

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



TESIS

**“OPTIMIZACIÓN DE LA PERFORACIÓN MEDIANTE LA AMPLIACIÓN DEL
DIÁMETRO DE TALADROS LARGOS EN EL METODO TAJEO POR SUBNIVELES
EN LA MINA MARCAPUNTA NORTE – EL BROCAL – PASCO”**

PRESENTADO POR:

Bach. AIMA JALISTO Javier

PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

ASESOR:

Mgt. MOLINA DELGADO Raimundo

CUSCO – PERÚ

2021

DEDICATORIA

A mi madre Agustina Jalisto, por su amor y sacrificio.

A mis hermanos, Yolanda, Julia, Ana, John y Yesica,
por su apoyo incondicional.

En memoria a mi padre Eduardo Aima (+).

AGRADECIMIENTO

A mi alma mater, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, a mis docentes de la Escuela profesional de Ingeniería de Minas, quienes me impartieron sus conocimientos y me inculcaron en mi formación académica. De manera especial a mi asesor al Ing. Raimundo Molina quien dio su tiempo para poder llevar a cabo este proyecto.

A la empresa especializada JRC Ingeniería & Construcción, por haberme brindado la oportunidad de desarrollarme como Ingeniero. A los Ingenieros quienes me encaminaron en mi formación profesional, especialmente al Ing. Felix Francia, Ing. Ray Rayan, Ing. Roy Barrera y Tec. Ever Manrique, gracias totales.

Javier Aima Jalisto

RESUMEN

La presente tesis intitulada “Optimización de la Perforación Mediante la Ampliación del Diámetro de Taladros Largos en el Método Tajeo por Subniveles en la Mina Marcapunta Norte – El Brocal - Pasco”, el tipo de investigación es aplicada con nivel de investigación descriptivo – correlacional. En el trabajo de investigación como muestra fue elegida el TJ1553 del NV3986-NV4012, ya que el tajo representa las características geomecánicas y geológicas en promedio del yacimiento. Como instrumentos para la recolección de datos de campo se utilizó las fichas de reporte de operaciones, fichas de reporte de equipos, fichas de registro de perforación, fichas de mapeo geomecánico, etc. Los datos obtenidos fueron procesados principalmente en el programa de cómputo Excel, analizados con cuadros y tablas estadísticas. Los resultados en la presente investigación indican que, mediante la ampliación del diámetro de taladros largos, es posible optimizar la perforación en el método tajeo por subniveles, logrando una disminución en los costos de perforación, un incremento en el Ratio de perforación y con ello una disminución del rendimiento de los equipos de perforación que a largo de los días nos es favorable.

Palabras clave: tajeo por subniveles, taladros largos, optimización de la perforación, perforación y voladura, rendimiento de equipos de perforación.

ABSTRACT

The present thesis entitled "Optimization of Drilling by Widening the Diameter of Long Holes in the Sublevel Stopping Method in the Marcapunta Norte Mine - El Brocal - Pasco", the type of research is applied with a descriptive - correlational research level. In the research work as a sample, the TJ1553 of the NV3986-NV4012 was chosen, since the pit represents the average geomechanical and geological characteristics of the reservoir. As instruments for the collection of field data, the operations report cards, equipment report cards, drilling log files, geomechanical mapping files, etc. were used. The data obtained were processed mainly in the Excel computer program, analyzed with tables and statistical tables. The results in the present investigation indicate that, by expanding the diameter of long holes, it is possible to optimize drilling in the sublevel stopping method, achieving a decrease in drilling costs, an increase in the drilling ratio and with it a decrease of the performance of the drilling equipment that throughout the days is favorable to us.

Keywords: sublevel stopping, long holes, drilling optimization, drill and blast, rig performance.

INTRODUCCIÓN

Sociedad Minera El Brocal es una empresa minera dedicada a la extracción de minerales polimetálicos: plata, plomo, zinc y cobre. Actualmente la empresa explota dos minas contiguas: Tajo Norte, operación a tajo abierto que extrae minerales de plata, plomo y zinc; y Marcapunta-Norte, mina subterránea que extrae minerales de cobre.

En la mina Marcapunta Norte se aplica el método de minado tajeo por subniveles con taladros largos y en su afán de incrementar la producción, estudia métodos y alternativas que conlleven a optimizar las distintas operaciones unitarias, dentro de ellas la operación unitaria más importante en una explotación subterránea es la perforación y voladura, ya que esta afecta a las operaciones unitarias posteriores.

Al optimizar la perforación mediante la ampliación del diámetro de taladros largos, nos llevó a que los costos de perforación disminuyan, y tanto los rendimientos de los equipos descienden por la ampliación del diámetro, el Ratio de perforación asciende, teniendo un resultado favorable, este es gracias a las características geomecánicas presentes en el yacimiento.

El presente trabajo de investigación está constituido por los siguientes capítulos:

Capítulo I - Planteamiento del Problema: donde se describe la realidad problemática y el objetivo de la investigación, también se describe el marco metodológico de la investigación.

Capítulo II - Marco Teórico: ahí se presentan los antecedentes, las bases teóricas y el marco conceptual de la investigación.

Capítulo III – Descripción de la Mina Marcapunta Norte: ahí damos descripción del lugar donde se realizó la investigación.

Capítulo IV – Análisis de Minado Tajeo por Subniveles: descripción de todo el proceso productivo a optimizar.

Capítulo V – Análisis, Presentación e Interpretación de Resultados: se tiene los análisis respectivos del antes y después de la ampliación del diámetro de perforación.

INDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
INTRODUCCIÓN	v
INDICE	vii
LISTA DE TABLAS	xiii
LISTA DE ILUSTRACIONES.....	xv
CAPITULO I PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.2.1. Problema general.....	2
1.2.2. Problemas específicos.....	2
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. HIPÓTESIS	3
1.4.1. Hipótesis general.....	3
1.4.2. Hipótesis específica.....	4
1.5. VARIABLES E INDICADORES.....	4
1.6. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	4

1.7.	DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.8.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.8.1.	Tipo de investigación.	5
1.8.2.	Nivel de investigación.	5
1.8.3.	Población y muestra.	6
1.8.3.1.	<i>Población.</i>	6
1.8.3.2.	<i>Muestra.</i>	6
1.8.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.	6
1.8.4.1.	<i>Técnicas de recolección de datos.</i>	6
1.8.4.2.	<i>Instrumentos de recolección de datos.</i>	6
1.8.5.	Técnicas e instrumentos de procesamiento de datos.....	7
1.8.6.	Técnicas e instrumentos de análisis de datos.	7
CAPITULO II	MARCO TEÓRICO	8
2.1.	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	8
2.1.1.	Antecedentes nacionales.	8
2.2.	BASES TEÓRICAS.....	10
2.2.1.	Tajeo por subniveles con taladros largos.	10
2.2.1.1.	<i>Perforación de taladros en radial.</i>	10
2.2.1.1.1.	<i>Perforación radial en abanico.</i>	10
2.2.1.1.2.	<i>Perforación radial en anillo.</i>	11
2.2.1.2.	<i>Perforación de taladros en paralelo.</i>	12
2.2.1.3.	<i>Ciclo de operaciones.</i>	13
2.2.1.3.1.	<i>Ciclo de producción.</i>	13
2.2.1.4.	<i>Operaciones auxiliares.</i>	13
2.2.1.5.	<i>Condiciones.</i>	14
2.2.1.6.	<i>Características.</i>	15
2.2.1.6.1.	<i>Ventajas.</i>	15
2.2.1.6.2.	<i>Desventajas.</i>	15
2.2.1.7.	<i>Variaciones.</i>	16
2.2.2.	Perforación rotopercutiva.	16
2.2.2.1.	<i>Tipos de perforación.</i>	18

2.2.2.1.1.	Perforación con martillo en cabeza (Top Hammer).....	18
2.2.2.1.2.	Perforación con martillo en fondo (DTH).....	18
2.2.2.2.	Ventajas de la perforación rotopercutiva.	18
2.2.2.3.	Columna de perforación.	19
2.2.2.3.1.	Adaptadores.	19
2.2.2.3.2.	Varillaje (o barras).	20
2.2.2.3.3.	Manguitos.....	20
2.2.2.3.4.	Brocas.	20
2.2.2.4.	Desviación en la perforación.	20
2.3.	MARCO CONCEPTUAL	23
2.3.1.	Perforación ascendente y descendente	23
2.3.2.	Costos de perforación.....	23
2.3.3.	Dimensionamiento.	23
2.3.4.	Eficiencia.	23
2.3.5.	Eficacia.	23
2.3.6.	Malla de perforación.	23
2.3.7.	Producción.....	24
2.3.8.	Optimizar.	24
2.3.9.	Productividad.	24
2.3.10.	Rendimiento.....	24
2.3.11.	Simba.	24
2.3.12.	Subnivel.....	25
2.3.13.	Taladros largos.	25
CAPITULO III	DESCRIPCIÓN DE LA MINA MARCAPUNTA NORTE	26
3.1.	ASPECTOS GENERALES.....	26
3.1.1.	Ubicación y acceso	26
3.1.2.	Clima	27
3.1.3.	Fauna y vegetación.....	27
3.2.	GEOLOGÍA.....	28
3.2.1.	Geología local y regional.....	28
3.2.2.	Geología estructural.....	28

3.2.3.	Geología estratigráfica	29
3.2.4.	Geología económica.	31
3.3.	RESERVAS Y RECURSOS	31
3.4.	GEOMECÁNICA	33
3.4.1.	Caracterización de la masa rocosa.	33
3.4.2.	Clasificación de la masa rocosa.	33
3.4.3.	Zonificación de la masa rocosa.	34
3.4.4.	Condiciones de agua subterránea.	35
3.4.5.	Dimensionamiento Geomecánico del método de minado.	35
3.4.5.1.	<i>Método gráfico de estabilidad (MGE).</i>	35
3.4.5.2.	<i>Estabilidad de pilares.</i>	37
	CAPITULO IV ANALISIS DE MINADO TAJEO POR SUBNIVELES	38
4.1.	DISEÑO DEL MÉTODO DE MINADO	38
4.2.	DESARROLLO Y PREPARACIONES	42
4.3.	CICLO DE PRODUCCIÓN	43
4.3.1.	Perforación	43
4.3.2.	Voladura.	44
4.3.3.	Limpieza	44
4.3.4.	Carguío.	44
4.3.5.	Transporte	44
4.4.	PLAN DE PRODUCCIÓN	45
4.5.	SECUENCIA DE MINADO	46
4.5.1.	Fase 1. Excavación de Galerías.	47
4.5.2.	Fase 2. Perforación de Taladros Largos.	48
4.5.3.	Fase 3. Voladura de CH VCR y SLOT.	51
4.5.4.	Fase 4. Voladura de Filas (secciones).	53
4.5.5.	Fase 5. Relleno de Tajos (relleno detrítico).	54
4.5.6.	Fase 6. Etapa final para continuar con el siguiente corte.	55

4.6. PERFORACIÓN DE PRODUCCIÓN	56
4.6.1. Diseño de malla de perforación.....	56
4.6.1.1. <i>Diámetro del taladro.....</i>	<i>57</i>
4.6.1.2. <i>Longitud de los taladros.....</i>	<i>57</i>
4.6.1.3. <i>Burden y espaciamiento.....</i>	<i>57</i>
4.6.2. Equipos de perforación.....	59
4.6.3. Rendimientos.....	61
4.6.3.1. <i>Rendimiento de equipos de perforación.....</i>	<i>61</i>
4.6.3.2. <i>Rendimiento de aceros de perforación.....</i>	<i>61</i>
4.7. VOLADURA DE PRODUCCIÓN	62
4.7.1. Equipo.....	62
4.7.2. Explosivos.....	62
4.7.3. Diseño de carga.....	65
4.7.4. Parámetros de voladura.....	66
4.7.5. Fragmentación.....	67
 CAPITULO V ANÁLISIS, PRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	
	68
5.1. AMPLIACIÓN DEL DIÁMETRO DE TALADROS LARGOS	68
5.1.1. Condiciones geológicas y geomecánicas.....	68
5.1.2. Tipo de explosivo.....	69
5.1.3. Aceros de perforación.....	70
5.2. PERFORACIÓN DEL TJ1553 CON 89mm OPTIMIZADO	73
5.2.1. Evaluación Geomecánica	73
5.2.1.1. <i>Zonificación Geomecánica.....</i>	<i>73</i>
5.2.1.2. <i>Método grafico de estabilidad</i>	<i>76</i>
5.2.2. Parámetros de perforación.....	79
5.2.2.1. <i>Burden y Espaciamiento.....</i>	<i>79</i>
5.2.2.2. <i>Metros perforados por fila con 89mm.....</i>	<i>81</i>
5.2.2.3. <i>Cálculo toneladas por fila con 89mm.....</i>	<i>81</i>
5.2.2.4. <i>Cálculo de ratio de perforación por fila con 89mm.....</i>	<i>82</i>

5.2.2.5.	<i>Resumen parámetros de perforación con 89mm</i>	83
5.2.3.	Rendimiento de equipo de perforación.....	85
5.2.3.1.	<i>Cálculo de rendimiento por hora efectiva</i>	85
5.2.3.2.	<i>Cálculo de tiempo de perforación</i>	85
5.2.4.	Calculo costos de perforación.....	86
5.2.5.	Voladura.....	88
5.2.5.1.	<i>Esquema de carguío</i>	88
5.2.5.2.	<i>Fragmentación</i>	89
5.3.	PROYECTO DE PERFORACIÓN DEL TJ1553 CON 64mm.	90
5.3.1.	Parámetros de perforación.....	90
5.3.1.1.	<i>Burden y Espaciamiento</i>	90
5.3.1.2.	<i>Metros perforados por fila con 64mm</i>	93
5.3.1.3.	<i>Cálculo toneladas por fila con 64mm</i>	93
5.3.1.4.	<i>Cálculo de ratio de perforación por fila con 64mm</i>	93
5.3.1.5.	<i>Resumen parámetros de perforación con 64mm</i>	95
5.3.2.	Rendimiento de equipo de perforación.....	95
5.3.2.1.	<i>Cálculo de rendimiento por hora efectiva</i>	95
5.3.2.2.	<i>Cálculo de tiempo de perforación</i>	96
5.3.3.	Calculo costos de perforación.....	96
5.3.4.	Voladura.....	98
5.4.	RESUMEN OPERATIVO DE PARAMETROS ANTERIORES Y MEJORADOS	
	(OPTIMIZADOS)	99
5.4.1.	Análisis de perforación con diámetro 64mm vs 89mm.	99
5.4.2.	Análisis de costos de perforación 64mm vs 89mm.....	101
5.5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	101
	CONCLUSIONES	103
	SUGERENCIAS	104
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
	ANEXOS	108

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1 Reserva mineral probado-probable.</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 2 Recurso medido-indicado.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 3 El criterio de Bieniawski (1989) modificado para la clasificación de la masa rocosa y tipo de sostenimiento en labores de avance lineal.</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 4 Programa Tajeo por Subniveles año 2018.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 5 Características básicas Simba H1254 y Simba S7D.</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 6 Columna de perforación Simba H1254 y Simba S7D.</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 7 Rendimiento de equipos Simba por guardia.</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 8 Rendimiento de aceros perforación columna T38.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 9 Las características de la unidad de fábrica, camión MCU.</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 10 Periodos de detonadores no eléctricos Excel.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 11 Cuadro consumo de explosivos y Factor de Potencia.</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 12 Comparación características Simba H1254 y Simba S7D.</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 13 Numero de Estabilidad y Radio Hidráulico del Tj 1553.</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 14 Simulación de Burden y Espaciamiento para taladros de diámetro 89mm.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 15 Calculo de ratio de perforación para cada taladro de diámetro 89mm.</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 16 Resumen parámetros de perforación con 89mm.</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 17 Análisis de costo de perforación con diámetro de 89mm.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 18 Cálculo de consumo de Anfo en taladros de diámetro 89mm.</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 19 Esquema de carguío en el TJ1553 en taladros de diámetro 89mm.</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 20 Simulación Burden y Espaciamiento para taladros de diámetro 64mm.</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 21 Calculo de ratio de perforación para cada taladro de diámetro 64mm.</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 22 Resumen parámetros de perforación con 64mm.</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 23 Análisis de costo de perforación con diámetro de 64mm.....</i>	<i>97</i>

<i>Tabla 24 Cálculo de consumo de Anfo en taladros de diámetro 64mm</i>	<i>98</i>
<i>Tabla 25 Esquema de carguío en el TJ1553 en taladros de diámetro 64mm</i>	<i>99</i>

LISTA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1. Taladros en abanico.....</i>	<i>11</i>
<i>Ilustración 2. Taladros en anillo.....</i>	<i>11</i>
<i>Ilustración 3. Tajeo por subniveles mediante perforación de taladros radiales en anillo.</i>	<i>12</i>
<i>Ilustración 4. Tajeo por subniveles mediante perforación de taladros paralelos.</i>	<i>12</i>
<i>Ilustración 5. Acciones básicas en la perforación a rotopercusión.....</i>	<i>17</i>
<i>Ilustración 6. Campos de aplicación de los distintos métodos de perforación.....</i>	<i>17</i>
<i>Ilustración 7. Ejemplo de diversas sartas de perforación.....</i>	<i>19</i>
<i>Ilustración 8. Errores de posicionamiento, lectura, emboquillamiento.</i>	<i>21</i>
<i>Ilustración 9. Cartilla de desviación de taladros según tipo de broca.....</i>	<i>22</i>
<i>Ilustración 10. Ubicación de la mina Marcapunta Norte.....</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 11. Columna litoestratigrafica generalizada del distrito minero de Conquijirca.</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 12. Gráfico de estabilidad modificado, según Nickson (1992).</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 13. Diseño del método de minado Tajeo por Subniveles.....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 14. Diseño del método de minado Tajeo por Subniveles.....</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 15. Galerías de acceso y galerías de producción - Tajeo por Subniveles vista planta.</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 16. Perforación radial ascendente y descendente – Tajeo por Subniveles vista frontal.....</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 17. Escudos de protección en Tajeo por Subniveles – Tajeo por Subniveles vista lateral.....</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 18. Vista isométrica de labores de desarrollo y preparación en la mina Marcapunta Norte.....</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 19. Programa y cumplimiento de explotación año 2018.</i>	<i>45</i>
<i>Ilustración 20. Secuencia de minado en la Mina Marcapunta Norte.</i>	<i>46</i>

<i>Ilustración 21. Excavación de galerías primarias en el mismo eje vertical de acuerdo a la mineralización.....</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 22. Perforación de taladros largos ascendentes y descendentes en abanico.....</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 23. Perforación de taladros radiales en abanico y paralelos para Chimenea VCR y Slot</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 24. Voladura de CH VCR y apertura de SLOT.</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 25. Voladura de secciones de producción y extracción.</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 26. Relleno detrítico con Scooptram.</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 27. Perforación del tajo en realce.....</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 28. Simba S7D equipo de perforación de taladros largos.....</i>	<i>60</i>
<i>Ilustración 29. Simba 1254 equipo de perforación de taladros largos.....</i>	<i>60</i>
<i>Ilustración 30. Cargador de Anfo Jetanol.</i>	<i>62</i>
<i>Ilustración 31. Camión MCU - Unidad de Carguío Mecánico.....</i>	<i>63</i>
<i>Ilustración 32. Boosters Pentex™ DD-450.....</i>	<i>65</i>
<i>Ilustración 33. Longitudes de las cargas dentro de los taladros.</i>	<i>66</i>
<i>Ilustración 34. Factor de potencia promedio en Tajeo por Subniveles.....</i>	<i>67</i>
<i>Ilustración 35. Caída de Anfo en taladros ascendentes de 89mm de diámetro.</i>	<i>70</i>
<i>Ilustración 36. Columna de perforación T38.....</i>	<i>72</i>
<i>Ilustración 37. Columna de perforación T45.....</i>	<i>72</i>
<i>Ilustración 38. Zonificación del tajo 1553 Nv 3986.</i>	<i>74</i>
<i>Ilustración 39. Zonificación del tajo 1553 Nv 4012.</i>	<i>75</i>
<i>Ilustración 40. Diseño del número de filas para taladros descendentes de diámetro 89mm.</i>	<i>80</i>
<i>Ilustración 41. Diseño de malla de perforación con diámetro 89mm.....</i>	<i>81</i>
<i>Ilustración 42. Perforación de taladros descendentes Tj 1553 en el Nv4012.....</i>	<i>84</i>
<i>Ilustración 43. Fragmentación 7.73 pulgadas Tj1553.</i>	<i>90</i>
<i>Ilustración 44. Fragmentación 7.49 pulgadas Tj1553.</i>	<i>90</i>

Ilustración 45. Diseño del número de filas para taladros descendentes de diámetro 64mm92

Ilustración 46. Diseño del número y longitud de taladros descendentes de diámetro 64mm.92

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

Sociedad Minera El Brocal es una empresa minera dedicada a la extracción de minerales polimetálicos: plata, plomo, zinc y cobre. Actualmente la empresa explota dos minas contiguas: Tajo Norte, operación a tajo abierto que extrae minerales de plata, plomo y zinc; y Marcapunta-Norte, mina subterránea que extrae minerales de cobre.

En la mina Marcapunta Norte, actualmente se aplica el método de minado de tajeo por subniveles con taladros largos, que debido al crecimiento de la mina, se pusieron en manifiesto muchas deficiencias en la perforación de taladros largos, lo que lleva al descenso el rendimiento de las máquinas perforadoras, por lo que se tiene la necesidad de buscar nuevas alternativas que lleven a optimizar el proceso de perforación, debido a ello se propone ampliar el diámetro de taladros largos de 64mm a 89mm, con lo que

se pueda optimizar la perforación, diseñando una malla de perforación adecuada en base a las características geomecánicas del macizo rocoso.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general.

¿Cómo influye la ampliación del diámetro de taladros largos de 64mm a 89mm para la optimización de la perforación en el método de minado tajeo por subniveles en la mina Marcapunta Norte?

1.2.2. Problemas específicos.

- ¿Cómo influyen las características geomecánicas del macizo rocoso en la ampliación del diámetro de taladros largos de 64mm a 89mm en el método de minado tajeo por subniveles en la mina Marcapunta Norte?
- ¿En qué medida la ampliación del diámetro de taladros largos de 64mm a 89mm influye en el rendimiento de los equipos de perforación en el método de minado tajeo por subniveles en la mina Marcapunta Norte?
- ¿En qué medida la ampliación del diámetro de taladros largos de 64mm a 89mm influye en la reducción de los costos de perforación en el método de minado tajeo por subniveles en la mina Marcapunta Norte?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general.

Determinar cómo influye la ampliación del diámetro de taladros largos de 64mm a 89mm en la optimización de la perforación en el método de minado tajeo por subniveles en la mina Marcapunta Norte.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Determinar cómo influye las características geomecánicas del macizo rocoso en la ampliación del diámetro de taladros largos de 64mm a 89mm en el método de minado tajeo por subniveles en la mina Marcapunta Norte.
- Determinar en cuánto afecta al rendimiento de los equipos de perforación con la ampliación del diámetro de taladros largos de 64mm a 89mm en el método de minado tajeo por subniveles en la mina Marcapunta Norte.
- Determinar la reducción de los costos de perforación con la ampliación del diámetro de taladros largos de 64mm a 89mm en el método de minado tajeo por subniveles en la mina Marcapunta Norte.

1.4. HIPÓTESIS

1.4.1. Hipótesis general.

Con la ampliación del diámetro de taladros largos de 64mm a 89mm se optimiza la perforación en el método de minado tajeo por subniveles en la mina Marcapunta Norte.

1.4.2. Hipótesis específica.

- Determinando la característica geomecánica del macizo rocoso será factible la ampliación del diámetro de taladros largos de 64mm a 89mm en la mina Marcapunta Norte.
- La ampliación del diámetro de taladros largos de 64mm a 89mm, influye al rendimiento de los equipos de perforación en la mina Marcapunta Norte.
- Con la ampliación del diámetro de taladros largos de 64mm a 89mm se logra la reducción de los costos de perforación en la mina Marcapunta Norte.

1.5. VARIABLES E INDICADORES

	Variables	Indicadores	Escala de Medición
Dependientes	• Optimización de la perforación.	• Rendimiento de equipos de perforación. • Rendimiento de aceros. • Costos de perforación.	• m/h • m/pieza acero • \$/m-perforado
Independientes	• Ampliación del diámetro de taladros largos de 64mm a 89mm.	• Características geomecánicas. • Malla de perforación (burden y espaciamento).	• RMR • m

1.6. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Actualmente la minería en el Perú tiene una gama de empresas mineras, entre las minas subterráneas de gran escala se puede mencionar; Cerro Lindo, El Brocal, Minsur, Yauli, Condestable, Huarón, Casapalca, etc. En estas compañías el método de minado que se aplica es tajeo por subniveles con taladros largos, en donde se da minado masivo

en base a nivel de extracción mensual y anual, generando altos costos en el proceso, hoy en día se conoce que el proceso más crítico es la perforación y voladura, ya que afecta a los procesos unitarios posteriores.

Este trabajo de investigación surge debido a la necesidad de tener un proceso productivo óptimo de perforación de taladros largos, ya que las deficiencias en este proceso generan altos costos de perforación. Al ampliar el diámetro de taladros largos y diseñar una malla de perforación de acuerdo a las características geomecánicas del yacimiento, se optimizará la perforación de taladros largos, logrando tener mejor rendimiento de los equipos y una disminución de los costos de perforación.

1.7. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El presente estudio se aplicará en la perforación del Tajo 1553 del Nivel 4012 en la Mina Marcapunta Norte de El Brocal en Pasco.

1.8. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

1.8.1. Tipo de investigación.

El tipo de investigación es aplicada, dado que busca generar conocimientos o métodos dirigidos al sector productivo minero con el fin de mejorarlo y hacerlo más eficiente.

1.8.2. Nivel de investigación.

El nivel de investigación es descriptivo – correlacional. Es descriptivo porque vamos a medir y describir la variable independiente “ampliación del

diámetro de taladros largos”, y la variable dependiente “optimización de la perforación”. Es correlacional, porque se establecerá el nivel de correlación entre las variables para luego llevar a cabo la interpretación respectiva.

1.8.3. Población y muestra.

1.8.3.1. Población.

Como población se tiene los 10 tajos del nivel 3986 – 4012 de la mina Marcapunta Norte de El Brocal.

1.8.3.2. Muestra.

Se tomará como muestra el tajo 1553 del Nivel 3986 - 4012.

1.8.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

1.8.4.1. Técnicas de recolección de datos.

Para la ampliación del diámetro de taladros largos las técnicas de recolección de datos del campo fueron:

- Observación sistemática.
- Prueba de rendimiento de equipos.
- Prueba de malla de perforación.

1.8.4.2. Instrumentos de recolección de datos.

Para el levantamiento de datos de campo se implementó formatos acordes a cada actividad como:

- Ficha reporte de equipos.
- Ficha registro de perforación.
- Ficha mapeo geomecánico.
- Cuaderno de reportes de guardia.

1.8.5. Técnicas e instrumentos de procesamiento de datos.

Para el procesamiento de los datos previamente recolectados se utilizaron como apoyo los programas AutoCad, Aegis y Microsoft Excel, para el análisis, desarrollo y la estructura formal de este trabajo.

1.8.6. Técnicas e instrumentos de análisis de datos.

Para el análisis de datos se utilizaron programas basadas en una estadística inferencial y descriptiva como lo podemos mencionar lo siguiente: Excel con cuadros y tablas estadísticas.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes nacionales.

Luego de haber indagado en las diferentes bibliotecas especializadas de la Universidad Nacional de Ingeniería, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, etc. hemos encontrado estudios que tienen cierta relación con nuestra investigación, y estos son:

Merma Chacca, Alex Ruben (2018). *Optimización de los estándares en perforación y voladura de taladros largos, para el incremento de la productividad y la reducción de los costos de operación en la cía. Minera Ares SAC U. O. Inmaculada*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas en la

Universidad Nacional del Altiplano. Llega a la conclusión de que se ha incrementado la productividad con el diseño adecuado de las mallas de perforación, evitando así la perforación de taladros adicionales por la mala distribución y desviación de los mismos.

Cueva Ames, Paul Lenin (2019). *Diseño de malla para taladros largos e incremento de producción en NV 270 - Unidad de Producción Islay – 2019*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas en la Universidad Nacional del Centro del Perú. En una de sus conclusiones llega de que es importante el estudio de un modelo matemático en cada tajo a explotar, tal como el modelo de R. Ash, Konya, así optimiza significativamente el proceso de la perforación, los costos de estos y el de voladura, aceros, etc. Y que con la aplicación del modelo matemático de Langefors el factor de potencia igual 1.08kg/tn son mejores a otros métodos ya que optimiza el consumo de explosivo y aumenta el Tn de productividad guardia.

Quizpe Yucra, Jesus (2017). *Evaluación de columnas de perforación de equipos Sandvik y Atlas Copco en las operaciones de la Up. Andaychagua Volcan S.A.A*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas en la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga. Llega a la conclusión de que se recomienda realizar la evaluación constante de los parámetros en los equipos, en las etapas de minado con el la cual se lograra bajar el tiempo de perforación y alargar la vida útil de la columna de perforación y un ahorro en el trabajo con aceros de perforación.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Tajeo por subniveles con taladros largos.

Tajeo por subniveles o conocido también con el término “Sublevel Stoping” es actualmente el método de minado más utilizado en minería subterránea donde se aplican los taladros largos. El método de minado tajeo por subniveles es una aplicación de los principios de la voladura de banco a cielo abierto a las explotaciones subterráneas, consiste en el arranque del puente entre dos niveles de perforación en sentido descendente y ascendente.

Hay dos versiones comunes de tajeo por subniveles, ambos emplean perforación de taladros largos, una es cuando los taladros son paralelos y la otra es cuando los taladros son en radial.

2.2.1.1. Perforación de taladros en radial.

Esta forma de perforación se da generalmente en cuerpos diseminados, la perforación de taladros largos son de longitudes variables que dependen de las dimensiones del block mineralizado. Existen dos formas de perforación radial, en abanico y anillo.

2.2.1.1.1. Perforación radial en abanico.

La perforación radial en abanico es cuando los taladros son comprendidos de 0° hasta un ángulo inferior a 360°, ver ilustración 1.

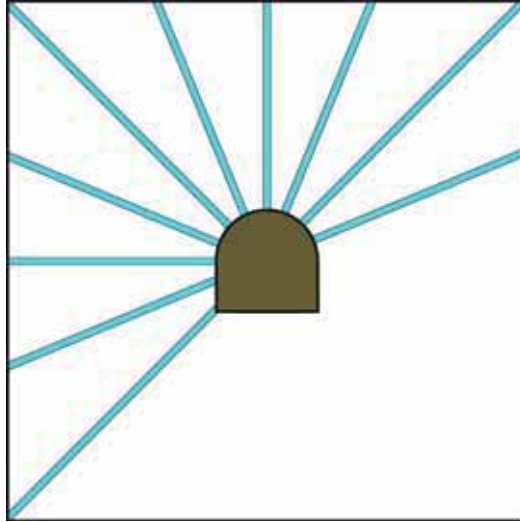


Ilustración 1. Taladros en abanico.

Fuente: Ilustración propia.

2.2.1.1.2. Perforación radial en anillo.

La perforación radial en anillo se entiende cuando los taladros comprenden 360°, ver la ilustración 2.

