur.

Características de Explosivos	ANFO	Fortan Advantaje 50	Eclipse	Vulcan	Vistan 200i
Energía	2.3 (MJ/Kg)	+E	++E	++E	+++E
Terreno con Temperatura	No	No	No	Si	No
Terreno Reactivo	No	No	Si	Si	Si
Costos	640 * (US\$/t)	+C	++C	++C	+++C

(*), Valor según tasa de cambio del contrato y a la fecha del estado de pago de junio de 2015.

Cabe mencionar que la roca de Fase 2 y 3 en general corresponde a una roca de blanda a regular competencia, y sin presencia de terreno reactivo ni temperaturas (según los análisis realizados y las mediciones de terreno), lo cual permite definir que los explosivos que se usarán serán principalmente ANFO y Eclipse, este último sólo se usará en sector de bloques pre-formados (Extremo Norte de Fase2) y en caso de presencia de terrenos reactivos (Podría presentarse desde banco 2860 de Fase 2, el cual se explotaría recién a partir de Enero 2017 según plan minero actual).

Lo mencionado anteriormente se confirma con los datos reales obtenidos respecto al tipo de explosivos consumidos hasta Diciembre 2015 según la Figura N°.24, así también, por los tamaños de mallas de diseño usadas hasta Diciembre 2015 según la Figura N°.25.

En la Figura N°.24 se muestran la cantidad y tipos de explosivos usados mensualmente, además del tonelaje tronado real hasta Diciembre 2015.

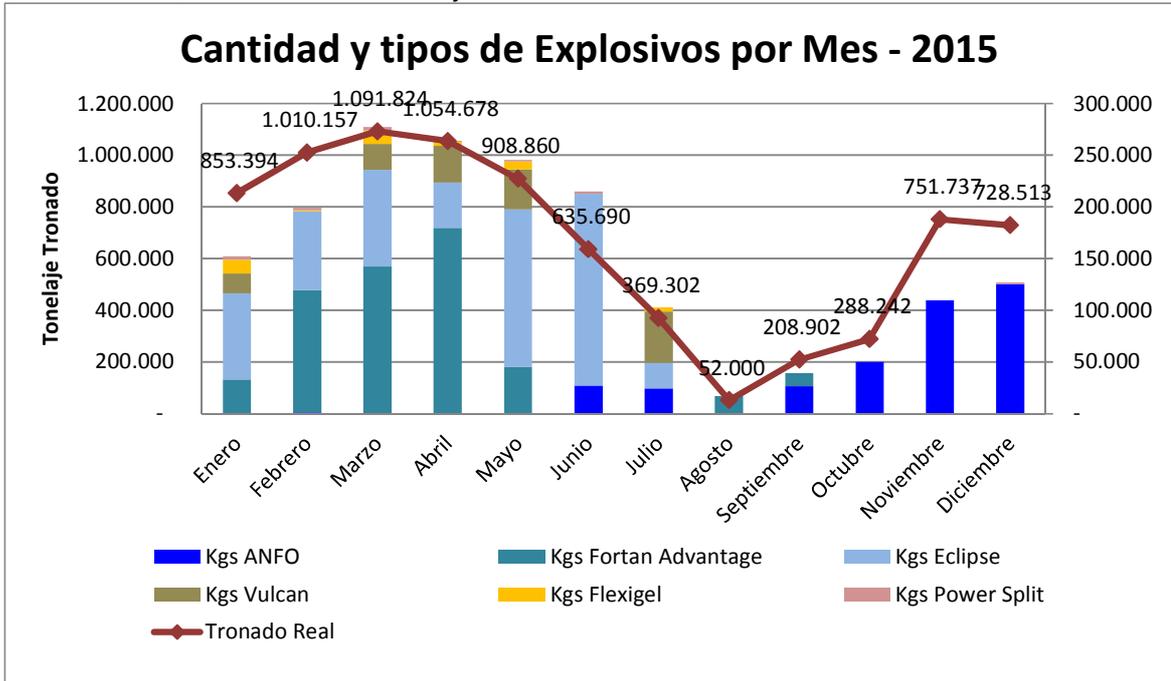


Figura N°.24: Kgs de Explosivos mensuales por tipos de explosivos usados.

En la Figura N°.25 se muestra la cantidad de pozos tronados por mes según el tamaño de la malla (Burden x Espaciamiento) y la cantidad de tronadas hasta Diciembre 2015.

