

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Análisis de la vida útil de aceros de perforación para  
evaluar costos operativos en galerías Compañía Minera  
San Cristóbal S.A.A**

Juan Carlos Quito Matos  
Ratmi Babilonia Jaramillo

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2020

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## **ASESOR**

Ing. Julio Fredy Porras Mayta

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradecer a Dios por permitir que cumplamos con nuestros objetivos; en segundo lugar, agradecer a nuestros padres por todo el esfuerzo que hicieron para brindarnos una educación de calidad, también agradecer a todos los docentes que nos brindaron todos sus conocimientos en nuestra etapa universitaria.

## **DEDICATORIA**

A nuestros padres, por su confianza y apoyo incondicional que nos dieron durante toda nuestra vida, así mismo, a todas las personas que nos apoyaron de manera directa e indirecta para que este informe se realice de la mejor manera, también a nuestro asesor por la buena dirección para el cumplimiento de este proyecto.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

Asesor .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	v
Lista de figuras .....	viii
Lista de tablas .....	xi
Resumen .....	xiii
Abstract .....	xiv
Introducción .....	xv
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>16</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....</b>	<b>16</b>
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	16
1.1.1. Planteamiento del problema .....	16
1.1.2. Formulación del problema .....	17
1.2. Objetivos .....	17
1.2.1. Objetivo general .....	17
1.2.2. Objetivos específicos .....	17
1.3. Justificación e importancia .....	18
1.3.1. Justificación práctica .....	18
1.4. Hipótesis .....	18
1.4.1. Hipótesis general .....	18
1.4.2. Hipótesis específicas .....	18
1.5. Identificación de las variables .....	19
1.5.1. Variable independiente .....	19
1.5.2. Variables dependientes .....	19
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>21</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>21</b>
2.1. Antecedentes del problema .....	21
2.2. Descripción de la unidad minera San Cristóbal .....	24
2.2.1. Ubicación y accesibilidad .....	24
2.2.2. Geología regional .....	25
2.2.3. Geología local .....	27

2.2.4. Geología estructural .....	30
2.2.5. Geología económica .....	30
2.2.6. Recursos minerales.....	31
2.2.7. Reservas minerales.....	32
2.3. Bases teóricas .....	32
2.3.1. Proceso de correlación de variables, clasificación geomecánica, equipo y columna de perforación en el trabajo de avance .....	32
2.3.2. Caracterización de la masa rocosa en la unidad productora San Cristóbal .....	33
2.3.3. Métodos de minado.....	39
2.3.4. Evaluación de tiempos de perforación de los equipos jumbos <i>Boomer S1D</i> .....	43
2.3.5. Buenas prácticas de perforación minera Epiroc Perú S. A. – unidad Volcan Yauli .....	72
2.3.6. Parámetros y procedimientos de operación de perforación .....	74
2.3.7. Otros parámetros de trabajo.....	77
2.3.8. Impactos sobre la eficiencia de perforación .....	77
2.4. Rendimientos de la vida útil de los aceros de perforación .....	79
2.4.1. Comparación de los metros perforados y el consumo de piezas de perforación de los frontoneros para los frentes de avance.....	79
2.4.2. Comparación del programa de producción en toneladas, metro perforado y costo total por mes para cada equipo. ....	84
2.4.3. Rendimientos del afilado de las brocas y rimadoras de perforación de la unidad San Cristóbal .....	89
2.5. Definición de términos .....	92
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>93</b>
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>93</b>
3.1. Método y alcances de la investigación.....	93
3.1.1. Método general o teórico de la investigación .....	93
3.1.2. Método específico de la investigación.....	93
3.2. Diseño de la investigación .....	94
3.2.1. Tipo de diseño de investigación .....	94
3.2.2. Nivel de investigación.....	94

3.3. Población y muestra .....	94
3.3.1. Población.....	94
3.3.2. Muestra .....	94
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	94
3.4.1. Técnicas utilizadas en la recolección de datos.....	94
3.4.2. Instrumentos utilizados en la recolección de datos .....	95
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>95</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>96</b>
4.1. Análisis de equipos de perforación para trabajos en el nivel 1120 labor SP 6 de la zona alta Tj 120 E-W.....	96
4.1.1. Equipo de perforación <i>Boomer</i> S1D parámetros y factores de perforación .....	96
4.2. Comparación de rendimiento de broca y rimadora afilada– nivel 1120 labor SP 6 de la Zona alta Tj 120 E-W.....	100
4.2.1. Comparación de rendimiento de broca y rimadora afilada en el equipo S1D – nivel 1120 labor SP 6 de la zona alta .....	100
4.3. Análisis de la velocidad de perforación para trabajos en el nivel 1120 labor SP 6 de la zona alta Tj 120 E-W .....	102
4.3.1. Pérdida de la velocidad de perforación para frentes de avance..	102
4.4. Optimización del rendimiento de aceros de perforación del nivel 1120 labor SP 6 de la zona alta.....	104
Conclusiones.....	107
Recomendaciones.....	108
Lista de referencias .....	109
Anexo .....	111

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación y accesibilidad de la unidad productora San Cristóbal.....	25
Figura 2. Plano de mapeo geológico de la unidad productora San Cristóbal .....	26
Figura 3. Columna estratigráfica generalizada de la UP San Cristóbal .....	27
Figura 4. Plano de sección geológica compuesta de la UP San Cristóbal.....	31
Figura 5. Proceso de correlación de variables, clasificación geomecánica, equipo y columna de perforación en el trabajo de avance.....	33
Figura 6. Veta Split 658 - Diagrama estereográfico de contornos del composito de discontinuidades .....	35
Figura 7. Diagrama estereográfico de planos principales del composito de discontinuidades .....	35
Figura 8. Diagrama de roseta del composito de discontinuidades.....	36
Figura 9. Veta 658 - Diagrama estereográfico de contornos del composito de discontinuidades .....	36
Figura 10. Diagrama estereográfico de planos principales del composito de discontinuidades .....	37
Figura 11. Diagrama de roseta del composito de discontinuidades.....	37
Figura 12. Diagrama estereográfico de contornos de composito de discontinuidades	38
Figura 13. Diagrama estereográfico de planos principales del composito de discontinuidades .....	38
Figura 14. Diagrama de roseta del composito de discontinuidades.....	39
Figura 15. Ciclo minado de over cut and fill (breasting).....	41
Figura 16. Mallas de perforación - breasting .....	43
Figura 17. Distribución de tiempos J-146 Boomer S1D – 20-3-2019.....	46
Figura 18. Distribución de tiempos J-146 Boomer S1D – 21-3-2019.....	48
Figura 19. Línea de tiempo del seguimiento al jumbo J-146 - Boomer S1D .....	49
Figura 20. Distribución de tiempos J-146 Boomer S1D – 21-3-2019.....	51
Figura 21. Distribución de tiempos J-146 Boomer S1D – 21-3-2019.....	52
Figura 22. Distribución de tiempos J-146 Boomer S1D del 20 al 24 de marzo – guardia día .....	54
Figura 23. Actividad J – 146 clasificado como otras demoras .....	56
Figura 24. Diagrama de barras, análisis de demoras operativas 2 - J-146.....	57
Figura 25. Diagrama de circulación, análisis de demoras operativas 2 - J-146 .....	57
Figura 26. Disponibilidad mecánica y utilización efectiva .....	60

Figura 27. Disponibilidad mecánica y unidad efectiva de los jumbos 2019 .....	60
Figura 28. Disponibilidad mecánica y unidad efectiva de los jumbos indistintamente de su ECM.....	61
Figura 29. Disponibilidad mecánica y unidad efectiva de los jumbos indistintamente de su ECM AESA y Volcan .....	61
Figura 30. Disponibilidad mecánica y unidad efectiva por equipo de la empresa AESA y Volcan.....	62
Figura 31. Distribución de tiempos - jumbos 2018 .....	62
Figura 32. Actividad y demoras operativas como no operativas de los jumbos de la compañía Volcan – 2018 .....	63
Figura 33. Distribución de tiempos - jumbos 2019 .....	63
Figura 34. Actividad y demoras operativas como no operativas de los jumbos de la compañía Volcan – 2019 .....	64
Figura 35. Tiempo de actividades en horas y el acumulado total año 2018 .....	66
Figura 36. Acumulado de horas trabajadas y de cada actividad de febrero 2019.....	67
Figura 37. Acumulado de horas trabajadas y de cada actividad de marzo 2018.....	68
Figura 38. Acumulado de horas trabajadas y de cada actividad de enero 2019.....	69
Figura 39. Acumulado de horas trabajadas y de cada actividad de febrero 2019.....	70
Figura 40. Acumulado de horas trabajadas y de cada actividad de marzo 2019.....	71
Figura 41. Perforación en frente, método Tophammer.....	72
Figura 42. Equipo de perforación Boomer 282.....	72
Figura 43. Principio de perforación Tophammer .....	73
Figura 44. Tren de perforación, magnum SR 35 .....	73
Figura 45. Comportamiento de la perforación en relación al tipo de terreno .....	74
Figura 46. Posicionamiento de brazo en el frente .....	74
Figura 47. Velocidad de rotación (rpm) en función del diámetro de broca.....	76
Figura 48. Manteniéndolas en forma, broca de botones balísticos.....	78
Figura 49. Eficiencia de la perforación con el afilado de brocas.....	78
Figura 50. Secuencia de iniciación de voladura subterránea .....	79
Figura 51. Comparación de metros perforados en relación al consumo de piezas de perforación en 2017 .....	81
Figura 52. Comparación de metros perforados en relación al consumo de piezas de perforación del año 2018 .....	83
Figura 53. Valorización de metros perforados por mes de los frontoneros del 2017 ...	86
Figura 54: Valorización de metros perforados por mes de los frontoneros del 2018 ...	88
Figura 55. Comparación de rendimientos de broca y rimadora del año 2017 y 2018 ..	91

Figura 56. Diseño de malla de perforación para los frentes de avance, nivel 1120 Labor SP 6 de la zona alta.....	98
Figura 57. Comparación de rendimientos de broca y rimadora del nivel 1120 Labor SP 6 de la zona alta 2018.....	101
Figura 58. Velocidad de penetración pie/min broca 51 mm – nivel 1120 labor SP 6 de la zona alta .....	103
Figura 59. Tiempo requerido para 45 taladros de 14 pies broca 51 mm – nivel 1120 labor SP 6 de la zona alta.....	104
Figura 60. Comparación del incremento de rendimiento en costos anual y mensual del equipo jumbo Boomer S1D.....	106

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación y accesibilidad a la mina San Cristóbal.....	24
Tabla 2. Dimensiones máximas de tajeos - longitud .....	34
Tabla 3. Equipos de perforación de la unidad productora San Cristóbal.....	45
Tabla 4. Seguimiento al jumbo J-146 – Boomer S1D (20-3-2019).....	45
Tabla 5. Seguimiento al jumbo J-146 – Boomer S1D (21-3-2019).....	47
Tabla 6. Seguimiento al jumbo J-146 – Boomer S1D. 22-3-2019 .....	50
Tabla 7. Seguimiento al jumbo J-146 – Boomer S1D. 24-3-2019 .....	51
Tabla 8. Resumen de actividades del jumbo J-146 del 20 al 24 de marzo – guardia día .....	53
Tabla 9. Estándares para actividades que poseen los reportes diarios .....	55
Tabla 10. Análisis de demoras operativas 2 - J-146.....	56
Tabla 11. Indicadores de la actividad de perforación. MIN/MT-PERF.....	58
Tabla 12. Indicadores de la actividad de perforación MIN/Taladro.....	59
Tabla 13. Resumen de la disponibilidad mecánica y unidad efectiva, 2018.....	61
Tabla 14. Análisis de demoras operativas 2 de los jumbos de la compañía minera Volcan S. A. A. ....	65
Tabla 15. Actividad en relación al equipo, horas y el acumulado código 307, 601 y 305.....	66
Tabla 16. Actividad en relación a equipo, horas y acumulado cód. 307 y 601 .	67
Tabla 17. Actividad en relación al equipo, horas y el acumulado código 307, 601 y 303.....	68
Tabla 18. Actividad en relación al equipo, horas y el acumulado código 307, 601, 305 y 303.....	69
Tabla 19. Actividad en relación al equipo, horas y el acumulado código 307, 601, 305 y 303.....	70
Tabla 20. Metros perforados y consumo del 2017 en la mina San Cristóbal ...	80
Tabla 21. Metros perforados y consumo del 2018 en la mina San Cristóbal ...	82
Tabla 22. Producción, metros perforados y costo total por mes en el 2017.....	85
Tabla 23. Producción, metros perforados y costo total por mes 2018.....	87
Tabla 24. Comparación de rendimientos de broca y rimadora afilada, 2017 y 2018 para los frontoneros de la unidad San Cristóbal.....	90

Tabla 25. Los controles de mando de la vida útil de la broca y rimadora del equipo de perforación Boomer S1D para los frentes de avance .....	96
Tabla 26. Diseño de malla de perforación del frente de avance en el nivel 1120 labor SP 6 de la zona alta .....	97
Tabla 27. Comparativo de rendimientos de broca 51 mm y rimadora 102 mm .....	100
Tabla 28. Análisis de pérdida de penetración de la roca – nivel 1120 labor SP 6 de la zona alta .....	102
Tabla 29. Comparación de índices de operación para el equipo jumbo Boomer S1D .....	105
Tabla 30. Incremento de costos 2018 del equipo jumbo Boomer S1D.....	105
Tabla 31. Comparación del incremento de rendimiento en costos de aceros de perforación del 2017 y 2018 del equipo jumbo Boomer S1D .....	105

## RESUMEN

La unidad minera San Cristóbal – Yauli, es una de las unidades de la compañía minera Volcan S. A. A. dedicada a la explotación y tratamiento de minerales polimetálicos, siendo mineral de cabeza zinc, plata, cobre y plomo. Cuenta con un sistema de vetas amplia y la más representativa está en el nivel 1120, labor SP 6 de la zona alta, dentro, se encuentra el tajo 120 E-W del nivel 1120, donde se establece la optimización del uso de aceros de perforación para el método de explotación con taladros largos.

El ciclo de la optimización de aceros de perforación, parte de la información general de la geomecánica en el área o labor de más pérdidas, después se centra en el área específica para optimizar; luego, se analizan los parámetros y factores involucrados en el área elegida, estableciendo un plan de acción de las causas generadoras de pérdidas en relación a cada factor y parámetro involucrado, siguiendo con la evaluación de riesgo y su influencia en el proceso de optimización; finalmente, se presenta la evaluación de resultados en relación a la serie de valor.

En base a la optimización del rendimiento de aceros de perforación del nivel 1120, labor SP 6 de la zona alta del tajo 120 E-W, se verifica que el rendimiento anual y mensual, en términos económicos, de las piezas de perforación para los equipos y para las actividades de preparación y desarrollo de frentes de avance con el equipo *Boomer S1D*, para el año 2018, fue de \$ 11,497.98 anual y \$ 383.27 mensual.

La velocidad de perforación depende del afilado de broca, donde, a más metros perforados, la broca tiende a desgastarse y disminuye la velocidad de perforación, al inicio la broca sin afilar tiende a tener mayor velocidad por ser nueva, pero va disminuyendo su velocidad de penetración según va avanzando, siendo que, el afilado genera incremento de vida útil de la broca y de las demás piezas de perforación optimizando costos.

**Palabra clave:** aceros de perforación, optimización, parámetros de perforación, vida útil

## ABSTRACT

The San Cristóbal - Yauli mining unit is one of the units of the mining company Volcan S. A. A. dedicated to the exploitation and treatment of polymetallic minerals, being zinc, silver, copper and lead mineral head. It has a wide vein system and the most representative is at level 1120, work SP 6 of the upper zone, inside, is the pit 120 EW of level 1120, where the optimization of the use of drilling steels for the long-hole drilling method.

The cycle of optimization of drilling steels, part of the general information of the geomechanics in the area or work of more losses, then it focuses on the specific area to optimize; then, the parameters and factors involved in the chosen area are analyzed, establishing an action plan of the causes that generate losses in relation to each factor and parameter involved, continuing with the risk assessment and its influence on the optimization process; finally, the evaluation of results in relation to the value series is presented.

Based on the optimization of the performance of drilling steels of level 1120, work SP 6 of the upper zone of the pit 120 EW, it is verified that the annual and monthly performance, in economic terms, of the drilling pieces for the equipment and for The activities of preparation and development of advance fronts with the boomer S1D team, for the year 2018, was \$ 11,497.98 annually and \$ 383.27 monthly.

The drilling speed depends on the sharpening of the drill, where, the more meters drilled, the drill tends to wear out and the drilling speed decreases, at the beginning the unsharpened drill tends to have higher speed because it is new, but its speed decreases from penetration as it progresses, being that sharpening generates an increase in the useful life of the drill and of the other drilling pieces, optimizing costs.

**Keyword:** drilling parameters, drilling steels, optimization, service life

# INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la minería en el Perú tiene dificultades en la perforación del macizo rocoso y en el costo que genera esta operación unitaria. El método de extracción más utilizado por las empresas mineras es el método de taladros largos debido al mayor tonelaje que se extrae por este método.

La unidad minera San Cristóbal es una de las componentes de la UEA Yauli de Volcan Compañía Minera S. A. A. Hoy en día, la unidad se encuentra explotada por el método de taladros largos en cuerpos y siguiendo vetas, para la perforación del macizo rocoso se evalúa la clasificación geomecánica del macizo rocoso, el método de explotación de taladros largos, el equipo de perforación utilizado y los aceros de perforación. Entonces, la tesis está dividida en los siguientes capítulos:

En el Capítulo I se encuentra el planteamiento y formulación del problema, los objetivos, la justificación e importancia, las hipótesis y variables.

En el Capítulo II se desarrolla el marco teórico, los antecedentes, la descripción de la unidad minera, la base teórica y la definición de términos.

El Capítulo III presenta la metodología utilizada, el diseño, nivel, población, muestra y las técnicas e instrumentos de recolección de datos.

El Capítulo IV presenta los resultados y discusión del tema investigado.

Finalmente, se presentan las conclusiones, recomendaciones, la lista de referencias y los anexos.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1. Planteamiento y Formulación del Problema**

#### **1.1.1. Planteamiento del Problema**

A nivel mundial, las empresas mineras están sometidas a los precios de los metales del mercado internacional. La reducción de los costos operativos es de primordial importancia. Los trabajos de perforación se realizan día a día por ser una de las operaciones principales en la preparación y desarrollo.

Las empresas mineras en el Perú, en la operación de perforación, siguen unos rigurosos parámetros de perforación para luego estandarizarlos y seguir optimizando el proceso. La reducción del costo por metro perforado ayuda a reducir el costo final de perforación lo cual es beneficioso para la empresa minera.

En la unidad productora de San Cristóbal de Volcan Compañía Minera S. A. se lleva a cabo la perforación de los frentes de avance en la zona alta en preparación y desarrollo, con el equipo *Boomer S1D* de la empresa Epiroc Perú S. A., debido a que se tiene un tipo de roca regular a mala, se tiende a variar los rendimientos de cada accesorio de perforación.

Las pérdidas operativas de los accesorios de la columna de perforación generan demoras operativas que repercuten negativamente en la producción del mineral a explotar, elevando el costo de perforación de la unidad productiva al no cumplir la vida útil de cada accesorio.

### **1.1.2. Formulación del Problema**

#### **A. Problema general**

¿Cuáles son los resultados del análisis de la vida útil de aceros de perforación para evaluar los costos operativos en galerías de la compañía minera San Cristóbal S. A. A. – 2020?

#### **B. Problemas específicos**

¿Cuál es el resultado del análisis de las variables técnicas del equipo *Boomer S1D* para evaluar costos operativos en galerías?

¿Cómo influye la velocidad de perforación para evaluar costos operativos en galería?

¿Cuál es la influencia de las variables de productividad del consumo de aceros de perforación para evaluar costos operativos en galerías?

### **1.2. Objetivos**

#### **1.2.1 Objetivo General**

Determinar los resultados del análisis de la vida útil de aceros de perforación para evaluar costos operativos en galerías de la compañía minera San Cristóbal S. A. A. – 2020.

#### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Determinar el resultado del análisis de las variables técnicas del equipo *Boomer S1D* para evaluar costos operativos en galerías.
- Analizar la influencia de la velocidad de perforación para evaluar costos operativos en galería.
- Evaluar la influencia de las variables de productividad del consumo de aceros de perforación para evaluar costos operativos en galerías.

### **1.3. Justificación e Importancia**

#### **1.3.1 Justificación Práctica**

Los frentes de avance de la zona alta de la unidad productora San Cristóbal de Volcan Compañía Minera S. A. A. tienen deficiencias en las capacitaciones de los operadores en el cuidado y manejo de su equipo. Otro de los temas importantes es la movilización del personal de perforación, ya que se toma mucho tiempo en trasladar desde la superficie a la mina y de mina a su respectiva labor.

Se observó también que en los frentes no se pinta la malla de perforación, recalcando que el pintado de la malla es muy importante para la perforación y así evitar desviaciones de taladros.

La deficiencia más resaltante es la pérdida por motivos de operaciones del equipo, tipo de roca y habilidad del operador, el control de estos factores es primordial para aumentar la vida útil de cada pieza de perforación.

### **1.4. Hipótesis**

#### **1.4.1 Hipótesis General**

Los resultados del análisis de la vida útil de los aceros de perforación tienen relación directa con los costos operativos en galerías de la compañía minera San Cristóbal S. A. A. – 2020.

#### **1.4.2 Hipótesis Específicas**

- El resultado del análisis de las variables técnicas del equipo *Boomer S1D* influye en los costos operativos de perforación en galerías.
- El parámetro de velocidad de perforación influye como relación directa con los costos operativos en la galería.
- Las variables de productividad del consumo de aceros de perforación influyen en los costos operativos en galerías.

## **1.5. Identificación de las Variables**

### **1.5.1. Variable Independiente**

**Vida útil de aceros de perforación:** es la mejora en el aumento de los metros perforados de cada accesorio de perforación tales como la broca, barra, acople y el adaptador de culata, evaluando el procedimiento y control en la perforación, como la caracterización geomecánica para los factores y parámetros de control de la operación unitaria de perforación del macizo rocoso.

### **1.5.2. Variable Dependiente**

**Costos operativos:** los costos operativos comprenden los gastos de operación y los gastos de mantenimiento.

## Matriz de operacionalización de variables

Proceso de operacionalización de variables				
Variable	Definición conceptual	Dimensión	Subdimensión	Indicadores
<b>VI</b> <b>Optimización de la vida útil de los aceros de perforación</b>	Es la mejora en el aumento de los metros perforados de cada accesorio de perforación, tales como la broca, barra, acople y el adaptador de culata. Evaluando el procedimiento y control en la perforación, como la caracterización geomecánica, para los factores y parámetros de control de la operación unitaria de perforación del macizo rocoso.	Es la mejora en el aumento de los metros perforados de cada accesorio de perforación, tales como la broca, barra, acople y el adaptador de culata. Evaluando el procedimiento y control en la perforación, como la caracterización geomecánica.	Evaluación de la caracterización geomecánica	Índices RMR, RQD y Q del macizo rocoso Familias de discontinuidades Parámetros de las discontinuidades
			Evaluación en el procedimiento adecuado para la perforación	Factores y parámetros de perforación Metros perforados Cantidad de aceros de perforación
<b>VD</b> <b>Reducción de los costos de perforación en frentes de avances:</b>	Es la minimización de las mediciones en términos monetarios del precio de perforación establecidos dentro del costo unitario de perforación enfocados a los costos de equipo, mano de obra, accesorios de perforación, insumos, herramientas y EPP.	Es la minimización de las mediciones en términos monetarios del precio de perforación establecidos dentro del costo unitario de perforación.	Evaluación del costos de mano de obra, accesorios de perforación, insumos, herramientas y EPP.	Costos fijos: Costo de adquisición Costo de amortización Costo de adquisición Costo de deprecación
				Costos variables Salario del operador Costo de las piezas de perforación Costo de los EPP Costo de herramientas Costo de explosivos

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes del Problema**

En la tesis titulado “Optimización de las prácticas de perforación y voladura en el avance y producción de la minería de mediana escala (unidad minera Macdesa)”. (1) El objetivo del estudio fue aportar una metodología experimental apropiada para optimizar las prácticas de perforación y voladura en los avances y la producción en la mina modelo de mediana escala Macdesa. Además, la metodología tiene las siguientes características: el trabajo que se realiza en las operaciones unitarias, donde están implicados desde un obrero hasta el superintendente es muy importante, ya que todos tienen el mismo fin, realizar la perforación y voladura de manera correcta y sin incidentes en avance y producción. (1)

Diseñar una malla de perforación y voladura en base a las clasificaciones geomecánicas, permite optimizar la distribución de energía, con mucha más precisión que de manera común o empleando otros modelos matemáticos. El diseño y marcado de malla de perforación, así como el uso de guidores en las diferentes labores son el punto de inicio de una buena voladura y por consecuencia se obtiene un material cuya granulometría es la óptima. Al optimizar estas operaciones unitarias y tener un material mejor fragmentado facilita la limpieza, carguío, acarreo, transporte y molienda del material. (1)

En la tesis titulada "Optimización de la perforación y voladura con nuevo diseño de malla en el crucero 10014 de la empresa minera Marsa". El objetivo del estudio fue aportar una metodología experimental apropiada para optimizar las operaciones de perforación y voladura en el crucero 10014 en la empresa minera Marsa, mediante un nuevo diseño de malla de perforación. Además, la metodología tiene las siguientes características (2): tener una constante capacitación y supervisión al personal acerca del nuevo diseño de malla de perforación y voladura, para así remediar las dificultades en el bajo rendimiento de la voladura. Para obtener buenos resultados de la perforación y voladura se debe marcar el frente, distribuir bien los taladros de arranque y alivio, según el nuevo diseño de malla y se obtendrá un buen avance lineal. Se realizó la perforación en media guardia, que es el descanso para que no haya deficiencia de aire y así tener un buen paralelismo y un óptimo tiempo de perforación. (2)

En la tesis titulada "Reducción de los costos operativos en mina, mediante la optimización de los estándares de las operaciones unitarias de perforación y voladura". El objetivo del estudio fue obtener la reducción de los costos operativos de mina, aplicando para ello un control y seguimiento operativo de las operaciones unitarias de perforación y voladura, control que permite la optimización de los estándares de perforación y voladura, y el incremento del rendimiento en cada una de las operaciones unitarias del ciclo de minado. Lográndose, de esta manera, que la empresa minera obtenga una mayor utilidad bruta. Además, la metodología tiene las siguientes características: la reducción de los costos operativos de mina es directamente proporcional a la magnitud de producción de la mina (tonelaje de mineral a producir, metros de avance programados en desarrollos o metros cúbicos de roca estéril a desplazar), por ende, es proporcional al consumo de explosivos y a la cantidad de áreas de perforación. (3)

La capacitación y creación de conciencia de los trabajos en los temas de optimización de la perforación y voladura debe darse de manera constante, fomentando la comunicación entre todos los niveles de la organización, propiciando ideas novedosas que mejoren los procedimientos de trabajo. Realizar pruebas de voladura por lo menos tres veces por mes, de tal forma que

permita solucionar problemas que por la rutina de la misma operación son dejados de lado. En tales pruebas se debe hacer un estudio de la granulometría del material obtenido. (3)

En la tesis titulada "Optimización de la perforación y voladura en la veta María Rosa en Chungar S. A. C. Pasco". El objetivo del estudio fue aportar una metodología experimental apropiada para la optimización de la actividad en perforación (diseño de mallas de perforación), y voladura (explosivo adecuado para el tipo de roca), acorde a los parámetros geológicos relacionados a la explotación de los recursos naturales y la mejora del método de explotación planteado. Además, la metodología tiene las siguientes características: la etapa más importante de la minería subterránea es la perforación obteniendo el mayor rendimiento de avance con la malla adecuada para realizar el *breasting*, teniendo el 80% de efectividad para ser rentable. La seguridad de todo el personal será efectiva con las secciones diseñadas para la explotación de mineral en la veta María Rosa controlando la perforación y voladura. Para la aplicación del trabajo como la presente tesis, se recomienda contar con conocimientos de perforación y voladura. (4)

En la tesis titulada "Optimización de la perforación y voladura utilizando el sistema de perforación *casing* y variación del factor de potencia para reducir daños en las cajas, mina Casapalca". El objetivo del estudio es aportar una metodología experimental apropiada para optimizar las operaciones unitarias de perforación y voladura; las mismas que tienen una influencia directa en el rendimiento de las operaciones de limpieza, relleno y sostenimiento, aplicadas en el método de explotación de tajeo por subniveles o "*Sub Level Stoping*". Además, la metodología tiene las siguientes características: el éxito de la perforación y voladura en la mina Casapalca se debe a un trabajo en equipo, obligado por el proceso de mejoramiento continuo entre los departamentos de Ingeniería, Planeamiento, Geología y Mina. La adecuada utilización de los sistemas de perforación de taladros largos en paralelo y el sistema *casing* permiten una alta productividad y un mejoramiento en el control de la dilución. La malla de perforación cuadrada, con taladro central o tipo rombo, con un

*burden* de 1,4 m y un espaciamento de 1,7 m, reduciéndose los costos de mina en un 18,26%. (5).

Para evitar cualquier tipo de falla en la perforación de taladros largos se recomienda capacitar a los perforistas en el procedimiento necesario a seguir para un buen posicionamiento; verificar en forma diaria la calidad de la perforación, los metros perforados y el acumulado (reporte diario); así mismo, estandarizar el levantamiento de los taladros perforados al finalizar la perforación en el tajo. (5)

## 2.2. Descripción de la Unidad Minera San Cristóbal

### 2.2.1. Ubicación y accesibilidad

La mina San Cristóbal, políticamente, está ubicada en el distrito de Yauli, provincia de Yauli, departamento de Junín.

**Tabla 1.**  
**Ubicación y accesibilidad a la mina San Cristóbal**

Ruta	Distancia (km)	Carretera	Tiempo aproximado (h)
Lima a la Oroya	110	De la ciudad de Lima en línea recta por la carretera central hasta llegar a la ciudad de La Oroya.	Se tiene un viaje aproximadamente de cinco horas.
La Oroya a mina San Cristóbal	20	De la ciudad de La Oroya por la carretera central, se halla un desvío cerca de la localidad de Pachachaca,	El tiempo de viaje para llegar a la unidad productora San Cristóbal es aproximadamente de 45 minutos.