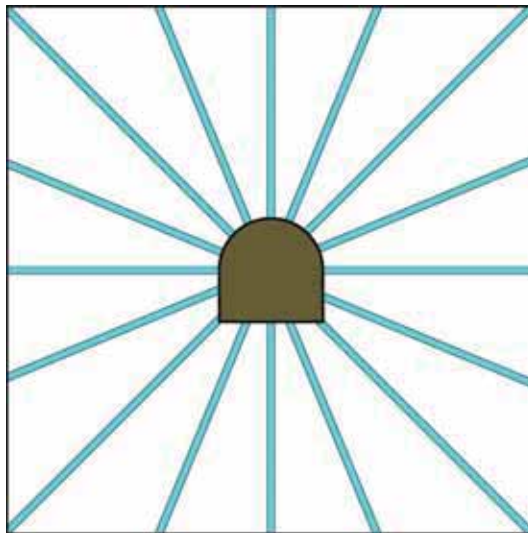


Ilustración 2. Taladros en anillo.

Fuente: Ilustración propia.

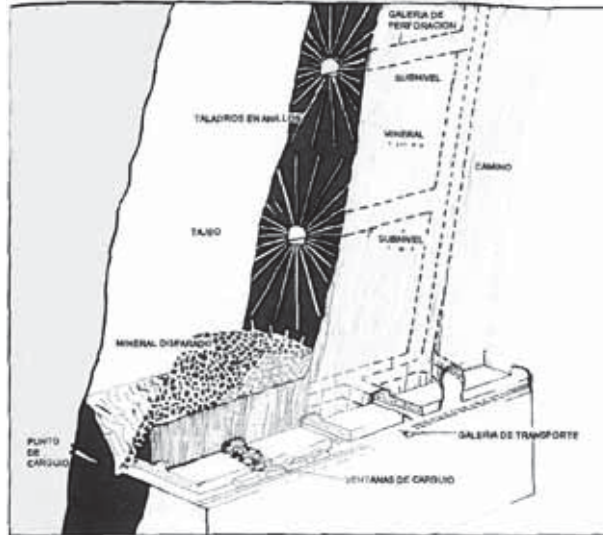


Ilustración 3. Tajeo por subniveles mediante perforación de taladros radiales en anillo.

Fuente: Hamrin 2001.

2.2.1.2. Perforación de taladros en paralelo.

Esta forma de perforación se da sobre todo en yacimientos verticales, básicamente en blocks de mineral de potencias menores.

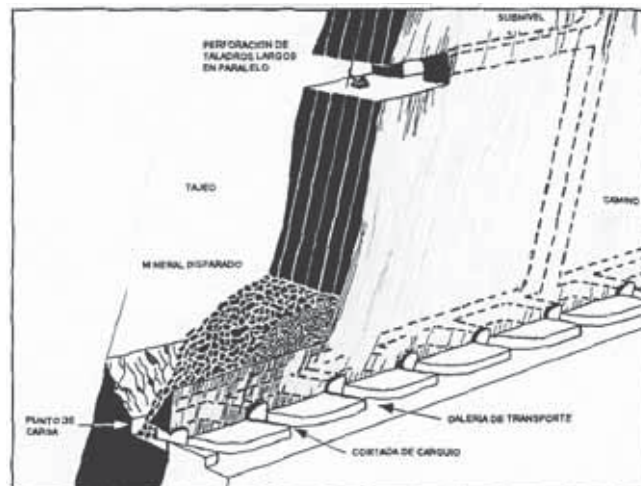


Ilustración 4. Tajeo por subniveles mediante perforación de taladros paralelos.

Fuente: Hamrin 2001.

2.2.1.3. Ciclo de operaciones.

2.2.1.3.1. Ciclo de producción.

De acuerdo a Hartman y Mutmanský (2002), hay cuatro operaciones básicas en el ciclo de producción:

Ciclo de producción básico = Perforación + Voladura + Carguio + Acarreo

2.2.1.4. Operaciones auxiliares.

Las operaciones auxiliares son muy similares para todos los métodos de explotación subterráneo, generalmente son incorporados los siguientes:

- Salud y seguridad: control de gas, control de polvo, ventilación, reducción de ruido.
- Control ambiental: protección contra inundaciones, control de subsidencias, control para detectar la contaminación atmosférica.
- Control del terreno: control del techo (pernos al techo, madera, arco).
- Suministro de energía: subestación eléctrica.
- Control de agua e inundaciones: estación de bombeo, drenaje.
- Limpieza y eliminación de desechos: scooptram, depósito.
- Suministro de material: almacenamiento, entrega de suministros.
- Mantenimiento y reparación: instalaciones de taller.
- Iluminación: equipos montados con fluorescentes, luminarias.

- Comunicaciones: radio, teléfonos.
- Construcción: rutas de transporte.
- Transporte de personal: jaula.

De lo mencionado anteriormente son considerados esencialmente para la seguridad, la ventilación y el sostenimiento del techo.

2.2.1.5. Condiciones.

Las condiciones naturales y geológicas recopiladas de los diferentes autores por Hartman y Mutmanský (2002) son lo siguiente:

- Resistencia del mineral: moderado a fuerte.
- Resistencia de la roca encajonante: bastante fuerte.
- Forma del depósito: tabular o lenticular.
- Inclinación del depósito: bastante empinado, preferible de 60° a 90°.
- Tamaño del depósito: ancho moderado (6m a 30m), y longitudinalmente extensa.
- Grado de mineral: moderado.
- Uniformidad de mineral: bastante uniforme a uniforme.
- Profundidad: moderada (1.2 km), profundo (2.4 km).

2.2.1.6. Características.

Entre las ventajas y desventajas recopiladas de los diferentes autores por Hartman y Mutmanský (2002) se tiene:

2.2.1.6.1. Ventajas.

- Productividad moderada a alta.
- Tasa de producción moderada a alta.
- Se presta a la mecanización; no requiere mano de obra.
- Bajo costo de minado.
- Poca exposición a condiciones inseguras; fácil de ventilar.
- Las operaciones unitarias pueden llevarse simultáneamente.
- Recuperación (75%); dilución (20%).

2.2.1.6.2. Desventajas.

- Alta inversión; desarrollo lento y complicado, alto costo en el desarrollo.
- Inflexible y no selectivo.
- La perforación de taladros largos requiere una alineación cuidadosa (<2% desviación).
- Las voladuras pueden causar vibraciones excesivas, golpe de aire y daño estructural.

2.2.1.7. Variaciones.

La principal variación de tajeo por subniveles extensamente usado es cráteres verticales en retroceso (VCR), las variaciones menores del método principal incluyen el relleno cuando se debe evitar el hundimiento, principalmente en la recuperación de pilares.

2.2.2. Perforación rotopercutiva.

La perforación rotopercutiva es uno de los dos grandes métodos mecánicos a parte de la perforación rotativa. Este método clásico de perforación es el más utilizado ya que se aplica para todos los tipos de roca, ya sea en obras publicas subterráneas como en minas o explotaciones a cielo abierto.

El principio de perforación de estos equipos se basa en el impacto de una pieza de acero llamada pistón, que golpea a un útil, que a su vez transmite la energía al fondo del barreno, por medio de un elemento final denominado boca o bit.

Las acciones básicas que tienen lugar sobre el sistema de transmisión de energía hasta la boca de perforación son las siguientes:

- **La percusión:** los impactos producidos por el golpe del pistón originan unas ondas de choque sé que transmiten a la boca a través del varillaje.
- **La rotación:** se hace girar la boca para cambiar la zona de impacto.
- **El empuje:** para mantener en contacto la roca con la boca.

- **El barrido:** donde el fluido permite extraer el detritus del fondo del barreno.

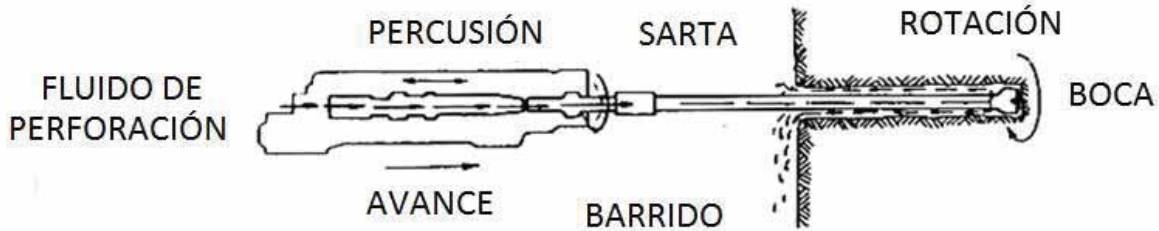


Ilustración 5. Acciones básicas en la perforación a rotopercusión.

Atendiendo a la resistencia a la compresión de las rocas y al diámetro de perforación, se puede delimitar los campos de aplicación de los diferentes métodos.

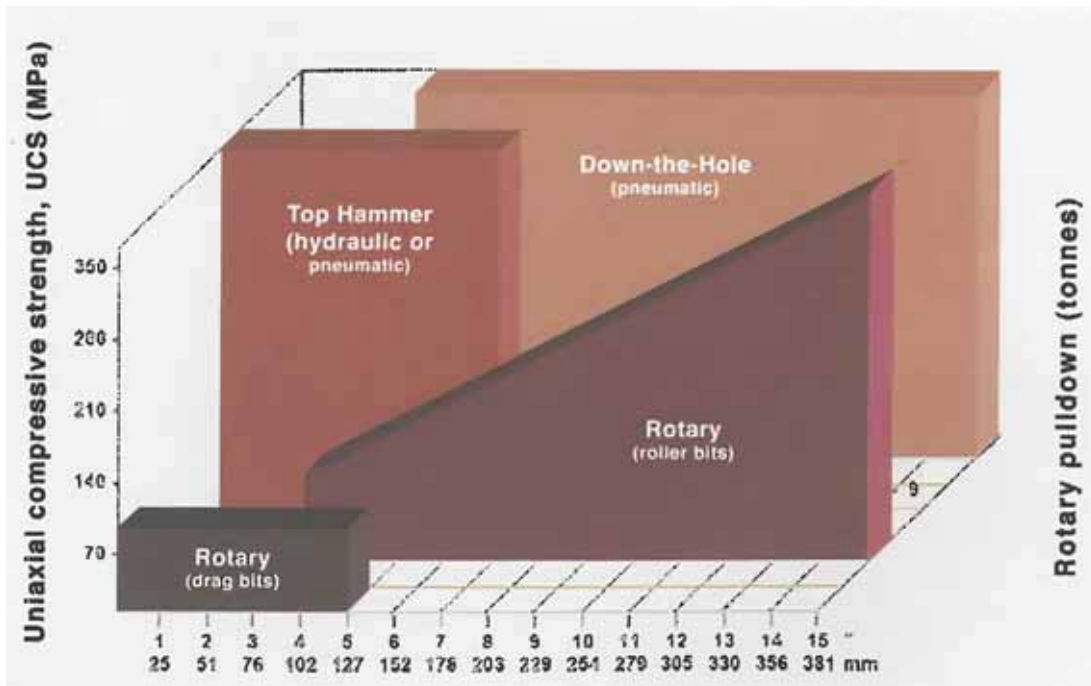


Ilustración 6. Campos de aplicación de los distintos métodos de perforación.

Fuente: Manual de perforación y voladura FAMESA.

2.2.2.1. Tipos de perforación.

Dependiendo del lugar donde esté instalado el martillo, las perforadoras a rotopercusión se clasifican en:

2.2.2.1.1. Perforación con martillo en cabeza (Top Hammer).

Es cuando la percusión y la rotación se efectúa en el exterior del barreno, transmitiéndose a través de una espiga y del varillaje hasta la boca de perforación. Los martillos pueden ser de accionamiento neumático o hidráulico.

2.2.2.1.2. Perforación con martillo en fondo (DTH).

En cuando la percusión se realiza directamente sobre la boca de perforación, mientras que la rotación se efectúa en el exterior del barreno. El accionamiento del pistón se lleva a cabo neumáticamente, mientras que la rotación puede ser neumática o hidráulica.

2.2.2.2. Ventajas de la perforación rotopercutiva.

Entre las ventajas recopiladas de los diferentes autores y compiladas en el libro Manual de Perforación y Voladura - Famesa (2019) se tiene:

- Es aplicable a todo tipo de rocas.
- La gama de diámetros de perforación es amplia.
- Sus equipos son versátiles, pues se adaptan bien a diferentes trabajos y tienen una gran movilidad.
- Necesitan un solo solo hombre para su manejo y operación.

- Su mantenimiento es fácil y rápido.
- El precio de adquisición no es elevado.

2.2.2.3. *Columna de perforación.*

La columna de perforación, conocida también como sarta de perforación está constituida generalmente por 4 elementos, entre las que se encuentra adaptadores de culata, varillas de extensión, manguitos y brocas.

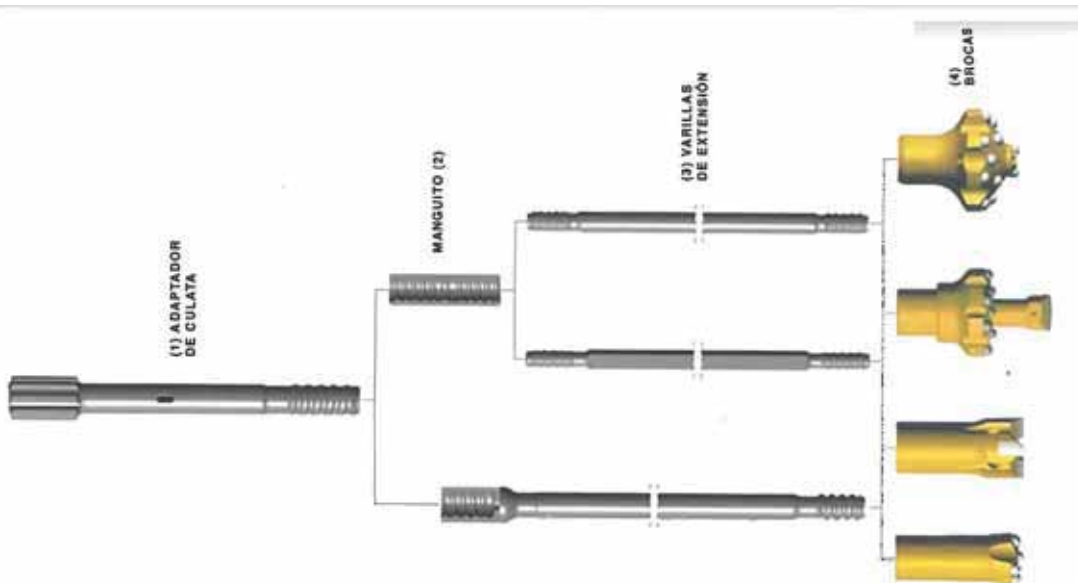


Ilustración 7. Ejemplo de diversas sartas de perforación.

Fuente: Manual de perforación y voladura FAMESA.

2.2.2.3.1. *Adaptadores.*

Los adaptadores de culata, espigas o shank adapters, son elementos que se fijan a las perforadoras para transmitir la energía de impacto, la rotación del varillaje y el empuje.

2.2.2.3.2. Varillaje (o barras).

Este componente se utiliza para transmitir el movimiento rotativo que genera la perforadora y son fabricadas de material de acero, compuesto de un orificio en la parte central para el barrido de los detritos generados.

2.2.2.3.3. Manguitos.

Manguitos o conocido también como acoples, tiene como finalidad unir las barras con los adaptadores, este componente utiliza los equipos de perforación frontal, en cuanto a los equipos de perforación de taladros largos no es necesario de este componente, ya que las barras tienen en un extremo una rosca macho y en el otro una rosca hembra.

2.2.2.3.4. Brocas.

Es una herramienta de corte que está compuesto de insertos periféricos y centrales, estos insertos están fabricados de carburo de tungsteno y son los que tienen contacto directamente con la roca.

2.2.2.4. Desviación en la perforación.

Este es un fenómeno que se presenta con mucha frecuencia cuando se trabaja con taladros largos, este error se ha visto con mayor frecuencia en taladros de mayor longitud siendo en los de menor longitud los más controlables, se presenta por varios factores como se describen a continuación.

Factores que originan la desviación antes de la perforación:

- Error en el posicionamiento del equipo.

- Error en la selección y lectura de ángulos.
- Error en el emboquillado y en la fijación de la viga de avance.

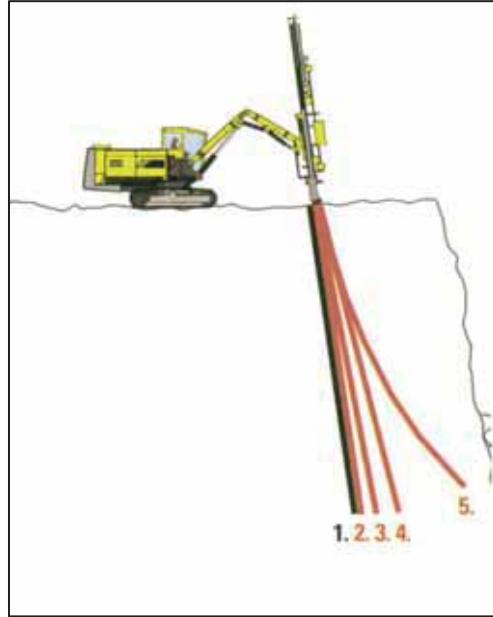


Ilustración 8. Errores de posicionamiento, lectura, emboquillamiento.

Fuente: Sandvik Mining 2015.

Factores relacionados a la condición y estado del equipo:

- Estado de la perforadora.
- Carro porta perforadora, deslizadera y componentes.
- Viga de avance.
- Sistema lector de ángulos (ARI).

Factores dentro del taladro:

- Tipo y calidad de roca.

Factores durante la perforación:

- Estado de la columna de perforación (desgaste roscas).
- Tipo de columna y longitud de taladros.
- Intervalo oportuno y correcto de las brocas.
- Tipo y diámetro de broca.
- Parámetros de perforación.

En la siguiente ilustración, se muestra la cartilla de desviación de taladros según tipo de broca. Tipo de broca en relación a la desviación del taladro tomada en una altura de 15 metros.

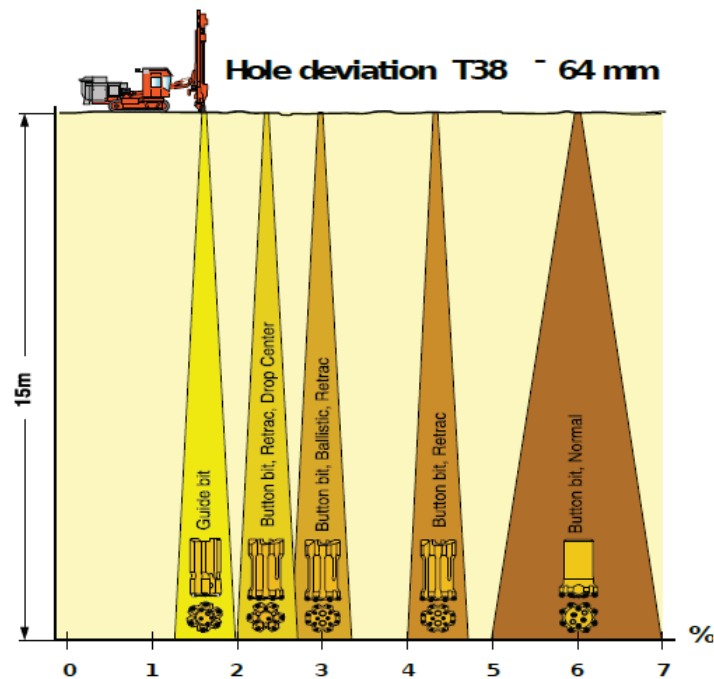


Ilustración 9. Cartilla de desviación de taladros según tipo de broca.

Fuente: Sandvik Mining 2015.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. Perforación ascendente y descendente

En la perforación de Taladros Largos es muy común hablar de taladros ascendentes o descendientes o lo que es más común aún es positivo o negativo y estos se presentan tanto en taladros paralelos como en los abanicos o anillos. Los taladros ascendentes o positivos son los orientados del eje horizontal de la máquina perforadora hacia arriba, y los taladros descendentes del eje horizontal hacia abajo. (Asociación Educativa CETEMIN, 2018).

2.3.2. Costos de perforación.

Es el valor de la actividad (proceso de perforación), y es representado por una unidad lineal o metro perforado.

2.3.3. Dimensionamiento.

Se refiere a darle un valor en metros al ancho, alto, y longitud de un tajo.

2.3.4. Eficiencia.

Es la capacidad de lograr un determinado trabajo con el mínimo de recursos posibles.

2.3.5. Eficacia.

Es lograr un resultado de un determinado trabajo.

2.3.6. Malla de perforación.

Es el diseño geométrico para la perforación, se elabora en función a las características geomecánicas del yacimiento, tipos de explosivos, diámetro de la broca y se desarrolla con la finalidad de lograr una distribución uniforme de la energía del explosivo a utilizar, para así lograr una voladura óptima.

2.3.7. Producción.

La producción se refiere a la cantidad total de bienes o servicios que una empresa genera en un período de tiempo concreto.

2.3.8. Optimizar.

Se refiere a la capacidad de mejorar o resolver algún trabajo de la manera más eficiente posible.

2.3.9. Productividad.

Implica la mejora del proceso productivo, lo que significa una comparación favorable entre la cantidad de recursos utilizados y la cantidad de bienes y servicios producidos.

2.3.10. Rendimiento.

Es la medida de la eficacia de una maquinaria.

2.3.11. Simba.

Es una máquina de perforación electro hidráulico, diseñado para perforar taladros largos en forma radial o vertical.

2.3.12. Subnivel.

Nivel intermedio elaborado a una distancia por encima o debajo de un nivel principal, con el objeto de facilitar la extracción de una cámara de explotación.

2.3.13. Taladros largos.

Agujeros de gran longitud perforados en el macizo rocoso, con el fin de rellenar con una materia explosiva para las voladuras.

CAPITULO III

DESCRIPCIÓN DE LA MINA MARCAPUNTA NORTE

3.1. ASPECTOS GENERALES

3.1.1. Ubicación y acceso

La mina Marcapunta Norte, está ubicado en el distrito minero de Colquijirca, políticamente se ubica en el distrito de Tinyahuarco, provincia de Cerro de Pasco, departamento de Pasco, Perú, entre las coordenadas (UTM): 8'809,200-N a 8'810,000-N y 361,100-E a 361,500-E, a una altitud de 4,180 a 4,500 msnm, el acceso hasta la mina se puede dar de 2 formas:

- Lima – La Oroya – Colquijirca: 296 km (Carretera asfaltada)
- Lima – Canta – Huayllay – Colquijirca: 265 km.

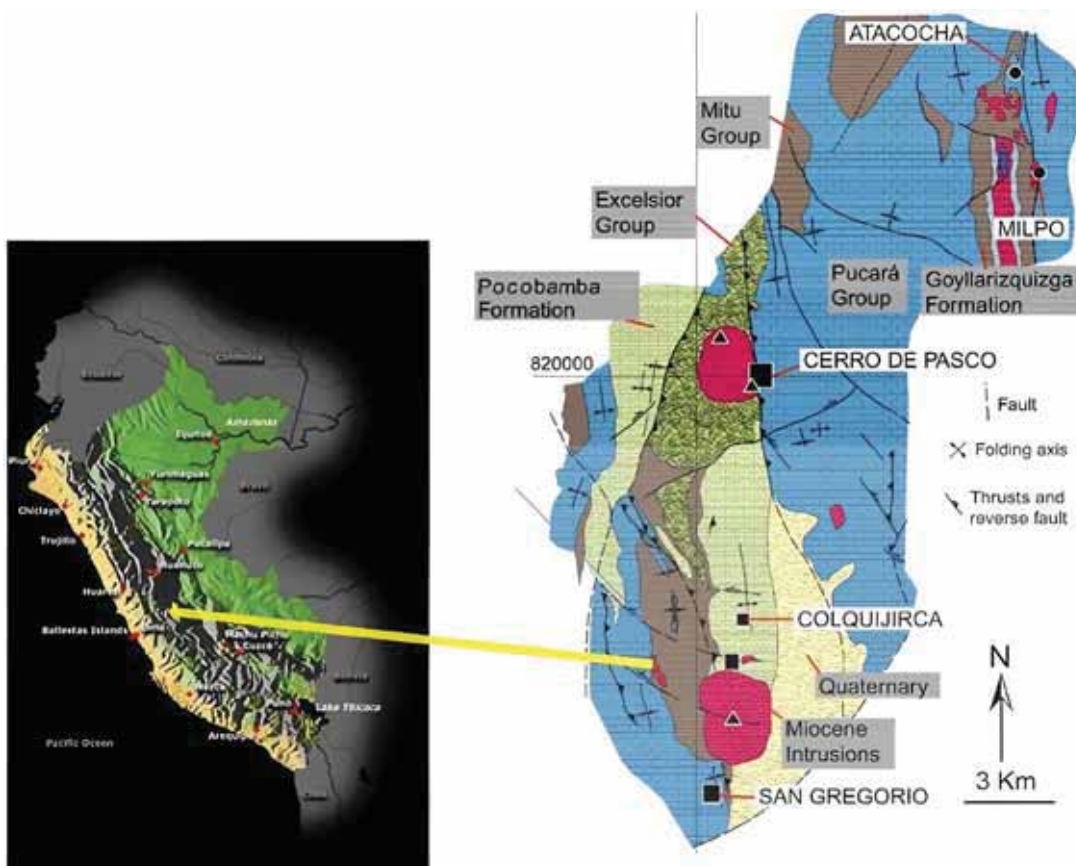


Ilustración 10. Ubicación de la mina Marcapunta Norte.

3.1.2. Clima

Según la división climática de W. Koppen (1984), el área de estudio presenta un clima frío, cuyas temperaturas mínimas se producen entre mayo y agosto oscilando entre los 5°C y 20°C. Las precipitaciones pluviales caen entre los meses de diciembre y marzo.

3.1.3. Fauna y vegetación

La fauna en la zona, está representada por el ganado vacuno, ovino, porcino y caballar; así mismo la vizcacha y algunas aves silvestres.

La vegetación mayormente está compuesta por ichu, y en los alrededores de las lagunas y bofedales crecen plantas variadas, como las totoras.

3.2. GEOLOGÍA

3.2.1. Geología local y regional

La historia geológica en el Distrito Minero de Colquijirca se inicia en el Triásico y revela una sucesión de eventos de depósito minerales, tectónicos y volcánicos controlados por una gran estructura de dirección Norte-Sur denominada Falla Longitudinal.

De manera general los mantos mineralizados a ser explotados se encuentran localizados en las rocas de la formación Calera, estando constituidas principalmente por calizas silicificadas. La caja techo y la caja piso de estos mantos están constituidos por estas calizas silicificadas. Debajo de estas calizas se presentan brechas de la Formación Pocobamba (Miembro Shuco – Secuencia Conglomeradita). Encima de las calizas se presentan margas y limoarcilitas de la formación Calera. Hacia el Este de las zonas mineralizadas se presentan dacitas pertenecientes al domo de diatrema.

3.2.2. Geología estructural

Jenks W. (1951), en su estudio realizado demostró que la cuenca sedimentaria Triásica de Cerro de Pasco fue controlada por movimientos de la Falla Longitudinal, de rumbo NS, que es la estructura más importante, como también por los complejos volcánicos de Cerro de Pasco y Marcapunta.

DCR Ingenieros (2011), en la mina Marcapunta Norte, se han mapeado estructuras tipo fallas con poco desplazamiento, de dirección E-W, y diaclasas y zonas de cizallamientos que cortan al Manto Mineralizado. Adicionalmente, existe en interior de la mina Marcapunta Norte un control secundario en la mineralización, el sistema de microfracturas verticales E-W pre-mineralización, en microvetillas. Finalmente, están los estratos con orientación sub-horizontal.

3.2.3. Geología estratigráfica

Dentro del área de estudio en la mina Marcapunta Norte se identifican variedades de unidades litostratigráficas, desde la más antigua a la más reciente, las que corresponden a secuencias sedimentológicas bien determinadas:

- Grupo Mitu (Ps-m)
- Grupo Pucará (Trj-pu)
- Formación Pocobamba (Pe)
- Formación Calera (Pe-ca)

Cabe indicar que la formación Calera es la roca huésped de la mineralización en Colquijirca y Marcapunta.

COLUMNA LITOSTRATIGRAFICA GENERALIZADA DEL DISTRITO MINERO DE COLQUIJRCA									
ERA	PERIODO	SERIE	GRUPO		LITOLOGIA GRAFICA	DESCRIPCION			
CENOZOICO	CUATERNARIO		MATERIAL FLUVIO GLACIAR			Material fluvio-glacial, aluvial.			
	TERCIARIO	MEDIO A SUPERIOR	CENTRO VOLCANICO	VOLCANICO MARCAPUNTA			Domos y lavas dacíticas a cuarzoefélicas.		
				TUFO UNISH			Brechas piroclásticas, tobas y lavas		
		INFERIOR	FORMACION POCOBAMBA	MIEMBRO CAJERA	SUPERIOR			Dolomías margosas, dolomías interc. arcilitas, limolitas areniscas, chert y mantos de óxidos.	
					MEDIO (MANTOS MINERALIZADOS)			Al tope arcilitas, margas y calizas margosas con abundante chert A la base calizas con rizomorfos y arcilitas verdes.	
					INFERIOR			Intercalaciones arcilitas y calizas margosas, nódulos maritícos, ostracoides, bioclastos y rizomorfos En la base caliza mudstone margosa, sedimentos volcanoclasticos y piroclásticos (tobas riolíticas).	
				CONGLOMERADO SHUCO			Brecha sedimentaria de clastos calcáreos sub redondeados a sub angulosos del chambara. Escasos niveles de areniscas, areniscas limosas.		
				MIEMBRO CACUAN			Arcilitas limosas, limolita roja, areniscas y brechas conglomeráticas clastos subangulares a subredondeados, cemento calcáreo.		
		MESOZOICO	CRETACEO	GRUPO PUCARA	PUCARA OCCIDENTAL	FM. CHAMBARA		Pucara Occidental - Dolomías beige, brechas intraformacionales y dolomías secundarias.	
	TRIASICO						Formación Chambara - Calizas mudstone nodulares, intercalaciones de calcarenitas bioclasticas.		
PALEOZOICO	PERMICO SUPERIOR		GRUPO MITU	ARENISCA MITU			Areniscas rojas con leutes de conglomerados.		
				CONGLOMERADO MITU			Conglomerados y brechas de color gris oscuro.		
	DEVONICO		GRUPO EXCELSIOR			Pizarras, fñitas y cuarcitas.			
SOCIEDAD MINERA "EL BROCAL" S. A.A. Mina Colquijirca			DPTO. DE GEOLOGIA		GEOLOGIA : CARLOS ANGILES FECHA : Enero del 2005		LAMINA N°		

Ilustración 11. Columna litoestratigrafica generalizada del distrito minero de Conquijirca.

3.2.4. Geología económica.

La mina de Marcapunta Norte, se ubica entre los yacimientos de Colquijirca y San Gregorio, en el complejo volcánico Marcapunta, y corresponde a un yacimiento de tipo Cordillerano de Cu-Au, emplazado en rocas carbonatadas dentro de un sistema epitermal de alta sulfuración. La zonación mineralógica del complejo volcánico indica un núcleo de Cu-Au, que representa la parte proximal o central de la fuente de mineralización, y hacia la periferia con mineralización de Zn-Pb-(Ag).

El principal mineral de mena es la enargita rica en sulfuros, principalmente la pirita, con una considerable concentración de oro. Con mineral potencial aproximado de 50 millones de toneladas y una ley de 1.9% Cu, 24g/t Ag, y 0.35g/t Au (Bendezú 2007).

3.3. RESERVAS Y RECURSOS

Las reservas minerales probado-probable al 31 de diciembre 2019 para Marcapunta Norte, son 34'503,283 TMS, con 0.023 oz/t de oro, 1.30 % de cobre, 1.15 oz/t de plata, que significan 805,168 oz de oro, 450,220 TM de cobre, y 39'798,655 onzas de plata.