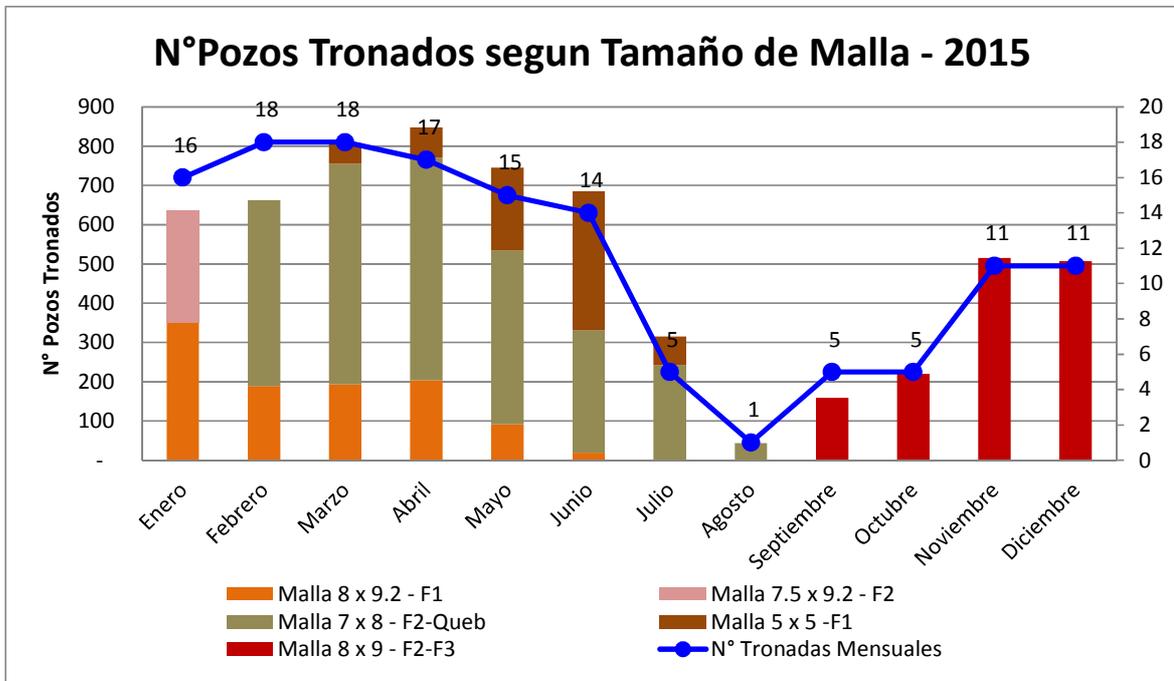


Figura N°.25: Cantidad de Pozos Tronados por tamaño de malla.

REDUCCIÓN DE COSTOS FIJOS DE CONTRATO TRONADURA

En forma paralela se realizan distintas acciones en conjunto con la gerencia de Orica, con el fin de reducir los costos fijos del contrato, realizando un análisis de las brechas y perdidas del servicio, detectándose oportunidades fáciles de implementar como cambiar un gasto de transporte de personal exclusivo por los buses de la red Teniente, así también, de reducir un operador del servicio de Tronadura, tras un detallado análisis de tiempos de carguío de explosivo, en el cual se determina una baja productividad (toneladas tronadas/HH) que presentaba el servicio en los últimos meses.

En la Figura N°.26 se muestra un resumen del proyecto de reducción de costos fijos implementado en Mina Rajo Sur.

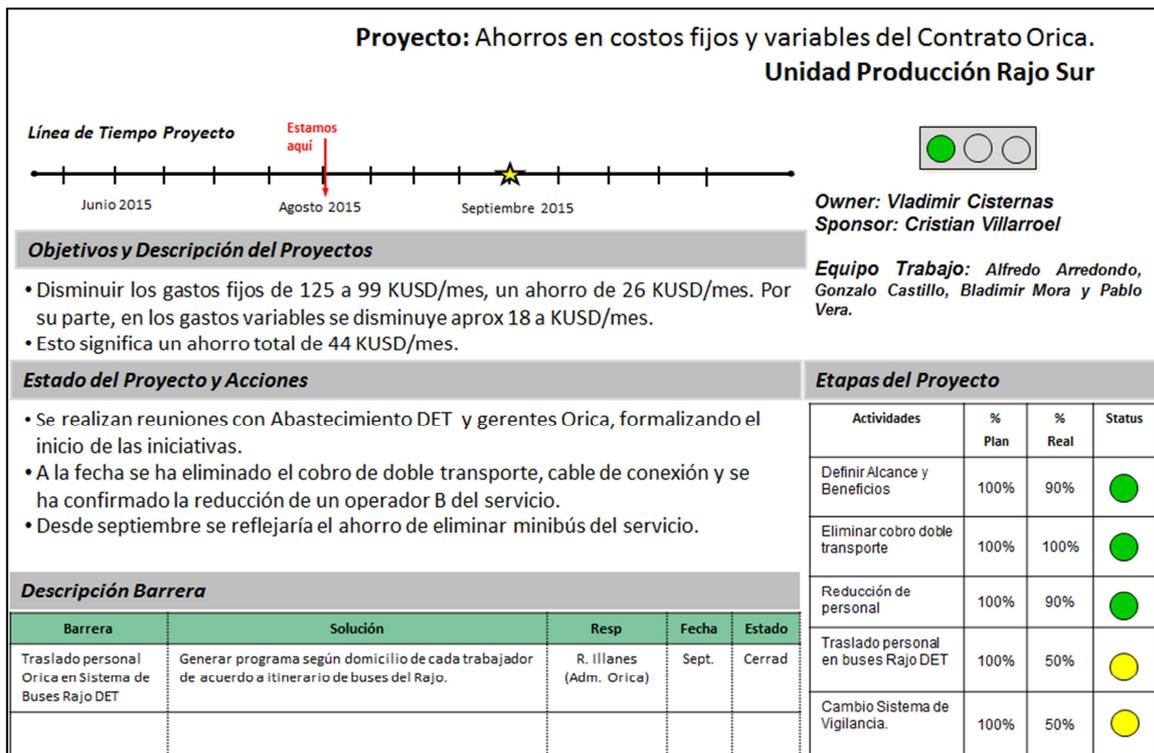


Figura N°.26: Proyecto de Reducción de Costos Fijos de Tronadura.

