



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

# CARACTERIZACIÓN Y MEJORA DE LOS RENDIMIENTOS DE LAS FLOTAS DE PERFORACIÓN EN MINA EL SOLDADO

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL DE MINAS

MATÍAS EDUARDO ESCUDERO ARAYA

PROFESORA GUÍA:  
DANIELA ANDREA RODRÍGUEZ MENA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
GUSTAVO SEGUNDO GALLARDO GUERRERO  
GONZALO MONTES ATENAS

SANTIAGO DE CHILE

2021

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL  
TÍTULO DE:** Ingeniero Civil de Minas  
**POR:** Matías Eduardo Escudero Araya  
**FECHA:** 27/07/2021  
**PROFESORA GUÍA:** Daniela Rodríguez Mena

## **CARACTERIZACIÓN Y MEJORA DE LOS RENDIMIENTOS DE LAS FLOTAS DE PERFORACIÓN EN MINA EL SOLDADO**

La perforación corresponde al primer eslabón en la cadena de producción, lo que la convierte en una de las principales y más importantes etapas en la explotación de un yacimiento. El contar con un proceso controlado y bien definido permite conseguir desempeños óptimos que favorecen el resultado del negocio minero en su totalidad. Es por esto último que se hace de vital importancia conocer el rendimiento operativo que presenta este proceso en cada uno de los sectores de la mina, para así lograr generar planes y programas que permitan conseguir la mejor performance para la secuencia completa de producción.

El objetivo de este trabajo es caracterizar los rendimientos de cada una de las flotas de perforación en los distintos sectores de la mina, generando una línea base con el escenario actual para posteriormente analizar, proponer e implementar posibles cambios en las variables de operación y ajustes en el diseño, que conduzcan a un aumento en el desempeño del proceso.

La metodología de este trabajo consistió en 4 etapas: definición del sistema a estudiar correspondiente a la operación de Perforación, recopilación y estructuración de la información para realizar este estudio, análisis del escenario de perforación y obtención de las variables relevantes en su rendimiento y formulación de las medidas y planes de acción para mejorar su desempeño.

En lo que respecta a los rendimientos, como principales resultados se puede mencionar que las perforadoras Pit Viper 271 en producción y la SmartRoc D65 – 15 en DTH son los equipos que presentan mejores desempeños con un 21,7 y 20,2 [m/h] promedio. Entre los sectores con mayor rendimiento se encuentran Andesita Veta Negra en las litologías y California en las cavidades. El relleno corresponde al sector de peor rendimiento de los 3 existentes en El Soldado. En comparación con los metros anuales proyectados en el Budget 2021 según los rendimientos obtenidos, se aprecia un déficit en los metros de producción de alrededor de un 7%, mientras que para los metros en DTH presentan una variación positiva de un 5%. Esto significa que El Soldado estaría un 2% bajo según Budget, correspondiente a 10,394 [m] menos, lo que significaría un no cumplimiento para el año 2021.

Finalmente, se concluye que es necesario tomar acciones para mejorar el rendimiento operativo de las perforadoras si se quiere alcanzar lo planificado, principalmente en lo que respecta a la información geológica y geomecánica con la que cuenta el área sumado a la óptima operación de los equipos y utilización de herramientas adicionales por parte de los operadores.

## **CHARACTERIZATION AND IMPROVEMENT OF THE PERFORMANCE OF THE DRILLING FLEET IN MINA EL SOLDADO**

Drilling corresponds to the first link in the production chain, which makes it one of the main and most important stages in the exploitation of a deposit. Having a controlled and well-defined process allows achieving optimal performances that favor the result of the mining business. It is for the latter that it is vitally important to know the operational performance that this process presents in each of the sectors of the mine, to generate plans and programs that allow achieving the best performance for the complete production sequence.

The objective of this work is to characterize the performance of each of the drilling fleets in the different sectors of the mine, generating a baseline with the current scenario to later analyze, propose and implement possible changes in the operating variables and adjustments in design, leading to an increase in process performance.

The methodology of this work consisted of 4 stages: definition of the system to be studied corresponding to the drilling operation, collection and structuring of the information to carry out this study, analysis of the drilling scenario and obtaining the relevant variables in its performance and formulation of the measures and action plans to improve its performance.

Regarding the performance, as main results it can be mentioned that the Pit Viper 271 in production and the SmartRoc D65 - 15 in DTH are the rigs with the best performance with an average of 21.7 and 20.2 [m/h]. Among the sectors with the highest performance are Andesite Veta Negra in lithologies and California in cavities. Infill corresponds to the worst performing sector of the 3 existing sectors at El Soldado. In comparison with the annual meters projected in Budget 2021 according to the yields obtained, there is a deficit in the production meters of about 7%, while for the meters in DTH there is a positive variation of 5%. This means that El Soldado would be 2% low according to Budget, corresponding to 10,394 [m] less, which would mean non-compliance by 2021.

Finally, it is concluded that it is necessary to take actions to improve the operational performance of the drilling rigs if the planned performance is to be achieved, mainly with respect to the geological and geomechanical information available in the area, together with the optimal operation of the equipment and the use of additional tools by the operators.

*“La información que esta Memoria recoge y contiene respecto de las operaciones y actividades de Anglo American Chile Ltda. y/o de cualquiera de las divisiones mineras e industriales operativas, así como la integridad e interpretación de la información, los análisis y conclusiones derivadas de ella, sólo corresponden a su autor y, en consecuencia son de su exclusiva responsabilidad, por lo que no comprometen en forma alguna a Anglo American Chile Limitada, sus divisiones operativas o empresas propietarias, como tampoco a sus ejecutivos, profesionales o técnicos. Anglo American Chile Ltda. únicamente ha colaborado con el autor en facilitarle acceso a sus instalaciones e información para la realización de esta tesis y no tiene opinión ni participación alguna en su contenido.”*

## AGRADECIMIENTOS

Quiero partir agradeciendo a mi familia que son el pilar de mi formación como persona. A mi padre Eduardo, mi madre Sandra y mi hermana Francisca por ser parte fundamental en mi vida, escuchándome, apoyándome, acompañándome y dándome un abrazo y una palabra de aliento cada vez que lo necesitaba en este y muchos procesos más que he vivido en todos estos años. Ellos son los responsables de lo que soy hoy en día, y les estaré agradecido para toda la vida.

A mis amigos de la vida, Mario, Robert, Mati y Nacho por todos los consejos, experiencias, risas y buenos momentos vividos y por los muchos que vendrán en un futuro. A mis amigos de la universidad como los son el Edu, el Guille, la Caro y la Sofi con los que comenzamos esta etapa en la que fueron parte importante, vivimos una gran cantidad de cosas y después de varios años estamos cerrando de la mejor manera posible este proceso. A la Sofi, que me ha acompañado en este último periodo y con la que me he divertido mucho, además de enseñarme a disfrutar y agradecer cada una de las cosas y personas que tenemos con nosotros.

A mis amigos mineros de La Mafia, el Fabi, el Jano, Boludo, Lucas, Panchote, Carlitos, Perroni, el Nico, el Seba y la Kathy con los que compartimos muchas actividades, salidas e incluso ramos donde hicieron que los últimos años en la universidad fueran mucho más divertidos.

Al equipo de trabajo de Transformación de Anglo American, donde conocí gente espectacular como la Vale, la Pepa, el Diego, el Pablo, la Andre, el Álvaro, que junto con mis amigas y compañeras de memoria, la Caro y la Sofi, fueron un pilar fundamental en los inicios de este proceso.

A todas las personas de la faena El Soldado que me recibieron, integraron, enseñaron y me siguen formando como profesional hasta el día de hoy. A mi tutora Daniela Rodríguez que me recibió, acogió de la mejor forma posible, nunca me dejó de lado y apoyó hasta su último día en la mina, hecho por el cuál siempre estaré agradecido. A Diego Castillo, que desde un principio confió en mí, a quién le debo mi formación como profesional con las distintas enseñanzas y aprendizajes que me ha ido entregando en el camino, además de la buena onda y preocupación hacia mí en todo momento. A cada uno de los jefes de turno, Wenceslao, Pablo, Francisco y Eduardo, con los que he compartido la mayor cantidad del tiempo y de los que he ido aprendiendo cada vez más de sus conocimientos y años de experiencia en el rubro. A Rodrigo, Miguel, César por la simpatía y todo lo que me fueron enseñando durante este periodo. A mis amigos memoristas Alvarito, Onofre, Esteban, Nico y Vale que han compartido una gran cantidad de tiempo en faena conmigo y que con el paso de los años espero que sigamos haciendo más cosas juntos.

Finalmente, agradecer a todos mis familiares, primos, amigos y personas que han formado parte de este proceso ya que cada uno me ha entregado algo que sacar en limpio y aprender en todos estos años.

## TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1	MOTIVACIÓN .....	2
1.2	OBJETIVOS .....	3
1.2.1	Objetivo general .....	3
1.2.2	Objetivos específicos.....	3
1.3	ALCANCE .....	3
1.4	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN .....	4
1.4.1	Definición del sistema.....	5
1.4.2	Recopilación y estructuración de la información .....	5
1.4.3	Análisis escenario de perforación y obtención de variables relevantes.....	8
1.4.4	Formulación de medidas y planes de acción.....	8
2	ANTECEDENTES .....	9
2.1	ANTECEDENTES GENERALES .....	9
2.2	UBICACIÓN .....	10
2.3	ANTECEDENTES GEOLÓGICOS Y GEOTÉCNICOS .....	12
2.3.1	Geología Estructural y Mineralización .....	12
2.3.2	Aguas Subterráneas.....	14
2.3.3	Litología .....	14
2.3.4	Propiedades Geomecánicas .....	14
2.3.5	Interacción UG.....	15
2.4	MODELO DE OPERACIONES ANGLO AMERICAN .....	17
2.4.1	Planificación Operacional.....	19
2.4.2	Gestión del Trabajo .....	19
2.4.3	Retroalimentación.....	20
2.5	ANTECEDENTES PERFORACIÓN.....	20
2.5.1	Flotas de Perforación .....	22
2.5.2	Tipos de Pozos .....	23
2.5.3	Elección del tricono .....	25
2.5.4	Modelo de Tiempos de Anglo American .....	26
2.5.5	Proceso de Perforación .....	27
2.5.6	Costo total de perforación .....	28
2.5.7	Tasa de Penetración .....	29
2.5.8	Variables de Operación Relevantes.....	30
2.5.9	Método de Perforabilidad de Lubinski.....	32
3	RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	34
3.1	Definición y recopilación de bancos y polígonos .....	34

3.2	Obtención de rendimientos operativos por litología/cavidad/sector .....	35
3.2.1	Distribución de rendimientos por pozo perforadora Pit Viper 271 – Caso Base.....	37
3.2.2	Rendimientos operativos promedios por tipo de pozo – Caso Base .....	43
3.2.3	Rendimiento operativo promedio por cada litología/cavidad/sector – Case Base..	47
3.3	Variables relevantes dentro del rendimiento operativo de perforación .....	49
3.3.1	Repaso de Pozos .....	49
3.3.2	Perforación primaria y variables de operación .....	58
3.3.3	Rendimiento operativo promedio por cada litología/cavidad/sector – Caso Actual	68
3.3.4	Entrega de información relevante para Budget 2021 – segundo semestre.....	70
3.4	ANÁLISIS.....	74
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	78
4.1	Conclusiones Generales.....	78
4.2	Recomendaciones .....	79
5	BIBLIOGRAFÍA .....	80
6	ANEXOS.....	82
6.1	Planificación Operacional .....	82
6.2	Planificar Trabajo .....	82
6.3	Programar Trabajo.....	83
6.4	Asignación de Recursos .....	83
6.5	Recopilación y Estructuración de la Información .....	84
6.6	Polígonos por Fase y Banco .....	86
6.7	Selección de polígonos caso base.....	87
6.8	Selección de polígonos caso actual.....	88
6.9	Distribución de rendimientos por pozo perforadora modelo DMM3-03.....	90
6.9.1	Riodacita.....	90
6.9.2	Andesita Lo Prado .....	90
6.9.3	Andesita Veta Negra .....	90
6.9.4	Santa Clara.....	91
6.10	Distribución de rendimientos por pozo perforadora modelo DMM3-04.....	91
6.10.1	Riodacita.....	91
6.10.2	Andesita Lo Prado .....	92
6.10.3	Relleno.....	92
6.10.4	Santa Clara.....	92
6.10.5	California.....	93
6.11	Distribución de rendimientos por pozo perforadora modelo D75KS – 11 .....	93
6.11.1	Riodacita.....	93
6.11.2	Andesita Lo Prado.....	93
6.11.3	Santa Clara.....	94

6.11.4	California.....	94
6.12	Distribución de rendimientos por pozo perforadora modelo D75KS – 12 .....	95
6.12.1	Riodacita.....	95
6.12.2	Andesita Lo Prado.....	95
6.12.3	Andesita Veta Negra .....	95
6.12.4	Relleno.....	96
6.12.5	California.....	96
6.13	Distribución de rendimientos por pozo perforadora modelo SmartRoc D65 – 14.....	96
6.13.1	Riodacita.....	96
6.13.2	Andesita Lo Prado .....	97
6.13.3	Andesita Veta Negra .....	97
6.14	Distribución de rendimientos por pozo perforadora modelo SmartRoc D65 – 15.....	98
6.14.1	Andesita Lo Prado .....	98
6.14.2	Andesita Veta Negra .....	98
6.15	Rendimientos operativos promedios por pozos para cada perforadora.....	99

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1:	Módulo de A&I del Modelo de Operaciones AOM. ....	5
Ilustración 2:	Excel con información de disparos del Programa BlastLogic.....	6
Ilustración 3:	Vista isométrica cavidades Santa Clara y California junto al banco 770. ....	7
Ilustración 4:	Vista en planta de polígono 770-604. ....	7
Ilustración 5:	Vista isométrica polígono 770-604 con el diseño de disparos .....	8
Ilustración 6:	Plano de ubicación mina El Soldado.....	10
Ilustración 7:	Ubicación de las fases en operación y futuras de mina El Soldado.....	11
Ilustración 8:	Flowsheet proceso productivo El Soldado 2021.....	11
Ilustración 9:	Set de fallas yacimiento El Soldado.....	13
Ilustración 10:	Mapa geológico mina El Soldado.....	13
Ilustración 11:	Sección general del área mina El Soldado, coordenada local -600.....	14
Ilustración 12:	Principales cavidades en mina El Soldado. ....	15
Ilustración 13:	Labores subterráneas de Mina el Soldado. ....	16
Ilustración 14:	Componentes Claves del Modelo de Operaciones de Anglo American. ....	18
Ilustración 15:	Proceso de diseño de operación de perforación El Soldado.....	21
Ilustración 16:	Áreas integrales del proceso de diseño operación de perforación El Soldado.....	22
Ilustración 17:	Tipos de triconos e insertos según dureza de la roca. ....	25
Ilustración 18:	Nuevo Modelo de Tiempos de Anglo American.....	27
Ilustración 19:	Proceso de perforación de pozo según antiguo modelo de tiempo. ....	36
Ilustración 20:	Proceso de perforación de pozo según nuevo modelo de tiempo. ....	36
Ilustración 21:	Secuencia de perforación para un equipo de perforación. ....	55
Ilustración 22:	Secuencia de perforación doble fila de borde en plataformas deficientes.....	56
Ilustración 23:	Secuencia de perforación de malla para plataformas con malas condiciones. ....	56
Ilustración 24:	Secuencia de perforación de una malla con interacción de dos o más equipos. ....	56
Ilustración 25:	Pozo A realizado con Hole Control y pozo B realizado sin Hole Control. ....	58
Ilustración 26:	Sección Planificación Operacional del Modelo de Operaciones AAOM. ....	82



Ilustración 27: Sección Planificar Trabajo del Modelo de Operaciones.....	82
Ilustración 28: Sección Programar Trabajo del Modelo de Operaciones.....	83
Ilustración 29: Sección Asignación de Recursos del Modelo de Operaciones. ....	83
Ilustración 30: Tabla de estados programa JMineOps. ....	84
Ilustración 31: Tabla de Rendimiento programa JMineOps. ....	85
Ilustración 32: Cambio de códigos al nuevo modelo de tiempos Anglo American 2021. ....	85

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Rendimiento operativo de perforación de producción año 2020.....	2
Gráfico 2: Rendimiento operativo de perforación de precorte año 2020. ....	2
Gráfico 3: Distribución de los costos de perforación. ....	29
Gráfico 4: Rendimiento operativo de pozos 50 - 60 en Riodacita.....	37
Gráfico 5: Rendimiento operativo de pozos 100 en Riodacita. ....	37
Gráfico 6: Rendimiento operativo de pozos 200 en Riodacita. ....	37
Gráfico 7: Rendimiento operativo de pozos 300 en Riodacita. ....	37
Gráfico 8: Rendimiento operativo de pozos 400 en Riodacita. ....	37
Gráfico 9: Rendimiento operativo en pozos 50 - 60 en Andesita Lo Prado.....	38
Gráfico 10: Rendimiento operativo de pozos 300 en Andesita Lo Prado. ....	38
Gráfico 11: Rendimiento operativo de pozos 400 en Andesita Lo Prado. ....	38
Gráfico 12: Rendimiento operativo de pozos 50 - 60 en Andesita Veta Negra. ....	38
Gráfico 13: Rendimiento operativo de pozos 400 en Andesita veta Negra. ....	38
Gráfico 14: Rendimiento operativo de pozos 400 en relleno. ....	38
Gráfico 15: Rendimiento operativo de pozos 300 en Santa Clara. ....	39
Gráfico 16: Rendimiento operativo de pozos 50 - 60 en California.....	39
Gráfico 17: Rendimiento operativo de pozos 200 en California. ....	39
Gráfico 18: Rendimiento operativo de pozos 300 en California. ....	39
Gráfico 19: Rendimiento operativo de pozos 500 en California. ....	39
Gráfico 20: Rendimiento operativo de pozos 900 en California. ....	39
Gráfico 21: Diseño de bit según tipo de roca.....	60
Gráfico 22: Selección de la clase IADC del tricono según dureza de la litología. ....	63
Gráfico 23: RPM y WOB según litología.....	66
Gráfico 24: RPM y WOB según tricono. ....	67
Gráfico 25: Rendimiento operativo de pozos 50 - 60 en Riodacita.....	90
Gráfico 26: Rendimiento operativo de pozos 400 en Riodacita. ....	90
Gráfico 27: Rendimiento operativo de pozos 300 en Andesita Lo Prado. ....	90
Gráfico 28: Rendimiento operativo de pozos 400 en Andesita Lo Prado. ....	90
Gráfico 29: Rendimiento operativo de pozos 400 en Andesita Veta Negra.....	90
Gráfico 30: Rendimiento operativo de pozos 400 en Santa Clara. ....	91
Gráfico 31: Rendimiento operativo de pozos 50 - 60 en Riodacita.....	91
Gráfico 32: Rendimiento operativo de pozos 200 en Riodacita. ....	91
Gráfico 33: Rendimiento operativo de pozos 300 en Riodacita. ....	91
Gráfico 34: Rendimiento operativo de pozos 400 en Riodacita. ....	91
Gráfico 35: Rendimiento operativo de pozos 50 - 60 en Andesita Lo Prado.....	92
Gráfico 36: Rendimiento operativo de pozos 300 en Andesita Lo Prado. ....	92
Gráfico 37: Rendimiento operativo de pozos 400 en Andesita Lo Prado. ....	92
Gráfico 38: Rendimiento operativo de pozos 900 en Andesita Lo Prado. ....	92
Gráfico 39: Rendimiento operativo de pozos 400 en relleno. ....	92
Gráfico 40: Rendimiento operativo de pozos 300 en Santa Clara. ....	92
Gráfico 41: Rendimiento operativo de pozos 300 en California.....	93

Gráfico 42: Rendimiento operativo de pozos 500 en California.....	93
Gráfico 43: Rendimiento operativo de pozos 400 en Riodacita.....	93
Gráfico 44: Rendimiento operativo de pozos 50 - 60 en Andesita Lo Prado.....	93
Gráfico 45: Rendimiento operativo de pozos 100 en Andesita Lo Prado.....	93
Gráfico 46: Rendimiento operativo de pozos 300 en Andesita Lo Prado.....	94
Gráfico 47: Rendimiento operativo de pozos 400 en Andesita Lo Prado.....	94
Gráfico 48: Rendimiento operativo de pozos 400 en Santa Clara.....	94
Gráfico 49: Rendimiento operativo de pozos 300 en California.....	94
Gráfico 50: Rendimiento operativo de pozos 300 en Riodacita.....	95
Gráfico 51: Rendimiento operativo de pozos 400 en Riodacita.....	95
Gráfico 52: Rendimiento operativo de pozos 50 - 60 en Andesita Lo Prado.....	95
Gráfico 53: Rendimiento operativo de pozos 400 en Andesita Lo Prado.....	95
Gráfico 54: Rendimiento operativo de pozos 50 - 60 en Andesita Veta Negra.....	95
Gráfico 55: Rendimiento operativo de pozos 400 en Andesita Veta Negra.....	95
Gráfico 56: Rendimiento operativo de pozos 400 en relleno.....	96
Gráfico 57: Rendimiento operativo de pozos 300 en California.....	96
Gráfico 58: Rendimiento Operativo de pozos 800 en Riodacita.....	96
Gráfico 59: Rendimiento operativo de pozos 600 en Andesita Lo Prado.....	97
Gráfico 60: Rendimiento operativo de pozos 700 en Andesita Lo Prado.....	97
Gráfico 61: Rendimiento operativo de pozos 800 en Andesita Lo Prado.....	97
Gráfico 62: Rendimiento operativo de pozos 800 en Andesita Veta Negra.....	97
Gráfico 63: Rendimiento operativo de pozos 600 en Andesita Lo Prado.....	98
Gráfico 64: Rendimiento operativo de pozos 700 en Andesita Lo Prado.....	98
Gráfico 65: Rendimiento operativo de pozos 800 en Andesita Lo Prado.....	98
Gráfico 66: Rendimiento operativo de pozos 600 en Andesita Veta Negra.....	98
Gráfico 67: Rendimiento operativo de pozos 700 en Andesita Veta Negra.....	98
Gráfico 68: Rendimiento operativo de pozos 800 en Andesita Veta Negra.....	98

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Flotas, características y perforadoras mina El Soldado.....	23
Tabla 2: Tipos de pozos en el diseño de malla.....	24
Tabla 3: Tabla de selección de tricono según dureza y UCS de la roca.....	26
Tabla 4: Principales métricas del nuevo Modelo de Tiempo de Anglo American.....	27
Tabla 5: Velocidades de rotación según tipo de roca.....	31
Tabla 6: Factor de resistencia según serie del tricono.....	32
Tabla 7: Sectores y litologías por analizar mina El Soldado.....	34
Tabla 8: Cantidad de fases, bancos y polígonos seleccionados según variables relevantes.....	34
Tabla 9: Número de polígonos por litología, cavidad o sector del caso base.....	35
Tabla 10: Número de polígonos por litología, cavidad o sector del caso actual.....	35
Tabla 11: Rendimiento operativos promedios por pozo/litología/cavidad/sector Pit Viper 271.....	43
Tabla 12: Rendimiento operativo promedio por perforadora en todos los sectores.....	47
Tabla 13: Rendimiento operativos por flota de perforación en cada litología/cavidad/sector.....	48
Tabla 14: Tiempos de repaso por perforadora en sectores consolidados.....	50
Tabla 15: Potencial rendimiento operativo perdido por repaso en sectores consolidados.....	51
Tabla 16: Metraje potencial perdido por perforadora en roca consolidada.....	52
Tabla 17: Tiempo de repasos por perforadora en sectores no consolidados.....	53
Tabla 18: Potencial de rendimiento operativo de mejora en roca no consolidada.....	53
Tabla 19: Metraje potencial perdido para perforadoras en roca no consolidada.....	54
Tabla 20: Ficha técnica de Martillo Centauro 60.....	59

Tabla 21: Dureza de las litologías presentes en el yacimiento El Soldado. ....	59
Tabla 22: RPM referenciales calculada para la flota de perforación rotopercutiva. ....	60
Tabla 23: WOB requerido por la perforación rotopercutiva. ....	61
Tabla 24: Velocidad de evacuación del detritus (barrido) para perforación rotopercutiva. ....	61
Tabla 25: Selección de los triconos según dureza de las litologías en El Soldado. ....	62
Tabla 26: WOB mínimo según dureza de la roca. ....	64
Tabla 27: WOB máximo según diámetro de perforación. ....	64
Tabla 28: Rango de WOB por serie de tricono para diámetro de 9,875 [pulg]. ....	64
Tabla 29: Rangos de WOB por serie de tricono para diámetro 10,625 [pulg]. ....	64
Tabla 30: Selección de tricono según WOB en Traquita (Riodacita). ....	65
Tabla 31: Selección de tricono según WOB en Andesita Lo Prado. ....	65
Tabla 32: Selección de tricono según WOB en Andesita Veta Negra. ....	65
Tabla 33: Velocidad de aire de barrido según dureza de roca. ....	67
Tabla 34: Rendimiento operativo promedio por perforadora en cada litología/cavidad/sector. ...	68
Tabla 35: Rendimientos operativos promedios por cada litología/cavidad/sector de la mina. ....	69
Tabla 36: Rendimientos operativos promedios por flota de perforación en todos los sectores. ...	70
Tabla 37: Rendimientos operativos promedios actualizados por perforadora en cada sector. ....	70
Tabla 38: Rendimientos operativos promedios por perforadora en todos los sectores. ....	71
Tabla 39: Rendimientos operativos promedios perforadora DMM3 - 03 para plan 12W. ....	71
Tabla 40: Rendimiento operativo promedio perforadora DMM3 - 04 para plan 12W. ....	71
Tabla 41: Rendimiento operativo promedio perforadora Pit Viper 271 para plan 12W. ....	72
Tabla 42: Rendimiento operativo promedio perforadora D75KS - 11 para plan 12W. ....	72
Tabla 43: Rendimiento operativo promedio perforadora D75KS - 12 para plan 12W. ....	72
Tabla 44: Rendimiento operativo promedio perforadora DI600 - 07 para plan 12W. ....	72
Tabla 45: Rendimiento operativo promedio perforadora SmartRoc D65 - 14 para plan 12W. ....	73
Tabla 46: Rendimiento operativo promedio perforadora SmartRoc D65 - 15 para plan 12W. ....	73
Tabla 47: Comparación de metrajes anuales. ....	73
Tabla 48: Propiedades de las Unidades Geotécnicas mina El Soldado. ....	84
Tabla 49: Detalle de bancos y polígonos seleccionados en el estudio. ....	86
Tabla 50: Disparos seleccionados por banco en Riodacita. ....	87
Tabla 51: Disparos seleccionados por banco en Andesita Lo Prado. ....	87
Tabla 52: Disparos seleccionados por banco en Andesita Veta Negra. ....	87
Tabla 53: Disparos seleccionados por banco en Santa Clara. ....	88
Tabla 54: Disparos seleccionados por banco en California. ....	88
Tabla 55: Disparos seleccionados por banco en relleno. ....	88
Tabla 56: Disparos seleccionados por banco en Riodacita. ....	88
Tabla 57: Disparos seleccionados por banco en Andesita Lo Prado. ....	88
Tabla 58: Disparos seleccionados por banco en Andesita Veta Negra. ....	89
Tabla 59: Disparos seleccionados por banco en Santa Clara. ....	89
Tabla 60: Disparos seleccionados por banco en California. ....	89
Tabla 61: Disparos seleccionados por banco en Valdivia. ....	89
Tabla 62: Disparos seleccionados por banco en relleno. ....	89
Tabla 63: Rendimientos operativos promedios por pozo/litología/cavidad/sector DMM3 - 03. ....	99
Tabla 64: Rendimientos operativos promedios por pozo/litología/cavidad/sector DMM3 - 04. ....	99
Tabla 65: Rendimientos operativos promedios por pozo/litología/cavidad/sector D75KS - 11. ....	100
Tabla 66: Rendimientos operativos promedios por pozo/litología/cavidad/sector D75KS - 12. ....	100
Tabla 67: Rendimientos operativos promedios por pozo/litología/cavidad/sector DI600-07. ....	101
Tabla 68: Rendimientos operativos promedios por pozo/litología/cavidad/sector SR D65 - 14. ....	101
Tabla 69: Rendimientos operativos promedios por pozo/litología/cavidad/sector SR D65 - 15. ....	102

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Costo total de perforación TDC. ....	28
Ecuación 2: Estructura del costo total de perforación. ....	28
Ecuación 3: RPM referenciales para perforación rotopercutiva. ....	30
Ecuación 4: RPM operativas ideales para perforación rotopercutiva. ....	30
Ecuación 5: Cálculo del WOB en perforación rotopercutiva. ....	31
Ecuación 6: Cálculo de la resistencia a la carga puntual de un tricono. ....	31
Ecuación 7: Cálculo de la velocidad de barrido. ....	32

# 1 INTRODUCCIÓN

La explotación de minas a cielo abierto es uno de los métodos más comunes para explotar aquellos yacimientos que presentan una forma regular y se encuentran ubicados en la superficie o cerca de este.

Para la explotación del yacimiento de forma más organizada, esta se divide en elementos más pequeños denominadas fases que surgen de la necesidad de hacer avances buscando explotar sectores con buena ley de mineral. La explotación de las fases se realiza por medio de bancos que se van desarrollando desde la superficie hacia el fondo del rajo, cuya configuración depende directamente del tipo de roca, leyes de mineral y datos económicos.

La explotación de las minas a cielo abierto consta de dos subprocesos fundamentales, los que derivan en cuatro operaciones unitarias bien claras e igual de importantes: Perforación, Tronadura, Carguío y Transporte. De igual forma, junto a estas cuatro actividades de producción aparecen las operaciones auxiliares, las que son fundamentales para el correcto funcionamiento de las principales, que por sí solas, no lograrían conseguir el mejor resultado.

La operación de Perforación corresponde al primer eslabón en la cadena de producción, lo que lo convierte en una de las principales y más importantes etapas en la explotación de un yacimiento, aunque muchas veces no se le tome el peso que corresponde. El contar con un proceso controlado y bien definido permite conseguir resultados que faciliten a las operaciones posteriores su buen desarrollo y rendimiento, sin embargo, el contar con un proceso poco predecible y consistente puede provocar que una mina no consiga los resultados esperados y, por consiguiente, provoque el cierre de sus operaciones debido a sus altos costos asociados.

Es por esto último que se hace de vital importancia, en especial para la operación de perforación, conocer el rendimiento operativo que presenta en cada uno de los sectores de la mina, para así lograr generar planes y programas cercanos a la realidad que presenta la operación y planes de acción en aquellos sectores en los que no se alcanzan los resultados esperados, donde cuyo objetivo principal es cumplir con las metas propuestas y alcanzar la mejor performance para la secuencia completa de producción.

## 1.1 MOTIVACIÓN

La mina El Soldado en los últimos 5 años ha presentado un rendimiento de Perforación inferior a lo planificado en Budget, hecho que lo ha llevado a convertirse en uno de los cuellos de botella principales de la operación.

Bajo esta premisa y tomando como base el año 2020, la flota de producción alcanzó un rendimiento anual promedio de 585 [mpd] menor a los 850 [mpd] planificado en Budget, mientras que la flota de precorte alcanzó un rendimiento promedio de 270 [mpd] inferior a los 590 [mpd] esperado en Budget. Además, a diferencia de lo que dice el Modelo de Operaciones, durante el último año la perforación no ha logrado estabilidad ni tampoco una disminución de su variabilidad, como se detalla en los Gráfico 1 y Gráfico 2, y que por ende este corresponde a un proceso que necesita una intervención si se quiere lograr los estándares que exige Anglo American para cada una de sus operaciones.

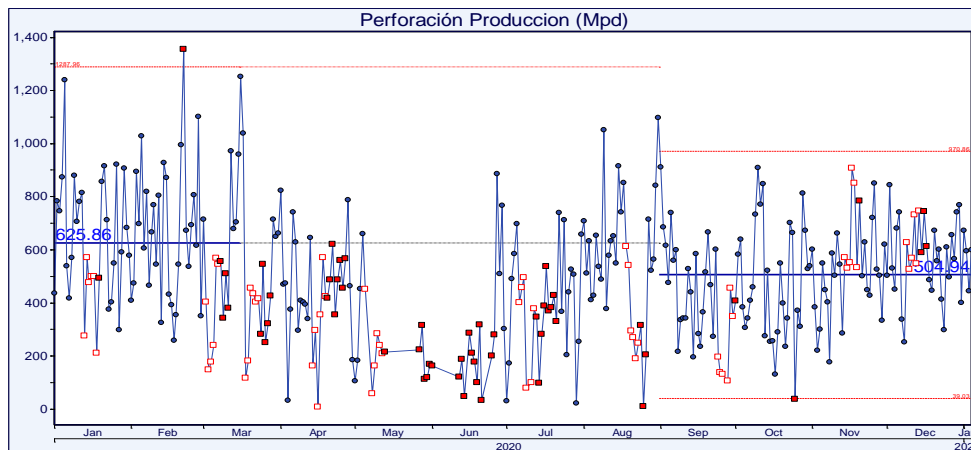


Gráfico 1: Rendimiento operativo de perforación de producción año 2020.

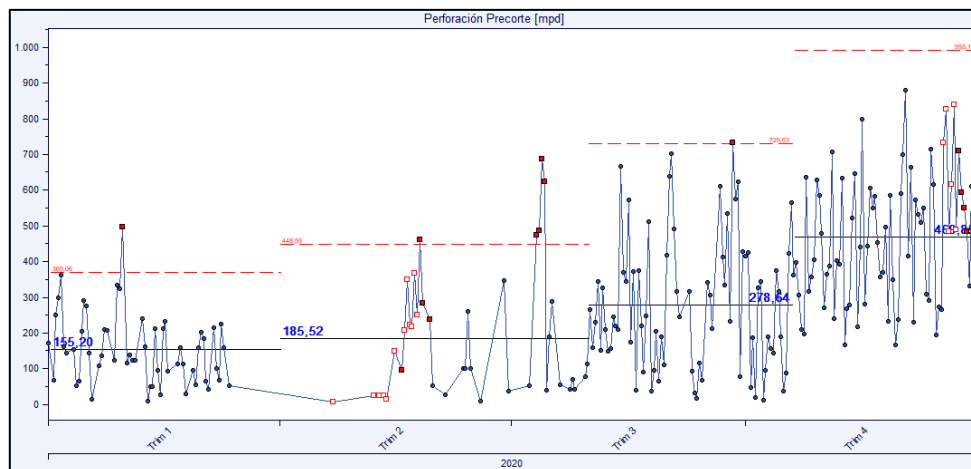


Gráfico 2: Rendimiento operativo de perforación de precorte año 2020.

Para el presente año 2021, y de acuerdo al Budget de El Soldado, los rendimientos operativos planificados consideran 980 [mpd] con un promedio de 21,1 [mph] en producción y 690 [mpd] con un promedio de 20 [mph] en precorte, y que pese al incremento que presentó la operación durante los meses de enero y febrero en el que

pasaron de 15 [mph] a 17 [mph] en producción y de 16 [mph] a 18 [mph] en precorte, el proceso aún presenta muchas oportunidades de mejora que son necesarias capturar, con el fin de lograr la meta impuesta tanto por el área como por la gerencia.

Otro de los problemas a los que se enfrenta El Soldado es que actualmente no cuentan con el conocimiento de los rendimientos de las flotas de perforación en cada uno de los sectores de la mina. Esto se debe a que la faena presenta una variedad de características litológicas, geológicas e incluso geomecánicas/estructurales, debido a la interacción con la mina subterránea la cual presenta zonas de caving y caserones, lo que dificulta aún más contar con un proceso predecible y que por ende esté más controlado.

El trabajo presentado en este informe apunta en esa dirección, ya que lo que se busca es definir los rendimientos de la perforación en cada uno de los sectores de la mina que permitan establecer una línea base con la cual generar planes ajustados a las condiciones presentes en la operación, a partir de la cual se tomen las acciones necesarias para estabilizar el proceso.

## 1.2 OBJETIVOS

En búsqueda de generar una base de datos con los rendimientos esperados para los diferentes sectores de la mina y contar así con un proceso más predecible, que nos permita tomar medidas de forma anticipada ante los distintos escenarios que pueda enfrentar la operación, se definen los siguientes objetivos:

### 1.2.1 *Objetivo general*

- Analizar y proponer cambios en las variables operacionales de las perforadoras y ajustes en el diseño de Perforación que conduzcan a un aumento en el rendimiento operativo.

### 1.2.2 *Objetivos específicos*

- Caracterizar los rendimientos de cada una de las flotas de perforación en los distintos sectores de la mina, estableciendo una línea base con el escenario actual.
- Analizar las principales variables y factores que influyen en el rendimiento de la perforación.
- Detallar un plan de acción para cada una de las flotas y variables que presenten un rendimiento menor al esperado.

## 1.3 ALCANCE

Es de vital importancia definir el marco en el que se desarrollará el análisis, además de establecer una población de datos que sea representativa para el estudio.

En ese sentido, para este trabajo se tendrán las siguientes consideraciones:

- Para el estudio en cuestión, se utilizarán datos medidos durante el año 2020 hasta febrero de 2021.
- Bajo el mismo contexto, el análisis centrará sus esfuerzos en el rendimiento operativo de las perforadoras, sin considerar el efecto de la disponibilidad y uso que tienen sobre las flotas.
- El estudio se centrará tanto en las Fases 3 y 4 que se encuentran operando hoy en día.
- Para el cálculo de los rendimientos, se utilizará información de los equipos que se encuentren actualmente operando, incluyendo aquellos que tengan presupuestado volver a operar según Budget a lo largo del año 2021.
- Se utilizarán los rendimientos operativos por pozo que presentan los equipos y no un promedio del rendimiento por disparo, permitiendo obtener muestras más representativas.
- Debido al cambio cultural que se está generando dentro de El Soldado, es de vital importancia realizar este estudio bajo los principios del AAOM (Modelo de Operaciones de Anglo American).

Teniendo definido el alcance del estudio, lo siguiente es establecer la metodología de investigación a seguir para lograr los mejores resultados.