Tabla 1
Reserva mineral probado-probable.

Reserva mineral probado-probable			34'503,283 TMS
Mineral	Valor	Unidad	Equivalencia
Au	0.023	oz/TM	805,168 oz
Cu	1.300	%	450,220 TM
Ag	1.150	oz/TM	39'798,655 oz

Fuente: Memoria anual 2019 El Brocal.

Los recursos excluyentes medido-indicado de Marcapunta Norte son 26'285,070 TMS, con 0.023 oz/t oro, 1.63 % de cobre, 0.87 oz/t de plata.

Tabla 2
Recurso medido-indicado.

Recurso medido-indicado		26'285,070 TMS
Mineral	Valor	Unidad
Au	0.023	oz/TM
Cu	1.630	%
Ag	0.870	oz/TM

Fuente: Memoria anual 2019 El Brocal.

Durante el año 2019 se realizaron 10,768 m de perforación diamantina en interior mina, se realizó en las zonas de Marcapunta SW y Marcapunta SE (subterráneo), con la finalidad de re categorizar recursos inferidos a medidos e indicados y a reservas en mineral de Cu-Ag, con resultados positivos con el incremento de valores de Au. Otros 1,115 m se realizaron en 9 sondajes en Marcapunta Sur para estudios geo metalúrgicos de mineral de cobre arsenical. Las pruebas de laboratorio resultaron positivas con recuperaciones de cobre entre 85% y 90%, lo que contribuye a incrementar los recursos. Adicionalmente se realizaron 14,840 m de perforación diamantina como control de

mineral. En Marcapunta Norte, mina subterránea, se realizaron 5,201 metros de labores mineras de desarrollo y 12,430 metros de preparación, que suman 17,631 metros.

3.4. GEOMECÁNICA

Sociedad Minera El Brocal S.A.A y JRC Ingeniería & Construcción SAC, a través de sus Áreas de Geomecánica han realizado el estudio geomecánico para aplicar el método de minado tajeo por subniveles en la Mina Marcapunta Norte, para lo cual se ha realizado una serie de investigaciones y trabajos de campo tomando como referencia los estudios hechos por empresas especializadas como DCR Ingenieros S.R. Ltda.

3.4.1. Caracterización de la masa rocosa.

Para caracterizar a la masa rocosa del yacimiento Marcapunta Norte, se tienen dos fuentes de información: la masa rocosa de las labores mineras subterráneas y los testigos rocosos de los sondajes diamantinos ejecutados como parte de los trabajos de exploración del yacimiento.

En la masa rocosa de las labores mineras subterráneas, se lleva a cabo el mapeo geomecánico utilizando el “método directo por celdas de detalle”. Mediante este método es posible realizar mediciones sistemáticas de las discontinuidades presentes en cada una de las estaciones de medición.

En relación a los testigos rocosos de los sondajes diamantinos, se lleva a cabo en ellos el mapeo geotécnico utilizando métodos convencionales.

3.4.2. Clasificación de la masa rocosa.

Para clasificar geomecánicamente a la masa rocosa en la Mina Marcapunta Norte, se aplica criterios de clasificación geomecánica de Bieniawski (Valoración del Macizo Rocoso – RMR - 1989), Barton y Colaboradores (Sistema Q - 1974) y Hock & Marinos (Índice de Resistencia Geológica – GSI - 2002).

Tabla 3

El criterio de Bieniawski (1989) modificado para la clasificación de la masa rocosa y tipo de sostenimiento en labores de avance lineal.

 CLASIFICACIÓN GEOMECAÍNICA - TIPOS DE SOSTENIMIENTO					
CLASIFICACIÓN Y TIPO DE ROCA	CALIDAD DE ROCA	ÍNDICE "RMR"	ÍNDICE "Q"	TIPOS DE SOSTENIMIENTO TÍPICOS	
				LABORES DE AVANCE PERMANENTES	LABORES DE AVANCE TEMPORALES
				SECCIÓN 4.50 m x 4.50 m ~ 4.00 m x 4.00 m 5.00 m x 5.00 m ~ 6.00 m x 5.00 m	SECCIÓN 4.00 m x 4.00 m ~ 5.00 m x 4.00 m 8.00 m x 4.00 m
I	Muy buena	100 ~ 81	> 51	Sin sostenimiento o empernado ocasional con pernos python, L = 7'.	Sin sostenimiento o empernado ocasional con pernos split set, L = 7'.
II	Buena	80 ~ 61	50 ~ 10	Sin sostenimiento o empernado ocasional con pernos python, L = 7'.	Sin sostenimiento o empernado ocasional con pernos split set, L = 7'.
III A	Regular A	60 ~ 51	10 ~ 7	Empernado sistemático con pernos python, L = 7', @ = 1.50 m, distribución en cocada.	Empernado sistemático con pernos split set, L = 7', @ = 1.50 m, distribución en cocada.
III B	Regular B	41 ~ 50	7 ~ 4	Shotcrete sección completa, e = 2", 5 Kg/m ³ de fibra sintética; + empernado sistemático con pernos python, L = 7', @ = 1.50 m, distribución en cocada.	Malla electrosoldada de alambre negro + empernado sistemático con pernos split set, L = 7', @ = 1.50 m, distribución en cocada.
IV A	Pobre A	40 ~ 35	4 ~ 3	Shotcrete sección completa, e = 2", 5 Kg/m ³ de fibra sintética (sostenimiento con shotcrete hasta el frente de la labor desde la gradiente, e=1.5") + empernado sistemático con pernos python, L = 7', @ = 1.20 m, distribución en cocada. Arcos noruegos según evaluación del área de geomecánica.	Shotcrete desde la gradiente, e = 1.5", 4 Kg/m ³ de fibra sintética (sostenimiento con shotcrete hasta el frente de la labor desde la gradiente, e=1.5") + empernado sistemático con pernos python, L = 7', @ = 1.20 m, distribución en cocada.
	Pobre B	35 ~ 31	2 ~ 1	Shotcrete sección completa, e = 2", 5 Kg/m ³ de fibra sintética (sostenimiento con shotcrete hasta el frente de la labor a sección completa, e=1.5") + empernado sistemático con pernos python, L = 7', @ = 1.20 m, distribución en cocada. Arcos noruegos según evaluación del área de geomecánica.	Shotcrete a sección completa, e = 1.5", 4 Kg/m ³ de fibra sintética (sostenimiento con shotcrete hasta el frente de la labor a sección completa, e=1.5") + empernado sistemático con pernos python, L = 7', @ = 1.20 m, distribución en cocada.
IV B	Pobre B	30 ~ 21	1 ~ 0.1	Shotcrete sección completa, e = 2", 5 Kg/m ³ de fibra sintética (sostenimiento con shotcrete hasta el frente de la labor a sección completa, e=1.5") + arcos noruegos, @ = 1.20 m ~ 1.50 m. y/o shotcrete de 2.0" + malla electrosoldada + pernos Python @ = 1.0m + shotcrete de 2.0", según evaluación del área de geomecánica.	Shotcrete sección completa, e = 2", 4 Kg/m ³ de fibra sintética (sostenimiento con shotcrete hasta el frente de la labor a sección completa, e=1.5") + empernado sistemático con pernos python, L = 7', @ = 1.20 m, distribución en cocada. Adicionalmente, arcos noruegos @ = 1.20 ~ 1.50m y/o shotcrete de 2.0" + malla electrosoldada + pernos python @ = 1.00m + shotcrete de 2.0", según evaluación del área de Geomecánica.
V	Muy pobre	≤ 20	≤ 0.1	Shotcrete sección completa, e = 2", 5 Kg/m ³ de fibra sintética (sostenimiento con shotcrete hasta el frente de la labor a sección completa, e=1.5") + cimbras metálicas, @ = 0.8 ~ 1.50 m, según evaluación del área de geomecánica.	Shotcrete sección completa, e = 2", 4 Kg/m ³ de fibra sintética (sostenimiento con shotcrete hasta el frente de la labor a sección completa, e=1.5") + arcos noruegos, @ = 1.20 m ~ 1.0 m, y/o shotcrete de 2.0" + malla electrosoldada + pernos python @ = 1.0m + shotcrete de 2.0", según evaluación del área de Geomecánica.

Nota: Todo sostenimiento a instalarse será hasta el tope de la labor.

3.4.3. Zonificación de la masa rocosa.

Para la zonificación geomecánica del yacimiento Marcapunta Norte, se basan en la información que se ha obtenido producto de los estudios realizados en el tiempo, en donde consideran los valores promedios de RMR por cada litología.

Zonificación geomecánica y calidades de la masa rocosa

Litología	Promedio RMR	Dominio Estructural
Caliza	53	DE-III A y DE-III B
Conglomerado	47	DE-III A y DE-III B
Vulcanoclasto	45	DE-III A, DE-III B y DE-IV A
Dacita	40	DE-III B y DE-IV A
Limoarcilla	29	DE-IV A y DE-IV B

La caliza está involucrada con los dominios DE-III A (mayormente) y DE-III B, la limoarcilla con los dominios DE-IV A y DE-IV B, el vulcanoclasto con los dominios DE-III A, DE-III B y DE-IV A, el conglomerado con los dominios DE-III A y DE-III B, la dacita con los dominios DE-III B y DE-IV A, esta zonificación geomecánica es utilizada para los análisis de diseño.

3.4.4. Condiciones de agua subterránea.

En la mina Marcapunta Norte no hay la presencia de agua subterránea de manera significativa, las condiciones son mayormente húmedas y en ciertas labores se observó condiciones de mojado a goteo.

3.4.5. Dimensionamiento Geomecánico del método de minado.

3.4.5.1. Método gráfico de estabilidad (MGE).

Para el análisis de estabilidad de los tajos de minado por subniveles en la mina Marcapunta Norte, se aplica metodología de Nickson y Launbscher (1992), teniendo como base los trabajos iniciados por Mathews (1981), quien incorpora una relación entre la estabilidad del macizo rocoso y el tamaño/forma de la excavación expuesta.

El procedimiento de diseño está basado en el cálculo de dos factores, N', que es el número de estabilidad modificada, que representa la habilidad del macizo rocoso para permanecer estable bajo una condición de esfuerzo dado, y S, que es el factor de forma o Radio Hidráulico, que toma en cuenta el tamaño y forma del tajeo.

$$N' = Q'.A.B.C$$

$$S = \frac{\text{Area de la superficie analizada}}{\text{Perimetro de la superficie analizada}} = \frac{A}{P}$$

Donde:

N': Número de estabilidad modificada.

Q': Es el índice de calidad de túneles modificado de Barton (1974).

A: Factor de ajuste por esfuerzos.

B: Factor de ajuste por orientación de estructuras.

C: Factor de ajuste por efectos de gravedad.

S: Radio hidráulico.

Usando los valores del número de estabilidad N' y el radio hidráulico S, se puede estimar la estabilidad de un tajeo para unas dimensiones dadas a partir del "Gráfico de Estabilidad" mostrado en la siguiente ilustración.

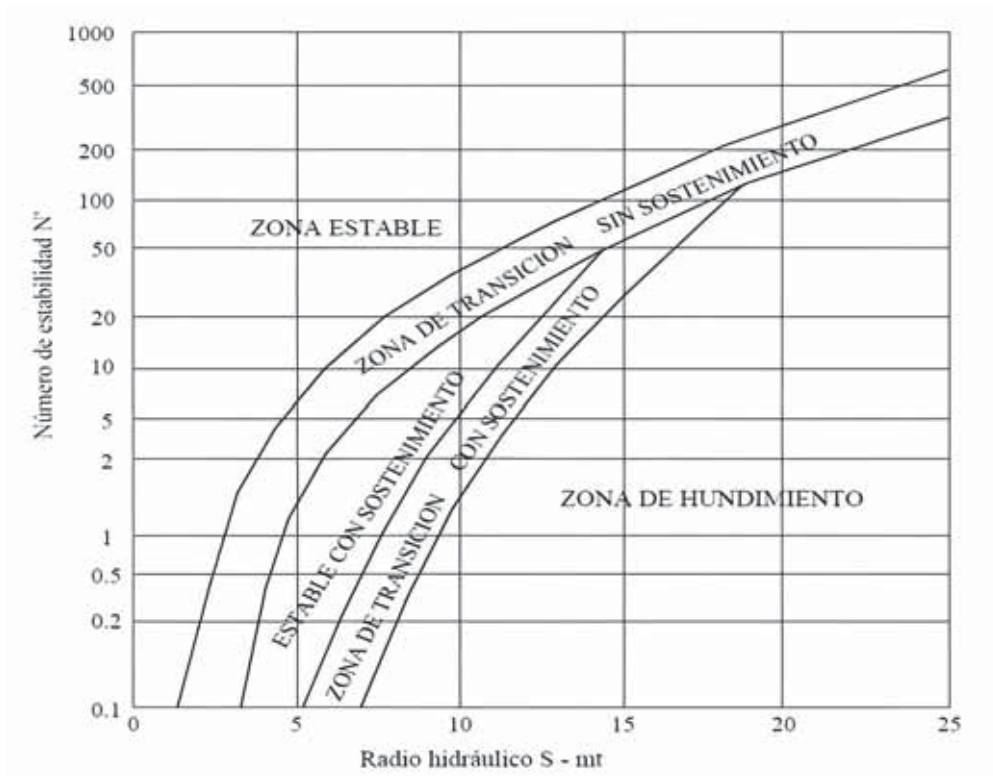


Ilustración 12. Gráfico de estabilidad modificado, según Nickson (1992).

Gráfico de estabilidad que muestra zonas de terreno estable, terreno hundible y terreno con requerimiento de sostenimiento. Según Potvin (1988), modificado por Nickson (1992).

3.4.5.2. Estabilidad de pilares.

Para la estimación de la resistencia de los pilares, se utiliza el criterio de Lunder & Pakalnis (1997) y Hoek & Brown, donde consiste en determinar por un lado los esfuerzos actuantes sobre los pilares y por otro la resistencia que ofrecen estos. Con el método de Villaescusa (2004) es posible determinar si el pilar se encuentra en zona estable.

CAPITULO IV

ANALISIS DE MINADO TAJEO POR SUBNIVELES

4.1. DISEÑO DEL MÉTODO DE MINADO

El diseño del método tajeo por subniveles con taladros largos en la mina Marcapunta Norte se da con el desarrollo de labores mineras en estéril, como las chimeneas de ventilación de dimensiones 3.0m*3.0m, el desarrollo de rampas de sección 4.5m*4.5m. A partir de la rampa se desarrolla los subniveles de ataque cada 20.0m de altura con la preparación de galerías principales de dimensiones de 4.5m*4.5m, perpendicular a este se preparan galerías secundarias también de sección 4.5m*4.5m, a partir de ahí se preparan galerías paralelas de sección 4.0m*4.0m y perpendiculares a la galería secundaria, estas galerías se desarrollan dentro del cuerpo mineralizado y están espaciados de acuerdo al

dimensionamiento de los tajeos de cada sector, y con los pilares escudos de protección para no afectar la estabilidad de las galerías de extracción.

Una vez concluida las galerías, en esta última galería se abre galerías de 4.0m*4.0m usualmente en la parte central, este según el ancho del dimensionamiento del tajo, a partir de ahí se construye una chimenea VCR que sirve como cara libre para la construcción del slot, a partir de estas galerías se realizan las operaciones unitarias de perforación radial ascendente y descendente, la voladura de taladros radiales, la limpieza y carguío de mineral y finalmente el transporte de mineral.

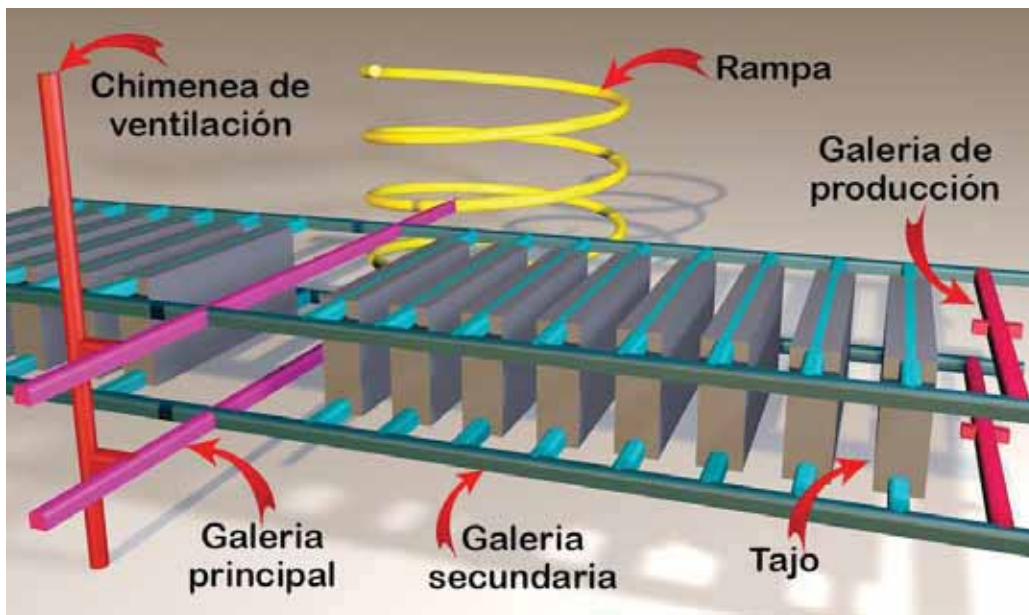


Ilustración 13. Diseño del método de minado Tajeo por Subniveles.

Fuente: Ilustración propia.

El diseño del método de minado se da en base al cuerpo mineralizado, por lo que varía en algunas zonas, en donde se omite la construcción de una galería secundaria como se muestra en la siguiente ilustración.

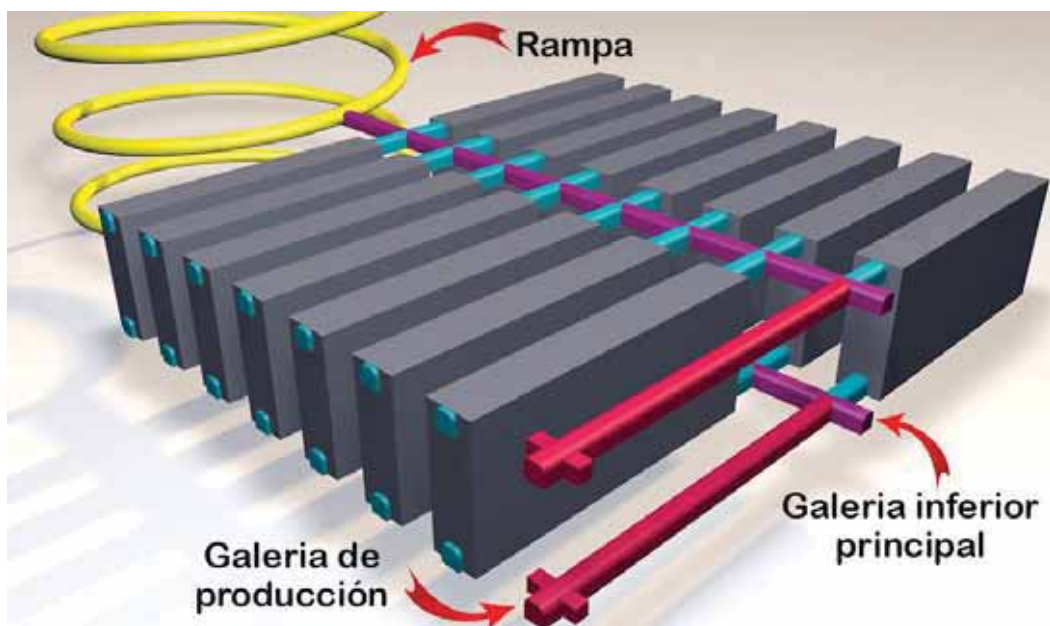


Ilustración 14. Diseño del método de minado Tajeo por Subniveles.

Fuente: Ilustración propia.

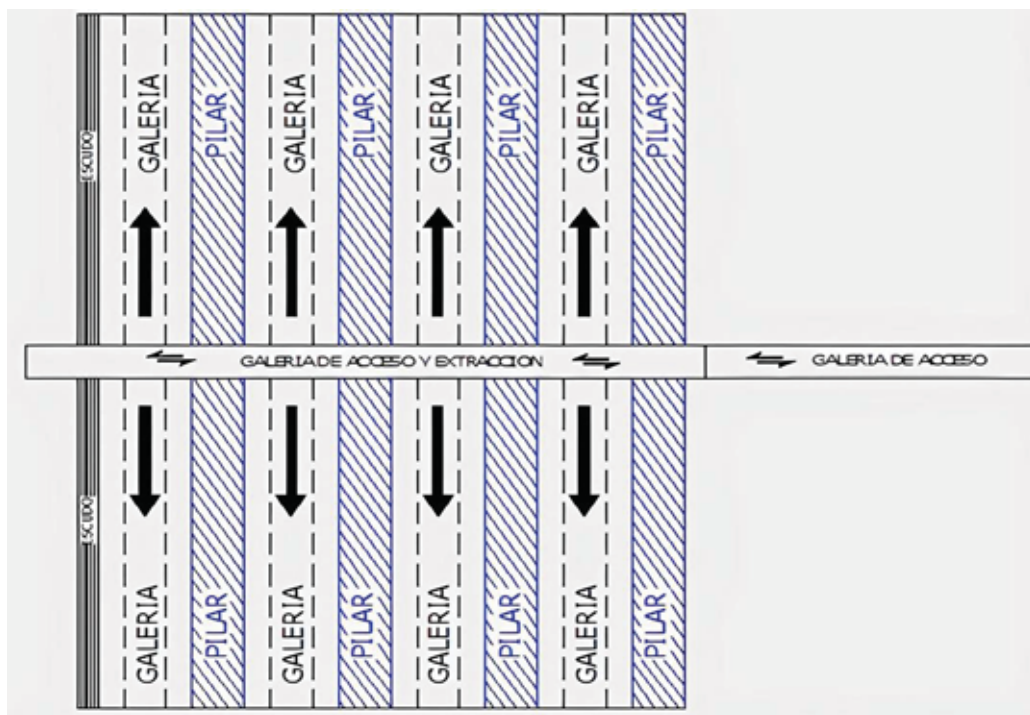


Ilustración 15. Galerías de acceso y galerías de producción - Tajeo por Subniveles vista planta.

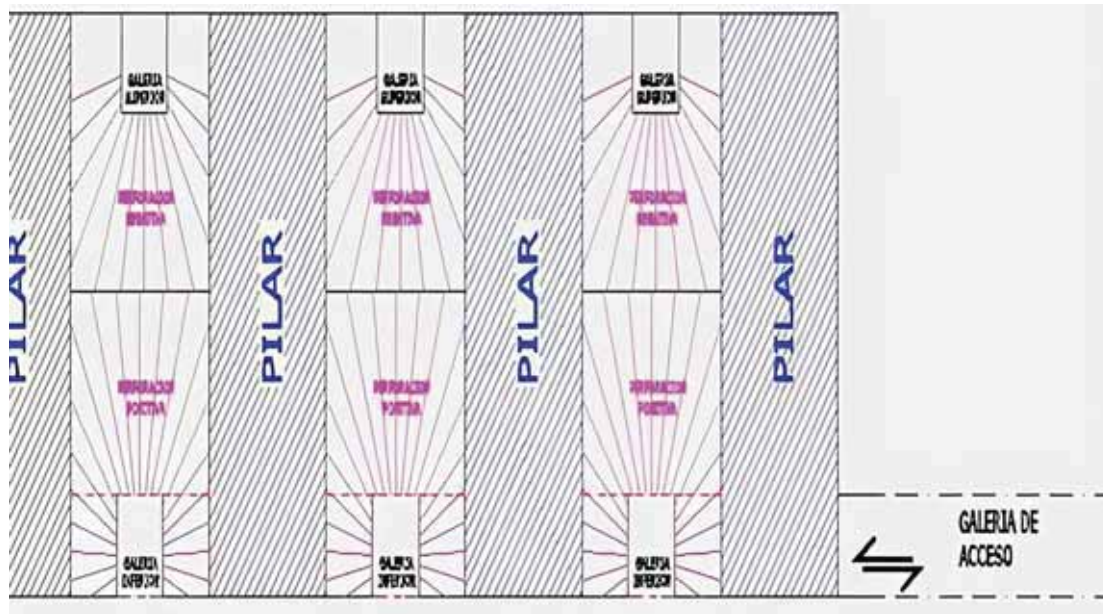


Ilustración 16. Perforación radial ascendente y descendente – Tajeo por Subniveles vista frontal.

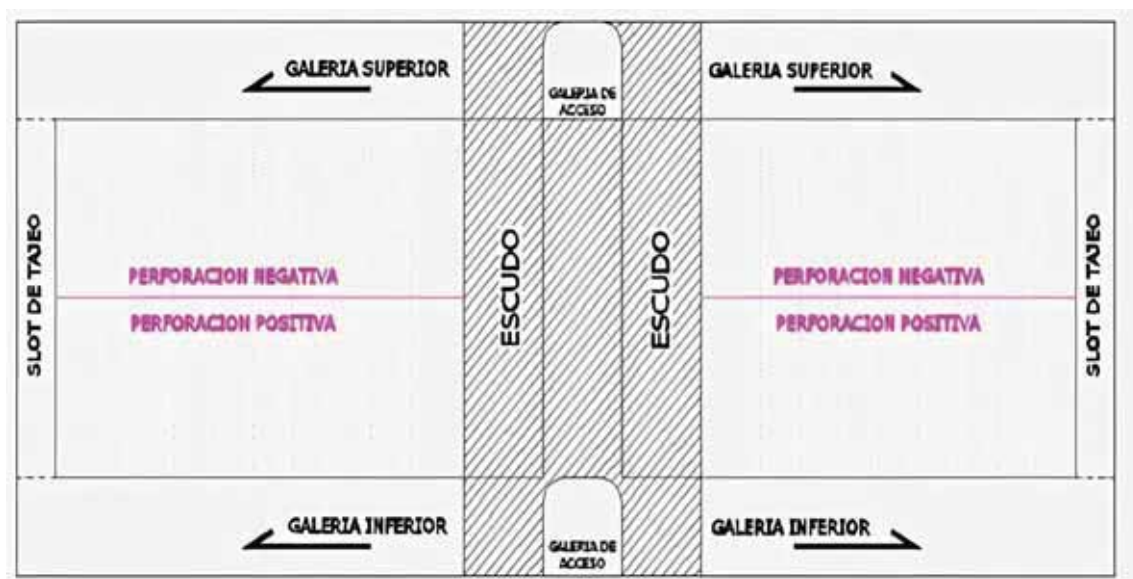


Ilustración 17. Escudos de protección en Tajeo por Subniveles – Tajeo por Subniveles vista lateral.

4.2. DESARROLLO Y PREPARACIONES

Los desarrollos son las rampas de sección 4.5m*4.5m que están ubicadas fuera del mineral y paralela al eje vertical del cuerpo, a partir de la rampa se desarrolla los subniveles de ataque cada 20 metros que interceptan en el punto medio del cuerpo mineralizado con una gradiente de +1%, estos subniveles o accesos principales son perpendiculares al eje horizontal del cuerpo y la corta de caja a caja.

La preparación son las galerías de acceso que son construidos para interceptar al cuerpo mineralizado, de ellos se inicia la preparación de galerías de producción con una sección de 4.0m*4.0m, luego en la parte central y perpendicular se corre galerías de sección 4.0m*4.0m y longitud dependiendo al dimensionamiento del tajo, la misma que servirá para la ejecución del Slot para el tajo.

Es necesario mencionar que en la fase de desarrollo y preparación se tiene como estándar en El Brocal, “metro disparado metro sostenido”, para ello se utiliza sostenimiento según a la calidad de la roca, usualmente es Shotcrete sección completa de fibra sintética más empernado sistemático con pernos Python.

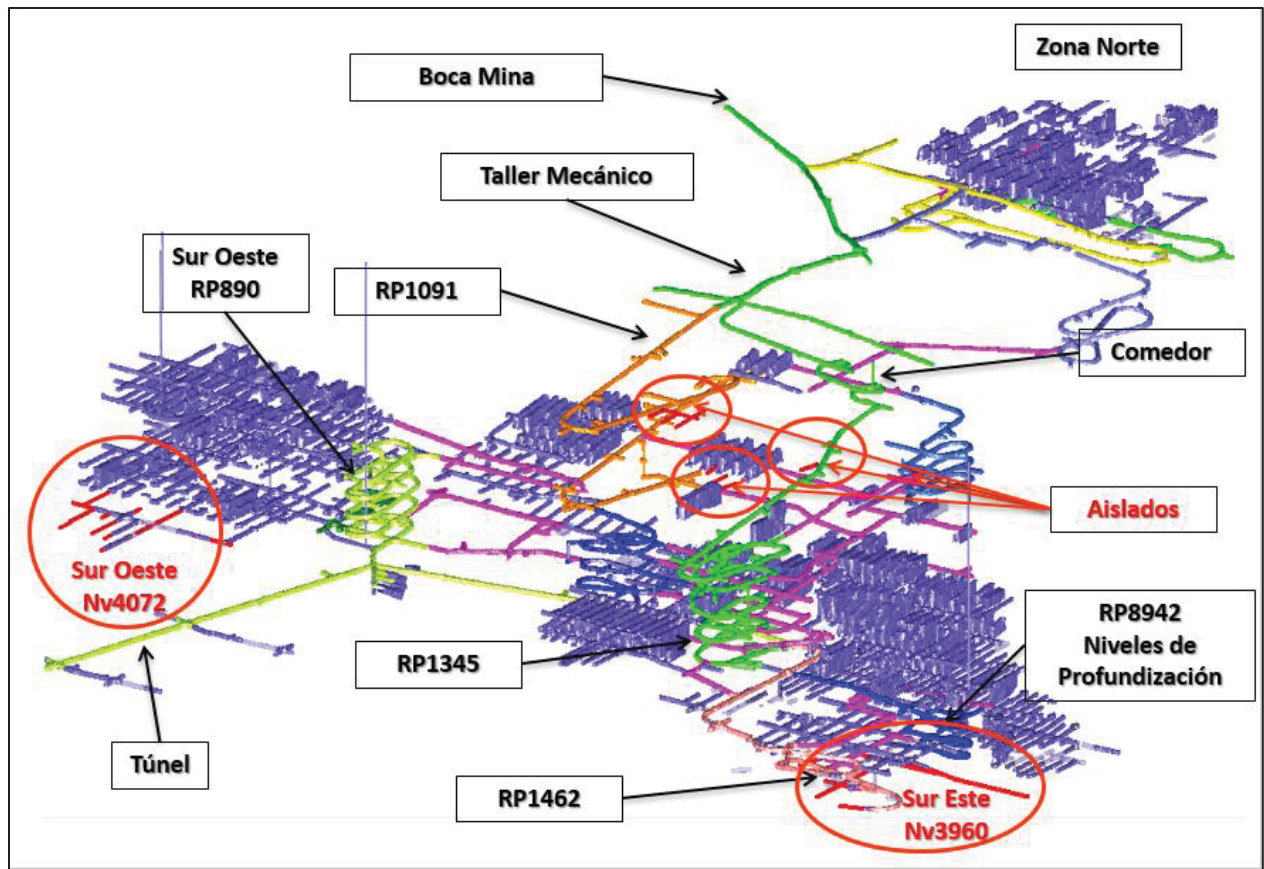


Ilustración 18. Vista isométrica de labores de desarrollo y preparación en la mina Marcapunta Norte.

Fuente: Departamento de planeamiento JRC.