6.4.3. PLANES DE ACCIÓN DE MEDIANO PLAZO

En el caso de la oportunidad de mejora detectada referente a la Baja Utilización de la Flota de 2 equipos de perforación de producción, y según el nuevo plan minero, se reducirá la Flota a solo una perforadora, aumentando su utilización actual de 40% a unos 60%, y con las actuales velocidades de perforación (45 mts/hr ef) en caso de mantenerse la calidad de la roca y con una disponibilidad mecánica de 85% no habría problemas de cumplir con los metros a perforar.

En la Figura N°.27 se muestra un resumen del proyecto de reducción de costos por utilizar solo una perforadora de producción en Mina Rajo Sur.

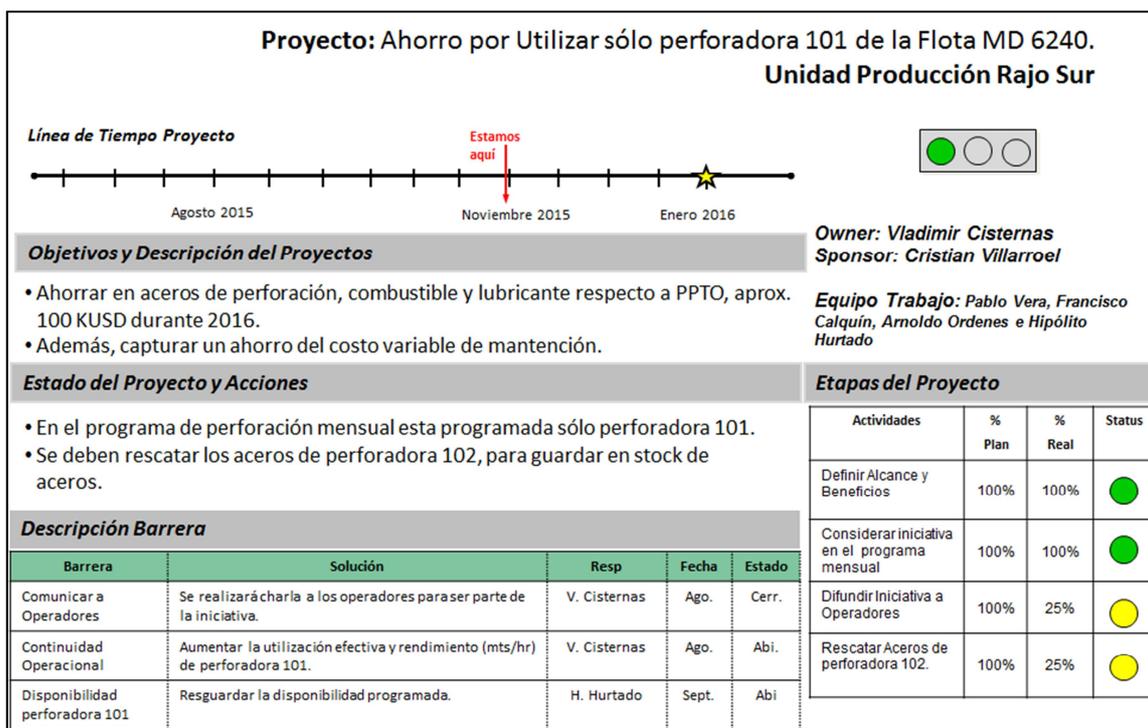


Figura N°.27: Proyecto de Reducción de Costos por Disminuir Flota CAT MD-6240.

A continuación en la Tabla N° 6.3 se presenta un resumen de las distintas pérdidas o desperdicios detectados y abordados en el estudio, los planes de acción implementados, las herramientas LEAN usadas y los logros alcanzados.

Tabla N°.3: Resumen de Iniciativas Lean y los Logros Alcanzados.

Desperdicio o Pérdida	Planes de Acción LEAN	Herramientas usadas	Logros Alcanzados
Pozos Cortos	Control Integral de Perforación	Estandar Control de Largo de Pozos, Check List de Entrega de Malla de Perforación, Rol y Responsabilidades, Dialogos de Desempeño y Capacitación. Además, se realiza cambio de adaptador superior.	Mejora la calidad de la perforación, reduciendo gastos de aceros minimizando la re-perforación.
Reperforación			
Preparación Patio Perforación			
Duración Triconos			
Incidentes Operacionales			
Frentes de Extracción Duras	Optimización de Mallas y Tipos de Explosivos	Modificar diseño de mallas, usando menos cantidad de explosivo y el más barato, a través de pruebas en terrenos medidas y evaluadas. Además se reducen gastos fijos del contrato en transporte y logística.	Mejora la calidad de material tronado, reduciendo gastos por mallas óptimas y explosivo mas barato.
Sobregastos en explosivos			
Mallas ineficientes			
Baja Productividad personal			

7. RESULTADOS DE IMPLEMENTACIÓN LEAN

La implementación del Sistema de Gestión LEAN se ha realizado de forma paulatina durante el segundo semestre del 2015 en los Procesos de Perforación & Tronadura de Mina Rajo Sur.