#### 1.4 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

La metodología de investigación aplicada en este estudio debe ser estructurada lo suficientemente claro y general para no generar sesgos ni errores en los resultados conseguidos. Para llevarlo a cabo se hace fundamental el guiar este trabajo bajo los lineamientos del Modelo de Operación AOM, con el objeto de considerar todas las aristas del problema y afrontarlo de la manera correcta.

De acuerdo con lo anterior, y pensando en el modelo, este estudio se enmarcará en el módulo de A&I, donde cada una de las etapas del análisis estarán distribuidas a través de las áreas de investigación del problema y formulación de medidas de control, como se detalla en la Ilustración 1.



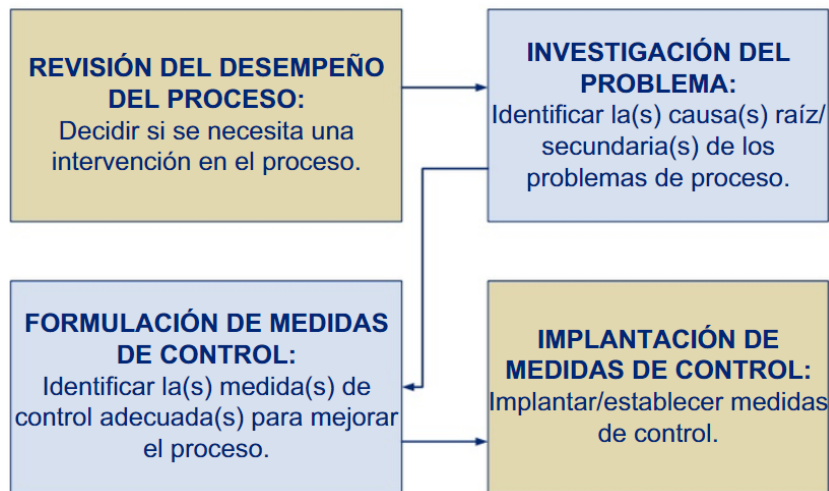


Ilustración 1: Módulo de A&I del Modelo de Operaciones AOM.  
Fuente: (McAlear Management Consultant, 2017)

La metodología de este estudio consta de 4 etapas: definición del sistema, recopilación y estructuración de la información, análisis escenario de perforación y obtención de variables relevantes y formulación de medidas y planes de acción.

#### 1.4.1 Definición del sistema

La primera tarea es estudiar la operación de perforación en El Soldado, tanto de forma específica como global, haciendo un levantamiento de la situación actual. Esto implica definir el sistema, identificando en primer lugar los KPI's a analizar del proceso y los diferentes elementos que influyen y/o alteran el resultado final esperado. El indicador que se analizará para medir el desempeño de la operación de perforación es el rendimiento operativo [mph].

Para realizar el estudio de los rendimientos operativos de cada una de las perforadoras, en primer lugar se definen las condiciones del entorno operacional de la mina El Soldado en donde se ha operado. Estos son conocidos también como inputs externos.

Por otro lado, los inputs internos que son aquellos dependientes tanto del diseño como de la operación en sí y que serán presentados en la sección de ANTECEDENTES PERFORACIÓN.

#### 1.4.2 Recopilación y estructuración de la información

Una vez definidos los inputs se procede a recopilar y estructurar toda esta información para evaluar su real impacto en el rendimiento.

En primer lugar, se procede con la selección de bancos y disparos que nos permitan recopilar la información suficiente de pozos para obtener los rendimientos operativos y generar la línea base. Mediante la herramienta de BlastLogic, se pueden caracterizar los disparos tronados con su respectiva fecha, tipo de roca y cavidad asociada según la Ilustración 2.

Fecha Tronadura	Disparo	Tipo de Disparo	Cavidad	Porcentaje Cavidad	Nombre Cavidad	Litología
06-08-2020	F3-0800-819	ProdCav	Caving	0.64	Santa Clara	Riodacita

Ilustración 2: Excel con información de disparos del Programa BlastLogic.

Cabe destacar que dentro de la información facilitada será muy importante para el siguiente paso el porcentaje de cavidad que presenta cada disparo.

En segundo lugar, se utiliza la información registrada en la base de datos del sistema de gestión de flota Jigsaw. Los reportes por utilizar son Rendimiento de Perforadoras y Estados de los equipos distribuidos de acuerdo con la Ilustración 30 e Ilustración 31 en la sección Recopilación y Estructuración de la Información de anexos. La información relevante entregada por el reporte Rendimiento de Perforadoras son los metros perforados y los tiempos respectivos de cada uno de los pozos realizados por la perforadora, que no corresponden ni al tiempo efectivo ni operativo ya que incluyen los tiempos de reserva y fuera de servicio. Es por esto, que es necesario contrastar la información con la entregada por el reporte Estados de los equipos, el que facilita la información de los estados con los respectivos tiempos de cada una de las perforadoras, cuyo foco serán los códigos que corresponden al estado Operativo.

Posterior a la obtención de esta información (la que corresponde principalmente al año 2020, donde regía el antiguo Modelo de Tiempos) se sigue con su actualización al nuevo Modelo de Tiempos de Anglo American, implementado desde el 01 de enero de 2021.

Es necesario destacar que el cambio de los estados de cada uno de los códigos del modelo de tiempos se hizo pensando en todo aquel que afecte al Rendimiento Operativo, poniendo énfasis así en los estados tanto Operativo como de Demoras. El cambio de los códigos a los nuevos estados se presenta en la Ilustración 32 en la sección anexos.

Una vez modificada la información del proceso de perforación de un pozo, se implementa el siguiente paso a paso para obtener los tiempos operativos, y por consiguiente, el rendimiento operativo de cada pozo:

1. De la sección Rendimiento de Perforadoras, por cada una de ellas se obtiene el metraje real perforado por pozo.
2. El tiempo de esta sección, al ser el tiempo que transcurrió desde que se comenzó a perforar hasta que se completó el pozo, incluyendo todo lo que sucedió entremedio, se utiliza como referencia de tiempo transcurrido.
3. En la sección de Estados, se descartan los estados fuera de servicio y reserva y se mantienen los estados operativos y demoras del modelo antiguo de tiempos de Anglo American.
4. Una vez hecha esta diferenciación, y dentro del marco de referencia de tiempo obtenido de la sección de Rendimientos, se buscan aquellos códigos involucrados en la secuencia de perforación de un pozo con sus respectivos tiempos, definidas en la Ilustración 30 e Ilustración 31 previamente.
5. Ya con los códigos y sus tiempos determinados, junto al metraje real de la sección de Rendimientos, se procede al cálculo de los rendimientos operativos de los pozos para cada una de las perforadoras.

Finalmente, con los rendimientos por pozo de cada uno de los disparos, el siguiente paso es reconocer su ubicación espacial en los diferentes sectores de la mina, mediante el uso del programa Vulcan. Esto se realiza para diferenciar según modelo geológico del yacimiento si el pozo se encuentra en litología, caving o caserón (relleno o vacío), y su posterior clasificación, caracterizando de forma más precisa el rendimiento de cada sector. Para esto, se sigue el siguiente procedimiento:

1. Intersecar los diseños de los polígonos y los de cavidades presentes en el yacimiento, como se muestra en la Ilustración 3.

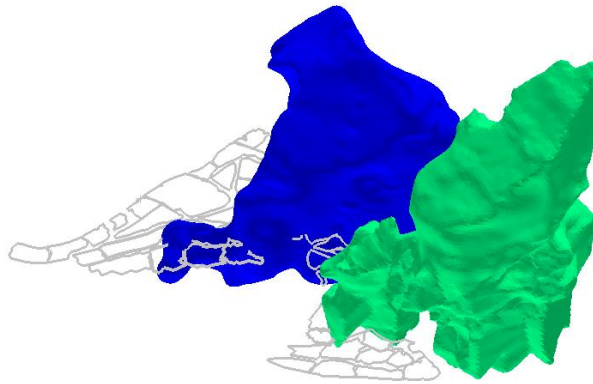


Ilustración 3: Vista isométrica cavidades Santa Clara y California junto al banco 770.

2. Encontrar y definir la distribución espacial de las cavidades dentro de cada uno de los polígonos, como se muestra en la Ilustración 4.

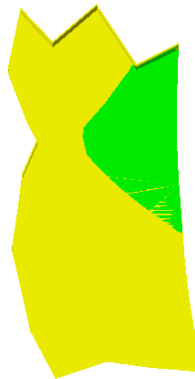


Ilustración 4: Vista en planta de polígono 770-604.

3. Con el diseño de los polígonos con las cavidades incluidas, ahora intersecarlo con los diseños de los disparos, con el objetivo de ir caracterizando la ubicación del pozo dentro del polígono, y por consiguiente, el sector o litología en la que se encuentra perforado, como se muestra en la Ilustración 5.

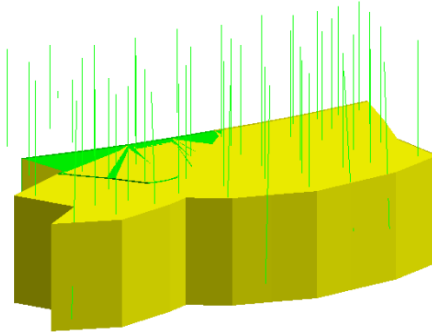


Ilustración 5: Vista isométrica polígono 770-604 con el diseño de disparos

4. En caso de que el pozo se encuentre perforado en diferentes litologías/caving/caserones (no ubicado 100% en uno de los sectores) estos serán filtrados del estudio para así evitar posibles sesgos en los resultados obtenidos.
5. Ir discriminando e incluyendo cada rendimiento operativo obtenido del pozo a cada una de las litologías, cavidades o sectores, para su posterior cálculo.

#### *1.4.3 Análisis escenario de perforación y obtención de variables relevantes*

Una vez definidas las variables a estudiar, los inputs que lo afectan y las herramientas que se utilizarán para obtener y recopilar la información necesaria, se realizará un análisis estadístico para determinar, en primer lugar, los rendimientos exactos según variable seleccionada y, en segundo lugar, determinar aquellos inputs que provocan una mayor variabilidad y disminución en el rendimiento de la operación, y de forma consistente focalizar los recursos en mejorar dichos inputs.

Lo resultado de esta etapa es que una vez finalizado este análisis se tendrá un panorama claro y preciso de la operación de perforación en El Soldado.

#### *1.4.4 Formulación de medidas y planes de acción.*

Finalmente, determinando el rendimiento operativo de cada una de las flotas de perforación según la característica que presente el sector de la mina en la que se esté operando, se generará una base de datos que permita conocer el desempeño actual, estableciendo la línea base para iniciar el plan de mejoramiento.

El objetivo de los planes de mejoramiento a corto plazo será incrementar la cantidad de metros diarios a realizar, pero a largo plazo permitirá definir las mejores prácticas operacionales para cada tipo de unidad litológica, geológica o geomecánica que se presenten en los próximos bancos, siendo esto registrado en el Manual de Tronadura de El Soldado. Con dichas mejores prácticas se podrá instruir a los operadores en forma específica para cada condición.

Como beneficio adicional el entender el desempeño de cada equipo en los distintos tipos de roca y bancos con interacción con la UG, se podrán planificar de mejor forma los insumos de perforación, dándole flexibilidad a la operación.

## 2 ANTECEDENTES

### 2.1 ANTECEDENTES GENERALES

Anglo American es una compañía minera a nivel mundial con una cartera de operaciones mineras competitivas de clase mundial y recursos no desarrollados.

Bajo la premisa “Re-imaginando la minería para mejorar la vida de las personas”, esta empresa tiene como principio proporcionar de forma sustentable en el tiempo las preciadas materias primas que requiere la sociedad moderna enfocándose en cuatro áreas principales: priorizar la salud, la seguridad y el medio ambiente; tratar a las personas con cuidado y respeto; desarrollar el negocio con integridad y proteger su activo físico, información e intereses.

La estrategia de la empresa se basa en 3 pilares fundamentales, los que son: asegurar, desarrollar y operar una cartera de activos con recursos de alta calidad y duración, cuyo principal objetivo es entregar la mayor rentabilidad a los accionistas; innovación en todos los aspectos del negocio pensando en cómo garantizar la seguridad de la gente, siendo esta última el tercer pilar de la empresa (*Anglo American, s.f.*).

Para cumplir con el objetivo y lograr su gran ambición, se necesita crear una cultura dentro de la empresa que permita desarrollar equipos de trabajo con un propósito y de alto rendimiento, bajo la definición de 6 valores (*Anglo American, s.f.*):

- Seguridad
- Preocupación y respeto
- Integridad
- Responsabilidad
- Colaboración
- Innovación

Estos valores, que mueven el accionar de Anglo American en cada una de sus operaciones y actividades son la base fundamental tanto para la empresa como para cada uno de los trabajadores, siendo “Seguridad” el valor principal y con el cual conviven y desarrollan cada uno de sus trabajos.

Anglo American cuenta con un total de 56 operaciones a lo largo de 15 países a nivel mundial, donde destacan Sudáfrica, Australia, Brasil y Chile, entre otros, con un número total de 90.000 trabajadores aproximadamente. Para este estudio específicamente, se analiza a la faena El Soldado perteneciente a Anglo American Sur (*Anglo American, s.f.*).

Las materias primas que desarrollan a lo largo de todo el mundo son: cobre, diamantes (por intermedio de De Beers), metales del grupo del platino, carbón metalúrgico y mineral de Hierro, que son los más necesarios para la producción de acero, manganeso, níquel y carbón térmico en proceso de desinversión.

## 2.2 UBICACIÓN

El Soldado es una mina de cobre ubicada en la Cordillera de la costa sector de El Melón, comuna de Nogales, Región de Valparaíso, a 132 [km] al norte de Santiago y a una altura de 600 m.s.n.m como se ve en la *Ilustración 2*. La faena forma parte de Anglo American Sur.

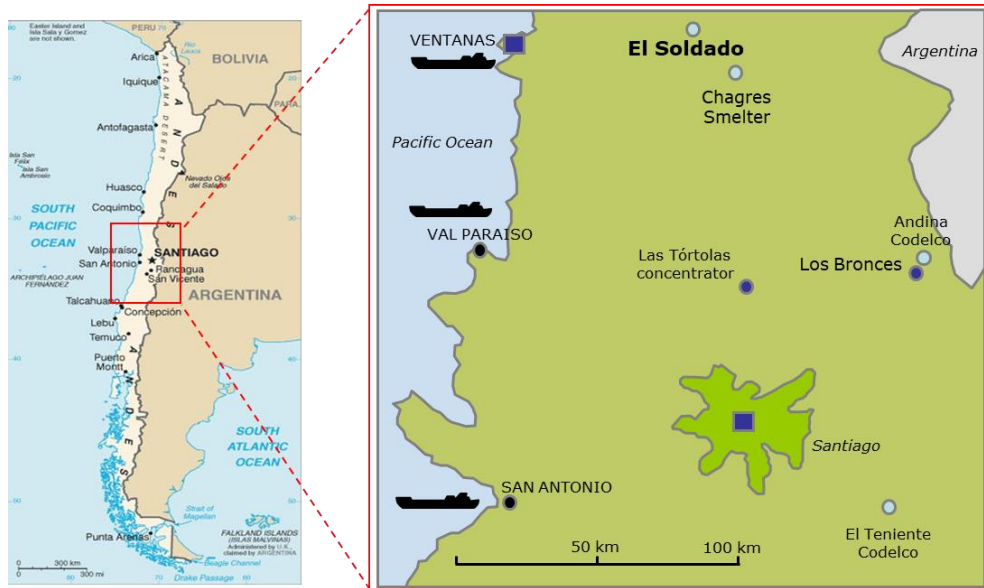


Ilustración 6: Plano de ubicación mina El Soldado.  
Fuente: (El Soldado, Anglo American Sur S.A, 2020)

El yacimiento es actualmente explotado a rajo abierto, pero de tipo ladera como forma de anfiteatro, muy diferente a lo que se desarrolla normalmente en otras faenas del resto de Chile. La mina abarca una superficie total de 8.000 [ha], con un área de operación de aproximadamente 1.200 [ha], el que considera mina, planta, botaderos, tranque de relaves e instalaciones mina. Al 2020 la producción total de cobre fino fue de 45.800 [ton] en forma de concentrado (Anglo American, 2021).

A enero de 2021, El Soldado cuenta con un total de 1.112 trabajadores los que se dividen en: (El Soldado, Anglo American Sur S.A, 2020)

- Personal propio de 690 personas.
- Contratistas permanentes de 422 personas.
- 8,7 [%] de mujeres, 91 [%] de trabajadores de la región.

La mina cuenta con reservas de 80 [Mton] con una ley de 0.82 [%] CuT y con una vida de la mina (LOM) hasta 2027, pero con estudios que podrían extender la vida de la mina hasta el 2035 (El Soldado, Anglo American Sur S.A, 2020).

La mina en la actualidad se encuentra operando las Fase 3 y Fase 4 del rajo. Sin embargo, para diciembre de 2021, se tiene presupuestado terminar de explotar la Fase 3 y continuar solamente con Fase 4.

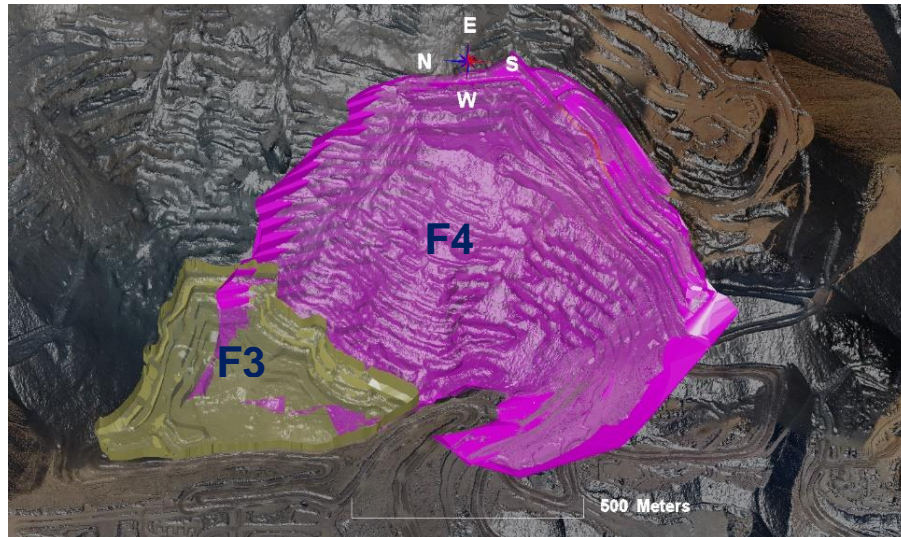


Ilustración 7: Ubicación de las fases en operación y futuras de mina El Soldado.  
 Fuente: (El Soldado, Anglo American Sur S.A, 2020)

El proceso productivo con el que cuenta El Soldado se encarga de extraer mineral sulfurado desde el rajo y procesarlo para obtener como producto concentrado de cobre y enviarlo a Fundición Chagres y/o Mercado (puerto), como se muestra en la Ilustración 8 (Anglo American, 2019).

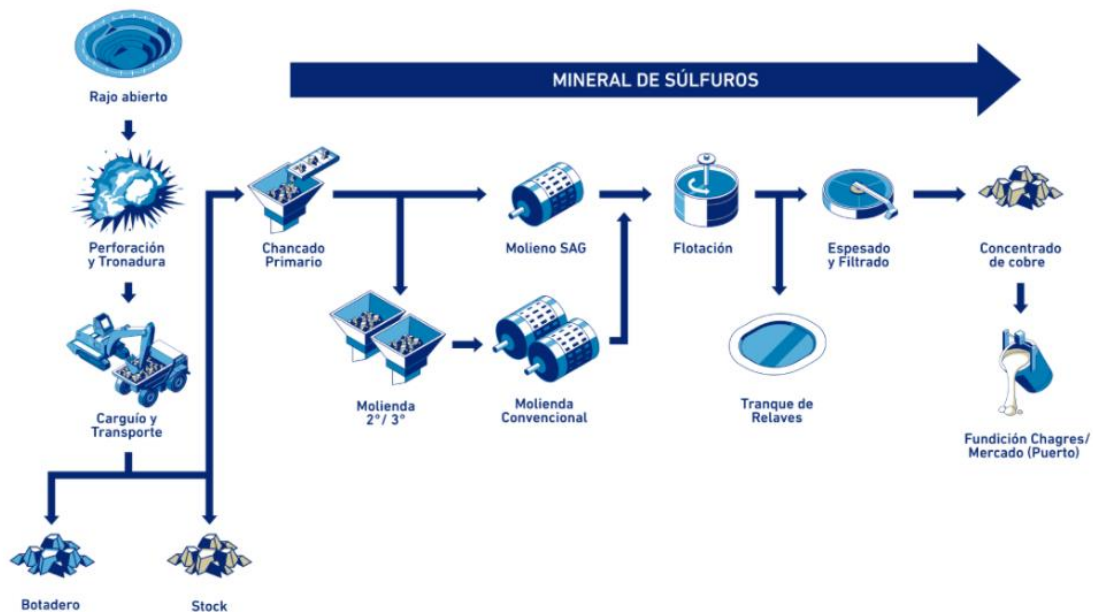


Ilustración 8: Flowsheet proceso productivo El Soldado 2021.  
 Fuente: (Anglo American, 2019)

## 2.3 ANTECEDENTES GEOLÓGICOS Y GEOTÉCNICOS

### 2.3.1 Geología Estructural y Mineralización

El yacimiento de Cobre el Soldado pertenece a la categoría de estratoligados, debido a que se emplazó en secuencias estratificadas, donde la mineralización es fuertemente controlada por factores estructurales como fallas y zonas fracturadas favorables para la ocurrencia de mineralización. El yacimiento corresponde al más grande del distrito (*El Soldado, Anglo American Sur S.A, 2020*).

Las rocas del yacimiento El Soldado históricamente han sido asignadas a dos formaciones del sector, Lo Prado y Veta Negra, de origen marino continental y continental respectivamente (*Infanta, Robles, Fincham, & Lermada, 2006*).

La formación de Lo Prado originada durante el Cretácico Inferior está constituida por sedimentos y rocas volcánicas marinas. Por parte de los sedimentos, vemos principalmente areniscas calcáreas, lutitas y limonitas a los 600 [m]; mientras tanto que por el lado de las rocas volcánicas marinas vemos principalmente flujos basálticos y andesíticos, domos de riodacitas y niveles de lutitas calcáreas, areniscas y brechas volcanoclásticas entre 500 – 650 [m] (*El Soldado, Anglo American Sur S.A, 2020*). El espesor de la Formación Lo Prado es de aproximadamente 550 [m]. Esta formación constituye un homoclinal de rumbo general N-S e inclinación de 30° E (*Holmgren*).

Por otro lado, sobre esta se encuentra la formación Veta Negra, la cual también fue formada durante el Cretácico Inferior y de origen volcánico continental cuya composición son rocas volcánicas provenientes de flujos andesíticos y basálticos, intercalados con areniscas rojas, brechas de toba y niveles de lutita a 200 [m] (*El Soldado, Anglo American Sur S.A, 2020*). Esta formación se presenta con una disposición homoclinal de rumbo general N-NW e inclinaciones variables entre 55 a 80° E (*Saric, Kreft, & Huete, 2003*).

El yacimiento se encuentra en el centro de un sistema estructural de carácter sinistral de dirección NS a NN-SSE. Este sistema estructural habría controlado la orientación y geometría de la secuencia depositada en la cuenca, su sedimentación, volcanismo, emplazamiento de diques y finalmente la mineralización. Dentro del set de fallas que presenta el yacimiento, la más importante es la California, con mayor continuidad a lo largo del rajo. Posee un rumbo NS, manteo promedio de 50° W con desplazamiento tipo normal y con un espesor promedio de 8 [m]. (*Anglo American, El Soldado, 2020*).



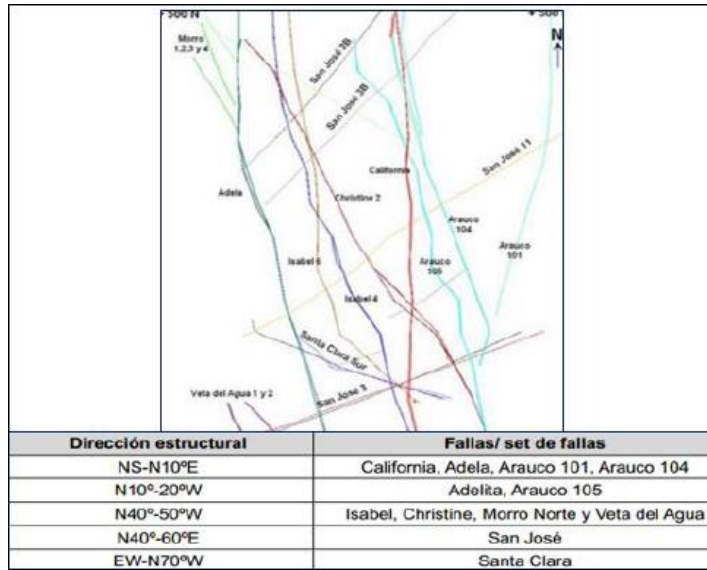


Ilustración 9: Set de fallas yacimiento El Soldado.  
 Fuente: (Anglo American, El Soldado, 2020)

El yacimiento de El Soldado presenta mineral principalmente en forma de vetas, vetillas y diseminado a lo largo de toda la mina. La mineralización económica es primaria, de tipo hipógena, y está compuesta principalmente por calcopirita y bornita, con una menor frecuencia de calcosina y algunas trazas de covelina. Los minerales de ganga más comunes son pirita, calcita, albita, microclina, bitumen (betún), clorita y sílice. La tendencia general del yacimiento es la presencia de mayor bornita – calcosita en el sur y una mayor cantidad de calcopirita en el centro y norte (El Soldado, Anglo American Sur S.A, 2020).

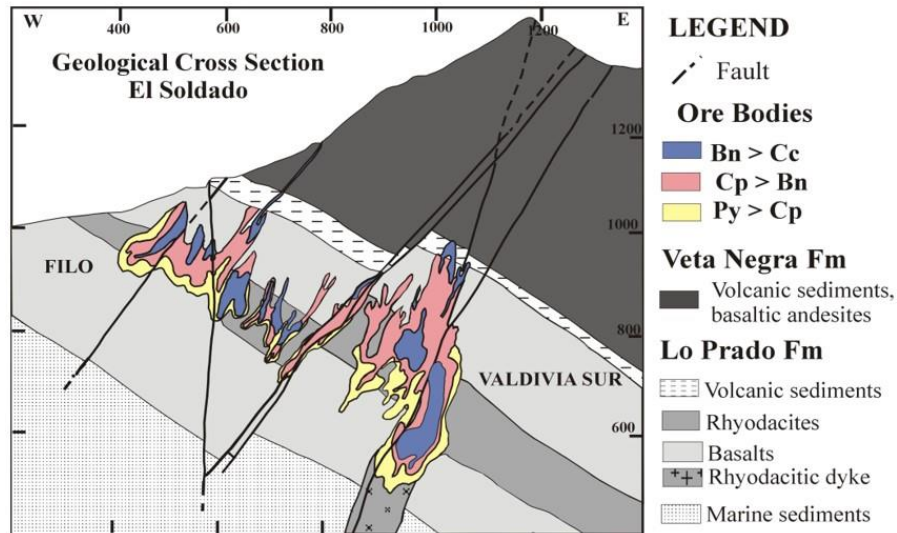


Ilustración 10: Mapa geológico mina El Soldado.  
 Fuente: (El Soldado, Anglo American Sur S.A, 2020)

### 2.3.2 Aguas Subterráneas

Con respecto a las aguas subterráneas, la información hidrogeológica disponible indica que el nivel freático se encuentra por debajo de la cota del piso del rajo, por lo tanto, los taludes pueden suponerse secos, fundamentado principalmente por el hecho de que la antigua mina subterránea actúa como un “gran dren” natural, deprimiendo los niveles freáticos y manteniendo los taludes secos (Anglo American Sur S.A, 2019).

### 2.3.3 Litología

Con respecto a la litología del sector, en el yacimiento de El Soldado se pueden reconocer 5 unidades litológicas predominantes, como se puede ver en la Ilustración 11 (Anglo American Sur S.A, 2019):

- Andesita Lo Prado (And)
- Andesita Veta Negra (VN)
- Sedimento (Sed)
- Toba (Tb)
- Riodacita, conocido localmente como Traquita (Tq)

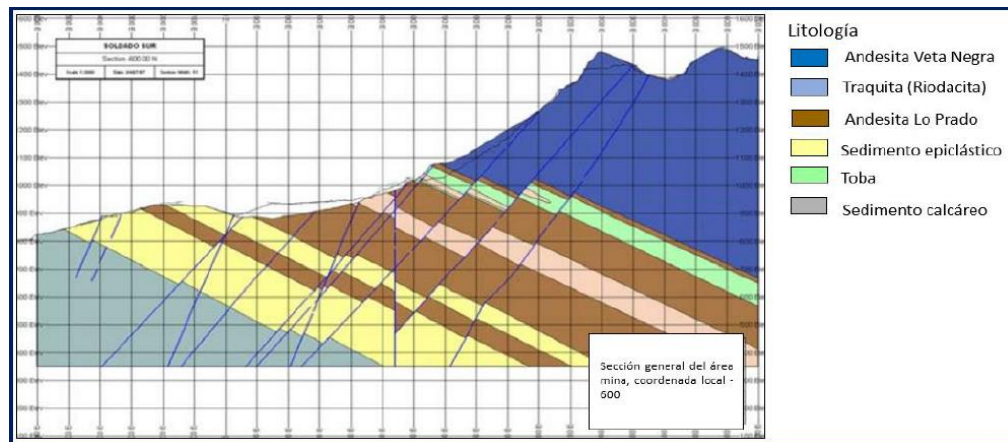


Ilustración 11: Sección general del área mina El Soldado, coordenada local -600.

Fuente: (Anglo American, El Soldado, 2020).

### 2.3.4 Propiedades Geomecánicas

Sumado a la caracterización de las diferentes litologías distribuidas en todo el yacimiento, para el presente estudio hay que considerar de igual forma la dureza de los distintos tipos de roca presentes, ya que estos influyen directamente en los rendimientos y definición de las variables de operación en la perforación.

La dureza será caracterizada por la resistencia a la compresión simple UCS de cada una de las litologías, debido a que este es el parámetro de resistencia más representativo y fácil de revisar. Para estimar las distintas propiedades resistentes de las diferentes unidades geotécnicas (litologías) presentes en el rajo El Soldado, se utilizaron los resultados de los ensayos de laboratorio escalados al macizo rocoso, los que se detallan en la Tabla 48 del anexo (Anglo American Sur S.A, 2019).

### 2.3.5 Interacción UG

La operación de El Soldado actualmente se encuentra en plena interacción con labores subterráneas asociadas principalmente a la explotación de caserones y desarrollo de galerías y niveles productivos. Uno de los principales problemas son que a medida que se va profundizando en la mina aparecen estructuras metálicas asociadas a fortificación y rieles de los niveles de transporte y producción. Sin embargo, el principal desafío para la extracción del rajo son las distintas cavidades que se presentan, por un lado caserones vacíos que deben ser rellenos y hundidos desde superficie, y que en bancos inferiores conforman áreas de relleno que deben ser vueltos a perforar ya que no existe claridad de su granulometría, mientras que por otro lado se encuentra la interacción con zonas de extracción por caving realizado en la UG que por características propias del método de explotación producen incerteza en su granulometría, por lo que deben ser perforados igualmente. Como se observa en la Ilustración 12, las principales cavidades de la mina son: California, Santa Clara y Valdivia (Anglo American Sur S.A, 2019).

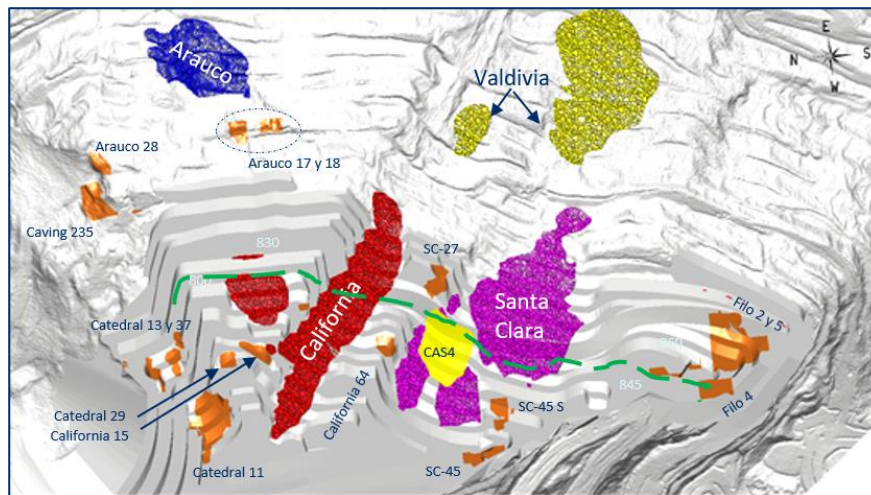


Ilustración 12: Principales cavidades en mina El Soldado.  
Fuente: (El Soldado, Anglo American Sur S.A, 2020)

Dentro de las labores que estarán en contacto con la extracción de las fases de la mina, debido a la interacción con la mina subterránea, son:

- Caserones vacíos
- Caserones rellenos
- Galerías
- Chimeneas
- Ore Pass

Un ejemplo del desarrollo de estas labores subterráneas se puede visualizar en la Ilustración 13 a continuación, correspondiente al polígono 830 de Fase 3.

## FASE 3 SUR

Polígono 830

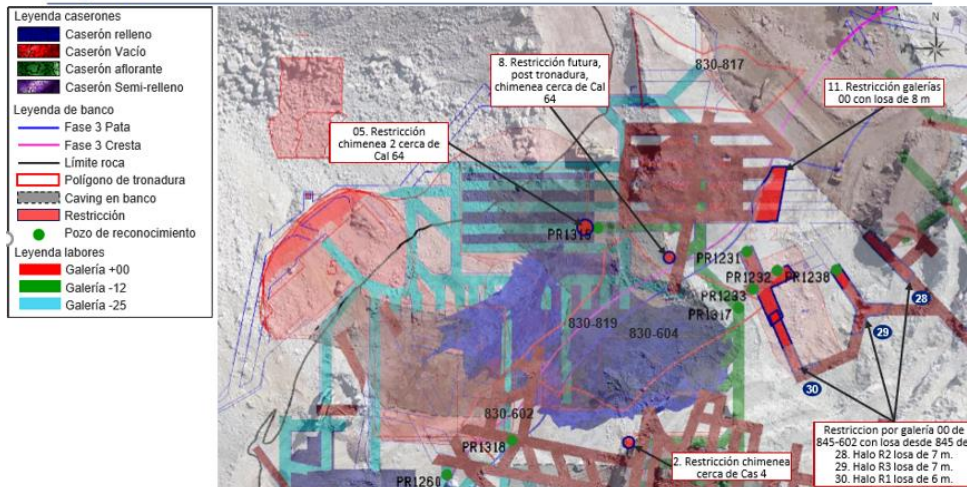


Ilustración 13: Labores subterráneas de Mina el Soldado.

Fuente: (El Soldado, Anglo American Sur S.A, 2020)

Cada una de estas labores deben ser tratadas de forma diferente, sin embargo toda esta interacción esta normada y regulada por el “Procedimiento de Control y Detección de Cavidades”, el que indica lo siguiente (Anglo American Sur S.A, 2019):

El tratamiento ante la presencia de caserones consiste, en primer lugar, el relleno de la cavidad para su posterior hundimiento. Para rellenar los caserones se realizarán chimeneas de tipo VCR a 40 [m] de profundidad mínimo y dejando como promedio un máximo de 10 [m] de luz sobre el techo, mientras que para el hundimiento se deben realizar mallas de perforación de tiros de mayor longitud y posterior tronadura. Al momento de trabajar cercano a estas cavidades debe asegurarse una distancia mínima de seguridad de 100 [m]. Si esto no es posible, se debe retirar del sector, colocando una restricción geomecánica.

Ante la presencia de galerías y estocadas se debe asegurar el hundimiento. Posterior a la detección de estas se realizará el diseño de la tronadura de hundimiento, buscando garantizar el colapso completo del techo y las paredes de las galerías con los conocidos tiros eje y tiros cajeros. Una vez logrado el hundimiento posterior a la tronadura, se debe aislar el sector por un periodo que varía entre 2 – 24 [h], dependiendo de la característica que presentaba el sector. Al trabajar cercano al sector, esto debe realizarse con una distancia mínima de seguridad de 20 [m]. Si no puede asegurarse esta distancia se debe abandonar el sector, colocando una restricción geomecánica.

Para la detección de chimeneas y Ore Pass es a los 30 – 40 [m] de roca firme respectivamente. Una vez confirmada la ubicación se debe planificar el relleno por medio de chimeneas VCR. Una vez hundidas deberá definirse un sector de seguridad alrededor de la chimenea de 3 veces el radio a la redonda donde no se podrán posicionar equipos ni personas, mientras que el carguío debe realizarse por fuera de la zona delimitada (Anglo American Sur S.A, 2019).

## 2.4 MODELO DE OPERACIONES ANGLO AMERICAN

Desde el año 2014, Anglo American ha realizado una gran cantidad de reestructuraciones, cambios organizacionales y mejoras en el rendimiento operacional, cuyo objetivo ha sido lograr un aumento en el desempeño de sus operaciones y por consiguiente, aumentar su cartera de activos teniendo como valor principal la seguridad de las personas.

Este cambio dentro de la empresa ha ido de la mano con el desarrollo e implementación de un modelo operacional, el cual se encarga de proporcionar un conjunto de estándares y herramientas para planificar, completar el trabajo e identificar las oportunidades de mejora que permitan asegurar que el rendimiento del proceso se ajusta a las expectativas del negocio establecidas por gerencia. Este trabaja en conjunto al modelo organizacional como parte de la estrategia general de Anglo American.