4.3. CICLO DE PRODUCCIÓN

4.3.1. Perforación

La perforación radial se realiza con los equipos electrohidráulicos Simba S7D y Simba H1254, este trabajo requiere una gran precisión para lograr una buena voladura, el procedimiento consiste en realizar primero la perforación radial positiva de todo el tajo desde el nivel inferior, luego se realiza la limpieza de los detritos acumulados y con el piso limpio se inicia la perforación radial negativa

desde la parte superior, cumpliendo este procedimiento se ensucia menos los taladros negativos.

4.3.2. Voladura.

En la voladura se utiliza como explosivo el ANFO por su bajo costo y como equipo de carguío se utiliza Jetanol, como sistema de iniciación se utiliza los detonadores no electrónicos.

4.3.3. Limpieza

La limpieza se realizará con Scooptrams de la marca Sandvik de modelo LH410 de 6 yd³ equipado con un control remoto, el que se usa cuando el Scooptram tiene que ingresar al tajeo minado, donde el techo de minado llega a una altura de hasta 30 m. De acuerdo a esto una de las grandes bondades del Sub Level Stopping es la seguridad, con este método el minado se hace en retirada y nunca más el personal ingresa a las labores explotadas.

4.3.4. Carguío

El carguío a los volquetes se realizará con los Scooptram en las cámaras de carguío, también se tiene cámaras de acumulación de mineral lo que permitirá una mejor utilización de los Scooptram y por consiguiente mejor utilización de los volquetes

4.3.5. Transporte

El transporte se realizará con volquetes de la marca Mercedes de modelo Actros 3344 k de capacidad de 20 toneladas con una flota de 08 volquetes en promedio, el ciclo promedio en interior mina es de 1 hora 20 minutos de la zona de carguío en la profundización a la cancha de mineral en boca mina, siendo la distancia promedio de 4 km.

A partir de la cancha de mineral en boca mina Marcapunta norte se transporta a planta mediante volquetes Mercedes Benz de 30 toneladas de capacidad que lo realizará un contratista.

4.4. PLAN DE PRODUCCIÓN

Tabla 4
Programa Tajeo por Subniveles año 2018.

Explotación SLS	ene-18	feb-18	mar-18	abr-18	may-18	jun-18	jul-18	ago-18	sep-18	oct-18	nov-18	dic-18	Acum 2018
Programado (tn)	180,576.0	202,105.6	245,961.6	179,484.8	162,731.4	240,060.8	257,990.4	262,399.6	240,256.6	250,271.7	304,494.5	312,942.3	2,839,275.2
Ejecutado (tn)	185,071.4	137,784.8	196,031.4	118,381.2	177,518.3	218,202.5	214,026.6	244,530.2	239,857.1	248,138.2	251,107.2	275,998.8	2,506,647.8
Cumplimiento (%)	102%	68%	80%	66%	109%	91%	83%	93%	100%	99%	82%	88%	88%

Fuente: Departamento de planeamiento JRC.

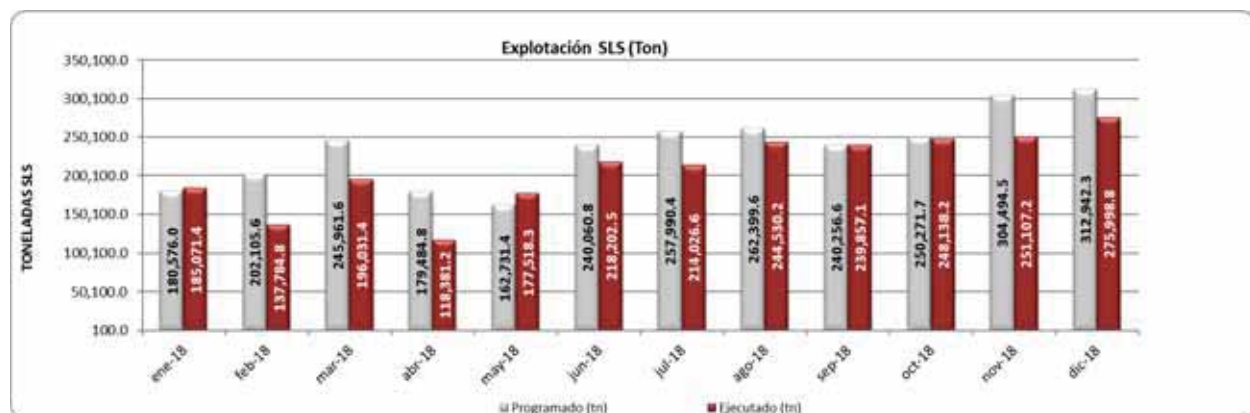


Ilustración 19. Programa y cumplimiento de explotación año 2018.

Fuente: Departamento de planeamiento JRC.

4.5. SECUENCIA DE MINADO

Una vez terminado la preparación, se inicia la perforación y voladura como se resume en la siguiente ilustración, la mayoría de los proyectos de minado en la mina Marcapunta Norte es de tajos pasantes y culmina con el relleno detrítico (paso F).

Si el proyecto de minado tiene un tajo en realce, entonces se realiza en dos etapas, primero se culmina el minado del tajo pasante, y después del relleno se realiza la estandarización para el minado del tajo en realce.

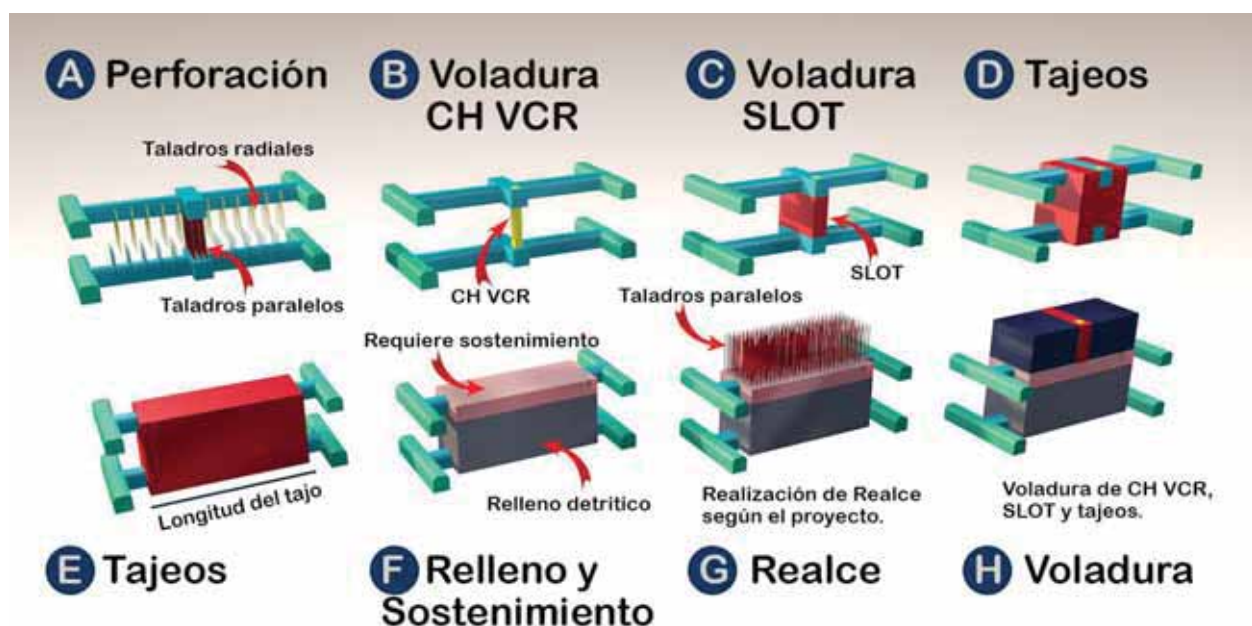


Ilustración 20. Secuencia de minado en la Mina Marcapunta Norte.

Fuente: Ilustración propia.

Para una mejor comprensión de la secuencia de minado en la Mina Marcapunta Norte, lo clasificamos en 6 fases como se detalla a continuación.

4.5.1. Fase 1. Excavación de Galerías.

En las Galerías de Producción se debe cumplir con los estándares establecidos para labores de avance de sección 4.00m*4.00m en preparaciones (alcayatas, gradiente, servicios, sección), ver anexo A.

En las Galerías Principales se debe cumplir con los estándares establecidos para labores de avance de sección 4.50m*4.50m en preparaciones (alcayatas, gradiente, servicios, sección), ver anexo C. De igual manera en las galerías Secundarias se sección 4.0m*4.0m tiene que cumplir con los estándares establecido, ver anexo B.

En la Galería del nivel inferior (nivel de extracción) que es de sección 4.00m*4.00m, se construyen refugios de sección 2.00m*2.00m y de 2 metros de longitud, este refugio es principalmente para la ubicación del operador del Scoop a telemando. Estos refugios son ubicados a cada 15 metros entre sí (eje a eje).

En las Galerías de Producción, en el centro del tajo se apertura en forma perpendicular a la galería, una labor de sección 4.00m*4.00m hacia ambos lados, de longitud de 3.0m a 5.0m cada uno, este dependiendo del ancho de minado, con la finalidad de construir la cara libre en este punto (SLOT), tanto en el nivel inferior y superior.

Para Tajos pasantes se programa hacer taladros negativos y en la parte superior se coloca cáncamos de anclaje para línea de vida en toda la longitud del tajo, ubicados cada 4.5 metros de distancia entre sí.

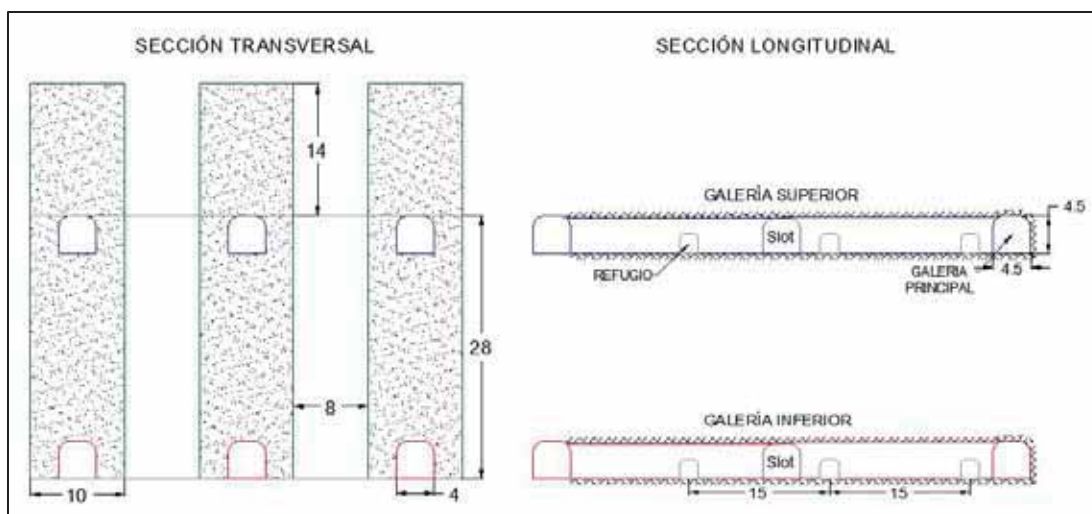


Ilustración 21. Excavación de galerías primarias en el mismo eje vertical de acuerdo a la mineralización.

Fuente: Ilustración propia.

4.5.2. Fase 2. Perforación de Taladros Largos.

Previo a la perforación se realiza el diseño, en la que se tiene la distribución de los taladros ya sea en una malla en abanico que es para proyectos de explotación de tajos pasantes o malla en paralelo para proyecto de minado de tajos en realce. Este diseño contempla los límites para una máxima recuperación del mineral tomando en cuenta los aspectos geológicos y geomecánicos.

La altura de minado contempla generalmente una longitud de 40.0 metros medidos desde el piso de la galería inferior al techo de la perforación en realce superior, tomando en cuenta que son 24.0 metros de perforación pasante y 14 metros de perforación en realce, estos explotados en dos etapas.

Debido a que el slot se encuentra alineado tanto para la galería superior e inferior, la ubicación de las chimeneas VCR de los tajos estarán alineadas. Para

la perforación de las chimeneas VCR se utiliza los equipos Simba S7D con brocas de 64mm, la sección de las chimeneas VCR en todos los proyectos es de 2.10m*2.10m y las perforaciones de taladros largos son en paralelo, tanto ascendentes y descendentes, ver anexo D.

Previo a la perforación, el área de Topografía marca el Slot, filas (secciones) y el eje de la labor, enumerando las filas en el hastial y son enumeradas a partir del Slot en formar ascendente.

Se iniciar la perforación en el SLOT tomando en cuenta el desfase de ubicación del VCR. Para la perforación del slot del tajo se utiliza los equipos Simba S7D con brocas de 64mm, los taladros son perforados en paralelos, tanto ascendentes y descendentes.

La secuencia de perforación es en retirada, Slot, fila 1, fila 2, ..., fila n (n=número de filas). Si la perforación es en abanico, para pasar a perforar la siguiente fila, deberá estar 100% culminado la perforación de la fila actual. Si la perforación es en paralelo, es criterio del operador la perforación parcial de filas, siempre y cuando no se exceda de 04 filas; sólo y únicamente con la finalidad de maximizar el rendimiento del equipo de perforación.

El diseño de la perforación se realizará de acuerdo a la altura del tajo y la sección de las galerías, se puede ejecutar de diferentes maneras: abanicos positivos, abanicos positivos y negativos, paralelos positivos, paralelos negativos, paralelos positivos y negativos, paralelos positivos y abanicos negativos, abanicos positivos y paralelos negativos.

En todos los taladros que se perforan se colocan tubos de PVC para evitar el derrumbe de taladros en toda su longitud sea negativo o positivo.

Se puede tener 02 equipos de perforación en el mismo nivel y la separación mínima de estos equipos debe de ser no menor a 20.0 metros, tomando en cuenta que la perforación se realiza en retirada desde el slot hacia la salida del tajo.

Pueden existir hasta 3 equipos en perforación en ambos niveles (2 equipos en el nivel inferior y 1 equipo en el nivel superior). Estando todos los equipos desfasados en proyecciones horizontales y verticales. De tal modo que no exista el riesgo de que puedan comunicarse taladros en simultáneo en las perforaciones de ambos niveles.

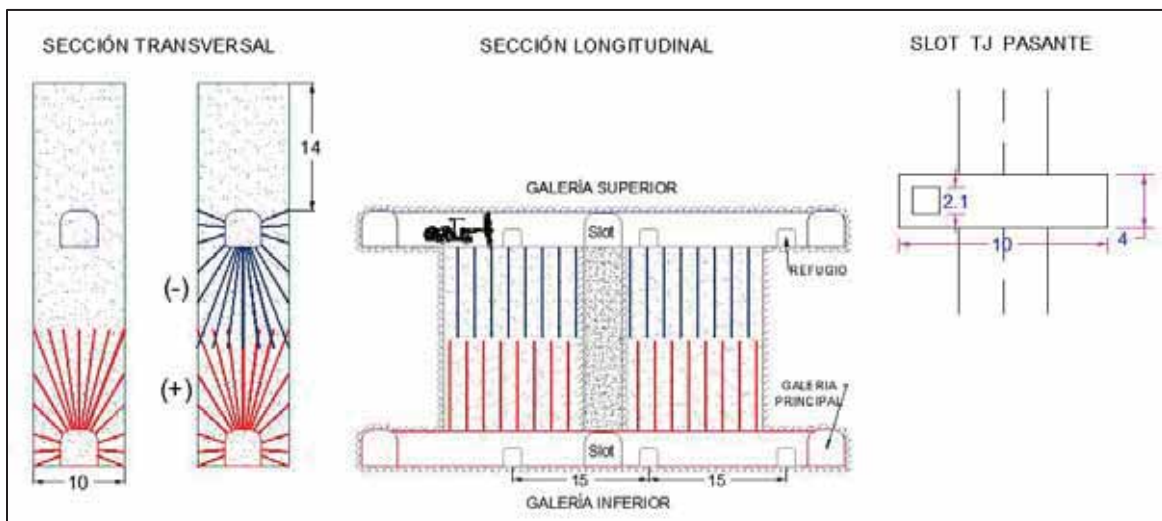


Ilustración 22. Perforación de taladros largos ascendentes y descendentes en abanico.

Fuente: Ilustración propia.

La perforación radial en abanico se realiza con equipos Simba S7-D y/o Simba H-1254 con brocas de diámetro de 64mm, en ambos casos el

procedimiento consiste en la perforación de taladros ascendentes y perforación de taladros descendentes, esta perforación de taladros largos se realiza según el diseño, para lo cual el operador de Simba cuenta con su respectivo plano según al equipo Simba, ya que los baricentros difieren en cada equipo, en el plano indica la posición, el ángulo, la longitud del taladro, y para facilitar al perforista se señala el número de barras por cada taladro, ver anexo E.

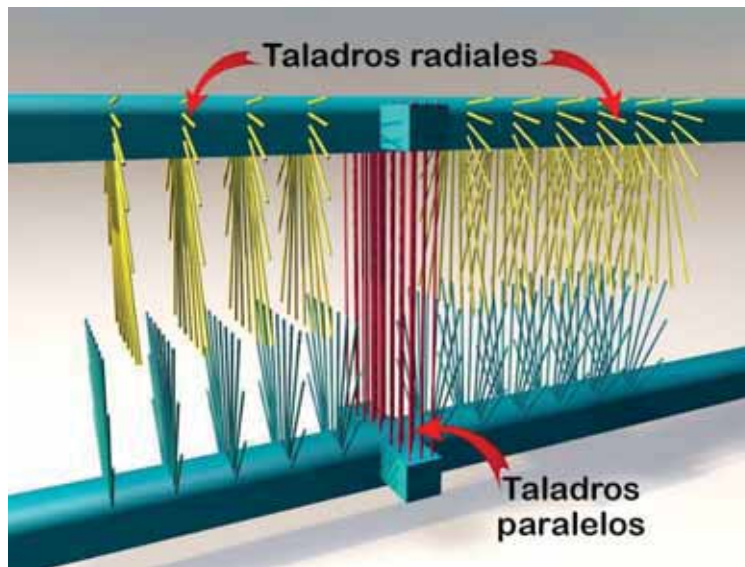


Ilustración 23. Perforación de taladros radiales en abanico y paralelos para Chimenea VCR y Slot

Fuente: Ilustración propia.

4.5.3. Fase 3. Voladura de CH VCR y SLOT.

La CH VCR y el SLOT están ubicados usualmente al centro del tajo, por ende, el diseño de la malla tiene como función objetivo el de aperturar una cara libre para la explotación de las filas, con secuencia de salida desde el centro hacia los extremos norte y sur del Tajo.

Antes de iniciar la voladura, el tajo debe estar perforado al 100% (Slot y Filas). Y los taladros del VCR deberán estar levantados topográficamente. De ser necesario deben estar rectificadas los taladros si con el levantamiento se encontraron desviaciones.

La secuencia de voladura del VCR contempla, disparo del VCR positivo por la galería inferior dejando un puente mínimo de 6 metros (según evaluación geomecánica sujeto a variación); por la galería superior se realiza el disparo del VCR negativo (puente de 6.0 metros), y se realiza con detonadores no electrónicos.

Posterior a la comunicación integral de la CH VCR en toda la altura de minado. La secuencia de salida del SLOT sigue la misma configuración, en una primera etapa se disparan los taladros positivos del slot, y luego desde el nivel superior se realiza la voladura de los taladros negativos del SLOT. En toda voladura se debe tener el plano de diseño de carguío de taladros, con su respectiva secuencia.

Si en caso se tienen complicaciones en la voladura del VCR o del SLOT, se realiza la evaluación en conjunto con las áreas involucradas (Mina, Geomecánica, Topografía, Planeamiento y la empresa especializada).

Posterior a la comunicación de la zanja en toda la altura de minado, se realiza la voladura de los taladros de producción (filas).

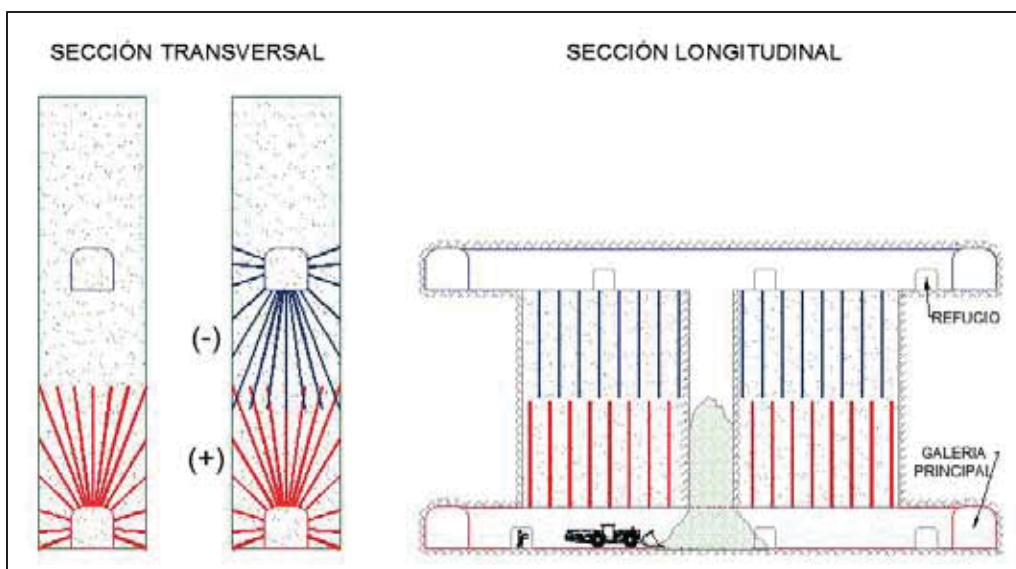


Ilustración 24. Voladura de CH VCR y apertura de SLOT.

Fuentes: Ilustración propia.

4.5.4. Fase 4. Voladura de Filas (secciones).

En el tajo pasante, para el carguío de los taladros positivos desde la galería inferior, no requiere arnés. Para carguío de taladros negativos desde la galería superior, todo el personal que realiza el carguío debe estar con arnés y líneas de vida, con puntos de anclaje ubicados de acuerdo al estándar.

La voladura se realiza en escalonada manteniendo 03 filas desfasadas, la mayor cantidad de filas rotas es en el nivel inferior y se inicia el carguío en la fila más próxima a la cara libre.

La limpieza se realiza con Scooptram a telemando, ubicándose el operador en refugios contruidos para este fin en labores de sección 2.00m*2.00m ubicados en el nivel inferior o de limpieza.

La carga disparada es extraída en forma total o parcial antes de realizar la siguiente voladura, salvo que; de acuerdo al cálculo se estime que el mineral roto más el mineral que se va disparar sean estimadas para la extracción total en la guardia siguiente.

Cada voladura es inspeccionada, con la finalidad de corregir en caso de voladuras falladas. Si se tienen complicaciones en la voladura de las filas, se realiza la evaluación en conjunto con las áreas involucradas (Mina, Geomecánica, Topografía, Planeamiento y la empresa especializada).

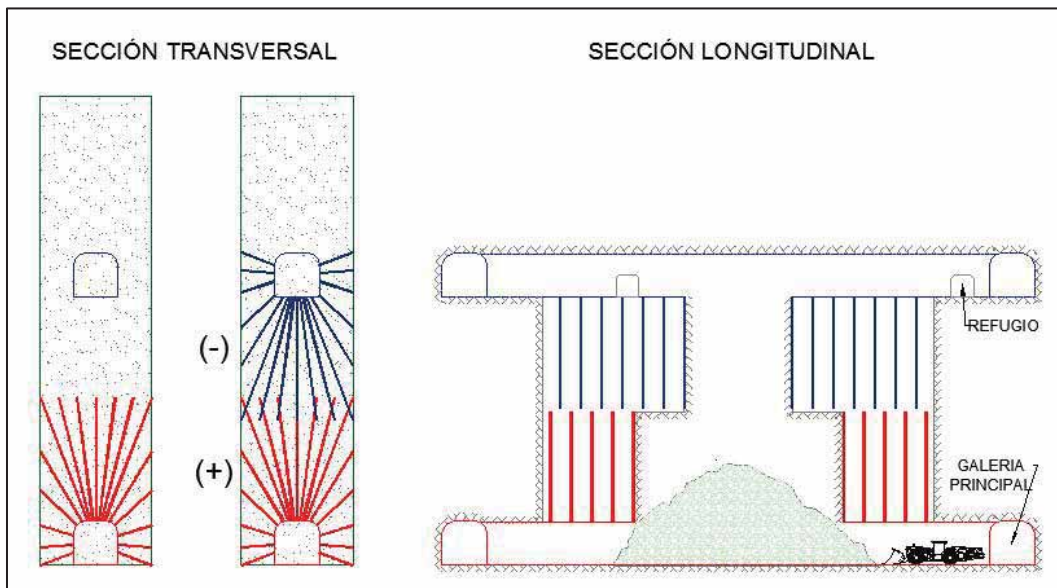


Ilustración 25. Voladura de secciones de producción y extracción.

Fuente: Ilustración propia.

4.5.5. Fase 5. Relleno de Tajos (relleno detrítico).

El relleno se realiza por la parte superior del tajío empleando Scooptram con telemando. En el nivel inferior se hace dique con malla para el taponeo del

tajo con una distancia de 5.0 metros del borde del tajo, para garantizar el ángulo de reposo que se formará y no abarque hasta la galería principal.

En la parte superior del tajo la labor queda con sección de 10.00m*4.00m producto de la explotación (perforación en abanico).

Durante el relleno se mantiene la gradiente de la labor. El relleno del tajo se realiza con desmonte proveniente del avance de las labores o de superficie. Razón por la cual, por ningún motivo debe de rellenarse con bancos de mineral o mineral remanente producto de la explotación.

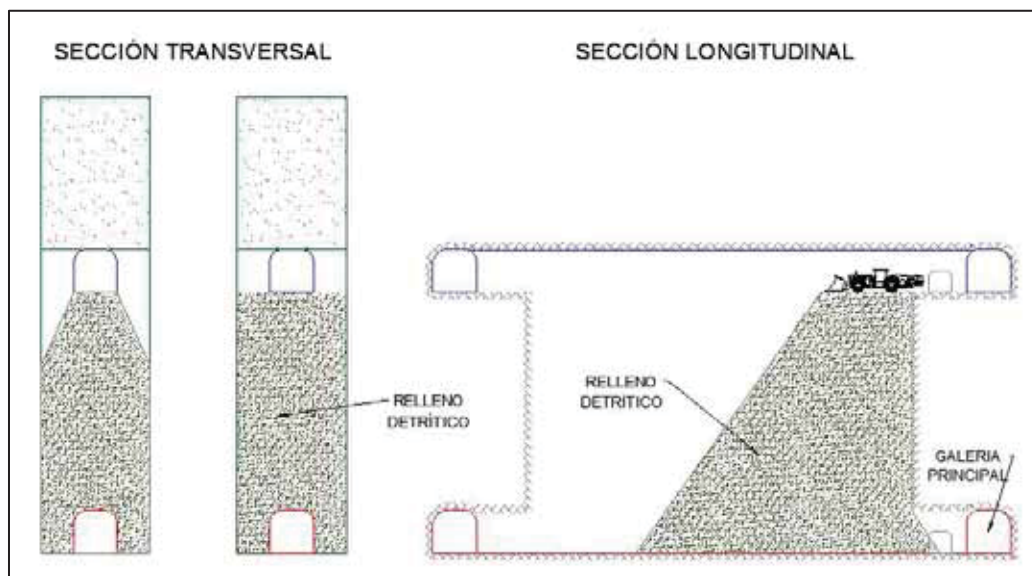


Ilustración 26. Relleno detrítico con Scooptram.

Fuente: Ilustración propia.

4.5.6. Fase 6. Etapa final para continuar con el siguiente corte.

De tener un proyecto de minado de tajo en realce, se da el relleno detrítico para luego estandarizar la labor. Debido a que esta labor queda con una sección

10.0m*4.0m después del minado del tajo pasante, para el siguiente corte la perforación de taladros largos es en paralelo y la altura de realce no debe sobrepasar a 14 metros por tema de desviación de los taladros.

La voladura es igual que en la anterior, primero se realiza la voladura de CH VCR para dar cara libre, luego la voladura del Slot y por ultimo las filas.

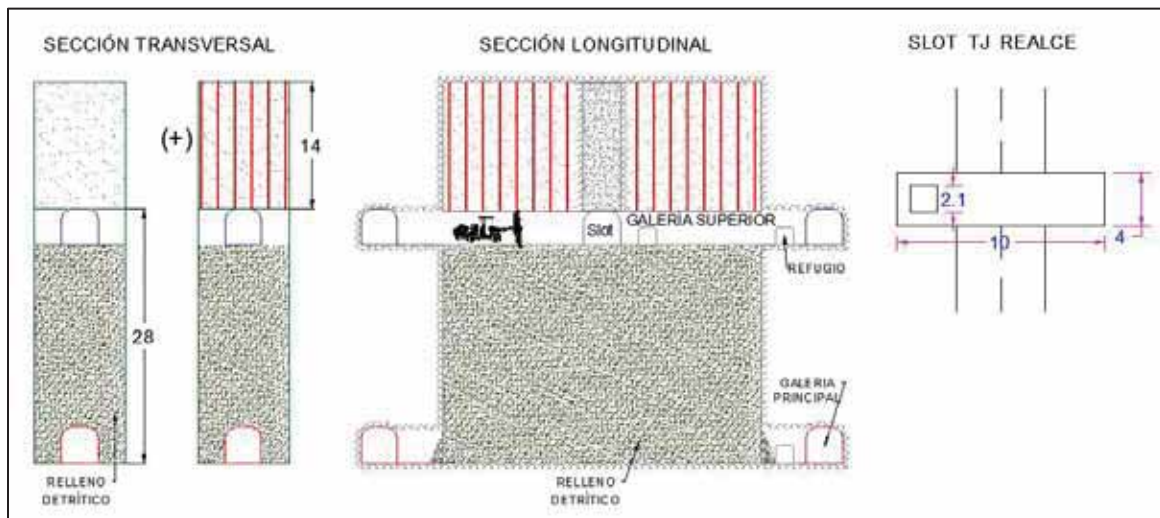


Ilustración 27. Perforación del tajo en realce.

Fuente: Ilustración propia.

4.6. PERFORACIÓN DE PRODUCCIÓN

4.6.1. Diseño de malla de perforación.

Para lograr un diseño de la malla de perforación óptima con taladros largos de 64mm, se hicieron varias pruebas desde el inicio de la aplicación del método de minado tajeo por subniveles, con la finalidad de definir algunos parámetros, como el diámetro de los taladros, longitud máxima de los taladros, Burden y Espaciamiento.

4.6.1.1. Diámetro del taladro.

El diámetro de broca con el que se trabaja es de 64mm y guarda relación con las columnas de perforación de los equipos que se tienen en la sede, también da facilidad en el carguío del explosivo en los taladros verticales ascendentes y descendentes.

4.6.1.2. Longitud de los taladros.

La longitud optima resultante en base a las pruebas y errores en todo el periodo de aplicación de taladros largos es hasta un máximo de 14 m, ya que mayor a esta longitud la desviación aumenta rápidamente y como resultado se tiene voladuras deficientes debido a que el explosivo no llega a estar distribuido de manera equitativa.

4.6.1.3. Burden y espaciamiento.

El cálculo de Burden y Espaciamiento en taladros largos se utiliza aplicando la siguiente fórmula de Langerfors.

$$B_{max} = \frac{D}{33} \left[\frac{\delta e * PRP}{C * f * \frac{S}{B}} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

- B_{max} : burden máximo (m).
- D: diámetro del taladro (mm).
- C: constante de la roca, se toma generalmente:

- o $C = 0.3 + 0.05$ Rocas medias.
- o $C = 0.4 + 0.05$ Rocas duras.
- f: factor de fijación.
 - o Taladros verticales, $f=1$
 - o Taladros inclinados, 3:1 $f=0.9$
 - o Taladros inclinados, 2:1 $f=0.85$
- S/B: relación entre Espaciamiento y Burden.
- δe : densidad de carga (g/cm^3).
- PRP: potencia relativa en peso del explosivo.