En los últimos 3 meses del 2015 se logra finalmente terminar de implementar los Planes de Acción que permiten abordar las oportunidades de mejoras que corresponden según la matriz de priorización al cuartil de Alto Nivel de Impacto y Alta Facilidad de Implementación, las cuales se resumen a continuación:

- Control Integral de la Perforación
 - Generar Estándares de Trabajo
 - Definir Rol y Responsabilidades
 - Capacitación y Evaluación
 - Cambio de Adaptador Superior
 - Recomendaciones para Prolongar Vida del Tricono
- Optimización de Mallas y Tipos de Explosivos
- Planes de Acción de Mediano Plazo

En el caso del plan de acción de “Control Integral de Perforación” permite controlar la calidad de la perforación desde la programación de la perforación hasta que la malla de pozos perforados es entregada al proceso de tronadura para el carguío de explosivo, a través de las herramientas LEAN como: Estandarización y Confirmación de Procesos, Definición de Roles y Responsabilidades, Diálogos de Desempeño, Análisis Causales y Desarrollo del Personal.

Lo anterior es apoyado con la elaboración de un Estándar para el operador de perforación, el cual indica todas las actividades relevantes que se deben realizar para el control de largo de los pozos de producción, lo cual ayuda a evitar que se generen desviaciones asociadas al largo de los pozos, las cuales pueden provocar sobregastos por re-perforación y/o demoras en la entrega de la malla de perforación al proceso de tronadura.

Así también el cumplimiento de la longitud real de los pozos se logra a través de un trabajo en equipo entre los proveedores de aceros, representante de la marca de las perforadoras Caterpillar MD-6240 (Finning) y el personal de Perforación & Tronadura, a través de reuniones en terreno, donde se resuelve modificar la sarta de perforación, alargando el adaptador superior de la perforadora, que hasta ese momento presentaba un largo de 40”, y de acuerdo al largo de la torre y a la altura de la plataforma, se establece que la máxima longitud del adaptador a instalar sería de 67”, logrando alcanzar una longitud de perforación hasta 12 mts en single pass.

Respecto al plan de acción de “Optimización de Mallas y Tipos de Explosivos”, este permite controlar el diseño de las mallas, secuencia de iniciación, tipos de explosivos y revisar continuamente los resultados obtenidos en cuanto a granulometría del material tronado, incluyendo el rendimiento de los equipos de carguío y las horas de uso de Bulldozer. Todo esto en un proceso iterativo, que continuamente analiza los resultados en cuanto a calidad de la tronadura y también a los costos del proceso, realizando el control del proceso a través de las reuniones semanales de post-tronadura (Diálogos de

Desempeño), en conjunto con las otras áreas de trabajo como Planificación, Geología y Geomecánica.

En cuanto a la optimización de la malla de tronadura en fase 2, se consigue ampliando la malla con un diseño de 8x9 (burden x espaciamento) cargada con ANFO y con un Factor de Carga en ANFO Equivalente de 151 gr/ton, la cual permite reducir la cantidad de kgs de explosivos consumidos debido al aumento del tamaño de la malla, así también se disminuyen los gastos al usar un explosivo más barato como es el Anfo, lo cual implica una reducción en los gastos variables de tronadura.

Con el fin de reducir los costos fijos del contrato, en conjunto con la gerencia de Orica se realizan reuniones de trabajo, en la cual se generan análisis de las brechas y/o pérdidas del servicio, detectándose oportunidades fáciles de implementar como disminuir un gasto asociado a un transporte exclusivo del personal y modificar por el sistema de buses de la red Teniente, además, considerando los indicadores de productividad del servicio se realiza un ajuste de la dotación que implica reducir un personal administrativo y de terreno del contrato de tronadura.

En resumen, las pérdidas o desperdicios detectados que afectaron al proceso de Perforación & Tronadura corresponden principalmente a una errática disciplina operacional de los operadores, deficiente control de la supervisión y una irregular adherencia a los estándares de trabajo, las cuales fueron abordadas y corregidas a medida que se implementa el sistema de gestión LEAN, a través de acciones que permitieron instaurar una disciplina operacional a través de estándares de trabajo enfocados en la calidad, Check List de verificación y revisión cruzada del producto final, además, el enfoque de la supervisión en el control de los aspectos relevantes para el proceso, como la calidad de la perforación, la reducción de gastos en aceros y en explosivos, y la calidad del material tronado, con el fin de realizar un seguimiento constante a las acciones, lo cual permite realizar la retroalimentación al equipo en los Diálogos de Desempeño, aumentando considerablemente la adherencia a los estándares de trabajo.

Cabe mencionar que durante la implementación Lean en el proceso de P&T, se logra reducir los costos promedio del proceso de tronadura de 0,33 US\$/Ton en el primer semestre de 2015 hasta un costo promedio de 0,28 US\$/Ton en los últimos 3 meses del año 2015.

Respecto al seguimiento de la implementación del sistema de gestión Lean, se han generado sistemáticamente las reuniones de Diálogos de Desempeño (DD) en base a las acciones tomadas, con el fin de realizar el seguimiento a las mejoras instauradas en el proceso y de esta forma obtener el éxito en la gestión operacional de Mina Rajo Sur.

En la Tabla N°7.1 se muestra el Seguimiento y Control semanal de los Diálogos de desempeño (DD) y Retroalimentación a la supervisión en los últimos meses para el Proceso de Perforación & Tronadura.

Tabla N°7.1: Seguimiento de Implementación LEAN en el Proceso de P&T.