El propósito del Modelo de Operaciones es cumplir con las expectativas del negocio relacionadas a la efectividad, eficiencia y sustentabilidad, conocidas también como las dimensiones del desempeño dentro de la organización. Estas características indican el logro del propósito de un proceso, y por lo tanto su viabilidad. Siempre que se pueda deberá medirse cada una de estas características, sin embargo, estas mediciones variarán de acuerdo con el nivel de la organización en que se esté analizando y por consiguiente, por cada nivel se llegarán a análisis y conclusiones diferentes (*Anglo American, 2021*).

La teoría bajo la que funciona el Modelo de Operaciones es:

- Hacer el trabajo correcto, en el tiempo correcto y de la forma correcta.
- Asegurar que el trabajo esté planificado, programado y asignado apropiadamente los recursos necesarios para realizarlo.
- Crear una red de trabajo comprometida para lograr un incremento de su productividad.

Mientras que los principios básicos bajo los que se sustenta el Modelo de Operaciones y que busca entregar a todo proceso y actividad dentro de las distintas operaciones a lo largo de todo el mundo son (*McAlear Management Consultant, 2017*):

- Entregar claridad: Poseer un claro entendimiento de las distintas tareas a realizar por cada uno de los miembros del equipo de trabajo. Esta claridad produce resultados repetibles y consistentes.
- Producir estabilidad: Estabilizar un proceso permite hacer predecible cada una de nuestras operaciones, eliminando la incertidumbre y trayendo consigo resultados consistentes y esperables.
- Reducir variabilidad: Reducir la variación en la etapa de entrada o dentro del proceso con el objetivo de incrementar su capacidad y eficiencia. Una operación predecible y capaz permite obtener resultados deseados.

El Modelo de Operaciones cuenta con una estructura bien definida que entrega una metodología de trabajo y los resultados esperados en cada una de sus etapas. Los

componentes claves que presenta el modelo de operaciones son 3: Planificación Operacional, Gestión del Trabajo y Retroalimentación, los que se presentan en la *ilustración 9*:

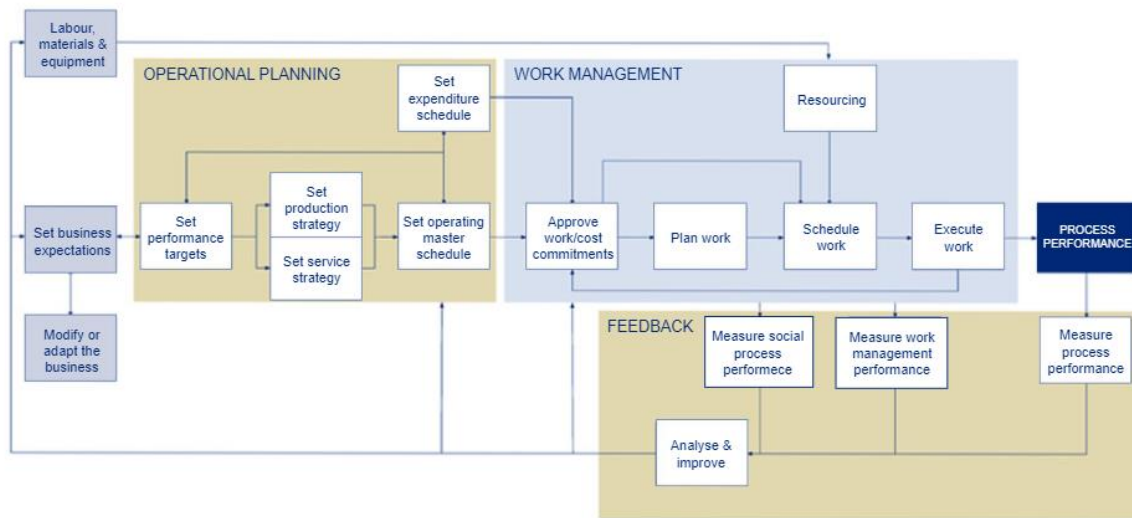


Ilustración 14: Componentes Claves del Modelo de Operaciones de Anglo American.  
Fuente: (McAlear Management Consultant, 2017)

Como se menciona en el párrafo anterior, cada uno de estos componentes es importante por sí sólo, y el conjunto de todos permite llevar a cabo una operación eficiente, efectiva y sustentable.

Lo que se busca conseguir con la implementación del Modelo de Operaciones en cada una de las actividades de Anglo American, es lograr tener un proceso completamente predecible en el cual se disminuyan los riesgos de conseguir los objetivos y metas propuestas, y a la vez, en caso de presentarse alguna amenaza que ponga en duda la obtención de resultados poder levantar la situación a los responsables de cada una de las tareas y así tomar medidas de forma anticipada y que nos permita sobrellevarlas de la mejor manera.

Bajo este escenario, cualquiera que sea el proceso que se esté llevando a cabo debe pasar cada una de las casillas del Modelo de Operaciones para así asegurar que el trabajo se está realizando de la forma correcta y cumpliendo con los estándares que exige Anglo American.

El estudio a continuación se sitúa transversalmente a lo largo de las 3 etapas del Modelo de Operaciones. Esto se produce ya que la información obtenida de este estudio será utilizada tanto para la planificación operacional como para la gestión del trabajo, y finalmente con la caracterización del desempeño realizada se buscará, en caso de ser necesario, tomar aquellas medidas que nos permitan mejorar el rendimiento del proceso.

#### 2.4.1 Planificación Operacional

El propósito de esta etapa del Modelo de Operaciones es especificar la manera más económicamente efectiva de operar el negocio, diseñando o revisando los componentes de los procesos para mejorar sus resultados (*Anglo American, 2020*)

La Planificación Operacional cuenta con 5 casillas que van desde establecer objetivos de desempeño hasta establecer cronograma de gastos y el cronograma Maestro de Operación, siendo este último el más relevante para el estudio.

Como se muestra en la Ilustración 26 de la sección Anexo Planificación Operacional, la etapa de establecer un Programa Maestro de Operación cuenta con 3 secciones: Ingreso de estrategias seleccionadas, Optimización de programa (un modelo) y finalmente Análisis y resultados.

El estudio en cuestión se encargará de caracterizar el rendimiento de la flota de perforación en la mina El Soldado, cuyos resultados serán utilizados principalmente para el ajuste del Programa Maestro, ubicado entre las secciones 2 y 3 de la planificación operacional.

El Programa Maestro (OMS) corresponde a la “hoja de ruta” de las actividades de trabajo adecuadas para el cumplimiento de las expectativas de negocio, así como la distribución de la duración de cada actividad (*McAlear Management Consultant, 2017*). Actualmente, no se cuenta dentro del Programa Maestro con los inputs (rendimientos) de perforación actualizados debido a la variabilidad que presenta el sector y a las mejoras operativas y de diseño implementadas a lo largo del último periodo, por lo que se hace muy complicado el poder tener un proceso predecible y por consiguiente tener resultados consistentes y confiables. Es por esto, que una vez que se obtengan los resultados del estudio, estos se entregarán como inputs al OMS logrando así tener procesos de planificación y programación posteriores más precisos, pensando en una planificación a mediano – largo plazo.

#### 2.4.2 Gestión del Trabajo

El propósito de esta etapa es entregar de forma confiable el trabajo correcto, implementando el plan y midiendo la performance del proceso (*Anglo American, 2020*).

La gestión del trabajo, de acuerdo con la Ilustración 14, cuenta con 5 casillas por la que el proceso debe pasar para obtener los resultados esperados. Estas etapas corresponden a: Aprobar compromisos de trabajo/costos, Planificar trabajo, Programar trabajo, Asignar recursos y Ejecutar trabajo, siendo la segunda, tercera y cuarta las más relevantes para este estudio, cada una con sus respectivas ilustraciones en la sección anexo.

En la mina El Soldado, se desarrolla semanalmente un documento llamado “Programa Bisemanal xx al xx de abril de 2021”, el cual entrega la planificación, programación y asignación de los distintos recursos con los que cuenta la operación con el fin de cumplir las metas propuestas al corto plazo (turno) y por consiguiente al mediano plazo (OMS y

Budget).

Al igual que se explicó en la sección de Planificación Operacional, los resultados del estudio serán entregados como inputs a la Gerencia de Planificación con el objetivo de que puedan generar este documento de la mejor manera posible, ajustando los parámetros y rendimientos de la perforación y por consiguiente viendo y tomando las oportunidades de adelanto en caso de presentarse, o de igual forma tomando las medidas o planes de acción correspondientes en caso de presentarse alguna amenaza que ponga en riesgo el cumplimiento, pero esta vez pensando en una visión a corto plazo y con decisiones inmediatas.

### *2.4.3 Retroalimentación*

El propósito de la última etapa del Modelo de Operaciones consiste en iniciar o indicar las acciones de control efectivas cuando se requiera intervenir el proceso, evaluando las mediciones realizadas e informando los resultados a los tomadores de decisiones (Anglo American, 2020).

La etapa de retroalimentación cuenta con cuatro casillas que van desde la medición del desempeño hasta el análisis y mejora del proceso. Si bien esta etapa no está relacionada directamente con el estudio, el concepto que desarrolla sí, debido a que una vez que se logre dar con el panorama actual del rendimiento de la perforación en la mina El Soldado, lo que se buscará será encontrar aquellas medidas de control, relacionadas a la operación (variables de operación, expertiz de los operadores, nuevas tecnologías, etc.), que logren darle estabilidad al proceso y poder adelantarse a aquellas condiciones adversas y periodos de menor desempeño, inherentes al sector, con el fin de reducir la variabilidad en sus resultados como pide el Modelo de Operaciones.

## 2.5 ANTECEDENTES PERFORACIÓN

La operación de perforación es una de las etapas más relevantes del proceso productivo minero, debido a que gracias a ésta y posterior tronadura, se genera todo el material tronado que posteriormente permite a las etapas de carguío y transporte funcionar y mantener a la mina operando continuamente. Si algún evento en esta etapa produce retrasos en la entrega de este material, esto puede provocar incluso la detención de la operación, lo que sería catastrófico para cualquier negocio minero.

En El Soldado cuentan con un proceso bien definido y estructurado, lo que permite asignar tareas claras y dejar establecido cada una de las etapas que componen la Perforación. Este proceso cuenta con el siguiente esquema de proceso, presentado en la Ilustración 15.



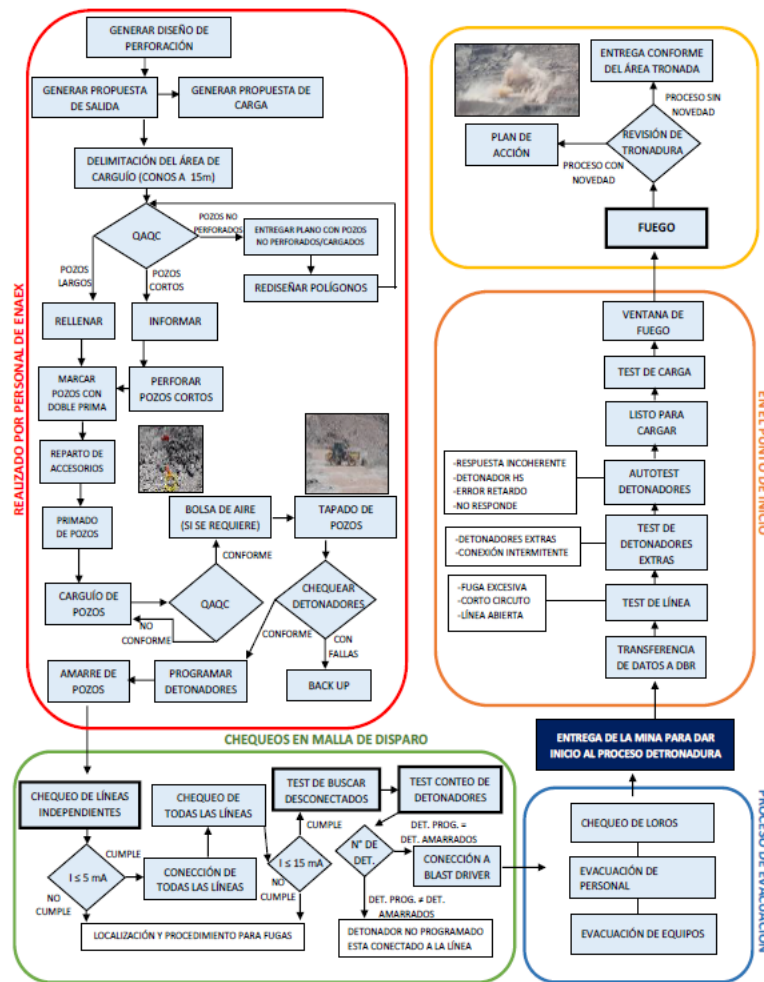


Ilustración 15: Proceso de diseño de operación de perforación El Soldado.  
Fuente: (Anglo American, El Soldado, 2020).

Como se mencionaba previamente en el Modelo de Operaciones, todos los procesos dentro de la mina deben estar planificados, programados y con una asignación correcta de los recursos para llevarse a cabo. Esto se vuelve posible si se definen las entradas, salidas y responsables para cada una de las tareas y procesos que se realizan a lo largo de la operación. La operación de Perforación no es una excepción y presenta la estructura de la Ilustración 16.

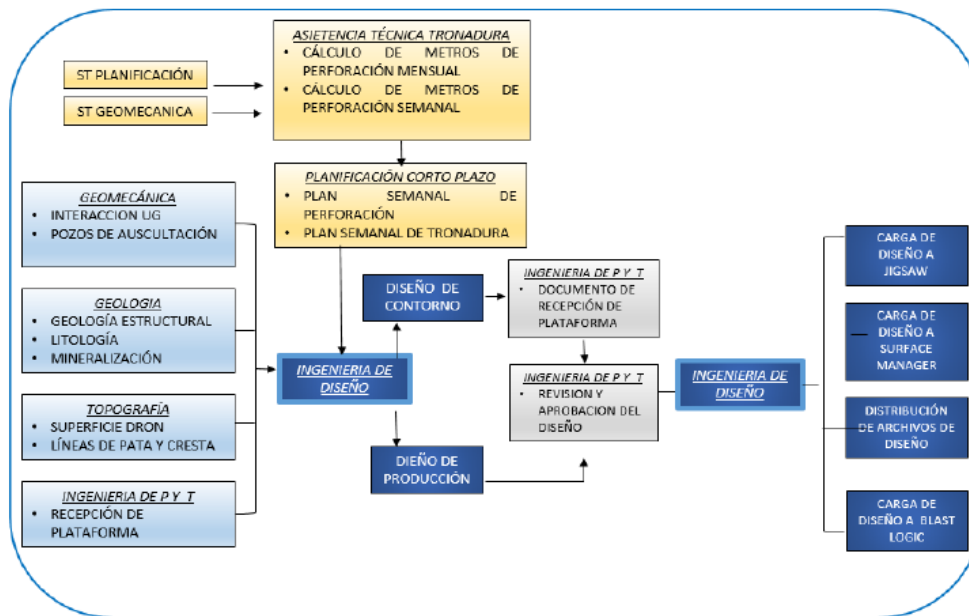


Ilustración 16: Áreas integrales del proceso de diseño operación de perforación El Soldado.  
 Fuente: (Anglo American, El Soldado, 2020)

### 2.5.1 Flotas de Perforación

En la mina El Soldado, para cumplir con las especificaciones que pide la operación se cuenta con una flota de producción y una flota de DTH, las que se diferencian por el tamaño del diámetro del trepano/bit utilizado y su función dentro de la perforación en cada uno de los polígonos.

Con respecto a las perforadoras, la operación cuenta con un total de 9 máquinas, las que se dividen en 5 modelos distintos:

- Perforadora Drilltech D75KS.
- Perforadora DI600 Sandvik.
- Perforadora Ingersoll Rand DMM3.
- Perforadora Atlas Copco PV271.
- Perforadora SmartRoc D65.

Además, cada una de las flotas cuenta con diferente cantidad y modelos de perforadoras, de acuerdo con las necesidades de la operación. Cada una de las flotas, junto a sus características, funciones y perforadoras son presentadas en la Tabla 1.

Tabla 1: Flotas, características y perforadoras mina El Soldado.

Perforación El Soldado				
Flota	Producción		Precorte	
Diámetros	9 7/8"	10 5/8"	6 1/2"	
Tipo de perforación	Producción	Buffer	Precorte	Buffer
Perforadoras	D75KS	P-12	D65	P-15
		P-11		P-14
	PV271	P-05	D1600	P-08
	DMM3	P-04		P-07
		P-03		

### 2.5.2 Tipos de Pozos

Otro de los ítems a considerar en el proceso, es que para perforar cualquier polígono de extracción, es necesario entregar previamente un diseño de malla a desarrollar que nos permita planificar la secuencia, la cantidad de equipos y el tiempo requerido para su perforación.

El encargado de la realización del diseño es a través del área técnica de Tronadura, el cual entrega de forma presencial a los supervisores y operadores del área y posteriormente lo sube al sistema para su visualización desde la perforadora al momento de operar.

Dentro de los parámetros que se entregan en el diseño de malla se encuentran la litología predominante, la resistencia a la compresión simple UCS y el diagrama de disparo de la malla con la numeración correspondiente de sus pozos, indicando su naturaleza.

Uno de los parámetros importantes para el estudio es la naturaleza de cada uno de los pozos al momento de perforar, debido a que dependiendo de la característica del sector/pozo es el rendimiento que tendrá la perforadora. Además, esto nos permite diferenciar y caracterizar de mejor manera los rendimientos, ya que debido a la interacción con la mina subterránea en un mismo polígono podremos enfrentarnos a más de un tipo de pozo. Es por esta razón, que es necesario saber cuáles son los tipos de pozos que se pueden presentar en un polígono de extracción, los que son presentados en la Tabla 2.

Tabla 2: Tipos de pozos en el diseño de malla.

Diseño de malla	
Pozos	Tipo
50 – 60	Borde
100	Eje
200	Cajero
300	Caving
400	Roca
500	Buffer 3
600	Buffer 2
700	Buffer 1
800	PCS
	PCD
900	Línea de pata
	Contorno
1000	Reconocimiento

*Fuente: (Garrido, 2021)*

En este diseño de malla existe un total de 11 tipos de pozos, diferenciados por su numeración, donde cada uno tiene distinta característica/función/ubicación dentro de un disparo. Cuando se habla de la naturaleza del pozo, se refiere a:

- Pozo de borde: Correspondiente a los pozos de las últimas líneas de producción perforados cercanos a la cresta del banco.
- Pozo eje: Correspondiente a los pozos realizados al centro de la galería/estocada de forma perpendicular al eje horizontal.
- Pozo cajero: Correspondiente a los pozos realizados a ambos costados de la galería/estocada de forma perpendicular al eje horizontal.
- Pozo caving: Correspondiente a los pozos realizados en sectores de caving.
- Pozo roca: Correspondiente a los pozos realizados en sectores de roca consolidada.
- Pozo buffer x: Correspondiente a los pozos de la primera, segunda o tercera línea buffer (dependiendo de la malla diseñada) como transición entre la malla de Precorte y la de producción.
- Pozo PCS: Correspondiente a los pozos de la línea de Precorte con una longitud de un banco, es decir, 15 [m].
- Pozo PCD: Correspondiente a los pozos de la línea de Precorte con una longitud de dos bancos, es decir, 30 [m]
- Pozo línea de pata/contorno: Correspondiente a los pozos de contorno o que alcanzan la pata del banco.
- Pozo de reconocimiento: Correspondiente a los pozos realizados para la detección y reconocimiento de cavidades vacías/rellenas. Estos deben asegurar la inexistencia de cavidades vacías donde existe un riesgo de colapso. La longitud variará según la ubicación de la cavidad.

### 2.5.3 Elección del tricono

La elección de un tipo de tricono para la perforación en cualquier mina es una etapa fundamental y que puede definir el éxito o fracaso de un proceso.

Existen una amplia gama de triconos, desde los dientes de acero para formaciones más blandas, aplicados principalmente en pozos de agua y perforaciones de petróleo, hasta formaciones de roca de mayor dureza, como por ejemplo en perforaciones de pozos en la industria minera.

La principal diferencia entre los triconos para formaciones blandas y duras es el diseño y composición de los insertos que lo componen. Para formaciones blandas el tipo de inserto utilizada es más bien largo y puntiagudo, mientras que para formaciones de mayor dureza se utilizan insertos más redondos y pequeños, como se presenta en la Ilustración 17. Esto se debe al tipo de parámetro que responde la roca según su UCS.

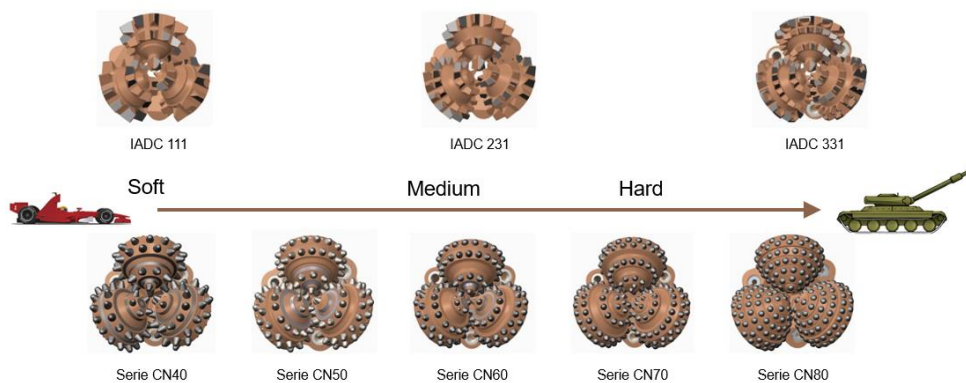


Ilustración 17: Tipos de triconos e insertos según dureza de la roca.  
Fuente: (TEAS CHILE)

Al momento de definir el tricono adecuado para la operación se vuelve de vital importancia las características de la roca en la cual se está trabajando. Para cada tipo de roca y su resistencia a la compresión uniaxial (UCS) existe un diseño específico con su respectiva serie IADC (TEAS CHILE).

Tabla 3: Tabla de selección de tricono según dureza y UCS de la roca.

Strength of Rock		Soft			Medium			Hard			Rock Formation / Class
PSI	MPA	10	20	30	40	50	60	70	80		
Lower	Lower										Limestone, Siltstone
2,000	14										Claystone, Mudstone, schist
4,000	28										Marl, Chalky Limestone
6,000	41										Soft - Medium Shales
8,000	55										Soft Marble, Dolomite
10,000	69										Consolidates Sandstone
12,000	83										Medium Shale, conglomerate
14,000	97										Tuff, Soft Schist
16,000	110										Andesite, Rhyolite
18,000	124										Quartzite (Sand & Silt)
20,000	138										Limestone, Marble
22,000	152										Monzonite, Granite
24,000	165										Gneiss
26,000	179										Diorite, Diabase
28,000	193										Hard Shale, Slate
30,000	207										Limestone, Dolomite
32,000	221										Basalt
34,000	234										Tactite, Skarn
36,000	248										Granodiorite
38,000	262										Taconite
40,000	276										Quartzite
42,000	290										Syenite
44,000	303										Gabbro
46,000	317										
48,000	331										Banded Iron
50,000	345										Taconite
52,000	359										Chert
54,000	372										Basalt (Hard)
56,000	386										Quartzite
58,000	400										
60,000	414										Amphibolite
Higher	Higher										Hornfels, Hematite Ore

Fuente: (TEAS CHILE)

Pese a que cada roca requiere un tricono adecuado para la formación, el operador es quien decidirá y definirá los parámetros del WOB y RPM, por lo que se hace muy importante el entregarle la mayor cantidad de conocimiento a cada uno de los operadores para que pueda aplicar al momento de perforar.

#### 2.5.4 Modelo de Tiempos de Anglo American

Dentro de los grandes cambios organizacionales dentro de la empresa, al mes de Diciembre de 2020 Anglo American implementó un nuevo Modelo de Tiempos para esto entregó una guía con la nueva estructura a implementar en todas las faenas de Anglo American. En la mina El Soldado esta comenzó a regir a partir del 01 de Enero de 2021

El modelo busca maximizar el rendimiento de los equipos a través de una correcta utilización permitiendo identificar la causa raíz de las pérdidas presentes en el proceso (Anglo American COPPER, 2020).

La nueva estructura tiene como objetivo estandarizar los elementos que componen el modelo de tiempo, lograr consistencia al medir y reportar los KPI's, facilitar el benchmarking entre operaciones Anglo American y mejorar las mediciones del performance de las operaciones para detectar las oportunidades que presenta el proceso.

La nueva estructura del Modelo de Tiempos corresponde a la presentada en la Ilustración 18.

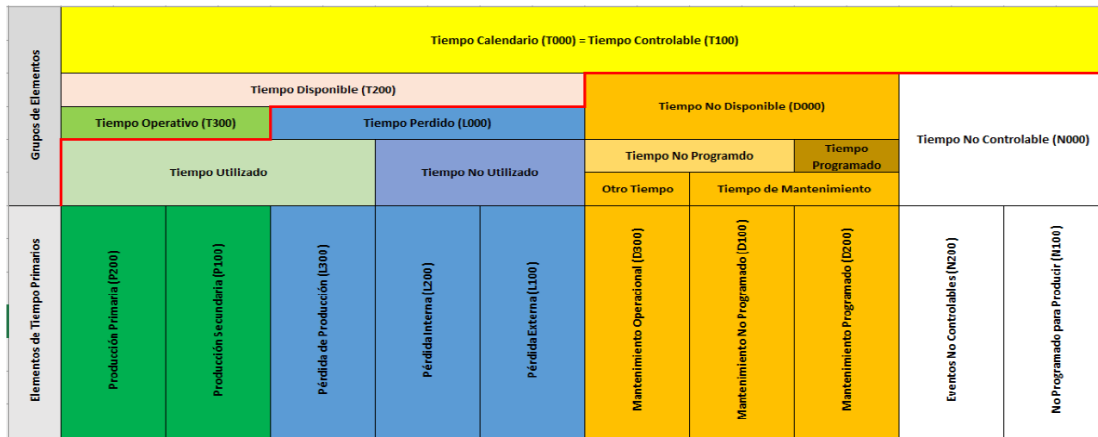


Ilustración 18: Nuevo Modelo de Tiempos de Anglo American.  
Fuente: (Anglo American COPPER, 2020)

Dentro del nuevo Modelo de Tiempos, las principales métricas a considerar y del que se obtendrán algunas para el presente estudio se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4: Principales métricas del nuevo Modelo de Tiempo de Anglo American.

Indicador	Fórmula de Cálculo
Disponibilidad	$Disponibilidad \% = \frac{Tiempo\ Disponible}{Tiempo\ Calendario}$
Utilización	$Utilización \% = \frac{Tiempo\ Utilizado}{Tiempo\ Calendario}$
Utilización Efectiva	$Utilización\ Efectiva \% = \frac{Tiempo\ Operativo}{Tiempo\ Calendario}$
Uso de Disponibilidad	$Uso\ de\ Disponibilidad \% = \frac{Tiempo\ Utilizado}{Tiempo\ Disponible}$
Uso Efectivo de Disponibilidad	$Uso\ Efectivo\ Disp \% = \frac{Tiempo\ Operativo}{Tiempo\ Disponible}$
Eficiencia Operacional	$Eficiencia\ Operacional \% = \frac{Tiempo\ Operativo}{Tiempo\ Utilizado}$
Tasa de Producción	$Tasa\ Producción = \frac{Producción}{Producción\ Estimada\ 2010}$
Rendimiento Operativo Promedio	$Rendimiento\ Promedio = \frac{Producción}{Tiempo\ Operativo}$
Tonelaje Anualizado	$Tonelaje\ Anualizado = Tiempo\ Calendario \times Disponibilidad \times Uso\ de\ Disponibilidad \times Eficiencia\ Operacional \times Rendimiento\ Promedio$

Fuente: (Anglo American COPPER, 2020).

### 2.5.5 Proceso de Perforación

“La perforación nace como la respuesta a una necesidad del hombre, que en principio fue la acumulación o extracción del agua, luego la extracción de salmuera para desencadenar la expansión en busca de petróleo hasta llegar a la perforación para tronaduras y exploraciones de distintos tipos de elementos, como así en los últimos tiempos la perforación de grandes diámetros para crear túneles transitables” (TEAS CHILE).

Hoy en día en la industria minera, existen dos mecanismos de perforación que se utilizan tanto en minería subterránea como en minería a cielo abierto, como lo son la perforación rotatoria y la perforación rotopercutiva Down The Hole (DTH).

El primer mecanismo consiste en un método de avance de la perforación de un pozo que se basa en el movimiento circular continuo de la barrena para fracturar la roca en el fondo del pozo. Este corresponde a un proceso prácticamente continuo, porque el detritus es

removido a medida que los fluidos de perforación circulan a través del barreno y hacia la superficie (*Schlumberger, s.f.*).

Por otro lado, el segundo mecanismo, desarrollado posteriormente a la perforación rotativa, se basa en que un pistón golpea directamente la broca en el fondo de la perforación. De esta forma se evita la pérdida de energía transmitida por la percusión del pistón a través del varillaje como en el sistema top hammer, que a partir de los 15 a 20 [m] de profundidad deja de ser eficientes. El accionamiento del pistón se lleva a cabo neumáticamente, mientras que la rotación y fuerza de avance puede ser neumática o hidráulica, según sea el equipo que utilice (*TEAS CHILE*).

### 2.5.6 Costo total de perforación

También conocido como TDC (Total Drilling Cost), corresponde al costo total que tiene el proceso de perforación considerando distintos factores, los que se relacionan de la siguiente forma:

$$TDC = \frac{\text{Costo de Acero [USD]}}{\text{Vida Útil [m]}} + \frac{\text{Costo horario operación del equipo [USD/h]}}{\text{Tasa de penetración (ROP)[m/h]}}$$

Ecuación 1: Costo total de perforación TDC.  
Fuente: (*TEAS CHILE*)

Una vez definido el costo total de perforación, se puede desprender de esta que los factores más relevantes para la evaluación económica del proceso son la tasa de penetración (ROP) y los metros perforados por cada trepano (Vida Útil), ya que estos dos factores inciden directamente en la operación de perforación y además son inversamente proporcionales al TDC, sin dejar de considerar que la variación de alguno de los parámetros afecta directamente a los demás.

Para elegir la adecuada combinación de estos dos factores es necesario considerar las condiciones particulares de la operación y las competencias del personal, debido a que el ROP y la vida útil están condicionados por las habilidades que posea el operador.

Con el objetivo de disminuir el costo total de perforación, lo que se busca es:

- Aumento en la vida útil de los aceros (Vida Útil).
- Aumento en la tasa de perforación (ROP).

Para poder identificar cual/es es/son los factores que son necesarios atacar para lograr una disminución del costo de perforación, se hace necesario realizar un desglose del costo total de perforación, según la *Ecuación 2*.

$$\text{Costo total de perforación } \left[ \frac{\text{USD}}{\text{m}} \right] = \text{costo fijo} + \text{costo variable}$$

Ecuación 2: Estructura del costo total de perforación.  
Fuente: (*TEAS CHILE*)



- Costo Fijo: Aquellos costos que no dependen del nivel de actividad.
- Costo Variable: Aquellos costos que dependen directamente del nivel de actividad.

Estos costos se distribuyen en:

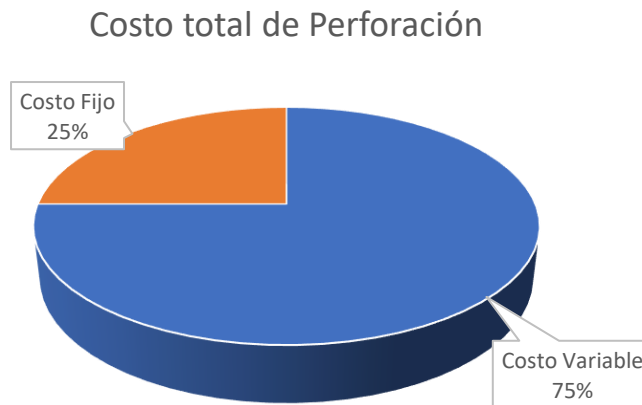


Gráfico 3: Distribución de los costos de perforación.  
Fuente: (TEAS CHILE)

Debido a que los principales costos son los variables, el objetivo debe ser disminuir la utilización de los equipos, o por consiguiente, incrementar la tasa de penetración (ROP) con tal de perforar una mayor cantidad de metros en el mismo periodo de tiempo (TEAS CHILE).

Una vez definida la estrategia y el factor de la perforación correspondiente al ROP (rendimiento), hay que definir el tipo en el cual se centrará el análisis y se buscará mejorar para optimizar el proceso.

### 2.5.7 Tasa de Penetración

La tasa de penetración se define como la velocidad a la que profundiza la perforación, medida en metros por hora (Portilla, Suárez, & Corzo, 2012).

De acuerdo con el Nuevo Modelo de Tiempos de Anglo American, se pueden diferenciar dos tipos de ROP que nos permiten identificar y cuantificar el desempeño del proceso, los que corresponden a:

- ROP Instantáneo
- ROP Operativo

La principal diferencia entre ambos es que el instantáneo depende principalmente de las características del terreno, eficiencia de los aceros y condiciones del equipo, mientras que el operativo depende principalmente de las pérdidas operacionales del proceso de perforación, las competencias y habilidades del operador, de la planificación de la mina y la programación del mantenimiento (TEAS CHILE).

Como se menciona anteriormente, y debido a que el objetivo del estudio es centrarse en la operación de perforación, se utilizará el ROP Operativo en el análisis.

### 2.5.8 Variables de Operación Relevantes

Como se mencionaba en la sección anterior, el estudio centrará sus esfuerzos en la operación de perforación y sus variables respectivas. Es por esta razón que es importante mencionar y definir cada una de estas con el objetivo de entender el proceso.

Dentro de las principales variables de operación que afectan el rendimiento de la perforación tanto en perforación rotopercutiva como rotativa se encuentran: Rotación (RPM), Fuerza de Empuje (WOB), Velocidad, Presión y Caudal de Barrido. De la posible clasificación de los parámetros de perforación, estos corresponden a los relacionados con el proceso en sí, siendo los principales elementos en los que el operario puede intervenir dentro de las posibilidades del equipo (*Análisis del proceso de perforación*).

La rotación conceptualmente es inversamente proporcional a la resistencia a la compresión de la roca. Para perforación rotopercutiva, la rotación requerida debe ser solo la suficiente para trasladar el conjunto de TCI a una nueva posición para cada ciclo de impactos (*TEAS CHILE*), la que se obtiene con la siguiente fórmula:

$$N = \frac{F \times Id}{\phi b \times \pi}$$

Ecuación 3: RPM referenciales para perforación rotopercutiva.  
Fuente: (*TEAS CHILE*)

Donde,

- N = Rotación ideal [RPM].
- F = Frecuencia de imp. del pistón [Hz].
- Id = Distancia indexación "insertos" [mm].
- Ob = Diámetro del bit [mm].
- $\pi = 3,14$ .

De igual forma, para encontrar las RPM operativas ideales del proceso de acuerdo con la calibración de equipos, se tiene la siguiente fórmula (*TEAS CHILE*):

$$\text{Rotación Operativa ideal [RPM]} = \text{ROP instantáneo} \left[ \frac{m}{h} \right] \times 1,5$$

Ecuación 4: RPM operativas ideales para perforación rotopercutiva.

Cabe destacar que para este cálculo se debe utilizar la tasa de penetración instantánea de la perforación.

Para el caso de la perforación rotativa, la velocidad de rotación debe ser proporcional al período de tiempo necesario para que los insertos de carburo penetren a su profundidad

ideal. Para este caso, existe un rango de valores de los RPM de acuerdo con la dureza de la roca, el que se presenta en la Tabla 5 (*TEAS CHILE*).

Tabla 5: Velocidades de rotación según tipo de roca.

Tipo de Roca	UCS [MPa]	Velocidad Angular [RPM]
MUY BLANDAS	< 40	120 - 140
BLANDAS	40 - 80	100 - 80
MEDIAS	80 - 120	80 - 60
DURAS	120 - 200	60 - 40
MUY DURAS	> 200	40 - 30

Fuente: (*TEAS CHILE*)

Es necesario destacar que a medida que las condiciones del terreno se tornan más duras, tomará más tiempo para que los insertos de carburo penetren el material y por tanto se requerirán menores velocidades de rotación y mayores fuerzas de empuje (*TEAS CHILE*).

Con respecto a la Fuerza de Empuje (Pull Down, WOB) que es necesaria aplicar aumenta directamente con la dureza de la roca, y debe alcanzar una magnitud suficiente para sobrepasar su resistencia a la compresión, mientras que tampoco debe exceder un valor límite para evitar daños prematuros en el trepao (*Análisis del proceso de perforación*).

Para la perforación rotopercutiva la fuerza de empuje debe ser suficiente para mantener la broca en contacto con la roca. Para obtener el WOB, se tiene la Ecuación 5.

$$WOB = 500 [lb] x \phi [pulg]$$

Ecuación 5: Cálculo del WOB en perforación rotopercutiva.

Fuente: (*TEAS CHILE*)

Donde,

-  $\phi$ : Diámetro del bit [mm].

Este tiene como límite máximo referencial en condiciones de roca dura (*TEAS CHILE*).

Para la perforación rotativa el Pull Down ideal es para penetrar el 90 [%] del largo de los insertos de carburo de los conos en la superficie de la roca. Si la presión de Pull Down es insuficiente puede provocar una baja tasa de penetración, mientras que si se aplica demasiado puede terminar en fallas prematuras al trepao (*TEAS CHILE*).

En este tipo de perforación, El WOB está directamente relacionado con la resistencia a la carga puntual de un tricono, la que se define como su capacidad para resistir esfuerzos y fuerzas aplicadas sin romperse, adquirir deformaciones permanentes o deteriorarse de algún modo (*TEAS CHILE*).

Para conocer la resistencia de un tricono se utiliza la Ecuación 6.

$$WOB (Tricono Serie X) = Fr [lb] x \phi [pulg]$$

Ecuación 6: Cálculo de la resistencia a la carga puntual de un tricono.

Fuente: (*TEAS CHILE*)

Donde,

- WOB: Pull Down – Resistencia a la carga puntual de un tricono [lbp].
- Fr: Factor de resistencia [lb].
- $\emptyset$ : Diámetro del tricono [pulg].