La minera San Cristóbal tiene una altitud de 4,700 metros sobre el nivel del mar con las siguientes coordenadas geográficas:

76° 05' de longitud Oeste

11° 43' de latitud Sur



El Paleozoico tiene dos pisos, el inferior formado por el grupo Excélsior y el superior por el grupo Mitú; el Excélsior está aflorando a lo largo del anticlinal de Chumpe en la parte Oeste del domo y en el anticlinal de Ultimátum hacia el Este; el Mitú aflora en la mayor parte del domo. El margen está constituido por las formaciones mesozoicas: grupo Pucará, grupo Goyllarisquizga, grupo Machay y formación Jumasha. Cuerpos intrusivos y capas extrusivas testifican la actividad ígnea en la zona. (6)

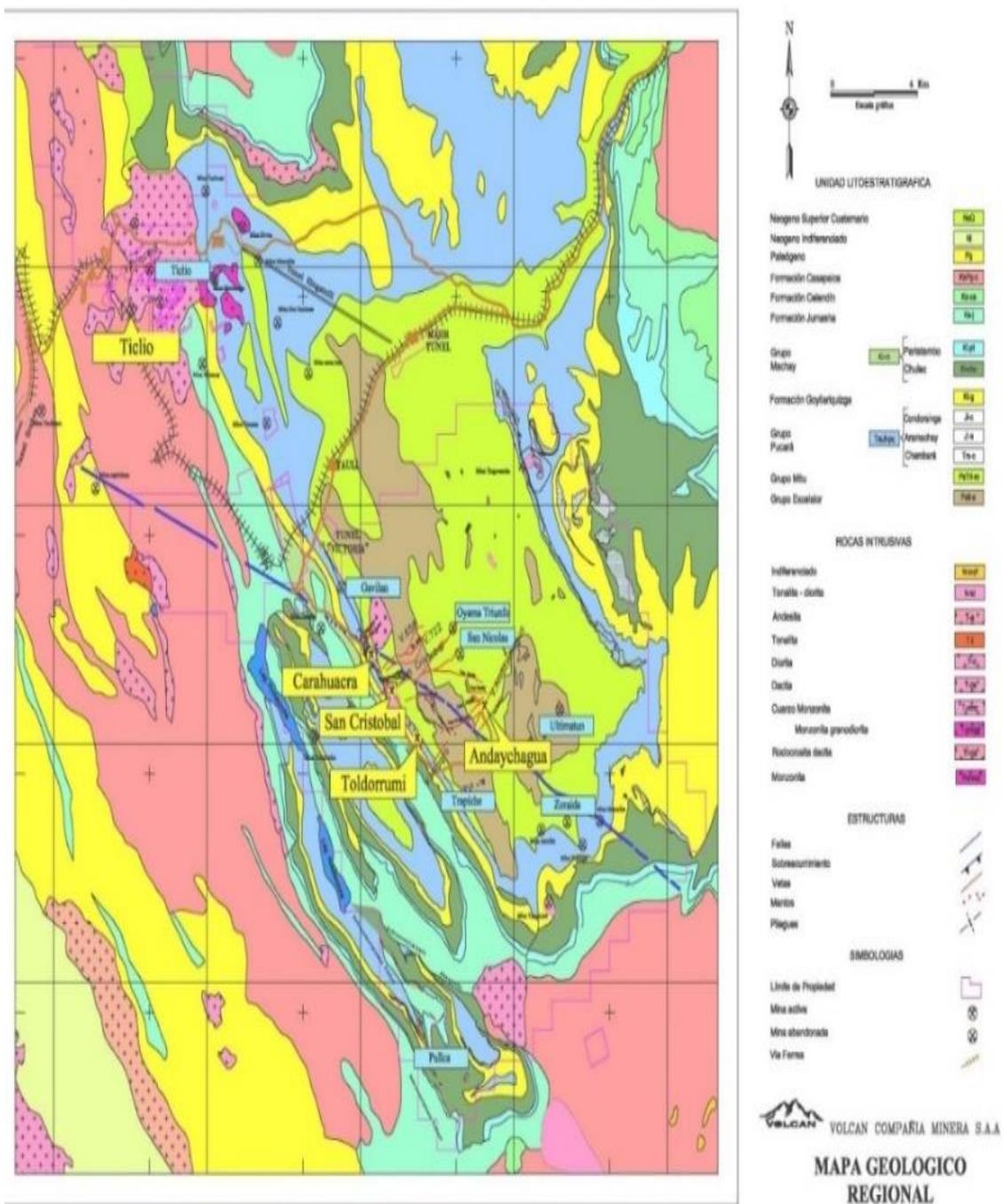


Figura 2. Plano de mapeo geológico de la unidad productora San Cristóbal

## 2.2.3. Geología Local

### Secuencia litológica

La secuencia litológica de la unidad minera San Cristóbal de Volcan Compañía Minera S. A. A. tiene una extensión desde el Paleozoico hasta el Cretácico Superior.

ERA	SISTEMA	EPOCA	EDADES PISOS	UNIDAD LITOLÓGICA	GRAFICO	FORMACION SEDIMENTARIA	FORMACION IGNEA	MINERALIZACION
CENOZOICO	CUATERNARIO					Sedimentos no consolidados		
	TERCIARIO			CAPAS ROJAS CASAPALCA		Discordancia erosional Conglomerados calcáreos Calizas Lunetas Calcareas Calizas arcillosas arenosas	Intrusivos intermedios Cuarzo-Dioritas Intrusivo Acido tipo Chimpe Granitos	
MESOZOICO	CRETACEO	INFERIOR	COMANCHEADO	FORMACION JUMASHA		Calizas masivas y Dol. poco fosilíferas Basalto	Cuellos de Basaltos a traves de todas las Formaciones	Mineralización estratoligada de Fe, Ba, Zn, Pb, Ag, Cu.
		NEOCOMICO (EOCRET.)		GRUPO MACHAY FORMACION PARIATAMBO FORMACION CHULEC GRUPO GOYLLAR		Alternancia de Clz. Bit. con nódulos de chert Calizas y Dolomias Alternancia de Clz Margosa Fossil. Que Basalto Moenero Areniscas Limolitas rojas	Diorita + Gabro	
	JURASICO	INFERIOR O EOCRETACEO (LIAS)	NEOCOMIANO TOARCLANO PLEINSBACHIANO HETTANGIANO	GRUPO PUCARA FORMACION CONDORSINGA FORMACION ARAMACHAY		Calizas gris claras, y dol blancas amarillentas Basalto Moenero Ba Calcareas Chert, Dol. Calizas con Yeso		Mineralización estratoligada de Fe, Ba, Zn, Pb. con superposición de Mineralización Hidrotermal forma de cuerpos y minos.
	TRIASICO	SUPERIOR O MESOTRIASICO	RETTIANO NORIANO	FORMACION CHAMBARA		Calizas y Dolomias		
PALEOZOICO	PERMICO	ERTIASICO SUPERIOR	OCHOA	GRUPO MITU		Discordancia erosional Lentes de areniscas y conglomerados rojicos	Derrames de Dazit y Andesita Intrusivo intermedio tipo Carahuacra Cuarzo-Monzonitica	Mineralización estratoligada de Zn, Pb, Fe, Cu, Ba, Mn.
		MEDIO 266 y 266	GUADALUPE LEONARDO			Discordancia erosional	Volcánicos Volcanoclasticos morados	Mineralización Hidrotermal en Vetas de W, Sn, V, Bi, Cu, Zn, Pb, Ag, Sb.
	DEVONICO	SUPERIOR	CHAUTAUQUAN	GRUPO EXCELSIOR		Filitas		
MEDIO	ERIAN (HAMILTON) ULSTER		Mármoles fosilíferos Cuarcitas		Volcanicos verdes	Mineralización estratoligada de Ni, Co Mineralización estratoligada de Cu, Zn, Pb, Fe		

Figura 3. Columna estratigráfica generalizada de la unidad productora San Cristóbal

- **Silúrico-devónico-grupo Excélsior**

El grupo Excélsior está conformado por rocas muy antiguas que afloran en el área e integran al núcleo del anticlinal Chumpe, está formado por filitas con intercalaciones de cuarcitas, vulcanitas verdes y bancos calcáreos marmolizados con fósiles. (6)

- **Pérmico-grupo Mitu**

Presenta potencia irregular total en este grupo, al Oeste de la unidad minera San Cristóbal, la potencia de los volcánicos Catalina es aproximadamente 800 metros. La edad del grupo Mitu fue considerada como del Carbonífero Superior y posteriormente asignada al Pérmico. (6)

- **Triásico Superior Liásico-grupo Pucará**

Este grupo es una agrupación de facies calcáreas, se ubica en la discordancia encima del grupo Mitu, este grupo se divide en tres formaciones: Chambará, Aramachay y Condorsinga, están relacionados con la mineralización económica del lugar.

- a) Formación Chambará (Triásico Superior)**

Está compuesta por calizas, dolomitas, calizas dolomíticas, separadas por capas calcáreo-arcillosas y tufos de pocos centímetros, las rocas calcáreas presentan un color gris claro a negro, con mayor porcentaje de materia orgánica.

- b) Formación Aramachay (Liásico: Hetangiano-Sinemuriano)**

Está compuesta por pizarras limosas, seguidamente de areniscas de grano fino, calizas y de *chert* en capas. Las calizas se presentan en bancos de 20 a 50 centímetros, frecuentemente lenticulares, o en nódulos discoidales de hasta un metro de diámetro, se notan también capas vulcano-detríticas.

- c) Formación Condorsinga (Liásico Toarciario)**

Se compone de oolíticas o bioclásticas en su mayoría, *chert* abundante en la mitad inferior de la formación; intercalaciones tufáceas de color gris claro, de grano fino a medio, son comunes. Las calizas varían de color gris claro a gris oscuro, son de grano fino, hay zonas donde están fuertemente brechadas.

#### **d) Grupo Goyllarisquizga (Cretácico Inferior)**

Sobre el grupo Pucará yace en discordancia paralela el grupo Goyllarisquizga, el cual se depositó en dos fases sucesivas. La primera compuesta por depósitos de granulometría fina a muy fina, de facies de llanura aluvial con pelitas rojas y escasas intercalaciones de areniscas de facies de desbordamiento, depositadas en un ámbito climático semiárido mostrado en la fuerte oxidación de las pelitas. (6)

#### **• Grupo Machay (Cretácico Medio)**

**a) Formación Chúlec:** esta formación es totalmente carbonatada, litológicamente está conformada por una alternancia de calizas y margas de facies de plataforma externa; es muy fosilífera y constituye la primera formación cretácica de los Andes Centrales correctamente datada. Toda la serie en su conjunto está intensamente bioturbada. (6)

**b) Formación Pariatambo:** esta formación es fácil de localizar en el paisaje por su coloración negra característica, escasa resistencia a la erosión y litología monótona está constituida por una alternancia margo-caliza de pequeños bancos claros y oscuros generalmente muy bituminosos, señalados por un olor fétido muy pronunciado. Los niveles claros son *mudstones* con *packstones* calcáreo-dolomíticos algunas veces ligeramente siltosos. Los bancos oscuros son margas calcáreo-dolomíticas muy bituminosas. Toda esta formación depositada en una plataforma relativamente profunda y aislada contiene numerosos amonites poco fragmentados y restos de peces. (6)

**c) Formación Jumasha:** concordantemente, sobre la formación Pariatambo se encuentra la formación Jumasha. Litológicamente es la más homogénea de las formaciones cretácicas expuestas en el domo de Yauli. Consiste, casi enteramente, de una serie carbonatada dolomítica, masiva y poco fosilífera con escasos lentes de areniscas y sílex, depositada en una plataforma ligeramente confinada y de poca profundidad. Los amonites encontrados pertenecen al Albiano superior-Turoniano. (6)

#### 2.2.4. Geología Estructural

**Plegamiento:** la mina San Cristóbal se encuentra en el flanco occidental de la estructura regional dominante del domo de Yauli, que se extiende longitudinalmente en aproximadamente 35 kilómetros, desde San Cristóbal hasta Morococha, y transversalmente 10 kilómetros; el rumbo promedio de esta estructura es N 40 °O. Es asimétrico, su flanco Este buza entre 30° y 40° mientras su flanco Oeste buza entre 60° y 80°; está conformado por varios anticlinales y sinclinales, de los cuales los anticlinales más importantes son el de Chumpe y el de Yauli (Ultimátum); sus ejes tienen un rumbo que varía entre N 35° y 40° O. (6)

**Fracturamiento:** el fracturamiento en el área de la mina San Cristóbal parece ser el resultado de las fuerzas compresivas e intrusivas que dieron lugar a la formación del domo de Yauli. Probablemente a fines del Cretácico, los plegamientos peruanos con fuerzas de compresión de dirección NE-SO comenzaron a formar el anticlinal Chumpe, a medida que las fuerzas de compresión aumentaban de intensidad durante el plegamiento incaico, los estratos inferiores de caliza resbalaron sobre los volcánicos subyacentes. (6)

#### 2.2.5. Geología Económica

Después de la última etapa del plegamiento Quechua y la formación de las fracturas de tensión, vino el periodo de mineralización; soluciones residuales mineralizantes originadas probablemente de los *stocks* de monzonita cuarcífera, invadieron el área dando lugar a la formación de vetas, mantos y cuerpos; sin embargo, es necesario aclarar el origen de los mantos y cuerpos, fueron rellenados o reemplazados indistintamente por soluciones hidrotermales, a través de canales alimentadores (*feeders*). Todo esto, según los últimos estudios realizados el año 1999 por el Dr. Robert Moritz de la Universidad de Ginebra. (6)

**Vetas:** las vetas o filones fueron formados primordialmente por relleno de fracturas, son mineralizadas las que se desarrollaron a lo largo de fracturas de tensión. Además, las fallas de cizalla contienen mucho panizo, no están bien mineralizadas o pobremente mineralizadas. Se encuentran ubicadas en todo el



presentado; esta data es procesada por el área de recursos, con ayuda del software *Studio 3*, para construir el modelo de recursos de cada estructura. Actualmente, se tiene el modelo de 23 estructuras, de las cuales destacan la veta 658, veta Split 658 y veta 722 debido a sus volúmenes y valores (actualmente se viene trabajando en estas tres estructuras).

### **2.2.7. Reservas Minerales**

La conversión de recursos a reservas es el resultado de un proceso de dilución y evaluación general del modelo de recursos, bajo los parámetros propios de cada operación (modificadores operativos); para ello se considera el método de explotación, el tipo de equipos de trabajo, el relleno, la zonificación geomecánica, los valores *cut off* de operación (fijos y variable), la proyección de precios, entre otros, dando como resultado un inventario de reservas (probadas y probables) y un remanente de recursos (medido, indicado, inferido).

## **2.3. Bases Teóricas**

### **2.3.1. Proceso de Correlación de Variables, Clasificación Geomecánica, Equipo y Columna de Perforación en el Trabajo de Avance**

El estudio de la geomecánica es de interés fundamental para la elección del tipo de equipo y aceros de perforación a utilizar. Esta investigación se basa en el análisis e interpretación de datos de perforación para la mejora continua en la compañía minera Volcán, unidad San Cristóbal.



**Figura 5. Proceso de correlación de variables, clasificación geomecánica, equipo y columna de perforación en el trabajo de avance**

### **2.3.2. Caracterización de la Masa Rocosa en la Unidad Productora San Cristóbal**

En la masa rocosa, la dirección preferencial de avance de las excavaciones está alineada aproximadamente con el N-S o viceversa. Es recomendable, en lo posible, adoptar esta dirección de avance. Por razones de orden técnico, la explotación sigue en dirección de avance casi paralela a las vetas Split 658, 658 y 722, significando condiciones desfavorables para la estabilidad de las excavaciones. Es necesario tomar en cuenta este hecho para adoptar los parámetros geomecánicos del minado. (7)

Los sostenimientos especificados para labores permanentes y temporales no han tomado en cuenta la presencia de cuñas alrededor de la excavación. El análisis estructuralmente controlado ha indicado la formación de cuñas potencialmente inestables en la bóveda de las labores mineras. Particularmente en masas rocosas de calidad Regular B (IIIB RMR 41-50) y superiores, por lo que se ha de tomar en cuenta este hecho para la definición del sostenimiento.

Los resultados del análisis realizado con el Método Gráfico pueden ser utilizados como una primera aproximación para la definición del tamaño de los

tajeos en las vetas Split 658, 658 y 720, en función de la calidad de la masa rocosa, potencia de la estructura mineralizada y buzamiento de esta.

**Tabla 2.**  
**Dimensiones máximas de tajeos - longitud**

Cond. Estab.	Altura de tajeo =							
	16 m	18 m	20 m	23 m	16 m	18 m	20 m	23 m
<b>Veta Split 658</b>								
	Calidad IVA – inclinación 61°				Calidad IIIB – inclinación 61°			
ESS	3	3	3	3	4	4	4	4
ESO	13	12	11	10	20	15	13	12
ECS	24	22	19	16	28	26	21	18
<b>Veta 658</b>								
	Calidad IVA – inclinación 67°				Calidad IIIB – inclinación 67°			
ESS	4	3	3	3	6	5	5	5
ESO	14	12	11	10	24	21	19	15
ECS	22	19	17	14	32	30	27	23
<b>Veta 722</b>								
	Calidad IVA – inclinación 46°				Calidad IIIB – inclinación 46°			
ESS	3	3	3	3	5	4	4	4
ESO	12	10	9	8	20	17	14	12
ECS	20	17	15	12	28	25	22	19

ESS = Estable Sin Sostenimiento; ESO = Estable Sostenimiento Opcional; ECS = Estable Con Sostenimiento obligado  
sr: Significa (sin restricción) que no hay límite de longitud en la superficie analizada para dicha condición de estabilidad.

Los resultados de los análisis realizados tanto con el Método Gráfico de Estabilidad como con los modelamientos numéricos justifican el dimensionamiento geomecánico del minado subterráneo que actualmente se utiliza en la mina San Cristóbal.

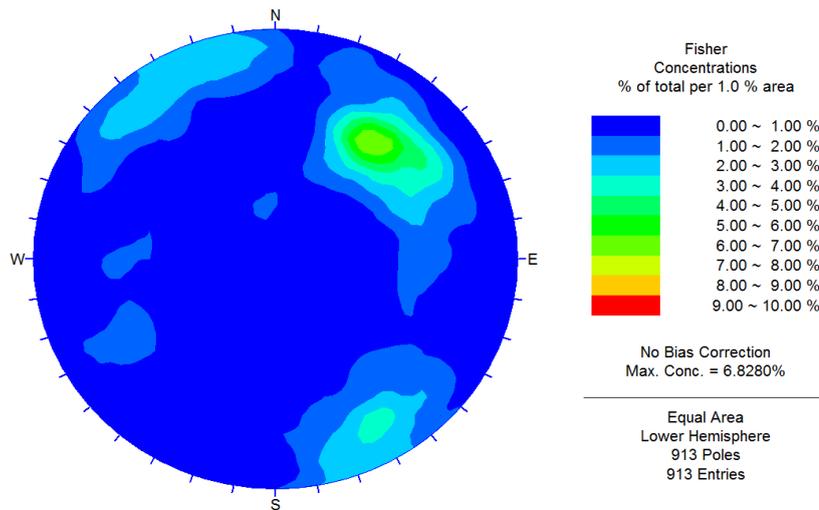
Los ejercicios de selección del método de minado efectuado para las vetas Split 658, 658 y 722, confirman que los métodos de minado que actualmente se utilizan: “banqueo y relleno” (*Bench & Fill - B&F*) y “corte y relleno” (*C&F*) con *breasting*, se adaptan mejor a las condiciones naturales encontradas en el yacimiento, por lo que debe continuar su utilización en la explotación de la mina San Cristóbal.

Los análisis realizados han indicado que cuando las masas rocosas de las cajas de las vetas son de calidad Regular A y Regular B, las dimensiones actuales señaladas para los tajeos por B&F de ambas vetas son adecuadas para lograr condiciones de estabilidad satisfactorias, obviamente con el

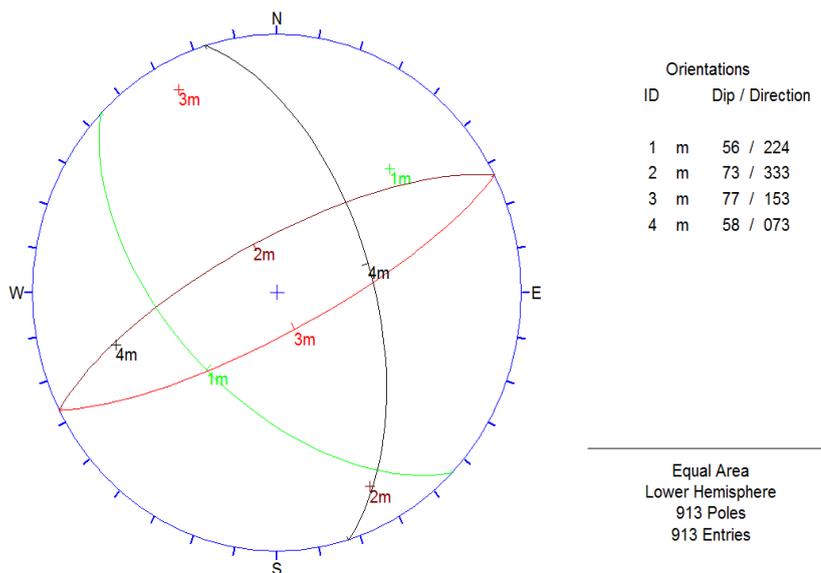
correspondiente sostenimiento de los subniveles. Para el caso de las cajas con roca Mala A las dimensiones actuales están al límite superior.

### Distribución de discontinuidades

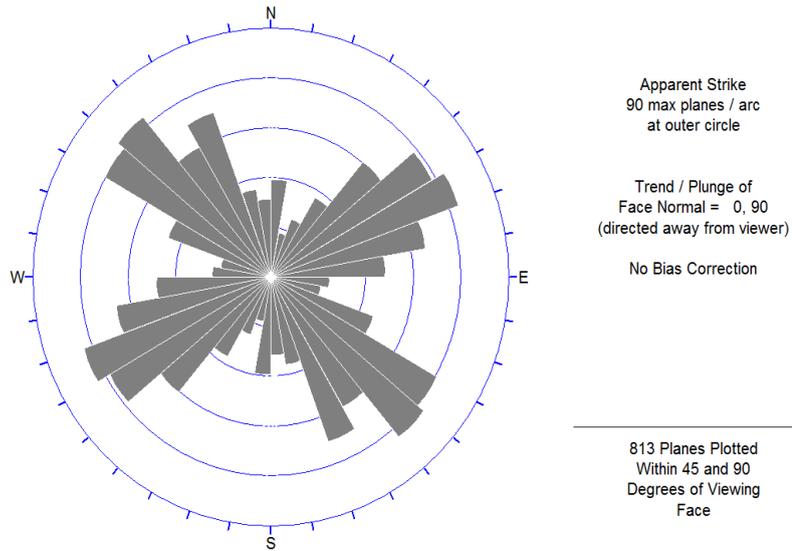
Se ha realizado una interpretación de todos los datos estructurales de las discontinuidades registradas durante el mapeo geomecánico teniendo presente las distintas vetas y en los diferentes niveles de la mina.



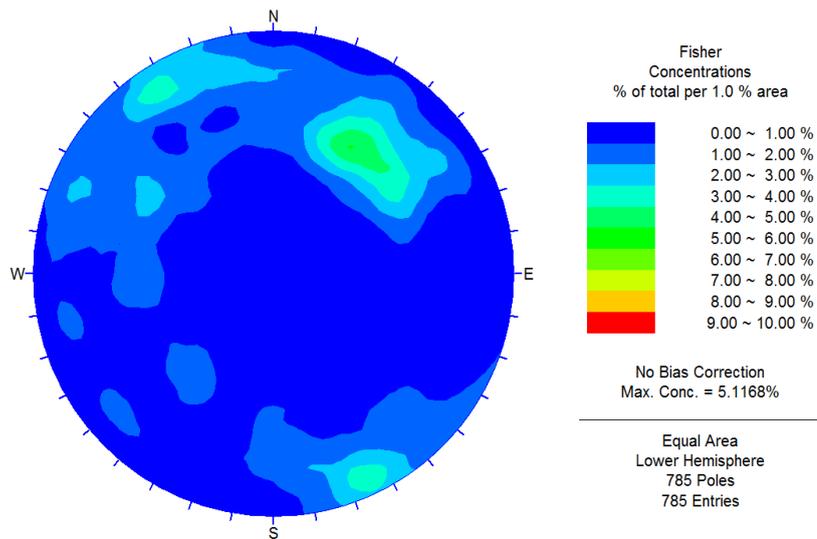
**Figura 6. Veta Split 658 - Diagrama estereográfico de contornos del compuesto de discontinuidades**



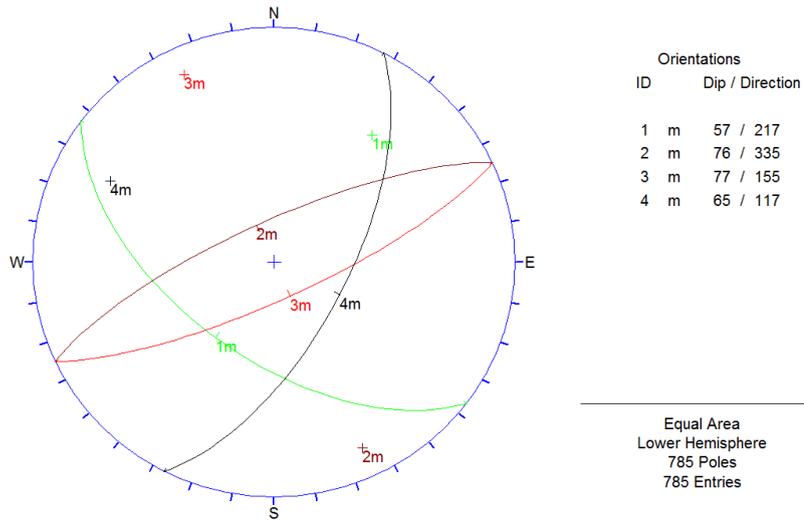
**Figura 7. Diagrama estereográfico de planos principales del compuesto de discontinuidades**



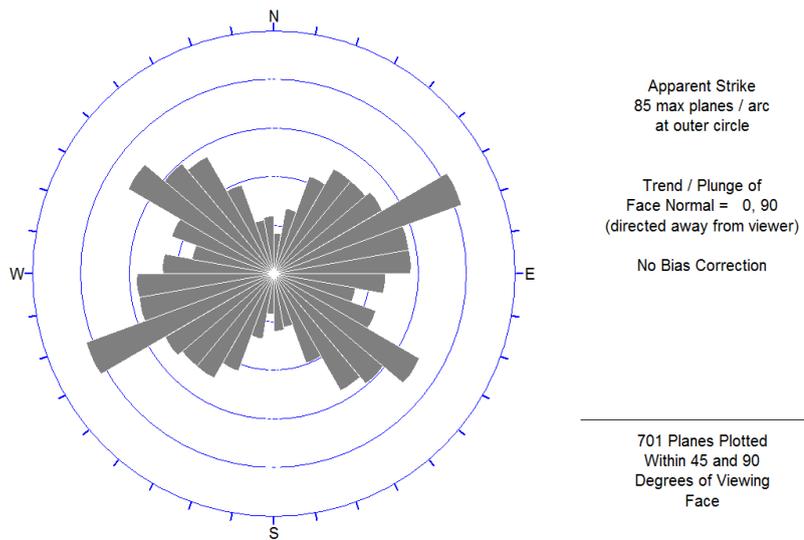
**Figura 8. Diagrama de roseta del compuesto de discontinuidades**



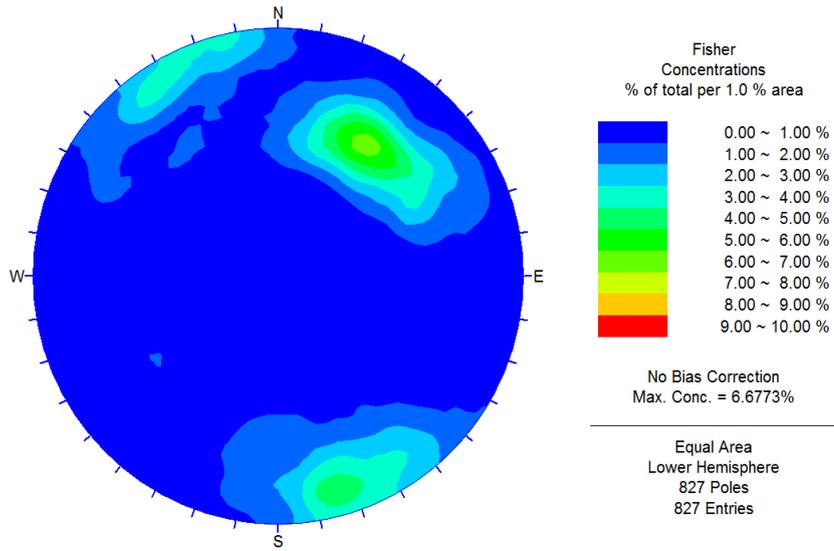
**Figura 9. Veta 658 - Diagrama estereográfico de contornos del compuesto de discontinuidades**



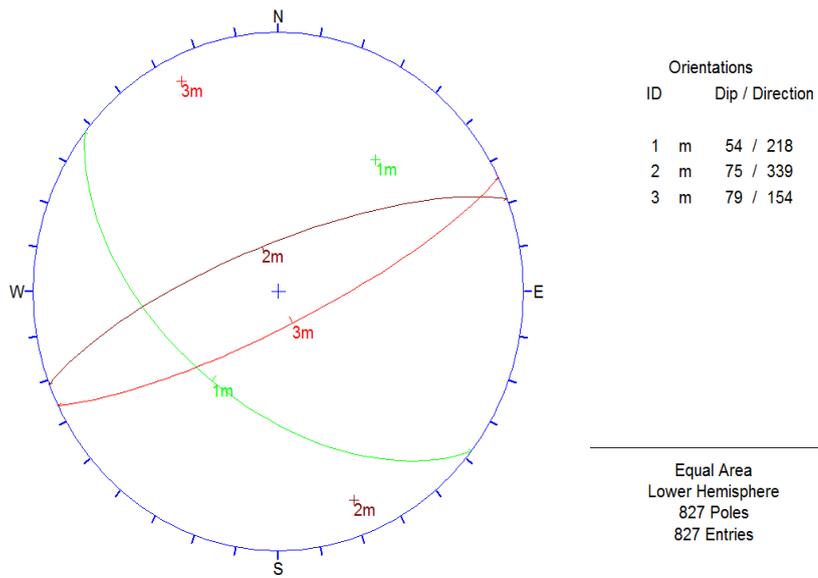
**Figura 10. Diagrama estereográfico de planos principales del compuesto de discontinuidades**



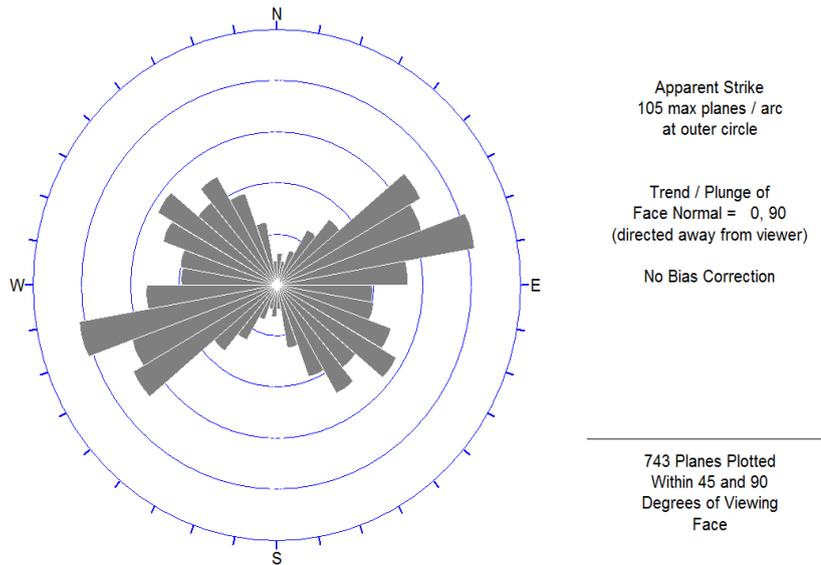
**Figura 11. Diagrama de roseta del compuesto de discontinuidades**



**Figura 12. Diagrama estereográfico de contornos del compuesto de discontinuidades**



**Figura 13. Diagrama estereográfico de planos principales del compuesto de discontinuidades**



**Figura 14. Diagrama de roseta del compuesto de discontinuidades**

### 2.3.3. Métodos de Minado

En la unidad minera San Cristóbal, los Métodos de Explotación usados son el *over cut and fill (breasting)* y el *bench and fill* (taladros largos). (7)