Adherencia al Liderazgo Lean - 2015					
SUPERINTENDENCIA DE PRODUCCION RAJO	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
P&T	S/I	76%	100%	100%	100%

Pilares LEAN - 2015				
SUPERINTENDENCIA DE PRODUCCION RAJO	DD	AC	CP	DP
P&T	100%	75%	125%	100%

<p>Pilares LEAN DD = Dialogo de desempeño AC = Analisis causal CP = Control de procesos</p>
--

La tabla anterior demuestra un Alto Nivel de Adherencia de la Metodología Lean por parte del equipo de trabajo de Mina Rajo Sur.

Para el caso de las oportunidades de mejoras que corresponden al cuartil de la matriz de priorización de Alto Nivel de Impacto al Negocio y Baja Facilidad de Implementación serán evaluadas durante el tercer trimestre del 2016, con el fin de ser abordadas en el Mediano y Largo Plazo, dentro de estas oportunidades se destaca el “Servicio de Tronaduras Spot” por su potencial de ahorros en los costos fijos de tronadura debido al menor tonelaje a tronar con el nuevo plan minero.

8. CONCLUSIONES

Debido a que la industria del Cobre en los últimos años se mantiene en un escenario de bajos precios, altos costos de producción y en el caso de Mina Rajo Sur en un agotamiento de sus reservas en los próximos 5 años, es relevante y prioritario implantar en las distintas áreas de trabajo de la Gerencia Desarrollo Rajo, la excelencia operacional y en este caso en particular el sistema de gestión Lean como la metodología que permita mejorar la productividad y eficiencia del proceso de Perforación & Tronadura.

Por esta razón, disponiendo de bastante material y lecturas respecto a la metodología, casos de estudios y experiencias de desarrollo de la Filosofía Lean en distintas industrias, se comienza por desarrollar la implementación del sistema de gestión LEAN en el proceso de Perforación & Tronadura de Mina Rajo Sur, iniciando con una etapa exhaustiva de diagnóstico, la cual permite a través de las distintas herramientas Lean, detectar las pérdidas o desperdicios del proceso, conocer las causas y desviaciones, analizar y evaluar alternativas de planes de acción que permiten eliminar esta pérdida a través de medidas o prácticas operacionales de fácil implementación y de alto impacto que mejoran la productividad y la eficiencia del proceso y por ende del negocio.

Cabe mencionar que en el caso de este estudio se cumple con el objetivo principal que corresponde a fomentar la excelencia operacional, disminuir las pérdidas o fallas operacionales, erradicar los incidentes operacionales, mejorar la calidad en la perforación, aumentar la duración de los aceros y por ende disminuir los costos de perforación. A su vez, aplicar las mejores prácticas para asegurar la calidad del material tronado y controlar los costos del proceso de tronadura, optimizando el rendimiento de los equipos de carguío y transporte.

Así también, se logra incorporar una metodología de Excelencia Operacional en la cultura organizacional del equipo de trabajo del proceso de Perforación & Tronadura, familiarizando a los operadores con términos de factores claves de éxito, pérdidas o desperdicios que quitan valor al proceso y al negocio, entre otros consejos que permiten concientizar a los trabajadores la relevancia que tiene este tipo de herramientas en un escenario económico adverso para la industria del Cobre, donde es muy relevante reducir los costos de la operación con el fin de maximizar los excedentes para el dueño, que en este caso son todos los chilenos.

De acuerdo a la experiencia de desarrollar e implementar el sistema de gestión LEAN en el proceso de Perforación & Tronadura de Mina Rajo Sur, es necesario indicar que corresponde a una metodología práctica y sencilla que facilita el trabajo en equipo, además, permite lograr buenos resultados en el corto plazo, sin embargo, la sustentabilidad de estas medidas en el mediano y largo plazo demanda bastante disciplina, aprendizaje y constancia por parte de los miembros del equipo y así también un apoyo sistemático por parte de la administración.

Además, se debe indicar que la implementación de la Metodología Lean en las actividades del proceso de Perforación & Tronadura corresponde a un avance importante hacia el logro de alcanzar la Excelencia Operacional, estos resultados obtenidos en estos pocos meses indican que el camino es el correcto, sin embargo, se debe seguir perseverando dentro del equipo de trabajo para alcanzar los objetivos trazados y así instaurar una cultura de mejoramiento continuo dentro de la organización.

Por tal razón, generar prácticas operacionales que permitan ordenar, disciplinar, controlar y estandarizar los trabajos permiten mejorar la calidad de la perforación y a su vez logran incrementar la **eficiencia** del proceso, en el caso del proceso de Perforación de Mina Rajo Sur la experiencia fue exitosa debido a que logra reducir los costos en los aceros de perforación, a través de medidas simples como un adecuado uso y cuidado de los equipos y de los elementos de perforación, maximizando la duración los aceros logrando un ahorro de 5% respecto al periodo antes de implementar la metodología Lean. Situación similar ocurre con el proceso de tronadura, donde sólo con organizar, analizar y determinar diseños, configuraciones y secuencias de carguío óptimas se

logra mejorar la calidad del material tronado y a su vez reducir los costos de tronadura en un 15%, a través de la implementación Lean.

Si bien estos resultados demuestran lo exitoso de la experiencia de implementar la filosofía Lean en el proceso de Perforación & Tronadura de Mina Rajo Sur, es relevante indicar que una de las principales barreras para sustentar estas prácticas operacionales en el tiempo corresponde a la falta de rigurosidad y de disciplina laboral, por lo cual es muy relevante la motivación y compromiso del equipo de trabajo, el cual se ha demostrado durante la implementación de este proyecto, donde destacan los operadores de perforadoras, los instructores, la supervisión de operaciones, la administración del servicio de tronadura (Orica), y en especial el apoyo y alineamiento proveniente de forma sistemática por parte de la línea ejecutiva de División El teniente, ya que en los últimos años han fomentado a través de la Dirección de Excelencia Operacional, todas las iniciativas de implementación de la filosofía Lean en cada uno de los procesos operativos.