El valor del burden práctico se obtiene a partir del valor máximo, aplicando una corrección por la desviación de los taladros y por el error de emboquille.

$$B = B_{max} - 2 * D - 0.02 * L$$

Siendo L la longitud del taladro. El espaciamiento S se determina con la siguiente ecuación:

$$S = 1.25 * B$$

La mina Marcapunta Norte mayormente está compuesto por tipo de roca IIIB de calidad regular B, con RMR promedio de 45. Para un óptimo diseño de malla de perforación, los resultados en campo fueron los mejores datos para la elección del Burden en taladros de 64mm que es de 1.6m y Espaciamiento que va desde 1.5m a 1.6m.

4.6.2. Equipos de perforación.

Entre los equipos de perforación de taladros largos en la Mina Marcapunta Norte se tiene los Jumbos electrohidráulicos de la línea Epiroc de modelos S7D y H1254, provistos con máquinas perforadoras COP 1838 HD, sus características básicas se muestra en el siguiente cuadro, para ver más detalles ver el anexo F y anexo G.

Tabla 5
Características básicas Simba H1254 y Simba S7D.

	Simba H1254	Simba S7D
Perforadora	COP 1838 HD	COP 1838 HD
Capacidad de carrusel	17+1	10+1
Ancho (m)	2.38	2
Largo (m)	7.402	7.926
Alto (m)	2.66 a 2.92	2.10 a 2.80
Peso (kg)	12500	11800

Fuente: Epiroc.

Ambos equipos trabajan con columna de perforación T38, compuesto de Shank Cop, barra de perforación de 5 pies y brocas con diámetro de 64mm, tal como lo describimos en el siguiente cuadro.

Tabla 6
Columna de perforación Simba H1254 y Simba S7D.

	Simba H1254	Simba S7D
Accesorios	SHANK COP 1838/1638 T38 X 525MM	
	BARRA T38-RD38-T38 5'	
	BROCA RETRAC. DC T38 X 64MM	

Fuente: Epiroc.



Ilustración 28. Simba S7D equipo de perforación de taladros largos.

Fuente: Epiroc.



Ilustración 29. Simba 1254 equipo de perforación de taladros largos.

Fuente: Epiroc.

4.6.3. Rendimientos.

4.6.3.1. Rendimiento de equipos de perforación.

En el año 2018 el rendimiento de perforación por guardia fue de 225 metros en promedio, equivalentes a 450 metros perforados por día.

Tabla 7
Rendimiento de equipos Simba por guardia.

<i>Indicadores de Operación</i>	<i>ene-18</i>	<i>feb-18</i>	<i>mar-18</i>	<i>abr-18</i>	<i>may-18</i>	<i>jun-18</i>	<i>jul-18</i>	<i>ago-18</i>	<i>sep-18</i>	<i>oct-18</i>	<i>nov-18</i>	<i>dic-18</i>	<i>Prom - 2018</i>
<i>Metros/Guardia (Simbas)</i>	224.52	226.21	224.74	225.84	222.09	225.21	226.56	223.83	224.78	225.93	224.50	225.98	225.02

Fuente: Departamento de Perforación y Voladura JRC.

4.6.3.2. Rendimiento de aceros de perforación.

Los rendimientos de aceros de perforación en Tajeo por Subniveles con columna de perforación T38 (64mm) se expresan en metros lineales y se detalla en el siguiente cuadro.

Tabla 8
Rendimiento de aceros perforación columna T38.

		ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
SHANK COP 1838/1638 T38 X 525MM		21	31	25	19	11	9	8	13	9	14	11	9	180
BARRA T38-RD38-T38 5'		182	158	151	76	64	48	72	89	92	71	105	72	1180
BROCA RETRAC. DC T38 X 64MM		344	289	293	159	116	89	56	162	146	137	117	89	1997
BROCA DOMO T38 127MM BAL		10	13	8	6	7	6	4	10	3	6	7	5	85
Mts. Perf. Broca 64MM		36218.8	54186.4	29876.0	27993.5	23784.6	14769.7	16830.8	21570.5	23311.7	20891.1	20499.0	18041.8	307973.9
Mts. Perf. Broca 127MM		1275.3	1744.2	1020.0	516.5	803.0	1102.3	663.0	1457.5	128.6	1057.1	1158.9	964.0	11890.4
Mts. Perforados		37494.1	55930.6	30896.0	28510.0	24587.6	15872.0	17493.8	23028.0	23440.3	21948.2	21657.9	19005.8	319864.3
RENDIMIENTOS	SHANK COP 1838/1638	1785.4	1804.2	1235.8	1500.5	2235.2	1763.6	2186.7	1771.4	2604.5	1567.7	1968.9	2111.8	1777.0
	BARRA T38-RD38-T38 5'	206.0	354.0	204.6	375.1	384.2	330.7	243.0	258.7	254.8	309.1	206.3	264.0	271.1
	BROCA RETRAC. DC T38	105.3	187.5	102.0	176.1	205.0	166.0	300.6	133.2	159.7	152.5	175.2	202.7	154.2
	BROCA DOMO T38 X 127	127.5	134.2	127.5	86.1	114.7	183.7	165.8	145.8	42.9	176.2	165.6	192.8	139.9

Fuente: Departamento de Perforación y Voladura JRC.

4.7. VOLADURA DE PRODUCCIÓN

4.7.1. Equipo.

Para realizar el carguío de los taladros largos se usa el cargador de ANFO JETANOL de fabricación totalmente en acero quirúrgico, estos equipos son montados sobre un bastidor y ruedas para hacer más fácil su traslado, tiene una capacidad de 100kg. El equipo trabaja con aire comprimido a una presión de 60-100 PSI.



Ilustración 30. Cargador de Anfo Jetanol.

Fuente: Fotografía propia.

4.7.2. Explosivos.

Como agente de voladura utilizamos El ANFO, que es fabricado en superficie por la Empresa ORICA con unidades de fábrica para luego depositarlos

en sacos de 25.0 Kg y son trasladados en camiones a las diferentes labores de explotación.

Tabla 9

Las características de la unidad de fábrica, camión MCU.

Ancho	3.20 m
Largo	11.20 m
Alto	4.20 m
Capacidad	3273 kg

Fuente: Orica.



Ilustración 31. Camión MCU - Unidad de Carguío Mecánico.

Fuente: Fotografía propia.

Como sistema de iniciación se utiliza los detonadores no eléctricos de la compañía Orica, el producto Exel MS (periodo corto). Los intervalos de tiempo se detallan en la siguiente tabla, en ellas presentan incrementos de 25 ms entre los números consecutivos de 1 al 8, desde 14 hasta 21 los incrementos de tiempos son de 100 ms.

Tabla 10
Periodos de detonadores no eléctricos Excel.

PERIODO CORTO (MS)	
EXEL	RETARDO (ms)
EXEL MS N°1	25 ms
EXEL MS N°2	50 ms
EXEL MS N°3	75 ms
EXEL MS N°4	100 ms
EXEL MS N°5	125 ms
EXEL MS N°6	150 ms
EXEL MS N°7	175 ms
EXEL MS N°8	200 ms
EXEL MS N°9	250 ms
EXEL MS N°10	300 ms
EXEL MS N°11	350 ms
EXEL MS N°12	400 ms
EXEL MS N°13	450 ms
EXEL MS N°14	500 ms
EXEL MS N°15	600 ms
EXEL MS N°16	700 ms
EXEL MS N°17	800 ms
EXEL MS N°18	900 ms
EXEL MS N°19	1000 ms
EXEL MS N°20	1100 ms
EXEL MS N°21	1200 ms

Fuente: Orica.

Como cebo se hace uso del Boosters Pentex™ DD-450 de la compañía Orica, este es un explosivo moderno que proporciona una alta capacidad de iniciación.



Ilustración 32. Boosters Pentex™ DD-450.

Fuente: Fotografía propia.

4.7.3. Diseño de carga.

El cuanto, al diseño de carga de explosivos en taladros largos, nos basamos en la formula empírica que está en función al diámetro del taladro, teniendo el diseño en radial abanico, es necesario disponer de tres longitudes de taco. Esas longitudes son:

Taco:

- $T_s = 20 * D$
- $T_m = 50 * D$
- $T_l = 125 * D$
- $D =$ diámetro perforación radial

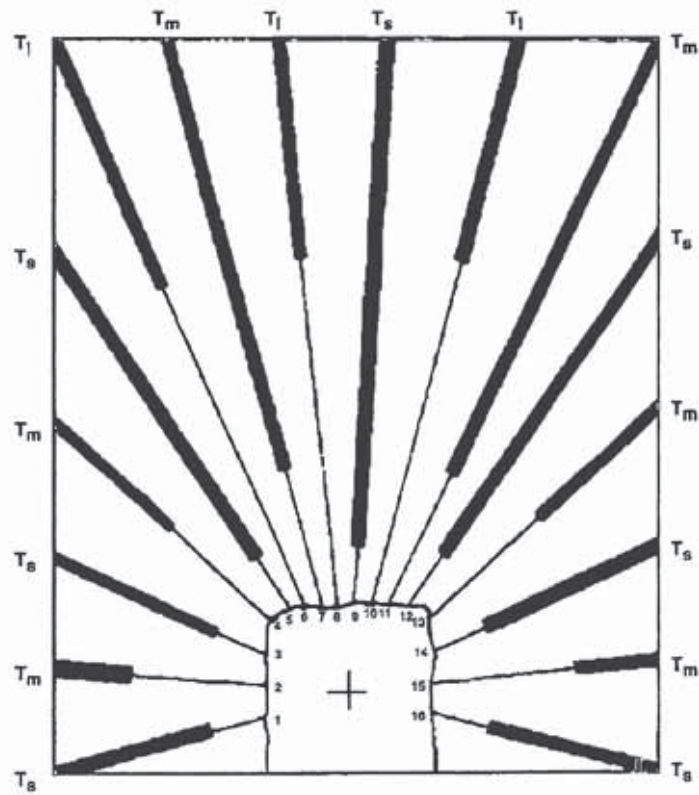


Ilustración 33. Longitudes de las cargas dentro de los taladros.

Fuente: AECL 1980.

4.7.4. Parámetros de voladura.

Dentro del parámetro más importante en la explotación de tajos es el factor de carga, con ello se evalúa si el consumo de explosivo en kilogramos es adecuado para la tonelada extraída de mineral.

Tabla 11
Cuadro consumo de explosivos y Factor de Potencia.

CUADRO DE EXPLOSIVOS PRODUCCIÓN - MINA MARCAPUNTA NORTE														
ITEM	UNID	ene-18	feb-18	mar-18	abr-18	may-18	jun-18	jul-18	ago-18	sep-18	oct-18	nov-18	dic-18	2018
Mineral Roto SLS	TMH	185,071.4	137,784.8	196,031.4	118,381.2	177,518.3	218,202.5	214,026.6	244,530.2	239,857.1	248,138.2	251,107.2	275,998.8	2,506,647.8
Emulsión Encartuchada	Kg.	873.1	670.0	756.0	477.0	851.5	1,246.3	967.8	1,680.0	1,439.4	1,963.0	1,998.6	2,200.0	15,122.7
Anfo	Kg.	64,425.0	50,920.0	74,158.0	48,750.0	74,521.0	92,622.8	90,471.5	102,566.2	100,030.0	103,250.0	105,300.0	103,722.0	1,010,736.5
Total Explosivo	Kg.	65,298.1	51,590.0	74,914.0	49,227.0	75,372.5	93,869.1	91,439.3	104,246.2	101,469.4	105,213.0	107,298.6	105,922.0	1,025,859.2
Booster	Unid.	6,360.0	9,164.0	8,736.0	7,387.0	9,258.0	11,500.0	10,920.0	13,050.0	9,528.0	9,437.0	14,075.0	8,766.0	118,181.0
Pentacord 5p	m	7,875.0	8,852.0	17,700.0	3,035.0	3,750.0	4,609.4	4,521.2	4,620.0	4,540.0	4,658.0	4,756.0	5,200.0	74,116.7
Exsanel 18m	Unid.	6,285.0	8,355.0	7,820.0	7,281.0	9,347.0	11,489.2	11,269.3	10,120.0	9,559.0	10,132.2	10,235.2	8,280.0	110,172.9
Carmex	Unid.	375.0	412.0	770.0	202.0	268.0	329.4	323.1	344.0	290.0	349.0	366.0	390.0	4,418.5
Factor de Potencia	Kg/Tn	0.35	0.37	0.38	0.42	0.42	0.43	0.43	0.43	0.42	0.42	0.43	0.38	0.41

Fuente: Departamento de Perforación y Voladura JRC.



Ilustración 34. Factor de potencia promedio en Tajeo por Subniveles.

Fuente: Departamento de Perforación y Voladura JRC.

4.7.5. Fragmentación.

La fragmentación lograda en la voladura de taladros con diámetros de 64mm es de 7.5 pulgadas en promedio, según los reportes del área de perforación y voladura.

CAPITULO V

ANÁLISIS, PRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1. AMPLIACIÓN DEL DIÁMETRO DE TALADROS LARGOS

Con el crecimiento de la mina, se pusieron en manifiesto muchas deficiencias en la perforación de taladros largos, teniendo la necesidad de buscar nuevas alternativas que lleven a optimizar el proceso de perforación, una de ellas es la ampliación del diámetro de perforación de 64mm a 89mm en los taladros de producción, teniendo como consideraciones iniciales varios puntos, entre ellas tenemos los siguientes.

5.1.1. Condiciones geológicas y geomecánicas.

Al variar el diámetro de taladros largos, se requerirá un nuevo diseño de malla de perforación y es imprescindible tomar en cuenta las características geomecánicas de la masa rocosa.

- Valoración del macizo rocoso (RMR), de acuerdo a la zonificación geomecánica realizadas en la mina, la roca es de calidad buena mayormente.
- Geometría del cuerpo mineralizado.
- Aspectos geológicos (fallas, diaclasas, etc.), son muy escasos cuando un RMR es alto como es en la mina Marcapunta Norte.

5.1.2. Tipo de explosivo.

Para la ampliación del diámetro de taladros largos se toma en consideración el uso de ANFO en la voladura de tajos por su bajo costo, según las recomendaciones técnicas que nos brinda la empresa que prepara el ANFO, el uso del ANFO en el carguío de taladros ascendentes es recomendable hasta un máximo de 79mm de diámetro.

Por otro lado, (Villaescusa, 2014) en su libro nos menciona, la carga neumática del ANFO en taladros verticales ascendentes de gran diámetro (>89mm) puede ocasionar una pérdida explosiva excesiva debido a la caída y por lo tanto se aconseja solo en taladros subhorizontales a taladros verticales descendentes o taladros verticales ascendentes de menor diámetro.

De acuerdo a las recomendaciones y pruebas en campo, la decisión de la ampliación del diámetro de perforación a 89mm es recomendable realizar solo en taladros descendentes, por lo que en taladros ascendentes se tiene problemas de confinamiento del explosivo como se da prueba en la siguiente ilustración.



Ilustración 35. Caída de Anfo en taladros ascendentes de 89mm de diámetro.

Fuente: Fotografía propia.

5.1.3. Aceros de perforación.

Actualmente los equipos de perforación Simba son todos de la línea Epiroc, 5 equipos modelo S7D y 1 equipo modelo H1254, según las especificaciones técnicas del fabricante (ver anexo F y G), los equipos trabajan con distintas columnas de perforación según el diámetro de perforación requerido, por lo que no hay dificultades en el cambio de diámetro de perforación de 64mm a 89mm, con ello se evita la inversión para adquirir nuevos equipos.

Tabla 12
Comparación características Simba H1254 y Simba S7D.

Equipo	Simba 1254		Simba S7D	
Columna	T38	T45	T38	T45
Diámetro de Perf.	64mm	89mm	64mm	89mm
Dimensiones				
Ancho (m)	2.38		2	
Largo (m)	7.402		7.926	
Alto (m)	2.66 a 2.92		2.10 a 2.80	
General				
Operación del Equipo	Desde un Panel de Control		Desde la Cabina	
Tipo de Perforación ideal	Radial	Radial	Paralelo	Paralelo
Perfora:	Sólo Filas	Sólo Filas	Filas, CH y SLOT	Filas, CH y SLOT
Perfora:	De un solo Punto		De forma tangencial r=0.70cm	
Logitud Máxima de Perf.	32m	32m	20m	20m
Cantidad de barras	17 + 1	17 + 1	10 + 1	10 + 1
Long. Barra Usada en Sede	5 pies	5 pies	5 pies	5 pies
Consumo de agua	40-120 lit/min		50-120 lit/min	
Velocidad de Rotación	0-215 rpm		0-210 rpm	
Sistema de Aire				
Compresor	Atlas Copco LE7		Atlas Copco LE7	
Capacidad a 5 400 rpm y 7 bar	12 l/s		12 l/s	
Sistema eléctrico				
Potencia total instalada	65 kw		80 kw	

Fuente: Epiroc.

Para la perforación de taladros largos de 89mm es necesario el uso de una columna de perforación T45, para lo cual se necesita primero cambiar el Shank Adapter T38 (perforación de 64mm) a Shank Adapter T45, este proceso de cambio lo realiza un mecánico técnico en un tiempo de aproximadamente 15 minutos.

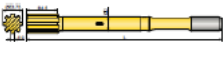
SIMBAS			
T 38			
SHANK	BARRA	BROCA	
			
Atlas Copco COP 1838 x 525mm (90516121)	T38 – RD 38mm – T38 x 5' (90510720)	T38 x 64mm Retráctil (90029467)	Broca rimadora domo 127mm (90029784)

Ilustración 36. Columna de perforación T38.

Fuente: Epiroc.

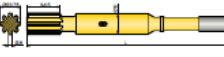
T 45			
SHANK	BARRA	BROCA	
			
Atlas Copco COP 1845 x 525mm (90516206)	T45 – RD 45mm – T45 x 5' (90510730)	T45 x 89mm Retráctil (90029364)	Broca rimadora domo 152mm (90029606)

Ilustración 37. Columna de perforación T45.

Fuente: Epiroc.

5.2. PERFORACIÓN DEL TJ1553 CON 89mm OPTIMIZADO

Dado las consideraciones iniciales para la ampliación del diámetro de perforación, se inicia el plan para la explotación del tajo 1553 que está ubicado entre los niveles 3986 y 4012, como punto inicial es obligatorio y necesario una evaluación geomecánica del tajo 1553 según las dimensiones propuestas que es de 10 metros de ancho, con una altura de 30 metros y 68 metros de longitud, sin proyecto de minado en realce.

En cuanto a la ampliación del diámetro de perforación de taladros largos de 64mm a 89mm, se realizará solo en los taladros descendentes de acuerdo a las recomendaciones y evaluaciones hechas anteriormente.

5.2.1. Evaluación Geomecánica

La evaluación Geomecánica del tajo 1553 – NV3986 al NV4012, se hace mediante el método Gráfico de estabilidad, el cual determinará la estabilidad de las superficies del tajo de acuerdo a dimensiones óptimas que garanticen la estabilidad y máxima recuperación de mineral, cabe indicar que este método de evaluación no contempla la entrada de personal durante el minado del tajo.

5.2.1.1. Zonificación Geomecánica

Estos trabajos de zonificación geomecánica se realiza después de cada voladura de las labores de preparación (ver anexo H), teniendo como resultado un promedio de RMR 45.

En la siguiente ilustración se tiene la zonificación del TJ 1553 NV. 3986, macizo rocoso catalogado como regular IIIB y porcentajes menores de calidad

mala IV A, influencia de falla con relleno suave, el pilar escudo en ambos extremos será de 10 metros.

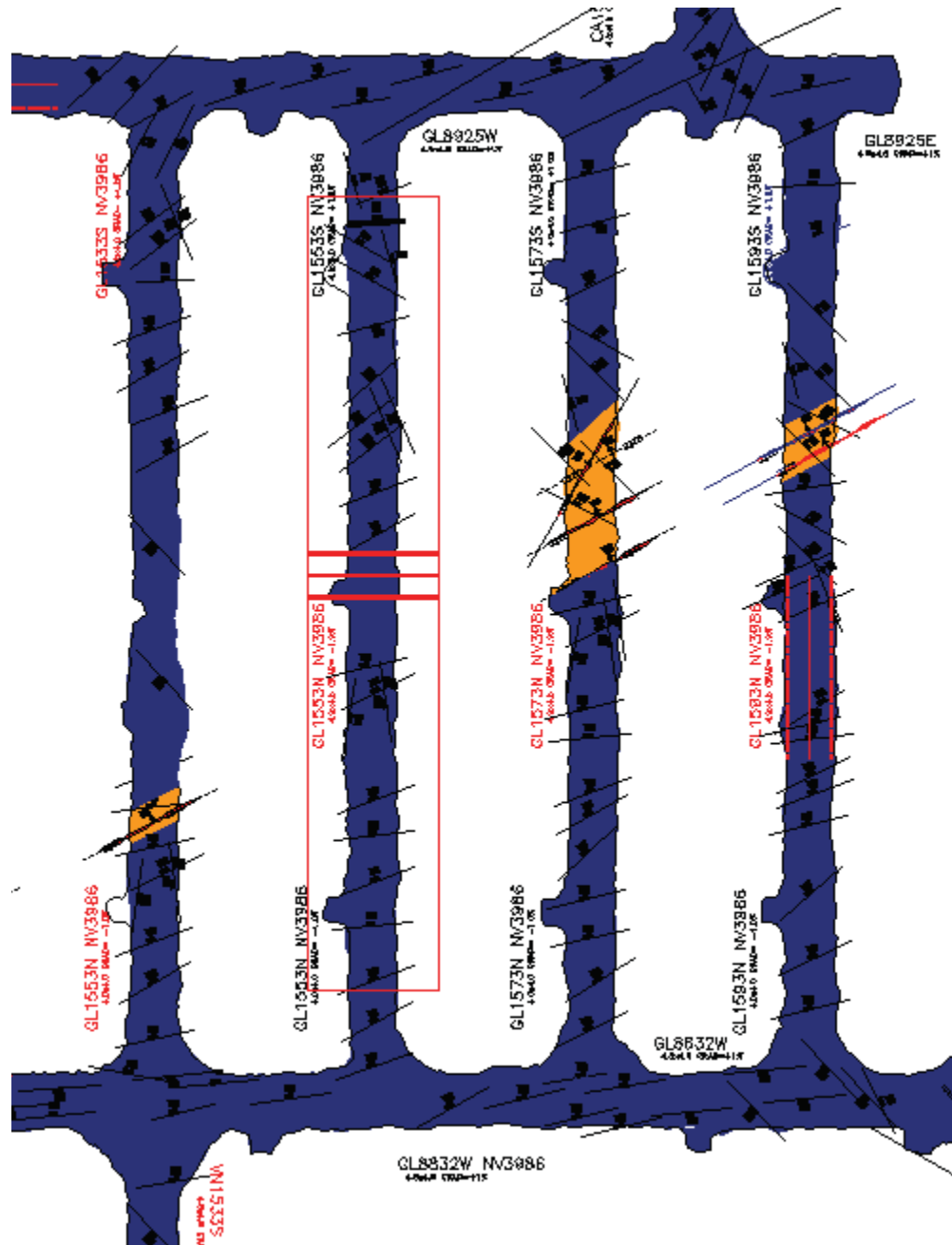


Ilustración 38. Zonificación del tajo 1553 Nv 3986.

Fuente: Departamento de Geomecánica JRC.

En la siguiente ilustración se tiene el zoneamiento del TJ 1553 NV. 4012, macizo rocoso catalogado como regular IIIB y porcentajes menores de calidad mala IV A, influencia de falla con relleno suave, el pilar escudo por acceso GL8832 será de 10 metros y pilar escudo por acceso GL8932 será de 17 metros.

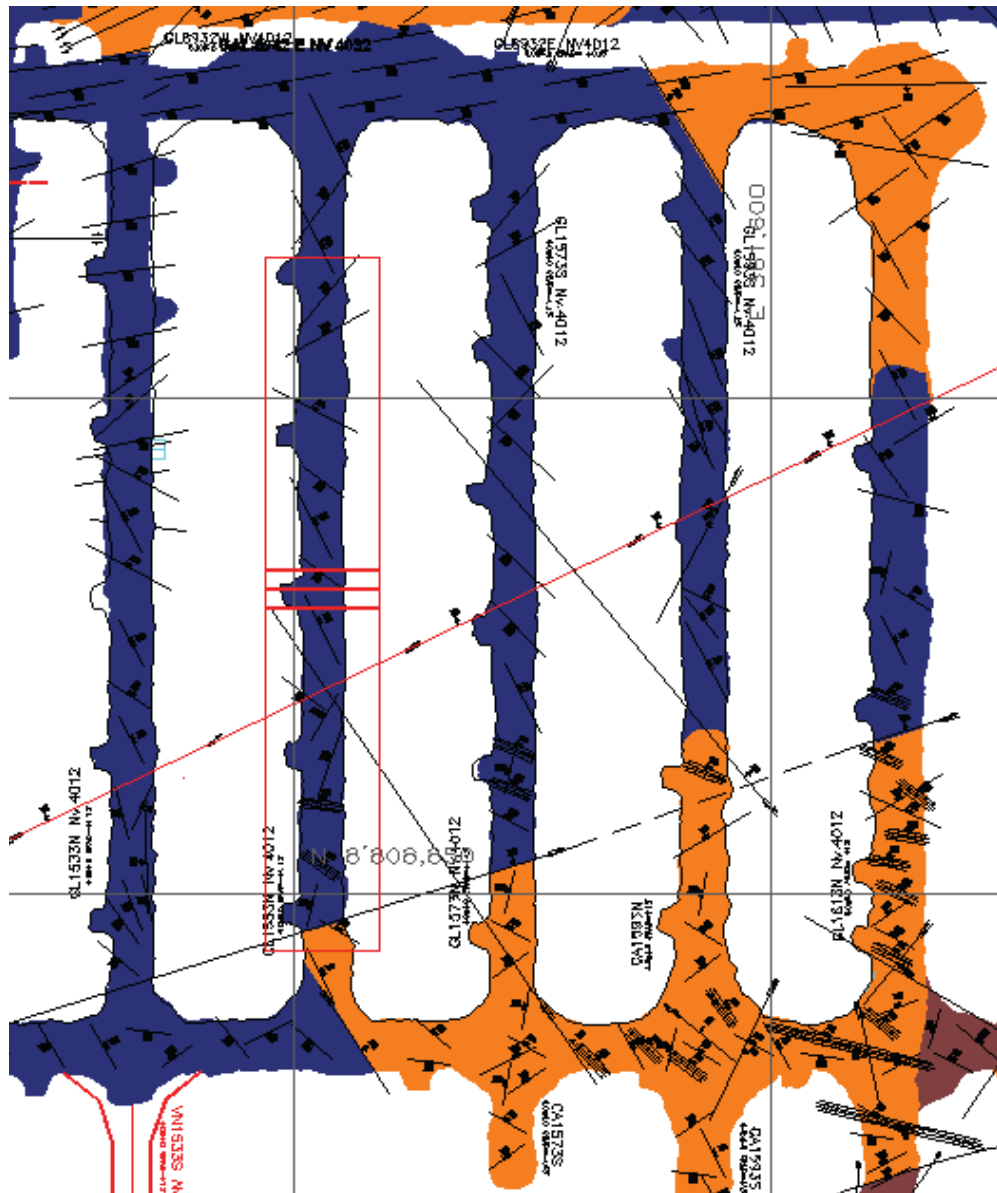


Ilustración 39. Zonificación del tajo 1553 Nv 4012.

Fuente: Departamento de Geomecánica JRC.

5.2.1.2. Método grafico de estabilidad

Para el dimensionamiento del tajo 1553, el diseño de los tajos se realiza mediante MGE Nickson y Launbscher, el cual es un proceso iterativo para encontrar las dimensiones estables de acuerdo a la calidad de roca. Este método considera como excavación sin entrada de personal a los tajos explotados, el procedimiento de diseño está basado en el cálculo de dos factores: el número de estabilidad N' , el cual representa la capacidad del macizo rocoso de mantenerse estable bajo una condición de esfuerzos y el factor de forma o radio hidráulico S o HR , el cual controla el tamaño y forma del tajo.

$$N' = Q'.A.B.C$$

$$S = \frac{\text{Area de la superficie analizada}}{\text{Perimetro de la superficie analizada}} = \frac{A}{P}$$

Con el objetivo de dimensionar el tajo 1553 en condiciones estables y para una óptima recuperación del mineral, se plantea minar el tajo 1553 con un ancho de minado de 10 metros y una longitud de 68.

El índice modificado de calidad de túneles Q' , usado en el análisis de estabilidad de los tajos se determinó a partir de las evaluaciones geomecánicas de terreno en valores de RMR, para luego usar el grafico de correlación RMR- Q . El valor utilizado de $Q'=8.7$ para techo y las paredes.

El factor A o “factor de esfuerzos inducidos”, corresponde a $A=1.0$ para techo y paredes.

Para el factor B o “factor de ajuste por orientación de estructuras”, se consideró 2 condiciones: valor para techo de B=0.8 y valor para las paredes de B=0.3.

Para el cálculo del factor C o “factor de ajuste por gravedad”, dada la orientación del sistema estructural predominante, se consideró el mecanismo de falla de caída o desprendimientos de las paredes de C=8.0 y caída por gravedad desde el techo de C=1.0.

Cálculo de numero de estabilidad:

$$N'_{Corona} = 8.7 * 1.0 * 0.8 * 1.0$$

$$N'_{Corona} = 6.9$$

$$N'_{Pared} = 8.7 * 1.0 * 0.3 * 8.0$$

$$N'_{Pared} = 20.8$$

Cálculo de radio hidráulico:

$$A_{Corona} = 68m * 10m = 680 m^2$$

$$P_{Corona} = 68m + 68m + 10m + 10m = 156 m$$

$$S_{Corona} = \frac{680}{156} = 4.4$$

$$A_{Pared} = 30m * 68m = 2040 m^2$$

$$P_{Pared} = 68m + 68m + 30m + 30m = 196 m$$

$$S_{Pared} = \frac{2040}{196} = 10.4$$

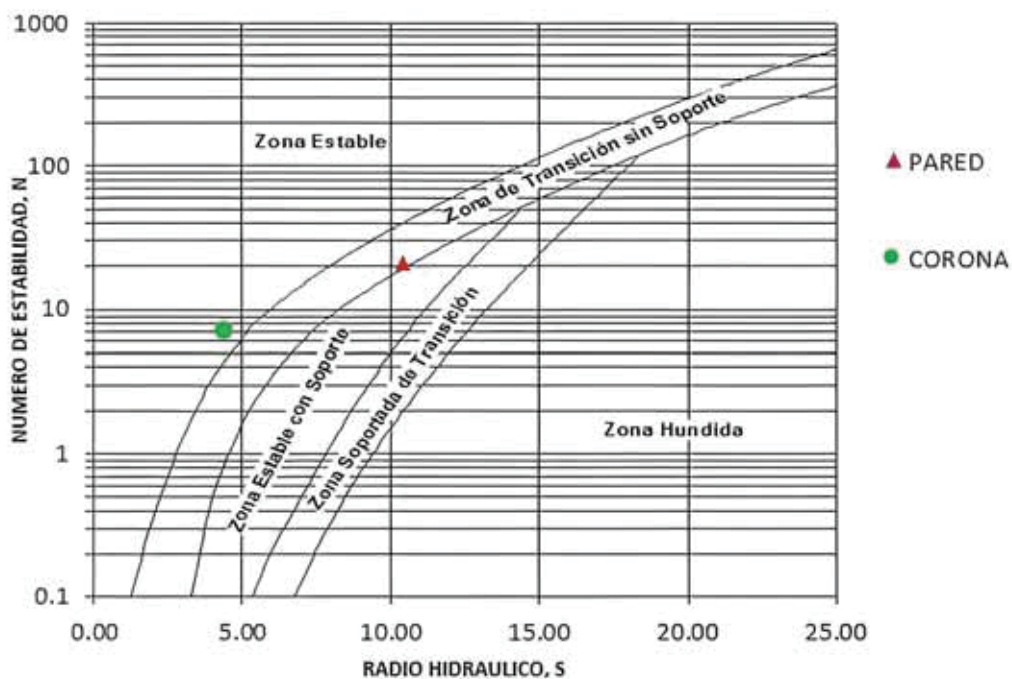
En resumen, se muestra el cuadro de los parámetros que definen la estabilidad según el MGE (Método grafico de estabilidad).