#### Ciclo de minado

##### A. Ciclo de minado *over cut and fill (breasting)*

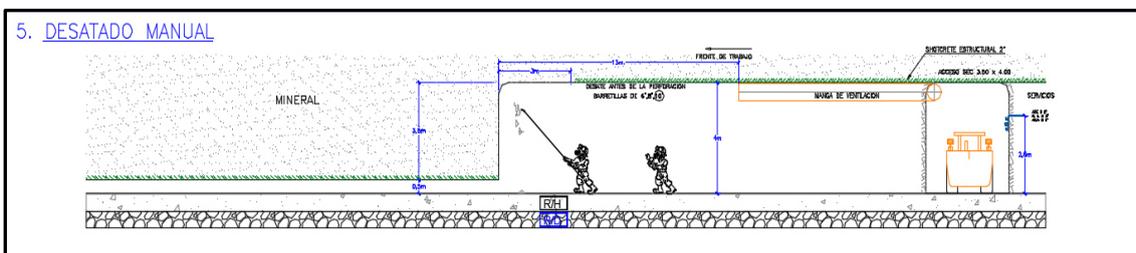
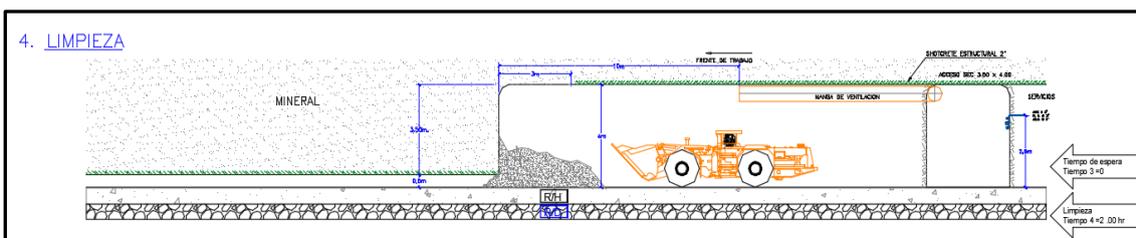
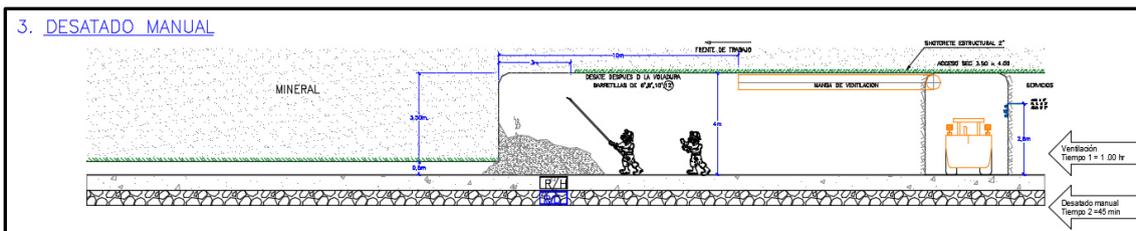
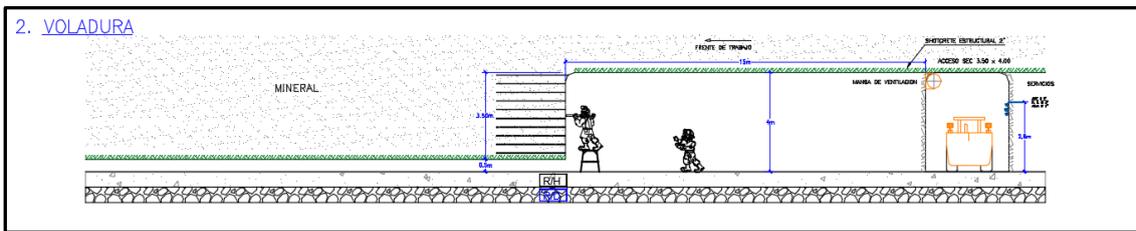
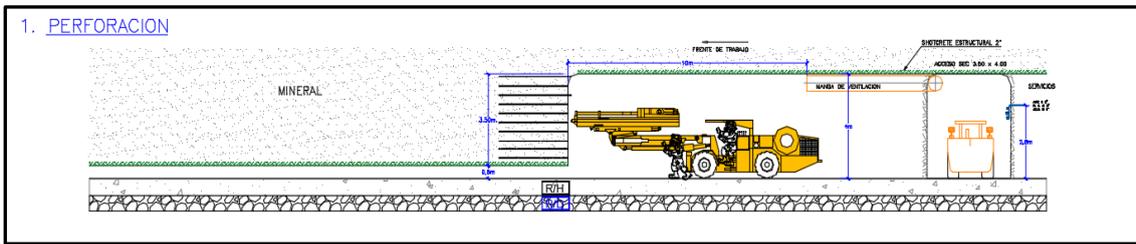
El ciclo de minado es perforación, voladura, limpieza y sostenimiento. Una vez terminado el minado de los 50 m de longitud por cada ala (100 m en total) se inicia el relleno detrítico e hidráulico al 50% c/u respectivamente. Para completar el relleno se debe dejar una luz de 0.5 m de cara libre que sirve para el minado del siguiente corte. (7)

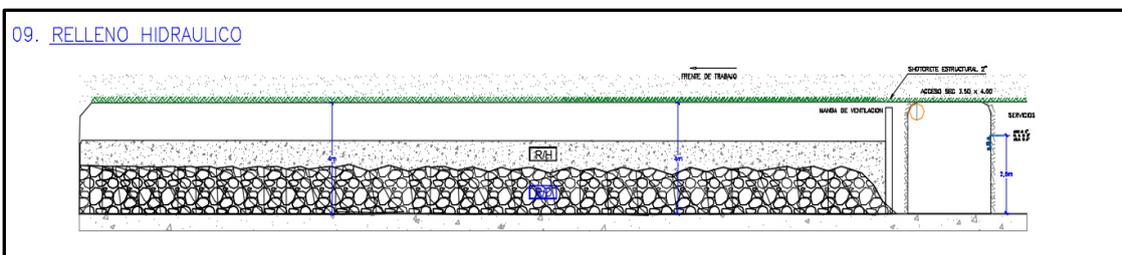
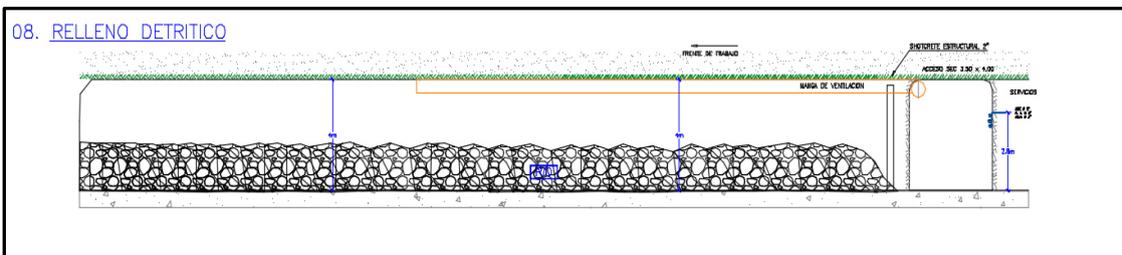
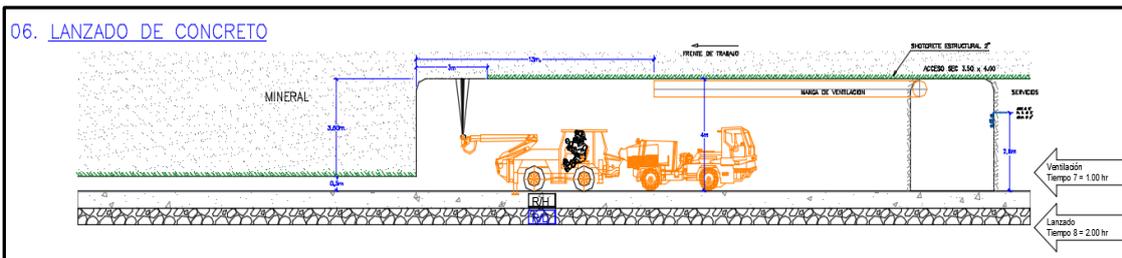
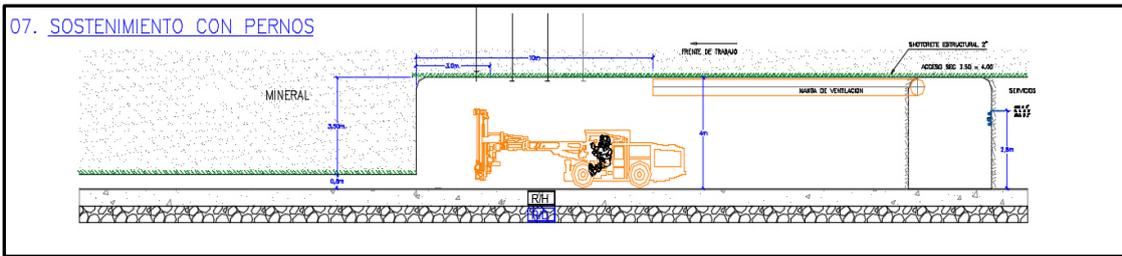
- Para potencias menores a 3.8 m, la sección de minado es 3.8 m x 4.0 m
- Para potencias mayores a 3.8 m se hace el ancho de minado al ancho de la veta

El factor de dilución promedio es de 40%. El avance promedio por disparo es de 3.0 m.

Cada disparo proporciona un promedio de 150 toneladas de mineral. Este mineral es acarreado hacia las cámaras de acumulación en los *bypass*, luego es

transportado en los volquetes de 25 toneladas de capacidad hacia los echaderos o a superficie. (7)





**Figura N. 15 Ciclo Minado De Over Cut and Fill (Breasting)**

## B. Ciclo de minado *bench and fill*

El ciclo de minado considera la perforación la cual deberá realizarse previa la explotación del tajo, para lo cual los *Simbas* deberán acumular taladros en toda el ala a explotarse, una vez culminada la perforación, se procederá con la voladura (disparo), iniciando por el *slot* (cara libre), el cual se realiza en el extremo del tajo pegado al acceso de relleno, y luego con los taladros de producción, cada disparo será de 3 secciones como mínimo; la limpieza se realizará con *Scoop* de 6 yd<sup>3</sup> por el nivel inferior y será realizada con telemando

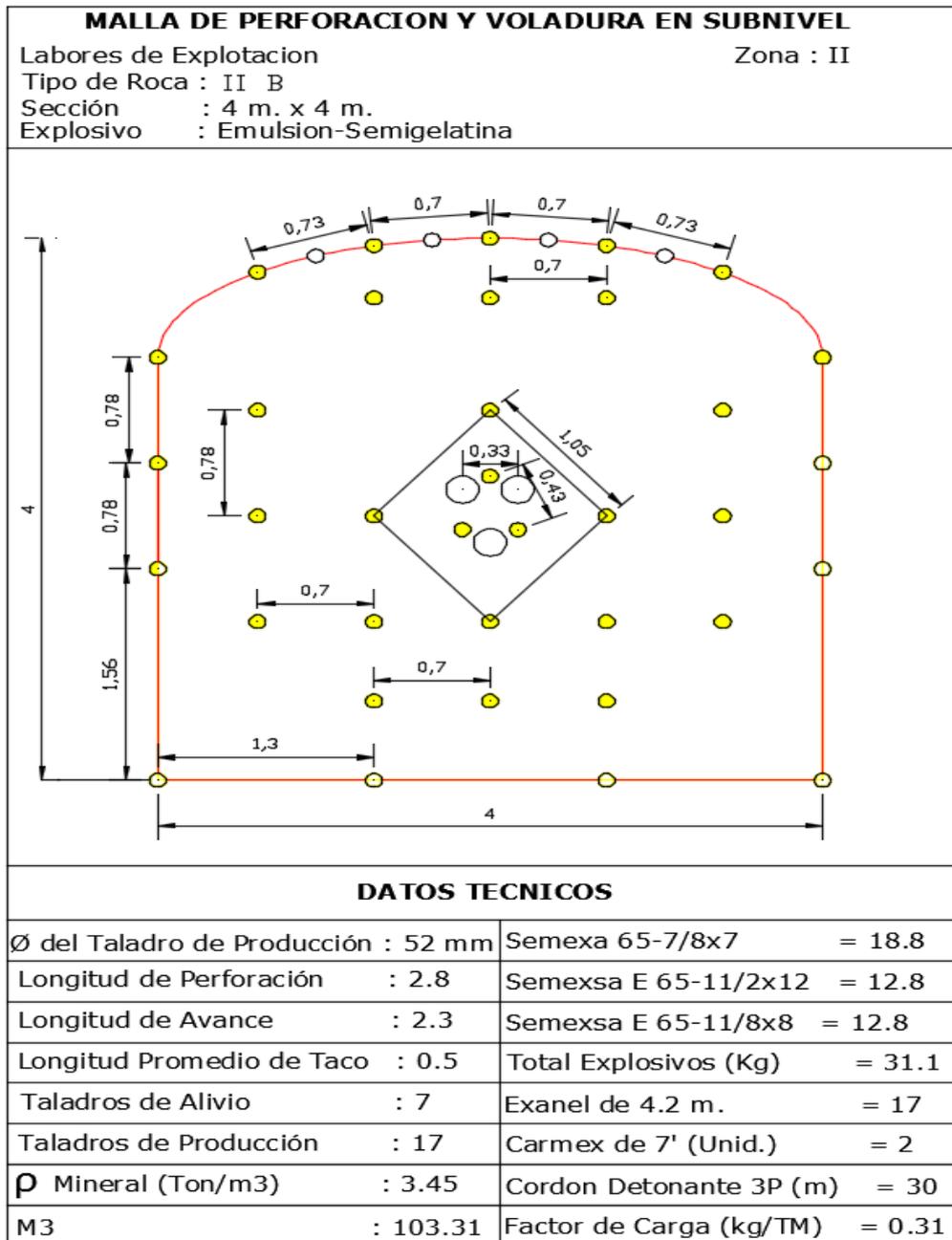
en el momento que ingrese a limpiar, y relleno (detrítico) en forma sistemática después de cada disparo. (7)

**Ciclo minado de *bench and fill*:**

1. Perforación en preparación de subniveles
2. Desate en preparación de subniveles
3. Limpieza en preparación de subniveles
4. Desate antes del lanzado de concreto
5. Sostenimiento con *shotcrete*
6. Sostenimiento con pernos
7. Perforación de taladros (P-1 al P-0)
8. Perforación de *slot* (cara libre)
9. Voladura del *slot* (cara libre)
10. Limpieza del *slot* (cara libre)
11. Voladura de las primeras secciones (lado W)
12. Limpieza de las primeras secciones (lado W)
13. Relleno de las primeras secciones (lado W)
14. Voladura de las primeras secciones (lado E)
15. Limpieza de las primeras secciones (lado E)
16. Limpieza y relleno detrítico

**C. Perforación**

**Perforación *over cut and fill (breasting)*:** la perforación se realiza en sentido horizontal paralelo a la cara libre con Jumbo electrohidráulico de uno y dos brazos con broca de 52 mm y barra de 14 pies, siendo la perforación efectiva 12 pies; la altura del frente a perforar es de 4 metros que, sumados a la cara libre (0.5 metros) da como resultado una altura total de labor de 4.5 metros, el ancho mínimo es de 3.8 metros para anchos de veta menores a esta dimensión. (7)



**Figura 16. Mallas de perforación - breasting**

### 2.3.4. Evaluación de Tiempos de Perforación de los Equipos Jumbos *Boomer S1D*

El proceso de perforación que realizan estos equipos, analizando los tiempos que se encuentran registrados en los reportes se detectarán demoras que tienen un gran impacto en la utilización de estos equipos. Y se verá cómo estos equipos tienen una disponibilidad dentro de lo esperado, pero una utilización baja debido a diversos factores del ciclo de minado y por ende de operación y planeamiento. (8)

La importancia de estos equipos es fundamental durante el ciclo de minado, por ello el estudiar sus demoras es importante ya que permitiría reducir los tiempos muertos (demoras) que ocurren con mayor frecuencia.

Para ello, se hizo seguimiento a un jumbo y a un simba, donde se pudo conocer un poco más a detalle qué factores hacen que la utilización de estos equipos sea baja. Se mostrarán los análisis de tiempos de los equipos seguidos y se contrastará con el análisis de tiempos de los reportes de los otros equipos acumulado a la fecha en el presente año.

#### **A. Equipo utilizado en la unidad productora San Cristóbal *jumbos Boomer S1D***

Como se sabe, los jumbos son equipos de perforación horizontal, utilizados para realizar taladros de forma tal que permita realizar la voladura de rocas. En la mina San Cristóbal, en el 2015, se tenía una mayor gama de equipos y contratistas, sin embargo, debido a la coyuntura actual de los precios de los metales, ha llevado a un redimensionamiento de la flota de equipos por parte de planeamiento, esto se ve reflejado en la flota actual que se tiene hasta el mes de marzo, donde solo hay equipos de Volcan (compañía) y AESA (ECM).

En el presente informe solo se hará un análisis de los jumbos de compañía, no de los ECM, debido a que no se aplica un pago a AESA por equipo, sino por avances. Los equipos que utiliza la compañía son jumbos frontoneros de un brazo (*Boomer S1*) arrendados a la contratista Atlas Copco. Cada equipo dispone de un operador (compañía) y una ayudante (Tecnomin Data). Actualmente se tienen los siguientes equipos y su distribución por zonas.

**Tabla 3.**

**Equipos de perforación de la unidad productora San Cristóbal**

N.º	Equipo	Propiedad	Zona	Estado	Operadores
<b>Jumbos</b>					
1	J-124	Volcan	II	Stand by	3
2	J-141	Volcan	I	OP	3
3	J-143	Volcan	I	OP	3
4	J-144	Volcan	II	OP	3
5	J-146	Volcan	I	OP	3
6	JAЕ-02	AESA	prof	OP	3
7	JAЕ-09	AESA	prof	OP	3
8	JAЕ-10	AESA	prof	OP	3
9	JAЕ-14	AESA	prof	OP	3

Epiroc Perú S. A. se encarga de su mantenimiento correctivo, preventivo y programado, mientras que *rock drilling tools* de la empresa Epiroc Perú S. A. se encarga de proveer los accesorios de perforación necesarios como son barra, *couple*, broca y *shank*.

Como primera parte se presenta el seguimiento realizado al Jumbo J-146, que actualmente opera en la zona alta. El seguimiento se realizó a 4 guardias de día (del 20 al 24 de marzo).

**B. Seguimiento al jumbo J-146 - fecha: 20-3-2019**

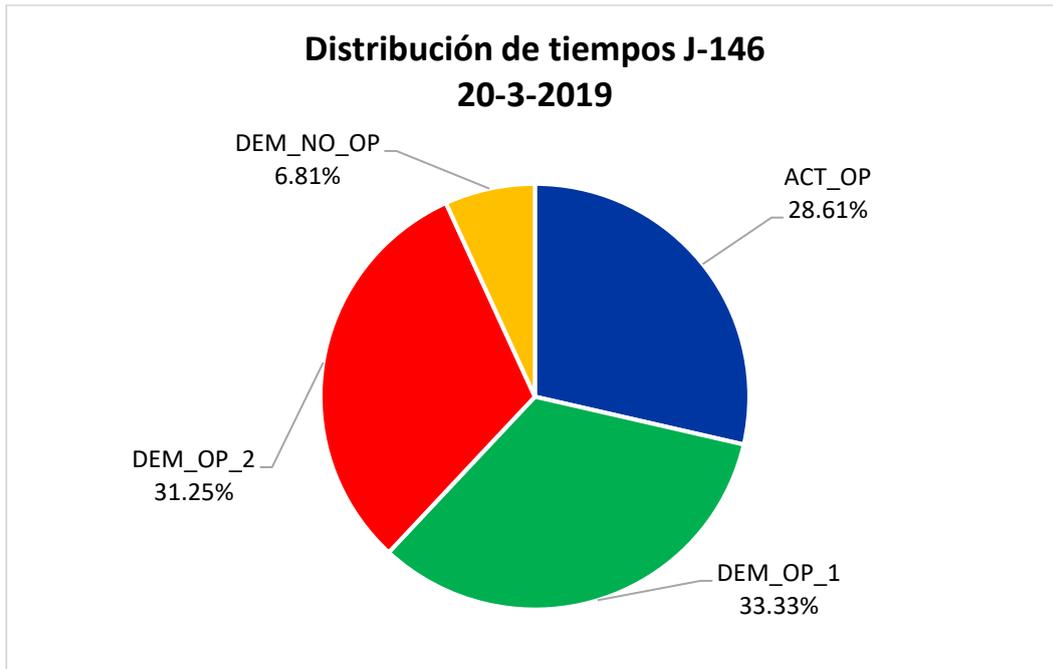
**Tabla 4.**

**Seguimiento al jumbo J-146 – Boomer S1D (20-3-2019)**

H. inic.	H. fin	Actividad	Horas	Código	Tipo
08:00	08:15	Pare	0.25	205	DEM_OP_1
08:15	09:00	Ingreso a mina	0.75	200	DEM_OP_1
09:00	09:20	Espera de orden de trabajo	0.33	301	DEM_OP_2
09:20	10:00	Búsqueda de equipo por mal reporte	0.67	601	DEM_OP_2
10:00	10:15	Chequeo de máquina	0.25	202	DEM_OP_1
10:15	10:35	Traslado de equipo a labor	0.33	198	ACT_OP
10:35	10:50	Espera de labor	0.25	307	DEM_OP_2
10:50	11:00	Instalación de equipo	0.17	305	DEM_OP_2
11:00	11:40	Perforación de <i>breasting</i>	0.67	101	ACT_OP
11:40	11:45	Desinstalación de equipo	0.08	601	DEM_OP_2
11:45	13:30	Refrigerio	1.75	203	DEM_OP_1
13:30	13:50	Traslado de equipo a labor	0.33	198	ACT_OP
13:50	15:55	Espera de labor	2.08	307	DEM_OP_2
15:55	16:00	Instalación de equipo	0.08	305	DEM_OP_2
16:00	18:06	Perforación de frente	2.10	103	ACT_OP
18:06	18:11	Desinstalación de equipo	0.08	601	DEM_OP_2
18:11	19:00	Lavado de equipo	0.82	602	DEM_NO_OP
19:00	20:00	Salida de mina	1.00	204	DEM_OP_1

Tipo	Horas	%
ACT_OP	3.43	28.61
DEM_OP_1	4.00	33.33
DEM_OP_2	3.75	31.25
DEM_NO_OP	0.82	6.81
Total	12.00	

Se tiene un tiempo total empleado trabajado del equipo *jumbo Boomer* S1D de 12 horas



**Figura 17. Distribución de tiempos J-146 Boomer S1D – 20-3-2019**

**Interpretación:** la mayor influencia de la actividad de perforación es la demora operativa 1 con 33.33% que representa las 4 horas del total de tiempo de perforación.

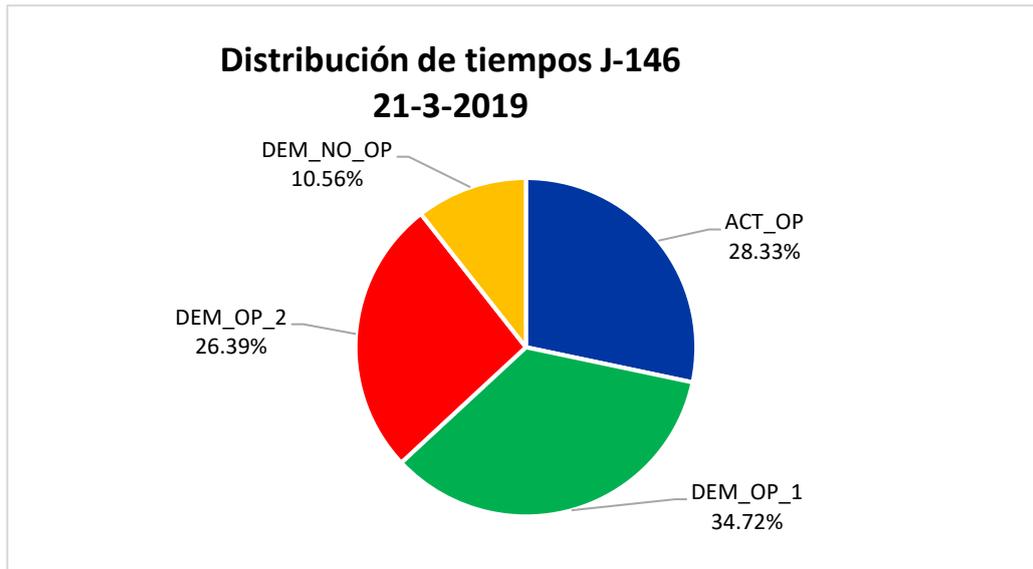
## C. Seguimiento al jumbo J-146 - 21-3-2019

Tabla 5.  
Seguimiento al jumbo J-146 – Boomer S1D (21-3-2019)

H. inic.	H. fin	Actividad	Horas	Código	Tipo
08:00	08:30	Llegada a Huaripampa	0.50	201	DEM_OP_1
08:30	09:00	Ingreso a mina	0.50	200	DEM_OP_1
09:00	09:40	Espera de orden de trabajo	0.67	301	DEM_OP_2
09:40	09:50	Chequeo de máquina	0.17	202	DEM_OP_1
09:50	10:00	Cambio de barra	0.17	306	DEM_OP_2
10:00	10:20	Traslado de equipo a labor	0.33	198	ACT_OP
10:20	10:30	Instalación de equipo	0.17	305	DEM_OP_2
10:30	10:55	Perforación de <i>breasting</i>	0.42	101	ACT_OP
10:55	11:00	Desinstalación de equipo	0.08	601	DEM_OP_2
11:00	11:10	Carguío de taladros	0.17	206	DEM_OP_1
11:10	11:20	Traslado de equipo a labor	0.17	198	ACT_OP
11:20	11:30	Espera de labor	0.17	307	DEM_OP_2
11:30	13:20	Refrigerio	1.83	203	DEM_OP_1
13:20	13:40	Regreso a labor	0.33	602	DEM_NO_OP
13:40	14:35	Espera de labor	0.92	307	DEM_OP_2
14:35	14:55	Instalación de equipo	0.33	305	DEM_OP_2
14:55	15:05	Marcado de frente	0.17	601	DEM_OP_2
15:05	15:55	Perforación de frente	0.83	103	ACT_OP
15:55	16:21	Mtto correctivo ( <i>clank</i> )	0.43	401	DEM_NO_OP
16:21	17:20	Perforación de frente	0.98	103	ACT_OP
17:20	17:30	Desinstalación de equipo	0.17	601	DEM_OP_2
17:30	18:00	Traslado de equipo a labor	0.50	198	ACT_OP
18:00	18:05	Instalación de equipo	0.08	305	DEM_OP_2
18:05	18:25	Perforación de <i>breasting</i>	0.33	101	ACT_OP
18:25	18:30	Desinstalación de equipo	0.08	601	DEM_OP_2
18:30	18:45	Carguío de taladros	0.25	206	DEM_OP_1
18:45	19:15	Lavado de equipo	0.50	602	DEM_NO_OP
19:15	20:00	Salida de mina	0.75	204	DEM_OP_1

Tipo	Horas	%
ACT_OP	3.40	28.33
DEM_OP_1	4.17	34.72
DEM_OP_2	3.17	26.39
DEM_NO_OP	1.27	10.56
<b>Total</b>	<b>12.00</b>	

Se tiene un tiempo total empleado y trabajado del equipo *jumbo Boomer S1D* de 12 horas.

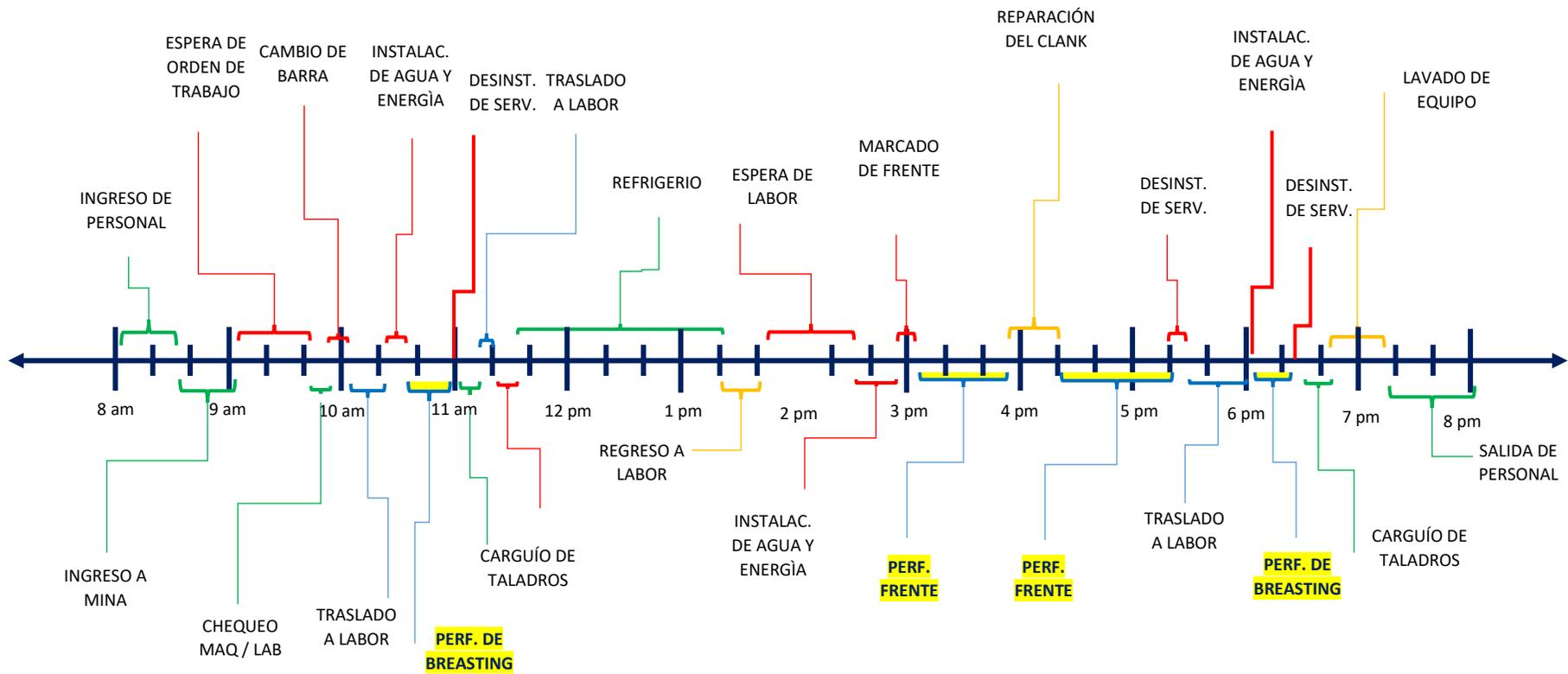


**Figura 18. Distribución de tiempos J-146 Boomer S1D – 21-3-2019**

**Interpretación:** la mayor influencia de la actividad de perforación es la demora operativa 1 con 34.72% que representa las 4.17 horas del total de tiempo de perforación.

#### **D. Línea de tiempo del seguimiento al *jumbo* J-146 – *Boomer S1D***

En la siguiente figura se presenta la línea de seguimiento de la perforación con el equipo jumbo modelo *Boomer S1D* de todas las actividades desde el inicio al final.



Actividad	Act. op	Dem. op 1	Dem. op 2	Dem. no op.
Color				

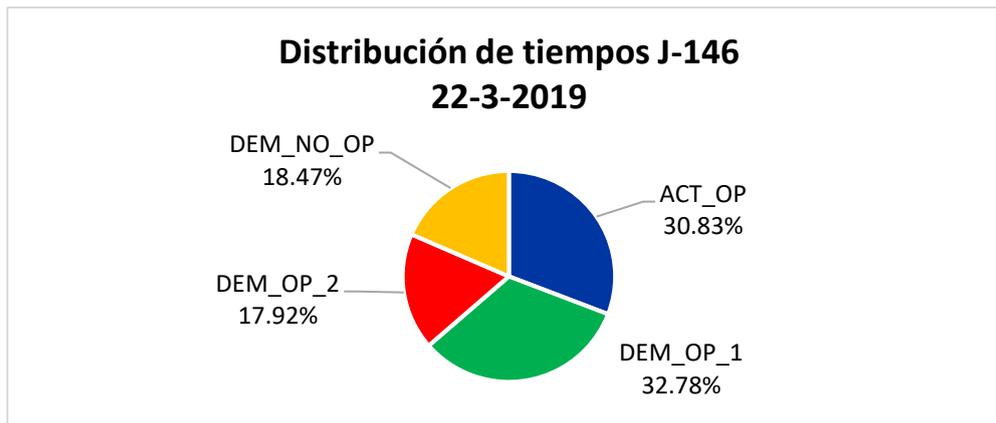
Figura 19. Línea de tiempo del seguimiento al jumbo J-146 - Boomer S1D

**Tabla 6.**  
**Seguimiento al jumbo J-146 – Boomer S1D. 22-3-2019**

H. inic.	H. fin	Actividad	Horas	Código	Tipo
08:00	08:11	Llegada a Huaripampa	0.18	201	DEM_OP_1
08:11	08:45	Ingreso a mina	0.57	200	DEM_OP_1
08:45	08:56	Espera de orden de trabajo	0.18	301	DEM_OP_2
08:56	09:06	Chequeo de máquina	0.17	202	DEM_OP_1
09:06	09:15	Traslado de equipo a labor	0.15	198	ACT_OP
09:15	09:30	Espera de labor	0.25	307	DEM_OP_2
09:30	10:30	Abastecimiento de combustible	1.00	302	DEM_OP_2
10:30	10:50	Chequeo de labor/ inst. de equipo	0.33	202	DEM_OP_1
10:50	11:12	Perforación de <i>breasting</i>	0.37	101	ACT_OP
11:12	12:15	Reventó manguera de aceite	1.05	401	DEM_NO_OP
12:15	13:40	Refrigerio	1.42	203	DEM_OP_1
13:40	14:00	Regreso a labor	0.33	602	DEM_NO_OP
14:00	14:45	Perforación de <i>breasting</i>	0.75	101	ACT_OP
14:45	14:50	Desinstalación de equipo	0.08	601	DEM_OP_2
14:50	15:15	Traslado de equipo a labor	0.42	198	ACT_OP
15:15	15:30	Chequeo de labor	0.25	202	DEM_OP_1
15:30	15:38	Instalación de equipo	0.13	305	DEM_OP_2
15:38	16:12	Perforación de <i>breasting</i>	0.57	101	ACT_OP
16:12	16:17	Desinstalación de equipo	0.08	601	DEM_OP_2
16:17	16:24	Traslado de equipo a labor	0.12	198	ACT_OP
16:24	16:30	Chequeo de labor	0.10	202	DEM_OP_1
16:30	16:41	Inst. de equipo / marcado de frente	0.18	305	DEM_OP_2
16:41	18:10	Perforación de frente	1.48	103	ACT_OP
18:10	18:15	Desinstalación de equipo	0.08	601	DEM_OP_2
18:15	18:30	Carguío de taladros	0.25	206	DEM_OP_1
18:30	19:20	Lavado de equipo	0.83	602	DEM_NO_OP
19:20	20:00	Salida de mina	0.67	204	DEM_OP_1

Tipo	Horas	%
ACT_OP	3.70	30.83
DEM_OP_1	3.93	32.78
DEM_OP_2	2.15	17.92
DEM_NO_OP	2.22	18.47
<b>Total</b>	<b>12.00</b>	

Se tiene un tiempo total empleado y trabajado del equipo *jumbo Boomer S1D* de 12 horas.