Finalmente, se debe perseverar en la sustentabilidad de este sistema de gestión en estos procesos, por lo que se debe mantener un control riguroso y estricto sobre los planes de acción LEAN implementados en el proceso de Perforación & Tronadura, profundizando en iniciativas que permitan reducir equipos de perforación con sus respectivos gastos de operación y mantención, sin poner en riesgo la continuidad operacional. Así también, se debe explorar en iniciativas respecto a prácticas operacionales de tronadura que permitan reducir los costos fijos, entre esas opciones aparecen las Tronaduras Spot, es decir contar con el personal de la Empresa Provedora de Explosivos en faena, solamente para los días que se realice tronadura, programando menor cantidad de tronaduras en el mes, pero de mayor cantidad de tonelaje a tronar.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Administración de Operaciones “Producción y Cadena de Suministros”, Richard B. Chase & F. Robert Jacobs, 13ª Edición, 2014.
- 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. Womack, J., Jones, D., & Ross, D. (1990).
- Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in your Corporation. Womack, J., & Jones, D. (1996).
- Transformación LEAN en División El Teniente, Jose Bustamante Valdes, Gerencia de Operaciones, Octubre 2013.
- Manual de Agentes de Cambio, Gerencia de Desarrollo Teniente Futuro, 2012.
- Tesis MBA Universidad de Chile: Aplicación de Lean Management en una Mina Rajo Abierto División El Teniente – Codelco Chile, Cristian Villarroel, Junio 2015.
- Tesis Magíster en Ciencias de Ingeniería Pontificia Universidad Católica de Chile: Implementación de Metodologías Lean en Desarrollo Minero, Gustavo Castillo, Diciembre 2013.
- Lean Management: New Frontiers for Financial Institutions, McKinsey&Company, 2011.
- Excelencia Operacional Programa Lean, Gerencia Operaciones, División El Teniente, Julio 2014.
- Estándares de Excelencia Operacional del Proceso de Extracción, Gerencia de Operaciones, División El Teniente, Diciembre 2013.
- Diseño de un Modelo para implantar Lean con Éxito, 6to Conferencia Internacional de Ingeniería Industrial, Julio 2012. Excelencia Operacional Programa Lean, Dirección de Excelencia Operacional, Julio 2014.

9.1. APOYO INSTITUCIONAL

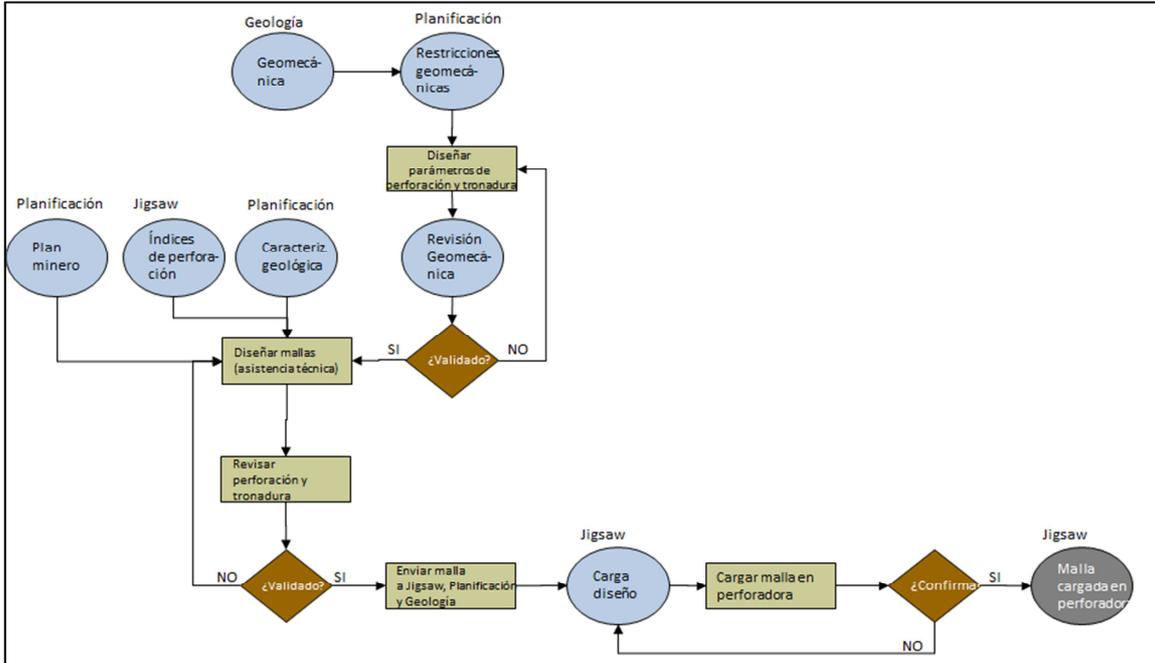
Este trabajo de Tesis cuenta con el apoyo institucional de División El Teniente, desde el Gerente de Operaciones hasta el Superintendente de Producción de Rajo Sur.