Según la serie del tricono utilizado para ese tipo de roca, es el rango de valores utilizados en la Ecuación 6 para determinar los valores mínimos y máximos del WOB, los que se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6: Factor de resistencia según serie del tricono.

Serie del Tricono	Factor de resistencia [lbp]
Serie 30	2000 a 4000
Serie 40	2000 a 5000
Serie 50	2500 a 5000
Serie 60	3000 a 6500
Serie 70	4000 a 7500
Serie 80	5000 a 8000

Fuente: (TEAS CHILE)

El Barrido por su parte, es realizado por el aire que es liberado por los orificios del bit en perforación rotopercutiva y del trepano en perforación rotativa, el que actúa como agente de limpieza mediante la extracción hacia la superficie del detritus al mismo tiempo que estos se generan (TEAS CHILE).

Para el cálculo de la velocidad de barrido, se tiene la Ecuación 7.

$$VB \left[ \frac{pie}{min} \right] = \frac{CFM \left[ \frac{pie}{min} \right] \times 183,4}{(\emptyset_{Broca}^2 - \emptyset_{Barra}^2) [pulg^2]}$$

Ecuación 7: Cálculo de la velocidad de barrido.

Fuente: (TEAS CHILE)

Estas corresponden a las variables de operación que se necesitan revisar y ajustar de acuerdo con las características de la roca existente en la mina, y que sumado a las competencias de los operadores nos permitirá conseguir un aumento en los rendimientos operativos de la perforación.

Sin embargo, estos cálculos corresponden a valores teóricos y que rara vez se aproximan a lo que sucede en la operación en terreno. Es por esto, que se vuelve necesario aplicar un ajuste de perforabilidad que nos permita aproximar estos valores a la realidad, en donde aparece el Método de Perforabilidad de Lubinski.

#### 2.5.9 Método de Perforabilidad de Lubinski

Ningún ensayo o prueba volumétrica será igual a lo que enfrenta la roca en terreno. Al perforar, los insertos intentan superar la resistencia de la superficie y no la resistencia volumétrica (TEAS CHILE).

Si bien teóricamente existen métodos empíricos para encontrar las variables de operación óptimas de perforación de acuerdo con el terreno y tipo de roca, sin embargo, es el operador el que al momento de enfrentarse a la operación es el que toma las decisiones de la cantidad de RPM y Pull Down, dos de los parámetros fundamentales, según su conocimiento del terreno y expertiz.

El objetivo del Método de Lubinski es identificar rápidamente durante su trabajo los parámetros óptimos para esa zona en particular (*TEAS CHILE*). La finalidad de este método es disminuir la incertidumbre del proceso, no solamente considerando la “expertiz” del operador sino que también agregándole el ítem de precisión y certeza mediante este cálculo.

El objetivo de la prueba de perforabilidad es encontrar la combinación de WOB y RPM que produzcan la mayor velocidad de rotación, sin exceder los límites de resistencia a la carga puntual de un tricono. Todo lo que se requiere es un cronómetro, los metros perforados y un lápiz (*TEAS CHILE*).

Según el documento “Prueba de perforabilidad de rocas - Método Lubinski”, el procedimiento de la prueba de perforabilidad es el siguiente:

1. Determine el peso máximo permisible del tricono utilizado (dado por el tipo y diámetro del tricono).
2. Seleccione tres valores de RPM diferentes, a las cuales va a realizar la prueba.
3. Aplique la primera velocidad de rotación (RPM) y gradualmente lleve el peso sobre el tricono hasta el máximo recomendado por su proveedor. Si el peso máximo sobre el tricono no se alcanza antes de que se presenten niveles elevados de torque o de vibración, entonces acepte un peso más reducido sobre el tricono.
4. Ahora reduzca el WOB (Pull Down) permitiendo que el peso aplicado sobre el tricono se disipe al perforar. Anote el tiempo que necesitó para llegar reducir cada 2.000 [lb] en el peso. El menor tiempo requerido para avanzar descargando 2.000 [lbs] será el peso sobre el tricono que dará la mayor velocidad de Perforación con la respectiva velocidad de rotación, RPM.
5. Pruebe en la misma forma los otros RPM.
6. Una vez completadas las pruebas, revise los datos.
7. Con base en la prueba de perforabilidad y los datos obtenidos seleccione el peso y RPM óptimos.

Lo más importante en esta prueba para obtener valores óptimos, es que se asegure de que se está trabajando con un caudal y presión de aire adecuados.

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 3.1 Definición y recopilación de bancos y polígonos

Al caracterizar el yacimiento se puede diferenciar un total de 11 sectores clasificados en litologías, cavidades y rellenos según la Tabla 7.

Tabla 7: Sectores y litologías por analizar mina El Soldado.

Sectores y litologías por analizar		
Litologías	Cavidad	Relleno
Riodacita	California	Cal-6
Andesita Lo Prado	Santa Clara	Cal-16
Andesita Veta Negra	Valdivia	Cat-37
		Sclara-6
		Sclara-45

Fuente: Propia.

Cabe destacar que del conjunto de sectores presentes en la mina, se deciden por las 3 litologías, 3 cavidades y 5 rellenos debido a que estos corresponden a los sectores con los que se ha interactuado en la operación durante el último año y por consiguiente del que tendremos información para el presente estudio.

En resumen, la información recopilada por BlastLogic se clasifica según fases, bancos y polígonos en la Tabla 8.

Tabla 8: Cantidad de fases, bancos y polígonos seleccionados según variables relevantes.

Cantidad		
Fases	Bancos	Polígonos
3	6	94
4	7	38

De la Tabla 8 se puede apreciar que la cantidad de bancos en ambas fases es similar, sin embargo, la cantidad de polígonos en fase 3 triplica a los de fase 4. Este número se debe principalmente a que, de las litologías y sectores de la mina, solamente Andesita Veta Negra y la cavidad Valdivia corresponde a fase 4, mientras que Riodacita, Andesita Lo Prado, las cavidades Santa Clara y California y los rellenos se ubican distribuidos en fase 3.

Los bancos y disparos seleccionados se encuentran detallados en la Tabla 49 de la sección anexos.

El estudio en cuestión consta de dos etapas, caso base y caso actual, en donde para cada una de ellas se seleccionaron distintos polígonos, los que están detallados por litologías y sectores en la sección anexos en la Tabla 49. El resumen de la selección de polígonos tanto para el caso base como para el caso actual se presenta en la Tabla 9 y

Tabla 10.

Tabla 9: Número de polígonos por litología, cavidad o sector del caso base.

Cantidad	
Litología/Cavidad/Sector	Polígonos
Riodacita	23
Andesita Lo Prado	33
Andesita Veta Negra	33
Santa Clara	14
California	27
Relleno	9
<b>Total</b>	<b>139</b>

Tabla 10: Número de polígonos por litología, cavidad o sector del caso actual.

Cantidad	
Litología/Cavidad/Sector	Polígonos
Riodacita	9
Andesita Lo Prado	4
Andesita Veta Negra	16
Santa Clara	1
California	4
Valdivia	5
Relleno	6
<b>Total</b>	<b>45</b>

De esta diferenciación se puede apreciar que para el caso actual se tiene un tercio de la cantidad de polígonos seleccionados para el caso base. Esto se debe principalmente a que el marco temporal para el caso base fue aproximadamente de 14 meses, desde enero de 2020 hasta febrero de 2021, mientras que el considerado para el caso actual fue de 3 meses, desde marzo hasta mayo de 2021.

### 3.2 Obtención de rendimientos operativos por litología/cavidad/sector

El objetivo de esta etapa, y del estudio en cuestión, es encontrar el rendimiento de cada perforadora y por consiguiente de ambas flotas de perforación en todos los sectores del yacimiento. Debido a que existe una diferenciación de pozos dentro en un mismo polígono, como se explicaba en la sección de Tipos de Pozos, se buscará obtener los rendimientos por cada uno de ellos, caracterizando así de mejor manera el proceso y entregando al área un mayor detalle y exactitud en la información con la que cuentan pensando en la toma de decisiones futuras.

Para actualizar la información obtenida según lo mencionado en la sección de Recopilación y estructuración de la información, se definen dos mapas de proceso según el antiguo y nuevo Modelo de Tiempos, presentados en la Ilustración 19 e Ilustración 20.

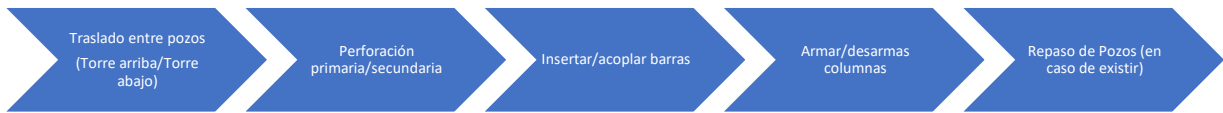


Ilustración 19: Proceso de perforación de pozo según antiguo modelo de tiempo.

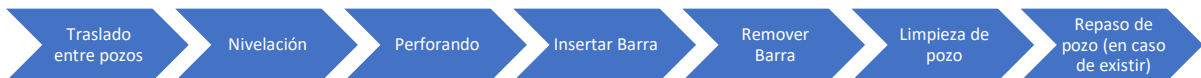


Ilustración 20: Proceso de perforación de pozo según nuevo modelo de tiempo.

De los mapas de procesos anteriores, se puede apreciar que al cambiar al nuevo modelo de tiempos, este considera una mayor cantidad de etapas para perforar un pozo. El concepto de traslado entre pozos ya no considera si es que se realiza con torre arriba o torre abajo del equipo, se agrega la etapa de nivelación en donde la perforadora se ubica, se prepara y empieza a perforar el pozo, los conceptos de perforación primaria/secundaria, insertar/acoplar barras y armar/desarmar columnas se modifican por el de perforando, insertar barra y remover barra respectivamente. Esta actualización permite una mejor caracterización y entendimiento del proceso.

Una vez actualizada esta información se sigue con la etapa de analizar los rendimientos de los tipos de pozo por perforadora. Se presentarán histogramas según pozo y litología/cavidad/sector de aquellos que cuenten con una cantidad de datos mayor a 15, ya que un número menor dificultaría el análisis por la inadecuada distribución y su poca representatividad. El objetivo de esta información es ver la tendencia y conocer el panorama actual con el que cuentan en la operación.

En la siguiente sección, debido a la gran cantidad de resultados y gráficos, se presentarán solamente aquellos de la perforadora Pit Viper 271 – 05 a modo de ejemplo, mientras que los demás resultados se adjuntarán en la sección anexos.



### 3.2.1 Distribución de rendimientos por pozo perforadora Pit Viper 271 – Caso Base

#### 3.2.1.1 Riodacita

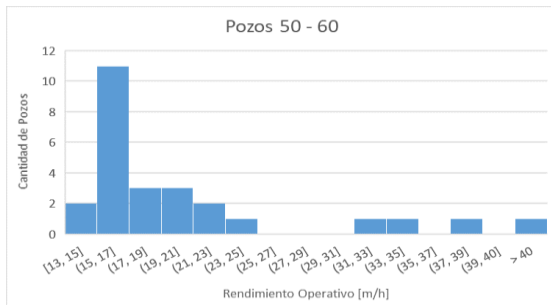


Gráfico 4: Rendimiento operativo de pozos 50 - 60 en Riodacita.

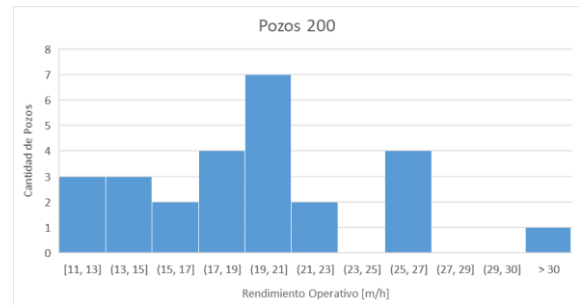


Gráfico 6: Rendimiento operativo de pozos 200 en Riodacita.

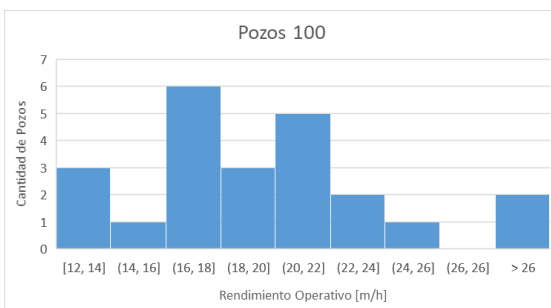


Gráfico 5: Rendimiento operativo de pozos 100 en Riodacita.

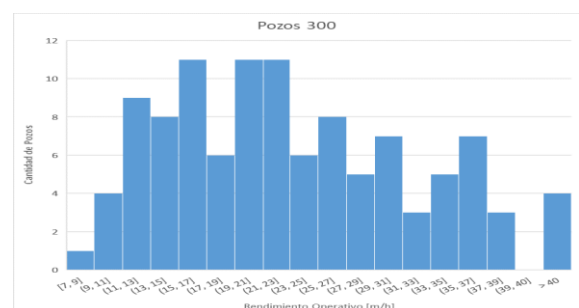


Gráfico 7: Rendimiento operativo de pozos 300 en Riodacita.

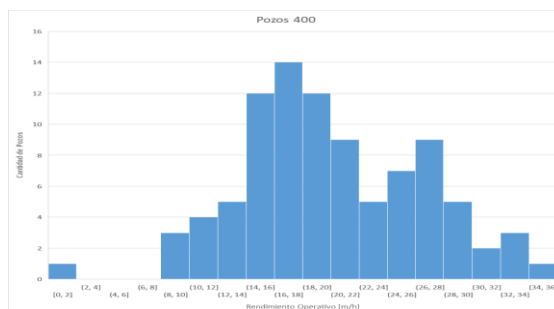


Gráfico 8: Rendimiento operativo de pozos 400 en Riodacita.

### 3.2.1.2 Andesita Lo Prado

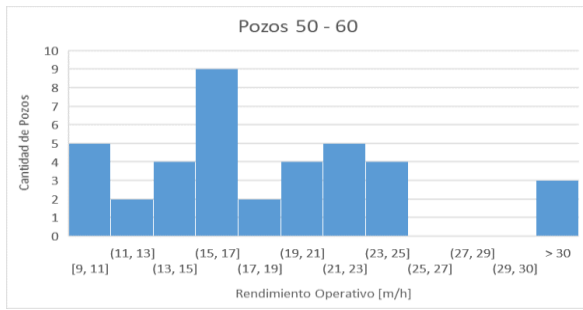


Gráfico 9: Rendimiento operativo en pozos 50 - 60 en Andesita Lo Prado.

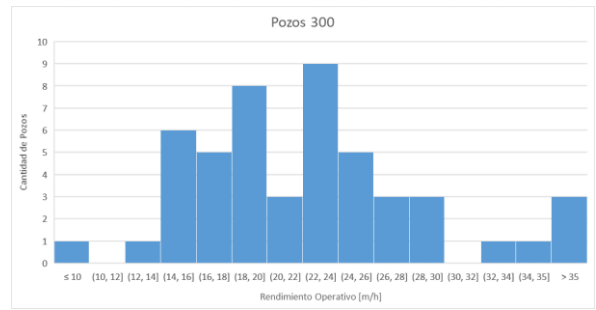


Gráfico 10: Rendimiento operativo de pozos 300 en Andesita Lo Prado.

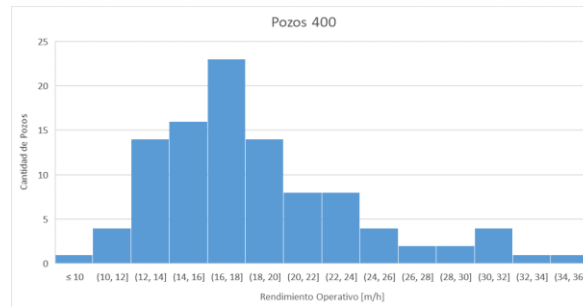


Gráfico 11: Rendimiento operativo de pozos 400 en Andesita Lo Prado.

### 3.2.1.3 Andesita Veta Negra

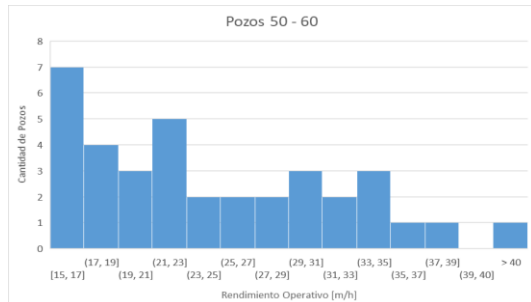


Gráfico 12: Rendimiento operativo de pozos 50 - 60 en Andesita Veta Negra.

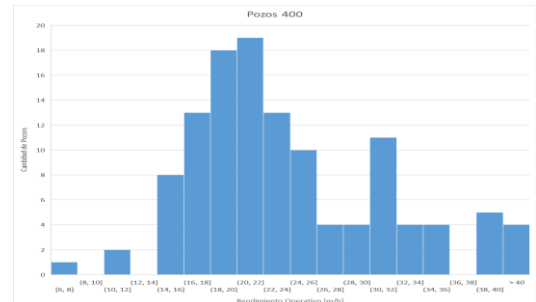


Gráfico 13: Rendimiento operativo de pozos 400 en Andesita veta Negra.

### 3.2.1.4 Relleno

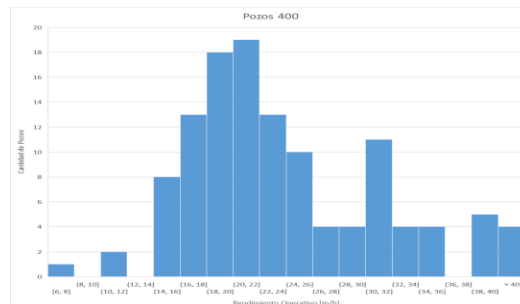


Gráfico 14: Rendimiento operativo de pozos 400 en relleno.

### 3.2.1.5 Santa Clara

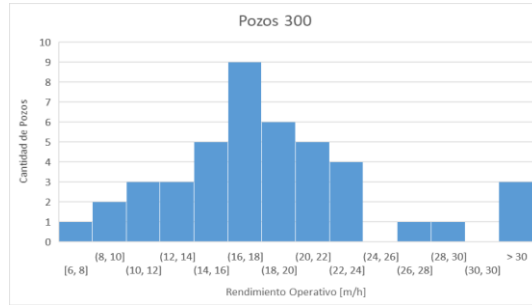


Gráfico 15: Rendimiento operativo de pozos 300 en Santa Clara.

### 3.2.1.6 California

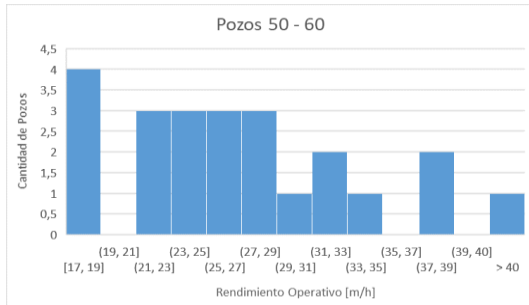


Gráfico 16: Rendimiento operativo de pozos 50 - 60 en California.

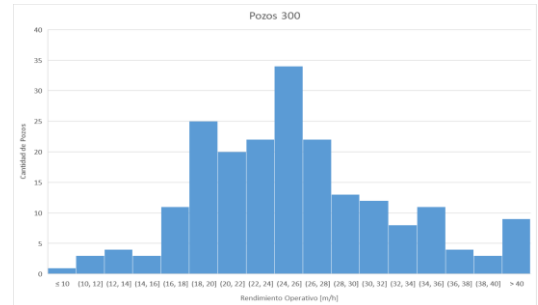


Gráfico 18: Rendimiento operativo de pozos 300 en California.

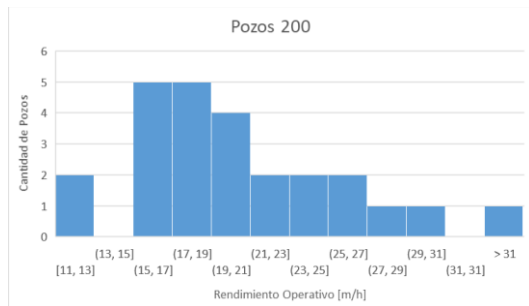


Gráfico 17: Rendimiento operativo de pozos 200 en California.

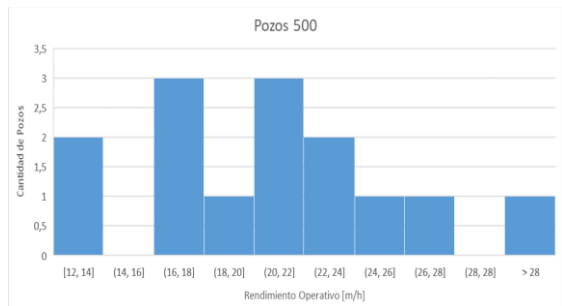


Gráfico 19: Rendimiento operativo de pozos 500 en California.

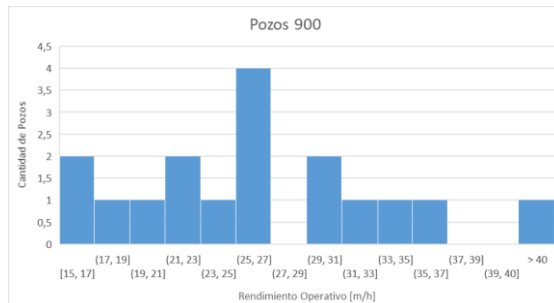


Gráfico 20: Rendimiento operativo de pozos 900 en California.

Como lo detalla el Modelo de Operaciones de Anglo American en la sección de A&I, un histograma permite ver la capacidad del proceso. De los histogramas de rendimiento operativo por pozo de la perforadora Pit Viper 271 como de las demás presentadas en la sección 6.9 a la 6.14 de anexos, se puede apreciar que si bien la gran mayoría de los gráficos muestra una distribución normal, cuyo promedio varía según litología/cavidad/sector en donde se mida, existen algunos casos como el de los pozos 50 – 60 en la cavidad California donde más bien se presenta una distribución asimétrica hacia la izquierda del gráfico. Este fenómeno se repite normalmente en aquellos histogramas donde la población de datos es menor a 25, mientras que aquellos casos donde la cantidad de pozos analizados supera los 30 suele presentar la distribución normal esperada. Esto se debe a que mientras mayor sea la cantidad de datos, mayor será la semejanza del histograma a la forma de la distribución de la población, razón por la que gráficos con menos de 15 datos fueron excluidos del estudio. La dispersión de los rendimientos para todos los casos es bastante alta, con variaciones en los desempeños por tipo de pozo de hasta 30 [m/h], lo que significa que el proceso no ha logrado estabilidad y por consiguiente muy difícil de predecir y controlar, presentando una oportunidad de mejora importante.

Con respecto a los datos de rendimientos, una gran cantidad de histogramas presentaban valores atípicos, muy por encima de la media de los rendimientos, sobre los 30 – 40 [m/h] dependiendo del sector estudiado. La cantidad de datos atípicos corresponden a menos del 7 [%] de la población total por cada uno de los casos. Si bien, pese a considerarse rendimientos operativos altos con respecto a la media y puedan presentar algún error a la hora de digitar el estado y contabilizar el tiempo transcurrido, estos tampoco se alejan demasiado de rendimientos operativos buenos en otras faenas, por lo que se decide mantener una gran cantidad de estos para poder estudiarlos y encontrar alguna buena práctica a la hora de perforar y que nos permita conseguir estos desempeños como constante en la operación.

Con respecto a la cantidad de datos que se presentan en los pozos para cada una de las perforadoras, la tendencia es que en la flota de producción los pozos 300 y 400 poseen una cantidad muy por encima de los demás pozos, siempre superando los 20 y con un máximo de 205. Para el caso de la flota DTH, los pozos que presentan una mayor cantidad de datos son los pozos 800, con un mínimo de 55 y con un máximo de 115.

#### i. Rendimientos por Perforadora

Comparando los rendimientos por pozos para cada una de las perforadoras según sector estudiado se tiene que para Riodacita, la perforadora Pit Viper 271 presenta un histograma con los rendimientos más altos en los pozos 200 y 300 con una moda entre los 19 – 21 [m/h], mientras que los rendimientos más bajos corresponden a la moda de los pozos 50 – 60 con 15 – 17 [m/h]. Para Andesita Lo Prado, los pozos 300 son los que presentan una mayor cantidad de datos con rendimientos mayores entre los 18 – 24 [m/h], mientras que los pozos 50 – 60 son aquellos que presentan una mayor cantidad de datos con rendimientos más bajos entre 15 – 17 [m/h]. En Andesita Veta Negra, los pozos que presentan mejores rendimientos operativos son los pozos 400 entre los 20 – 22 [m/h]. Para la cavidad California, los pozos 300 son los que presentan una población más abundante y con rendimientos más altos, entre los 24 – 26 [m/h]. Siguiendo la misma

línea, los pozos 900 presentan una moda mayor que los pozos 300 con rendimientos entre 25 – 27 [m/h], sin embargo, al tener solamente un 9% de la cantidad de datos que los pozos 300, estos últimos se consideran un dato mucho más robusto y por consiguiente, el que prevalece. En esta cavidad, los pozos 200 son los que presentan una moda de rendimientos más bajos entre los 15 – 19 [m/h].

Con respecto a los gráficos presentados en anexos, en la perforadora DMM3 - 03 los histogramas que poseen una mayor cantidad de datos, y por consiguiente, más robustos son los pozos 400, mientras que los demás no superan los 15 datos. Para Riodacita y Andesita Lo Prado, los pozos 400 presentan rendimientos operativos con una moda ubicada entre los 19 – 21 [m/h].

En la perforadora DMM3 - 04, para Riodacita la cantidad de datos que presentan los pozos 50 – 60 y 200 son aproximadamente un 27 [%] de los pozos 300 y 400, siendo superados ampliamente. Si solamente se analiza la moda de los rendimientos, estos son mayores en los pozos 50 – 60 con un 17 – 21 [m/h], mientras que los de peor rendimiento son los pozos 400 con una moda de 11 – 13 [m/h]. Para Andesita Lo Prado, los pozos que presentan una mayor cantidad de datos son los 300 y 400. Con respecto a los rendimientos operativos, los pozos 50 – 60 son los que presentan una moda mayor entre los 18 – 20 [m/h], mientras que los que presentan un peor desempeño son los pozos 900 con 13 – 15 [m/h]. Para la cavidad California, los pozos 500 presentan un 14 [%] de datos con respecto a la cantidad presentada por los pozos 300. Con respecto a los rendimientos, el que presenta un mejor desempeño son los pozos 500 con 16 – 20 [m/h].

En la perforadora D75KS – 11, para Andesita Lo Prado el tipo de pozo que presenta una mayor cantidad de datos son los 400 con un total de 121 pozos. Con respecto a los rendimientos operativos, los pozos 50 – 60 presentan una moda de 20 – 22 [m/h], mientras que los que presentan un peor desempeño son los pozos 100 con 16 – 18 [m/h].

En la perforadora D75KS – 12, para Riodacita los pozos 400 son aquellos que tienen una mayor cantidad de datos y a la vez presentan rendimientos operativos mayores con una moda que se ubica entre los 15 – 17 [m/h]. Para Andesita Lo Prado, los pozos 400 son los que presentan una mayor cantidad de datos analizados y, al igual que para Riodacita, son los que presentan rendimientos más altos con una moda de 22 – 24 [m/h]. Para Andesita Lo Prado, se repite la tendencia en esta perforadora, con pozos 400 con una mayor cantidad de datos y con mejor desempeño entre los 21 – 23 [m/h].

En la perforadora SmartRoc D65 – 14, en Andesita Lo Prado los pozos 800 son los que presentan más de 30 datos en comparación con los pozos 600 y 700. Con respecto a los rendimientos operativos, los pozos 800 son los que presentan una moda mayor, ubicándose en 17 – 21 [m/h].

Finalmente, y respondiendo a los histogramas de rendimientos de la perforadora SmartRoc D65 – 15 para Andesita Lo Prado, los tipos de pozos presentados tienen una cantidad de datos analizados similares, siendo los 700 los que presentan una mayor cantidad. Con respecto a los rendimientos operativos, estos pozos presentan una mayor moda entre 25 – 27 [m/h]. Para Andesita Veta Negra, los pozos 800 son aquellos que presentan una mayor cantidad de datos. Con respecto a los rendimientos operativos, no

existe información concluyente, ya que los pozos 600 como 700, presentan una cantidad de pozos con rendimientos bien dispersos, debido principalmente al escaso número de datos. La moda de los rendimientos operativos de los pozos 800 alcanza los 21 – 23 [m/h].

#### ii. Rendimiento por Litología

Al realizar el mismo análisis por litología se tendría que en la flota de producción para Riodacita los tipos de pozos que presentan los mayores rendimientos son los pozos 300 para la Pit Viper 271 y los pozos 50 – 60 para la DMM3 – 03, con rangos de 21 – 23 [m/h] y 22 – 24 [m/h] respectivamente, mientras que los pozos 400 en la perforadora DMM3 – 04 es aquel que presenta los menores rendimientos operativos con un rango de 11 – 13 [m/h]. En la flota DTH, se tiene que la perforadora SmartRoc D65 – 14 es la única que contaba con la cantidad de datos suficientes para presentar histogramas según tipo de pozo, hecho que no significaría que las otras dos perforadoras no tengan información para esta litología. De acuerdo con esto, los pozos 800 una moda que se ubica entre los 22 – 24 [m/h].

Para Andesita Lo Prado, dentro de la flota de producción se aprecia que los tipos de pozos que destacan con las modas más grandes de rendimientos operativos son los 300 en la perforadora Pit Viper 271 y los 400 en la perforadora D75KS – 12, con rangos entre 22 – 24 [m/h], mientras que los pozos 900 en la perforadora DMM3 – 04 y 400 en la perforadora D75KS – 11 son aquellos que presentan los menores rendimientos operativos con valores de 13 – 15 [m/h]. En la flota DTH, se puede apreciar que los pozos 700 en la perforadora SmartRoc D65 – 15 presenta los rendimientos por pozos más altos con 25 – 27 [m/h], mientras que los pozos 800 en la perforadora SmartRoc D65 – 14 son aquellos pozos que presentan valores menores entre 17 – 19 [m/h].

Para Andesita Veta Negra, dentro de la flota de producción se puede ver que los pozos 400 en la perforadora DMM3 – 03 presenta los rendimientos mayores según la moda del histograma, el cual se ubica entre los 22 – 24 [m/h]. Por otra parte, dentro de esta misma flota, los pozos 50 – 60 en la perforadora Pit Viper 271 es a la que presenta menor rendimiento con una moda entre los 15 – 17 [m/h]. Con respecto a la flota DTH, los pozos 600 en la perforadora SmartRoc D65 – 15 corresponden a los tipos de pozo que presentan un menor rendimiento con una moda ubicada entre los 18 – 20 [m/h].

#### iii. Rendimiento por Relleno

Para relleno, dentro de la flota de producción los pozos 400 en la perforadora Pit Viper 271 corresponde al tipo de pozo que presenta rendimientos más altos con una moda en el rango de 20 – 22 [m/h], mientras que los pozos 400 en la perforadora DMM3 – 04 cuentan con un menor rendimiento con una moda ubicada en el rango de 8 – 12 [m/h].

#### iv. Rendimiento por Cavidad

Para la cavidad Santa Clara, en la flota de producción los pozos 400 de la perforadora DMM3 – 03 son los que alcanzan un rendimiento operativo más alto entre 22 – 24 [m/h], mientras que los pozos 400 en la perforadora D75KS – 11 son aquellos pozos con

menores rendimientos de 13 – 15 [m/h]. La flota DTH no presentaba la cantidad de datos suficientes para contar con histogramas de rendimientos que permitan obtener información concluyente.

Finalmente, para la cavidad California en la flota de producción, los pozos que presentaban un mayor rendimiento a la hora de comparar las modas de los histogramas era la perforadora Pit Viper 271. Si solamente se analiza el rendimiento operativo, los pozos 900 presentaban un valor entre los 25 – 27 [m/h] pero con un total de 17 datos, mientras que el que lo sigue son los pozos 300 con rendimientos operativos muy similares entre 24 – 26 [m/h] pero con un total de 210 datos, lo que le entrega mayor robustez y confiabilidad. Debido a que los histogramas con un número menor a 20 datos no presentan la distribución precisa de datos, se define que los pozos 300 son aquellos que presentan una un rendimiento operativo mayor.

### 3.2.2 Rendimientos operativos promedios por tipo de pozo – Caso Base

Si bien es importante conocer la distribución de los datos por cada uno de los pozos ya que esta información entrega un primer acercamiento a los rendimientos operativos con los que cuenta la perforación en El Soldado, permite además conocer la dispersión de los datos obtenidos y el rendimiento que más se repite en los diferentes pozos de cada perforadora. Sin embargo, e igual de importante es determinar los rendimientos operativos promedios. Para este cálculo, se utiliza toda la población de datos con la que cuenta el proceso. Al igual que para el caso de los histogramas, se presentarán a continuación los rendimientos promedios por pozo para la perforadora Pit Viper 271, mientras los demás serán entregados en la sección anexos.

Tabla 11: Rendimiento operativos promedios por pozo/litología/cavidad/sector Pit Viper 271.

Rendimientos promedio por pozo						
Pozo	Roca			Relleno	Cavidad	
	Riodacita	Andesita Lo Prado	Andesita Veta Negra		Santa Clara	California
1000	-	-	-	-	-	-
900	23,5		15,7		19,5	26,4
800	-	-	-	-	-	-
700	-	-	-	-	-	-
600	-	-	-	-	-	-
500	22,8	16,7	-	14,2	-	20,4
400	20,6	17,8	24,0	16,5	11,8	25,9
300	23,7	25,9	-	17,1	17,9	24,8
200	20,1	17,3	-	-	-	21,4
100	19,2	20,8	-	-	17,5	17,6
50-60	21,2	17,8	24,9	15,8	-	25,3
Aux	-	-	-	-	-	-

En primer lugar, cabe destacar que existe una mayor cantidad de rendimientos que número de histogramas presentados en la sección anterior. Esto se debe a que como se mencionaba existen tipos de pozos para cada litología/cavidad/sector en cada

perforadora que no cuenta con la cantidad de datos suficientes para ser presentados en un gráfico de frecuencia y ser lo suficientemente robusto (por sobre 20 número de pozos), mientras que para el cálculo de los rendimientos promedios pese a no tener un número adecuado de datos, si puede obtenerse alguna información relevante a partir del, por lo que debe ser presentado y analizado posteriormente. Con respecto al cálculo de los rendimientos operativos, este se realizó con una media ponderada, es decir, entregándole mayor peso a los rendimientos que presentaban una mayor cantidad de datos, con el objetivo de conseguir resultados más certeros.

Con respecto a los pozos analizados, se puede apreciar que en la flota de producción los tipos de pozos que realizan las perforadoras son los 50 – 60/100/200/300/400/500/900, mientras que en la flota de perforadoras DTH la perforación se genera entre los tipos de pozos 600/700/800/Auxiliares. Con respecto a los pozos 1000, su perforación se realiza con perforadoras de producción como también DTH. Sin embargo, en las perforadoras SmartRoc D65 – 14/15 también existe perforación de pozos 100/200, aunque solamente para Riodacita y cavidades debido fundamentalmente a la granulometría que presenta el sector.

#### i. Rendimiento por Perforadora

Si se estudia los rendimientos por pozos para cada perforadora se puede apreciar que en la Pit Viper 271 para Riodacita los rendimientos operativos promedios más altos se alcanzan en los pozos 300 con 23,5 [m/h], seguido muy de cerca por los pozos 900, mientras que los pozos 100 son aquellos que presentan un rendimiento operativo promedio más bajo con 19,2 [m/h]. Para Andesita Lo Prado, se mantiene la tendencia ya que los pozos 300 son los que presentan un mayor rendimiento operativo promedio de 25,9 [m/h], muy por encima de los demás pozos, mientras que en este caso los pozos 500 son los que presentan rendimientos operativos más bajos con 16,7 [m/h]. Para Andesita Veta Negra, a diferencia de las 2 otras litologías, los pozos con un mayor rendimiento operativo promedio son los de borde (50 – 60). En relleno los rendimientos operativos promedio de todos los pozos son menores que sus pares para las demás litologías/cavidades, siendo el tipo 300 el que presenta un mayor rendimiento con un valor de 17,1 [m/h]. Para el caso de las cavidades, se puede apreciar que los rendimientos operativos promedio por pozo en California son más altos en comparación con los realizados en Santa Clara, donde el de mayor desempeño se alcanza para ambos casos en los pozos 900 con 26,4 y 19,6 [m/h] respectivamente.

En la perforadora DMM3 – 03 se puede apreciar que para las litologías los rendimientos de los pozos realizados en Andesita Veta Negra superan a los de Riodacita y Andesita Lo Prado. En Riodacita, los pozos de borde, ejes, cajeros y de reconocimiento presentan un rendimiento mayor al resto, liderado por los pozos 50 – 60 con 24,2 [m/h], mientras que los de peor rendimiento operativo promedio son los pozos 900 con 14,9 [m/h]. Para Andesita Lo Prado, los pozos 300 y 400 son los que presentan un rendimiento operativo promedio mayor con 19,8 y 19,5 [m/h] respectivamente, mientras que los pozos con el rendimiento operativo más bajo son los pozos ejes con 14,6 [m/h]. En Andesita Veta Negra, los pozos cuentan con rendimientos operativos que varían en no más de 0,4 [m/h], bordeando los 22 [m/h]. Con respecto a las cavidades, se mantiene la tendencia de presentar rendimientos mayores en California por sobre Santa Clara. Los pozos que



destacan por su rendimiento son los 400 con 21,8 [m/h] y los de borde con un valor de 20 [m/h] respectivamente.