**Figura 20. Distribución de tiempos J-146 Boomer S1D – 21-3-2019**

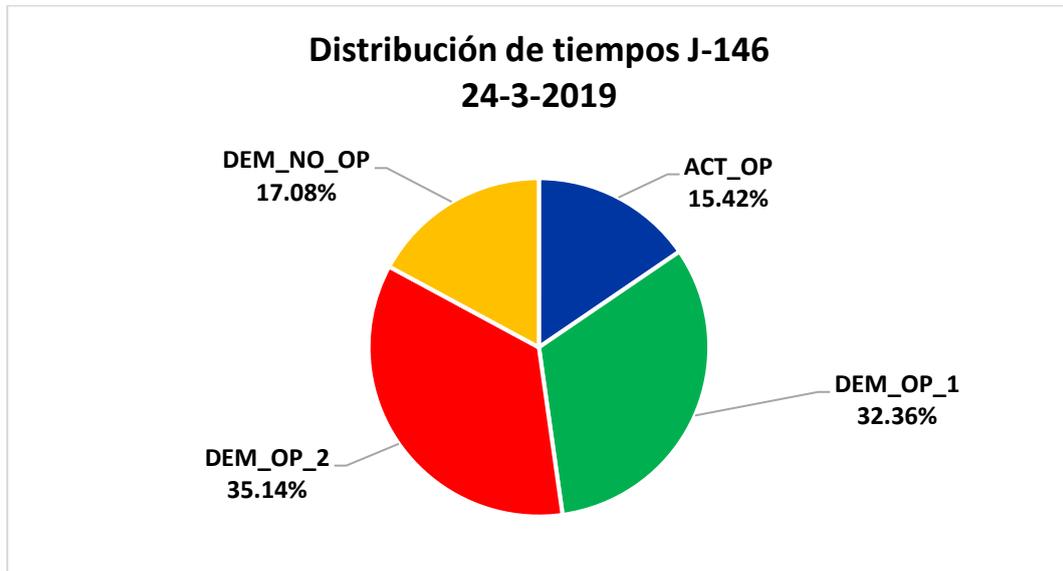
**Interpretación:** la mayor influencia de la actividad de perforación es la demora operativa 1 con 32.78% que representa las 3.93 horas del total de tiempo de perforación.

**Tabla 7.**  
**Seguimiento al jumbo J-146 – Boomer S1D. 24-3-2019**

H. inic.	H. fin	Actividad	Horas	Código	Tipo
08:00	08:15	Llegada a Huaripampa	0.25	201	DEM_OP_1
08:15	09:00	Ingreso a mina	0.75	200	DEM_OP_1
09:00	09:20	Espera de orden de trabajo	0.33	301	DEM_OP_2
09:20	09:40	Chequeo de máquina	0.33	202	DEM_OP_1
09:40	10:00	Traslado de equipo a labor	0.33	198	ACT_OP
10:00	11:45	Espera de labor	1.75	307	DEM_OP_2
11:45	11:52	Inst. de equipo / marcado de frente	0.12	305	DEM_OP_2
11:52	12:15	Reparación de manguera de agua	0.38	401	DEM_NO_OP
12:15	13:05	Refrigerio	0.83	203	DEM_OP_1
13:05	13:25	Regreso a labor	0.33	602	DEM_NO_OP
13:25	13:30	Instalación de equipo	0.08	305	DEM_OP_2
13:30	14:05	Perforación de <i>breasting</i>	0.58	101	ACT_OP
14:05	14:10	Desinstalación de equipo	0.08	601	DEM_OP_2
14:10	14:20	Traslado de equipo a labor	0.17	198	ACT_OP
14:20	14:30	Chequeo de labor	0.17	202	DEM_OP_1
14:30	16:05	Espera de labor	1.58	307	DEM_OP_2
16:05	16:15	Instalación de equipo	0.17	305	DEM_OP_2
16:15	17:01	Perforación de sellado	0.77	106	ACT_OP
17:01	17:07	Desinstalación de equipo	0.10	601	DEM_OP_2
17:07	17:40	Carguío de taladros	0.55	206	DEM_OP_1
17:40	18:30	Lavado de equipo	0.83	602	DEM_NO_OP
18:30	19:00	Espera de bus	0.50	602	DEM_NO_OP
19:00	20:00	Salida de mina	1.00	204	DEM_OP_1

Tipo	Horas	%
ACT_OP	1.85	15.42
DEM_OP_1	3.88	32.36
DEM_OP_2	4.22	35.14
DEM_NO_OP	2.05	17.08
<b>Total</b>	<b>12.00</b>	

Se tiene un tiempo total empleado y trabajado del equipo *jumbo Boomer* S1D de 12 horas.



**Figura 21. Distribución de tiempos J-146 Boomer S1D – 21-3-2019**

**Interpretación:** la mayor influencia de la actividad de perforación es la demora operativa 2 con 35.14% que representa las 5.14 horas del total de tiempo de perforación.

### **E. Resumen de actividades del jumbo J-146 del 20 al 24 de marzo – guardia día**

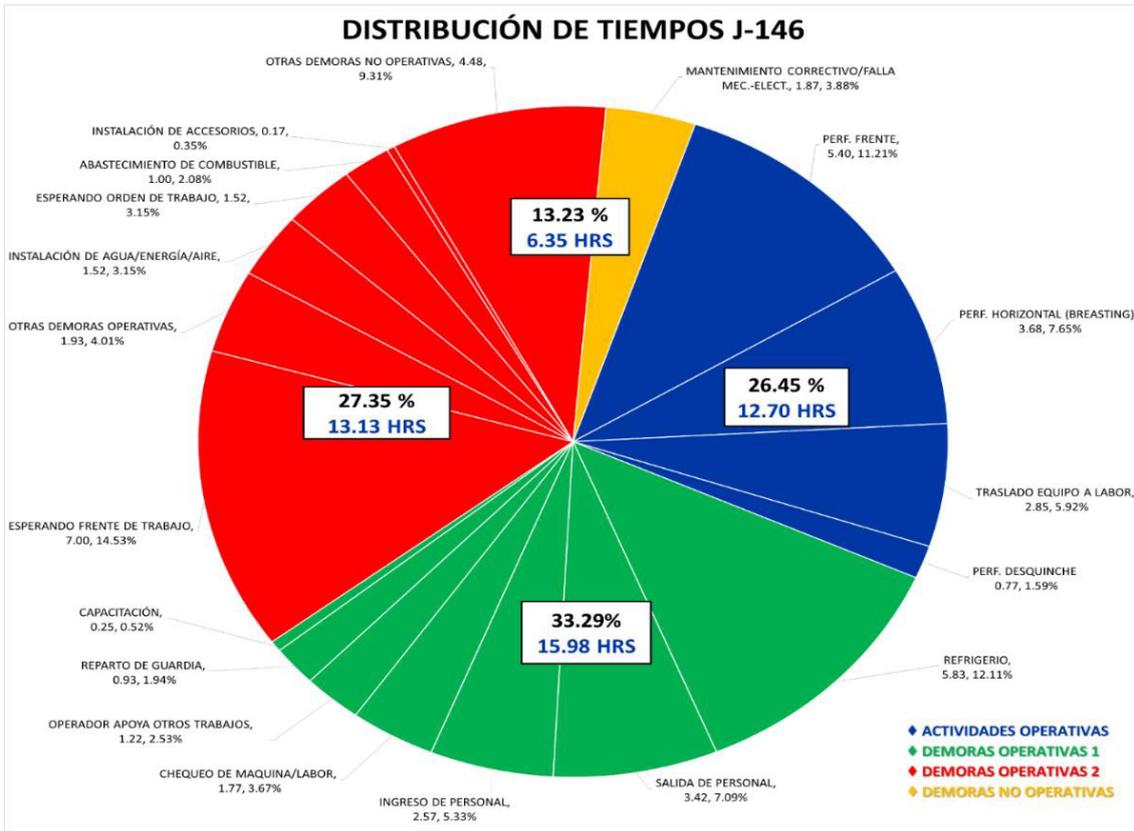
El presente cuadro muestra las actividades codificadas según reporte, más el detalle de lo que se pudo apreciar en cuanto a sus actividades durante los 4 días y tener un mejor control de tiempos del equipo.

**Tabla 8.**

**Resumen de actividades del jumbo J-146 del 20 al 24 de marzo – Guardia día**

Tipo	Código	Actividad	Horas
ACT_OP	101	Perforación de <i>breasting</i>	3.68
	103	Perforación de frente	5.40
	106	Perforación de sellado	0.77
	198	Traslado de equipo a labor	2.85
Total ACT_OP			12.70
DEM_OP_1	200	Ingreso a mina	2.57
	201	Llegada a Huaripampa	0.93
	202	Chequeo de labor	0.52
		Chequeo de labor/ instalación de equipo	0.33
		Chequeo de máquina	0.92
	203	Refrigerio	5.83
	204	Salida de mina	3.42
	205	Pare	0.25
206	Carguío de taladros	1.22	
Total DEM_OP_1			15.98
DEM_OP_2	301	Espera de orden de trabajo	1.52
	302	Abastecimiento de combustible	1.00
	305	Instalación de equipo	1.22
		Instalación de equipo / marcado de frente	0.30
	306	Cambio de barra	0.17
	307	Espera de labor	7.00
	601	Búsqueda de equipo por mal reporte	0.67
		Desinstalación de equipo	0.93
	Marcado de frente	0.17	
Total DEM_OP_2			12.97
DEM_NO_OP	401	Mtto. correctivo (reventó manguera de aceite)	1.05
		Reparación de manguera de agua	0.38
		Mtto. correctivo ( <i>clank</i> )	0.43
	602	Espera de bus	0.50
		Lavado de equipo	2.98
	Regreso a labor	1.00	
Total DEM_NO_OP			6.35
Total general			48.00

Se tiene un tiempo total empleado y trabajado del equipo *jumbo Boomer* S1D de 48 horas.



**Figura 22. Distribución de tiempos J-146 Boomer S1D del 20 al 24 de marzo – guardia día**

**Interpretación:** la mayor influencia de la actividad de perforación es la demora operativa 1 con 32.29% que representa las 15.98 horas del total de tiempo de perforación.

El siguiente cuadro muestra los que son las actividades anotadas como parte del reporte, es decir, se hace uso de los estándares para actividades que poseen los reportes diarios.

**Tabla 9.**  
**Estándares para actividades que poseen los reportes diarios**

Código	Tipo	Estándar de reporte de actividades	h	%	% acum.
307	DEM_OP_2	Esperando frente de trabajo	7.00	14.58	14.58
203	DEM_OP_1	Refrigerio	5.83	12.15	26.74
103	ACT_OP	Perf. frente	5.40	11.25	37.99
602	DEM_NO_OP	Otras demoras no operativas	4.48	9.34	47.33
101	ACT_OP	Perf. horizontal ( <i>breasting</i> )	3.68	7.67	55.00
204	DEM_OP_1	Salida de personal	3.42	7.12	62.12
198	ACT_OP	Traslado equipo a labor	2.70	5.63	67.74
200	DEM_OP_1	Ingreso de personal	2.57	5.35	73.09
401	DEM_NO_OP	Mantenimiento correctivo/falla mec.-eléct.	1.87	3.89	76.98
601	DEM_OP_2	Otras demoras operativas	1.77	3.68	80.66
202	DEM_OP_1	Chequeo de maquina/labor	1.77	3.68	84.34
305	DEM_OP_2	Instalación de agua/energía/aire	1.52	3.16	87.50
301	DEM_OP_2	Esperando orden de trabajo	1.52	3.16	90.66
206	DEM_OP_1	Operador apoya otros trabajos	1.22	2.53	93.19
302	DEM_OP_2	Abastecimiento de combustible	1.00	2.08	95.28
201	DEM_OP_1	Reparto de guardia	0.93	1.94	97.22
106	ACT_OP	Perf. desquinche	0.77	1.60	98.82
205	DEM_OP_1	Capacitación	0.25	0.52	99.34
306	DEM_OP_2	Instalación de accesorios	0.17	0.35	99.69
303	DEM_OP_2	Traslado de equipo por falta de labor	0.15	0.31	100
Total general			48.00	100	

En este diagrama se observa que el mayor tiempo que dedicó este equipo fue a la espera de frente de trabajo, seguido por el refrigerio que tomó un poco más de lo normal y luego recién viene lo que es una actividad netamente operativa, como lo es la perforación de frentes. Se observa que hay otras demoras operativas, lo cual depende muchas veces del criterio del operador, pero de lo que se ha clasificado como otras demoras más adelante se encontrará el detalle.

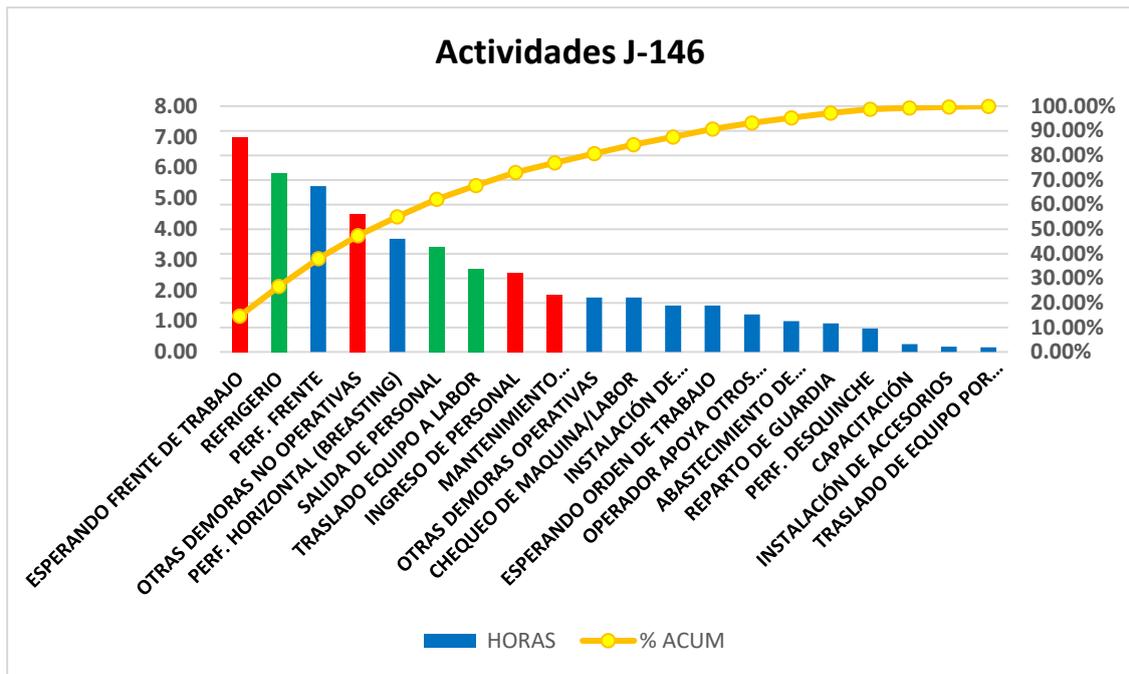


Figura 23. Actividad J – 146 clasificado como otras demoras

## F. Análisis de demoras operativas 2 - J-146

Se presenta el análisis de las demoras operativas 2 y el detalle de otras demoras operativas que aparecen como una de las demoras más comunes, pero mucho menor que la espera de frente.

Tabla 10. Análisis de demoras operativas 2 - J-146

Código	Estándar	Horas	%	% acum.
307	Esperando frente de trabajo	7.00	52.70	52.70
601	Otras demoras operativas	1.77	14.55	67.25
301	Esperando orden de trabajo	1.52	11.42	78.67
305	Instalación de agua/energía/aire	1.52	11.42	90.09
302	Abastecimiento de combustible	1.00	7.53	97.62
306	Instalación de accesorios	0.17	1.25	98.87
303	Traslado de equipo por falta de labor	0.15	1.13	100.00
<b>Total</b>		13.28		

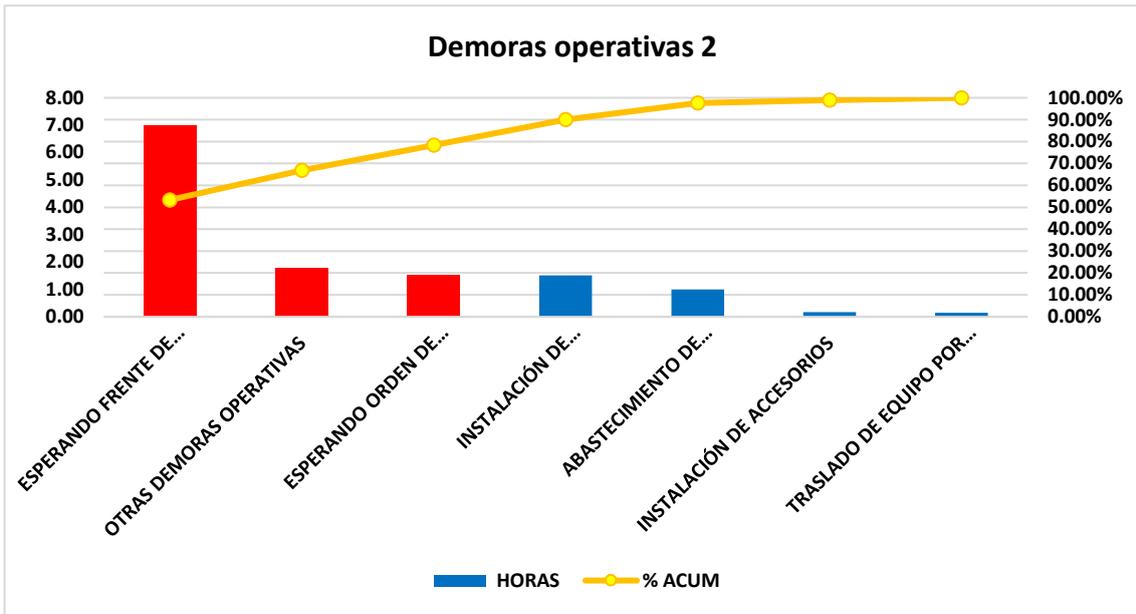


Figura 24. Diagrama de barras análisis de demoras operativas 2 - J-146

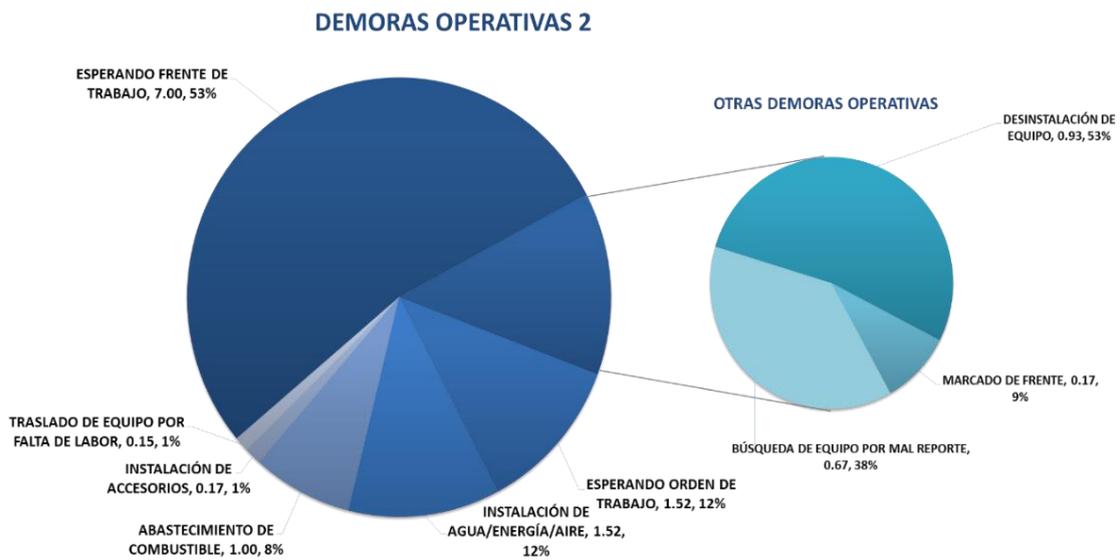


Figura 25. Diagrama de circulación, análisis de demoras operativas 2 - J-146

**Interpretación:** mayor incidencia en la espera en el frente de trabajo de la perforación 52.70% respecto a los demás factores.

Tabla 11.

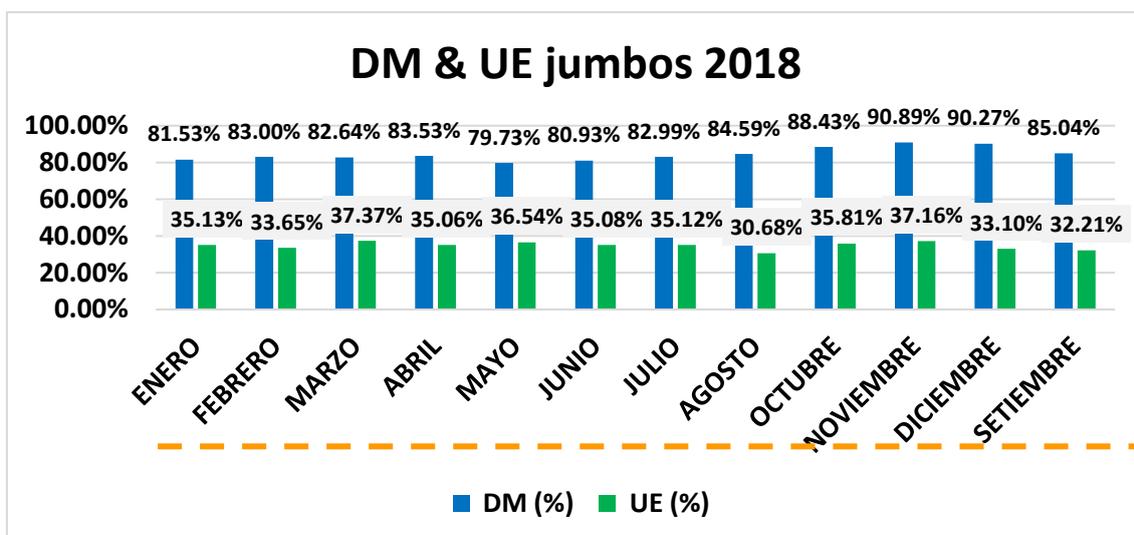
**Indicadores de la actividad de perforación. MIN/MT-PERF**

MIN/MT-PERF					
Actividad					
Ejecutor	Equipo	Mes	Perf. frente	Breasting	Realce
AESA	JAE-02	Enero	0.56	0.51	0.96
		Febrero	0.66	0.78	0.00
		Marzo	0.62	0.65	0.82
	Prom JAE-02		0.62	0.70	0.89
	JAE-08	Febrero	0.47	0.00	0.00
	Prom JAE-08		0.47	0.00	0.00
	JAE-09	Enero	0.65	0.56	0.62
		Febrero	0.72	0.54	0.87
		Marzo	0.59	0.67	0.00
	Prom JAE-09		0.65	0.59	0.79
	JAE-10	Enero	0.64	0.00	0.00
		Febrero	0.62	0.67	0.00
		Marzo	0.71	0.70	0.48
	Prom JAE-10		0.66	0.68	0.48
	JAE-14	Enero	0.65	0.71	0.00
		Febrero	0.99	1.18	1.23
Marzo		0.84	0.72	0.00	
Prom JAE-14		0.82	0.93	1.23	
Total AESA			0.65	0.71	0.78
Volcan	J-124	Enero	0.84	0.86	0.00
		Febrero	0.95	0.94	0.00
		Marzo	0.94	1.49	0.00
	Prom J-124		0.88	0.98	0.00
	J-141	Enero	1.01	0.92	0.00
		Febrero	0.89	0.92	1.33
		Marzo	0.76	1.04	1.38
	Prom J-141		0.89	0.95	1.36
	J-143	Enero	0.86	0.81	0.00
		Febrero	0.80	0.82	0.00
		Marzo	0.71	0.79	0.00
	Prom J-143		0.78	0.81	0.00
	J-144	Enero	0.88	1.42	0.89
		Febrero	0.83	1.08	1.01
		Marzo	0.79	1.13	1.13
	Prom J-144		0.83	1.17	1.05
J-146	Enero	0.69	0.96	1.19	
	Febrero	0.66	0.89	1.56	
	Marzo	0.68	0.76	1.03	
Prom J-146		0.68	0.86	1.30	
Total Volcan			0.79	0.89	1.20
Total general			0.71	0.86	1.15

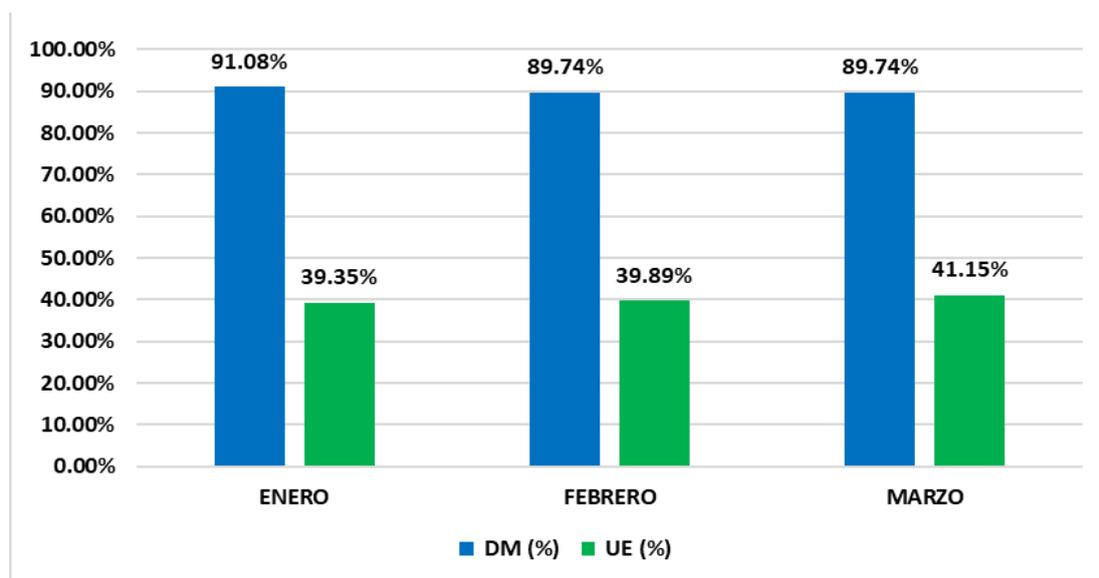
**Tabla 12.**  
**Indicadores de la actividad de perforación MIN/Taladro**

MIN/Taladro						
Actividad						
Ejecutor	Equipo	Mes	Perf. frente	Breasting	Realce	
AESA	JAE-02	Enero	2.02	1.85	3.50	
		Febrero	2.30	2.71	0.00	
		Marzo	2.24	2.33	3.00	
	Prom JAE-02			2.20	2.49	3.25
	JAE-08	Febrero	1.72	0.00	0.00	
	Prom JAE-08			1.72	0.00	0.00
	JAE-09	Enero	2.29	2.01	1.50	
		Febrero	2.54	1.92	2.65	
		Marzo	2.13	2.42	0.00	
	Prom JAE-09			2.32	2.12	2.22
	JAE-10	Enero	2.32	0.00	0.00	
		Febrero	2.22	2.42	0.00	
		Marzo	2.55	2.57	1.75	
		Prom JAE-10			2.36	2.45
JAE-14		Enero	2.29	2.61	0.00	
		Febrero	3.53	4.14	4.50	
		Marzo	2.94	2.61	0.00	
Prom JAE-14			2.89	3.34	4.50	
Total AESA			2.33	2.55	2.57	
Volcan	J-124	Enero	2.95	3.00	0.00	
		Febrero	3.11	3.02	0.00	
		Marzo	3.10	4.73	0.00	
	Prom J-124			3.02	3.30	0.00
	J-141	Enero	3.31	2.95	0.00	
		Febrero	2.93	2.93	4.37	
		Marzo	2.50	3.32	4.31	
	Prom J-141			2.94	3.04	4.33
	J-143	Enero	2.84	2.60	0.00	
		Febrero	2.64	2.63	0.00	
		Marzo	2.33	2.51	0.00	
	Prom J-143			2.55	2.59	0.00
	J-144	Enero	2.88	4.52	2.93	
		Febrero	2.73	3.44	3.15	
		Marzo	2.58	3.62	3.43	
	Prom J-144			2.72	3.72	3.24
	J-146	Enero	2.51	3.51	4.30	
		Febrero	2.41	3.24	5.71	
		Marzo	2.50	2.76	3.75	
	Prom J-146			2.47	3.15	4.73
Total Volcan			2.69	2.95	3.91	
Total general			2.49	2.89	3.75	

## G. Disponibilidad mecánica y utilización efectiva



*Figura 26. Disponibilidad mecánica y utilización efectiva*



*Figura 27. Disponibilidad mecánica y unidad efectiva de los jumbos 2019*

Se aprecia que en comparación con el trimestre del año anterior hay una mejora notable en cuanto a la disponibilidad y utilización. Por otro lado, cabe resaltar que la tendencia denota que seguirá en aumento la utilización de los jumbos indistintamente de su ECM.