El tutor de esta Tesis de MBA es el Sr. Christian Toutin, Gerente de Operaciones de División El Teniente, durante el año 2015.

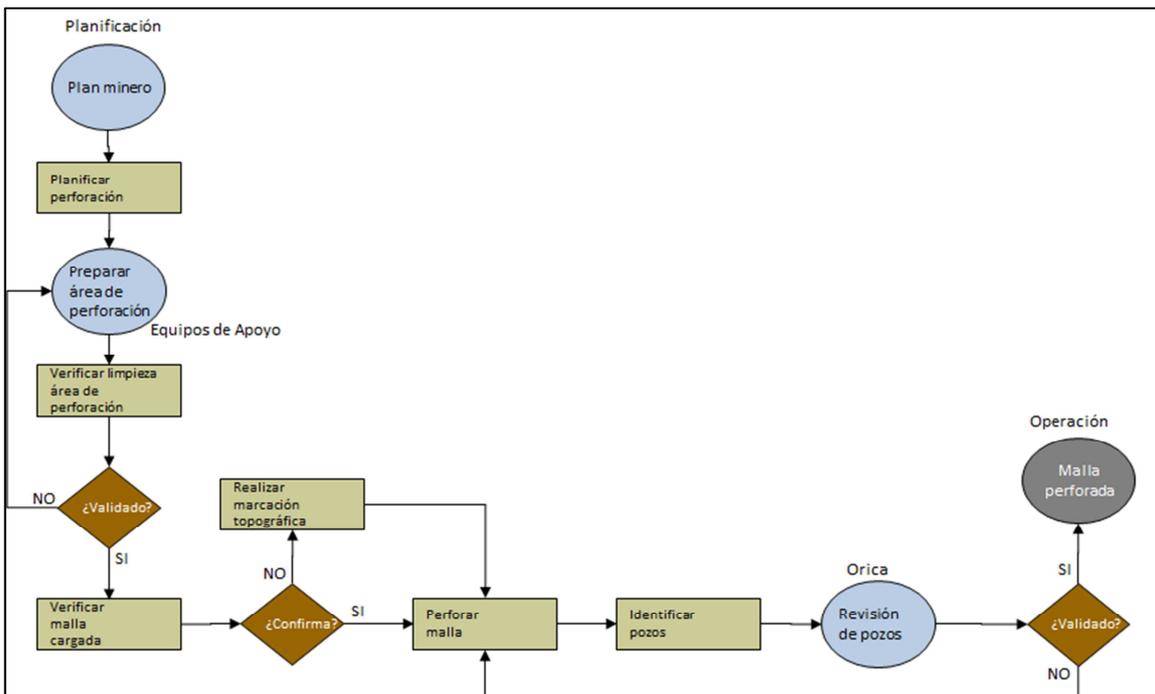
10. ANEXOS

ANEXO 1:

a) MAPEO DE PROCESO DE DISEÑO DE LA PERFORACIÓN.

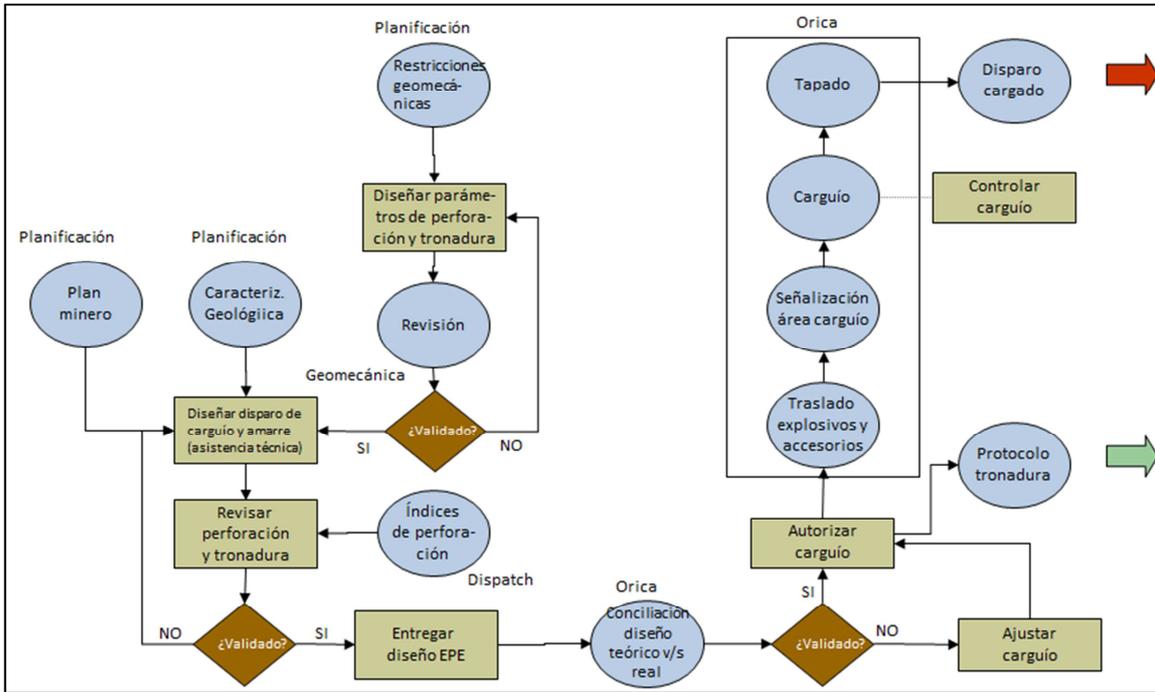


b) MAPEO DE PROCESO DE EJECUCIÓN DE LA PERFORACIÓN.