En la perforadora DMM3 – 04, con respecto a las litologías no existe una tendencia clara de cual presenta un rendimiento operativo superior. En Riodacita, los pozos de contorno destacan por sobre el resto alcanzando los 24,8 [m/h], mientras que para Andesita Lo Prado los pozos que presentan rendimientos mayores son los tipos 100 y 300, con 20,8 y 20,6 [m/h] respectivamente. En ambos casos los pozos 400 son los que presentan rendimientos operativos menores de 15,6 y 15,9 [m/h] respectivamente. En relleno, es la perforadora que realiza todos los tipos de pozos mencionados para la flota de producción, donde se destaca el rendimiento operativo de los tipos 100 con 19,1 [m/h] y muy por debajo se encuentran los tipos 500 con 12,2 [m/h] como los de peor rendimiento. Finalmente para cavidades, California mantiene su supremacía por sobre Santa Clara cuando se habla de rendimientos operativos, con pozos de contorno que alcanzan los 24,4 [m/h], mientras que para Santa Clara los pozos que tiene un mejor desempeño son los 300 con 16,6 [m/h].

Para la perforadora D75KS – 11, esta presenta un rendimiento operativo más alto en los pozos de Andesita Lo Prado. En Riodacita, los pozos que presentan un mejor desempeño son los 400, mientras que los de peor rendimiento son los pozos 300. En Andesita Lo Prado se mantiene la tendencia donde los 300 destacan con 21,1 [m/h], mientras que muy por debajo se ubican los pozos 200 como los de peor rendimiento con 14,1 [m/h]. Con respecto a las cavidades, California sigue mostrando rendimientos operativos superiores que Santa Clara. Para los primeros, los pozos de mejor desempeño corresponden a los de borde, seguidos por los 400 y 300, mientras que para el segundo los pozos 900 superan al resto con 17,7 [m/h].

Para la perforadora D75KS – 12, el panorama no es muy distinto a las demás perforadoras de producción, donde para Fase 3 los rendimientos de Andesita Lo Prado son superiores que para Riodacita, y hablando del yacimiento en general, Andesita Veta Negra presenta los mejores rendimientos. En Riodacita se puede apreciar que los pozos relacionados a galerías son aquellos que presentan rendimientos menores, sin contar al de peor desempeño como lo son los pozos auxiliares con 7,9 [m/h]. Los demás pozos de roca, borde y contorno presentan valores similares que bordean los 16 – 17 [m/h]. Para Andesita Lo Prado, podemos ver que los pozos buffer 3 presentan rendimientos muy bajos con respecto al resto, alcanzando los 10,9 [m/h], mientras que los de borde son aquellos que tiene mejor desempeño con 21,1 [m/h]. En Andesita Veta Negra, los pozos de roca son los que presentan un rendimiento mayor alcanzado los 21,7 [m/h]. En relleno, si bien los pozos cuentan con rendimientos que son similares entre sí, los tipos 200 son los únicos que se encuentran muy por debajo del resto alcanzado solo 4,2 [m/h], aunque con muy pocos pozos como población de datos. En lo que respecta a cavidades, la tendencia en las perforadoras de producción no cambia con la supremacía de California por sobre Santa Clara. De este último se puede apreciar que los pozos correspondientes a cavidad (300) se encuentran con rendimientos operativos muy por debajo del resto, alcanzando solamente los 9,7 [m/h], lejano a los 16 – 17 [m/h] de los pozos 100/200/900. En California nuevamente los pozos de buffer 3 (500) corresponden a los de menor desempeño, no sobrepasando los 14 [m/h].

Si ahora se analizan las perforadoras DTH, empezando por la DI600 – 07 donde, a diferencia de todas las perforadoras de producción, los rendimientos en Riodacita sobrepasan a lo obtenido en Andesita Lo Prado. En Riodacita, los desempeños de todos los pozos son similares, bordeando los 19 – 20 [m/h]. Mismo caso que para Andesita Lo Prado, donde ambos pozos 600 y 700 presentan rendimientos de 16,5 [m/h]. Sin embargo, esta perforadora no cuenta con una cantidad de datos robusta y por consiguiente solamente tiene rendimientos en muy pocos tipos de pozos para todas las litologías/cavidades/sectores de la mina.

Para el caso de la perforadora SmartRoc D65 – 14, donde para los mismos tipos de pozos los rendimientos en Andesita Lo Prado superan a los alcanzados en Riodacita, mientras que en promedio los de Andesita Veta Negra superan a ambos de Fase 3. Para las 3 litologías, los tipos 800 son los pozos que presentan un mayor rendimiento operativo promedio, alcanzando los 20, 20,9 y 21,7 [m/h] respectivamente. En lo que respecta a cavidades, la tendencia presentada en las perforadoras de producción se mantiene y California supera a Santa Clara en lo que respecta a rendimientos. Para Santa Clara, los pozos de reconocimiento son los de mejor desempeño, mientras que para California estos son los pozos 700.

Para la perforadora SmartRoc D65 – 15, en Fase 3 Andesita Lo Prado supera en rendimiento a Riodacita, mientras que la perforación en Fase 4 Andesita Veta Negra supera a ambas dos. En Riodacita los pozos cajeros son los que presentan un rendimiento más alto con 24,2 [m/h], en Andesita Lo Prado los pozos 800 son los que poseen un mayor rendimiento con 26,2 [m/h] y en Andesita Veta Negra los pozos 700 son los de mejor rendimiento con 26,3 [m/h]. Aquí cabe destacar, que de las perforadoras DTH la número 15 es aquella que realiza pozos auxiliares en más sectores de la mina, y con rendimientos muy por encima de las otras dos perforadoras.

## ii. Rendimiento por Litología/Cavidad/Relleno

Del análisis anterior se puede destacar que en caso de realizarse los mismos pozos en todos los sectores, Andesita Veta Negra presentaría el mejor rendimiento operativo promedio en las litologías, mientras que en cavidad California presentaría el mismo fenómeno en comparación con Santa Clara. Con respecto a los 3 sectores de la mina, los rendimientos en relleno son los que presentan los desempeños más bajos.

Otro hecho que se debe recalcar, que para el caso de los pozos 200 correspondiente a los pozos cajeros, han sido realizados tanto por perforadoras de producción como perforadoras DTH, en el caso de Riodacita específicamente. Aquí se puede apreciar que las perforadoras SmartRoc D65 presentan mejores rendimientos que la gran mayoría de las perforadoras de producción. Para el caso de la perforadora SmartRoc D65 – 15, esta supera a todas las perforadoras de producción para los pozos 200, mientras que para la SmartRoc D65 – 14, esta solamente es superada por la perforadora Pit Viper 271 y DMM3 – 03.

El objetivo específico de esta sección de obtener los rendimientos por pozos para cada perforadora era caracterizar de la mejor manera el desempeño según los pozos que se realizan en la mina El Soldado. Sin embargo, el objetivo general del estudio es conocer

y caracterizar los rendimientos operativos de todas las perforadoras a lo largo del yacimiento, por lo que la información por pozo es el primer paso para conseguirlo. Para el cálculo de los rendimientos de las perforadoras por sector se utilizó la metodología de la media ponderada según rendimiento por pozo y su ponderación de acuerdo con la cantidad de datos que tenía cada uno de estos.

### 3.2.3 Rendimiento operativo promedio por cada litología/cavidad/sector – Case Base

Una vez que se conocen los rendimientos por pozo, se sigue con el cálculo de los rendimientos operativos promedios para cada una de las perforadoras en todos los sectores de la mina, el cual está detallado en la Tabla 12.

Tabla 12: Rendimiento operativo promedio por perforadora en todos los sectores.

Rendimiento Operativo [m/h]							
Perforadoras	Roca			Relleno	Cavidad		N° de Pozos
	Riodacita	And. Lo Prado	And. Veta Negra		California	Santa Clara	
DM-M3-03	18,8	19,1	21,2	17,9	19,5	16,4	388
DM-M3-04	16,4	17,2	-	14,6	19,7	15,5	809
PV271-05	21,8	18,8	24,0	16,2	24,5	17,6	1.008
D75KS-11	15,4	18,3	-	14,1	18,5	16,0	468
D75KS-12	16,1	18,2	21,0	16,7	17,7	15,8	609
DI600-07	19,9	16,5	-	17,9	14,8	-	38
SmartRoc D65-14	19,4	18,8	19,6	13,6	24,5	17,3	304
SmartRoc D65-15	18,4	22,1	23,6	-	19,2	19,2	279
							<b>3.903</b>

De la Tabla 12, se puede apreciar que la cantidad de pozos analizados fueron 3.903, siendo la perforadora Pit Viper 271 la que presenta una mayor cantidad de datos, alcanzando los 1.008. Con respecto al desempeño entre todas las litologías, las perforadoras tanto de producción como DTH presentan un mejor rendimiento operativo en Andesita Veta Negra. En lo que respecta a cavidades, ambas flotas presentan rendimientos más altos en California por sobre Santa Clara. El sector de relleno presenta rendimientos operativos promedio menores comparados con los sectores de roca y cavidades.

#### i. Rendimiento por Litología

Si analizamos por litología, tanto para Riodacita como para Andesita Veta Negra la perforadora Pit Viper 271, dentro de las perforadoras de producción, es la que presenta mejores desempeños, mientras que para Andesita Lo Prado, si bien no es la que presenta el rendimiento más alto, es la que se ubica segunda con una diferencia de 0,3 [m/h]. Para el caso de la flota DTH, la perforadora SmartRoc D65 – 15 es la que presenta rendimientos operativos mayores en todos los sectores de la mina.

Dentro de la flota de producción en Riodacita, el modelo DMM3 presenta mejores rendimientos que el modelo D75KS (considerando ambas perforadoras por modelo). Para las demás litologías no existe información concluyente sobre cuál de los dos modelos es

mejor ya que en promedio presentan rendimientos operativos similares. Dentro de la flota DTH, en Riodacita el modelo DI600 presenta un mejor desempeño que las SmartRoc D65, mientras que para Andesita Lo Prado y Veta Negra, el modelo SmartRoc D65 presenta rendimientos operativos más altos que la DI600.

ii. Rendimiento por Cavidades

En lo que respecta a cavidades, de la flota de producción en California, al igual que para Riodacita, el modelo DMM3 tiene un mejor rendimiento operativo que el modelo D75KS, mientras que para Santa Clara no existe información concluyente de cual responde de mejor manera debido a que presentan rendimientos operativos promedios similares entre sí. De la flota DTH, las perforadoras modelo SmartRoc D65 presentan desempeños muy por encima de la perforadora modelo DI600 en ambas cavidades.

v. Rendimiento por Relleno

En relleno, se puede apreciar que para las perforadoras de producción, no existe información concluyente de cual modelo es el mejor para este tipo de sectores. Para las perforadoras DTH, el modelo que presenta un mayor rendimiento operativo es la DI600 por sobre las SmartRoc D65.

iv. Rendimiento por Flota de Perforación

Además de conocer el rendimiento operativo de cada una de las perforadoras según litología/cavidad/sector, es importante conocer el rendimiento operativo por flota de perforación con la que cuenta El Soldado, es por esto, que se agrupan los rendimientos y se presentan de la siguiente forma, destacando el desempeño por flota de cada uno de los sectores de la mina en la Tabla 13.

Tabla 13: Rendimiento operativos por flota de perforación en cada litología/cavidad/sector.

Rendimiento Operativo Flota [m/h]						
Perforadoras	Roca			Relleno	Cavidad	
	Riodacita	And. Lo Prado	And. Veta Negra		Santa Clara	California
DM-M3-03	18,0	18,2	22,2	15,7	16,2	21,1
DM-M3-04						
PV271-05						
D75KS-11						
D75KS-12						
Di600-07	19,3	19,8	23,1	15,7	18,2	21,6
SmartRoc D65-14						
SmartRoc D65-15						

De la Tabla 13 se puede apreciar que en lo que respecta a roca, los rendimientos operativos de la flota DTH supera por aproximadamente 1 – 2 [m/h] a los rendimientos operativos que presenta la flota de producción en cada una de las litologías. En relleno, ambas flotas presentan rendimientos operativos similares con 15,7 [m/h]. En el caso de

cavidades, al igual que para el sector de roca, los rendimientos de la flota DTH supera a los presentados por la flota de producción por 1 – 2 [m/h] en ambas cavidades.

A partir de esta tabla es fácil apreciar los rendimientos operativos promedios por flota según litología, cavidad o sector. Se puede apreciar de forma directa que para la flota de producción, los mejores rendimientos operativos se alcanzan en Andesita Veta Negra, mientras que los peores desempeños se alcanzan en Riodacita. Este fenómeno se repite para el caso de la flota DTH. En el caso de cavidades, tanto para la flota de producción como la de DTH, los mayores rendimientos se alcanzan en California por sobre Santa Clara.

### 3.3 Variables relevantes dentro del rendimiento operativo de perforación

Dentro del proceso de perforación de un pozo puede haber distintos factores que influyan en el rendimiento operativo y que según el sector que se está analizando es cuan preponderante es una variable por sobre otra, y por consiguiente, conocer su real relevancia en el proceso se vuelve fundamental a la hora de querer mejorar cada uno de estos rendimientos.

Entonces, se desprende que los factores o variables que afectan al rendimiento operativo son:

- Perforación Primaria
- Repaso de Pozos

En primer lugar, ya que corresponde a un proceso que en el óptimo de los casos no debiese ocurrir, se estudiará el repaso de pozos para posteriormente revisar y recomendar las mejores variables de operación que nos permita aumentar el rendimiento operativo a través de la perforación primaria.

#### 3.3.1 *Repaso de Pozos*

Para el estudio del repaso de pozos, ya que dentro de la información con la que se contaba no era posible asignar este tiempo a un pozo determinado, se decide realizar este análisis por perforadora y por tiempo transcurrido en cada uno de los polígonos.

Dentro del proceso de repaso, existen diferentes explicaciones para que esto se realice según el lugar que se esté analizando. Con respecto a los sectores de roca en la mina, el “derrumbe de pozos” se debe fundamentalmente a la no adecuada secuencia de perforación, y por consiguiente, al traslado de la perforadora dentro de un mismo polígono pasando por encima de pozos ya realizados generando así que se tapen y vayan perdiendo su forma interna. Para aquellos lugares no consolidados, como lo son el relleno y las cavidades, los “derrumbes de pozos” ocurren fundamentalmente debido a la característica de inestabilidad que presentan estos sectores, y por lo tanto, ante cualquier actividad cercana al pozo se genera la pérdida de su estructura interna. Es por esta razón que se vuelve necesario separar el estudio por sectores consolidados y no consolidados, para así comprender de mejor manera el fenómeno y su efecto en el rendimiento operativo.

i. Repaso en roca consolidada

Para el caso de roca consolidada, el repaso de pozos tiene el siguiente tiempo asociado por perforadora según la Tabla 14.

Tabla 14: Tiempos de repaso por perforadora en sectores consolidados.

Perforadoras	Tiempo de Repasos [min]		
	Roca		
	Riodacita	Andesita Lo Prado	Andesita Veta Negra
DM-M3-03	30	217	-
DM-M3-04	182	89	-
PV271-05	407	343	71
D75KS-11	165	668	-
D75KS-12	299	1.090	373
DI600-07	-	625	-
SmartRoc D65-14	495	1.452	90
SmartRoc D65-15	855	228	546

Ya que el repaso de pozos en los sectores consolidados depende fundamentalmente de la maniobra de los operadores y no de las características geológicas que presentan los polígonos perforados, esta caracterización en tiempos es referencial y nos permite principalmente conocer que perforadora es la que presenta un mayor tiempo de repaso.

Según la Tabla 14, dentro de la flota de producción la perforadora que cuenta con más tiempo de repaso en los sectores consolidados es la D75KS – 12, con un total de 1.762 [min]. En la flota DTH, la perforadora que cuenta con más tiempo de repaso es la SmartRoc D65 – 14 con un total de 2.037 [min].

También se puede apreciar que de ambas flotas, aquella que cuenta con un tiempo promedio mayor de repaso por perforadora es la DTH con un total de 1.430 [min/perforadora], por sobre los 786,8 [min/perforadora] de las de producción.

### **Rendimiento operativo potencial según repasos**

Al considerar los tiempos de repaso y convertirlos en mejoras en los respectivos rendimientos operativos, podemos conocer el potencial rendimiento operativo con el que se podría contar en cada una de las perforadoras, el que se presenta en la Tabla 15.

Tabla 15: Potencial rendimiento operativo perdido por repaso en sectores consolidados.

Rendimiento Operativo [m/h]			
Perforadoras	Roca		
	Riodacita	Andesita Lo Prado	Andesita Veta Negra
DM-M3-03	0,2	0,9	-
DM-M3-04	0,6	0,6	-
PV271-05	1,5	2,6	0,2
D75KS-11	0,7	1,1	-
D75KS-12	0,9	1,9	0,8
DI600-07	-	11,9	-
SmartRoc D65-14	0,5	4,6	0,1
SmartRoc D65-15	3,0	0,7	2,0

De la Tabla 15, se puede apreciar el potencial de mejora que presenta cada perforadora con respecto al rendimiento operativo. Este potencial considera la eliminación del total de los tiempos de repaso existentes, hecho que en la práctica es utópico. Normalmente a la hora de realizar estos análisis se considera la disminución del 50% de los tiempos involucrados.

De aquí es importante mencionar que para el caso de las perforadoras DI600 – 07 y SmartRoc D65 – 14 en Andesita Lo Prado, los potenciales de rendimiento tan altos se deben a que los polígonos estudiados fueron sectores en donde se utilizaron estas perforadoras solamente para repasos, y por consiguiente la posibilidad de mejora es muy grande.

Sin considerar aquellos potenciales de mejora mencionados anteriormente, se puede apreciar que en la flota de producción la perforadora Pit Viper 271 es la que presenta un panorama mucho más favorable si se disminuyen los tiempos de repaso debido principalmente a su alto rendimiento operativo, mientras que para la flota DTH, la perforadora SmartRoc D65 – 15 es la que presenta un mayor potencial de mejora. Sin embargo, lo importante de este estudio es presentar el potencial que presenta la operación en caso de mejorar en lo que respecta a la secuencia de perforación y maniobra de los operadores.

Si bien se presenta el análisis de la oportunidad de mejora del rendimiento operativo en función del tiempo de repaso, este no es representativo ya que principalmente lo que ocurre es que se deja de producir metros ocupando más tiempo operativo del equipo.

### **Metraje potencial según repasos**

Es por esto, que al considerar los tiempos de repaso y convertirlos en mejoras en conjunto con los respectivos rendimientos operativos, podemos conocer el potencial metraje realizado en caso de que los tiempos de repaso no existiesen, presentados en la Tabla 16.

Tabla 16: Metraje potencial perdido por perforadora en roca consolidada.

Metrage potencial [m]			
Perforadoras	Roca		
	Riodacita	Andesita Lo Prado	Andesita Veta Negra
DM-M3-03	9	69	-
DM-M3-04	50	26	-
PV271-05	148	108	28
D75KS-11	43	204	-
D75KS-12	80	331	130
DI600-07	-	172	-
SmartRoc D65-14	160	454	29
SmartRoc D65-15	262	84	215
<b>Total</b>	<b>751</b>	<b>1.448</b>	<b>403</b>

La mejor forma de ver el potencial del proceso pensando en la eliminación de los tiempos de repaso, es calcular la cantidad de metros perdidos de acuerdo con el rendimiento operativo previamente obtenido.

Según la Tabla 16, se puede deducir que los metros no realizados por concepto de repaso no solamente dependen del tiempo incurrido en el repaso, sino también del rendimiento operativo que presente cada perforadora en los distintos sectores. Según esto último, se puede apreciar que la litología que presenta una mayor cantidad de metros perdidos por concepto de repasos es Andesita Lo Prado.

Si se analizan los metros perdidos por flota de perforación, la de producción como la DTH presentan una mayor cantidad de metros en Andesita Lo Prado.

Con respecto a las perforadoras, en la flota de producción la que aporta una mayor cantidad de metros perdidos es la D75KS – 12, mientras que en la flota DTH la cantidad de metros perdidos es mayor para la SmartRoc D65 – 14.

ii. Repaso en roca no consolidada

Para el caso de roca no consolidada, el repaso de pozos tiene el siguiente tiempo asociado por cada perforadora, presentado en la Tabla 17.



Tabla 17: Tiempo de repasos por perforadora en sectores no consolidados.

Tiempo de repasos [min]			
Perforadoras	Relleno	Cavidad	
		Santa Clara	California
DM-M3-03	216	20	58
DM-M3-04	523	471	650
PV271-05	50	205	1255
D75KS-11	140	265	70
D75KS-12	971	598	2586
DI600-07	-	-	-
SmartRoc D65-14	9	1030	333
SmartRoc D65-15	-	985	366

A diferencia de los sectores consolidados, estos tiempos de repaso si dependen del sector analizado y la granulometría que presenta cada una de las cavidades, por lo que sí es relevante el diferenciarlos por cavidad/sector al momento de analizarlo.

Según la Tabla 17, en relleno la flota de producción presenta un tiempo promedio de repaso de 380 [min/perforadora].

Se puede apreciar que en cavidades la flota de producción presenta un mayor tiempo de repasos en California por sobre Santa Clara, con un tiempo promedio que alcanza los 923,8 [min/perforadora] por sobre los 311,8 [min/perforadora] respectivamente. Para la flota DTH se produce lo contrario, con mayor tiempo promedio de repasos en Santa Clara con 1.007,5 [min/perforadora] por sobre California con 349,5 [min/perforadora].

En la flota de producción, la mayor cantidad de tiempo en repasos lo entrega la perforadora D75KS – 12, mientras que en la flota DTH los tiempos se distribuyen de igual manera entre ambas perforadoras.

### Rendimiento operativo potencial según repasos

Si llevamos el tiempo de repaso a potencial de rendimientos operativos obtenemos los resultados de la Tabla 18.

Tabla 18: Potencial de rendimiento operativo de mejora en roca no consolidada.

Rendimiento Operativo [m/h]			
Perforadoras	Relleno	Cavidad	
		Santa Clara	California
DM-M3-03	2,0	0,2	1,1
DM-M3-04	0,8	0,4	0,7
PV271-05	0,1	0,4	1,1
D75KS-11	1,0	0,6	0,3
D75KS-12	6,0	1,8	1,8
Di600-07	-	-	-
SmartRoc D65-14	0,4	1,7	1,3
SmartRoc D65-15	-	3,5	1,8

Si bien se presenta el análisis de la oportunidad de mejora del rendimiento operativo en función del tiempo de repaso, este no es representativo ya que principalmente lo que ocurre es que se deja de producir metros ocupando más tiempo operativo del equipo.

### Metraje potencial según repasos

Es por esto, que al considerar los tiempos de repaso y convertirlos en mejoras en conjunto con los respectivos rendimientos operativos, podemos conocer el potencial metraje realizado en caso de que los tiempos de repaso no existiesen, presentados en la Tabla 19.

Tabla 19: Metraje potencial perdido para perforadoras en roca no consolidada.

Metraje Potencial [m]			
Perforadoras	Relleno	Cavidad	
		Santa Clara	California
DM-M3-03	64	5	19
DM-M3-04	128	122	213
PV271-05	13	60	513
D75KS-11	33	71	22
D75KS-12	271	157	761
Di600-07	-	-	-
SmartRoc D65-14	2	297	136
SmartRoc D65-15	-	316	117
<b>Total</b>	<b>512</b>	<b>1.028</b>	<b>1.781</b>

Según la Tabla 19, se puede deducir que los metros no realizados por concepto de repaso no solamente dependen del tiempo incurrido en el repaso, sino también del rendimiento operativo que presente cada perforadora en los distintos sectores. Según esto último, se puede apreciar que el sector que presenta una mayor cantidad de metros perdidos por concepto de repasos es California.

Si se analizan los metros perdidos por flota de perforación, la de producción presenta una mayor cantidad de metros en California, mientras que la DTH presenta una mayor cantidad de metros en Santa Clara.

Con respecto a las perforadoras, en la flota de producción la que aporta una mayor cantidad de metros perdidos es la D75KS – 12, mientras que en la flota DTH el mayor metraje para ambas perforadoras es similar.

### Mejoras aplicables al caso de repasos de pozos

Una vez conocido el efecto de los repasos principalmente en la cantidad potencial de metros perforados adicionales para cada una de las perforadoras en todos los sectores de la mina, es necesario conocer la forma en la que se buscará como área enfrentar esta problemática y aumentar así la cantidad de metros perforados, hecho que nos permitirá aumentar, por consiguiente, el rendimiento operativo de la perforación.

Como se mencionaba anteriormente, existen los repasos en roca (sectores consolidados) y en cavidades y rellenos (sectores no consolidados), necesariamente diferenciados en lo que respecta a posibilidades de mejoras.

i. Repasos en roca consolidada

Como se detalla al inicio de la sección Repaso de Pozos, para el caso de roca consolidada se vuelve completamente necesario el considerar las mejores prácticas en la secuencia de perforación a la hora de “atacar” una malla. El concepto de atacar se refiere fundamentalmente a como los operadores entran a un disparo, la ubicación de partida con respecto a la entrada a la plataforma y la dirección que le entregan a la secuencia de perforación, donde cada una de estas etapas cumple un rol fundamental cuando se trata de una correcta práctica operacional.

Cuando se define el punto de inicio de la perforación dentro de la malla, la perforadora se debe ubicar al extremo opuesto de la entrada a la plataforma.

Como se detalla en el documento (El Soldado, Anglo American, 2021), con respecto a la secuencia/dirección a la hora de “atacar” una malla de perforación, esta difiere según la cantidad de filas de borde presente la malla y si existe condiciones deficientes en las plataformas para operar en forma perpendicular.

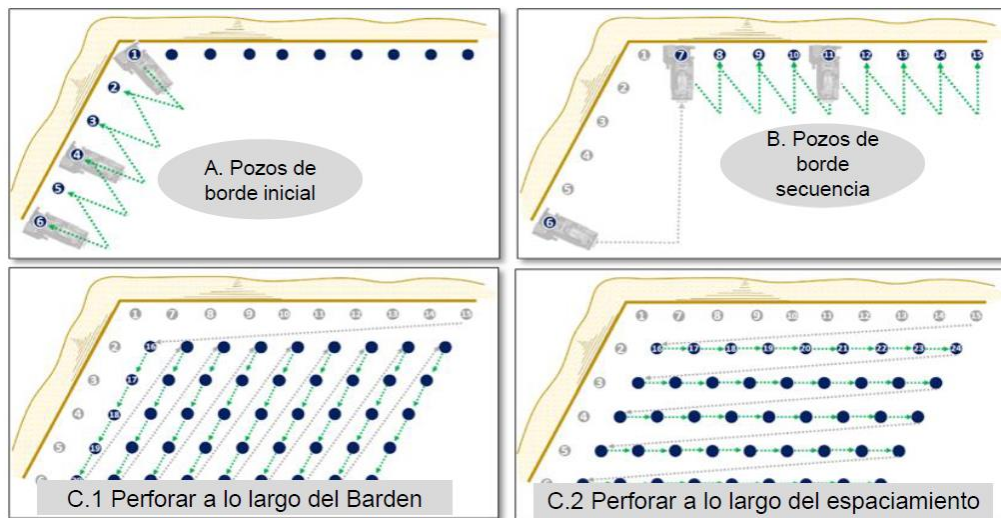


Ilustración 21: Secuencia de perforación para un equipo de perforación.  
Fuente: (El Soldado, Anglo American, 2021)

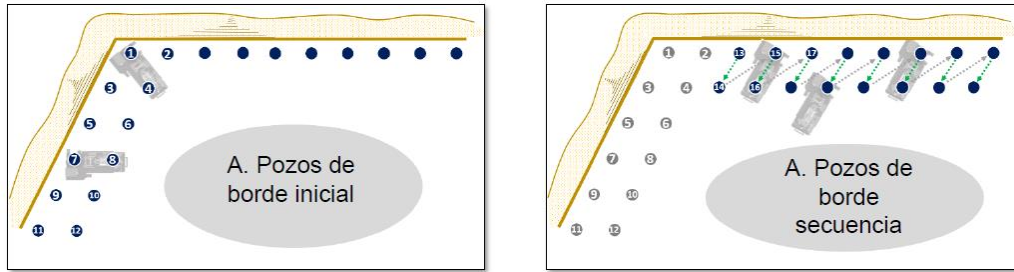


Ilustración 22: Secuencia de perforación doble fila de borde en plataformas deficientes.  
Fuente: (El Soldado, Anglo American, 2021)

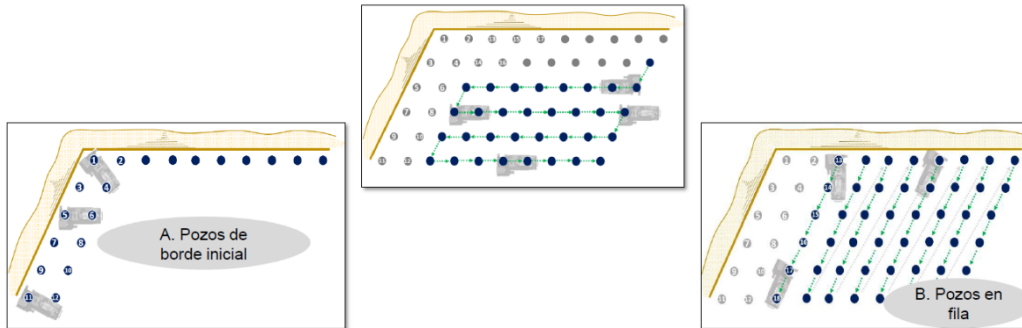


Ilustración 23: Secuencia de perforación de malla para plataformas con malas condiciones.  
Fuente: (El Soldado, Anglo American, 2021)

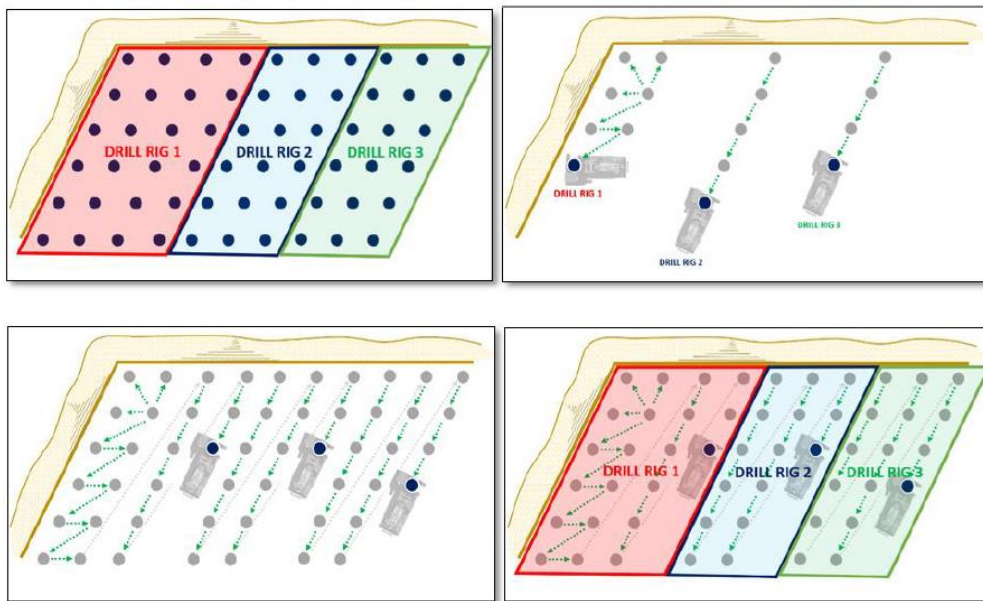


Ilustración 24: Secuencia de perforación de una malla con interacción de dos o más equipos.  
Fuente: (El Soldado, Anglo American, 2021)

De la Ilustración 21, se puede apreciar que las filas de borde se perforan de forma perpendicular a la cresta del banco. Posterior a esto, para enfrentar las filas de producción hacia la caja, existen dos posibilidades, perforar a lo largo del burden o a lo largo del espaciamiento pero siempre en una sola dirección, y cuando se termine una fila trasladarse en diagonal al pozo contiguo al primer pozo perforado de la fila anterior, repitiendo la maniobra hasta completar el disparo.

En la Ilustración 22 se entrega una alternativa para aquellas plataformas en que no estén las condiciones para perforar las filas de borde en forma perpendicular a la cresta del banco. En este caso, se deben perforar las dos primeras filas en forma diagonal al borde del polígono hasta completar ambas filas de borde (pozos de borde inicial y secuencia posteriormente). Una vez completados ambas filas de borde, como se presenta en la Ilustración 23, existen dos formas de perforar la sección de producción hacia la caja, que corresponden principalmente a lo largo del burden al igual que en la Ilustración 21, o también a lo largo del espaciamiento pero esta vez cuando se haya completado la fila se sigue con el pozo contiguo al último pozo perforado de la fila anterior.

Finalmente, para el caso donde exista interacción en una misma malla de dos o más equipos de perforación, se debe dividir el disparo en la cantidad de perforadoras estén operando al interior de este. La forma en que se deben seccionar las mallas, distribuir las perforadoras y la dirección en que deben dirigir la secuencia se presentan en la Ilustración 24.

La correcta aplicación de las mejores prácticas en la secuencia de perforación, sumado a la constante atención del operador al patio de perforación permitiría disminuir o evitar los traslados por sobre los pozos perforados, eliminando el “derrumbe” de pozos y por consiguiente los repasos realizados para alcanzar los metros de diseño correspondientes.

#### ii. Repasos en roca no consolidada

A diferencia de lo que ocurre en roca consolidada, en estos sectores donde predominan los rellenos y las cavidades, los repasos ocurren principalmente por la poca estabilidad que presentan los pozos en zonas donde existe una gran cantidad de fracturas o derechamente como lo dice el nombre material no consolidado. Estas corresponden a características geológicas o geotécnicas del sector y escapa a lo controlable por la operación.

Es por aquello que para estos sectores, donde si bien la correcta secuencia puede ayudar pero no evitar por completo los “derrumbes” internos de los pozos, es necesario buscar elementos externos que permitan a la perforación la capacidad de entregarle de forma artificial la estabilidad que se requiere en los pozos para disminuir así la cantidad de repasos realizados.

Aquí es donde aparecen nuevas tecnologías que ayudan al proceso en condiciones tan desfavorables como se presentan en El Soldado. Siguiendo esta línea, en la mina aparece la alternativa de Hole Control, un aditivo correspondiente a un polímero de origen vegetal, el cual al entrar en contacto con los detritus generados por la perforación, encapsula los finos los aglomera con los fragmentos en suspensión, facilitando su expulsión del pozo y a la vez utilizándolos como elemento estabilizador, sellando grietas y generando mayor adherencia de los detritos en zonas de roca poco consolidada. Este polímero consta de una poliacrilamida parcialmente hidratada, el cual es activado al tener contacto con el agua.

Como reporta TEAS en el documento “HOLE CONTROL – Guía básica para usuarios”

(TEAS Chile), la empresa que abastece de este elemento a El Soldado, la dosis del “aceite” puede ir ajustado desde 1,5 a 8 [L/h], dependiendo de las condiciones de la roca. A la hora de perforar con Hole Control, al momento de emboquillar el pozo se debe accionar el aire de barrido mínimo y agua con un caudal de 0,4 [L/s] mínimo para activar el producto, mientras que para condiciones de roca extremadamente fracturada se debe aumentar la inyección de esta levemente.

Dentro de los beneficios reportados, se indica que:

- Estabiliza las paredes del pozo.
- Ayuda a remover los detritus.
- Acelera la formación del collar del pozo.
- Reduce el repaso del pozo y detritus.
- Reduce los tiempos de perforación en zonas de roca poco consolidada.

Los resultados registrados por la empresa TEAS Chile, se pueden ver en la Ilustración 25.



Ilustración 25: Pozo A realizado con Hole Control y pozo B realizado sin Hole Control.  
Fuente: (TEAS Chile).

### 3.3.2 Perforación primaria y variables de operación

Como se mencionaba en la sección Variables relevantes dentro del rendimiento operativo de perforación, la perforación primaria corresponde a uno de los ítems a estudiar con el fin de mejorar el proceso. La forma de poder mejorar la perforación primaria, y por consiguiente, aumentar la cantidad de metros realizados en un mismo periodo, es elegir un correcto acero de acuerdo con las características de la roca y los lineamientos de la empresa, y a partir de este determinar las correctas variables de operación para mejorar así el rendimiento operativo de la perforación.

El Soldado cuenta con dos flotas de perforación, la de producción con una perforación de tipo Rotary y la Precorte con una perforación de tipo rotopercutiva Down The Hole (DTH),

con características distintas entre sí, por lo que se vuelve necesario realizar este análisis para ambas flotas.

## Flota DTH

### i. Elección de Bit

Para esta flota de perforadoras se cuenta con un martillo DTH Centauro provista de amortiguación neumática para el pistón en su carrera ascendente y así evitar el efecto Back Hammer (TEAS CHILE). La ficha técnica del martillo se presenta en la Tabla 20.

Tabla 20: Ficha técnica de Martillo Centauro 60.

Ficha técnica Centauro 60	
<b>Modelo</b>	Centauro 60 MS
<b>Diámetro Externo [mm]</b>	150
<b>Diámetro Límite Cilindro [mm]</b>	134
<b>Longitud [mm]</b>	1161
<b>Peso [kg]</b>	96,3
<b>Hilo Conexión</b>	API 3 1/2" Reg
<b>Presión de Trabajo [Bar] (psi)</b>	6 - 30 (87 - 435)
<b>Frecuencia a 24 Bar [Hz]</b>	38
<b>Consumo de Aire [m3/min] (l/s)</b>	24,7 (411)
<b>Rotación [RPM]</b>	25 - 60
<b>Fuerza de Avance [lb]</b>	2.000 - 4.400
<b>Lubricación Mínima [L/h]</b>	2,6
<b>Caudal de Agua [L/h]</b>	14
<b>pH del Agua</b>	> 7
<b>Diámetro de Broca ["] (mm)</b>	6 1/8 - 7 1/2 (156 - 191)

Muchos de los datos presentados en la Tabla 20 serán utilizados más adelante en el estudio, a la hora de calcular las variables de operación.

Para la selección tanto del bit en la flota DTH como del tricono en la flota de producción, es necesario conocer las durezas de las litologías presentes en el yacimiento de El Soldado, los que son presentados en la Tabla 21.

Tabla 21: Dureza de las litologías presentes en el yacimiento El Soldado.

Dureza de litologías [MPa]	
Andesita	188
Traquita	181
Andesita Veta Negra	131
Roca Sedimentaria	131
Tobas	105

Fuente: (Anglo American Sur S.A, 2019).