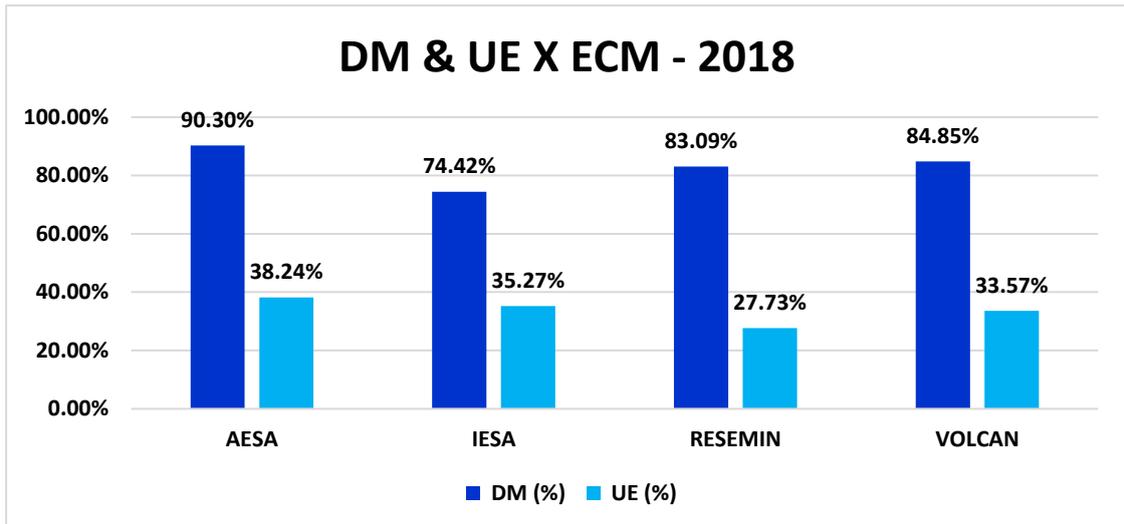


Figura 28. Disponibilidad mecánica y unidad efectiva de los jumbos indistintamente de su ECM

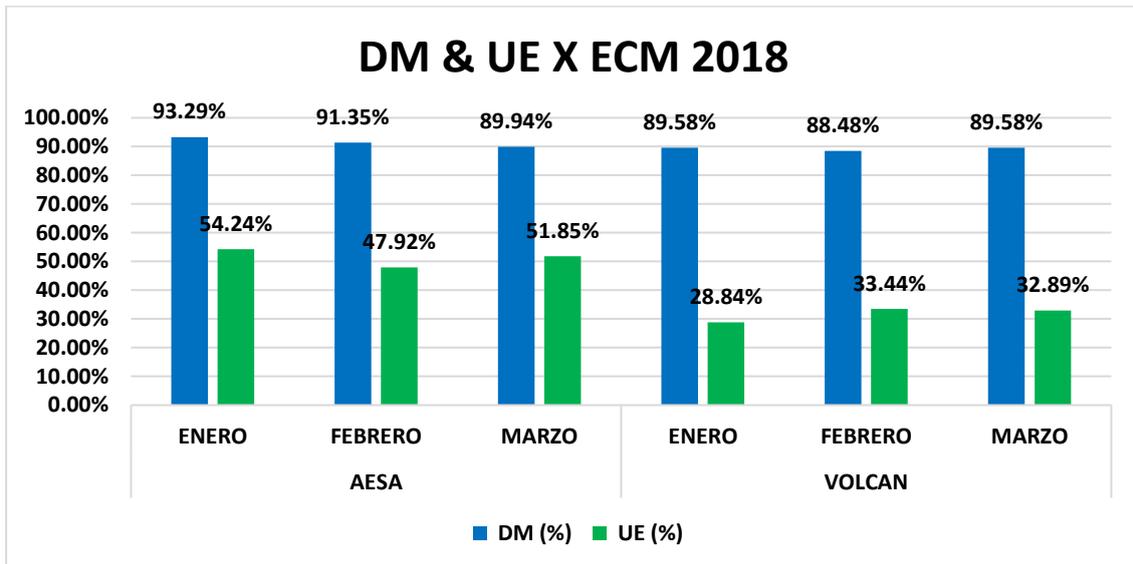


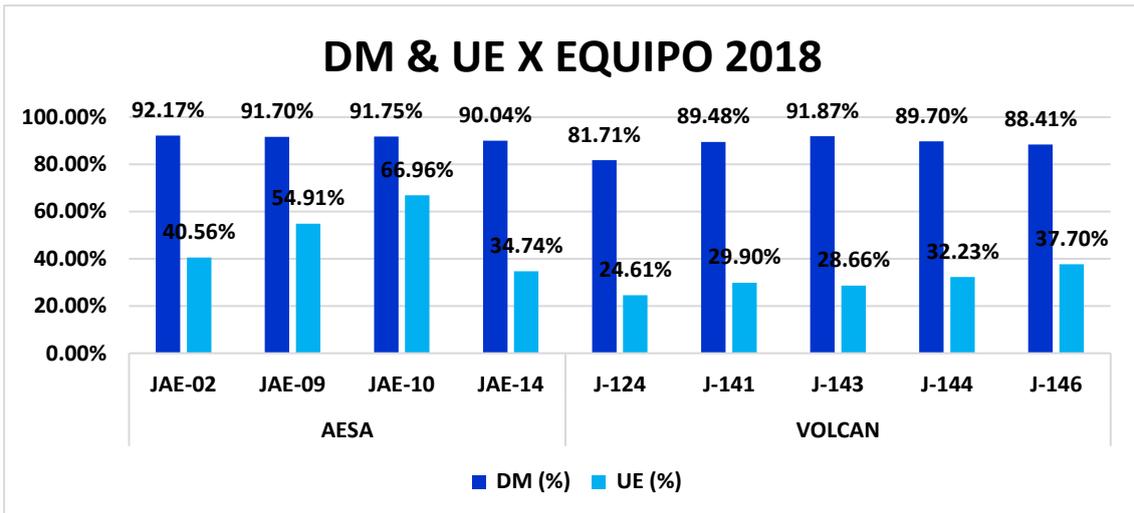
Figura 29. Disponibilidad mecánica y unidad efectiva de los jumbos indistintamente de su ECM AESA y Volcán

Tabla 13.

Resumen de la disponibilidad mecánica y unidad efectiva del año 2018

Empresa	Volcan	AESA
DM (%)	89.21	91.56
UE (%)	31.59	51.28

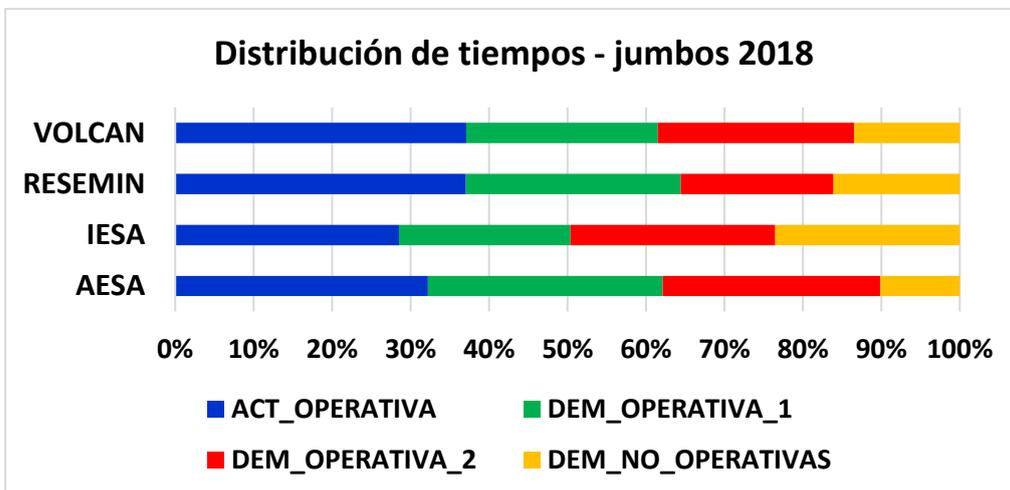
**Interpretación:** al mes de marzo se encuentra que la disponibilidad de los equipos de la compañía se ha incrementado en un 5%, sin embargo, la utilización efectiva de los mismos se ha reducido en promedio en 1%.



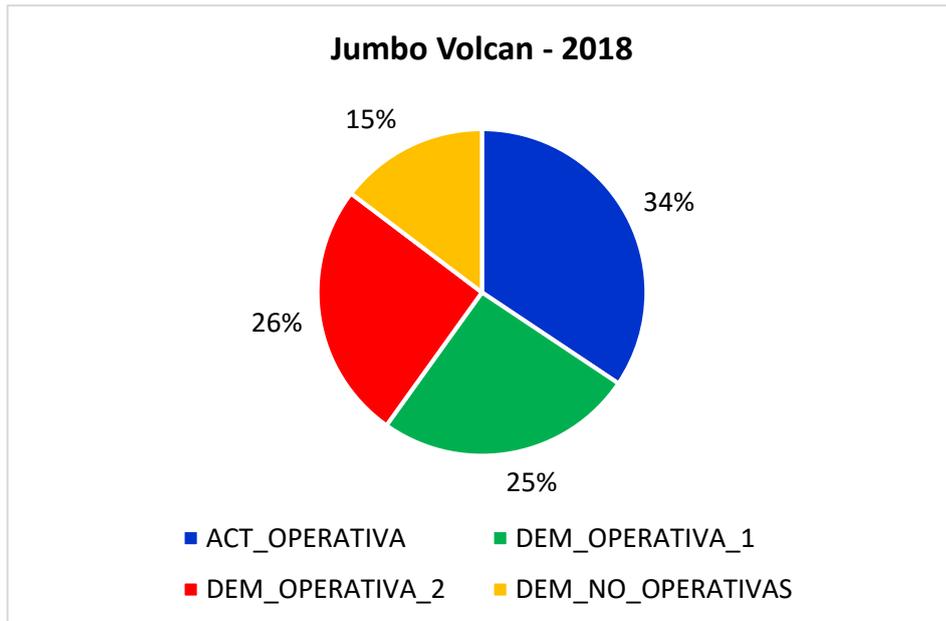
**Figura 30. Disponibilidad mecánica y unidad efectiva por equipo de la empresa AESA y Volcan**

**Interpretación:** se puede apreciar que tanto en Volcan como en AESA, se tienen mejoras en cuanto a la disponibilidad con respecto al año anterior. Así mismo, se tiene un ligero incremento en promedio en la utilización efectiva de los equipos de contrata, mas no en los equipos de compañía.

#### H. Análisis de tiempos 2018



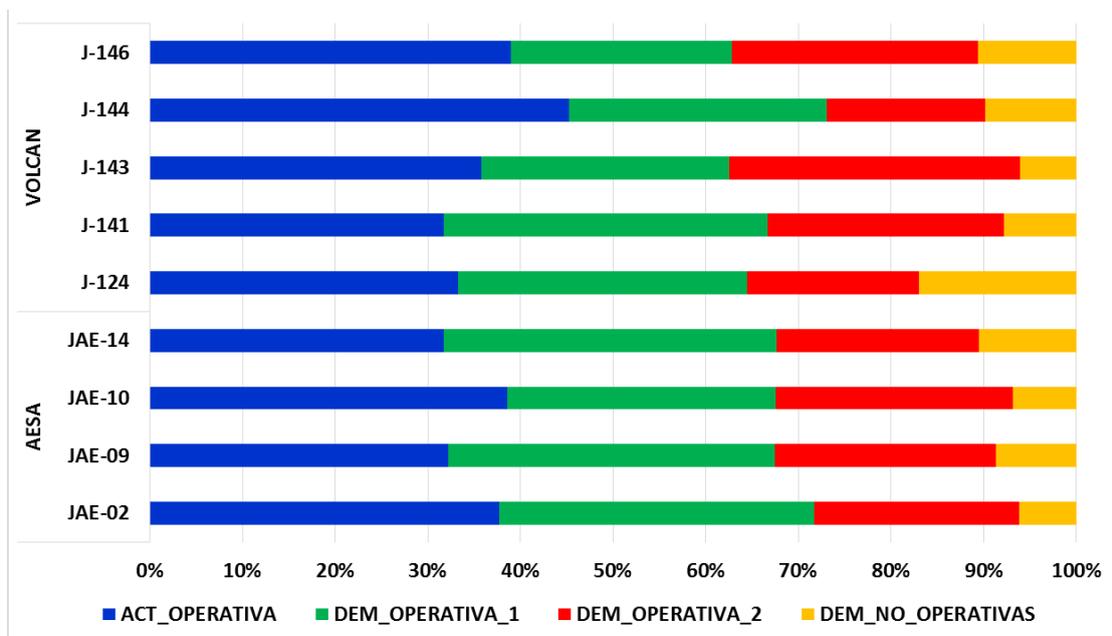
**Figura 31. Distribución de tiempos - jumbos 2018**



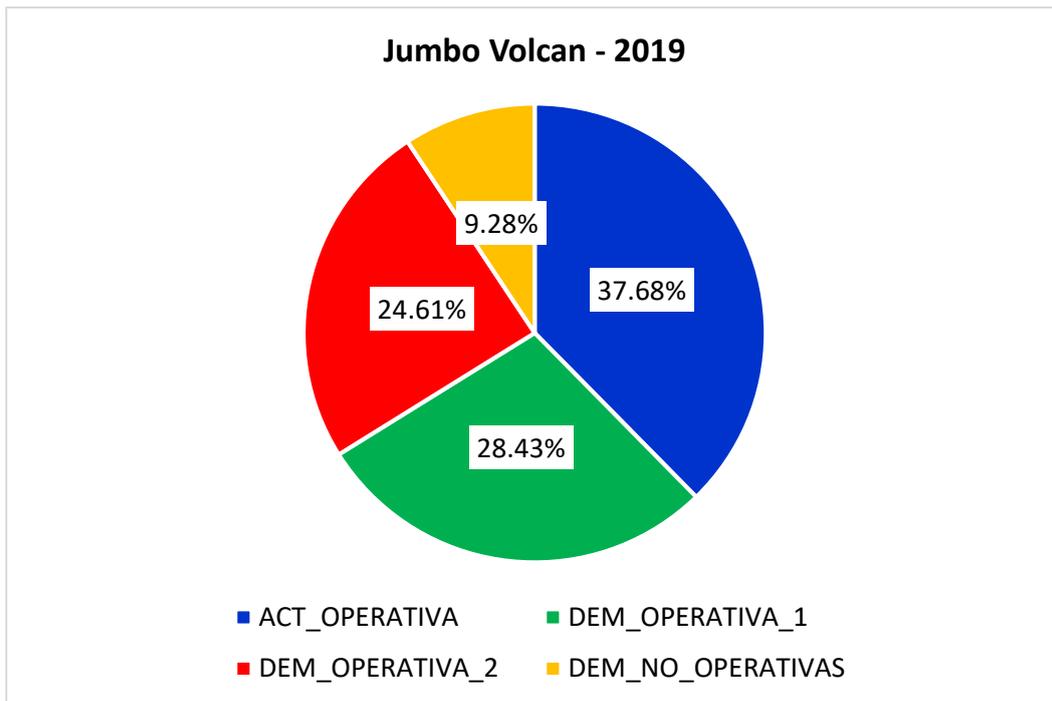
**Figura 32. Actividad y demoras operativas como no operativas de los jumbos de la compañía Volcan – 2018**

**Interpretación:** se observa que el 50% del tiempo que registran los equipos de compañía se consume en demoras operativas, mientras menos del 50% que es el porcentaje de actividades operativas mínimas que se esperan lograr con el equipo, lo cual denota que no hay suficientes frentes para perforación.

**I. Análisis de tiempos 2019**



**Figura 33. Distribución de tiempos - jumbos 2019**



**Figura 34. Actividad y demoras operativas como no operativas de los jumbos de la compañía Volcan – 2019**

**Interpretación:** se observa que al igual que el año anterior, el 50% del tiempo que registran los equipos de la compañía se consume en demoras operativas, mientras menos del 50% que es el porcentaje de actividades operativas mínimas que se esperan lograr con el equipo, lo cual denota que no hay suficientes frentes para perforación. Sin embargo, en el primer trimestre se tiene un aumento ligero en las horas dedicadas a actividades operativas y menos paradas.

**J. Análisis de demoras operativas 2 de los jumbos de la compañía minera Volcan S. A. A.**

**Tabla 14.**

**Análisis de demoras operativas 2 de los jumbos de la compañía minera Volcan S. A. A.**

Horas	Código	Actividad	Equipos					Horas	%	% acum.
			J-124	J-141	J-143	J-144	J-146			
	307	Esperando frente de trabajo	48.58	100.87	149.00	75.17	160.17	533.78	58.80	58.80
	601	Otras demoras operativas	6.00	86.20	23.42	49.92	9.42	174.95	19.27	78.07
	305	Instalación de agua/energía/aire	10.25	14.00	25.42	14.33	3.17	67.17	7.40	85.47
	303	Traslado de equipo por falta de labor		14.30		30.25	4.92	49.47	5.45	90.92
	304	Falta de agua/aire		10.25	11.17	4.33	10.17	35.92	3.96	94.88
	314	Accidente de equipo			12.00			12.00	1.32	96.20
	354	Cambio de labor/orden	11.75					11.75	1.29	97.49
	301	Esperando orden de trabajo	6.33	0.25				6.58	0.73	98.22
	302	Abastecimiento de combustible	0.67	0.92	1.93	0.42	1.00	4.93	0.54	98.76
	313	Falta ventilación	0.75		2.17	1.58		4.50	0.50	99.26
	308	Falta de insumos/accesorios				3.67	0.25	3.92	0.43	99.69
	306	Instalación de accesorios					2.33	2.33	0.26	99.94
	355	Labores sin condiciones	0.50					0.50	0.06	100.00
	Horas		84.83	226.78	225.10	179.67	191.42	907.80		

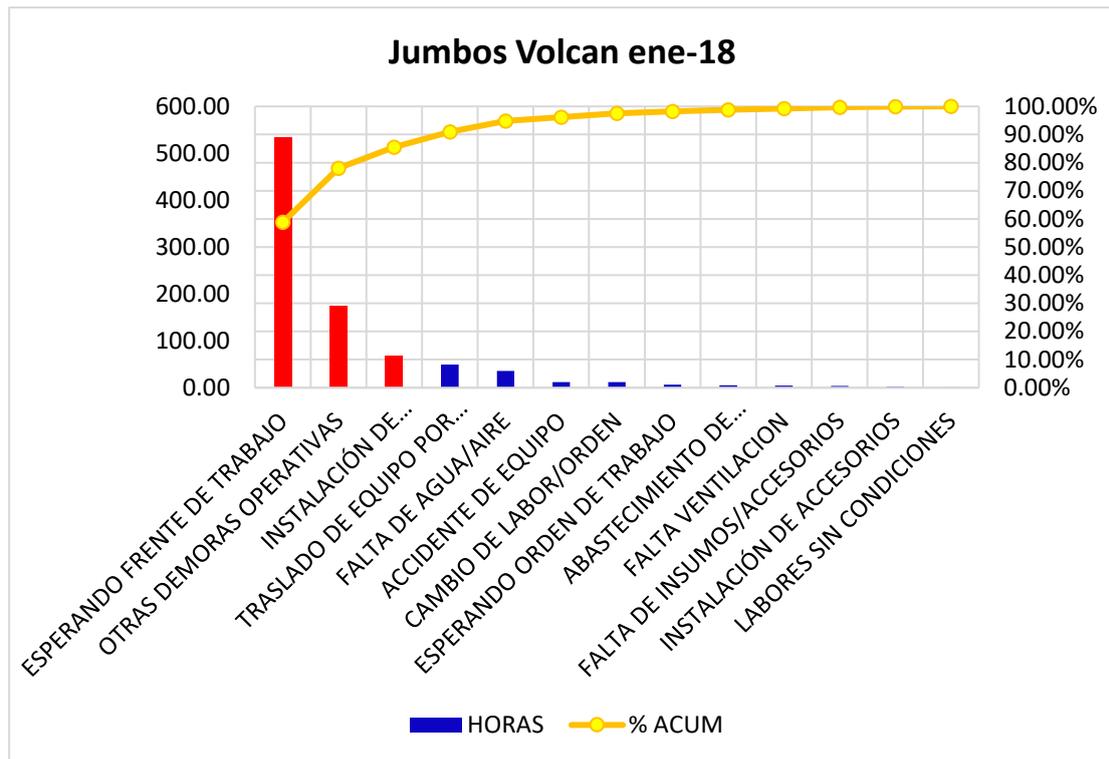
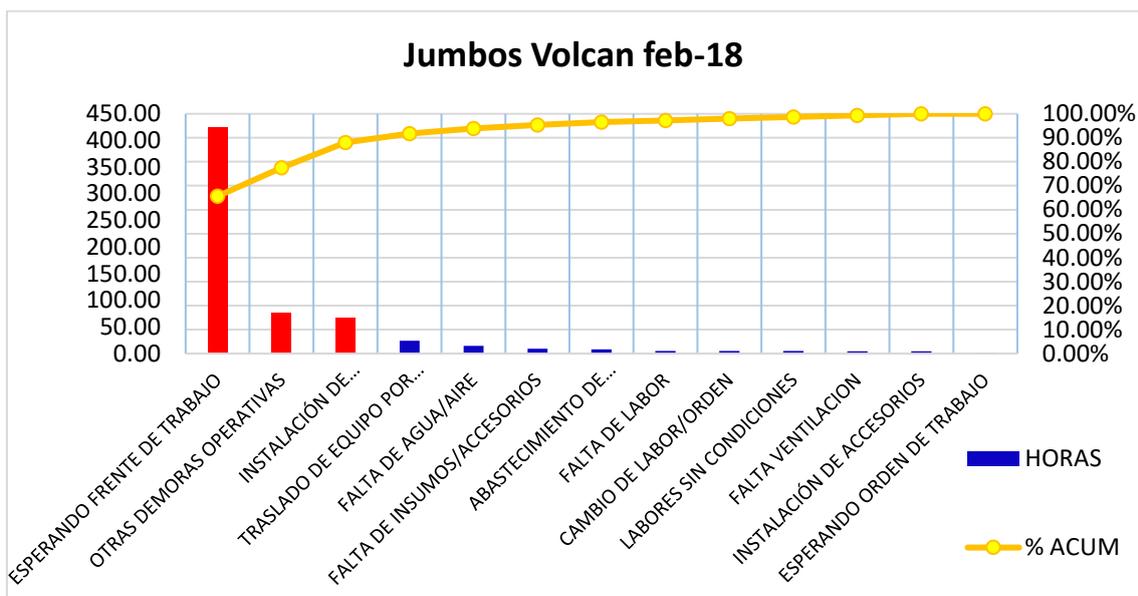


Figura 35. Tiempo de actividades en horas y el acumulado total año 2018

Tabla 15.

Actividad en relación al equipo, horas y el acumulado código 307, 601 y 305

Horas	Código	Actividad	Equipo					Horas	%	% acum.
			J-124	J-141	J-143	J-144	J-146			
307		Esperando frente de trabajo	5.17	61.83	166.95	37.33	152.83	424.12	65.64	65.64
601		Otras demoras operativas	8.75	32.58	7.92	24.33	3.17	76.75	11.88	77.52
305		Instalación de agua/energía/aire	1.00	13.78	32.77	13.67	6.42	67.63	10.47	87.98
303		Traslado de equipo por falta de labor	3.00	7.42	5.58	5.43	2.75	24.18	3.74	91.73
304		Falta de gua/aire		2.00	0.67	9.25	2.33	14.25	2.21	93.93
308		Falta de insumos /accesorios		0.70	0.92	7.33		8.95	1.39	95.32
302		Abastecimiento de combustible	0.17	0.67	2.60	0.17	4.08	7.68	1.19	96.50
309		Falta de labor					4.75	4.75	0.74	97.24
354		Cambio de labor /orden	2.33	1.83		0.50		4.67	0.72	97.96
355		Labores sin condiciones				3.83	0.83	4.67	0.72	98.68
313		Falta ventilación	0.75		0.67	1.33	1.50	4.25	0.66	99.34
306		Instalación de accesorios				0.67	3.42	4.08	0.63	99.97
301		Esperando orden de trabajo		0.17				0.17	0.03	100.00
Horas			21.17	120.98	218.07	103.85	182.08	646.15		



**Figura 36. Acumulado de horas trabajadas y acumulado de cada actividad de febrero 2019**

**Tabla 16.**

**Actividad en relación al equipo, horas y el acumulado código 307 y 601**

Horas		Equipo							
Cód.	Actividad	J-124	J-141	J-143	J-144	J-146	Horas	%	% acum.
307	Esperando frente de trabajo	9.00	103.35	158.65	34.67	151.20	456.87	68.41	68.41
601	Otras demoras operativas	9.83	21.83	26.12	10.50	10.67	78.95	11.82	80.24
304	Falta de agua/aire	0.58	7.17	1.00	20.25	16.75	45.75	6.85	87.09
305	Instalación de agua /energía /aire	0.08	11.10	24.63	0.92	5.33	42.06	6.30	93.38
303	Traslado de equipo por falta de labor	1.00	4.25	1.92	8.67	1.75	17.58	2.63	96.02
302	Abastecimiento de combustible	0.50	1.83	3.42	1.18	3.42	10.35	1.55	97.57
603	Equipo en stand by	7.00					7.00	1.05	98.61
306	Instalación de Accesorios		0.17			3.42	3.58	0.54	99.15
308	Falta de insumos /accesorios					2.58	2.58	0.39	99.54
313	Falta ventilación			1.00	1.50		2.50	0.37	99.91
355	Labores sin condiciones					0.42	0.42	0.06	99.98
301	Esperando orden de trabajo					0.17	0.17	0.02	100.00
Horas		28.00	149.70	216.73	77.68	195.70	667.81		

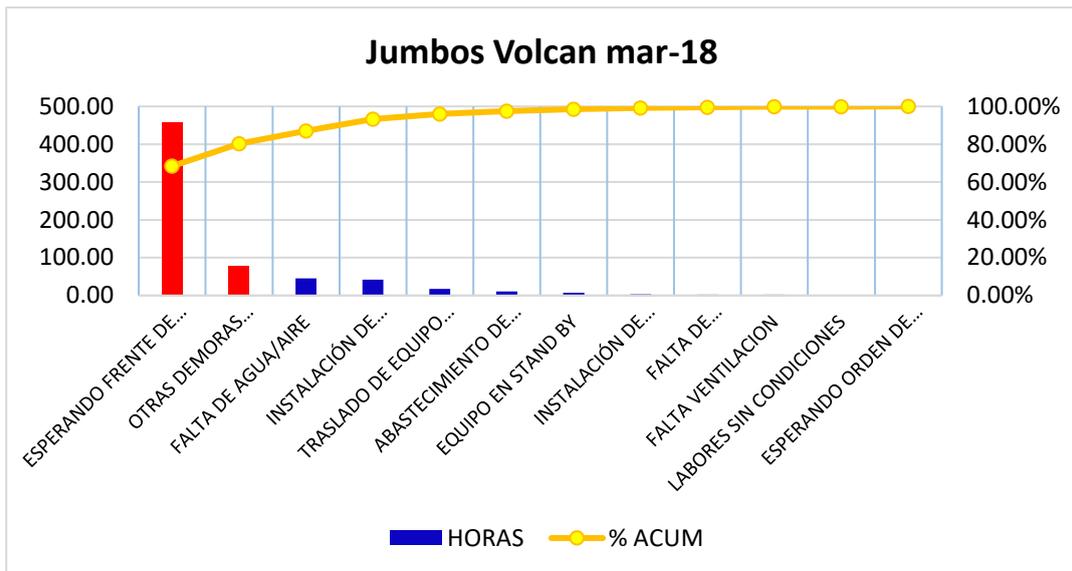


Figura 37. Acumulado de horas trabajadas y acumulado de cada actividad de marzo 2018

**Interpretación:** se observa que se tienen las mismas demoras operativas identificadas y la proporción se mantiene en cuanto a las demoras más comunes, lo cual no es un problema nuevo, pero lo importante será el control que se establezca.

Tabla 17. Actividad en relación al equipo, horas y el acumulado código 307, 601 y 303

Horas	Cód.	Actividad	Equipo				Horas	%	% acum.
			JAE-02	JAE-09	JAE-10	JAE-14			
307		Esperando frente de trabajo	67.25	121.92	52.82	26.75	268.73	45.83	45.83
601		Otras demoras operativas	18.08	26.92	70.06	36.42	151.47	25.83	71.67
303		Traslado de equipo por falta de labor	19.25	27.42	13.75	9.92	70.33	12.00	83.66
305		Instalación de agua/energía/ aire	11.28	12.08	19.18	3.47	46.02	7.85	91.51
313		Falta ventilación	9.00	4.00		2.67	15.67	2.67	94.18
304		Falta de agua /aire		0.25	9.60	2.38	12.23	2.09	96.27
302		Abastecimiento de combustible	3.28	2.50	3.18	1.17	10.13	1.73	98.00
306		Instalación de accesorios	0.50		3.50		4.00	0.68	98.68
308		Falta de insumos /accesorios		2.42			2.42	0.41	99.09
301		Esperando orden de trabajo		2.00			2.00	0.34	99.43
355		Labores sin condiciones			1.50		1.50	0.26	99.69
314		Accidente de equipo			1.00		1.00	0.17	99.86
311		Falta de operador			0.83		0.83	0.14	100.00
Horas			128.65	199.50	175.42	82.77	586.34		

Tabla 18.

Actividad en relación al equipo, horas y el acumulado código 307, 601 y 303

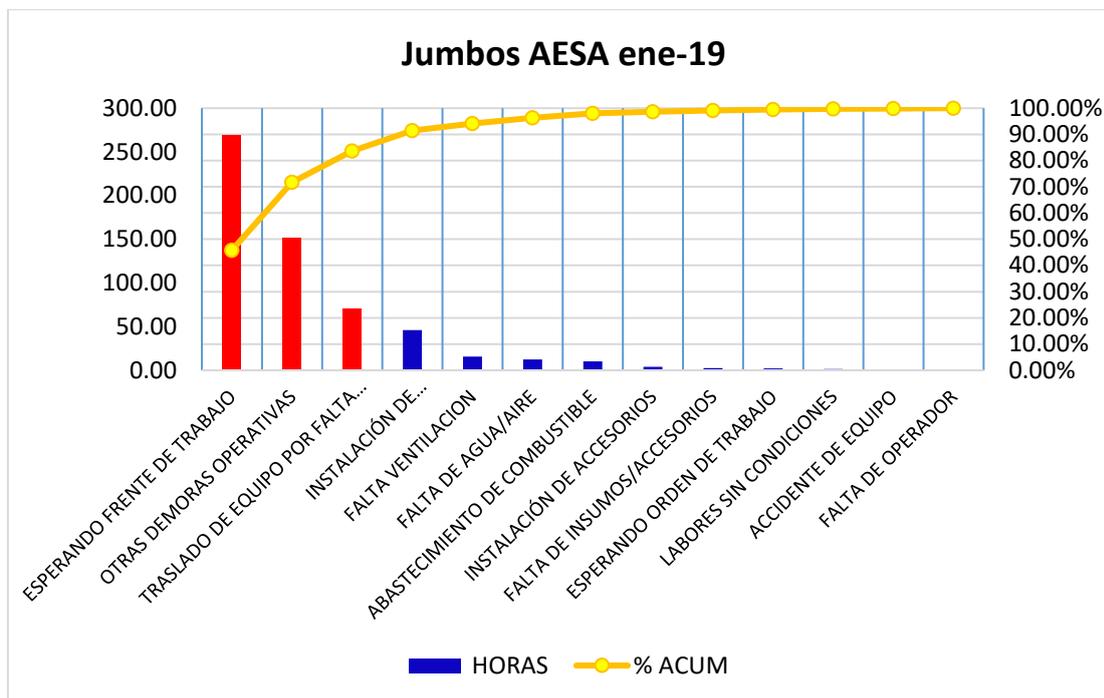
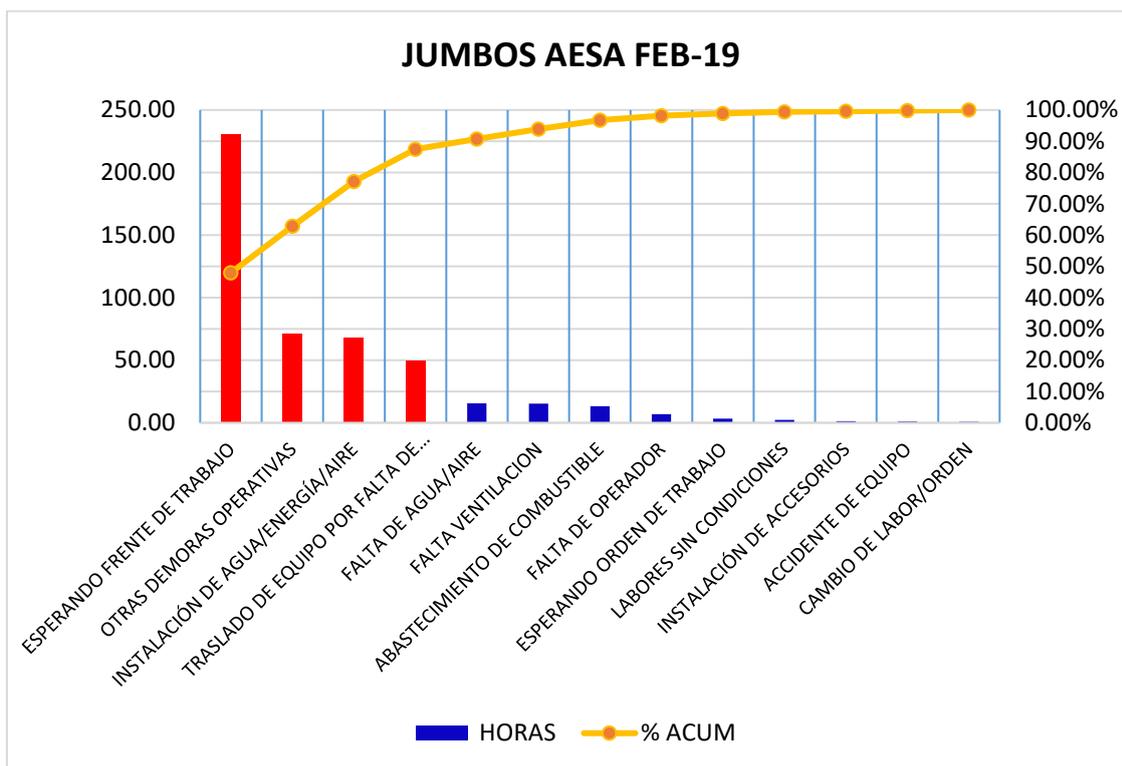


Figura 38. Acumulado de horas trabajadas y de cada actividad de enero 2019

Tabla 19.