Tabla 13

Numero de Estabilidad y Radio Hidráulico del Tj 1553.

SUPERFICIE DEL TAJO	NUMERO DE ESTABILIDAD, N'					RADIO HIDRAULICO, S		
	Q'	A	B	C	N'	AREA (m2)	PERIMETRO	S
CORONA	8.7	1.0	0.8	1.0	6.9	680	156	4.4
PARED	8.7	1.0	0.3	8.0	20.8	2040	196	10.4

Conociendo los números y los radios hidráulicos para techo y las paredes, utilizaremos los gráficos de estabilidad de Nickson y Laubsher.



Para un ancho de minado de 10 metros y longitud de 68 metros la pared se encuentra en zona de transición sin soporte y la corona en zona estable, por lo que es factible la explotación del tajo con las dimensiones propuestas.

5.2.2. Parámetros de perforación.

5.2.2.1. Burden y Espaciamiento.

Considerando los parámetros geomecánicos evaluados anteriormente, se diseña la malla de perforación aplicando la fórmula de Langefors para el cálculo del Burden máximo y Burden practico.

$$B_{max} = \frac{D}{33} \left[\frac{\delta e * PRP}{C * f * \frac{S}{B}} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$BP = B_{max} - 2 * D - 0.02 * L$$

Tabla 14

Simulación de Burden y Espaciamiento para taladros de diámetro 89mm.

Bmax	Burden Máximo (m)	2.71	2.58	2.58	2.57	2.57	2.57	2.56	2.56	2.56
BP	Burden Práctico (m)	2.33	2.20	2.20	2.19	2.19	2.19	2.18	2.18	2.18
S	Espaciamiento (m)	2.33	2.20	2.20	2.19	2.19	2.19	2.18	2.18	2.18
D	Diametro del taladro (mm)	89	89	89	89	89	89	89	89	89
C	Constante de la roca.									
	Se toma lo siguiente:									
	c=0.3 + 0.75 Rocas medias (1.05)	1.000	1.003	1.005	1.008	1.010	1.013	1.015	1.018	1.020
	c=0.4 + 0.75 Rocas duras (1.15)									
f	RMR	41	42	43	44	45	46	47	48	49
	Descripción del RMR	REGULAR	REGULAR	REGULAR	REGULAR	REGULAR	REGULAR	REGULAR	REGULAR	REGULAR
	Factor de fijación									
	Taladros verticales f: 1.00	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Taladros inclinados - 3:1 f: 0.90									
S/B	Taladros inclinados - 2:1 f: 0.85									
	Relación Espaciamiento y Burden	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Densidad de carga (g/cm ³)	0.98	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
PRP	Potencia relativa en peso del explosivo	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
L	Longitud de taladro (m.)	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Como Burden practico y Espaciamiento con diámetro de perforación de 89mm, y de acuerdo a los ajustes en campo según la fragmentación, se trabaja con los siguientes:

- Burden = 2.1m
- Espaciamiento = 1.8m a 2.0m

Teniendo el Burden practico, por medio de ayuda de programas de cómputo como AutoCAD, diseñamos y replanteamos en el campo, resultando 16 filas en el primer tramo y 15 filas en el segundo tramo, haciendo un total de 31 filas en la perforación de taladros largos descendentes.

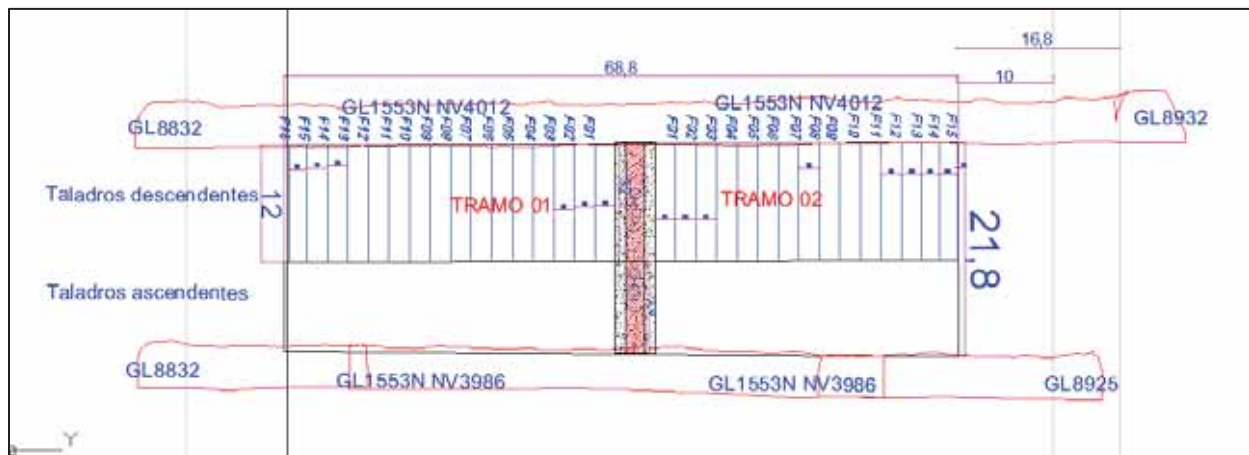


Ilustración 40. Diseño del número de filas para taladros descendentes de diámetro 89mm.

Teniendo el Espaciamiento, diseñamos la malla de perforación en abanico, apoyado con el programa de cómputo AutoCAD, teniendo como resultado 15 taladros con un total de 109.78 metros perforados por fila.

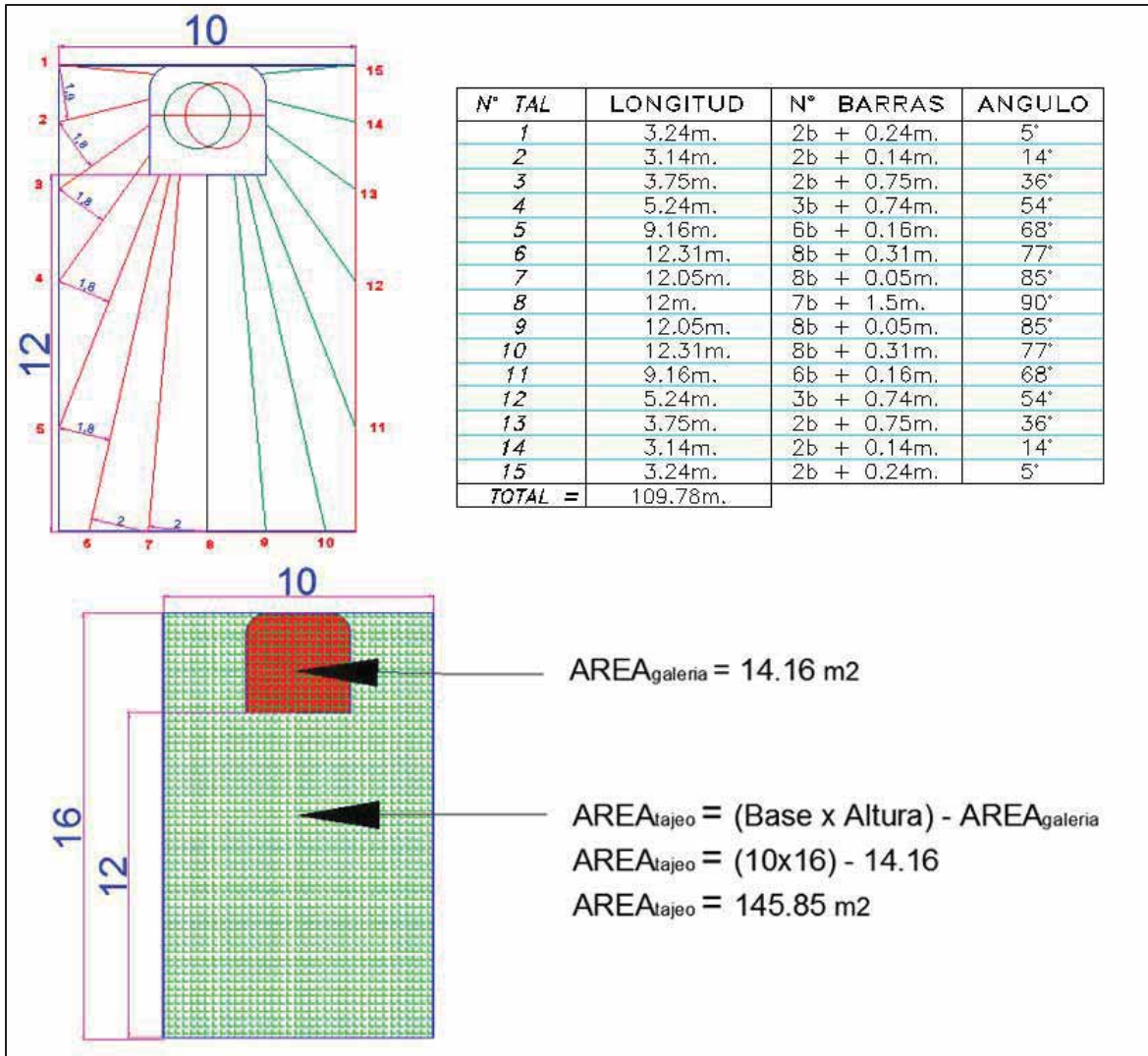


Ilustración 41. Diseño de malla de perforación con diámetro 89mm.

5.2.2.2. Metros perforados por fila con 89mm.

$$MetrosPerforados_{fila} = 109.78 \text{ m}$$

5.2.2.3. Cálculo toneladas por fila con 89mm.

$$Toneladas_{fila} = Area \times Burden \times Densidad_{mineral}$$

$$Toneladas_{fila} = 145.85m^2 \times 2.1m \times 3.2 \frac{tn}{m^3}$$

$$Toneladas_{fila} = 980.11 tn$$

5.2.2.4. Cálculo de ratio de perforación por fila con 89mm.

$$RatioPerforación_{fila} = \frac{Toneladas_{fila}}{MetrosPerforados_{fila}}$$

$$RatioPerforación_{fila} = \frac{980.11 tn}{109.78 m}$$

$$RatioPerforación_{fila} = 8.93 \frac{tn}{m}$$

En el cuadro siguiente se muestra el resumen de los cálculos anteriores para cada fila de los tramos uno y dos, con 89mm de diámetro de perforación de taladros largos descendentes en abanico.

Tabla 15

Calculo de ratio de perforación para cada taladro de diámetro 89mm.

Labor	Pie	Cabeza	Pasante/Re alce	Dirección Perforación	Tipo de malla	N° Fila	Altura Corte	Ancho Tajo	Numero Taladros	Metros Perforados	Toneladas	Ratio de perforación
TJ1553N-1	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	1	12	10	15	109.8	980.1	8.93
TJ1553N-1	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	2	12	10	15	109.8	980.1	8.93
TJ1553N-1	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	3	12	10	15	109.8	980.1	8.93
TJ1553N-1	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	4	12	10	15	109.8	980.1	8.93
TJ1553N-1	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	5	12	10	15	109.8	980.1	8.93
TJ1553N-1	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	6	12	10	15	109.8	980.1	8.93
TJ1553N-1	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	7	12	10	15	109.8	980.1	8.93
TJ1553N-1	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	8	12	10	15	109.8	980.1	8.93
TJ1553N-1	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	9	12	10	15	109.8	980.1	8.93
TJ1553N-1	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	10	12	10	15	109.8	980.1	8.93
TJ1553N-1	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	11	12	10	15	109.8	980.1	8.93
TJ1553N-1	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	12	12	10	15	109.8	980.1	8.93
TJ1553N-1	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	13	12	10	15	109.8	980.1	8.93
TJ1553N-1	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	14	12	10	15	109.8	980.1	8.93
TJ1553N-1	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	15	12	10	15	109.8	980.1	8.93
TJ1553N-1	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	16	12	10	15	109.8	793.4	7.23
TJ1553N-2	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	1	12	10	15	109.8	980.1	8.93
TJ1553N-2	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	2	12	10	15	109.8	980.1	8.93
TJ1553N-2	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	3	12	10	15	109.8	980.1	8.93
TJ1553N-2	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	4	12	10	15	109.8	980.1	8.93
TJ1553N-2	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	5	12	10	15	109.8	980.1	8.93
TJ1553N-2	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	6	12	10	15	109.8	980.1	8.93
TJ1553N-2	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	7	12	10	15	109.8	980.1	8.93
TJ1553N-2	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	8	12	10	15	109.8	980.1	8.93
TJ1553N-2	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	9	12	10	15	109.8	980.1	8.93
TJ1553N-2	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	10	12	10	15	109.8	980.1	8.93
TJ1553N-2	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	11	12	10	15	109.8	980.1	8.93
TJ1553N-2	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	12	12	10	15	109.8	980.1	8.93
TJ1553N-2	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	13	12	10	15	109.8	980.1	8.93
TJ1553N-2	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	14	12	10	15	109.8	840.1	7.65
TJ1553N-2	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	15	12	10	15	109.8	793.4	7.23
Total Metros Perforados (m)										3403.2		
Total Toneladas (tn)											29870.1	
Ratio de Perforación Promedio (tn/m)												8.78

5.2.2.5. Resumen parámetros de perforación con 89mm

Como proyecto de perforación de taladros largos descendentes del TJ1553 con diámetro de 89mm se tiene como metros perforados 3403.2m, un total 29870.1 toneladas con ratio de perforación promedio de 8.78tn/m.

Tabla 16
Resumen parámetros de perforación con 89mm.

Perforación con 89mm - TJ1553	
Malla de perforación	2.10m x 2.00m
Numero de taladros por fila	15
Numero de filas	31
Metros perforados por fila	109.78
Tonelaje por fila	980.11
Total, metros perforados	3403.2 m
Total, toneladas	29870.1 tn
Ratio de perforación	8.78 tn/m



Ilustración 42. Perforación de taladros descendentes Tj 1553 en el Nv4012.

Fuete: Fotografía propia.

5.2.3. Rendimiento de equipo de perforación.

Para calcular el rendimiento de los equipos de perforación se requiere el tiempo efectivo de perforación, nos basaremos en los datos extraídos en campo (ver anexo J, K y L), cuyos resultados fueron:

- Metros perforados por guardia = 175 metros/guardia
- Tiempo efectivo de perforación por guardia = 5.2 horas/guardia

De acuerdo a estos datos calculamos el rendimiento del equipo de perforación con la ecuación práctica.

5.2.3.1. Cálculo de rendimiento por hora efectiva.

$$Rendimiento_{simba} = \frac{MetrosPerforados_{guardia}}{HorasEfectivas_{guardia}}$$

$$Rendimiento_{simba} = \frac{175 \text{ m}}{5.2 \text{ h}}$$

$$Rendimiento_{simba} = 33.65 \frac{m}{h}$$

$$Rendimiento_{simba} \cong Velocidad Efectiva de Perforación = 33.65 \frac{m}{h}$$

5.2.3.2. Cálculo de tiempo de perforación.

$$Tiempo de Perforación TJ1553_{guardia} = \frac{Metros Perforados TJ1553_{tajo}}{Metros Perforados_{guardia}}$$

$$Tiempo de Perforación TJ1553_{guardia} = \frac{3403.2 \frac{m}{tajo}}{175 \frac{m}{guardia}}$$

$$\text{Tiempo de Perforación } TJ1553_{guardia} = 19.45 \text{ guardias} \cong 20 \text{ guardias}$$

$$\text{Tiempo de Perforación } TJ1553_{dia} = \frac{\text{Tiempo de Perforación } TJ1553_{guardia}}{\text{Numero de Guardias}_{dia}}$$

$$\text{Tiempo de Perforación } TJ1553_{dia} = \frac{20 \text{ guardias}}{2 \frac{\text{guardias}}{\text{dia}}}$$

$$\text{Tiempo de Perforación } TJ1553_{dia} = 10 \text{ dias}$$

5.2.4. Calculo costos de perforación.

Teniendo el ratio de perforación (8.78 ton/mp), metros perforados por guardia (175 mp/guardia), horas efectivas por guardia (5.20 h/guardia) y velocidad efectiva de perforación (33.65 mp/h), procederemos a calcular los costos de perforación.

Tabla 17
Análisis de costo de perforación con diámetro de 89mm.

ANÁLISIS DE COSTO DE PERFORACIÓN							
Partida: Perforación		Rendimiento: 1.536.50 ton./gdia.					
Tajo: Tj 1553 - Nv3986 a Nv4012		Longitud de la Barra de Perfor	5.00 pies				
Unidad de Medida: Ton.		Nº de Taladros por fila	15.00 und				
Tipo de Material: Mineral		Metros perforados por fila	109.75 mts				
Tipo de Roca: III		Ratio de perforació	8.78 ton/mp				
Incluye: Simba		Metros perforados por guardia	175 mp/guardia				
10% generacion de bancos		Horas Efectivas/gd	5.20 h				
		Velocidad de perforacion	33.65 mts/hr				
		Peso Especifico del Material	3.20				

Item	Descripción	Cant.	Und.	P.U. (US\$)	Parcial	S-Total	Total
1.00	MANO DE OBRA						
	Operador Simba	10.28	hh	8.37	86.044	0.056	
	Ayudante Operador Simba	10.28	hh	5.61	57.671	0.038	
	Personal Servicios Mina - Ventilación	1.00	hh	6.69	6.690	0.004	
	Muestrero	10.28	hh	6.69	68.773	0.045	
	Bodeguero	0.50	hh	5.50	2.750	0.002	
	Supervisor SLS	1.50	hh	11.51	17.265	0.011	
	Electricista	1.00	hh	6.44	6.440	0.004	
	Jefe de guardia	0.50	hh	22.48	11.240	0.007	0.167
2.10	MATERIALES						
	Broca botones 2 1/2" (64mm)	574	pp	0.410	235.400	0.153	
	Barra de extensión 5 pies	574	pp	0.110	63.156	0.041	
	Shank adapter T38	574	pp	0.070	40.190	0.026	
	Copas de Afilado 11 mm	574	pp	0.000	0.011	0.000	
	Aguzadora	574	pp	0.009	5.371	0.003	
	Bolsas de polipropileno	23.92	Und	0.173	4.134	0.003	
	Cancamos de anclaje	2.00	Und	3.150	6.300	0.004	
	Cable de acero de 1/2"	6.00	ml	1.300	7.800	0.005	
	Grapas Crosby 1/2"	2.00	Und	5.140	10.280	0.007	
	Grasa para barras	10.00	Kg	4.333	43.333	0.028	
	Aceros de servicios	2.59	pp	0.171	0.444	0.000	
	Tubos PVC 1 1/2 x 3 m	15	Und	0.800	11.667	0.008	
	Tableros eléctricos distribución 400 Amp	0.002	Glb	740.000	1.644	0.001	
	Tableros eléctricos arrancador	0.002	Glb	1.000.000	2.333	0.002	
	Conectores trifasicos	0.010	Glb	70.000	0.700	0.000	
	Manguera de lona 1" 100 psi	0.50	ml	5.500	2.750	0.002	
	Caballote de fierro	0.25	und	3.820	0.955	0.001	
	Detector de tensión	0.05	und	31.150	1.558	0.001	
	Luminaria	0.05	und	23.100	1.155	0.001	
	Cable vulcanizado 2x14 + tierra AWG	0.25	ml	0.900	0.225	0.000	0.286
2.30	Herramientas						
	Implementos de Seguridad Normal y agua	35.34	hh	0.524	18.513	0.012	
	Herramientas manuales	0.30	%	173.371	52.011	0.034	
	Lampara minera	35.34	hh	0.214	7.559	0.005	0.051
3.00	EQUIPOS						
	Simba Electrohidráulico	6.20	hm	180.757	1.120.691	0.729	
	Combustible D2	9.75	gl	2.570	25.058	0.016	
	Cargador de Lamparas	35.34	hh	0.260	9.188	0.006	
	Camion de servicios	1.00	hm	35.000	35.000	0.023	0.774
COSTO DIRECTO							1.278
GASTOS GENERALES							17.44%
UTILIDAD							10%
COSTO TOTAL							US\$ /ton. 1.63

El costo directo es de 1.278 US\$/Ton, en donde están considerado la mano de obra con 0.167 US\$/Ton, Materiales con 0.286 US\$/Ton, Herramientas con 0.051 US\$/Ton y Equipos con 0.774 US\$/Ton. En los costos indirectos esta los

gastos generales con 0.223 US\$/Ton que es el 17.44% del costo directo, la utilidad es el 10% del costo directo que es 0.128 US\$/Ton, los cuales hacen un costo total de 1.63 US\$/Ton.

5.2.5. Voladura.

5.2.5.1. Esquema de carguío.

Calculamos la cantidad de explosivo que se requiere para un metro lineal del taladro de diámetro 89mm, tener en cuenta que la densidad del ANFO comprimido es de 0.89 ton/m³.

Tabla 18

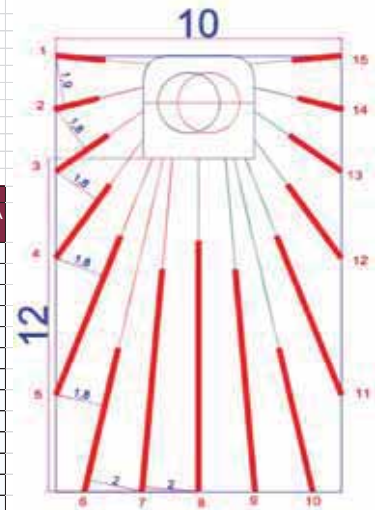
Cálculo de consumo de Anfo en taladros de diámetro 89mm.

Taladro diámetro 89mm	
Radio del taladro	0.0445 m
Área del taladro	0.00622115 m ²
Volumen en 1 metro lineal	0.00622115 m ³
Densidad del ANFO comprimido	0.89 g/cm ³
Consumo ANFO en 1 metro lineal	5.53682653 kg/m

Teniendo el consumo de Anfo en un metro línea, procedemos a realizar el esquema de carguío en el Tj1553 en los taladros descendentes de 89mm de diámetro, este esquema es igual para toda las filas o secciones.

Tabla 19
Esquema de carguío en el TJ1553 en taladros de diámetro 89mm.

ESQUEMA DE CARGUIO TJ 1553 - 89mm										
DATOS Y FACTORES DE LA VOLADURA					EXPLOSIVOS Y ACCESORIOS					
ANCHO (m)	10.00					ANFO KG / SECCIÓN	364.2	15	bolsas	
ALTURA DE BANCO (m)	12.00					BOOSTER 1/3 LB	22.0			
BURDEN	2.10					KG. TOTAL	1093	44	bolsas	
ESPACIAMIENTO	2.00					KG. / mtrs.	5.54			
METROS PERF. POR FILA	109.78					CARMEX	2			
Nº DE TALADROS POR FILA	17.00					PENTACORD	40			
VOLUMEN TOTAL POR FILA	306.29					Nº FILAS A DISPARAR	3			
TONELADAS ROTAS FILA	980.11									
TON/ METRO	8.93									
F. DE CARGA	1.19									
F. DE POTENCIA	0.37									
Nº DE TALADRO PERF	LONGITUD REAL DE CADA TALADRO	TACO BASE	TACO INTERMEDIO	TACO FINAL	LONGITU A CARGA	ANFO EN KG POR SEC.	ANFO EN KG POR TAL.	BOOSTER 1/3 LB	1º cebo SECUENCIA SALIDA	2º cebo SECUENCIA SALIDA
1	3.24	0.00	0.00	1.50	1.74	9.6	9.6	1	8	
2	3.14	0.00	0.00	1.50	1.64	9.1	9.1	1	7	
3	3.75	0.00	0.00	1.50	2.25	12.5	12.5	1	6	
4	5.24	0.00	0.00	2.00	3.24	17.9	17.9	1	5	
5	9.16	0.00	0.00	3.00	6.16	17.1	34.1	2	4	4
6	12.31	0.00	0.00	7.00	5.31	14.7	29.4	2	3	3
7	12.05	0.00	0.00	4.00	8.05	22.3	44.6	2	2	2
8	12.00	0.00	0.00	3.00	9.00	24.9	49.8	2	1	1
9	12.05	0.00	0.00	4.00	8.05	22.3	44.6	2	2	2
10	12.31	0.00	0.00	7.00	5.31	14.7	29.4	2	3	3
11	9.16	0.00	0.00	3.00	6.16	17.1	34.1	2	4	4
12	5.24	0.00	0.00	2.00	3.24	17.9	17.9	1	5	
13	3.75	0.00	0.00	1.50	2.25	12.5	12.5	1	6	
14	3.14	0.00	0.00	1.50	1.64	9.1	9.1	1	7	
15	3.24	0.00	0.00	1.50	1.74	9.6	9.6	1	8	
TOTAL	109.78				65.78	24.92	364.2	22		



Para la explotación de 980.11 Tn de mineral se requirió 364.2 kg de Anfo, dando como factor de carga de 1.19 kg/m3 y factor de potencia de 0.37 kg/tn.

5.2.5.2. Fragmentación.

La fragmentación lograda al ampliar el diámetro de taladros largos es de 7 a 8 pulgadas en promedio, lo cual está por debajo de las dimensiones requeridas por la planta que es de 12 pulgadas como máximo.

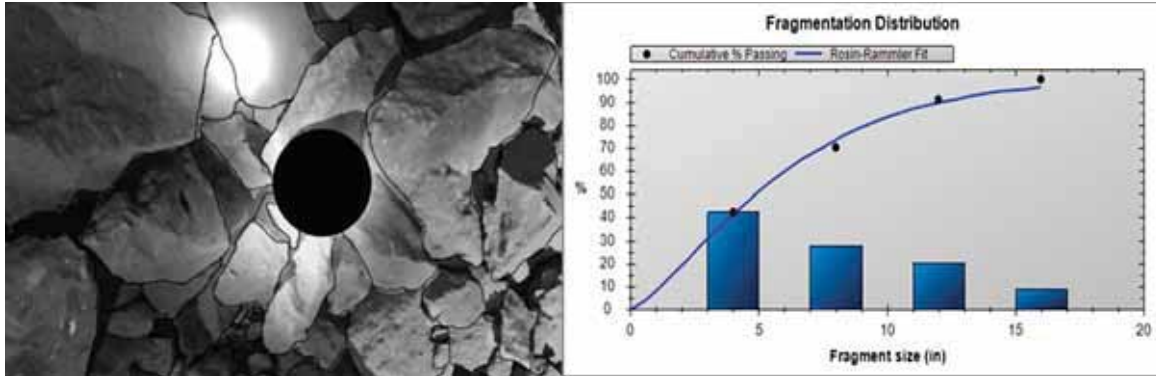


Ilustración 43. Fragmentación 7.73 pulgadas Tj1553.

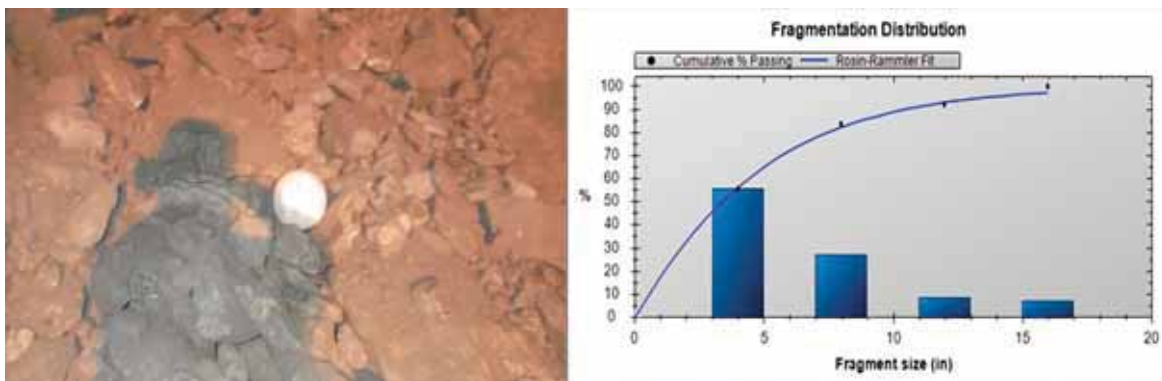


Ilustración 44. Fragmentación 7.49 pulgadas Tj1553.

5.3. PROYECTO DE PERFORACIÓN DEL TJ1553 CON 64mm.

5.3.1. Parámetros de perforación

5.3.1.1. Burden y Espaciamiento.

Para el cálculo de Burden y Espaciamiento utilizamos la fórmula de Langerfors.

$$B_{max} = \frac{D}{33} \left[\frac{\delta e * PRP}{C * f * \frac{S}{B}} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$BP = B_{max} - 2 * D - 0.02 * L$$

Tabla 20

Simulación Burden y Espaciamiento para taladros de diámetro 64mm.

Bmax	Burden Máximo (m)	1.86	1.85	1.85	1.85	1.84	1.85	1.84	1.84	1.84
BP	Burden Práctico (m)	1.53	1.53	1.52	1.52	1.51	1.52	1.51	1.51	1.51
S	Espaciamiento (m)	1.53	1.53	1.52	1.52	1.51	1.52	1.51	1.51	1.51
D	Diametro del taladro (mm)	64	64	64	64	64	64	64	64	64
C	Constante de la roca.	1.000	1.003	1.005	1.008	1.010	1.013	1.015	1.018	1.020
	Se toma lo siguiente:									
	c=0.3 + 0.75 Rocas medias (1.05)									
	c=0.4 + 0.75 Rocas duras (1.15)									
f	RMR	41	42	43	44	45	46	47	48	49
	Descripción del RMR	REGULAR	REGULAR	REGULAR	REGULAR	REGULAR	REGULAR	REGULAR	REGULAR	REGULAR
	Factor de fijación	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Taladros verticales f: 1.00									
	Taladros inclinados - 3:1 f: 0.90									
	Taladros inclinados - 2:1 f: 0.85									
S/B	Relación Espaciamiento y Burden	1	1	1	1	1	1	1	1	1
de	Densidad de carga (g/cm3)	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
PRP	Potencia relativa en peso del explosivo	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
L	Longitud de taladro (m.)	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Teniendo en su mayoría una calidad de roca Regular IIIB con RMR en promedio 45, diseñamos la malla de perforación con Burden practico y Espaciamiento:

- Burden: 1.6 metros
- Espaciamiento: 1.6 metros

A continuación, por medio de ayuda de programas de cómputo, diseñamos el número de filas de taladros descendentes del tajo con Burden de 1.6m, en donde tenemos como resultado 21 filas en el primer tramo y 19 filas en el segundo, tal como se muestra en la siguiente ilustración.