Debido a que en la operación solo tenemos interacción en la actualidad con las primeras 3 litologías, estas serán las consideradas a la hora de los cálculos respectivos.

Con respecto a las durezas que presentan las litologías, y según la clasificación presentada en la Tabla 5, las tres se encuentran en la categoría de Roca Dura.

Para la selección del bit en las perforadoras DTH, se debe considerar la dureza y la abrasividad de la roca presente en la operación, según el Gráfico 21.

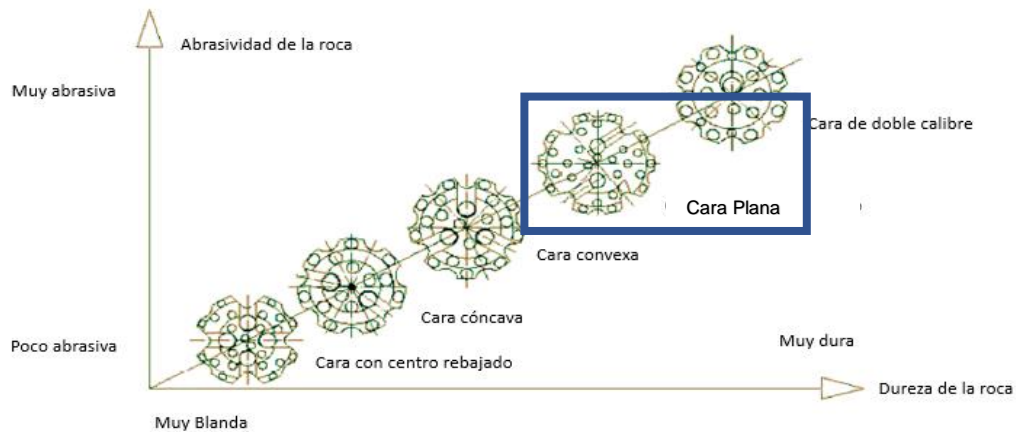


Gráfico 21: Diseño de bit según tipo de roca.  
Fuente: (TEAS Chile).

Según la información geológica con la que se cuenta, El Soldado presenta litologías clasificadas como roca dura, y a la vez abrasivas, por lo que el bit seleccionado según el gráfico corresponde al de cara plana, cuyo modelo está hecho para rocas duras y abrasivas.

Una vez que el bit es seleccionado, se puede proceder al cálculo de las variables de operación (RPM, WOB y Velocidad de barrido).

## ii. Rotación (RPM)

Para el cálculo de la rotación ideal en la flota DTH se utiliza la Ecuación 3, el cuál entrega el resultado de la Tabla 22.

Tabla 22: RPM referenciales calculada para la flota de perforación rotopercutiva.

Parámetros	Valor
Frecuencia del pistón [Hz]	38
Distancia indexación insertos [mm]	9
Diámetro [pulg]	6,5
Diámetro [mm]	165,1
Rotación [HZ]	0,7
<b>Rotación [RPM]</b>	<b>40</b>

De acuerdo con la recomendación entregada por el fabricante, las RPM de la perforación rotopercutiva no deben ser inferiores a los 15 ni superior a los 60, por lo que el valor de RPM referenciales calculadas en esta sección se encuentra dentro de los parámetros



entregados por el fabricante.

Sin embargo, debido a que la perforación corresponde a un proceso poco estable y que varía constantemente según la litología o sector a la que se enfrenta, existe una forma de calcular las RPM operativas ideales solamente considerando la tasa de penetración instantánea in situ de la perforadora. Esta metodología es importante a la hora de operativizar y calibrar los equipos en terreno, por lo que se vuelve importante para todos los operadores el manejo de ambos valores a la hora de perforar.

iii. Pull Down (WOB)

Como se menciona en la “Rotación rotativa y rotopercutiva - Guía básica de usuarios” (TEAS CHILE), el WOB requerido debe ser solamente ser suficiente para mantener la broca en contacto con la roca, por lo tanto solo depende del diámetro del bit. Según esto, el WOB necesario para la perforación rotopercutiva se presenta en la Tabla 23.

Tabla 23: WOB requerido por la perforación rotopercutiva.

Parámetros	Valor
Diámetro [pulg]	6,5
WOB Máx [lbp]	3.250

iv. Velocidad de evacuación (BARRIDO)

Para el cálculo de la velocidad de evacuación del detritus se utiliza la Ecuación 7, con la cual obtenemos la velocidad de barrido según la Tabla 24.

Tabla 24: Velocidad de evacuación del detritus (barrido) para perforación rotopercutiva.

Parámetros	Valores		
	30	25	21
Presión [bar]	30	25	21
CFM Máx [pie/min]	995	874	777
CFM ajustado [pie/min] - 610/21	1.079	947	842
Diámetro Barra [pulg]	4.5		
Diámetro Broca [pulg]	6.5		
Velocidad de barrido [pie/min]	8.991	7.898	7.023

Según el fabricante de las perforadoras DTH, estas trabajan con presiones de compresor de 30 [psi]. En la práctica, y por conversaciones con el fabricante de los aceros en El Soldado (Ortega, 2021), debido a las distintas pérdidas que existen en el recorrido del aire desde el compresor a las distintas partes de la perforadora que utilizan este aire, normalmente una máquina trabaja a 25 [psi]. Sin embargo, según distintas pruebas mecánicas de las perforadoras en las que participa el entrevistado, las perforadoras DTH en El Soldado no trabajan a más de 20 – 21 [psi]. Con respecto al ajuste de las CFM, se utiliza el valor de 610 m.s.n.m. y unos 21° Celsius promedio.

Es por esto, y con el objetivo de acercarse lo más posible a la realidad con la que cuenta El Soldado, se decide por la velocidad de barrido calculado a una presión de trabajo de 21 [psi], lo que nos entrega un valor de 7.023 [pie/min]. De acuerdo con la información de

la industria (TEAS CHILE), los valores adecuados se encuentran entre los 4.000 – 7.000 [pie/min], por lo que nuestro valor se encuentra en el rango, muy ajustado al límite superior.

## Flota Producción

### i. Elección del Tricono

Al igual que para el caso de la flota DTH, el primer paso es seleccionar el tricono acorde a las características geológicas y dureza de las litologías presentes en la mina El Soldado.

Según la Tabla 3: Tabla de selección de tricono según dureza y UCS de la roca., se obtiene el modelo de tricono por dureza de la roca.

Tabla 25: Selección de los triconos según dureza de las litologías en El Soldado.

Strength of Rock		Soft			Medium			Hard			Rock Formation / Class
PSI	MPA	10	20	30	40	50	60	70	80		
Lower	Lower										Limestone, Siltstone
2,000	14										Claystone, Mudstone, schist
4,000	28										Marl, Chalky Limestone
6,000	41										Soft - Medium Shales
8,000	55										Soft Marble, Dolomite
10,000	69										Consolidates Sandstone
12,000	83										Medium Shale, conglomeraete
14,000	97										Tuff, Soft Schist
16,000	110										Andesite, Rhyolite
18,000	124										Quartzite (Sand & Silt)
20,000	138										Limestone, Marble
22,000	152										Monzonite, Granite
24,000	165										Gneiss
26,000	179										Diorite, Diabase
28,000	193										Hard Shale, Slate
30,000	207										Limestone, Dolomite
32,000	221										Basalt
34,000	234										Tactite, Skarn
36,000	248										Granodiorite
38,000	262										Taconite
40,000	276										Quartzite
42,000	290										Syenite
44,000	303										Gabbro
46,000	317										Banded Iron
48,000	331										Taconite
50,000	345										Chert
52,000	359										Basalt (Hard)
54,000	372										Quartzite
56,000	386										Amphibolite
58,000	400										Hornfels, Hematite Ore
60,000	414										
Higher	Higher										

Fuente: (TEAS Chile).

De acuerdo con la Tabla 25 y las durezas de las litologías presentes en el yacimiento, se definen dos grupos de triconos, uno para Andesita Veta Negra y otro para Andesita Lo Prado y Riodacita (Traquita), en color azul y rojo respectivamente. Al momento de decidir por una serie de tricono, se debe considerar una holgura con respecto a la dureza que aceptan los tipos de triconos, ya que en caso de operar y presentar una variación de [MPa] en alguna litología debido a las distintas mineralogías y composiciones, este podría fallar provocando un aumento de los costos de aceros del proceso.

De igual forma, al momento de decidir por un tricono se debe considerar un lineamiento claro por parte del cliente, y esto se refiere a la búsqueda de velocidad o la búsqueda de durabilidad del acero, cuya decisión influye fuertemente en la elección por parte de la

empresa.

Pensando en la búsqueda de velocidad por parte del acero, la selección será pensada en un tricono de menor serie, considerando la holgura con respecto a la dureza aceptada por el tipo de acero. Bajo este lineamiento, se mantienen como opción los triconos de serie 40, 50 y 60, que corresponden a aquellos que soportan las durezas de las litologías presentes en el yacimiento.

La siguiente etapa es encontrar la clase IADC del tricono, con el objetivo de caracterizar de mejor manera el acero seleccionado. Según la dureza de las litologías presentes en El Soldado, tenemos el resultado presentado en el Gráfico 22.

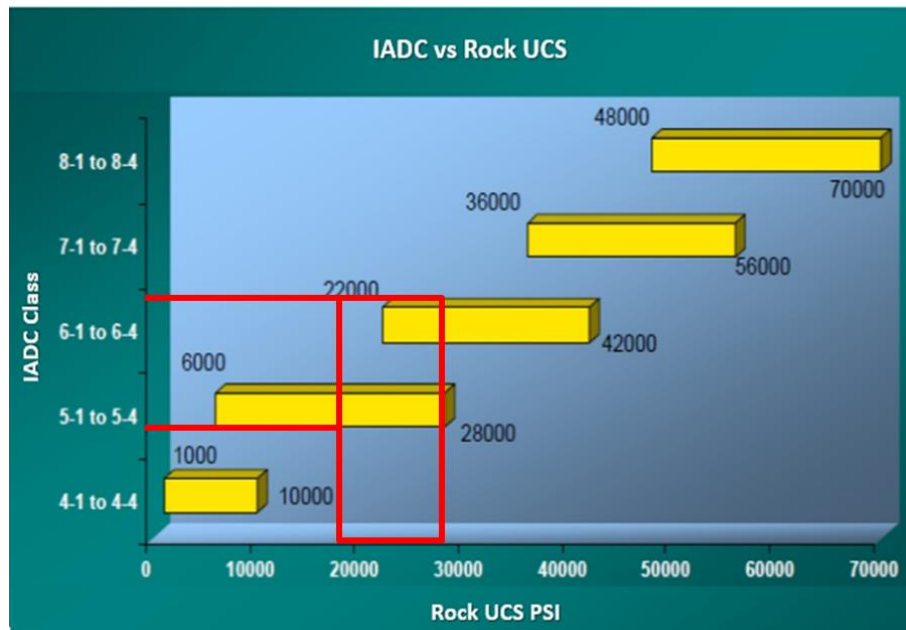


Gráfico 22: Selección de la clase IADC del tricono según dureza de la litología.

Del Gráfico 22, se desprende que según la dureza de las litologías, la serie IADC de los triconos serie 50 y 60 debería ser CN54 como límite inferior y CN64 como límite superior. Esto nos entrega un panorama mucho más claro de la elección del acero, sin embargo, a la hora de definir el WOB necesario es el último ítem que permitirá seleccionar el acero.

ii. Pull Down (WOB)

La última etapa para definir el tricono depende directamente del WOB para cada uno de ellos. En primer lugar es necesario definir los WOB mínimo y máximo aceptable para el proceso. El WOB mínimo se calcula según dureza de la roca y diámetro de perforación, mientras que el WOB máximo depende solamente del diámetro del tricono. De acuerdo con lo anteriormente mencionado, se tiene lo presentado en las Tabla 26 y Tabla 27.

Tabla 26: WOB mínimo según dureza de la roca.

WOB Mín [lbp]	Diámetro [pulg]	
	9,875	10,625
Andesita Lo Prado	53.000	57.000
Andesita Veta Negra	37.000	40.000
Traquita (Riodacita)	51.000	55.000

Tabla 27: WOB máximo según diámetro de perforación.

WOB Máx [lbp]	Diámetro [pulg]	
	9,875	10,625
	79.000	92.000

Debido a que los WOB mínimo dependen de la dureza de la roca, siguen su tendencia. Además que para una misma dureza, los WOB mínimo aumentarán a medida que aumenta el diámetro, por consiguiente es normal que los WOB mínimo sean mayores para diámetros de 10,625 [pulg]. Este último fenómeno se repite para el WOB máximo, por lo que la tendencia en este caso es la misma.

Posterior a la definición de los WOB mínimo y máximo de la flota, se sigue con el cálculo de los WOB aceptables para cada serie de tricono. Este valor se obtiene con la Ecuación 6, que presenta los resultados expuestos en las Tabla 28 y Tabla 29:

Tabla 28: Rango de WOB por serie de tricono para diámetro de 9,875 [pulg].

Serie IADC	Diámetro [pulg]	
	9,875	10,625
	WOB Mín [lbp]	WOB Máx [lbp]
30	19.750	39.500
40	19.750	49.375
50	24.688	49.375
60	29.625	64.188
70	39.500	74.063
80	49.375	79.000

Tabla 29: Rangos de WOB por serie de tricono para diámetro 10,625 [pulg].

Serie IADC	Diámetro [pulg]	
	9,875	10,625
	WOB Mín [lbp]	WOB Máx [lbp]
30	21.250	42.500
40	21.250	53.125
50	26.563	53.125
60	31.875	69.063
70	42.500	79.688
80	53.125	85.000

Una vez calculados los rangos de WOB tanto por dureza de la roca como el aceptable por serie IADC, se sigue con la elección del mejor tricono para cada litología.

El WOB mínimo determinado por la dureza de la roca corresponde al WOB necesario para poder penetrar suficientemente los insertos para lograr la fractura de la roca, mientras que el WOB máximo de la serie IADC te permite conocer el máximo valor que resiste el tricono en cualquier proceso de perforación. Lo que se debe buscar para evitar

desgaste excesivos o fallas en los aceros es que este WOB máximo sea mayor al mínimo necesario según la dureza de la roca. De acuerdo con este razonamiento, se tiene la selección de triconos por litología, según las Tabla 30, Tabla 31 y Tabla 32.

Tabla 30: Selección de tricono según WOB en Traquita (Riodacita).

Traquita				
Diámetro [pulg]	WOB Mín [lbp]	WOB Máx [lbp]		
		40	50	60
9,785	51.000	49.375	49.375	64.188
10,625	55.000	53.125	53.125	69.063

Tabla 31: Selección de tricono según WOB en Andesita Lo Prado.

Andesita Lo Prado				
Diámetro [pulg]	WOB Mín [lbp]	WOB Máx [lbp]		
		40	50	60
9,785	53.000	49.375	49.375	64.188
10,625	57.000	53.125	53.125	69.063

Tabla 32: Selección de tricono según WOB en Andesita Veta Negra.

Andesita Veta Negra				
Diámetro [pulg]	WOB Mín [lbp]	WOB Máx [lbp]		
		40	50	60
9,785	37.000	49.375	49.375	64.188
10,625	40.000	53.125	53.125	69.063

De la Tabla 30, se puede apreciar que según WOB, el acero que mejor se acomoda a Riodacita es de la serie 60 y según el Gráfico 22, se concluye que se requiere un tricono CN64.

De la Tabla 31 se puede apreciar que según WOB, el acero que mejor se acomoda y cumple con los requerimientos mínimos de Pull Down para Andesita Lo Prado, corresponde al de serie 60 y según el Gráfico 22, se concluye que también se puede utilizar el tricono CN64.

De la Tabla 32 se puede ver algo interesante, ya que según WOB las 3 series de tricono se acomodan y cumplen el requisito mínimo para romper la roca. Sin embargo, como se mencionó en un principio, el objetivo de la empresa será conseguir velocidad por sobre durabilidad, por lo que siempre se guiará la elección por series menores, descartando el de serie 60. Entre los dos restantes, si se eligiera por velocidad, se decidiría por el de serie 40 por sobre el 50, pero ya que es necesario de igual forma guiarse por las

características de la roca, Andesita Veta Negra se encontraba muy al límite con respecto a la dureza aceptada por la serie 40, por lo que ante el aumento de esta aunque sea por unos pocos MPa, puede producir problemas en el tricono y por consiguiente, buscando la velocidad se dejará de lado la resistencia del acero, generando costos extras en este ítem. Es por esto por lo que, en conjunto con el Gráfico 22, se decide por el tricono CN54.

iii. Rotación (RPM)

Para la elección de las RPM óptimas para la flota de producción, se utiliza el siguiente gráfico (TEAS CHILE), el cual compara el UCS, WOB y RPM. En primer lugar, se obtienen las RPM óptimas según la resistencia a la compresión de la roca (dureza), como se presenta en el Gráfico 23.

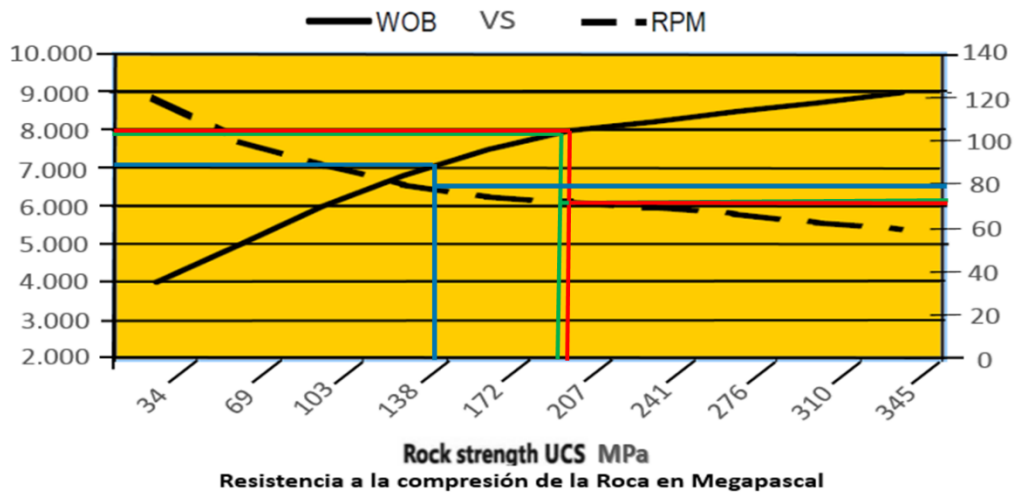


Gráfico 23: RPM y WOB según litología.

En el Gráfico 23, las rectas azules corresponden a Andesita Veta Negra, las rectas rojas corresponden Andesita Lo Prado y las rectas verdes son para Riodacita. Como se puede apreciar, las RPM óptimas tanto para Andesita Lo Prado como para Riodacita son muy similares, cercana a los 70 [RPM], mientras que para Andesita Veta Negra, la rotación es un poco mayor alcanzando los 80 [RPM].

Sin embargo, si solo se considerara este valor se estaría dejando de lado una variable no menos importante como lo es el WOB, que en este caso, están muy lejanos a los obtenidos en el cálculo de la sección anterior. Para obtener una rotación más realista debe realizarse el mismo procedimiento pero esta vez variando los WOB de cada uno de los triconos seleccionados previamente. El resultado se presenta en el Gráfico 24.

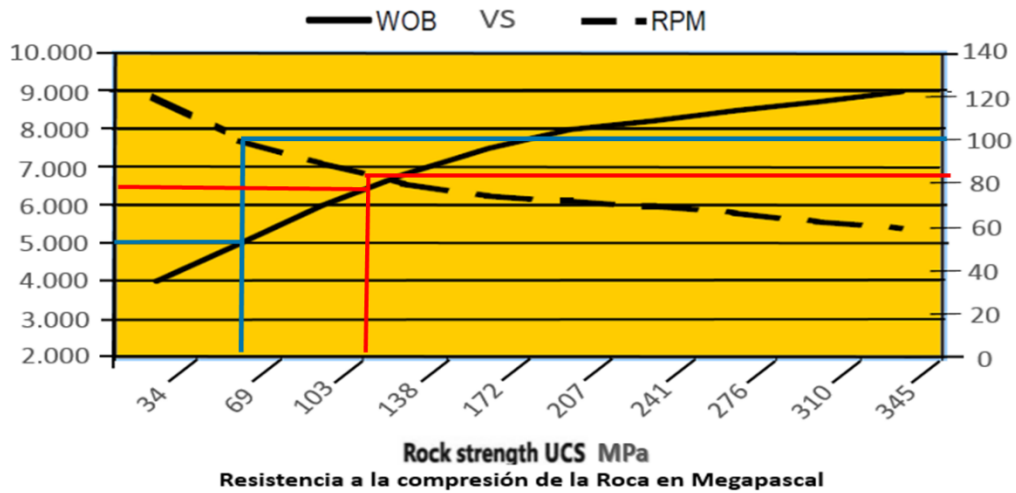


Gráfico 24: RPM y WOB según tricono.

En el Gráfico 24, las rectas azules corresponden a los aceros de la serie CN50, mientras que las rectas rojas corresponden a los aceros de la serie CN60. Aquí se utiliza como parámetro de entrada el WOB [lbp por pulgada de diámetro] y se extrapola a la rotación necesaria para cantidad de Pull Down. Según esto, para el tricono de la serie CN54 utilizados en Andesita Veta Negra según recomendación, la rotación máxima alcanza los 100 [RPM], mientras que para el tricono de la serie CN64 utilizado tanto en Andesita Lo Prado como Riodacita según recomendación, la rotación máxima alcanzada es de aproximadamente 85 [RPM], pero por simplificación se deja en 90 [RPM].

Este resultado nos entrega un rango de RPM óptimos el cual es necesario valorar y probar en terreno para encontrar aquel valor operativo óptimo. Para Andesita Lo Prado como Riodacita, el rango de rotación va de 70 – 90 [RPM], mientras que para Andesita Veta Negra el rango de rotación se encuentra entre las 80 – 100 [RPM].

iv. Velocidad de aire de barrido

Con respecto al aire de barrido, si bien puede ser calculado de acuerdo a la granulometría del detritus generado y las características de los aceros elegidos (Análisis del proceso de perforación), hoy en día El Soldado no cuenta con la primera información por lo que se entrega valores promedio aceptables en la industria según la dureza que presenta la roca en cuestión, y debido a que todas las litologías de El Soldado se encuentran clasificadas como duras, se definen los siguientes parámetros de velocidad de aire de barrido, el cual debe ser validada y probada en terreno hasta ajustar el valor al que entregue mayores réditos para la operación.

Tabla 33: Velocidad de aire de barrido según dureza de roca.

TIPO DE ROCA	VELOCIDAD MÍNIMA		VELOCIDAD MÁXIMA	
	[m/min]	[pies/min]	[m/min]	[pies/min]
Blandas	1.200	4.000	1.800	6.000
Medianas	1.500	5.000	2.100	7.000
Duras	1.800	6.000	2.400	8.000

### 3.3.3 Rendimiento operativo promedio por cada litología/cavidad/sector – Caso Actual

Teniendo el panorama completo de los rendimientos operativos promedio por perforadora del caso base en cada litología/cavidad/sector de la mina, y habiendo reconocido los principales factores que influyen en él, desde marzo se ponen en marcha los planes de acción correspondientes con el objetivo de disminuir/eliminar aquellos tiempos operativos que producen una caída en el rendimiento y/o un aumento en la producción de las perforadoras.

Con respecto a los repasos de pozos, se busca evitar mediante el uso de las mejores prácticas operacionales y la implementación del Hole Control de forma paulatina en las flotas de producción. La implementación hoy en día en las flotas DTH aún no ha podido concretarse pero se espera que a finales del tercer trimestre puedan estar implementadas en todas las perforadoras.

Una vez llevado a cabo todo lo anterior, se realiza un nuevo estudio de rendimientos operativos promedio por perforadora para cada litología/sector/cavidad de la mina, pero para los meses de marzo, abril y mayo para cuantificar el efecto que han tenido estos en el rendimiento, y finalmente, actualizar la información con el objetivo de entregar estos inputs a planificación para la generación del nuevo Budget que regirá durante todo el segundo semestre.

Realizando el mismo procedimiento que para el caso base, se obtienen los nuevos resultados presentados en la Tabla 34.

Tabla 34: Rendimiento operativo promedio por perforadora en cada litología/cavidad/sector.

Rendimiento Operativo [m/h]								
Perforadoras	Roca			Relleno	Cavidad			N° de Pozos
	Riodacita	And. Lo Prado	And. Veta Negra		California	Santa Clara	Valdivia	
DM-M3-03	18,0	19,4	22,0	14,3	22,0	17,1	18,3	450
DM-M3-04	16,9	16,4	-	10,3	19,9	17,0		300
PV271-05	-	-	27,9	-	-	-	25,5	178
D75KS-11	16,1	17,9	19,2	-	-	-	16,9	177
D75KS-12	13,2	13,5	16,1	-	-	-	-	35
DI600-07	21,0	13,2	23,4	-	-	-	12,9	109
SmartRoc D65-14	16,2	14,1	23,9	-	-	16,0	-	96
SmartRoc D65-15	15,8	-	24,1	-	-	-	-	125
								<b>1.470</b>

De la Tabla 34, se aprecia que para este periodo se analizaron un total de 1.470 pozos, siendo la perforadora DMM3 – 03 la que aporta una mayor cantidad de datos. En lo que respecta a rendimientos operativos promedios para el sector de roca, ambas flotas de perforación presentan mejores desempeños en Andesita Veta Negra. En el sector de



cavidades, California mantiene su mejor rendimiento en comparación con Santa Clara. La nueva cavidad estudiada correspondiente al caving Valdivia está sustentada fuertemente por el rendimiento de la perforadora Pit Viper 271, ya que los rendimientos de las demás perforadoras son muy inferiores.

En lo que respecta a la flota de producción, la perforadora Pit Viper 271 sigue manteniendo el mayor rendimiento con respecto a las demás, e incluso mejorando su desempeño del caso base.

En Andesita Veta Negra, todas las perforadoras mejoraron su desempeño, a excepción de la perforadora D75KS – 12, que la disminuyó por 5 [m/h]. En las demás litologías el comportamiento es errante y no sigue una tendencia.

Con esto, se hace posible determinar los rendimientos operativos promedio por flota de perforación, los que son presentados en la Tabla 35.

Tabla 35: Rendimientos operativos promedios por cada litología/cavidad/sector de la mina.

Rendimiento Operativo Flota [m/h]							
Perforadoras	Roca			Relleno	Cavidad		
	Riodacita	And. Lo Prado	And. Veta Negra		Santa Clara	California	Valdivia
DM-M3-03	17,4	17,9	22,5	13,2	17,0	21,2	22,1
DM-M3-04							
PV271-05							
D75KS-11							
D75KS-12							
Di600-07	17,0	13,9	23,8	-	16,0		12,9
SmartRoc D65-14							
SmartRoc D65-15							

Si comparamos estos rendimientos con los presentados en la Tabla 13, se puede apreciar que los desempeños tanto en las flotas de producción como en la flota DTH ha disminuido para todos los sectores de la mina. Sin embargo, no se está considerando un hecho de gran importancia en la que la perforadora Pit Viper 271, al ser definida como perforadora P101 se le asignó solamente perforación a Fase 4, dejando de perforar en las litologías de Riodacita y Andesita Lo Prado y en las cavidades Santa Clara y California. Debido a esto, es que para tener un panorama similar al que se tiene hoy en día, para esta comparación se decide sacar del rendimiento operativo promedio a la perforadora Pit Viper 271 de los sectores anteriormente nombrados y así tener un caso comparable.

Los rendimientos operativos promedios del caso base sin contar esta perforadora son los presentados en la Tabla 36.

Tabla 36: Rendimientos operativos promedios por flota de perforación en todos los sectores.

Rendimiento Operativo Flota sin P5 [m/h]						
Perforadoras	Roca			Relleno	Cavidad	
	Riodacita	And. Lo Prado	And. Veta Negra		Santa Clara	California
DM-M3-03	16,5	18,0	22,2	15,5	15,9	18,9
DM-M3-04						
PV271-05						
D75KS-11						
D75KS-12						
Di600-07	19,3	19,8	23,1	15,7	18,2	21,6
SmartRoc D65-14						
SmartRoc D65-15						

Al comparar los rendimientos operativos promedios por flota de perforación con este nuevo caso base, se puede apreciar que en casi todos los sectores, excluyendo el de relleno, el rendimiento de la flota de producción se ha mantenido o aumentado. Sin embargo, el panorama no cambia en lo que respecta a la flota DTH, donde los rendimientos actuales son menores a los presentados en el caso base.

Con el caso actual completamente caracterizado es posible generar y actualizar la base de datos de los rendimientos operativos promedios de cada perforadora para cada uno de los sectores de la mina y así generar los inputs que se le entregarán a planificación para la generación del nuevo Budget segundo semestre 2021. El resultado de los nuevos rendimientos son los presentados en la Tabla 37.

Tabla 37: Rendimientos operativos promedios actualizados por perforadora en cada sector.

Rendimiento Operativo [m/h]								
Perforadoras	Roca			Relleno	Cavidad			N° de Pozos
	Riodacita	And. Lo Prado	And. Veta Negra		California	Santa Clara	Valdivia	
DM-M3-03	18,3	19,2	21,5	16,6	21,2	16,7	18,3	838
DM-M3-04	16,6	17,1		14,4	19,8	16,0		1.109
PV271-05	21,8	18,8	25,6	16,2	24,5	17,6	25,5	1.186
D75KS-11	15,5	18,3	19,2	14,1	18,5	16,0	16,9	645
D75KS-12	16,0	17,9	20,3	16,7	17,7	15,8		644
DI600-07	20,4	15,9	23,4	17,9	14,8		12,9	147
SmartRoc D65-14	18,6	18,4	22,0	13,6	24,5	16,7		400
SmartRoc D65-15	17,1	22,1	23,8		19,2	19,2		404
								<b>5.373</b>

### 3.3.4 Entrega de información relevante para Budget 2021 – segundo semestre

Una vez caracterizada la perforación de la mina El Soldado, conociendo los rendimientos operativos de las perforadoras en todos los sectores de la mina, se realiza el respectivo cálculo por modelo de perforadora. El resultado de esta distribución está en la Tabla 38.

Tabla 38: Rendimientos operativos promedios por perforadora en todos los sectores.

Rendimiento Operativo [m/h]							
Perforadoras	Roca			Relleno	Cavidad		
	Riodacita	And. Lo Prado	And. Veta Negra		California	Santa Clara	Valdivia
DM-M3-03	17,2	17,9	21,5	15,0	20,3	16,2	18,3
DM-M3-04							
PV271-05	21,8	18,8	25,6	16,2	24,5	17,6	25,5
D75KS-11	15,8	18,2	19,9	15,7	18,0	15,9	16,9
D75KS-12							
DI600-07	20,4	15,9	23,4	17,9	14,8		12,9
SmartRoc D65-14	18,3	19,7	23,5	13,6	22,3	17,5	
SmartRoc D65-15							

De la Tabla 38 se puede apreciar que el peor modelo de la flota de producción en lo que respecta a rendimiento operativo es el D75KS. En la flota DTH no existe información concluyente con respecto a esto, ya que es muy variable y no se ve una tendencia clara.

Con esta información, sumada a la de la Tabla 37, fue entregada de la siguiente forma al área de planificación para su inclusión en el 12W y posterior cálculo del Budget 2021 – 2.

Tabla 39: Rendimientos operativos promedios perforadora DMM3 - 03 para plan 12W.

Perfo 3	REAL			12W-Plan							
	Mar	Abril	Mayo	Junio - Diciembre							
				Roca			Relleno	Cavidad			
				Riodacita	And. Lo Prado	And. Veta Negra		California	Santa Clara	Valdivia	
Disponibilidad [%]											
Uso real/máximo [%]	66	67	63	65	65	65	65	65	65	65	65
Rend. Op. [MPH]	16	17	17	18	19	22	17	21	17	18	

Tabla 40: Rendimiento operativo promedio perforadora DMM3 - 04 para plan 12W.

Perfo 4	REAL			12W-Plan							
	Mar	Abril	Mayo	Junio - Diciembre							
				Roca			Relleno	Cavidad			
				Riodacita	And. Lo Prado	And. Veta Negra		California	Santa Clara	Valdivia	
Disponibilidad [%]											
Uso real/máximo [%]	69	68	71	70	70	70	70	70	70	70	70
Rend. Op. [MPH]	17	16	17	17	17		14	20	16		

Tabla 41: Rendimiento operativo promedio perforadora Pit Viper 271 para plan 12W.

Perfo 5	REAL			12W-Plan						
	Mar	Abril	Mayo	Junio - Diciembre						
				Roca			Relleno	Cavidad		
				Riodacita	And. Lo Prado	And. Veta Negra		California	Santa Clara	Valdivia
Disponibilidad [%]										
Uso real/máximo [%]	43	27	28	60	60	60	60	60	60	60
Rend. Op. [MPH]	26	26	30	22	19	26	16	25	18	26

Tabla 42: Rendimiento operativo promedio perforadora D75KS - 11 para plan 12W.

Perfo 11	REAL			12W-Plan						
	Mar	Abril	Mayo	Junio - Diciembre						
				Roca			Relleno	Cavidad		
				Riodacita	And. Lo Prado	And. Veta Negra		California	Santa Clara	Valdivia
Disponibilidad [%]										
Uso real/máximo [%]	47	53	16	50	50	50	50	50	50	50
Rend. Op. [MPH]	19	17	16	15	18	19	14	19	16	17

Tabla 43: Rendimiento operativo promedio perforadora D75KS - 12 para plan 12W.

Perfo 12	REAL			12W-Plan						
	Mar	Abril	Mayo	Junio - Diciembre						
				Roca			Relleno	Cavidad		
				Riodacita	And. Lo Prado	And. Veta Negra		California	Santa Clara	Valdivia
Disponibilidad [%]										
Uso real/máximo [%]	61	-	-	60	60	60	60	60	60	60
Rend. Op. [MPH]	13	-	-	16	18	20	17	18	16	

Tabla 44: Rendimiento operativo promedio perforadora DI600 - 07 para plan 12W.

Perfo 7	REAL			12W-Plan						
	Mar	Abril	Mayo	Junio - Diciembre						
				Roca			Relleno	Cavidad		
				Riodacita	And. Lo Prado	And. Veta Negra		California	Santa Clara	Valdivia
Disponibilidad [%]										
Uso real/máximo [%]	36	27	42	40	40	40	40	40	40	40
Rend. Op. [MPH]	20	20	23	20	16	23	18	15		13

Tabla 45: Rendimiento operativo promedio perforadora SmartRoc D65 - 14 para plan 12W.

Perfo 14	REAL			12W-Plan						
	Mar	Abril	Mayo	Junio - Diciembre						
				Roca			Relleno	Cavidad		
				Riodacita	And. Lo Prado	And. Veta Negra		California	Santa Clara	Valdivia
Disponibilidad [%]										
Uso real/máximo [%]	56	52	68	65	65	65	65	65	65	65
Rend. Op. [MPH]	18	20	16	19	18	22	14	25	17	

Tabla 46: Rendimiento operativo promedio perforadora SmartRoc D65 - 15 para plan 12W.

Perfo 15	REAL			12W-Plan						
	Mar	Abril	Mayo	Junio - Diciembre						
				Roca			Relleno	Cavidad		
				Riodacita	And. Lo Prado	And. Veta Negra		California	Santa Clara	Valdivia
Disponibilidad [%]										
Uso real/máximo [%]	64	49	21	65	65	65	65	65	65	65
Rend. Op. [MPH]	23	22	24	17	22	24		19	19	

Finalmente, como estudio adicional y que nos permita comparar el caso actual con el Budget con la planificación del metraje anual entregado a principios de año, realizamos el mismo cálculo con el objetivo de ver el panorama actual pero con la información que se obtuvo del estudio.

Tabla 47: Comparación de metrajes anuales.

	Metraje anual Budget [m]	Metraje anual caso actual [m]	Variación
Producción	282.222	262.881	-7%
DTH	181.191	190.139	5%
Total	463.414	453.020	-2%

Esto demuestra que para el caso actual de perforación en El Soldado, la operación se encuentra un 2% por debajo del total de metros perforados proyectados, con una variación positiva en DTH y negativa en producción, alcanzando un total de 10.394 [m] perforados menos que lo presentado en Budget de principio de año.

### 3.4 ANÁLISIS

Contar con un yacimiento que presenta una gran variedad de litologías cuyas características geotécnicas y geológicas son distintas entre sí, genera una complejidad adicional al proceso de perforación ya que su rendimiento y desempeño es muy dependiente a estas.

En cualquier mina a cielo abierto es complicado el convivir constantemente con labores subterráneas abandonadas por la operación de alguna faena antigua. Esto porque las labores (dependiente del tipo de trabajo según el método de explotación utilizado) son muy variadas entre sí, es decir, según su naturaleza pueden presentar distintos elementos que le entregan un grado de complejidad tanto al área de perforación como a la operación en sí. Un ejemplo de esto es el caso de las galerías, en donde la presencia de estructuras metálicas puede provocar el daño mecánico del equipo u aceros, la presencia de rellenos que afecten directamente el desempeño del proceso o incluso la presencia de cavidades que no hayan sido detectadas previamente y que puedan significar una fuente de peligro para el operador o incluso la faena completa.

En El Soldado se presentan gran parte de estas condiciones a lo largo de todo el yacimiento, donde incluso dentro de un mismo disparo podrían interactuar dos litologías, con cavidades y galerías con estructuras metálicas, por lo que el desafío para el área de perforación es lograr entregarle estabilidad al proceso, y de la mano con las áreas de Geología, Geomecánica y Planificación, tratar de contar con la mayor cantidad de información posible que les permita tomar decisiones y predecir de la mejor forma posible el proceso, razón por la que este estudio tuvo lugar.

Con respecto a la información disponible, el área de perforación se encuentra escaso en este ítem. Muchas decisiones del día a día y que influyen directamente en su desempeño y/o seguridad dependen de la información geológica y geotécnica de la mina, con la que El Soldado no cuenta en la actualidad. Esto ocurre porque la faena no siguió con los estudios, o bien, se encuentra en vías de conseguir e implementar nuevas tecnologías, metodologías, etc., hecho que pudiese estar impactando negativamente el rendimiento del proceso y por consiguiente la productividad del negocio en su totalidad.