Actividad en relación al equipo, horas y el acumulado código 307, 601, 305 y 303

Horas	Cód.	Actividad	Equipo				Horas	%	% acum.
			JAE-02	JAE-09	JAE-10	JAE-14			
307		Esperando frente de trabajo	76.42	44.08	65.27	44.75	230.52	48.01	48.01
601		Otras demoras operativas	2.33	4.92	43.68	20.47	71.40	14.87	62.88
305		Instalación de agua/ energía/ aire	16.53	16.92	28.72	6.33	68.50	14.27	77.14
303		Traslado de equipo por falta de labor	0.50	18.25	13.58	17.17	49.50	10.31	87.45
304		Falta de agua /aire	5.83	2.17	7.63		15.63	3.26	90.71
313		Falta ventilación	6.42	3.00	5.00	1.00	15.42	3.21	93.92
302		Abastecimiento de combustible	3.00	0.67	7.72	2.00	13.38	2.79	96.71
311		Falta de operador	7.00				7.00	1.46	98.16
301		Esperando orden de trabajo	1.25		1.17	0.92	3.33	0.69	98.86
355		Labores sin condiciones	1.00			1.42	2.42	0.50	99.36
306		Instalación de accesorios		0.25	0.98		1.23	0.26	99.62
314		Accidente de equipo			1.00		1.00	0.21	99.83
354		Cambio de labor /orden			0.50	0.33	0.83	0.17	100.00
Horas			120.28	90.25	175.25	94.38	480.17		

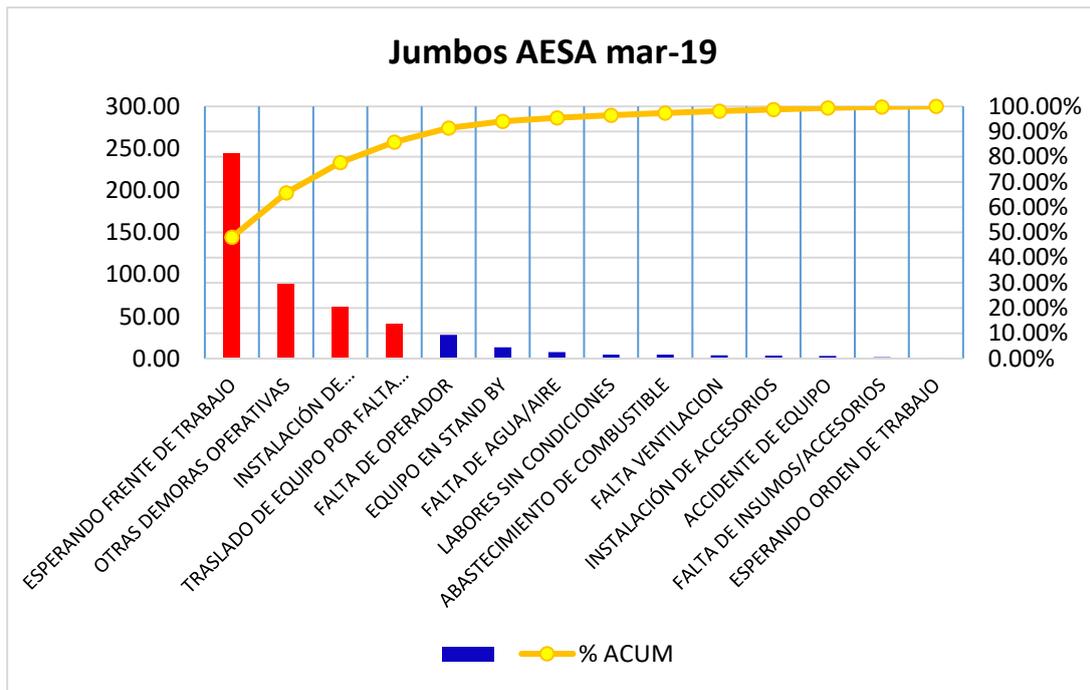


**Figura 39. Acumulado de horas trabajadas y de cada actividad de febrero 2019**

**Tabla 20.**

**Actividad en relación al equipo, horas y el acumulado código 307, 601, 305 y 303**

Horas Cód.	Actividad	Equipo				Horas	%	% acum.
		JAE-02	JAE-09	JAE-10	JAE-14			
307	Esperando frente de trabajo	81.37	70.78	63.10	28.08	243.33	48.12	48.12
601	Otras demoras operativas	13.68	33.68	28.05	13.42	88.83	17.57	65.69
305	Instalación de agua/energía/aire	15.87	15.27	25.58	4.58	61.30	12.12	77.82
303	Traslado de equipo por falta de labor	2.50	13.58	18.42	6.08	40.58	8.03	85.84
311	Falta de operador	24.00		4.00		28.00	5.54	91.38
603	Equipo en stand by		1.50		12.00	13.50	2.67	94.05
304	Falta de agua/aire	2.00	3.83	0.83	0.83	7.50	1.48	95.53
355	Labores sin condiciones			4.67		4.67	0.92	96.46
302	Abastecimiento de combustible	1.75	1.17	1.75		4.67	0.92	97.38
313	Falta ventilación	0.42		1.33	2.00	3.75	0.74	98.12
306	Instalación de accesorios	2.25		1.33		3.58	0.71	98.83
314	Accidente de equipo			3.25		3.25	0.64	99.47
308	Falta de insumos/accesorios				1.67	1.67	0.33	99.80
301	Esperando orden de trabajo	0.42			0.58	1.00	0.20	100.00
Horas		144.25	139.82	152.32	69.25	505.63		



**Figura 40. Acumulado de horas trabajadas y de cada actividad de marzo 2019**

**Interpretación:** al igual que en la compañía, los jumbos de AESA presentan las mismas demoras operativas 2, como lo es la espera de frente y otras demoras operativas, lo cual debe ser controlado o mejorado de algún modo.

La principal demora identificada es la espera de frente, lo cual puede tener muchas causas, pero la principal sería que no se tiene un buen control del ciclo de minado de las labores por parte de operaciones, lo cual podría deberse a la falta de sostenimiento, principalmente por una mala coordinación en cuanto al abastecimiento de mezcla por parte de planta y todas las coordinaciones que se deben hacer con el jefe de guardia, geomecánica y planta Betonmac.

Por otro lado, se nota que aún existe una comunicación incompleta en cuanto a los reportes de las labores de los jefes durante su guardia. La falta de labores podría considerarse también debido a que estas labores están en relleno y este puede tener algunos inconvenientes ocasionando demoras que dan lugar a desfases en el ciclo de dichas labores.

### 2.3.5. Buenas prácticas de perforación minera Epiroc Perú S. A. – Unidad Volcan Yauli

La perforación y voladura es una técnica aplicable a la extracción de roca en terrenos competentes, esta técnica es aplicable a cualquier método de explotación, bien en minería, en obras civiles y donde sea necesarios los movimientos de tierra. (9)

La técnica de perforación y voladura se basa en la ejecución de perforaciones en la roca, donde posteriormente, se colocarán explosivos que, mediante su detonación, transmiten la energía necesaria para la fragmentación del macizo rocoso a explotar.



Figura 41. Perforación en frente, método Tophammer

#### A. Componentes principales del equipo perforador

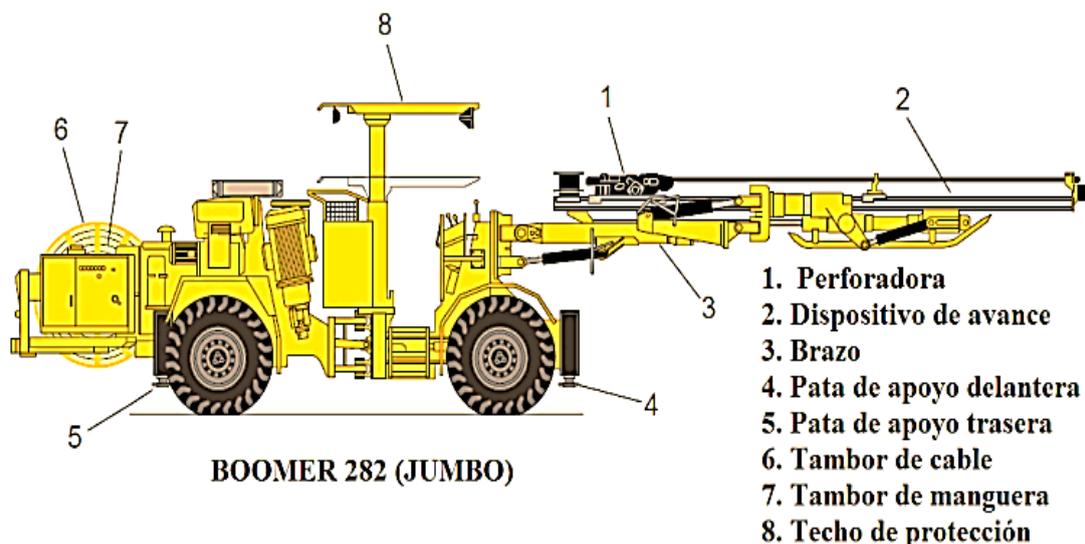


Figura 42. Equipo de perforación Boomer 282

## B. Principio de perforación mecanizada

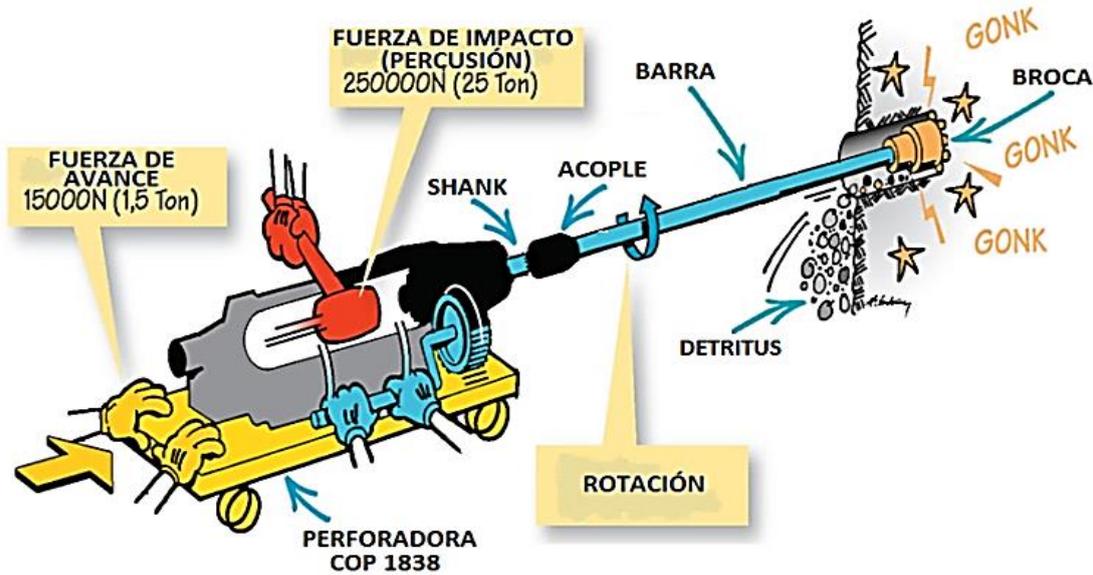


Figura 43. Principio de perforación Tophammer

## C. Equipamiento Tophammer, compañía minera Volcan Yauli

TREN DE PERFORACIÓN	DESCRIPCIÓN DE ACERO	VIDA ÚTIL ESTIMADO
	SHANK COP1838 T38x435mm	7700 METROS PERFORADOS (MP)
	ACOPLE T38/T38 CON TOPE	7700 METROS PERFORADOS (MP)
	BARRA MAGNUM T38 H35 SR35x14 PIES	4200 METROS PERFORADOS (MP)
	BROCA SR35x51mm BALÍSTICO	1000 METROS PERFORADOS (MP)
	BROCA DOMO SR35x102mm BALÍSTICO	—

Figura 44. Tren de perforación, magnum SR 35

Cuando se perfora con accesorios de perforación Epiroc Perú, se recibe un producto de calidad que brinda confianza, disponibilidad y alta productividad lo que es fundamental si se desea obtener beneficios.

La misma calidad puede augurarse a equipos, accesorios y repuestos que solamente a través de mantenimientos preventivos se obtendrá buenos resultados.

### 2.3.6. Parámetros y Procedimientos de Operación de Perforación

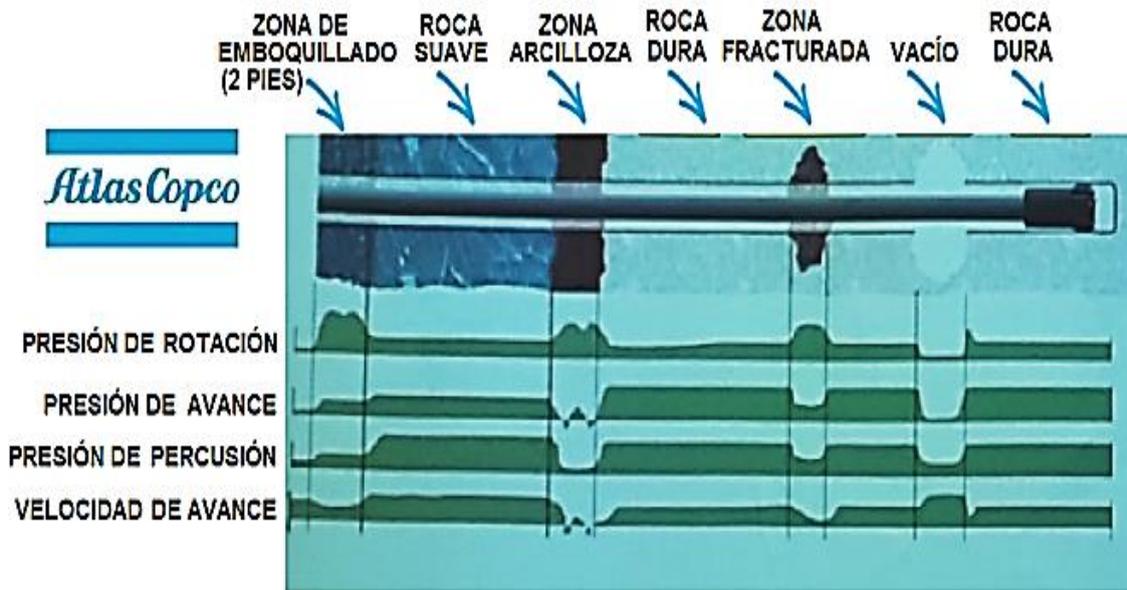


Figura 45. Comportamiento de la perforación en relación al tipo de terreno

#### A. Emboquillado

Para iniciar la perforación de emboquillado se debe posicionar y alinear el brazo en forma perpendicular (90°) contra el punto de perforación (roca).

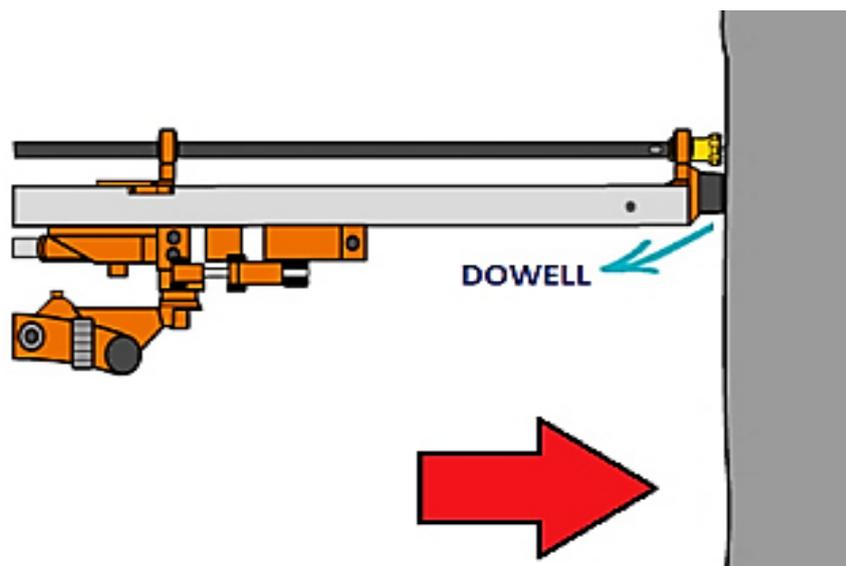


Figura 46. Posicionamiento de brazo en el frente

Este procedimiento se inicia con las presiones de rotación (40-50 bar), percusión (130-140 bar) y avance (60 bar) a baja presión hasta alcanzar una profundidad de 2 pies (60 cm) recomendable, luego se inicia la perforación a plena carga.

Los topes de goma (*Dowell*) tienen como principal función; evitar el movimiento inadecuado del brazo durante la perforación.

## **B. Rotación**

La presión de rotación del motor hidráulico de la perforadora debe trabajar normalmente de 35 - 50 bares, en cualquier etapa de la perforación.

Cuando el manómetro oscila por encima de los 50 bar, indica que hay presencia de grietas o roca fracturada y cuando sobrepasa los 75 bar, se activa automáticamente el sistema antiatasque RPCF (Avance Controlado por Presión de Rotación), la presión de avance se reducirá gradualmente lo necesario para evitar el atasco del tren de perforación en el frente. Si la presión de rotación sigue incrementándose, el avance cambiará de sentido y la perforadora se situará en retorno.

Si fuese el caso que el operador identifica la presencia de roca fracturada; debe cambiar los parámetros de perforación inmediatamente ya que se necesita menos energía para la perforación, se debe reducir la presión de percusión y avance (a presiones de emboquillado) hasta estar seguro de haber sobrepasado el terreno fracturado, esto ayudará a evitar problemas de atascos del tren de perforación en el frente.

Una vez sobrepasado el terreno suave o fracturado, se ha de cambiar los parámetros de perforación a plena carga.

- **Revoluciones por minuto (rpm)**

Las revoluciones por minuto de la perforadora lo regulan el técnico calificado Atlas Copco de acuerdo al diámetro de broca que se utiliza y la frecuencia de impacto que emite la perforadora (percusión)

Otro factor importante es el tipo de roca (dureza, abrasividad, fracturamiento).

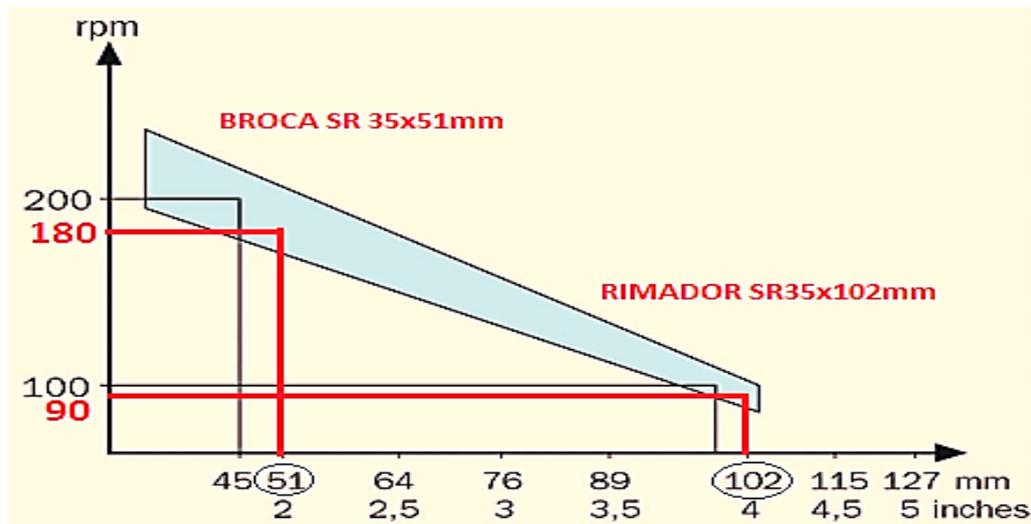


Figura 47. Velocidad de rotación (rpm) en función del diámetro de broca

### C. Percusión

La presión de percusión es la energía de impacto (golpes por minuto) que se genera en la perforadora y es transmitida a través del tren de perforación para concentrarla en los botones (insertos) de la broca, para finalmente romper y triturar la roca.

La presión de percusión en el emboquillado (baja presión) es 130-140 bar.

La presión a plena perforación (presión de alta) se regula entre los 160 a 190 bar, esta presión se debe adaptar a la formación del tipo de roca a perforar.

### D. Avance

La presión de avance en emboquillado debe ser 60 bar.

La fuerza de avance a plena perforación debe ser regulada entre 90 y 100 bar, de acuerdo al terreno o tipo de roca.

Una fuerza de avance insuficiente genera pérdida de energía de la columna de perforación (genera percusión en vacío).

Una fuerza de avance demasiado alta genera torsión, rotura de barras, grandes tensiones, desviación del taladro y atascamiento de la columna de perforación.

La presión de avance debe ser siempre controlado a criterio del perforista en el rango de 90 a 100 bar durante la perforación, el control dependerá de la formación del terreno o tipo de roca a perforar.

### **2.3.7. Otros Parámetros de Trabajo**

El operador debe monitorear en todo momento de la perforación los parámetros críticos de presión de los siguientes grupos funcionales.

#### **A. Presión de barrido**

Debe registrar 14 bares como mínimo, si la presión cae, la bomba *buster* se apaga automáticamente.

#### **B. Presión de aire**

La presión mínima debe ser de 3 bares, por debajo de esto, hay deficiencias en la lubricación de la COP (perforadora).

#### **C. Presión de dumping**

Mecanismo de protección de amortiguación del pistón de impacto de la COP, debe estar en los 40 bares.

### **2.3.8. Impactos sobre la Eficiencia de Perforación**

#### **A. Afilado de brocas**

Las brocas deben ser reafiladas cada 60 metros perforados (15 taladros), esto mejora la velocidad de perforación y mantiene la eficiencia del trabajo. Si las brocas son gastadas sistemáticamente (sobreperforadas), la penetración y la eficiencia total decrecen.



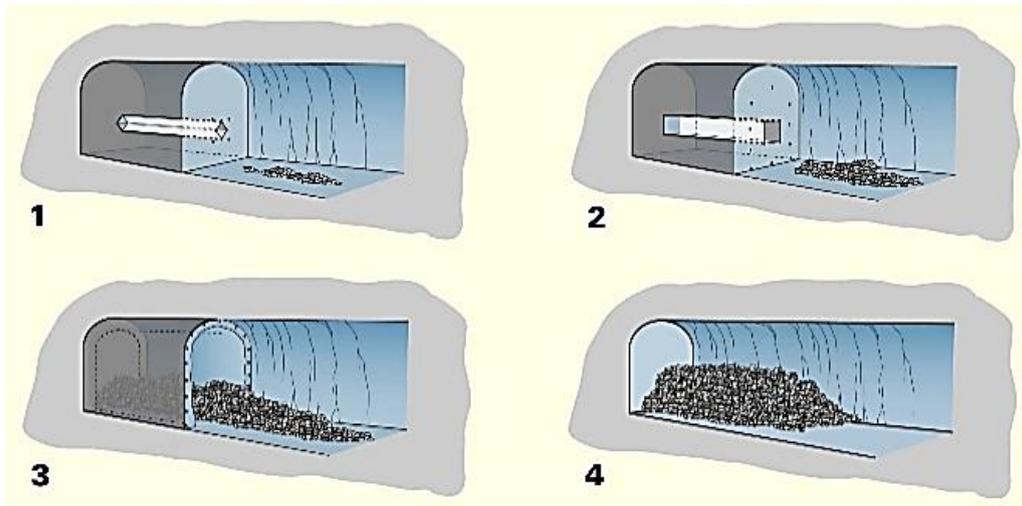
**Figura 48. Manteniéndolas en forma, broca de botones balísticos**

El operador debe monitorear constantemente el desgaste de los insertos de la broca. Es válido señalar aquí que una broca desgastada reduce la fuerza de impacto en el fondo del taladro, lo que no solo afloja las juntas roscadas en el tren de perforación, sino que también genera excesivo calor y destruye las juntas roscadas. Además, a medida que los botones comienzan a gastarse, estos se aplanan y el tamaño del espacio usado para evacuar el detritus se reduce lo que dificulta su evacuación, esto genera daños en el tren de varillaje y retraso en la perforación. Finalmente, pero no menos importante, una broca gastada hace mucho más difícil perforar un taladro recto, y la rectitud es, por supuesto, esencial para voladuras y fragmentación óptima.



**Figura 49. Eficiencia de la perforación con el afilado de brocas**

Una perforación con buenas prácticas de operación termina con un disparo excelente del frente.



*Figura 50. Secuencia de iniciación de voladura subterránea*

## **2.4. Rendimientos de la Vida Útil de los Aceros de Perforación**

### **2.4.1. Comparación de los Metros Perforados y el Consumo de Piezas de Perforación de los Frontoneros para los Frentes de Avance**

Para la unidad San Cristóbal el rendimiento establecido se da de la siguiente manera: *shank adapter* el 41%, acople 27%, barra 27%, broca 4% y rimadora 2%, se dan estos porcentajes respecto a la vida útil para cada pieza en relación a los metros perforados. El rendimiento total para toda la columna de perforación de las cinco piezas es de 20700 metros perforados.

En la siguiente figura se muestra la comparación de los metros perforados correspondiente a cada mes y el consumo de piezas que se tuvo de forma general en la columna de perforación del año 2017.

#### **✓ Análisis comparativo del año 2017 mina San Cristóbal**

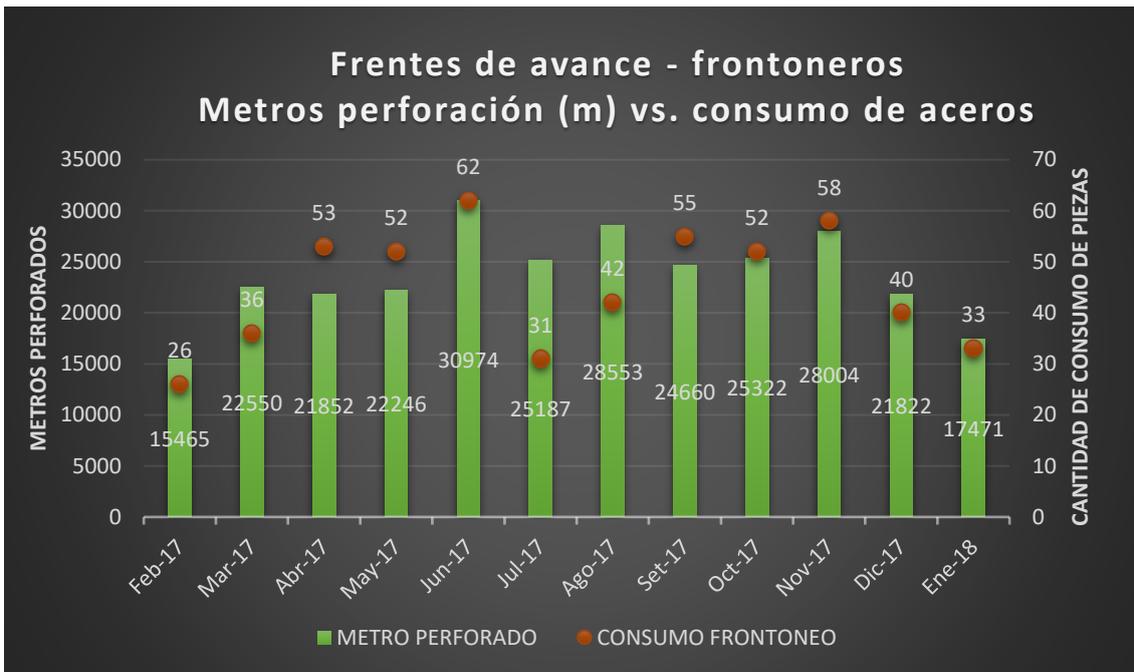
En el siguiente cuadro se muestran los metros perforados y el consumo de piezas de perforación y la incidencia en pérdidas de los frontoneros de la unidad San Cristóbal del año 2017.

**Tabla 21.**  
**Metros perforados y consumo del 2017 en la mina San Cristóbal**

Metros perforados por actividad y equipo					
Meses	Metro perforado (m)	Cantidad de consumo frontoneros	Diferencia del rendimiento de aceros y la vida útil	Pérdida (US \$)*	Incidencia de pérdidas (%)*
				Optimización (US \$)	Incidencia optimización (%)
Por cada columna de aceros de perforación					
Feb-17	15,465	26	-2094	-858.54	-67%
Mar-17	22,550	36	1692	693.72	54%
Abr-17	21,852	53	-1055	-432.55	-34%
May-17	22,246	52	-1657	-679.37	-53%
Jun-17	30,974	62	876	359.16	<b>28%</b>
Jul-17	25,187	31	2568	1052.88	82%
Ago-17	28,553	42	522	214.02	17%
Set-17	24,660	55	-899	-368.59	-29%
Oct-17	25,322	52	-1576	-646.16	-51%
Nov-17	28,004	58	22	9.02	1%
Dic-17	21,822	40	-1948	-798.68	-62%
Ene-18	17,471	33	432	177.12	14%
<b>Promedio mensual por año</b>	<b>23676</b>	<b>45</b>	<b>-260</b>	<b>-106</b>	<b>-8%</b>

Del cuadro se muestra; en resumen, el análisis de la vida útil de la columna de piezas de perforación, *shank adapter*, acople, barra, broca y rimadora, donde todos suman una vida útil de 20700 metros perforados, al comparar con el rendimiento en los meses respectivos durante el año 2017, da pérdidas mensuales, las pérdidas se detallan con cifras negativas y color amarillo y en los meses que no hubo pérdidas están con cifras positivas, respectivamente.

En la siguiente figura, en base al cuadro, se muestra la comparación de los metros perforados correspondiente a cada mes y el consumo de piezas que se tuvo de forma general en la columna de perforación de los frontoneros del año 2017.



**Figura 51. Comparación de metros perforados en relación al consumo de piezas de perforación en 2017**

**Análisis:** el gráfico 7 muestra que en los meses de febrero, abril, mayo, setiembre, octubre, noviembre y diciembre de 2017 es en promedio 595 metros perforados, generando pérdidas con un consumo de piezas elevado de 49 piezas mayormente en brocas, esto sucede por la habilidad del operador y de cuánto conoce del equipo, principalmente el tipo de trabajo que va a realizar, por ejemplo: no es lo mismo realizar perforación de frentes y taladros largos, son muy diferentes y por lo tanto se debe conocer el trabajo.

**Interpretación:** en el 2017, en el mes de febrero, se tiene una incidencia de pérdidas en el costo de 67% y en el mes diciembre una incidencia de pérdidas en el costo de 62% siendo las que más pérdidas se dieron a comparación con los de otros meses.

Las pérdidas en promedio mensual, en metros perforados, es 595 metros perforados.

✓ **Análisis comparativo del año 2018 en la mina San Cristóbal**

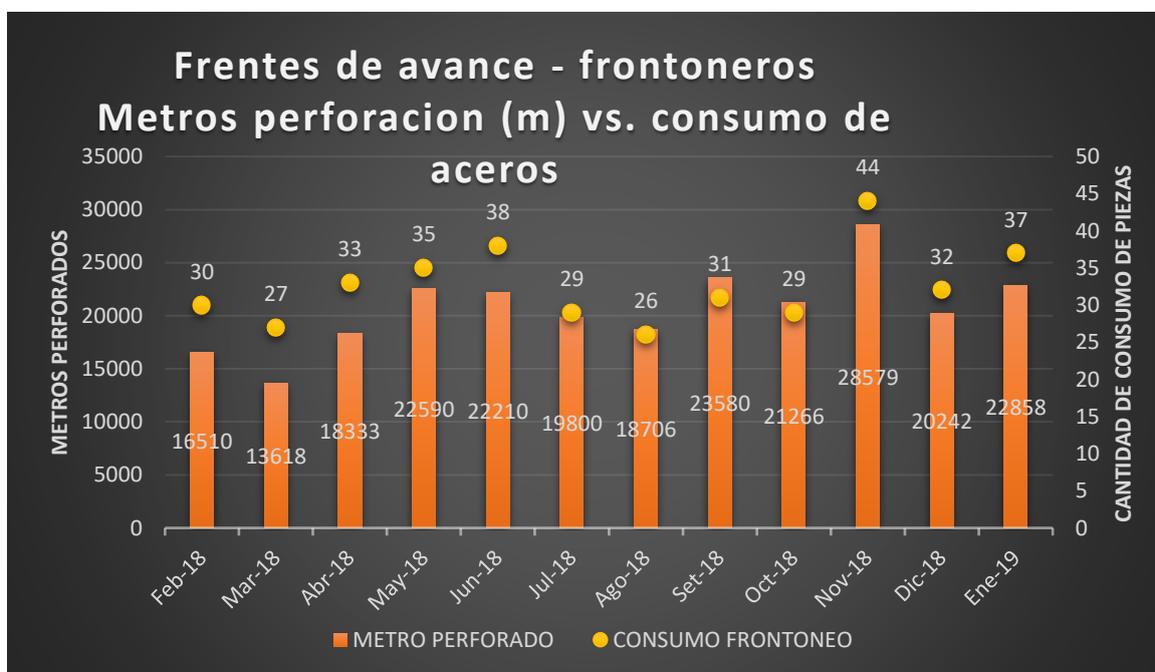
En el siguiente cuadro se muestran los metros perforados y el consumo de piezas de perforación y la incidencia en pérdidas de los frontoneros de la unidad San Cristóbal del año 2018.