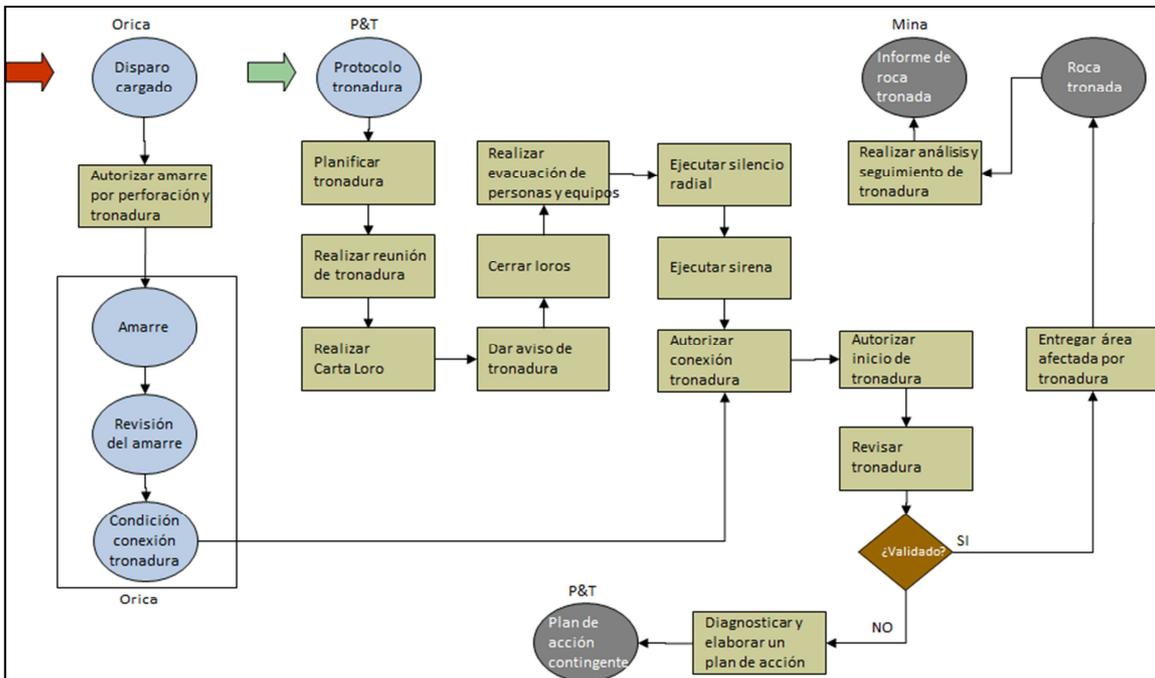


ANEXO 2:

a) MAPEO DE PROCESO DEL DISEÑO & EJECUCIÓN DE TRONADURA (1/2).



b) MAPEO DE PROCESO DEL DISEÑO & EJECUCIÓN DE TRONADURA (2/2).



ANEXO 3:

ROL Y RESPONSABILIDADES DEL PROCESO DE PERFORACIÓN

RESPONSABLE	ACTIVIDAD
Superintendente	<p>ROL:</p> <ul style="list-style-type: none">Definir objetivos y controlar su cumplimiento. <p>RESPONSABILIDAD:</p> <ul style="list-style-type: none">Revisar periódicamente el cumplimiento.Proveer los recursos necesarios.
Jefe Perforación y Tronadura	<p>ROL:</p> <ul style="list-style-type: none">Administrar el desempeño de la perforación. <p>RESPONSABILIDAD:</p> <ul style="list-style-type: none">Confeccionar el Plan Semanal de Perforación y Tronadura.Entregar al Supervisor ORICA el polígono de perforación de acuerdo a diseño, para el carguío de explosivo.Asegurar el stock mínimo de aceros de perforación.Llevar control estadístico de los rendimientos, costos y consumo de aceros asociados al proceso.
Jefe de Turno	<p>ROL:</p> <ul style="list-style-type: none">Encargado que la perforación se realice de forma adecuada. <p>RESPONSABILIDAD:</p> <ul style="list-style-type: none">Entregar las tareas y asignaciones del turno a los operadores.Coordinar preparación de patios de perforación, asignación de equipos de movimiento de tierra, solicitud de marcaciones en terreno, entrega de planos de las mallas a los operadores, etc.Informar e investigar todos los incidentes ocurridos.Revisar en terreno que se cumplan los estándares de perforación.
Administrador DET Contrato Orica	<p>ROL:</p> <ul style="list-style-type: none">Control del Contrato de Explosivos. <p>RESPONSABILIDAD:</p> <ul style="list-style-type: none">Control del contrato y Validación de Estado de Pago.
Operador de Perforadoras	<p>ROL:</p> <ul style="list-style-type: none">Realizar Perforación resguardando Seguridad y Calidad. <p>RESPONSABILIDAD:</p> <ul style="list-style-type: none">Realizar la perforación de acuerdo a diseño.Señalizar con conos el área de perforación.Colocar en reporte cada pozo perforado.Coordinar abastecimiento de agua y otros insumos a su maquinaria de perforación.Verificar en terreno las condiciones de los aceros de perforación y recomendar su cambio al Jefe de Turno.