Con respecto al proceso de perforación y la recolección de información, si bien El Soldado ha avanzado mucho con el cambio de modelo de tiempos y la constante instrucción y capacitación por parte de los supervisores del área a los operadores en lo que significa para el proceso la correcta digitación de los códigos en el sistema JigSaw, aún existen ocasiones en que los operadores se olvidan de cambiar los estados de los equipos, manteniendo la condición por horas. Este hecho provoca que se pierda información del proceso que puede ser relevante, y por lo tanto, genere sesgos al momento de analizarlos. Esta corresponde a una práctica que hay que seguir tratando de erradicar por parte de la supervisión.

Centrándose en los resultados del presente estudio, el objetivo de analizar los rendimientos pozo a pozo es poder eliminar la incertidumbre del proceso, caracterizando lo mejor posible el rendimiento de la perforación y generando una línea base a partir de la cual se puedan tomar decisiones. Además, con esta información es posible seguir

detalladamente el funcionamiento del proceso, permitiendo encontrar la mejor solución en el menor tiempo posible.

En lo que respecta a la actualización de la información al nuevo Modelo de Tiempos de Anglo American, en el mapa de proceso del antiguo modelo en la primera etapa correspondiente al traslado con torre arriba/torre abajo, esta depende fundamentalmente de las condiciones en las que se entrega el patio de perforación desde el área de carguío y servicios. Si bien, este ítem es muy relevante a la hora de hablar de rendimiento operativo de un pozo, pero corresponde a un factor externo ya que no depende directamente de la perforación, y por consiguiente, se excluye del estudio en cuestión. Para la segunda etapa correspondiente a la de perforación primaria/secundaria, esta se encuentra ligada al rendimiento efectivo y depende de factores externos, como lo son la dureza de la roca, condiciones mecánicas del equipo, etc., como también de factores internos al proceso como lo son las variables operacionales y maniobrabilidad de los operadores. Este último conjunto de factores es inherente al proceso de perforación y por ende debe ser estudiado a continuación, y su estudio se centrará en la elección de las correctas variables de operación con el fin de optimizar la velocidad efectiva. Para la tercera etapa correspondiente al de insertar/acoplar barra, este corresponde a un proceso y tiempos establecidos según equipo, por lo que no merece estudio. Para la cuarta etapa correspondiente al de armar/desarmar columna, de igual forma que la etapa anterior, depende principalmente de factores y condiciones mecánicas del equipo, y por consiguiente, escapa del alcance del estudio. Finalmente, para la quinta etapa correspondiente al repaso de pozos (en caso de realizarse), este es un proceso no normal realizado cuando la estructura que deja la perforación en un pozo se pierde y se ve el fenómeno de “derrumbe”. Este ocurre principalmente en aquellas operaciones que no se suele perforar de forma correcta o en aquellos yacimientos que presentan condiciones de terreno desfavorables. El Soldado, en primer lugar no cuenta con condiciones de terreno favorables con presencia de cavidades y sectores no consolidados, además de llevar a cabo maniobras poco recomendadas a la hora de trasladar el equipo dentro del disparo.

Con respecto a la distribución y tendencia de los rendimientos operativos de cada pozo, se puede apreciar que en la gran mayoría de los histogramas existe una gran dispersión de los datos, con rendimientos que escapan de la tendencia. Sin embargo, se decide mantenerlos para analizar el panorama completo y real al que se vio enfrentado durante el estudio. Por otro lado, de igual forma se vuelve complicado el filtrar algunos datos debido a que al contar con una gran cantidad de litologías y sectores muy distintos entre sí conlleva a una variabilidad constante en los rendimientos del proceso, sumado también a los problemas por parte de los operadores en la recolección de datos debido a un error en la digitación de los códigos/estados y por consiguiente, no debiese ser considerado. De todos modos, para esta discriminación se debe hacer un estudio más acabado y que escapa del alcance previamente definido.

Al momento de analizar los rendimientos operativos promedios por pozo se puede apreciar que estos difieren a los obtenidos como más frecuentes en los histogramas, fenómeno que se explica con que, pese a que a la hora de calcular un promedio ponderado según cantidad de pozos analizados, estos consideran los datos más alejados de la tendencia, provocando normalmente un aumento en el promedio.

Con respecto al rendimiento en la flota de producción se puede apreciar que en las cavidades, más fuertemente evidenciado en California, los pozos asociados a galerías (100 y 200) presentan un rendimiento menor que el resto. Esto se puede explicar ya que los de este tipo corresponden normalmente a pozos de mayor largo, lo que significaría que a medida que se realizan pozos de mayor profundidad en sectores de roca no consolidada, los rendimientos de las perforadoras de producción tenderían a disminuir. En roca, la tendencia de la flota es que los mayores rendimientos ocurren hacia los pozos 50 – 60, 300 y 400. Esto último se entiende para los pozos de borde y roca principalmente ya que al corresponder normalmente a sectores consolidados suele esperarse rendimientos mayores, sin embargo, sorprende la presencia de los pozos de caving, ya que al ser un sector no consolidado se esperaría que presente rendimientos operativos menores. Esto podría deberse principalmente a que la granulometría y distribución del material fragmentado/caving en los sectores consolidados suele ser más favorable para el rendimiento de la perforación o bien, al ser el área técnica de Tronadura el que denomina los pozos según mapeo geológico/geotécnico existente en El Soldado, estos estén desactualizados y estarían actualmente definiendo pozos de roca como caving o viceversa. Para ambos casos se necesita de una mayor información geológica/geotécnica para llegar a resultados más concluyentes.

Con respecto a la flota DTH, se puede apreciar que en roca los pozos de precorte simple o doble (800) presentan un rendimiento mayor que los pozos buffer, principalmente para el modelo SmartRoc D65.

A la hora de analizar los rendimientos operativos promedios de las perforadoras en cada uno de los sectores de la mina, en la flota de producción la perforadora Pit Viper 271 es el equipo que presenta un mayor rendimiento en todos los sectores de la mina, ya sea roca, cavidad o relleno. Esto se debe a que el modelo Pit Viper es reconocido por ser uno de los mejores del mercado, en lo que respecta a las características mecánicas del equipo. Cabe destacar que dentro de las perforadoras modelos DMM3, la 03 presenta rendimientos operativos mayores que la 04. En la flota DTH, el modelo SmartRoc D65 opera con rendimientos muy por encima de la DI600. Dentro de este modelo la perforadora SmartRoc D65 – 15 destaca por sobre la – 14. Este fenómeno donde perforadoras de un mismo modelo presentan rendimientos mejores que otras se debe principalmente a las condiciones mecánicas del equipo, ya que en características son iguales. Es decir, aquellas perforadoras que tengan una mejor mantención y un mayor cuidado por parte del operador a la hora de exponer el equipo, esta presentará mejores rendimientos.

En lo que respecta a las variables que afectan el rendimiento operativo, más en específico los tiempos de repaso, lo importante para mencionar es que el análisis correcto de esta etapa, y por eso la tabla de los metros potenciales presentada en la sección de resultados, es que estos tiempos si bien provocan una disminución del rendimiento operativo, esto se debe a que al repasar un pozo dejas de perforar metros “potenciales” en algún otro disparo. Si bien esta práctica no debería realizarse, pero en condiciones como las que presenta El Soldado en lo que respecta a cavidades, o ante malas prácticas a la hora de perforar y trasladarse por parte del operador, se vuelve necesaria, en especial si se pretende entregar un buen producto como área de perforación y tronadura



al área de carguío y transporte, pensando en el negocio en su totalidad en desmedro del desempeño del área o proceso.

En lo que respecta a la elección de los aceros, se decide por dos series de triconos específicos para la flota de producción, mientras que de un bit para la flota DTH en los distintos sectores de la mina. Esta elección se debe principalmente a la caracterización geológica del yacimiento, por lo que es muy importante contar con esta información actualizada para ir adecuando los triconos a las condiciones variables de la mina. Además, es de vital importancia el lineamiento de la empresa para sus contratos de acero, ya que este puede afectar directamente el rendimiento o bien el costo del proceso.

Con respecto a la definición de las variables de operación óptimas para cada flota de perforación, cabe destacar que al igual que para la elección del tricono, depende de las características de los aceros y de la caracterización geológica del sector, por lo que se recalca la importancia de esta.

Finalmente, y correspondiente al estudio del caso actual de los rendimientos operativos de las perforadoras en El Soldado, se puede apreciar que después de haber implementado las mejoras propuestas por el área, como lo son las mejores prácticas en la secuencia de perforación, la capacitación con un instructor externo y la implementación del Hole Control, después de 3 meses la flota de producción ha aumentado su rendimiento operativo, mientras que la flota DTH la ha disminuido. Este fenómeno en la flota de producción se ve fuertemente evidenciado en los sectores de cavidades, donde vemos que el Hole Control y la capacitación ha logrado disminuir la cantidad de repasos realizados en el sector, y por consiguiente, conseguir un aumento de más de 5 [m/h] por ejemplo en el caso de California.

La flota DTH ha visto un aumento en los rendimientos solamente de Andesita Veta Negra, mientras que en el resto de los sectores ha disminuido. Esto se debe a que principalmente en Fase 3, según sentimiento de los operadores (ya que no se cuenta con la información mineralógica de las diferentes litologías, permitiendo corroborar la información) ha habido un aumento en la dureza de la roca a medida que se profundiza en el rajo, por las variables y formas de operar utilizadas a la fecha, en caso de ser cierto, deberían ser actualizadas y adecuadas a la situación actual y por consiguiente, la dependencia de la caracterización geológica de la mina vuelve a convertirse en un tema preponderante.

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones Generales

El contar con un proceso predecible, y con cada una de sus actividades planificadas, programadas y con los recursos asignados de la manera correcta, tendrá un 30 [%] más de probabilidades de éxito, permitiéndonos así conseguir resultados consistentes y confiables a lo largo del tiempo.

Los rendimientos de las perforadoras, sus variables de operación y la elección de los aceros son dependientes de la dureza de la roca. Por lo que es de vital importancia mantener los datos geológicos del yacimiento actualizados, ya que a medida que va cambiando el yacimiento la perforación debe ir modificando sus estrategias y adecuándose a las nuevas condiciones.

La elección de los aceros está directamente alineada con el objetivo del área de perforación. A la hora de negociar contratos con las diferentes empresas de acero, si el lineamiento de la gerencia es aumentar los rendimientos de la perforación, no conversa con la decisión de solicitar aceros con durabilidad por sobre velocidad. En el común de los casos, el mandante solicita velocidad por sobre la durabilidad del tricono.

La diferencia de los rendimientos en las cavidades y rellenos se deben fundamentalmente a la diferencia en las características del material con el que fueron rellenos. Para poder entender de mejor manera el comportamiento de la perforación en estos sectores se debería mantener un registro de los rellenos utilizados, su granulometría y tipo de material para que posteriormente, cuando la perforación tenga que enfrentarse a estos sectores nuevamente tenga un panorama claro de lo que ocurrirá, y tome las medidas correspondientes y ajuste el proceso a su óptimo.

Los rendimientos de las perforadoras también están directamente relacionados con los estados mecánicos en que se encuentran los equipos, hecho que explica la diferencia entre los diferentes rendimientos para dos de un mismo modelo. Una perforadora que se encuentre en buen estado, capaz de entregar y trabajar a toda su capacidad mecánica siempre presentará mejores rendimientos que aquellos equipos que no, ya que siempre tendrá deficiencias en el Pull Down máximo aplicable, pérdidas de presión en la salida de aire para el barrido del detritus, etc., hechos que son muy relevantes a la hora de alcanzar un buen desempeño del equipo.

## 4.2 Recomendaciones

De acuerdo con el análisis realizado en la sección anterior, se proponen las siguientes recomendaciones:

- Es de vital importancia para el área de perforación hoy en día actualizar toda la información y mapeos geológicos realizado en la mina El Soldado, ya que de esta depende la gran mayoría de decisiones, formas de operar y variables a considerar que influyen directamente en el rendimiento operativo del proceso, como se mencionó. De igual forma como se necesita la actualización de estos datos, se requiere la realización de una mayor cantidad de pruebas y mediciones, por parte de todas las áreas involucradas y en especial del área de geología, con el objetivo de contar con más información y de mejor calidad para que así, sumados a los datos obtenidos en este estudio, poder comprender aún más el desempeño del proceso.
- Con la información recopilada en este estudio, se logra generar una línea base de la que el área puede comenzar a tomar decisiones relevantes a la hora de conseguir mejores resultados. Sin embargo, esta corresponde a la línea base, es más, es de vital importancia ir actualizando esta información con el objetivo de mantener el proceso bajo control y así poco a poco convertirlo en un proceso más estable, con menor variabilidad y más predecible como indica el Modelo de Operaciones.
- Con respecto a las variables de operación para cada una de las flotas de perforación determinada en la sección de resultados, estas corresponden a valores teóricos, por lo que para determinar su valor operativizado es necesario utilizar la metodología Lubinski en terreno, definiendo los valores específicos para cada sector.
- Finalmente, con la línea base generada en este estudio y con su constante actualización posterior al periodo analizado, se recomienda avanzar al siguiente paso correspondiente a la predicción de los rendimientos futuros de perforación. Teniendo una base de datos robusta y confiable como la generada, y con la ayuda de una gran cantidad de herramientas al alcance de cualquier operación, como por ejemplo Machine Learning, es posible y necesario avanzar hacia procesos y operaciones totalmente predecibles.

## 5 BIBLIOGRAFÍA

- (s.f.). Análisis del proceso de perforación. Santiago.
- Anglo American. (2019). Operaciones - El Soldado. Obtenido de Anglo American: <https://chile.angloamerican.com/operaciones/el-soldado.aspx>
- Anglo American. (Noviembre de 2020). Capacitación Modelo de Operaciones AAOM. Santiago.
- Anglo American. (2021). Curso: Anglo American Operating Model Overview. Obtenido de <https://degreed.com/dgusercm30022/index/1#/collection>
- Anglo American. (2021). Integrated Annual Report. Londres.
- Anglo American. (s.f.). Anglo American Chile. Obtenido de Donde Operamos: <https://chile.angloamerican.com/acerca-de-nosotros/donde-operamos.aspx>
- Anglo American. (s.f.). Anglo American Chile. Obtenido de Que hacemos: <https://chile.angloamerican.com/acerca-de-nosotros/que-hacemos.aspx>
- Anglo American. (s.f.). Anglo American Chile. Obtenido de Nuestro Enfoque: <https://chile.angloamerican.com/acerca-de-nosotros/nuestro-enfoque.aspx>
- Anglo American Copper. (2020). Nuevo Modelo de Ttiempos de Anglo American.
- Anglo American Sur S.A. (2019). Estudio Estabilidad de Taludes Fase 3 y Fase 4 Rajo El Soldado. Nogales.
- Anglo American, El Soldado. (2020). Manual de P&T El Soldado. Nogales.
- El Soldado, Anglo American. (Marzo de 2021). Secuencia de Perforación - Mejores Prácticas. Nogales, Chile.
- El Soldado, Anglo American Sur S.A. (2020). Planificación Integrada Mina El Soldado. Nogales.
- Garrido, C. (14 de Marzo de 2021). Tipos de pozos en un diseño de malla.
- Holmgren, C. (s.f.). Antecedentes para un Modelo Genético del Yacimiento El Soldado, V Región de Valparaíso, Chile. Santiago.
- Infanta, J., Robles , W., Fincham, D., & Lermada, E. (2006). Geología y Potencial de Mineralización del Sector Soldado Norte. Posible Proyección Septentrional del Yacimiento El Soldado. Antofagasta.
- McAlear Management Consultant. (2017). AAOM Handbook Spanish.
- Portilla, H. E., Suárez, D. F., & Corzo, R. (2012). Metodología para la Optimización de Parámetros de Perforación a Partir de Propiedades Geomecánicas. Revista Fuentes: El Reventón Energético, 5/11.
- Saric, N., Kreft, C., & Huete, C. (2003). Geología del yacimiento Lo Aguirre, Chile. Santiago.
- Schlumberger. (s.f.). Oilfield Glossary en Español. Obtenido de [https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/terms/r/rotary\\_drilling](https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/terms/r/rotary_drilling)
- TEAS CHILE. (s.f.). Perforación Rotativa y Rotopercutiva - Guía Básica de Usuarios. Santiago.

TEAS CHILE. (s.f.). Prueba de Perforabilidad de Rocas – Método Lubinski. Santiago.

## 6 ANEXOS

### 6.1 Planificación Operacional

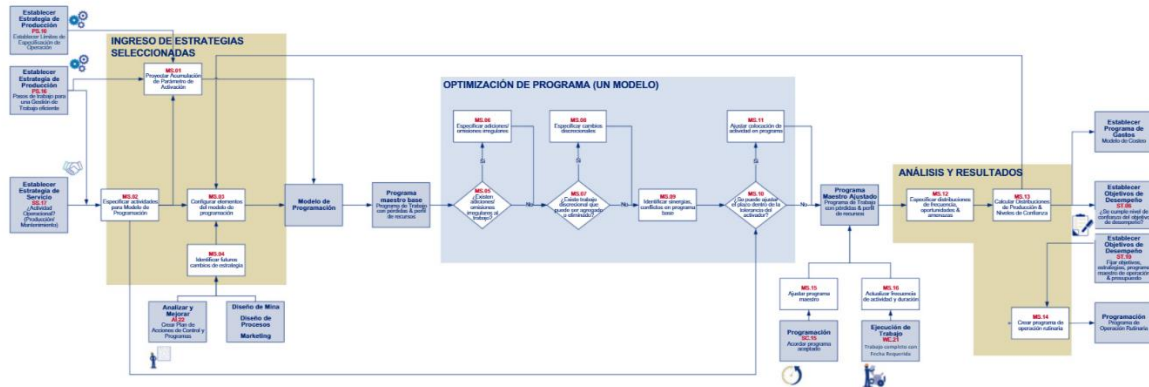


Ilustración 26: Sección Planificación Operacional del Modelo de Operaciones AAOM.  
Fuente: (McAlear Management Consultant, 2017)

### 6.2 Planificar Trabajo

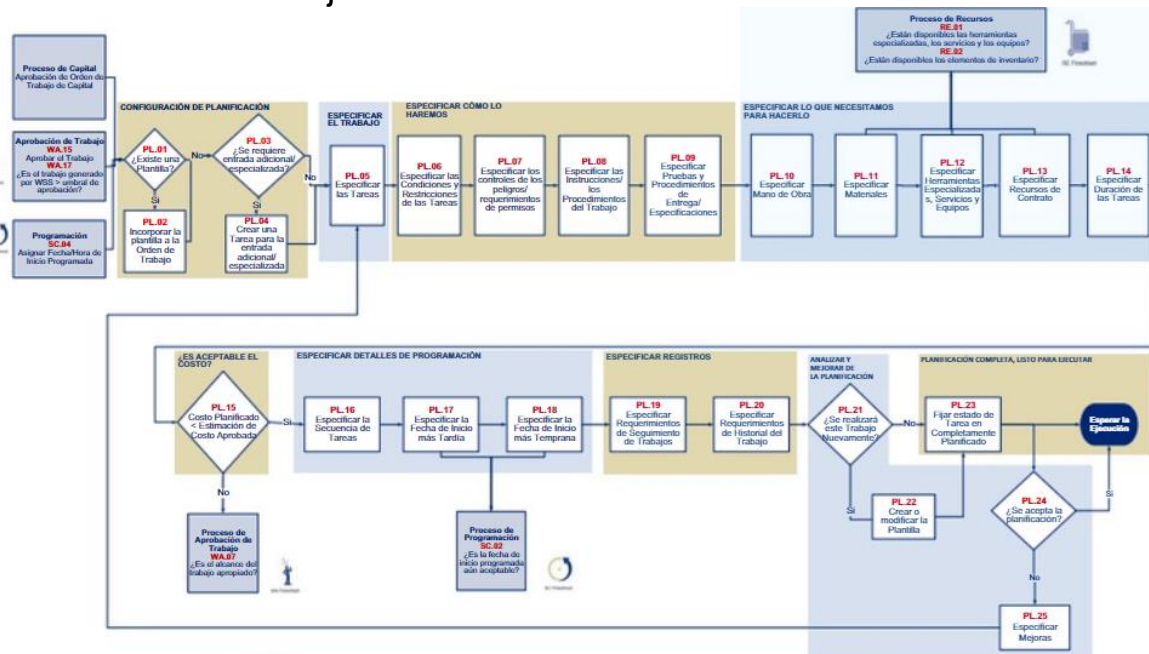


Ilustración 27: Sección Planificar Trabajo del Modelo de Operaciones.  
Fuente: (McAlear Management Consultant, 2017)

### 6.3 Programar Trabajo

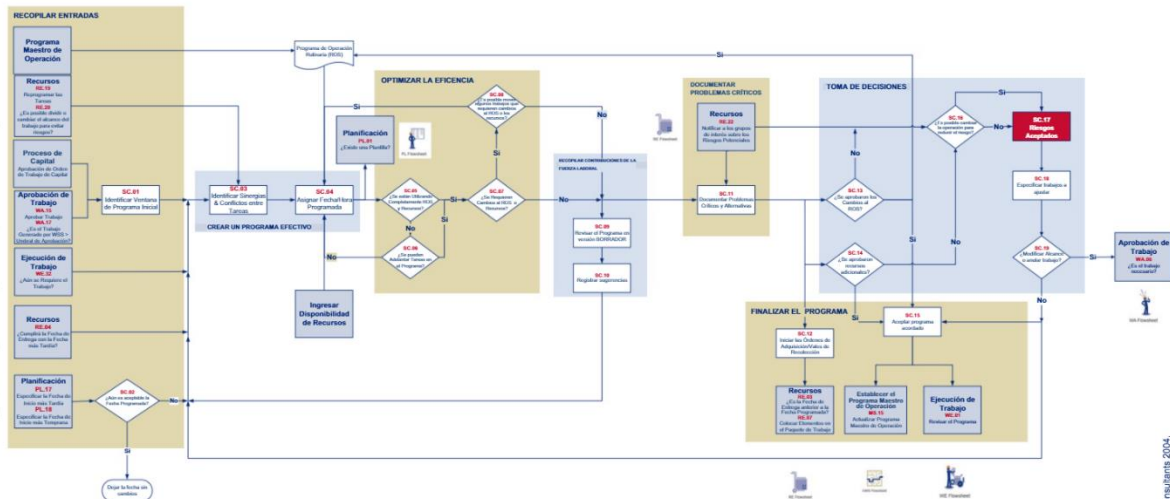


Ilustración 28: Sección Programar Trabajo del Modelo de Operaciones.  
Fuente: (McAlear Management Consultant, 2017)

### 6.4 Asignación de Recursos

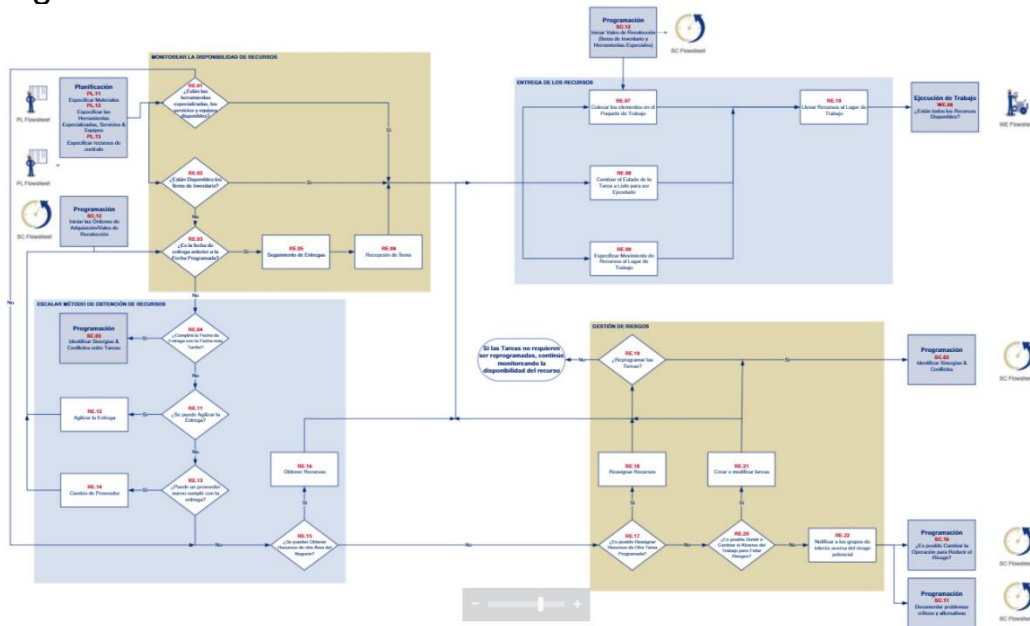


Ilustración 29: Sección Asignación de Recursos del Modelo de Operaciones.  
Fuente: (McAlear Management Consultant, 2017)

Tabla 48: Propiedades de las Unidades Geotécnicas mina El Soldado.

UNIDAD LITOLÓGICA	ROCA INTACTA						MACIZO ROCOSO																					
	$\gamma$	$E_i$	$\nu_i$	UCS	$m_i$	$\sigma_{ci}$	GSI	D	$m_b$	s	a	$\sigma_{cm}$	$\sigma_{cm}$	E	$\nu$	B	G	$\sigma_3 > 0.5 \text{ Mpa}$		$\sigma_3 \leq 0.5 \text{ Mpa}$								
	(MN/m <sup>3</sup> )	(GPa)		(MPa)		(MPa)						(MPa)	(MPa)	(GPa)		(GPa)	(GPa)	c	$\phi$	c	$\phi$							
Andesita (And)	0.0254	63.4	0.28	188	20.0	114	40 a 50	0.0 a 0.6	1.983	0.0011	0.508	20.93	0.065	6.37	0.25	4.29	2.54	1780	48		295	55						
								0.7 a 1.0	0.657	0.0002		11.89	0.034	4.31		2.90	1.72											
								50 a 60	0.0 a 0.6	3.019	0.0039	0.504	26.53	0.146	11.33	0.24	7.20	4.58	2230	51						470	58	
									0.7 a 1.0	1.222	0.0009		16.70	0.087	7.67		4.87	3.10										
									60 a 70	0.0 a 0.6	4.596	0.0133	0.502	33.71	0.330	20.16	0.22	12.11	8.24	3020	53							
										0.7 a 1.0	2.275	0.0044		23.38	0.221	13.64		8.19	5.58									
Veta Negra (VN)	0.0262	54.3	0.23	131	8.3	111	40 a 50	0.0 a 0.6	0.823	0.0011	0.508	13.19	0.152	6.37	0.25	4.29	2.54	1475	40		290	47						
								0.7 a 1.0	0.273	0.0002		7.45	0.081	4.31		2.90	1.72											
								50 a 60	0.0 a 0.6	1.253	0.0039	0.504	17.00	0.343	11.33	0.24	7.20	4.58	2010	43						540	51	
									0.7 a 1.0	0.507	0.0009		10.59	0.204	7.67		4.87	3.10										
									60 a 70	0.0 a 0.6	1.907	0.0133	0.502	22.25	0.773	20.16	0.22	12.11	8.24	3100	44							
										0.7 a 1.0	0.944	0.0044		15.18	0.517	13.64		8.19	5.58									
Sedimento (Sed)	0.0266	65.3	0.26	131	12.1	149	40 a 50	0.0 a 0.6	1.200	0.0110	0.508	21.31	0.140	6.37	0.25	4.29	2.54	1805	45		340	53						
								0.7 a 1.0	0.397	0.0002		12.08	0.074	4.31		2.90	1.72											
								50 a 60	0.0 a 0.6	1.827	0.0039	0.504	27.23	0.315	11.33	0.24	7.20	4.58	2445	48						620	56	
									0.7 a 1.0	0.739	0.0009		17.06	0.188	7.67		4.87	3.10										
									60 a 70	0.0 a 0.6	2.780	0.0133	0.502	35.10	0.712	20.16	0.22	12.11	8.24	3605	50							
										0.7 a 1.0	1.376	0.0040		24.15	0.476	13.64		8.19	5.58									
Toba (Tb)	0.0268	65.1	0.29	105	31.3	109	40 a 50	0.0 a 0.6	3.104	0.0011	0.508	25.05	0.040	6.37	0.25	4.29	2.54	1960	51		305	58						
								0.7 a 1.0	1.028	0.0002		14.25	0.021	4.31		2.90	1.72											
								50 a 60	0.0 a 0.6	4.725	0.0039	0.504	31.58	0.089	11.33	0.24	7.20	4.58	2375	54						445	58	
									0.7 a 1.0	1.913	0.0090		19.93	0.053	7.67		4.87	3.10										
									60 a 70	0.0 a 0.6	7.192	0.0133	0.502	39.79	0.201	20.16	0.22	12.11	8.24	2975	57						745	56
										0.7 a 1.0	3.560	0.0044		27.72	0.135	13.64		8.19	5.58									
Traquita (Tq)	0.0250	64.3	0.31	181	22.1	178	40 a 50	0.0 a 0.6	2.192	0.0011	0.508	34.36	0.091	6.37	0.25	4.29	2.54	2130	52									
								0.7 a 1.0	0.726	0.0002		19.53	0.049	4.31		2.90	1.72											
								50 a 60	0.0 a 0.6	3.336	0.0039	0.504	43.49	0.206	11.33	0.24	7.20	4.58	2730	55						625	58	
									0.7 a 1.0	1.351	0.0009		27.39	0.123	7.67		4.87	3.10										
									60 a 70	0.0 a 0.6	5.078	0.0133	0.502	55.14	0.466	20.16	0.22	12.11	8.24	3825	57						1220	58
										0.7 a 1.0	2.513	0.0044		38.28	0.312	13.64		8.19	5.58									

$\gamma$  : Peso unitario.  
 GSI : Índice de resistencia geológica del macizo rocoso (rango típico).  
 s : Constante que dependen de las características del macizo.  
 $\sigma_{cm}$  : Resistencia en tracción del macizo.  
 B : Módulo de deformación volumétrica del macizo.  
 C : Cohesión del macizo rocoso.  
 $m_i$  : Parámetro de la roca intacta (Criterio de Hoek-Brown).  
 D : Índice de calidad de tronadura (Criterio de Hoek-Brown (2002)).  
 a : Constante que dependen de las características del macizo.  
 E : Módulo de deformabilidad del macizo.  
 G : Módulo de Corte del macizo.  
 $\phi$  : Ángulo de fricción del macizo rocoso.  
 $\sigma_{ci}$  : Resistencia en compresión uniaxial de la roca intacta.  
 $m_b$  : Valor de la constante m de Hoek-Brown para el macizo.  
 $\sigma_{cm}$  : Resistencia en tracción del macizo.  
 $\nu$  : Razón de Poisson del macizo.  
 $\sigma_3$  : Esfuerzo de confinamiento.

Fuente: (Anglo American Sur S.A, 2019)

## 6.5 Recopilación y Estructuración de la Información

MineOPS - Estados

Fecha Inicial	07/22/21	Fecha Final	07/22/21	Cargar						
Turno Inicial	a	Turno Final	a							
Equipo	Tiempo	Código	Tiempo Final	Duración	Ubicación	Región	Comentario	¿Por Despachador?	Estado	Categoría
PERD6515	2021/07/22 08:00:00	Demora 4000 Cambio de Turno	2021/07/22 08:00:43	0.72	F4-1085-8058	FILO4			Demora	Perdida Interna (L200)
CAM83034	2021/07/22 08:00:00	Demora 4000 Cambio de Turno	2021/07/22 08:01:34	1.57	PORT-1	FILO2 HZ			Demora	Perdida Interna (L200)
CAM83016	2021/07/22 08:00:00	Demora 4000 Cambio de Turno	2021/07/22 08:01:37	1.62	F3-06	FILO3 HZ			Demora	Perdida Interna (L200)
PALPC05	2021/07/22 08:00:00	Demora 4182 Revision Pre-Operacion	2021/07/22 08:02:42	2.70	1100-REM-F4-S	FILO4			Demora	Perdida Interna (L200)
CARW50011	2021/07/22 08:00:00	Demora 4000 Cambio de Turno	2021/07/22 08:02:45	2.75	F4-1100-602-S	FILO4			Demora	Perdida Interna (L200)
CAM83031	2021/07/22 08:00:00	Demora 4000 Cambio de Turno	2021/07/22 08:03:01	3.02	PORT-1	FILO2 HZ			Demora	Perdida Interna (L200)
CAM83035	2021/07/22 08:00:00	Demora 4000 Cambio de Turno	2021/07/22 08:03:17	3.28	F4-00	FILO2			Demora	Perdida Interna (L200)
CARW50013	2021/07/22 08:00:00	Demora 4000 Cambio de Turno	2021/07/22 08:03:25	3.42	F3-14	FILO3			Demora	Perdida Interna (L200)
CAM83022	2021/07/22 08:00:00	Demora 4000 Cambio de Turno	2021/07/22 08:03:52	3.87	PORT-1	FILO2 HZ			Demora	Perdida Interna (L200)
CAM83023	2021/07/22 08:00:00	Demora 4000 Cambio de Turno	2021/07/22 08:03:54	3.90	F3-06	FILO3 HZ			Demora	Perdida Interna (L200)
CAM83012	2021/07/22 08:00:00	Reserva 4400 Falta de Operador	2021/07/22 08:03:59	3.98	PORT-1	FILO2 HZ			Reserva	Perdida Interna (L200)
CAM83016	2021/07/22 08:01:37	Demora 4181 Inspeccion general	2021/07/22 08:04:39	3.03	F3-06	FILO3 HZ			Demora	Perdida Interna (L200)
CAM83036	2021/07/22 08:00:00	Reserva 4320 Entregado a Operacion	2021/07/22 08:04:43	4.72	BOX SAN JOSE	FILO3		true	Reserva	Perdida Interna (L200)
PERD7511	2021/07/22 08:00:00	Reserva 4400 Falta de Operador	2021/07/22 08:04:46	4.77	F4-1085-811V1	FILO4			Reserva	Perdida Interna (L200)
PERDMM03	2021/07/22 08:00:00	Demora 4000 Cambio de Turno	2021/07/22 08:04:50	4.83	F3-0740-808	FILO3			Demora	Perdida Interna (L200)
PALPC03	2021/07/22 08:00:00	Demora 4182 Revision Pre-Operacion	2021/07/22 08:05:23	5.38	F3-0740-809-S	FILO3			Demora	Perdida Interna (L200)
PERD1608	2021/07/22 08:00:00	Reserva 4400 Falta de Operador	2021/07/22 08:05:26	5.43	F3-0740-611PCS	FILO3			Reserva	Perdida Interna (L200)
CAM83015	2021/07/22 08:00:00	Demora 4000 Cambio de Turno	2021/07/22 08:05:40	5.67	F3-09	FILO3			Demora	Perdida Interna (L200)
CAM83013	2021/07/22 08:00:00	Demora 4000 Cambio de Turno	2021/07/22 08:05:58	5.97	F3-13	FILO3			Demora	Perdida Interna (L200)
CAM83030	2021/07/22 08:00:00	Demora 4000 Cambio de Turno	2021/07/22 08:05:59	5.98	F4-00	FILO2			Demora	Perdida Interna (L200)
L185006	2021/07/22 08:00:00	Demora 4182 Revision Pre-Operacion	2021/07/22 08:06:03	6.05	SS-LQ-AB	CMP		true	Demora	Perdida Interna (L200)

Ilustración 30: Tabla de estados programa JMineOps.



MineOPS - Rendimiento de perforadoras

Archivo Datos

Fecha Inicial: 07/22/21 Fecha Final: 07/22/21 Cargar

Turno Inicial: a Turno Final: a

Todos Pozo

Tiempo Inicio	Tiempo Final	Perforadora	ID del Punto	Malla	Pozo	Plan coord. Este	Plan coord. Norte	Elevación	Coord. Este Real	Coord. Norte Real	Elevación Real	pointdistance	Mts. Plan	Prof
2021/07/22 08:45:09	2021/07/22 09:14:57	PERD6515	356681	F4-1085-8058	508	894.85	-919.97	1083.50	890.78	-914.31	1118.31	6.98	16.00	17.00
2021/07/22 16:22:40	2021/07/22 16:57:25	PERD6515	356728	F4-1085-811V1	6	828.95	-930.44	1083.50	833.07	-928.22	1117.15	4.68	16.00	18.00
2021/07/22 08:03:08	2021/07/22 08:22:11	PERD6515	356676	F4-1085-8058	503	895.16	-914.98	1083.50	888.41	-912.06	1118.41	7.36	16.00	5.00
2021/07/22 12:23:04	2021/07/22 12:51:09	PERD6515	356675	F4-1085-8058	502	899.05	-917.22	1083.50	896.44	-915.47	1118.21	3.14	16.00	17.00

Limpia Filtros Actualizar

Ilustración 31: Tabla de Rendimiento programa JMineOps.