**Tabla 22.**  
**Metros perforados y consumo del 2018 en la mina San Cristóbal**

Metros perforados por actividad y equipo					
Meses	Metro perforado (m)	Cantidad de consumo frontoneros	Diferencia del rendimiento de aceros y la vida útil	Pérdida (US \$)*	Incidencia de pérdidas (%)*
				Optimización (US \$)	Incidencia optimización (%)
Por cada columna de aceros de perforación					
Feb-18	16,510	30	317	129.97	5%
Mar-18	13,618	27	-1950.68	-799.78	-32%
Abr-18	18,333	33	196	80.36	3%
May-18	22,590	35	2,137	876.17	35%
Jun-18	22,210	38	1,902	779.82	31%
Jul-18	19,800	29	880	360.80	14%
Ago-18	18,706	26	668	273.88	11%
Set-18	23,580	31	30	12.30	0%
Oct-18	21,266	29	1,614	661.74	26%
Nov-18	28,579	44	863	353.83	14%
Dic-18	20,242	32	504	206.64	8%
Ene-19	22,858	37	-968.41	-397.05	-16%
<b>Promedio mensual por año</b>	<b>20691</b>	<b>33</b>	<b>516</b>	<b>212</b>	<b>8%</b>

Del cuadro se muestra; en resumen, el análisis de la vida útil de la columna de piezas de perforación, *shank adapter*, acople, barra, broca y rimadora, donde todos suman una vida útil de 20700 metros perforados, al comparar con el rendimiento en los meses respectivos durante el año 2018, da pérdidas mensuales, las pérdidas se detallan con cifras negativas y color amarillo y en los meses que no hubo pérdidas están con cifras positivas respectivamente.

En la siguiente figura, en base al cuadro, se muestra la comparación de los metros perforados correspondiente a cada mes y el consumo de piezas que se tuvo de forma general en la columna de perforación de los frontoneros del año 2018.



**Figura 52. Comparación de metros perforados en relación al consumo de piezas de perforación del año 2018**

**Análisis:** la figura muestra que en los meses de marzo 2018 y enero 2019, existe en promedio 243 metros perforados, generando pérdidas con un consumo de piezas de 35 menor al año anterior, tras el alto consumo de brocas del año anterior, se consideró la habilidad del operador respecto a la experiencia del tipo de trabajo que más domina en el campo de perforación, ya sea en frentes de avance o taladros largos, que son muy diferentes.

**Interpretación:** en el 2018, en el mes de marzo se tiene una incidencia de pérdidas en el costo de 32% es la que más pérdidas se dio a comparación de los dos meses.

Las pérdidas en promedio mensual en metros perforados es 243 metros perforados.

✓ **Análisis de la optimización de metros perforados de los años 2017 y 2018.**

En el 2018 se tuvo una reducción de pérdidas de metros perforados considerable en un 41% respecto al 2017 y con el mismo consumo de piezas de perforación.

La optimización en el rendimiento de metros perforados respecto del 2017 y del 2018 es de 352 metros perforados. Producto de no evaluar la habilidad del operador del equipo, saber cuánto conoce el operador, sus regulaciones, experiencias; por el tipo de trabajo que realizan, por ejemplo: no es lo mismo realizar perforación de frentes y taladros largos, son muy diferentes y por lo tanto se debe conocer el trabajo, falta de control de paralelismo, presión de avance deficiente, mal emboquillado y percusión en alta.

**2.4.2. Comparación del Programa de Producción en Toneladas, Metro Perforado y Costo Total por Mes para cada Equipo.**

**Comparación de los metros perforados y el consumo de piezas de perforación de los frontoneros para los frentes de avance**

En la valorización de los metros perforados se tiene el precio unitario para la perforación en frontoneros en trabajo de frente de avance, el precio unitario es de 0.41 \$/metro perforado, en este precio se incluye el costo de afilado de las brocas y rimadoras utilizadas.

**A. Análisis comparativo del año 2017 en la mina San Cristóbal**

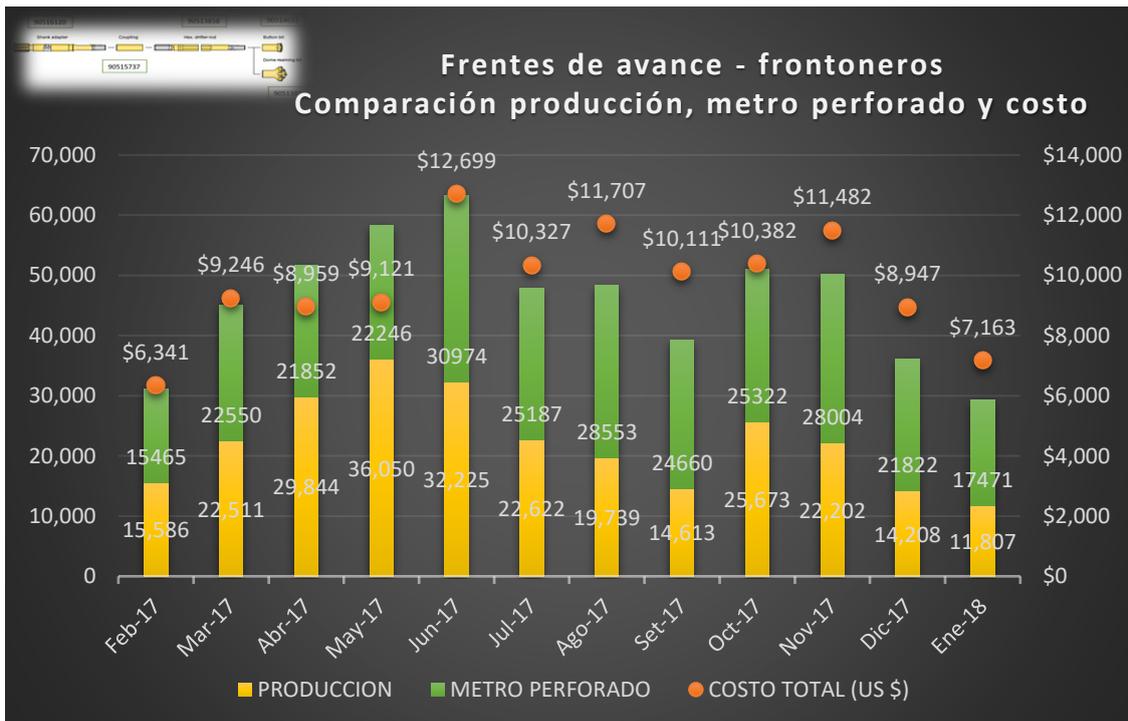
En el siguiente cuadro se muestra el programa de producción en toneladas, metros perforados y costo total por mes de los frontoneros para los trabajos de desarrollo en los frentes de avance de la unidad San Cristóbal del año 2017.

**Tabla 23. Producción, metros perforados y costo total por mes en el 2017**

Metros perforados por actividad y equipo						
Meses	Producción (t)	Metro perforado (m)	Costo total (US \$)	Diferencia del rendimiento de aceros y la vida útil	Pérdida (US \$)*	Incidencia de pérdidas (%)*
					Optimización (US \$)	Incidencia optimización (%)
					Por cada columna de aceros de perforación	
Feb-17	15,586	15,465	\$6,341	-2094	-858.54	-67%
Mar-17	22,511	22,550	\$9,246	1692	693.72	54%
Abr-17	29,844	21,852	\$8,959	-1055	-432.55	-34%
May-17	36,050	22,246	\$9,121	-1657	-679.37	-53%
Jun-17	32,225	30,974	\$12,699	876	359.16	<b>28%</b>
Jul-17	22,622	25,187	\$10,327	2568	1052.88	82%
Ago-17	19,739	28,553	\$11,707	522	214.02	17%
Set-17	14,613	24,660	\$10,111	-899	-368.59	-29%
Oct-17	25,673	25,322	\$10,382	-1576	-646.16	-51%
Nov-17	22,202	28,004	\$11,482	22	9.02	1%
Dic-17	14,208	21,822	\$8,947	-1948	-798.68	-62%
Ene-18	11,807	17,471	\$7,163	432	177.12	14%
<b>Promedio mensual por año</b>	<b>22257</b>	<b>23676</b>	<b>\$9,707</b>	<b>-260</b>	<b>-106</b>	<b>-8%</b>

Del cuadro se muestra, en resumen, el programa de producción en toneladas, metros perforados y costo total por mes, el análisis del costo de la columna de piezas de perforación, el *shank adapter*, acople, barra, broca y rimadora, donde toda la columna tiene un valor de costo 8487 \$, este costo incluye el de afilado, al comparar con el rendimiento en los meses respectivos durante el 2017, da pérdidas mensuales, las pérdidas se detallan con cifras negativas y color amarillo y en los meses que no hubo pérdidas están con cifras positivas respectivamente de la unidad San Cristóbal.

En la siguiente figura se muestra el costo mensual de los metros perforados del año 2017.



**Figura 53. Valorización de metros perforados por mes de los frontoneros del 2017**

**Análisis:** la figura muestra que en los meses de febrero, abril, mayo, setiembre, octubre, noviembre y diciembre no llegan a la vida útil de la columna de perforación, generando pérdidas en la valorización en promedio \$ 405 en los meses respectivos correspondientes a los ya mencionados. Esto sucede por la habilidad del operador de cuánto conoce del equipo, principalmente, el tipo de trabajo que va a realizar, por ejemplo: no es lo mismo realizar perforación de frentes y taladros largos, son muy diferentes y por lo tanto se debe conocer el trabajo.

**Interpretación:** en mayo del 2017 se tiene 15465 metros perforados valorizado en esos metros 6341 \$, con una incidencia de pérdidas del 67%, la más alta en comparación a los demás meses.

Las pérdidas en promedio mensual en metros perforados es 595 metros perforados y el costo en pérdidas asciende a 405 US\$, respectivamente.

## B. Análisis comparativo del año 2018 en la mina San Cristóbal

En el siguiente cuadro se muestra el programa de producción en toneladas, metros perforados y costo total por mes de los frontoneros para los trabajos de desarrollo en los frentes de avance de la unidad San Cristóbal del año 2018.

**Tabla 24. Producción, metros perforados y costo total por mes 2018**

Metros perforados por actividad y equipo						
Meses	Producción (t)	Metro perforado (m)	Costo total (US \$)	Diferencia del rendimiento de aceros y la vida útil	Pérdida (US \$)*	Incidencia de pérdidas (%) *
					Optimización (US \$)	Incidencia optimización (%)
					Por cada columna de aceros de perforación	
Feb-18	14,064	16,510	\$6,769	317	129.97	5%
Mar-18	20,312	13,618	\$5,583	-1950.68	-799.78	-32%
Abr-18	26,928	18,333	\$7,517	196	80.36	3%
May-18	32,528	22,590	\$9,262	2,137	876.17	35%
Jun-18	29,077	22,210	\$9,106	1,902	779.82	31%
Jul-18	20,412	19,800	\$8,118	880	360.80	14%
Ago-18	17,811	18,706	\$7,669	668	273.88	11%
Set-18	13,186	23,580	\$9,668	30	12.30	0%
Oct-18	23,165	21,266	\$8,719	1,614	661.74	26%
Nov-18	20,033	28,579	\$11,717	863	353.83	14%
Dic-18	12,820	20,242	\$8,299	504	206.64	8%
Ene-19	10,653	22,858	\$9,372	-968.41	-397.05	-16%
<b>Promedio mensual por año</b>	<b>20082</b>	<b>20691</b>	<b>\$8,483</b>	<b>516</b>	<b>212</b>	<b>8%</b>

Del cuadro se muestra, en resumen, el programa de producción en toneladas, metros perforados y costo total por mes, el análisis del costo de la columna de piezas de perforación, el *shank adapter*, acople, barra, broca y rimadora, donde toda la columna tiene un valor de costo 8487 \$, este costo incluye el costo de afilado, al comparar con el rendimiento en los meses respectivos durante el año 2018, da pérdidas mensuales, las pérdidas se detallan con cifras negativas y color amarillo y en los meses que no hubo pérdidas están con cifras positivas respectivamente en la unidad San Cristóbal.

En la siguiente figura se muestra el costo mensual de los metros perforados del año 2018.

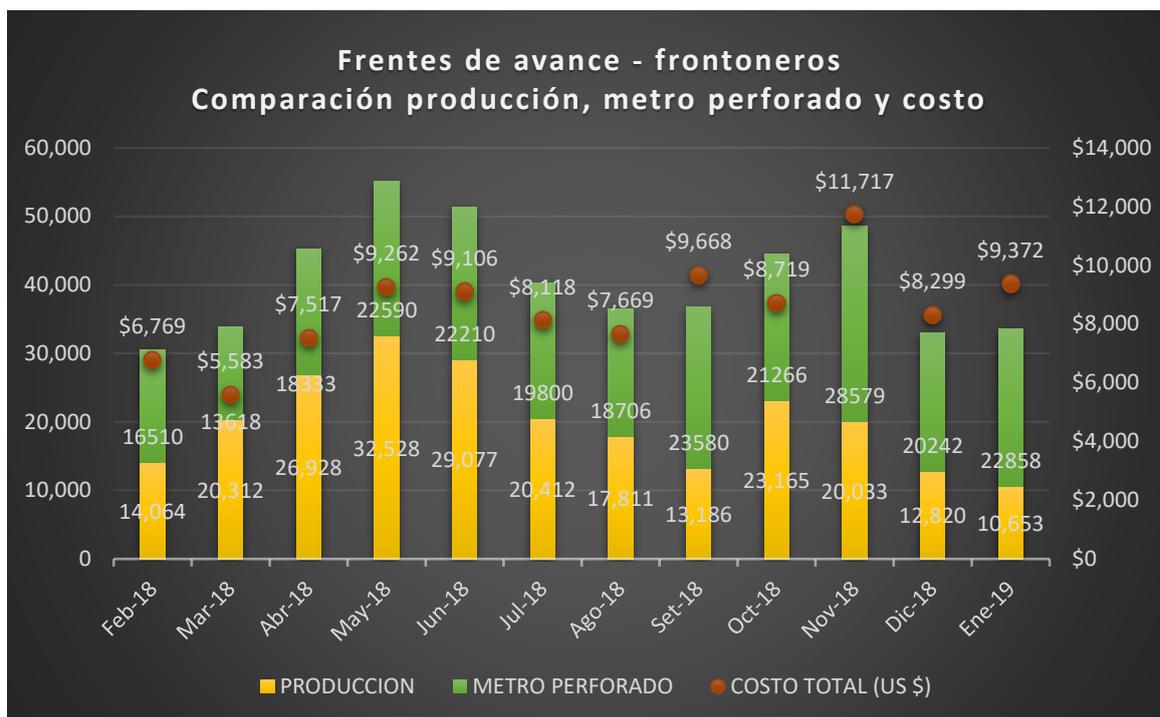


Figura 54: valorización de metros perforados por mes de los frontoneros del 2018

**Análisis:** la figura muestra que en los meses de marzo y enero, no llegan a la vida útil de la columna de perforación, generando pérdidas en la valorización en promedio \$ 165 en los meses respectivos correspondientes a los meses mencionados. Donde se consideró la habilidad del operador respecto a la experiencia del tipo de trabajo que más domina en el campo de perforación, ya sea en frentes de avance o taladros largos, que son muy diferentes.

**Interpretación:** en mayo del 2018 se tiene 13618 metros perforados valorizado en 5583 \$, con una incidencia de pérdidas del 32%, la más alta en comparación a los demás meses.

Las pérdidas en promedio mensual en metros perforados es 243 metros perforados y el costo en pérdidas asciende a 165 US\$, respectivamente.

### **2.4.3. Rendimientos del Afilado de las Brocas y Rimadoras de Perforación de la Unidad San Cristóbal**

La importancia del afilado de las brocas y rimadoras tiene suma importancia, ayuda a incrementar la vida útil y la línea de varillaje, también ayuda a aumentar la velocidad de penetración promedio durante la vida de la broca.

El rendimiento promedio mensual para los tres equipos de perforación durante el año 2017 y 2018 se desarrolló en función al rendimiento de cada broca y rimadora, para cada equipo de trabajo, una vez utilizada la broca nueva en la perforación cuenta con un metraje perforado, sin aguzar y se aprecia un desgaste del inserto y otros daños.

Para prolongar la vida útil de la broca se realiza el aguzado, ya que es económico realizar el aguzado con frecuencia en las siguientes condiciones, antes que aparezcan las microfisuras, que ocurra la rotura de los insertos, que los planos de desgaste sean mayores a un tercio del diámetro del inserto, que la velocidad de penetración disminuya y antes que la desviación del taladro esté fuera de control.

#### **Rendimiento promedio obtenido de los años 2017 y 2018 del sistema de afilado de brocas de 51 mm y rimadoras 102 mm para los equipos de frentes de avance.**

En el siguiente gráfico se detalla el rendimiento promedio de la broca "B" SR35 X 51 mm esférico y rimador domo SR35 X 102 mm esférico de Epiroc en comparación a la vida útil de los frontoneros en trabajos de frentes de avance.

Tabla 25.

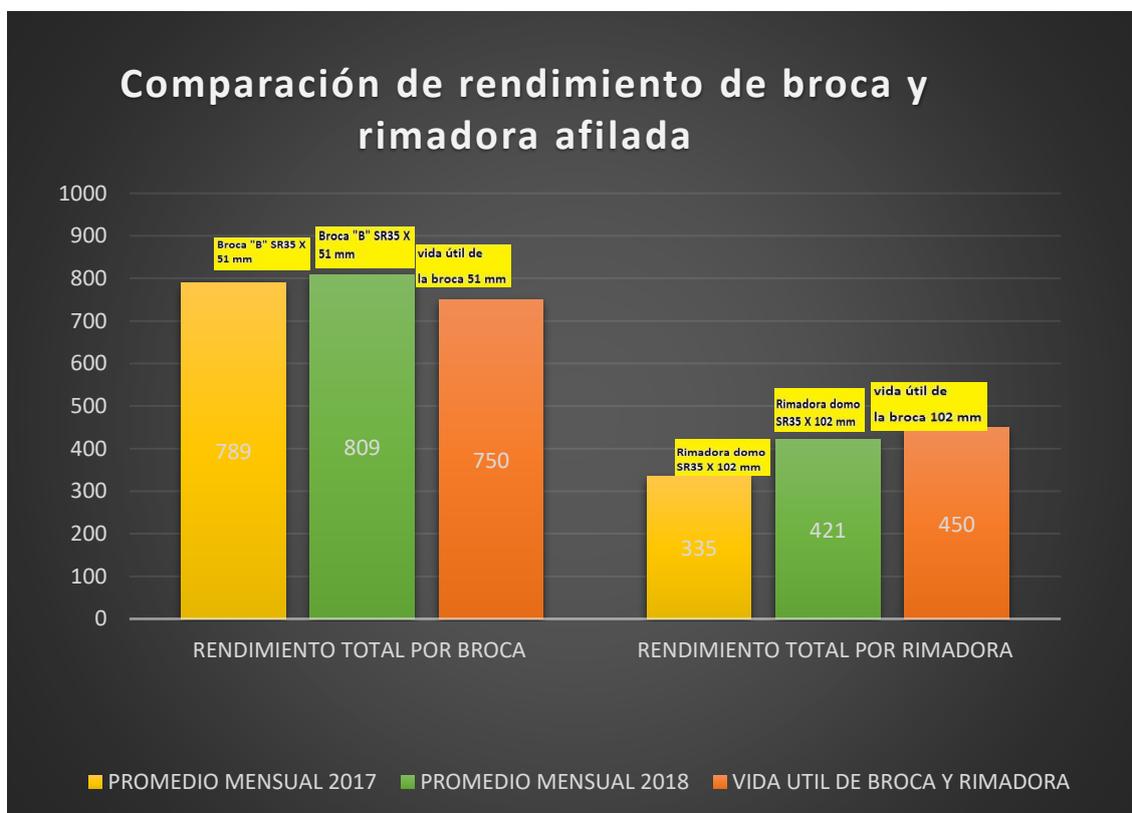
**Comparación de rendimientos de broca y rimadora afilada del año 2017 y 2018 para los frontoneros de la unidad San Cristóbal**

Comparacion de rendimiento de broca y rimadora afilada				
Promedio mensual general de frontoneros	Descripción		Promedio mensual 2017	Promedio mensual 2018
	Broca "B" SR35 X 51mm ESF (unidades)		30	24
	Rimadora domo SR35 X 102 mm BAL (unidades)		4	3
	<b>Metros perforados</b>		<b>23676</b>	<b>19426</b>
	<b>Metros rimados</b>		<b>1451</b>	<b>1264</b>
	Rendimiento sin afilado (m/p)	Broca "B" SR35 X 51 mm ESF	489	502
		Rimadora domo SR35 X 102 mm BAL	208	261
	Rendimiento afilado (m/p)	Broca "B" SR35 X 51 mm ESF	300	308
		Rimadora domo SR35 X 102 mm BAL	127	160
	<b>Vida útil de broca y rimadora (m/p)</b>			
Broca 750 c/u	<b>Rendimiento total por broca (m/p)</b>		<b>789</b>	<b>809</b>
Rimadora 450 c/u	<b>Rendimiento total por rimadora (m/p)</b>		<b>335</b>	<b>421</b>

En el cuadro se detalla la comparación promedio mensual del año 2017 y 2018 de los equipos para los trabajos en frentes de avance, como se detalla a continuación:

- ✓ Los metros perforados en el año 2018 es menor, para la broca de 51 mm es de 4250 metros y en la rimadora 102 mm es de 187 metros debido a menores trabajos de frentes de avance en trabajos de preparación y desarrollo.
- ✓ El consumo de brocas en el año 2018 es menor en 6 unidades en la broca de 51 mm y una unidad en la rimadora 102 mm respectivamente, la disminución es directamente proporcional a los metros perforados.
- ✓ En el comparativo del cuadro, en el año 2018 se tiene un incremento mayor, en 20 metros perforados en la broca 51 mm y en la rimadora 102 mm en 86 metros perforados en comparación al año anterior.

En la siguiente figura se detalla el rendimiento promedio mensual por año de la broca "B" SR 35 X 51 mm y rimadora domo SR 35 X 102 mm comparado con la vida útil de la broca y rimadora.



**Figura 55. Comparación de rendimientos de broca y rimadora del año 2017 y 2018**

**Análisis:** La figura muestra el rendimiento del 105% de la broca de 51 mm y 74% de la rimadora de 102 mm, respecto al año 2017 y del 108% de la broca de 51 mm y 94% para la rimadora 102 mm para el 2018.

En el año 2017, el rendimiento promedio mensual para las brocas de 51 mm fue de 105% respecto a la vida útil de la misma y para la rimadora de 102 mm de 74% respecto a la vida útil de la misma de la unidad San Cristóbal.

En el año 2018, el rendimiento promedio mensual para las brocas de 51 mm fue de 108% respecto a la vida útil de la misma y para la rimadora de 102 mm de 94% respecto a la vida útil de la misma de la unidad San Cristóbal.

La optimización en el rendimiento de metros perforados para la broca de 51 mm es de 20 metros perforados.

La optimización en el costo para la broca de 51 mm es de 8 US\$.

La optimización en el rendimiento de metros perforados para la rimadora de 102 mm es de 87 metros perforados.

La optimización en el costo para la rimadora de 102 mm es de 36 US\$.

**Interpretación:** para alcanzar ese incremento, se debe a varios factores, como el análisis del tipo de roca a perforar, el afilado correcto de la broca e intervalo de afilado, donde, los factores y parámetros de perforación son cruciales para la optimización de las piezas de perforación.

## 2.5. Definición de Términos

**Mantenimiento de aceros:** el mantenimiento de los aceros se realiza mediante el aguzado de brocas. El objetivo del afilado es devolver la forma al inserto y quitar la piel de serpiente (microfracturas) de la superficie del inserto. (10)

**Columna de perforación:** es el conjunto de broca, barra, acople y *shank*, de las cuales la broca es la pieza de alto costo de la columna de perforación, por eso es muy importante su control y mantenimiento. (10)

**Contrato metro perforado:** es un método de gestión (control) del varillaje utilizado, el cual permite reducir los costos de perforación a través de la supervisión, control y distribución de los aceros al cliente, con un equipo especializado de personas que se encargarán de optimizar al máximo los recursos con el fin fundamental de incrementar la productividad. (10)

**Estadísticas de vida útil:** si se realiza una rotación de brocas de manera adecuada y de acuerdo al tipo de dureza de la roca, el rendimiento de los aceros será el óptimo y además se reducirán los tiempos de perforación y el costo de mantenimiento del equipo en el sistema de perforación. (10)

## **CAPÍTULO III**

### **MÉTODO DE DESARROLLO DEL PROYECTO**

#### **3.1. Método y Alcances de la Investigación**

##### **3.1.1. Método General o Teórico de la Investigación**

El método general es deductivo y analítico.

**Método deductivo:** la optimización de la vida útil de los aceros de perforación para la reducción de los costos de perforación en los frentes de avance de la zona alta de la unidad productora San Cristóbal de Volcán Compañía Minera S. A. A. es el óptimo para la unidad minera, que se analizó mediante datos de campo *in situ* y equipo a utilizar, el método analítico se utilizó para determinar los costos óptimos en la operación unitaria de perforación, para determinar los costos óptimos en la operación unitaria de perforación.

##### **3.1.2. Método específico de la investigación**

Se obtiene a partir de la información general de geología, geomecánica y el área de operaciones, de acuerdo a la programación de planeamiento para elaborar las estadísticas de perforación en consumo, metros perforados, habilidad de operación y el tipo de roca a perforar de cada equipo en los trabajos de avance; por último, al evaluar los controles de los parámetros de perforación para optimizar los costos de perforación en frentes de avance.

## **3.2. Diseño de la Investigación**

### **3.2.1. Tipo de diseño de investigación**

Es un tipo de investigación aplicada, porque el objetivo de la investigación es determinar la influencia de la evaluación de las variables técnico-operacionales del equipo *Boomer S1D* en el aumento de la vida útil de los aceros de perforación en la unidad productora San Cristóbal de Volcan Compañía Minera S. A. A.

### **3.2.2. Nivel de Investigación**

Es de nivel explicativo ya que se trata de determinar la influencia de la evaluación de las variables técnico-operacionales del equipo *Boomer S1D* en el aumento de la vida útil de los aceros de perforación en la unidad productora San Cristóbal de Volcan Compañía Minera S. A. A. que ayudan a terminar en menor tiempo los trabajos de perforación de frentes de avance en preparación o desarrollo de la unidad minera.

## **3.3. Población y Muestra**

### **3.3.1. Población**

La unidad de producción San Cristóbal correspondiente a una de las unidades productoras de la empresa Volcan Compañía Minera S. A. A.

### **3.3.2. Muestra**

Representado por el nivel 1120, labor SP 6 de la zona alta de la unidad productora San Cristóbal de Volcan Compañía Minera S. A. A.

## **3.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

### **3.4.1. Técnicas Utilizadas en la Recolección de Datos**

La presente investigación se realizó recolectando datos en campo *in situ* mediante la técnica observacional y procesamiento de datos actuales de la perforación, representado por el nivel 1120, labor SP 6 de la zona alta de la unidad productora San Cristóbal de Volcan Compañía Minera S. A. A.

Para la investigación se utilizó como instrumento de campo el cuaderno de notas, planos, *vernier*, flexómetro y herramientas de gestión de la unidad productora San Cristóbal de Volcan Compañía Minera S. A. A.

Se realizó la recolección de datos de la perforación, factores y parámetros, control de uso y consumo utilizando el programa Excel, además se consultaron tesis y libros referentes al tema.

#### **3.4.2. Instrumentos Utilizados en la Recolección de Datos**

Para la investigación se utilizó como instrumento de campo el cuaderno de notas, planos, *vernier*, flexómetro y herramientas de gestión de la empresa de Epiroc.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Análisis de Equipos de Perforación para Trabajos en el Nivel 1120 Labor SP 6 de la Zona Alta Tj 120 E-W

##### 4.1.1. Equipo de Perforación *Boomer S1D* Parámetros y Factores de Perforación

En la siguiente tabla se muestran los controles de mando del *Boomer S1D* utilizada para la perforación de frentes.

Tabla 26.

*Los controles de mando de la vida útil de la broca y rimadora del equipo de perforación Boomer S1D para los frentes de avance*

Vida útil de broca SR 35 X 51 mm Esp y rimadora domo SR25X 102 mm Esp (1-146)	Litología (roca)	Litología (roca)	Roca encajonante (dacita)	Roca mineralizada (esfalerita)
	Vida en (*) (pies / metros)	Broca "B" SR35 X 51 mm Esp (metros)		781 m
Rimador domo SR35 X 102 mm (metros)			480 m	450 m
Parámetros de perforación (**)	Valor		Válvula	Valor recomendado
	Percusión emboquillado		CT6	130-140 bares
	Percusión máximo		CT3	180-230 bares
	Presión de posicionamiento		En válvula de control de bomba	210-230 bares
	Velocidad de rotación		405	Depende del tipo y diámetro de broca
	Presión de <i>damping</i>		406	40 bares
	Presión de avance máximo		223	100 bares
Presión de avance emboquillado		321	40 bares	

	Presión de avance para perforación total	321	65-100 bares
	Presión RPCF	224	20-25 bares por encima de presión rotación en perforación
	Presión antiatasque/retorno	219	40 bares por encima de presión rotación en perforación
<b>Presiones de la viga retráctil</b>			
	Presión de avance máxima	223	140 Bares
	Presión de divergencia	254	45 Bares
	Presión de avance/reversa	257	120 Bares

(\*) Vida promedio en MCAR

(\*\*) Vida útil bajo condiciones óptimas de trabajo (agua, aire y buen estado de la maquina)

(\*\*\*) Se ha de considerar una eficiencia del disparo de 82%

**Se ha de considerar para los cálculos, una vida promedio 750 metros/broca (contar con condiciones óptimas de trabajo)**

## A. Análisis y diseño de malla de perforación de frentes de avance – *Boomer S1D*

**Tabla 27.**

**Diseño de malla de perforación del frente de avance en el nivel 1120 labor SP 6 de la zona alta**

Descripción	N.º Tal	
Precorte (corona)	4	
Alivio (rimados)	4	
Arranque	4	
Primera ayuda	4	
Segunda ayuda	4	
Tercera ayuda	4	
Ayuda corona	2	
Hastial	4	
Corona	5	
Arrastre	4	
Taladros perforados	39	
<b>Total pies perforados por disparo</b>	468	<b>Pies</b>
	143	<b>Metros</b>

En la siguiente figura se muestra el diseño de malla por la unidad minera San Cristóbal, nivel 1120 Labor SP 6 de la zona alta, para los frentes de avance.