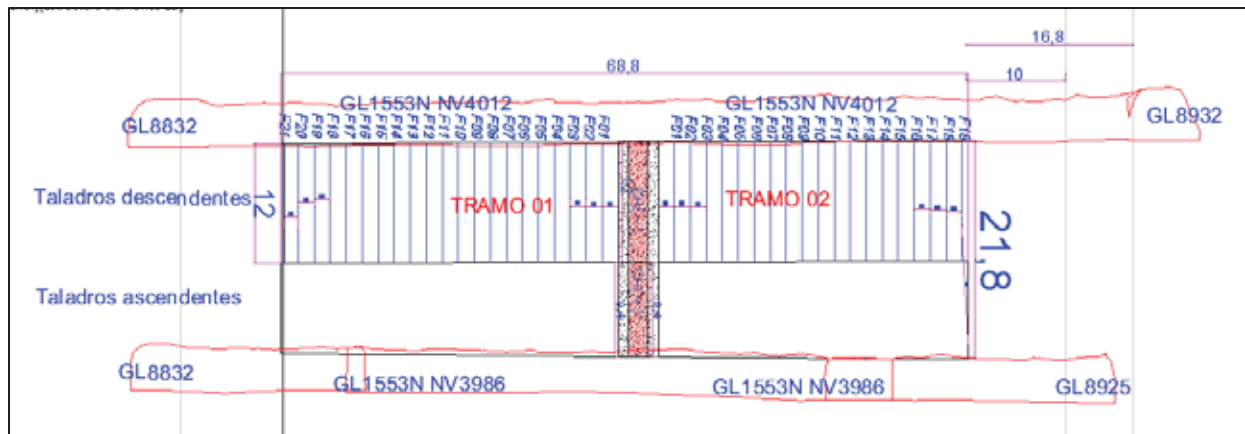


Ilustración 45. Diseño del número de filas para taladros descendentes de diámetro 64mm

Para el diseño de perforación también hacemos uso del programa de cómputo AutoCAD, según el Espaciamiento calculado anteriormente, como resultado se tiene 17 taladros por fila con 127.04 metros de perforación en cada fila.

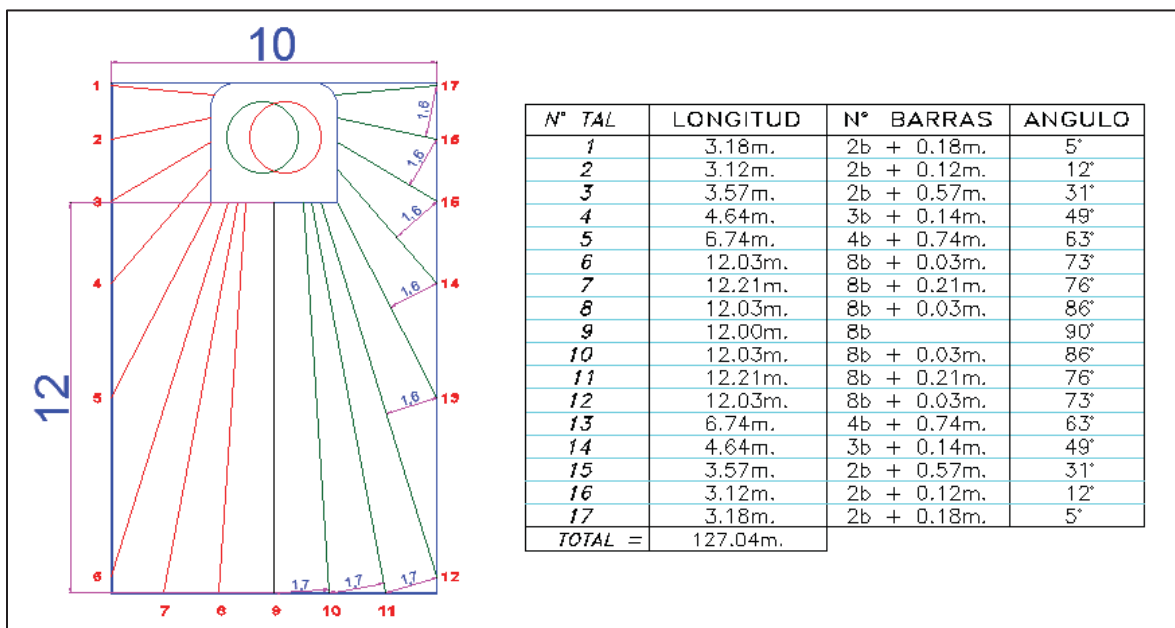


Ilustración 46. Diseño del número y longitud de taladros descendentes de diámetro 64mm.

5.3.1.2. Metros perforados por fila con 64mm.

$$MetrosPerforados_{fila} = 127.04 \text{ m}$$

5.3.1.3. Cálculo toneladas por fila con 64mm.

$$Toneladas_{fila} = Area \times Burden \times Densidad_{\text{mineral}}$$

$$Toneladas_{fila} = 145.85m^2 \times 1.6m \times 3.2 \frac{tn}{m^3}$$

$$Toneladas_{fila} = 746.75 \text{ tn}$$

5.3.1.4. Cálculo de ratio de perforación por fila con 64mm.

$$RatioPerforación_{fila} = \frac{Toneladas_{fila}}{MetrosPerforados_{fila}}$$

$$RatioPerforación_{fila} = \frac{746.75 \text{ tn}}{127.04 \text{ m}}$$

$$RatioPerforación_{fila} = 5.88 \frac{tn}{m}$$

A continuación, se muestra el resumen de los cálculos anteriores para cada fila de los tramos uno y dos, con 64 mm de diámetro de perforación de taladros largos descendentes en abanico.

Tabla 21

Calculo de ratio de perforación para cada taladro de diámetro 64mm.

Labor	Pie	Cabeza	Pasante/Re alce	Dirección Perforación	Tipo de malla	N° Fila	Altura Corte	Ancho Tajo	Numero Taladros	Metros Perforados	Toneladas	Ratio de perforación
TJ1553N-1	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	1	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-1	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	2	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-1	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	3	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-1	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	4	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-1	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	5	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-1	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	6	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-1	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	7	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-1	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	8	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-1	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	9	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-1	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	10	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-1	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	11	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-1	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	12	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-1	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	13	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-1	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	14	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-1	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	15	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-1	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	16	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-1	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	17	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-1	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	18	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-1	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	19	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-1	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	20	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-1	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	21	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-2	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	1	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-2	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	2	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-2	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	3	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-2	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	4	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-2	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	5	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-2	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	6	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-2	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	7	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-2	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	8	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-2	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	9	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-2	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	10	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-2	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	11	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-2	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	12	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-2	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	13	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-2	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	14	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-2	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	15	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-2	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	16	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-2	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	17	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-2	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	18	12	10	15	127.0	746.8	5.88
TJ1553N-2	3986	4012	Pasante	Negativo	abanico	19	12	10	15	127.0	746.8	5.88
Total Metros Perforados (m)										5081.6		
Total Toneladas (tn)											29870.1	
Ratio de Perforación Promedio (tn/m)												5.88

5.3.1.5. Resumen parámetros de perforación con 64mm

Como proyecto de perforación de taladros largos descendentes del TJ1553 con diámetro de 64mm se tiene como metros perforados 5081.6m, un total de 29870.1 toneladas con Ratio de perforación promedio de 5.88tn/m.

Tabla 22
Resumen parámetros de perforación con 64mm.

Perforación con 64mm - TJ1553	
Malla de perforación	1.60m x 1.60m
Numero de taladros por fila	17
Numero de filas	40
Metros perforados por fila	127.04
Tonelaje por fila	746.75
Total, metros perforados	5081.6
Total, toneladas	29870.1 tn
Ratio de perforación	5.88 tn/m

5.3.2. Rendimiento de equipo de perforación

Para calcular el rendimiento del equipo de perforación con 64mm, daremos uso de los datos ya estudiados anteriormente (ver la tabla 06), cuyo rendimiento de perforación por guardia es de 225 metros, a excepción del tiempo efectivo de perforación, que es igual para ambos (ver anexo L).

- Metros perforados por guardia = 225 metros/guardia
- Tiempo efectivo de perforación por guardia = 5.2 horas/guardia

5.3.2.1. Cálculo de rendimiento por hora efectiva

$$Rendimiento_{simba} = \frac{MetrosPerforados_{guardia}}{HorasEfectivas_{guardia}}$$

$$Rendimiento_{simba} = \frac{225 \text{ m}}{5.2 \text{ h}}$$

$$Rendimiento_{simba} = 43.27 \frac{\text{m}}{\text{h}}$$

$$Rendimiento_{simba} \cong \text{Velocidad Efectiva de Perforación} = 43.27 \frac{\text{m}}{\text{h}}$$

5.3.2.2. Cálculo de tiempo de perforación.

$$\text{Tiempo de Perforación } TJ1553_{guardia} = \frac{\text{Metros Perforados } TJ1553_{tajo}}{\text{Metros Perforados}_{guardia}}$$

$$\text{Tiempo de Perforación } TJ1553_{guardia} = \frac{5081.6 \frac{\text{m}}{\text{tajo}}}{225 \frac{\text{m}}{\text{guardia}}}$$

$$\text{Tiempo de Perforación } TJ1553_{guardia} = 22.58 \text{ guardias} \cong 23 \text{ guardias}$$

$$\text{Tiempo de Perforación } TJ1553_{dia} = \frac{\text{Tiempo de Perforación } TJ1553_{guardia}}{\text{Numero de Guardias}_{dia}}$$

$$\text{Tiempo de Perforación } TJ1553_{dia} = \frac{23 \text{ guardias}}{2 \frac{\text{guardias}}{\text{dia}}}$$

$$\text{Tiempo de Perforación } TJ1553_{dia} = 11.5 \text{ dias}$$

5.3.3. Calculo costos de perforación.

Teniendo el ratio de perforación (5.88 ton/mp), metros perforados por guardia (225 mp/guardia), horas efectivas por guardia (5.20 h/guardia) y velocidad efectiva de perforación (43.27 mp/h), procederemos a calcular los costos de perforación.

Tabla 23
Análisis de costo de perforación con diámetro de 64mm.

ANÁLISIS DE COSTO DE PERFORACIÓN							
Partida: Perforación		Rendimiento: 1.323.00 ton./gdía.					
Tajo:	TJ 1553 - Nv3986 a Nv4012	Longitud de la Barra de Perfor	5.00 pies				
Unidad de Medida:	Ton.	Nº de Taladros por fila	17.00 und				
Tipo de Material:	Mineral	Metros perforados por fila	127.04 mts				
Tipo de Roca:	III	Ratio de perforació	5.88 ton/mp				
Incluye:	Simba	Metros perforados por guardia	225 mp/guardia				
	10% generacion de bancos	Horas Efectivas/gd	5.20 h				
		Velocidad de perforacion	43.27 mts/hr				
		Peso Especifico del Material	3.20				

Item	Descripción	Cant.	Und.	P.U. (US\$)	Parcial	S-Total	Total
1.00	MANO DE OBRA						
	Operador Simba	10.28	hh	8.37	86.044	0.065	
	Ayudante Operador Simba	10.28	hh	5.61	57.671	0.044	
	Personal Servicios Mina - Ventilación	1.00	hh	6.69	6.690	0.005	
	Muestrero	10.28	hh	6.69	68.773	0.052	
	Bodeguero	0.50	hh	5.50	2.750	0.002	
	Supervisor SLS	1.50	hh	11.51	17.265	0.013	
	Electricista	1.00	hh	6.44	6.440	0.005	
	Jefe de guardia	0.50	hh	22.48	11.240	0.008	0.194
2.10	MATERIALES						
	Broca botones 2 1/2" (64mm)	738	pp	0.320	236.220	0.179	
	Barra de extensión 5 pies	738	pp	0.095	70.070	0.053	
	Shank adapter T38	738	pp	0.065	48.078	0.036	
	Copas de Afilado 11 mm	738	pp	0.000	0.014	0.000	
	Aguzadora	738	pp	0.009	6.906	0.005	
	Bolsas de polipropileno	30.11	Und	0.173	5.204	0.004	
	Cancamos de anclaje	2.00	Und	3.150	6.300	0.005	
	Cable de acero de 1/2"	6.00	ml	1.300	7.800	0.006	
	Grapas Crosby 1/2"	2.00	Und	5.140	10.280	0.008	
	Grasa para barras	10.00	Kg	4.333	43.333	0.033	
	Aceros de servicios	2.59	pp	0.171	0.444	0.000	
	Tubos PVC 1 1/2 x 3 m	19	Und	0.800	15.000	0.011	
	Tableros eléctricos distribución 400 Amp	0.002	Glb	740.000	1.644	0.001	
	Tableros eléctricos arrancador	0.002	Glb	1.000.000	2.333	0.002	
	Conectores trifasicos	0.010	Glb	70.000	0.700	0.001	
	Manguera de lona 1" 100 psi	0.50	ml	5.500	2.750	0.002	
	Caballote de fierro	0.25	und	3.820	0.955	0.001	
	Detector de tensión	0.05	und	31.150	1.558	0.001	
	Luminaria	0.05	und	23.100	1.155	0.001	
	Cable vulcanizado 2x14 + tierra AWG	0.25	ml	0.900	0.225	0.000	0.348
2.30	Herramientas						
	Implementos de Seguridad Normal y agua	35.34	hh	0.524	18.513	0.014	
	Herramientas manuales	0.30	%	173.371	52.011	0.039	
	Lampara minera	35.34	hh	0.214	7.559	0.006	0.059
3.00	EQUIPOS						
	Simba Electrohidráulico	6.20	hm	180.757	1.120.691	0.847	
	Combustible D2	9.75	gl	2.570	25.058	0.019	
	Cargador de Lamparas	35.34	hh	0.260	9.188	0.007	
	Camion de servicios	1.00	hm	35.000	35.000	0.026	0.899
COSTO DIRECTO							1.501
GASTOS GENERALES			17.44%				0.262
UTILIDAD			10%				0.150
COSTO TOTAL			US\$ /ton.				1.91

El costo directo es de 1.501 US\$/Ton, en donde están considerado la mano de obra con 0.194 US\$/Ton, Materiales con 0.348 US\$/Ton, Herramientas con 0.059 US\$/Ton y Equipos con 0.899 US\$/Ton. En los costos indirectos esta los

gastos generales con 0.262 US\$/Ton que es el 17.44% del costo directo, la utilidad es el 10% del costo directo que es 0.150 US\$/Ton, los cuales hacen un costo total de 1.91 US\$/Ton.

5.3.4. Voladura.

Calculamos la cantidad de explosivo que se requiere para un metro lineal del taladro de diámetro 64mm, teniendo en cuenta la densidad de ANFO comprimido de 0.89 ton/m³.

Tabla 24

Cálculo de consumo de Anfo en taladros de diámetro 64mm

Taladro diámetro 64mm	
Radio del taladro	0,03175 m
Area del taladro	0,00316693 m ²
Volumen en 1 metro lineal	0,00316693 m ³
Densidad del ANFO comprimido	0,89 g/cm ³
Consumo ANFO en 1 metro lineal	2,81856694 kg/m

Teniendo el consumo de Anfo en un metro línea, procedemos a realizar el esquema de carguío en el Tj1553 en los taladros descendentes de 64mm de diámetro.

Tabla 25

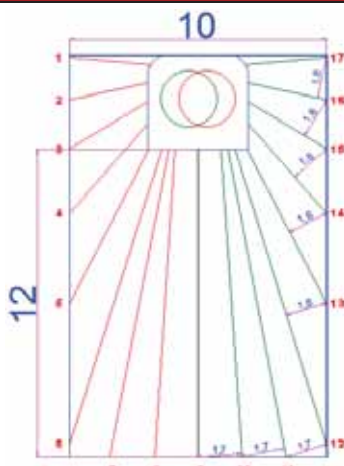
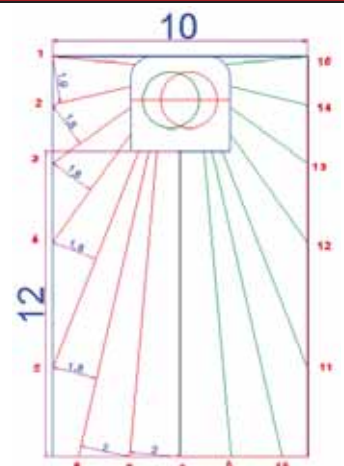
Esquema de carguío en el TJ1553 en taladros de diámetro 64mm

ESQUEMA DE CARGUIO TJ 1553 - 64mm											
DATOS Y FACTORES DE LA VOLADURA					EXPLOSIVOS Y ACCESORIOS						
ANCHO (m)		10.00			ANFO KG		268.6		11 bolsas		
ALTURA DE BANCO (m)		12.00			BOOSTER 1/3 LB		24.0				
BURDEN		1.60			KG. TOTAL		806		32 bolsas		
ESPACIAMIENTO		1.60			KG./mtrs.		2.82				
METROS PERF. POR FILA		127.04			CARMEX		2				
Nº DE TALADROS POR FILA		17.00			PENTACORD		40				
VOLUMEN TOTAL POR FILA		233.36			Nº FILAS A DISPARAR		3				
TONELADAS ROTAS FILA		746.75									
TON/ METRO		5.88									
F. DE CARGA		1.15									
F. DE POTENCIA		0.36									
									1° cebo		
									2° cebo		
Nº DE TALADRO PERF	LONGITUD REAL DE CADA TALADRO	TACO BASE	TACO INTERMEDIO	TACO FINAL	LONGITU A CARGA	ANFO EN KG POR SEC.	ANFO EN KG POR TAL.	BOOSTER 1/3 LB	SECUENCIA SALIDA	SECUENCIA SALIDA	
1	3.18	0.00	0.00	1.00	2.18	6.1	6.1	1	9		
2	3.12	0.00	0.00	1.50	1.62	4.6	4.6	1	8		
3	3.57	0.00	0.00	1.10	2.47	7.0	7.0	1	7		
4	4.64	0.00	0.00	1.50	3.14	8.9	8.9	1	6		
5	6.74	0.00	0.00	1.10	5.64	15.9	15.9	1	5	5	
6	12.03	0.00	0.00	4.20	7.83	11.0	22.1	2	4	4	
7	12.21	0.00	0.00	1.50	10.71	15.1	30.2	2	3	3	
8	12.03	0.00	0.00	3.50	8.53	12.0	24.1	2	2	2	
9	12.00	0.00	0.00	1.00	11.00	15.5	31.0	2	1	1	
10	12.03	0.00	0.00	3.50	8.53	12.0	24.1	2	2	2	
11	12.21	0.00	0.00	1.50	10.71	15.1	30.2	2	3	3	
12	12.03	0.00	0.00	4.20	7.83	11.0	22.1	2	4	4	
13	6.74	0.00	0.00	1.10	5.64	15.9	15.9	1	5	5	
14	4.64	0.00	0.00	1.50	3.14	8.9	8.9	1	6		
15	3.57	0.00	0.00	1.10	2.47	7.0	7.0	1	7		
16	3.12	0.00	0.00	1.50	1.62	4.6	4.6	1	8		
17	3.18	0.00	0.00	1.00	2.18	6.1	6.1	1	9		
TOTAL	127.04				95.24	15.90	268.6	24			

Para la explotación de 746.75 Tn de mineral se requirió 368.6 kg de Anfo, dando como factor de carga de 1.15 kg/m³ y factor de potencia de 0.36 kg/tn.

5.4. RESUMEN OPERATIVO DE PARAMETROS ANTERIORES Y MEJORADOS (OPTIMIZADOS)

5.4.1. Análisis de perforación con diámetro 64mm vs 89mm.

Diseños	Diseño banqueo con taladros de 64mm	Diseño banqueo con taladros de 89mm	
			
PARÁMETROS			PORCENTAJE
Diametro de perforación (mm)	64	89	28%
Malla de perforación (B*E) (m*m)	1.60 x 1.60	2.10 x 2.00	
Numero de taladros por fila (tal/fila)	17	15	-13%
Numero de filas (und)	40	31	-29%
Metros perforados por fila (m)	127.04	109.78	-16%
Metros perforados en banqueo (m)	5081.6	3403.18	-49%
Altura de Banco (m)	12	12	
Longitud de Tajo 1553 (m)	68	68	
Tonelaje por sección (tn/seccion)	746.75	980.11	24%
Ratio de perforación (tn/m)	5.88	8.78	33%
Rendimiento de perforación (m/día)	450	350	-29%
Tiempo de perforación en guardias	23	20	-15%
Tiempo de perforación en días	11.5	10	-15%

Al incrementar el diámetro de perforación de 64mm a 89mm el número de taladros disminuye de 17 a 15, al igual que el número de filas que disminuye de 40 a 31. El proyecto de perforación de taladros largos con diámetro de 64mm es de 5081.6m y con 89mm es de 3403.18m, que equivale a -49% de metros perforados después de optimizar. El tonelaje por sección con 64mm es de 746.75tn y con 89mm es de 980.11tn lo que da incremento a una productividad en 24%. En cuanto al ratio de perforación se incrementa de 5.88tn/m a 8.78tn/m equivalente a 33% luego de optimizar. El rendimiento de perforación desciende de 450m a 350m de perforación por día al incrementar el diámetro. El proyecto de

perforación con taladros de 64mm es de 23 guardias equivalente a 11.5 días y con 89mm es de 20 guardias que es equivalente a 10 días.

5.4.2. Análisis de costos de perforación 64mm vs 89mm.

PARAMETROS	BANQUEO	
	64mm	89mm
Costo directo de perforación (US\$/ton)	1.501	1.278
Costo indirecto de perforación (US\$/ton)	0.262	0.223
Costo total de perforación (US\$/ton)	1.91	1.63
Ahorro en perforación (US\$/ton)	0.28	
Porcentaje de ahorro en perforación (%)	14.66%	
Costo perforación de taladros negativos TJ1553 (US\$)	57051.891	48688.263
Ahorro en perforación de taladros negativos TJ1553 (US\$)	8363.628	
Porcentaje de ahorro en costos de perforación TJ1553 (%)	14.66%	

Al incrementar el diámetro de perforación de 64mm a 89mm, el costo directo descendió de 1.501 US\$/tn a 1.278US\$/tn, afectando al costo total que también descendió de 1.91US\$/tn a 1.63US\$/tn, generándonos un ahorro de 0.29US\$/tn equivalente a 14.66%. El costo total al perforar los taladros largos descendentes con diámetro de 64mm del TJ1553 es de 57051.891 dólares y perforando con diámetro de 89mm es de 48688.263 dólares, lo que da un ahorro de 8363.628 dólares, equivalente al 14.66%.

5.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Según los antecedentes de la investigación se citó a:

(Merma Chacca , 2018). En su investigación concluye que se ha incrementado la productividad con el diseño adecuado de las mallas de perforación, evitando así la perforación de taladros adicionales por la mala distribución y desviación de los mismos. Concuerdo con su investigación, ya que

al tener un diseño adecuado según el diámetro de perforación en la Mina Marcapunta Norte se incrementa la productividad de 746.75tn/fila a 980.11tn/fila y se evita la perforación de taladros adicionales como fue en el caso de nuestra investigación que se disminuyó de 17 a 15 taladros perforados.

(Cueva Ames, 2019). En una de sus conclusiones llega de que es importante el estudio de un modelo matemático en cada tajo a explotar, tal como el modelo de R. Ash, Konya, así optimiza significativamente el proceso de la perforación, los costos de estos y el de voladura, aceros, etc. Es cierto que al aplicar modelos matemáticos en cada tajo se puede optimizar como el costo de perforación, que bajamos de 1.91\$US/tn a 1.63\$US/tn, también dice que con la aplicación del modelo matemático de Langefors el factor de potencia igual 1.08kg/tn son mejores a otros métodos ya que optimiza el consumo de explosivo y aumenta el Tn de productividad guardia, también aseveramos tal afirmación, ya que en la mina Marcapunta Norte al aplicar el modelo matemático de Langefors, se tiene el factor de potencia de 0.37kg/tn.

(Quizpe Yucra, 2017). En su investigación recomienda realizar la evaluación constante de los parámetros en los equipos, en las etapas de minado con el la cual se logrará bajar el tiempo de perforación. Tal es el caso en nuestra investigación que al evaluar los nuevos parámetros se logró reducir el tiempo de perforación del tajo, disminuyendo de 23 guardias a 20 guardias.

CONCLUSIONES

Con la ampliación del diámetro de taladros largos de 64mm a 89mm, se ha logrado optimizar la perforación de taladros largos descendentes en el método de Tajeo por Subniveles. Con el diseño de una malla de perforación de acuerdo a las características geomecánicas del yacimiento, se logró incrementar el ratio de perforación, reduciendo así el tiempo de perforación de 23 guardias a 20 guardias, también con ello se incrementó la productividad de 746.75 tn a 980.11 tn por sección y con una fragmentación que va de 7 a 8 pulgadas en promedio.

- Mediante el análisis geomecánico se ha determinado que las características geomecánicas de la mina Marcapunta Norte son competentes, teniendo una calidad de roca en promedio regular IIIB, junto con las condiciones geológicas que se presenta en la mina, no se tiene inconvenientes en la ampliación del diámetro de perforación.
- Se ha determinado que mediante la ampliación del diámetro de taladros largos de 64mm a 89mm, el rendimiento de los equipos de perforación ha descendido de 450m/día a 350m/día, sin embargo, el Ratio de Perforación se ha incrementado de 5.88tn/m a 8.78tn/m.
- Se ha determinado que los costos de perforación al ampliar el diámetro de taladros largos de 64mm a 89mm en el método de minado tajeo por subniveles, se ha reducido de 1.91U\$\$/tn a 1.63U\$\$/tn.

SUGERENCIAS

Se sugiere que en la mina Marcapunta Norte, el personal sea capacitado por especialistas en temas de perforación y voladura, ya que la inexperiencia genera deficiencias como la pérdida de aceros por atascamientos, lo que lleva al final que el tiempo de perforación efectiva por guardia no sea la adecuada, bajando así el rendimiento de la Simba, al igual que por la mala manipulación que genera desviaciones, lo que lleva que el ratio de perforación sea deficiente y se genere grandes bancos.

- Teniendo una roca de buena calidad con RMR de 45 en promedio como lo es en la mina Marcapunta Norte, se sugiere que los tajos sean dimensionados mayor al ancho promedio que actualmente se explotan y a la vez ampliarle el diámetro de perforación.
- Para que el rendimiento de los equipos se incremente, se sugiere que primero se trabaje con la disponibilidad mecánica, se vio en campo que el taller queda a más de 3km de los puntos donde se concentra las labores de operaciones unitarias de perforación, por otra parte, se debe trabajar en reducir los tiempos improductivos, para así tener más horas efectivas de operación, con ello los rendimientos de perforación se incrementaran.
- Para reducir aún más los costos de perforación, se sugiere que se amplíe el diámetro de perforación tanto en taladros descendentes y ascendentes, sin embargo, para ello se debe de dar una evaluación técnica económica del uso de explosivo distinta al ANFO como son los explosivos bombeables, para así no tener problemas en el carguío de taladros ascendentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering Rock Mass Clasificación*. New York: Wiley – Interscience Publication.

Asociación Educativa CETEMIN. (2018). Taladros Largos & Raise Boring. *Explotación de Minas*.

Bieniawski von Preinl, R. Z. (2011). *Errores en la Aplicación de las Clasificaciones Geomecánicas y su Corrección*. Madrid: Bieniawski Design Enterprises.

Borja Suárez, M. (2012). *Metodología de Investigación Científica para Ingenieros*. Chiclayo.

Carrasco León , C. A. (2016). *La Optimización de las Operaciones Unitarias de Perforación y Voladura, Mejora el Rendimiento Económico en la Unidad Minera San Andrés - Marsa 2014*. Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac.

Cueva Ames, P. L. (2019). *Diseño de malla para taladros largos e incremento de producción en NV 270 - Unidad de Producción Islay – 2019*. Universidad Nacional del Centro del Perú.

DCR Ingenieros S.R.Ltda. (2011). *Informe de Evaluación Geomecánica de la Zona de Brechas y Alternativas de Metodos de Minado en Mina Marcapunta Norte*. Lima.

DCR Ingenieros S.R.Ltda. (2011). *Informe Recuperación de Pilares Corridos y Evaluación Geotécnica del Relleno de Mina Marcapunta Norte*. Lima.

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas. (2015). *Cuaderno de Apuntes*. Cusco: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

- Famesa Explosivos S.A.C. (2019). *Manual de Perforación y Voladura*. Lima: Letras e Imágenes S.A.C. - COSAS Studio.
- Hartman, H. L., & Mutmanský, J. M. (2002). *Introductory Mining Engineering*. Estados Unidos: John Wiley and Sons, Inc.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: McGRAW-HILL & INTERAMERICANA EDITORES, S.A.
- JRC Ingeniería y Construcción. (2019). *Informes Técnicos Internos de la Mina Marcapunta Norte*. Pasco: El Brocal.
- Llanque Maquera, O. E., Navarro Torres, V. F., Durant Broden, J. G., Coila Choque, Y. A., Calderon Mendoza, R. G., Tapia Valencia, H. A., . . . Camac Torres, E. A. (1999). *Explotación Subterránea, Métodos y Casos Prácticos*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- López Jimeno, C., López Jimeno, E., Pernia LLera, J. M., & Ortiz de Urbina, F. P. (2003). *Manual de Perforación y Voladura de Rocas*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- Merma Chacca, A. R. (2018). *Optimización de los estándares en perforación y voladura de taladros largos, para el incremento de la productividad y la reducción de los costos de operación en la Cía. Minera Ares SAC U. O. Inmaculada*. Universidad Nacional del Altiplano.

Quizpe Yucra, J. (2017). *Evaluación de columnas de perforación de equipos Sandvik y Atlas Copco en las operaciones de la Up. Andaychagua Volcan S.A.A.* Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga.

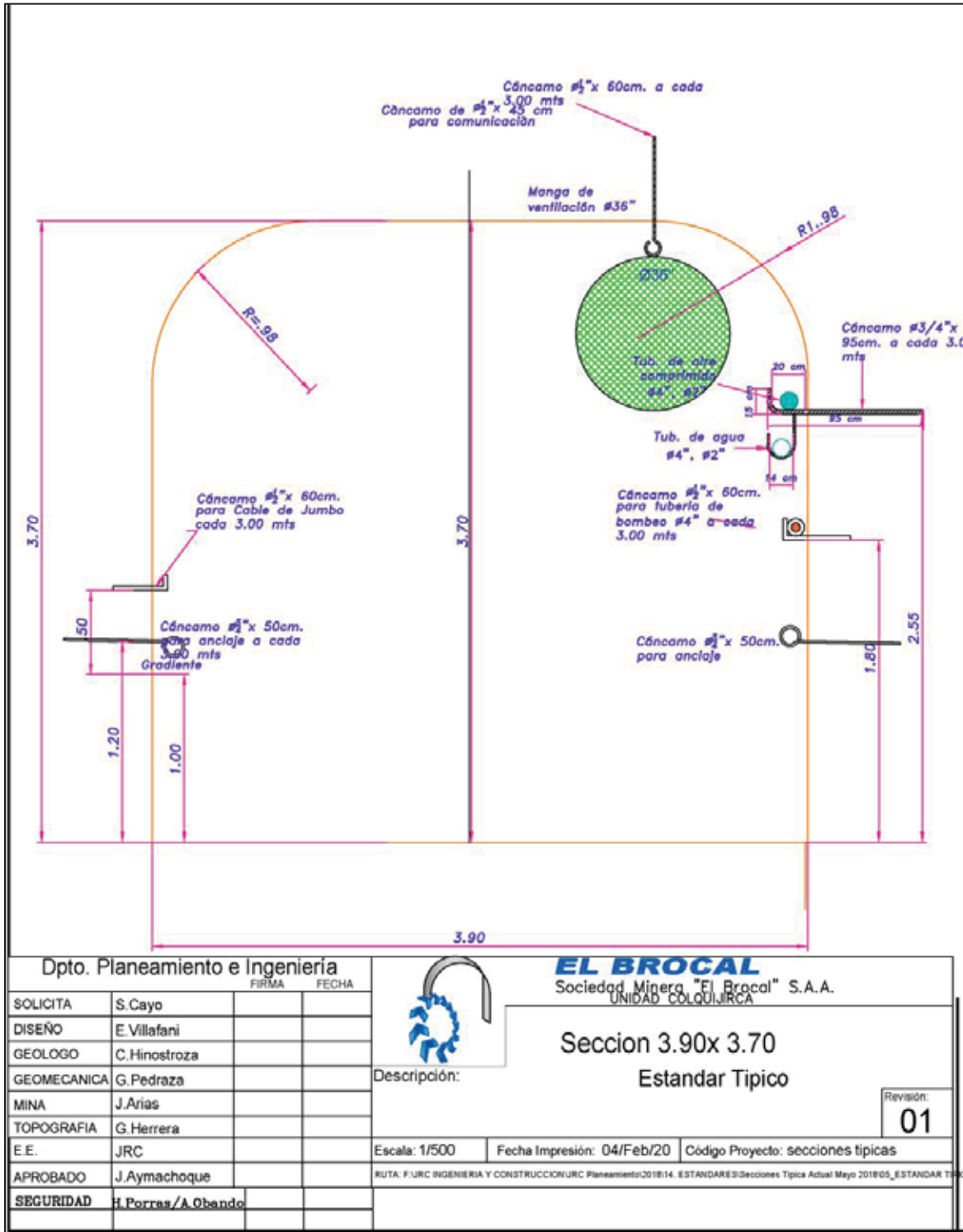
Rivera Rojas, E. F. (2015). *Metodo de Minado Sublevel Stoping en Corporación Minera Castrovirreyna S.A.* Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

Valderrama Mendoza, S. (2013). *Pasos para Elaborar Proyectos de Investigación Científica Cuantitativa, Cualitativa y Mixta.* Lima: San Marcos.