Descripción	Código	Estado	Categoría	Nuevo Código	Estado	Nombre	Categoría
OPERATIVO - RADAR	115	Operativo	Efectivo	1000	Operativo	Operativo	Producción primaria
PERFORACION PRIMARIA	110	Operativo	Efectivo	1202	Operativo	Perforando	Producción primaria
PERFORACION SECUNDARIA	111	Operativo	Efectivo	1202	Operativo	Perforando	Producción primaria
TRANSPORTANDO	114	Operativo	Efectivo	1000	Operativo	Operativo	Producción primaria
ARMAR/DESARMAR COLUMNA	202	Demora	Op. No Productivo	1204	Operativo	Remover barra	Producción primaria
ENTRENAMIENTO/PRUEBA NO PROD.	205	Demora	Op. No Productivo	3140	Demora	Entrenamiento en cabina	Pérdida de producción
ESPERA DE INSTRUCCIONES	206	Demora	Op. No Productivo	3044	Demora	Espera de instrucciones	Pérdida de producción
INSERTAR/ACOPLAR BARRA	208	Demora	Op. No Productivo	1203	Operativo	Agregar barra	Producción primaria
PISTA BLOQUEADA	212	Demora	Op. No Productivo	3080	Demora	Acceso bloqueado menor	Pérdida de producción
RELLENO DE AGUA	213	Demora	Op. No Productivo	4141	Demora	Relleno de agua	Pérdida Interna
RELLENO DE PETROLEO	214	Demora	Op. No Productivo	4080	Demora	Relleno de combustible	Pérdida Interna
REPASO POZO	215	Demora	Op. No Productivo	1206	Operativo	Repaso de pozo	Producción primaria
T ENTRE POZOS - TORRE ABAJO	222	Demora	Op. No Productivo	1200	Operativo	Traslado entre pozos	Producción primaria
T ENTRE POZOS - TORRE ARRIBA	218	Demora	Op. No Productivo	1200	Operativo	Traslado entre pozos	Producción primaria
TRASLADO A/DESDE MANTENCION	216	Demora	Op. No Productivo	3003	Demora	Traslado para servicio	Pérdida de producción
TRASLADO CORTO	217	Demora	Op. No Productivo	3002	Demora	Traslado corto	Pérdida de producción
TRASLADO LARGO	219	Demora	Op. No Productivo	3001	Demora	Traslado largo	Pérdida de producción
TRASLADO POR TRONADURA	220	Demora	Op. No Productivo	4121	Demora	Traslado Pre-tronadura	Pérdida de producción
ESPERA EQUIPO SERVICIO	305	Demora	Demoras	4540	Reserva	Reserva de otro equipo	Pérdida Interna
MOVIMIENTO DE CABLES	312	Demora	Demoras	4240	Reserva	Movimiento de cables	Pérdida Interna
REVISION EQUIPO POR OPERADOR	316	Demora	Demoras	4182	Demora	Revisión Pre-operación	Pérdida Interna
W.C.	319	Demora	Demoras	4020	Demora	WC	Pérdida Interna

Ilustración 32: Cambio de códigos al nuevo modelo de tiempos Anglo American 2021.

## 6.6 Polígonos por Fase y Banco

Tabla 49: Detalle de bancos y polígonos seleccionados en el estudio.

Polígonos seleccionados							
Fase	Banco	Polígono					
3	755	602	604	606	607	608	
		609	619	753 PCD	802	801	
		803	805	806	807	808	
		810	815				
	770	601	602 PCS	603	604 PCS	604	
		605	606PCS	607	608 PCS	608	
		609 PCS	609	610	611	615 PCS	
		618	621	622	623	751PCD	
		753 PCD	801	803	804	806	
		808	809	811	813	815	
		819	820	821	825		
	785	601	602	603	604	605	
		606 PCS	607PCS	607B	608	609	
		610	611	612	613	614	
		801	801A	801B	803	804	
		805	805B	806	807	808	
		809	810	811	812		
	800	601 PCS	603	604	605	607	
		608	610	611	613	614	
		615	763 PCD	802	803	806	
		808	810	811	812	814	
		815	817	819	820		
	815	606	607	608	613	614	
		615	812				
	845	611 PCS	616 PCS				
	4	1100	603	754 PCD	757 PCD	758 PCD	760 PCD
			805	806	807	808	809
		1115	601	602	607	612	803
802			805	806	812		
1130		602 PCS	603 PCS	607	619	701 PCD	
		702 PCD	706 PCD	709 PCD	712 PCD	805	
		807	808	811			
1145		601	605	609	611 PCS	613	
		614	616	617	803	805	
		806	808	810			
1160		608	610	615 PCS			
1175		602 PCS	608	610 PCS	810		
1190		607 PCS	611				

## 6.7 Selección de polígonos caso base

Tabla 50: Disparos seleccionados por banco en Riodacita.

Disparos seleccionados Riodacita					
Banco	Disparo				
770	602 PCS	603	610	801	808
	821	825			
785	611	801	810		
800	601 PCS	603	613	614	763 PCD
	808	817	820		
815	614	615	812		
845	611 PCS	616 PCS			

Tabla 51: Disparos seleccionados por banco en Andesita Lo Prado.

Disparos seleccionados Andesita Lo Prado					
Banco	Disparo				
755	801				
770	605	606PCS	608 PCS	609 PCS	615 PCS
	618	623	751PCD	753 PCD	811
	815	819	820		
785	602	605	606 PCS	607PCS	607B
	613	801B	803	806	809
800	605	608	610	615	802
	812	815			
815	607	608			

Tabla 52: Disparos seleccionados por banco en Andesita Veta Negra.

Disparos seleccionados Andesita Veta Negra					
Banco	Disparo				
1115	601	802			
1130	602 PCS	603 PCS	607	701 PCD	702 PCD
	706 PCD	709 PCD	712 PCD	805	807
	808				
1145	601	605	609	611 PCS	613
	614	803	805	806	808
	810				
1160	608	610	615 PCS		
1175	602 PCS	608	610 PCS	810	
1190	607 PCS	611			

Tabla 53: Disparos seleccionados por banco en Santa Clara.

Disparos seleccionados Santa Clara					
Banco	Disparo				
770	603	604	605	809	
785	609	610	612	614	812
800	611	808	819		
815	614	615			

Tabla 54: Disparos seleccionados por banco en California.

Disparos seleccionados California					
Banco	Disparo				
770	601	604 PCS	607	608	609
	804	806	813		
785	601	603	604	608	801 <sup>a</sup>
	804	807	808	809	811
800	603	604	605	607	803
	806	810	811		
815	606				

Tabla 55: Disparos seleccionados por banco en relleno.

Disparos seleccionados Relleno					
Banco	Disparo				
770	611	803	825		
785	805	805B	810		
800	814	817			
815	613				

## 6.8 Selección de polígonos caso actual

Tabla 56: Disparos seleccionados por banco en Riodacita.

Disparos seleccionados Riodacita					
Banco	Disparo				
755	602	608	609	753 PCD	802
	805	808			
770	621	801			

Tabla 57: Disparos seleccionados por banco en Andesita Lo Prado.

Disparos seleccionados Andesita Lo Prado					
Banco	Disparo				
755	805	806	807		
770	622				

Tabla 58: Disparos seleccionados por banco en Andesita Veta Negra.

Disparos seleccionados Andesita Veta Negra					
Banco	Disparo				
1100	603	754 PCD	757 PCD	758 PCD	760 PCD
	809				
1115	602	607	612	803	805
	812				
1130	619	811			
1145	616	617			

Tabla 59: Disparos seleccionados por banco en Santa Clara.

Disparos seleccionados Santa Clara					
Banco	Disparo				
755	606				

Tabla 60: Disparos seleccionados por banco en California.

Disparos seleccionados California					
Banco	Disparo				
755	610	611	811	812	

Tabla 61: Disparos seleccionados por banco en Valdivia.

Disparos seleccionados Valdivia					
Banco	Disparo				
1100	805	806	807	808	
1115	806				

Tabla 62: Disparos seleccionados por banco en relleno.

Disparos seleccionados Relleno					
Banco	Disparo				
755	604	607	619	803	810
	815				

## 6.9 Distribución de rendimientos por pozo perforadora modelo DMM3-03

### 6.9.1 Riodacita

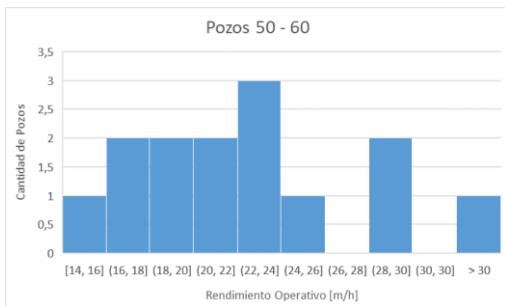


Gráfico 25: Rendimiento operativo de pozos 50 - 60 en Riodacita.

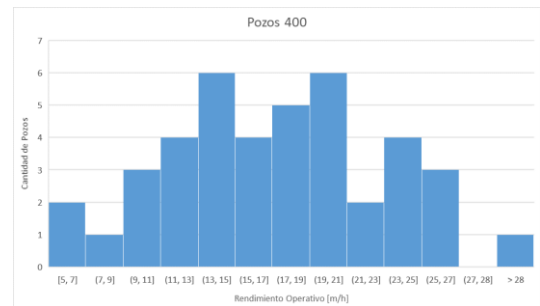


Gráfico 26: Rendimiento operativo de pozos 400 en Riodacita.

### 6.9.2 Andesita Lo Prado

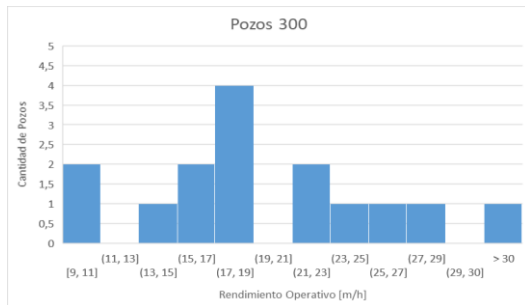


Gráfico 27: Rendimiento operativo de pozos 300 en Andesita Lo Prado.

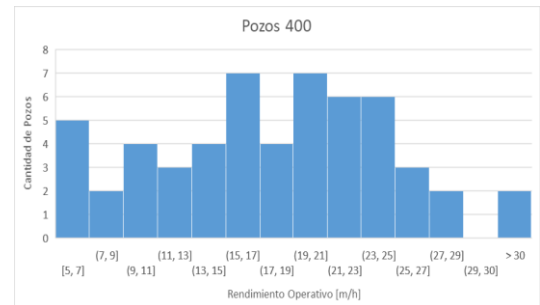


Gráfico 28: Rendimiento operativo de pozos 400 en Andesita Lo Prado.

### 6.9.3 Andesita Veta Negra

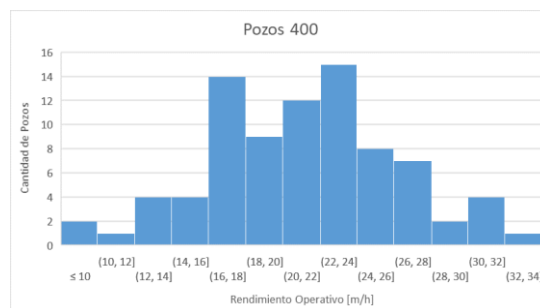


Gráfico 29: Rendimiento operativo de pozos 400 en Andesita Veta Negra.

### 6.9.4 Santa Clara

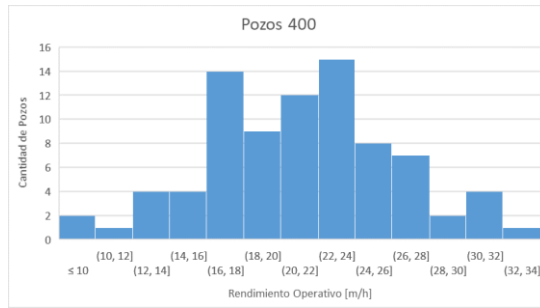


Gráfico 30: Rendimiento operativo de pozos 400 en Santa Clara.

## 6.10 Distribución de rendimientos por pozo perforadora modelo DMM3-04

### 6.10.1 Riodacita

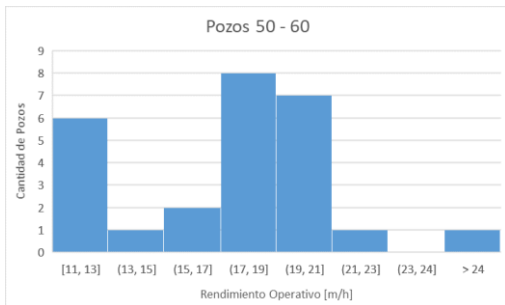


Gráfico 31: Rendimiento operativo de pozos 50 - 60 en Riodacita.

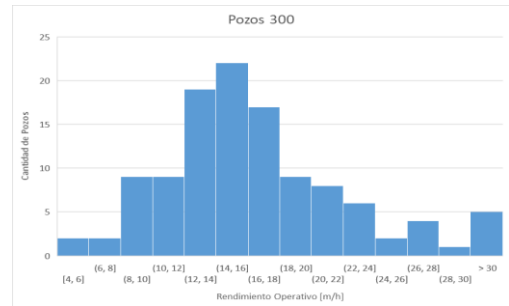


Gráfico 33: Rendimiento operativo de pozos 300 en Riodacita.

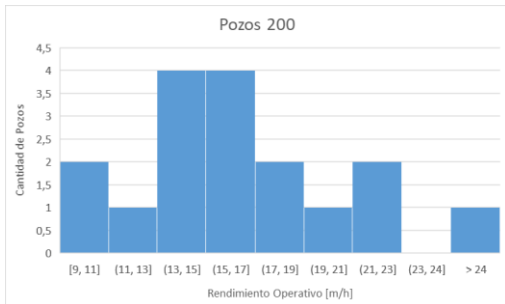


Gráfico 32: Rendimiento operativo de pozos 200 en Riodacita.

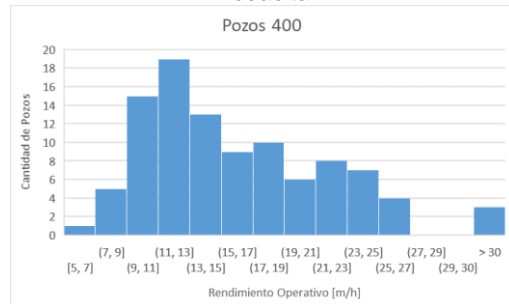


Gráfico 34: Rendimiento operativo de pozos 400 en Riodacita.

### 6.10.2 Andesita Lo Prado

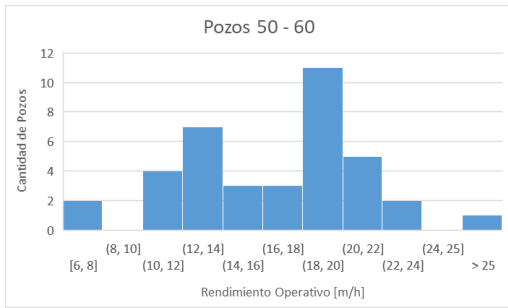


Gráfico 35: Rendimiento operativo de pozos 50 - 60 en Andesita Lo Prado.

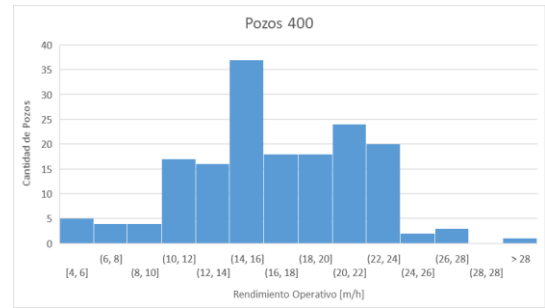


Gráfico 37: Rendimiento operativo de pozos 400 en Andesita Lo Prado.

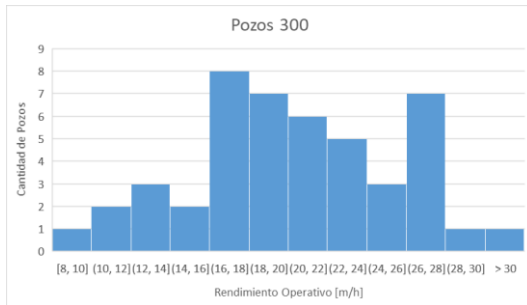


Gráfico 36: Rendimiento operativo de pozos 300 en Andesita Lo Prado.

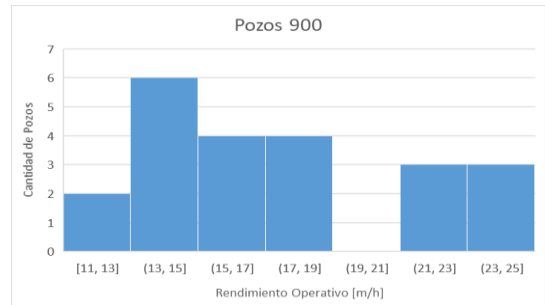


Gráfico 38: Rendimiento operativo de pozos 900 en Andesita Lo Prado.

### 6.10.3 Relleno

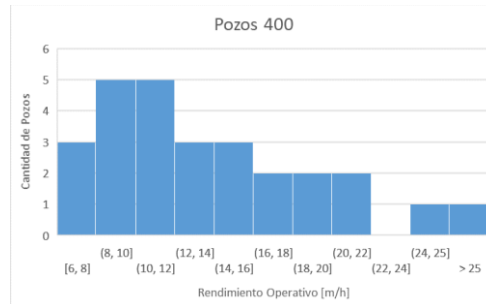


Gráfico 39: Rendimiento operativo de pozos 400 en relleno.

### 6.10.4 Santa Clara

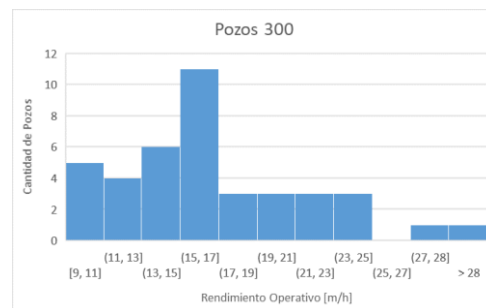


Gráfico 40: Rendimiento operativo de pozos 300 en Santa Clara.



### 6.10.5 California

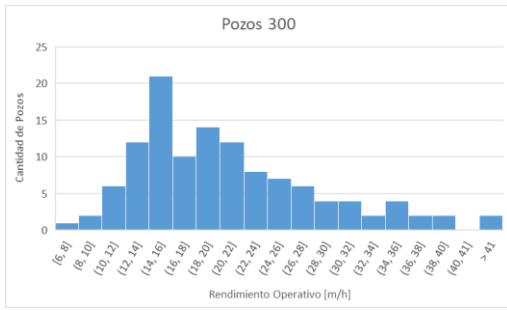


Gráfico 41: Rendimiento operativo de pozos 300 en California.

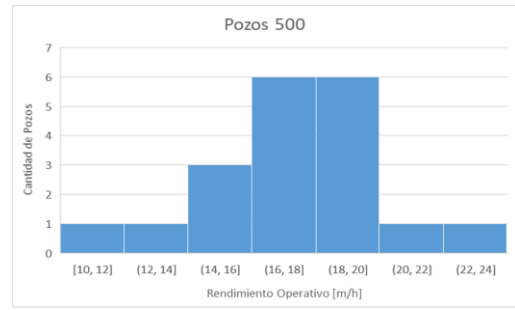


Gráfico 42: Rendimiento operativo de pozos 500 en California.

## 6.11 Distribución de rendimientos por pozo perforadora modelo D75KS – 11

### 6.11.1 Riodacita

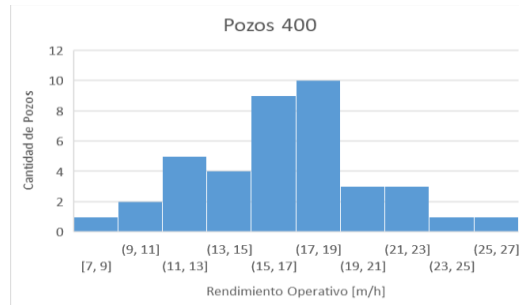


Gráfico 43: Rendimiento operativo de pozos 400 en Riodacita.

### 6.11.2 Andesita Lo Prado

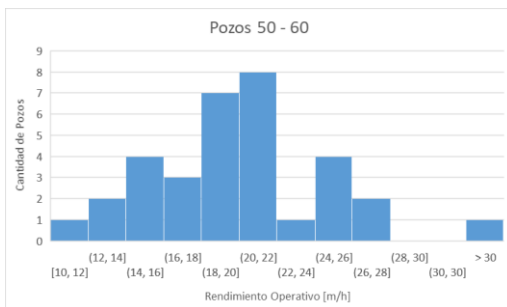


Gráfico 44: Rendimiento operativo de pozos 50 - 60 en Andesita Lo Prado.

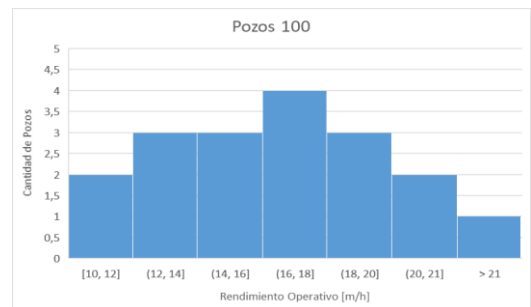


Gráfico 45: Rendimiento operativo de pozos 100 en Andesita Lo Prado.

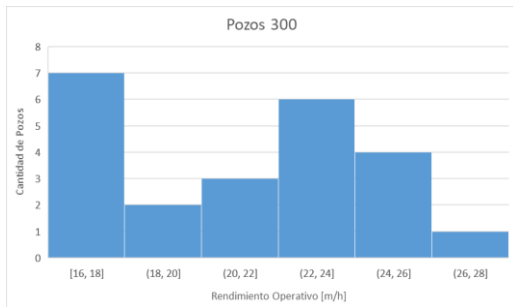


Gráfico 46: Rendimiento operativo de pozos 300 en Andesita Lo Prado.

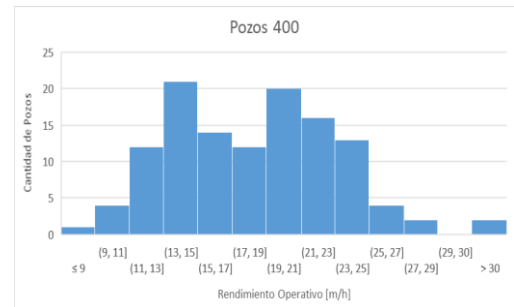


Gráfico 47: Rendimiento operativo de pozos 400 en Andesita Lo Prado.

### 6.11.3 Santa Clara

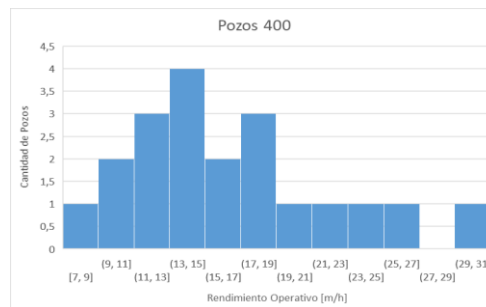


Gráfico 48: Rendimiento operativo de pozos 400 en Santa Clara.

### 6.11.4 California

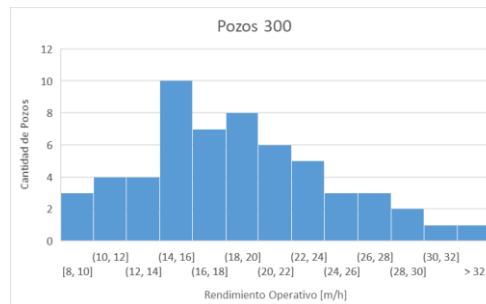


Gráfico 49: Rendimiento operativo de pozos 300 en California.

## 6.12 Distribución de rendimientos por pozo perforadora modelo D75KS – 12

### 6.12.1 Riodacita

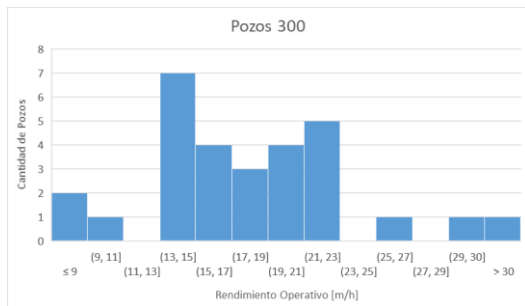


Gráfico 50: Rendimiento operativo de pozos 300 en Riodacita.

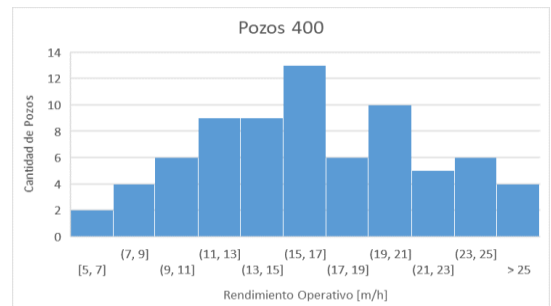


Gráfico 51: Rendimiento operativo de pozos 400 en Riodacita.

### 6.12.2 Andesita Lo Prado

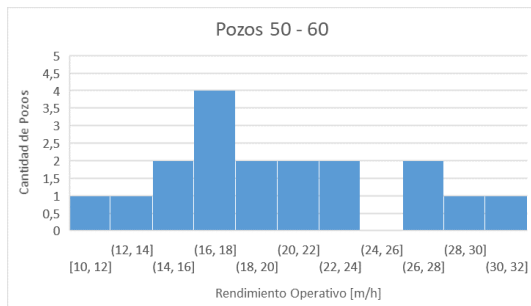


Gráfico 52: Rendimiento operativo de pozos 50 - 60 en Andesita Lo Prado.

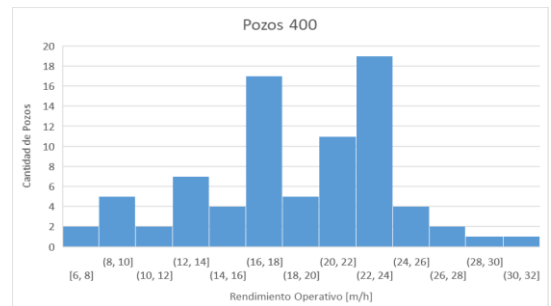


Gráfico 53: Rendimiento operativo de pozos 400 en Andesita Lo Prado.

### 6.12.3 Andesita Veta Negra

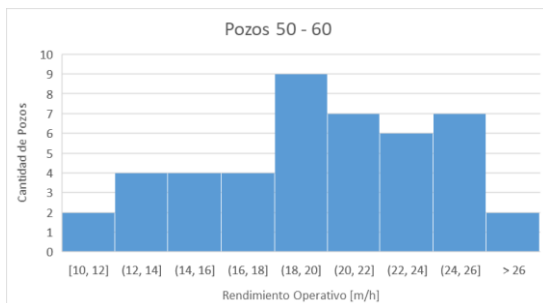


Gráfico 54: Rendimiento operativo de pozos 50 - 60 en Andesita Veta Negra.

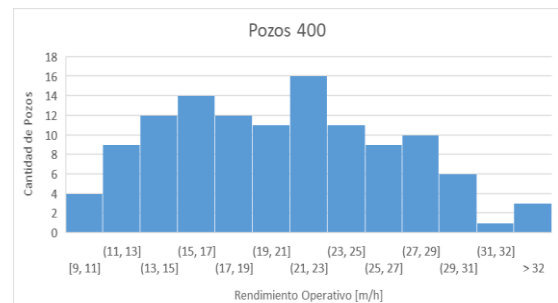


Gráfico 55: Rendimiento operativo de pozos 400 en Andesita Veta Negra.

### 6.12.4 Relleno

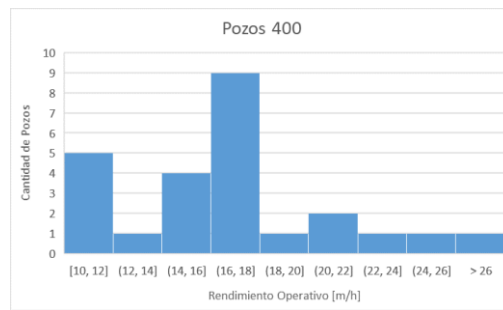


Gráfico 56: Rendimiento operativo de pozos 400 en relleno.

### 6.12.5 California

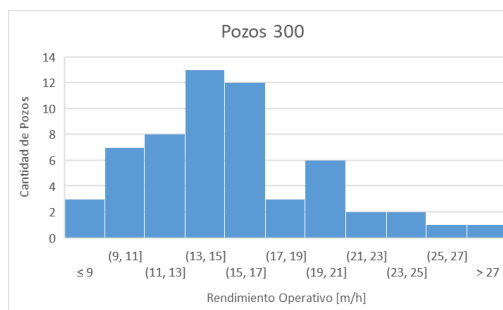


Gráfico 57: Rendimiento operativo de pozos 300 en California.

## 6.13 Distribución de rendimientos por pozo perforadora modelo SmartRoc D65 – 14

### 6.13.1 Riodacita

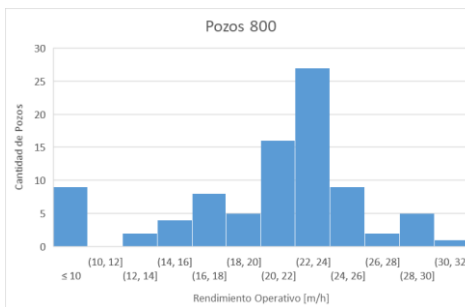


Gráfico 58: Rendimiento Operativo de pozos 800 en Riodacita.

### 6.13.2 Andesita Lo Prado

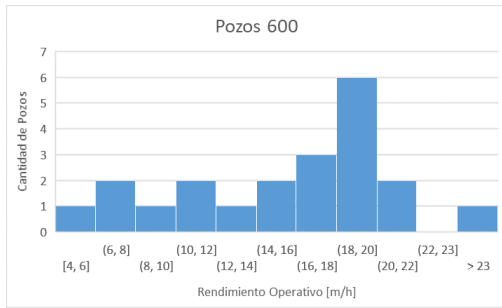


Gráfico 59: Rendimiento operativo de pozos 600 en Andesita Lo Prado.

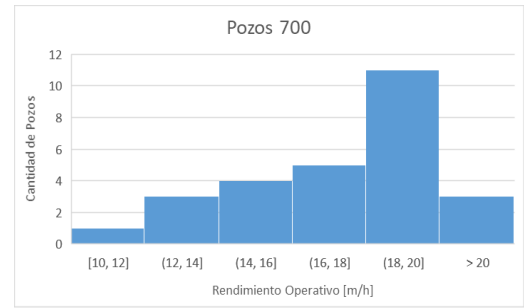


Gráfico 60: Rendimiento operativo de pozos 700 en Andesita Lo Prado.



Gráfico 61: Rendimiento operativo de pozos 800 en Andesita Lo Prado.

### 6.13.3 Andesita Veta Negra

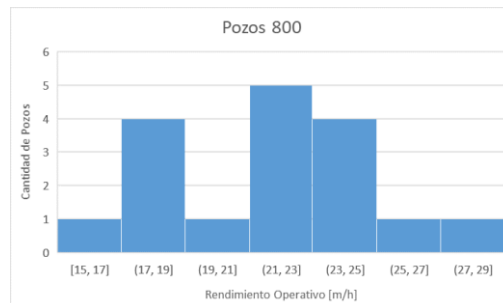


Gráfico 62: Rendimiento operativo de pozos 800 en Andesita Veta Negra.

## 6.14 Distribución de rendimientos por pozo perforadora modelo SmartRoc D65 – 15

### 6.14.1 Andesita Lo Prado

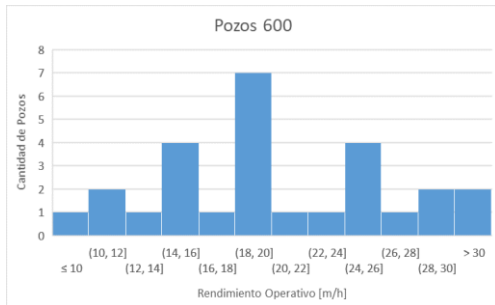


Gráfico 63: Rendimiento operativo de pozos 600 en Andesita Lo Prado.

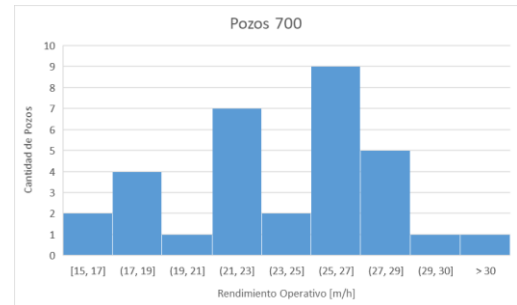


Gráfico 64: Rendimiento operativo de pozos 700 en Andesita Lo Prado.

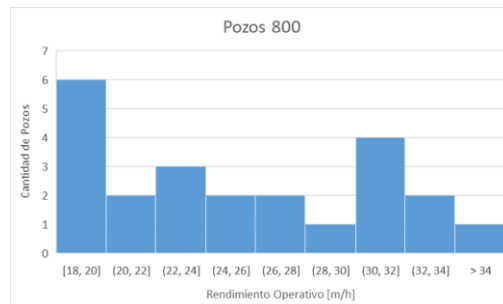


Gráfico 65: Rendimiento operativo de pozos 800 en Andesita Lo Prado.

### 6.14.2 Andesita Veta Negra

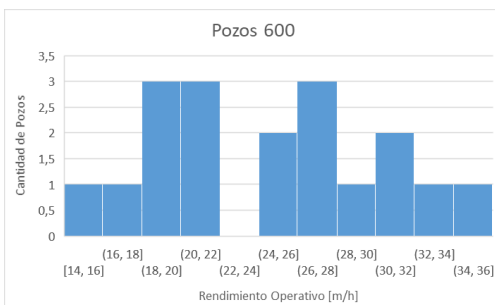


Gráfico 66: Rendimiento operativo de pozos 600 en Andesita Veta Negra.

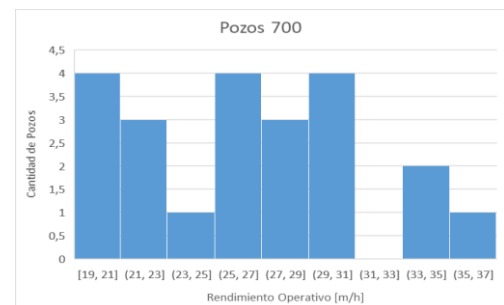


Gráfico 67: Rendimiento operativo de pozos 700 en Andesita Veta Negra.

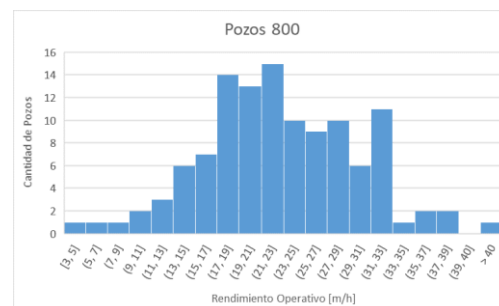


Gráfico 68: Rendimiento operativo de pozos 800 en Andesita Veta Negra.

## 6.15 Rendimientos operativos promedios por pozos para cada perforadora

Tabla 63: Rendimientos operativos promedios por pozo/litología/cavidad/sector DMM3 - 03.

Rendimientos promedio por pozo						
Pozo	Roca			Relleno	Cavidad	
	Riodacita	And. Lo Prado	And. Veta Negra		Santa Clara	California
1000	22,4					
900	14,9	19,3	21,6		19,4	20,1
800						
700						
600						
500						
400	16,6	19,5	21,2	17,1	14,1	21,8
300	17,8	19,8		22,2		20,3
200	19,5	16,7		22,1	15,8	16,4
100	20,4	14,6			17,0	15,3
50-60	24,2	14,9	21,5	13,7	20,0	20,3
Aux						

Tabla 64: Rendimientos operativos promedios por pozo/litología/cavidad/sector DMM3 - 04.

Rendimientos promedio por pozo						
Pozo	Roca			Relleno	Cavidad	
	Riodacita	And. Lo Prado	And. Veta Negra		Santa Clara	California
1000		18,0		18,7		
900	24,8	17,7		15,3		24,4
800						
700						
600						
500	19,7			12,2		17,4
400	15,6	15,9		13,6	13,5	
300	16,6	20,6		16,5	16,6	20,1
200	16,7	16,3		14,4	12,4	17,3
100	16,2	20,8		19,1	14,2	15,5
50-60	16,8	16,4		14,7		18,0
Aux						

Tabla 65: Rendimientos operativos promedios por pozo/litología/cavidad/sector D75KS - 11.

Rendimientos promedio por pozo						
Pozo	Roca			Relleno	Cavidad	
	Riodacita	And. Lo Prado	And. Veta Negra		Santa Clara	California
1000						
900	16,1	15,1		16,5	17,7	15,3
800						
700						
600						
500						
400	16,4	17,9		12,7	16,3	19,2
300	13,5	21,1			13,0	19,0
200	14,1	14,1		13,2	15,2	14,3
100	14,6	16,6		13,4	15,3	
50-60	15,0	19,6				22,0
Aux						

Tabla 66: Rendimientos operativos promedios por pozo/litología/cavidad/sector D75KS - 12.

Rendimientos promedio por pozo						
Pozo	Roca			Relleno	Cavidad	
	Riodacita	And. Lo Prado	And. Veta Negra		Santa Clara	California
1000						
900	16,7	16,3	17,8		17,3	24,5
800						
700						
600						
500		10,9				14,0
400	16,5	18,3	21,7	17,3		20,4
300	16,7	19,6		16,5	9,7	15,4
200	15,3	17,9		4,2	16,1	
100	14,8				17,2	17,2
50-60	17,0	21,1	19,7	19,2		21,2
Aux	7,9					



Tabla 67: Rendimientos operativos promedios por pozo/litología/cavidad/sector DI600-07.

Rendimientos promedio por pozo						
Pozo	Roca			Relleno	Cavidad	
	Riodacita	And. Lo Prado	And. Veta Negra		Santa Clara	California
1000						
900						
800	19,9					
700	20,1	16,5		17,9		
600		16,5				
500						
400						
300						
200						
100						
50-60						
Aux	19,4					19,4

Tabla 68: Rendimientos operativos promedios por pozo/litología/cavidad/sector SR D65 - 14.

Rendimientos promedio por pozo						
Pozo	Roca			Relleno	Cavidad	
	Riodacita	And. Lo Prado	And. Veta Negra		Santa Clara	California
1000	14,7	12,6			21,4	
900						
800	20,0	20,9	21,7		17,0	24,2
700	16,4	17,2	16,4			29,1
600	15,8	16,4	17,8	13,6		26,4
500						
400						
300						
200	17,6					
100					14,3	
50-60						
Aux	12,9	13,8				18,3

Tabla 69: Rendimientos operativos promedios por pozo/litología/cavidad/sector SR D65 - 15.

Rendimientos promedio por pozo						
Pozo	Roca			Relleno	Cavidad	
	Riodacita	And. Lo Prado	And. Veta Negra		Santa Clara	California
1000						
900						
800	20,5	26,2	23,3			
700	11,0	21,9	26,3			29,8
600	14,8	17,8	24,3			23,9
500						
400					20,6	
300						
200	24,2					7,1
100						
50-60						
Aux	20,0	20,1	16,9			11,5