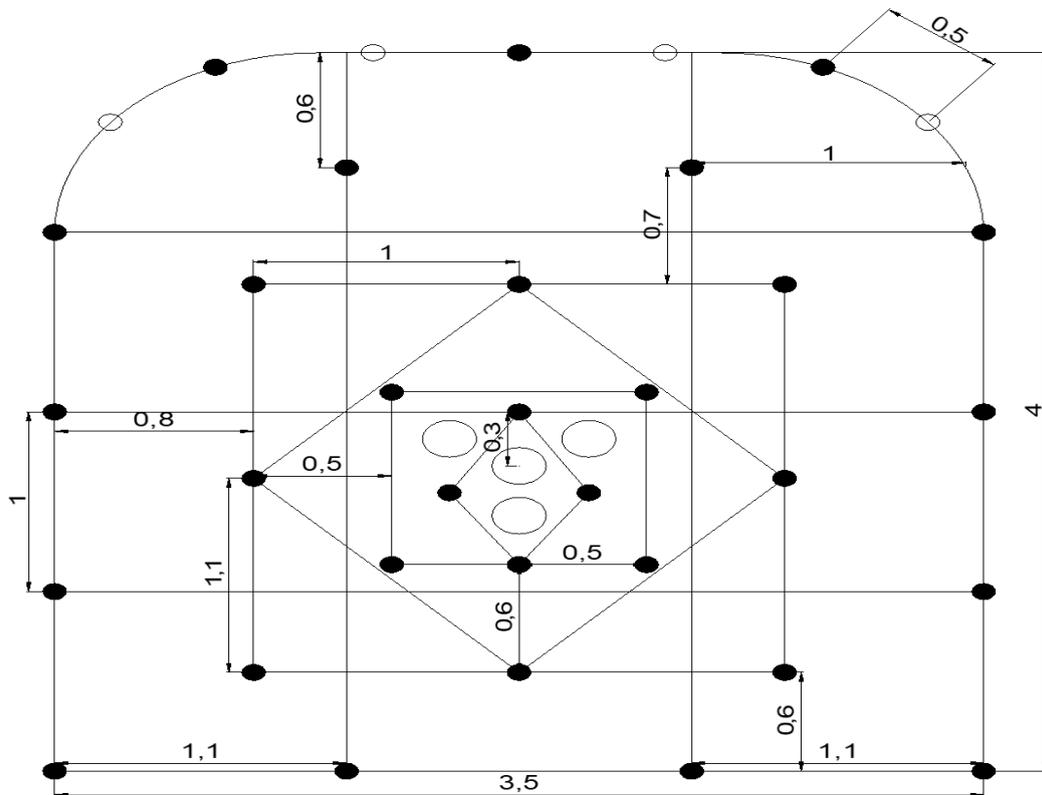


Figura 56. Diseño de malla de perforación para los frentes de avance, nivel 1120 Labor SP 6 de la zona alta

✓ Pies perforados por *breasting* desquinche

Descripción de trabajo	N.º	Tal
perforación en <i>breasting</i> con 12 pies	112	
perforación en <i>breasting</i> con 10 pies	37	
perforación en desquinche de 12 pies	30	
<b>Total taladros de perforados (guardia noche y día)</b>	<b>179</b>	<b>taladros</b>
<b>Total pies perforados de las actividades</b>	<b>2074</b>	<b>pies</b>

✓ Finalmente se tiene

Metros perforados por avance guardia (3.65m de avance)	<b>164</b>	<b>metros</b>
Metros perforados al mes	<b>14886</b>	<b>metros/mes</b>
Avance del mes	<b>97</b>	<b>metros</b>
Vida útil de la broca	<b>750</b>	<b>metros</b>
Consumo de brocas al mes ( guardia día y noche)	<b>19</b>	<b>Unid.</b>

✓ **Por operatividad**

Se usan barras estándar de 14 pies	1	unid.
Para la perforación se tiene <i>stand by</i>	4	unid.
Durante el mes de junio se reportó broca que se quedó en el taladro o cayó al buzón y entregó sin cambio	0	unid.
La abrasividad generó desgaste prematuro, se entrega c/cambio	4	unid.

**Total brocas que debieron consumirse en los 97 m de avance** **28 unid.**

✓ **Para el cambio de guardia**

Quedan en <i>stand by</i> de la guardia que sale de días libres con diámetros mayores a los 45 mm	10	unid.
Para los que entran de días libres igual tiene en <i>stand by</i> brocas con diámetros mayores a los 45 mm	10	unid.

**El ratio de consumo de brocas en los frentes por avance es:** 0.28

**N.º de brocas / avance (mes 28 unid./103 m)** **28.27%**

**El consumo de brocas por guardia**

**N.º de consumo de brocas / mes** **8**  
**(mes 29 unid. \* N.º de brocas/ avance)** unid.

El consumo en las dos guardias día y noche

**N.º de consumo de brocas / mes (por 2)** **16** unid.

#### 4.2. Comparación de Rendimiento de Broca y Rimadora Afilada– Nivel 1120 Labor SP 6 de la Zona Alta Tj 120 E-W

##### 4.2.1. Comparación de Rendimiento de Broca y Rimadora Afilada en el Equipo S1D – Nivel 1120 Labor SP 6 de la Zona Alta

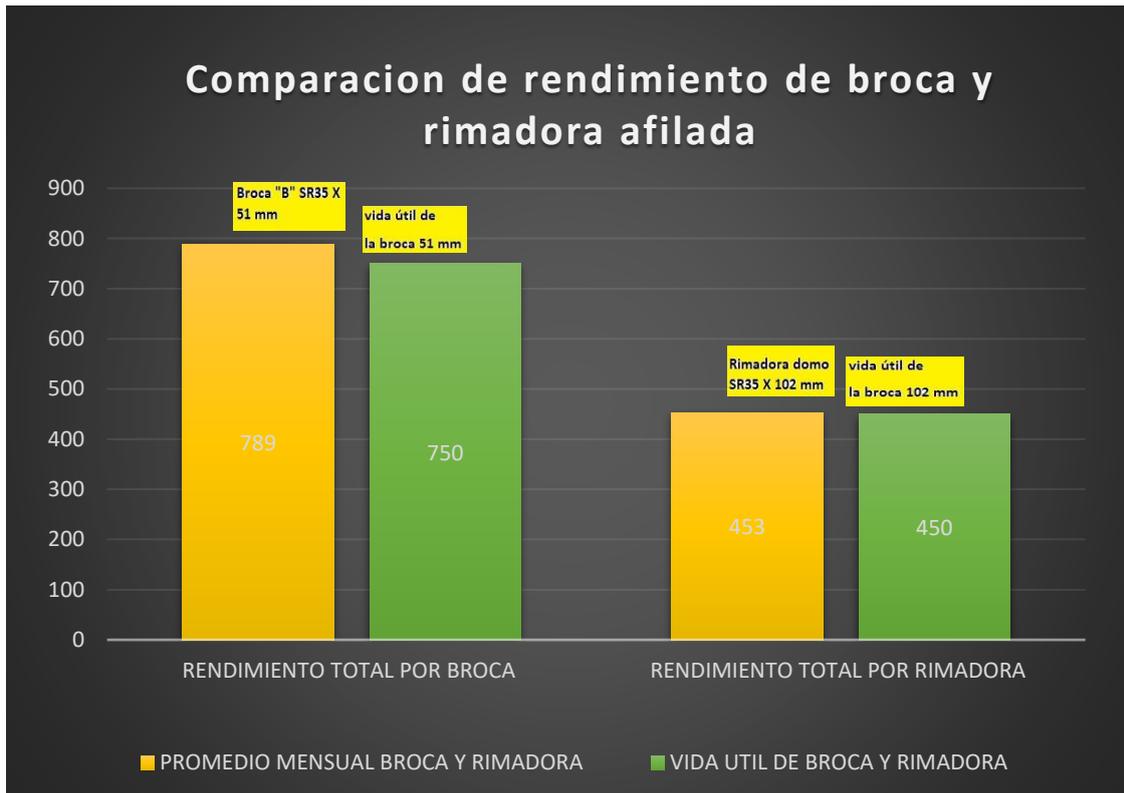
En el siguiente cuadro se detalla el rendimiento promedio de la broca SR35 X 51 mm esférico y rimador domo SR35 X 102 mm esférico de Epiroc, en comparación a la vida útil para el equipo S1D en trabajos de desarrollo en frentes de avance.

**Tabla 28.**  
**Comparativo de rendimientos de la broca 51 mm y rimadora 102 mm**

Comparación de rendimiento de broca y rimadora afilada			
Promedio mensual general de frontoneros	Descripción		Promedio mensual 2018
		Broca "B" SR35 X 51mm esf (unidades)	
	Rimadora domo SR35 X 102mm bal (unidades)		4
	<b>Metros perforados</b>		<b>23676</b>
	<b>Metros rimados</b>		<b>1451</b>
Rendimiento afilado (m/p)	sin	Broca "B" SR35 X 51 mm esf	489
		Rimadora domo SR35 X 102 mm bal	208
Vida útil de broca y rimadora (m/p)	Rendimiento afilado (m/p)	Broca "B" SR35 X 51 mm esf	300
		Rimadora domo SR35 X 102 mm bal	127
750	<b>Rendimiento total por broca (m/p)</b>		<b>789</b>
450	<b>Rendimiento total por rimadora (m/p)</b>		<b>453</b>

En el cuadro se detallan los promedios mensuales del año 2018 y los metros perforados en promedio, afilados y sin afilar, el rendimiento total por broca y rimadora.

En la siguiente figura se detalla el rendimiento promedio mensual por año de la broca SR 35 X 51 mm y rimadora domo SR 35 X 102 mm comparado con la vida útil de la broca y rimadora.



**Figura 57. Comparación de rendimientos de broca y rimadora del nivel 1120 Labor SP 6 de la zona alta 2018**

**Análisis:** en el gráfico se observa un incremento del rendimiento promedio mensual en la broca de 51 mm en 39 metros perforados respecto a la vida útil y, en la rimadora 102, un incremento de 3 metros perforados respecto a la vida útil. En el año 2018 se tuvo un incremento de metros perforados en la broca de 51 mm en un 105% y en la rimadora de 102 mm 101%

La optimización en el rendimiento de metros perforados respecto a la broca de 51 mm es de 39 metros perforados y el costo de incremento es 16 US\$.

La optimización en el rendimiento de metros perforados respecto a la

rimadora de 102 mm es de 3 metros perforados y el costo de incremento es 1.23 US\$.

**Interpretación:** se consideró la habilidad del operador respecto a la experiencia del tipo de trabajo que más domina en el campo de perforación, ya sea en frentes de avance o taladros largos, que son muy diferentes y el tipo de roca acerca de los parámetros de perforación e influencia en el macizo rocoso en las propiedades de la misma dureza, contextura y abrasividad.

#### 4.3. Análisis de la Velocidad de Perforación para Trabajos en el Nivel 1120 Labor SP 6 de la Zona Alta Tj 120 E-W

La velocidad de perforación es un factor primordial para la producción, el tiempo que emplea el equipo para realizar un taladro es primordial para asegurar la producción de mineral.

El buen control de la velocidad ayuda a optimizar el menor tiempo de perforación de taladros e incrementar la producción al reducir costos en el equipo en función al tiempo de operación de uso.

##### 4.3.1. Pérdida de la Velocidad de Perforación para Frentes de Avance

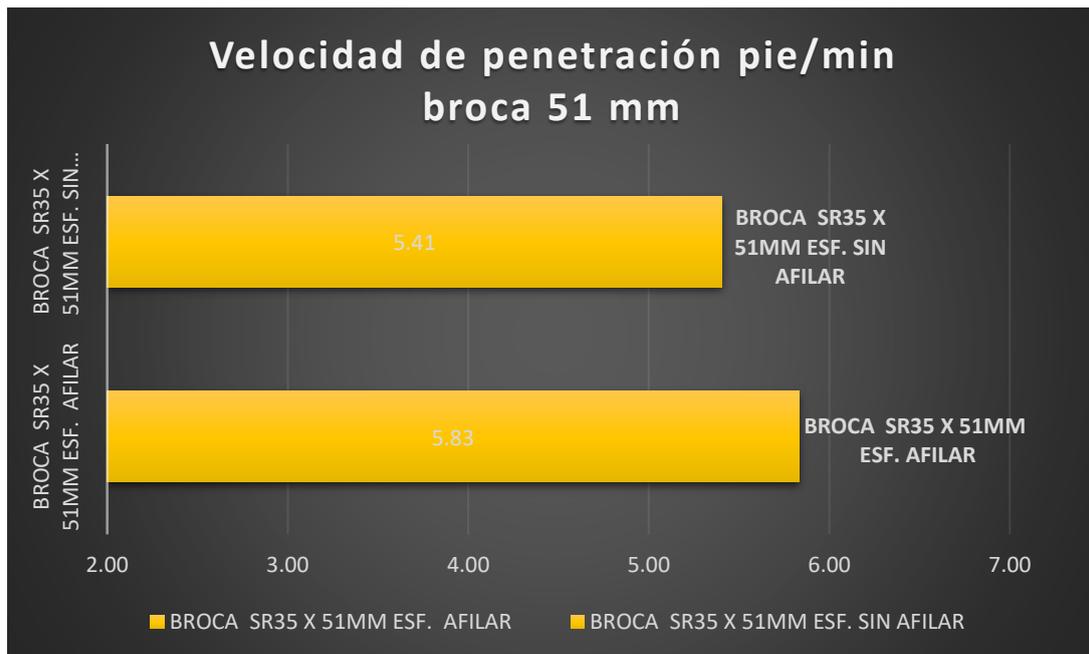
El análisis en trabajos de desarrollo del equipo S1D de taladros largos se realizó para una altura de 14 pies, en el cuadro siguiente se realiza la comparación de la velocidad de perforación de una broca afilada con una sin afilar.

**Tabla 29.**  
**Análisis de pérdida de penetración de la roca – nivel 1120 labor SP 6 de la zona alta**

Broca SR35 X 51 mm esf	Broca SR35 X 51 mm esf. afilar		Broca SR35 X 51 mm esf. sin afilar		Diferencia
	1 taladro	45 taladro	1 taladro	45 taladro	
Min/tal de 14 pies	1 taladro	45 taladro	1 taladro	45 taladro	
Tiempo de perforación/tal	2.40	108.00	2.59	116.55	8.55
Parada posicionamiento	0.41	18.48	0.42	18.90	0.42
Total minutos	3.22	151.50	3.41	165.75	14.25
Total horas	00:03:13	02:31:30	00:03:25	02:45:45	00:14:15

Del cuadro, se observa que una broca sin afilar demora más en perforar que una afilada, por lo que, en relación al tiempo resulta que la broca sin afilar demora 14 min más que una afilada.

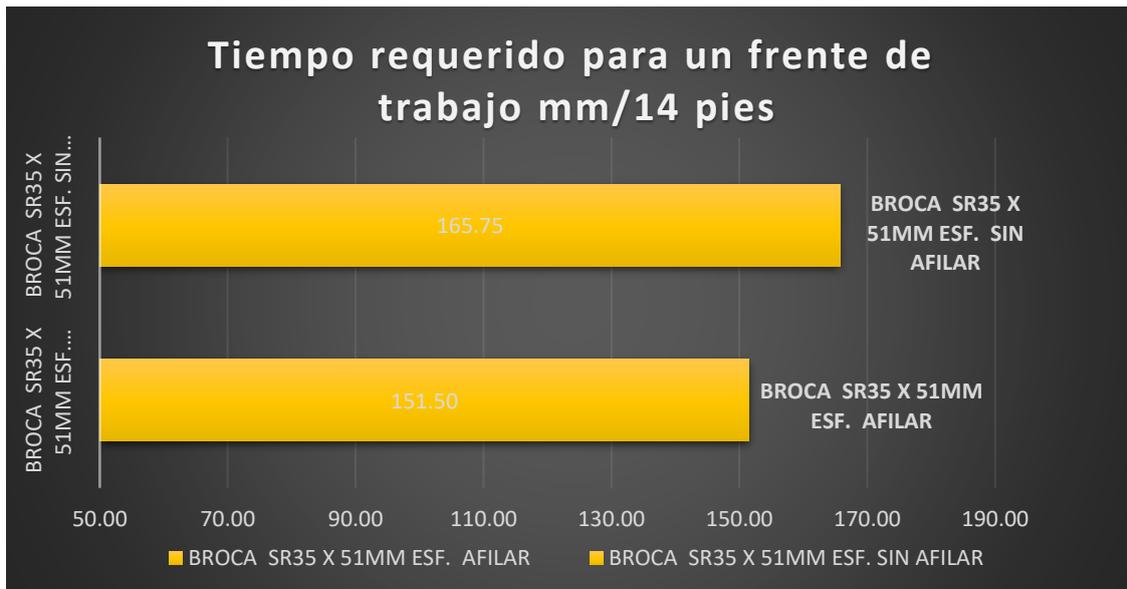
En la siguiente figura se muestra la velocidad de penetración pie/min para un taladro con una broca de 51 mm.



**Figura 58. Velocidad de penetración pie/min broca 51 mm – nivel 1120 labor SP 6 de la zona alta**

**Análisis:** en el gráfico se muestra la velocidad de penetración de la broca de 51 mm sin afilar 5.41 minutos y afilada 5.83 minutos

En la siguiente figura se muestra el tiempo requerido para frentes de avance con una barra de 14 pies de longitud.



**Figura 59.** Tiempo requerido para 45 taladros de 14 pies broca 51 mm – nivel 1120 labor SP 6 de la zona alta

**Análisis:** en el gráfico se muestra el tiempo requerido para realizar 45 taladros de frentes de avance con la broca de 51 mm sin afilar en 165.75 minutos y afilada en 151.50 minutos, el afilado ayuda a mantener la velocidad.

**Interpretación:** el tiempo óptimo es cuando la broca está afilada, ya que termina el trabajo en menor tiempo, la broca 51 mm sin afilar trabaja en 165.75 minutos y la afilada en 151.50 minutos, por lo que se tiene un ahorro de 14 minutos por los 45 taladros realizados.

#### 4.4. Optimización del Rendimiento de Aceros de Perforación del Nivel 1120 Labor SP 6 de la Zona Alta

##### 4.4.1. Rendimiento de Piezas de Perforación para el *Boomer S1D*

En el siguiente cuadro se muestra el rendimiento de metros perforado, el consumo del equipo y vida útil de cada pieza de perforación.

**Tabla 30. Comparación de índices de operación para el equipo jumbo Boomer S1D**

AÑO	AÑO 2017	AÑO 2018
PRODUCCION (ton)	157,936	147,706
METRO PERFORADO (m)	160,670	178,631
CONSUMO DE ACEROS DE PERFORACION TOTAL (unidades)	327	307
COSTO TOTAL (US \$) DE ACEROS	\$65,875	\$73,239
índices de operación		
Índice de producción/metro perforado	0.98	0.83
Índice de producción/consumo aceros	483	482
Índice de producción/costo total aceros	2.40	2.02
Incremento porcentual de la vida útil	100.00%	118.62%

El Rendimiento de vida útil total del año 2017 frente al 2018 tiene un incremento del 18.62% frente al año anterior.

En el siguiente cuadro se muestra el incremento para el 2018 de los índices de operación del equipo *Boomer S1D*.

**Tabla 31. Incremento de costos del año 2018 del equipo jumbo Boomer S1D**

Incremento de costos del año 2018		
Costo del incremento del rendimiento	37	US\$
Costo US\$ de producción/metro perforado	5.85	US\$ prod./MP
Costo US\$ de producción/consumo aceros	39.01	US\$ prod./cons. aceros

Del cuadro se observa que el costo incrementado del rendimiento es 37 US\$, por cada pieza de perforación.

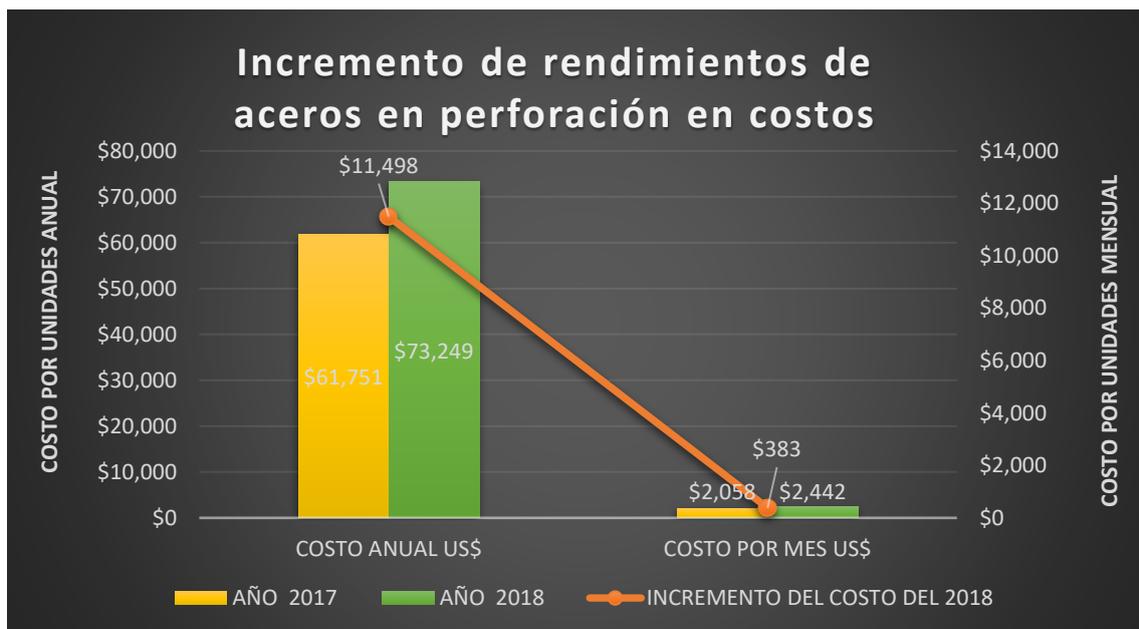
En el siguiente cuadro se muestra la comparación del incremento de rendimiento en costos de aceros de perforación del año 2017 y 2018 del equipo jumbo *Boomer S1D*.

**Tabla 32. Comparación del incremento de rendimiento en costos de aceros de perforación del 2017 y 2018 del equipo jumbo Boomer S1D**

Incremento de rendimiento en costos por cada acero de perforación	Año 2017	Año 2018	Incremento del costo del 2018
Costo anual US\$	\$61,751	\$73,249	\$11,497.98
Costo por mes US\$	\$2,058	\$2,442	\$383.27

Del cuadro se observa que el costo incrementado del rendimiento de acero para el año 2018 es de \$11,497.98 anual y \$383.27 mensual.

En la siguiente figura se muestra la comparación del incremento de rendimiento en costos de aceros de perforación del año 2017 y 2018 en relación a cuánto asciende por año y mes respecto al año 2018 del equipo Jumbo *Boomer S1D*.



**Figura 60. Comparación del incremento de rendimiento en costos anual y mensual del equipo jumbo Boomer S1D**

**Análisis:** en el gráfico se muestra el incremento para el año 2018, el costo incrementado del rendimiento de aceros para el año 2018 es de \$11,497.98 anual y \$383.27 mensual.

**Interpretación:** para mejorar el rendimiento se tuvo que realizar las siguientes acciones de mejora:

- ✓ Las capacitaciones sobre fallas operacionales en la falta de control de paralelismo, presión de avance deficiente, mal emboquillado y percusión en alta ayuda a reducir los metros en pérdidas.
- ✓ Informar al área de mantenimiento para el oportuno mantenimiento del equipo y evitar que los equipos de perforación trabajen fuera del ciclo de mantenimiento.

## CONCLUSIONES

1. Los rangos normales de los parámetros de perforación para los equipos de Epiroc, en su gran mayoría, deben perforar con una rotación de 40 - 50 bar, percusión de 140 - 180 bar, en avance: 60 - 90 bar (en los equipos frontoneros) y 25 a 45 bar (en los equipos de taladros largos modelos 1254), en las simbas S7D pueden variar dependiendo del tipo de perforación que van a realizar. El antiatasque es de 75 bar (este rango es 25 bares por encima de la presión de rotación) y en brocas los RPM de 180 rpm (brocas de 45 mm a 51 mm), 150 rpm (broca de 64 mm) y en brocas rimadoras de 125 rpm a 135 rpm (brocas de 898 mm a 102 mm).
2. La velocidad de perforación para los trabajos de perforación del nivel 1120 Labor SP 6 de la zona alta, tajo 120 E-W va a depender del afilado de la broca, la cual mejora los tiempos de perforación en frentes de avance con una broca de 51 mm para una longitud de 12 pies efectiva, se reduce en 14 minutos para 45 taladros perforados.
3. La optimización del rendimiento de aceros de perforación del nivel 1120 Labor SP 6 de la zona alta, del tajo 120 E-W, el rendimiento anual y mensual en términos económicos de las piezas de perforación, para los equipos de perforación en las actividades de preparación y desarrollo de frentes de avance el equipo *Boomer S1D* para el año 2018 es de \$11,497.98 anual y \$383.27 mensual.

## RECOMENDACIONES

1. Existe una gran oportunidad de mejora con entrenamiento a los perforistas a fin de que sean capaces de detectar los cambios del terreno y regular las presiones de perforación según estas vayan variando, actualmente esto solo se puede realizar cuando se tiene la visita del técnico mecánico para que regule la máquina.
2. Encontrar un adecuado intervalo de afilado optimiza la vida útil del material, intervalos inadecuados puede incluso ser perjudicial.
3. Para evitar el desprendimiento se deberá respetar los siguientes parámetros: la perforación de los taladros en la caja techo deberán estar distanciadas a 0.20 cm con respecto a esta caja con sus respectivos taladros de alivio.
4. Cuando las presiones de trabajo se encuentran regulados de acuerdo al tipo de roca de un proyecto o labor, el rendimiento de los aceros de perforación y la producción será óptimo, en la medida de lo posible.
5. Todo operador tiene la particularidad de comunicar inmediatamente a los mecánicos de los equipos de perforación de presentarse algún desperfecto de las presiones de trabajo.

## LISTA DE REFERENCIAS

1. **GARCÍA, Iker.** *Caracterización en obra y minería subterránea por monitorización de la perforación.* España. 2015. ISSN 1699–7743, p. 17–21.
2. **ORTEGA, C., JARAMILLO, A. y MOLINA, J.** Modificación de las mallas de perforación de voladuras a partir del índice de esfuerzo geológico (GSI), caso mina “La Maruja”, Colombia. *Boletín de Ciencias de la Tierra.* Medellín, Colombia. 2019. N.º 40, p. 32. ISSN impreso 0120-3630.
3. **ABANTO, J. y VASQUEZ, J.** *Reducción de costos en las operaciones unitarias de perforación y voladura optimizando el mantenimiento de brocas de 45 mm, rimadoras de 102 mm y el consumo de explosivo en las labores de desarrollo que realiza la empresa Conmiciv S. A. C En CMH S. A.* Universidad Nacional de Trujillo, 2019.
4. **CHIRINOS, A.** *Control de aceros de perforación, factores que influyen la vida útil, su relación con el paralelismo y profundidad en el proyecto de expansión k-115 JJC Contratistas Generales S. A. Sociedad minera Cerro Verde.* Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2015.
5. **CELIS, H.** *Reducción de la desviación de taladros largos implementando menores longitudes de perforación de taladros para bancos de producción de 20 metros de altura en Sublevel Stopping con Simbas H1254, en el cuerpo Casapalca 4 en el nivel 11 -11A, mina Casapalca-2019.*
6. **FERNÁNDEZ, R.** *Optimización técnico-económica de perforación de barrenos en terrenos homogéneos. Búsqueda de leyes de desgaste para bocas de perforación.* Universidad de Oviedo, 2006.
7. **UEA YAULI.** *Área de Geología y Planeamiento de la UEA Yauli.* Mina San Cristobal - UEA Yauli, reservas y recursos minerales. Oroya - Yauli, 2014.
8. **RAMÍREZ, F.** *Estudio geológico y mineralización de la UP San Cristóbal proyecto de exploración y estimación de recursos del nivel 1120 Labor SP 6 de la zona alta – nv. 1020.* Universidad San Agustín de Arequipa, 2017.
9. **LTDA, D C R Ingenieros S R.** *Evaluación geomecánica del minado subterráneo de la mina San Cristóbal.* Calle Altamira 124 Urb. Camino Real La Molina, Lima, Perú, 2014.
10. **VOLCAN CM.** *Área de Geomecánica de la unidad minera San Cristóbal. Sustento técnico de la tabla geomecánica minera Volcan Compañía S. A. A.*

Oroya - Yauli, 2014.

11. **JIMENO, J.** *Manual de perforación y voladuras de rocas.* Madrid - España, 1987. ISBN 84-505-7007-7.
12. **JIMENO, J.** *Curso de equipos de perforación en minería subterránea - criterios de selección y optimización operativa.* 2015. Madrid - España.
13. **ATLAS Copco, Peru SAC.** *Simba S7 D: Equipo de perforación de barrenos largos.* 2017. Santa Catalina - Lima.
14. **San Cristóbal, UP.** *Área geomecánica. Estudio geomecánico para taladros largos. Nivel 1120 Labor SP 6 de la zona alta - zona volcánica.* Oroya - Yauli, 2019.
15. **SECOROC, Atlas Copco SAC.** *Product catalogue – Tophammer equipment.* . 2017.
16. **DRILLMASTER 3 - RDT.** *Atlas Copco Peruana S. A.* Marzo 2013.
17. **ORE ACUÑA, César Rutger.** *Afilado de brocas.* Epiroc Perú S. A. 2018. Oroya - Yauli.
18. **MALLQUI, A.** *Maquinaria y equipo minero.* Huancayo - Perú, 2007. CIP 22355.

## **ANEXOS**

## Anexo 1

### Matriz de consistencia

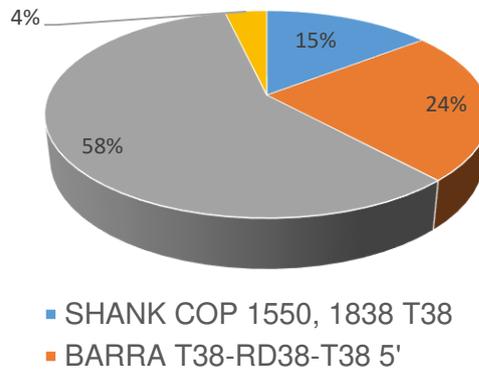
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general
¿Cuáles son los resultados del análisis de la vida útil de aceros de perforación para evaluar costos operativos en galerías - compañía minera San Cristóbal S. A. A. – 2020?	Determinar los resultados del análisis de la vida útil de aceros de perforación para evaluar costos operativos en galerías - compañía minera San Cristóbal S. A. A. – 2020.	Los resultados del análisis de la vida útil de aceros de perforación tienen relación directa con los costos operativos en galerías - compañía minera San Cristóbal S. A. A. – 2020.
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específica
a) ¿Cuál es el resultado del análisis de las variables técnicas del equipo <i>Boomer S1D</i> para evaluar costos operativos en galerías?	a) Determinar el resultado del análisis de las variables técnicas del equipo <i>Boomer S1D</i> para evaluar costos operativos en galerías.	a) El resultado del análisis de las variables técnicas del equipo <i>Boomer S1D</i> influyen en los costos operativos de perforación en galerías.
b) ¿Cómo influye la velocidad de perforación para evaluar costos operativos en galería?	b) Analizar la influencia de la velocidad de perforación para evaluar costos operativos en galería.	b) El parámetro de velocidad de perforación influye como relación directa con los costos operativos en la galería.
c) ¿Cuál es la influencia de las variables de productividad del consumo de aceros de perforación para evaluar costos operativos en galerías?	c) Evaluar la influencia de las variables de productividad del consumo de aceros de perforación para evaluar costos operativos en galerías.	c) Las variables de productividad del consumo de aceros de perforación influyen en los costos operativos en galerías

## Anexo 2

### Precio unitario de la columna de perforación de taladros largos en proporción a los costos

Descripción	PU \$	Consumo	Costo mensual (\$)	%
Shank COP 1550, 1838 T38	326.35	8	2610.80	15
Barra T38-RD38-T38 5'	300.85	13	3911.05	24
Broca retrac. DC T38 X 64 mm	147.90	32	4732.80	58
Broca domo T38 X 127 mm ESF	505.00	2	1010.00	4
Total costo	1280.10	55.00	12264.65	100

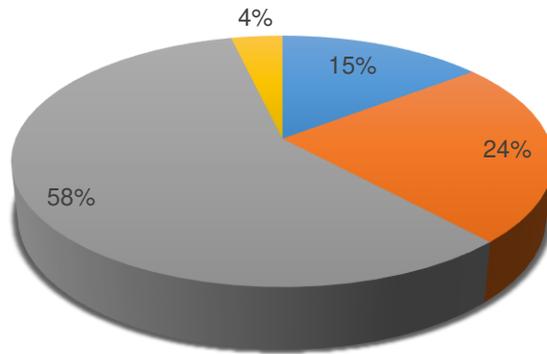
#### Porcentaje relación al precio y consumo



### ➤ Precio unitario de la columna de perforación en frentes de avance en proporción a los costos

Descripción	PU \$	Consumo	Costo mensual (\$)	%
Acople T38/T38	78.5	4	314.00	16
Barra T38-H35-SR35 X 14'	450	3	1350.00	12
Broca SR35 X 51 mm esférico	109	14	1526.00	56
Rimador domo SR35 X 102 mm bal	289.33	2	578.66	8
Shank cop 1838/1638 T38 X 435 mm	298.38	2	596.76	8
Total costo	1225.21	25.00	4365.42	100

### Porcentaje relacion al precio y consumo



- SHANK COP 1550, 1838 T38
- BARRA T38-RD38-T38 5'
- BROCA RETRAC. DC T38 X 64MM
- BROCA DOMO T38 X 127 MM ESF