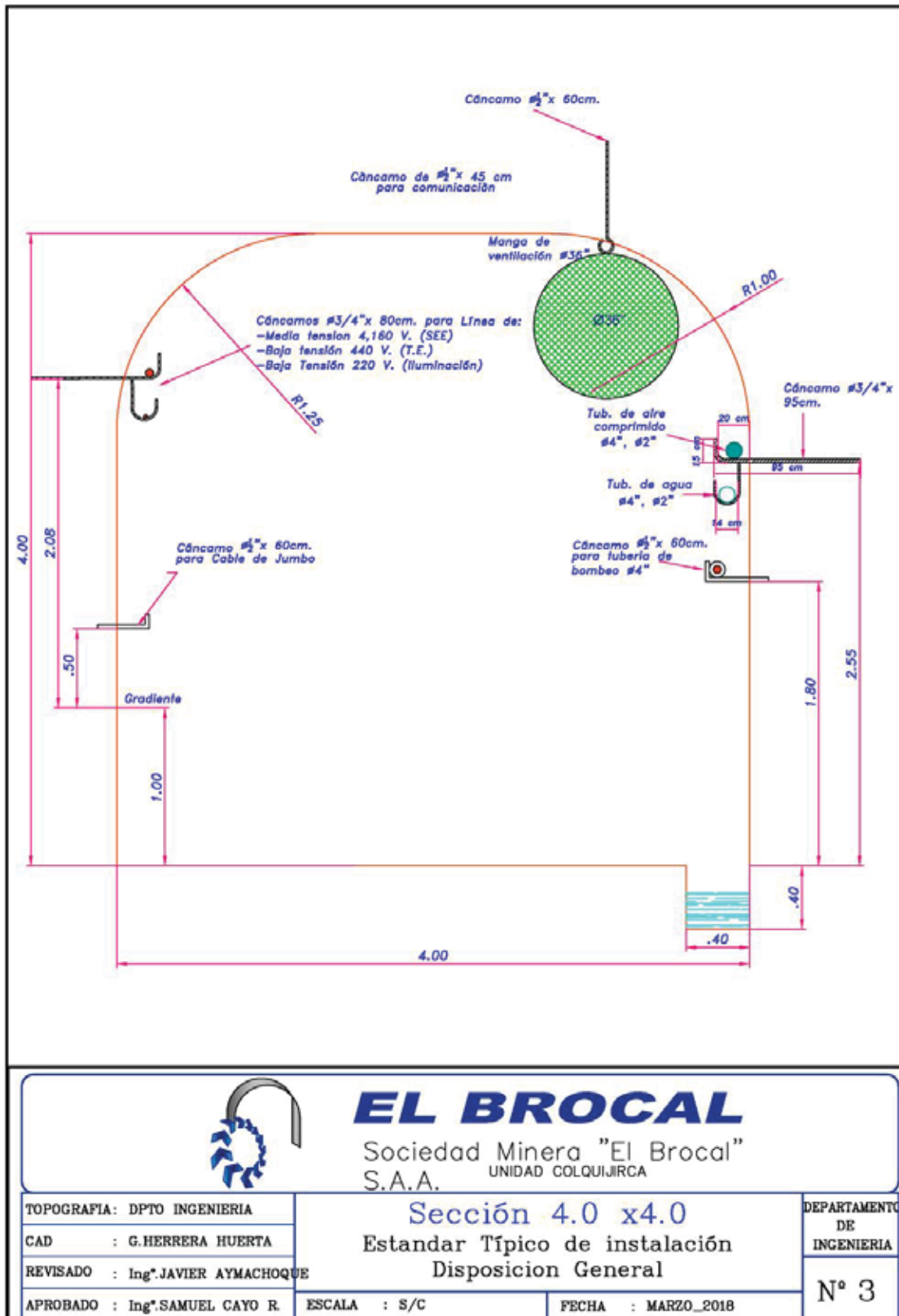
Villaescusa, E. (2014). *Geotechnical Design for Sublevel Open Stoping.* Boca Ratón: Taylor & Francis Group.

ANEXOS

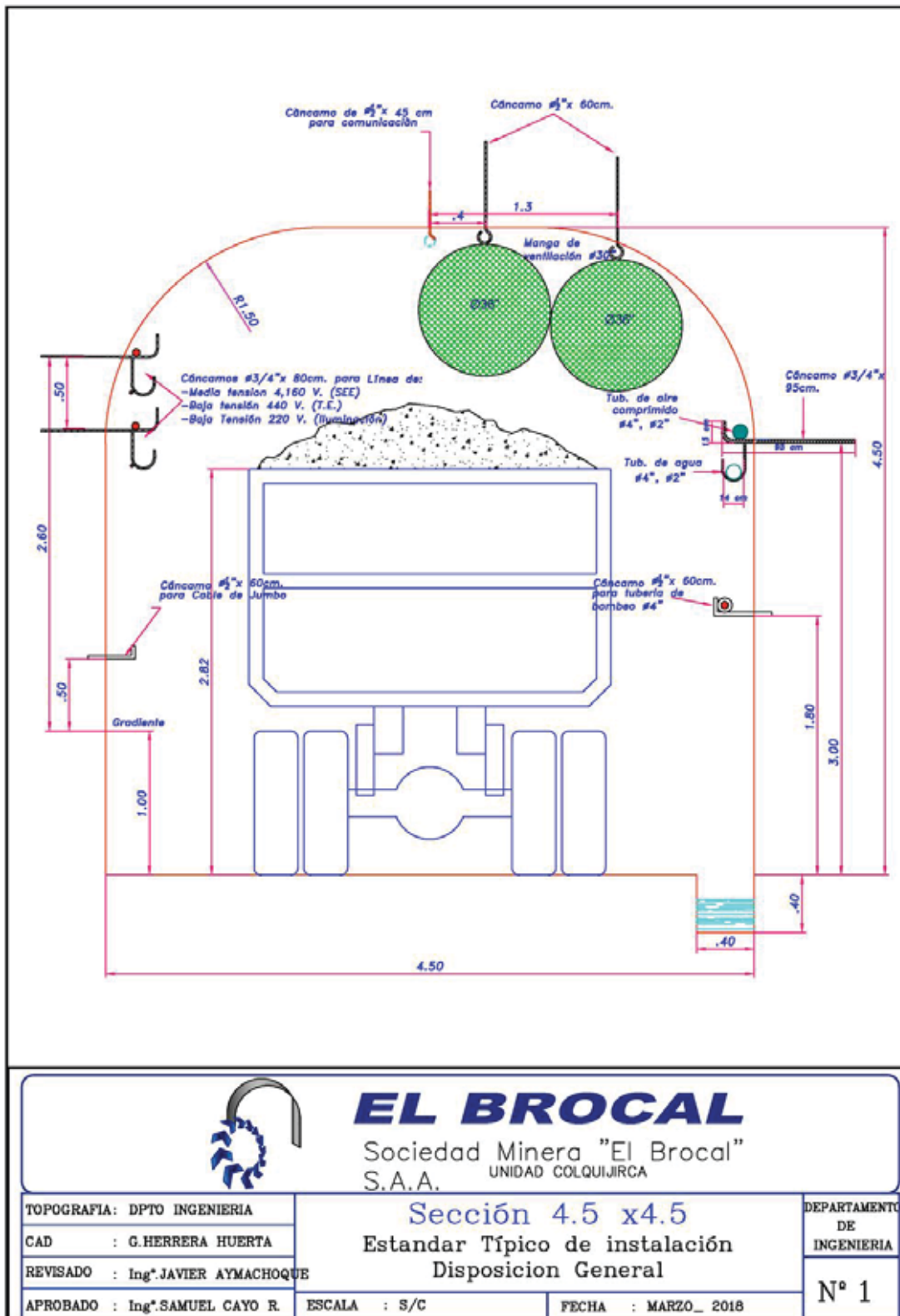
Anexo A. Estándar típico en galerías de producción.



Anexo B. Estándar típico en galerías secundarias.



Anexo C. Estándar típico en galerías principales.



EL BROCAL

Sociedad Minera "El Brocal"
S.A.A. UNIDAD COLQUIJRCA

TOPOGRAFIA: DPTO INGENIERIA

CAD : G.HERRERA HUERTA

REVISADO : Ing°.JAVIER AYMACHOQUE

APROBADO : Ing°.SAMUEL CAYO R.

Sección 4.5 x4.5

Estandar Típico de instalación
Disposicion General

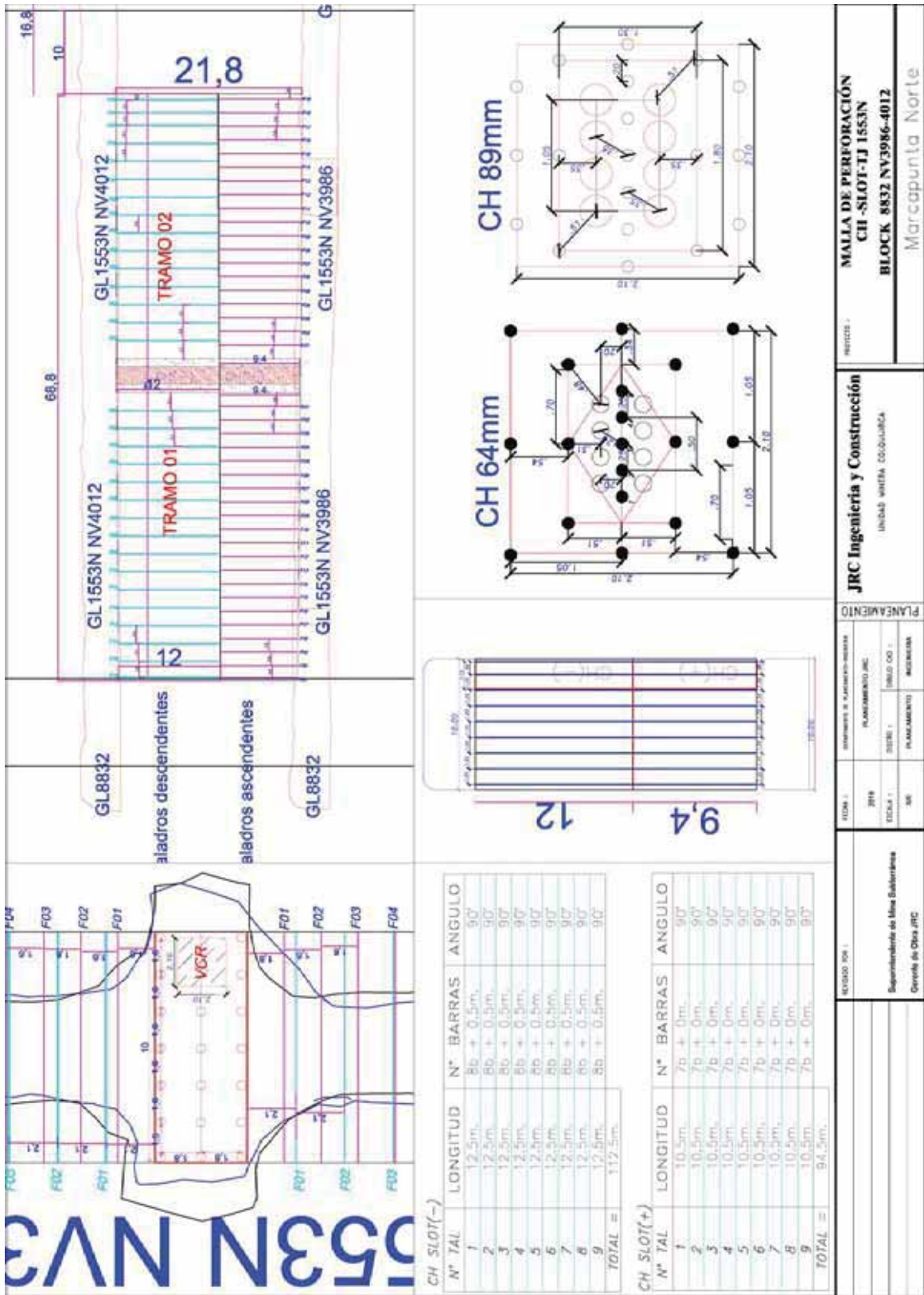
ESCALA : S/C

FECHA : MARZO_ 2018

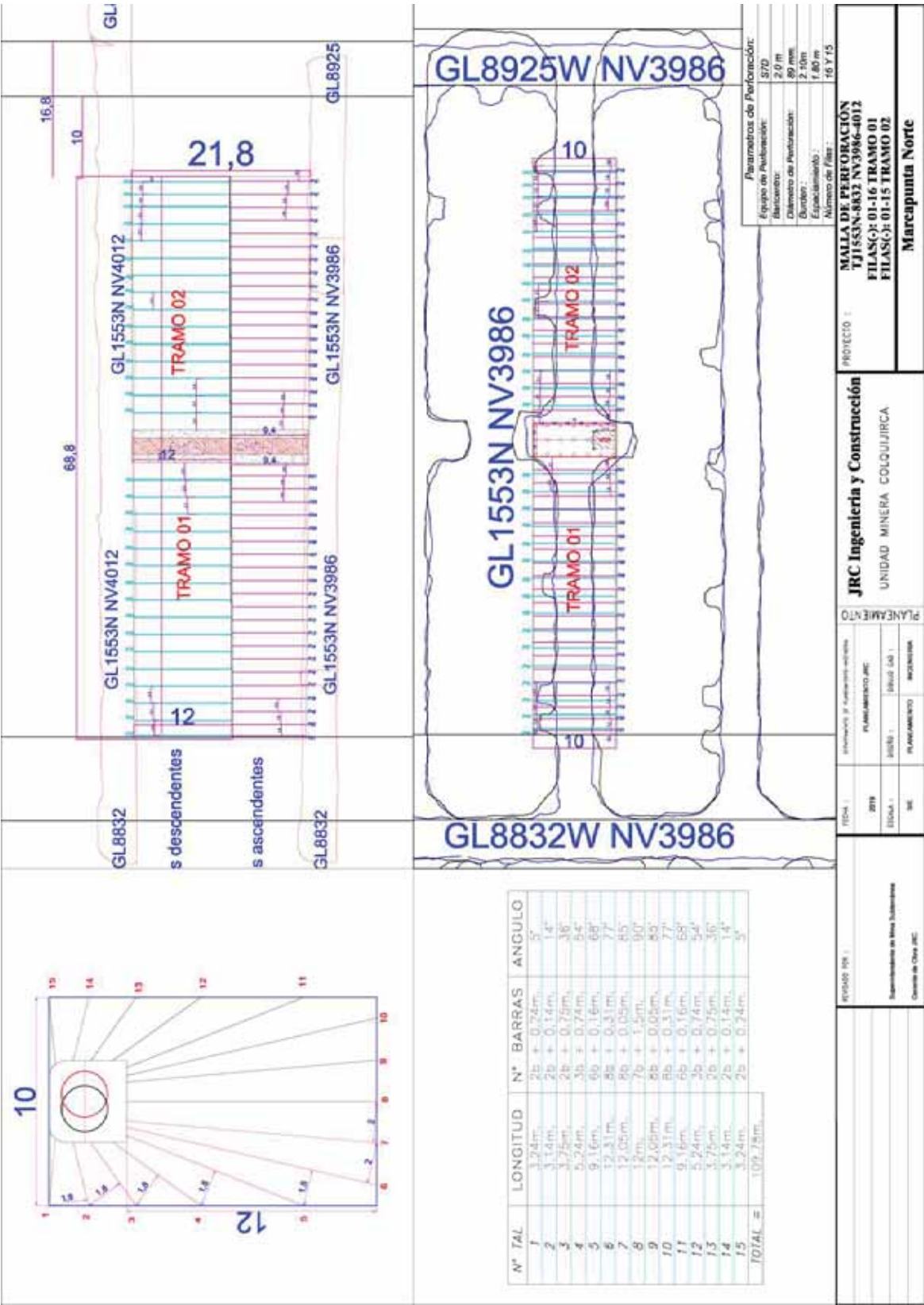
DEPARTAMENTO
DE
INGENIERIA

Nº 1

Anexo D. Malla de perforación Chimenea VCR y Slot.



Anexo E. Malla de perforación TJ1553 con diámetro 89mm.



Anexo F. Características del Simba S7D.

ROCK DRILL

COP 1838ME	
Shank adapter	R32, TC35, T38, (T45*)
Hole diameter	51–89 mm
Impact power	18 kW
Impact rate	60 Hz
Hydraulic pressure, max.	230 bar
Rotation motors	Separate rotation
Rotation speed	0–210 rpm
Lub. air consump. (at 3 bar)	5 l/s
Water consumption	50–120 l/min
Weight	170 kg

*T45 gives 9 rods in carousel instead of 10

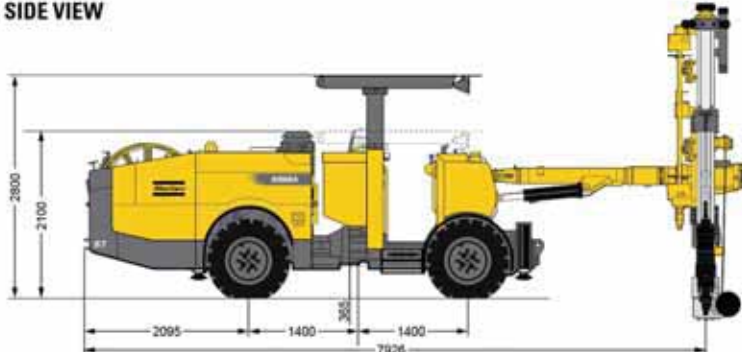
FEED

BMHP 6800	BMHP 6804	BMHP 6805	BMHP 6806
Total length	3 141 mm	3 448 mm	3 753 mm
Drill rod length	1 220 mm	1 525 mm	1 830 mm
Total length with extractor	3 331 mm	3 655 mm	3 960 mm

» Drilling unit

- Rod Handling System, RHS 10..... 10+1 rods
- Adaptable to R32, TC35, T38, (T45) drill rods
- Adaptable to 4', 5' and 6' rods
- Mechanized drilling up to 20 m
- Big hole drilling kit

SIDE VIEW



TURNING RADIUS

depending on surface

mm	Outer	5 000
	Inner	2 850

DIMENSIONS

mm	Width	2 000
	Height tramming, roof down	2 100
	Height roof up	2 800
	Length tramming (with BMHP 6804/05/06)	8 805*/9 112*/9 417*
	Ground clearance	335

*= 200 mm with extractor

» Electrical system

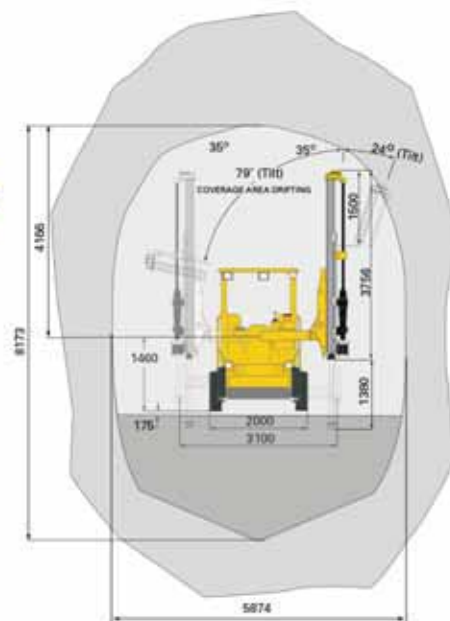
- Total installed power..... 80 kW
- Main motor..... 75 kW
- Voltage..... 380–1 000 V
- Frequency..... 50–60 Hz
- Starting method..... star/delta (380–690 V)
- Transformer..... 5 kVA
- Working lights, mounted on roof..... 3 x 35 W, 24 V HID
- Electronic overload protection for electric motors
- Digital volt/ampere meter in electric cabinet
- Limit switch for cable reel with signal lamp
- Manual spotlight, left side
- Phase sequence indicator
- Earth fault indicator
- Battery charger
- Cable reel

» Air system

- Compressor..... Atlas Copco LE7
- Capacity at 5 400 rpm and 7 bar..... 12 l/s
- Hole blowing kit with external air
- Lubricated air for the rock drill
- Adjustable flow/pressure
- Air pressure gauge
- Air flow guard

» Water system

- Hydraulic powered water booster pump..... Flygt PXR411H
- Water booster pump max capacity at 12 bar..... 60 l/min
- Min water inlet pressure, bar..... 2
- Water flow guard



WEIGHT

gross weight

kg	Total	11 800
	Boom side	7 800
	Engine side	4 000

Anexo G. Características del Simba H1254.

Rock drill

	COP 1838•
Shank adapter	T38E, T45E
Hole diameter	64-89 mm
Max. impact power	18 kW
Impact rate	60 Hz
Hydraulic pressure(maximum)	230 bar
Torque (maximum)	640/1 000 Nm
Rotation motors	Separate rotation
Rotation speed	0-215 rpm
Lub. air consump(at 2 bar)	5 l/s
Water consumption 50 l/min	40-120 l/min
Weight	170 kg

Feed

	BMH 200	BMH 214	BMH 215	BMH 216
Total length	3 160 mm	3 465 mm	3 770 mm	3 770 mm
Drill rod length	1 220 mm	1 525 mm	1 830 mm	1 830 mm

Drilling unit

- Rod Handling System, RHS 17.....17•1 rods
- Adaptable to 4', 5' and 6' rods
- Adaptable to T38, T45 Speedrods
- Adaptable to TDS56, TDS64 and TDS76 drill tubes
- Mechanized drilling up to 32 m

Turning radius

Depending on surface

mm	Outer	Inner
	5 100	2 500

Dimensions

mm	Width	2 380
	Height tramming (A)	2 660/2 770/2 810
	Height roof up	2 920
	Length (with BHM 214/215/216) (B)	6 802/7 102/7 402
	Ground clearance	260

Electrical system

- Total installed power.....65 kW
- Main motor at 50 Hz.....55 kW
- Voltage.....380-1 000 V
- Frequency.....50-60 Hz
- Starting method.....star/delta (380-690 V) direct (1 000 V)
- Thermal overload protection for electric motors
- Percussion hour meters on A-panel
- Digital volt/ampere meter in electric cabinet
- Phase sequence indicator
- Earth fault indicator
- Battery charger
- Transformer.....5 kVA
- Working lights on tripods.....2x200 W, 24V
- Cable reel, inner/outer diameter.....660/1 095 mm
- Limit switch for cable reel
- Angle reading instrument ARI 6C
- Electric cable, Buxflex
- Rock drill lubrication warning kit

Air system

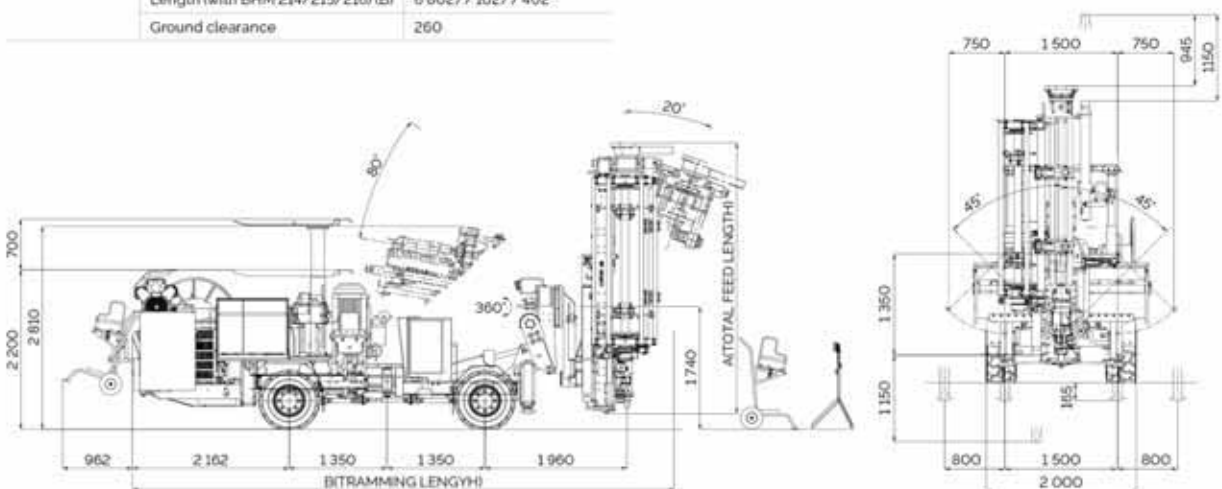
- Compressor.....Atlas Copco LE7
- Capacity at 5400 rpm and 7 bar.....12 l/s
- Air pressure gauge
- Hole blowing kit with external air

Water system

- Electric water booster pump
- Capacity at 10 bar boost.....max 100 l/min
- Min water inlet pressure.....2 bar
- Water pressure gauge
- Water flow guard

Weight

Gross weight	
kg	Total 12 500



Anexo H. Control operativo geomecanico.

FECHA		30/11/2018	Colocacion Calibradores	DIA		CONTROL OPERATIVO GEOMECANICO				
Nivel	Block	LABOR		TIPO LABOR	Riesgo	Sostenimiento Indicado	Recomendación Adicional	RMR	ULTIMO DISPARO	ULTIMO DISPARO
4152	8912	GAL 608 S	SI	Temp.	ALTO	Malla electrosoldada de alambre negro + empennado sistematizado con pernos split set, L = 7, (FILAS 7X6), Ø=1.5, desde la gradiente distribución en cocada. 4.0m X 4.0m	Pericar todo el techo y los hastiales. Desate Mecanizado. CONTROL DE VOLADURA.	45	29/11/2018 D	PARTE DEL PROCESO
4072	8820	GA 8820 E	SI	Perm.	ALTO	Shotcrete 2° sección completa + Pernos Python 7, Ø = 1.50 m, de forma sistemática desde la gradiente, SECC 4.5 m X 4.5 m, FILAS 7X6 A 0.6 m de la gradiente.	Pericar todo el techo y los hastiales. Desate Mecanizado. CONTROL DE VOLADURA.	46	29/11/2018 D	PARTE DEL PROCESO
		GA 8820 W	SI	Perm.	ALTO	Shotcrete 2° sección completa + Pernos Python 7, Ø = 1.50 m, de forma sistemática desde la gradiente, SECC 4.5 m X 4.5 m, FILAS 7X6 A 0.6 m de la gradiente.	Pericar todo el techo y los hastiales. Desate Mecanizado. CONTROL DE VOLADURA.	46	29/11/2018 D	PARTE DEL PROCESO
	662	GA 662 S	SI	Perm.	ALTO	Shotcrete 2° sección completa + Pernos Python 7, Ø = 1.50 m, de forma sistemática desde la gradiente, SECC 4.5 m X 4.5 m, FILAS 7X6 A 0.6 m de la gradiente.	Pericar todo el techo y los hastiales. Desate Mecanizado. CONTROL DE VOLADURA.	46	28/11/2018 D	Falta empermar
4052	9022	GA 1658 N	NO	Perm.	ALTO	Shotcrete 2° Sección completa + Frente de labor 1.5° + malla desde el piso c/ pernos python Ø = 1.00 m + shotcrete 2° hasta cubrir la malla. Sección 4m x 4m	Pericar todo el techo y los hastiales. Desate Mecanizado. CONTROL DE VOLADURA. 8 pies.	27	22/11/2018 N	SHOTCRETE SOBRE MALLA
3960	RP 8942	VN 1622 S	SI	Perm.	ALTO	Shotcrete 2° sección completa + Pernos Python 7, Ø = 1.50 m, de forma sistemática desde la gradiente, SECC 4.5 m X 4.5 m, FILAS 7X6 A 0.6 m de la gradiente.	Pericar todo el techo y los hastiales. Desate Mecanizado. CONTROL DE VOLADURA.	49	23/11/2018 N	FALTA PYTHON
		RP 8942 (-)	NO	Perm.	ALTO	Shotcrete 2° Sección completa + Frente de labor 1.5° + malla desde el piso c/ pernos python Ø = 1.00 m + shotcrete 2° hasta cubrir la malla. Sección 4.5 m x 4.5 m	Pericar todo el techo y los hastiales. Desate Mecanizado. CONTROL DE VOLADURA. 8 pies.	27	28/11/2018 N	PARTE DEL PROCESO
3972	9022	GA 9022 E	NO	Perm.	ALTO	Shotcrete 2° Sección completa + Frente de labor 1.5° + malla desde el piso c/ pernos python Ø = 1.00 m + shotcrete 2° hasta cubrir la malla. Sección 4.5 m x 4.5 m	Pericar todo el techo y los hastiales. Desate Mecanizado. CONTROL DE VOLADURA. 8 pies.	27	28/11/2018 N	PARTE DEL PROCESO
		GL 1770 S	-	Temp.	ALTO	Malla electrosoldada de alambre negro + empennado sistematizado con pernos split set, L = 7, (FILAS 7X6), Ø=1.5, desde la gradiente distribución en cocada. 3.9m X 3.7m	Pericar todo el techo y los hastiales. Desate Mecanizado. CONTROL DE VOLADURA.	42	26/11/2018 D	PARTE DEL PROCESO
		GA 1756 S	-	Temp.	ALTO	Malla electrosoldada de alambre negro + empennado sistematizado con pernos split set, L = 7, (FILAS 7X6), Ø=1.5, desde la gradiente distribución en cocada. Sección 3.9m X 3.7m	Pericar todo el techo y los hastiales. Desate Mecanizado. CONTROL DE VOLADURA.	41	26/11/2018 D	PARTE DEL PROCESO
		GL 1742 S	SI	Temp.	ALTO	Shotcrete 1.5° sección completa + frente 1.5° + Pernos Python 7, Ø = 1.20 m, de forma sistemática, FILAS 7X6 A 0.8 m de la gradiente, SECC 3.9m X 3.7m	Pericar todo el techo y los hastiales. Desate Mecanizado. CONTROL DE VOLADURA.	35	23/11/2018 N	FALTA MALLA + SPLIT SET
		GL 1784 S	-	Temp.	ALTO	Malla electrosoldada de alambre negro + empennado sistematizado con pernos split set, L = 7, (FILAS 7X6), Ø=1.5, desde la gradiente distribución en cocada. 3.9m X 3.7m	Pericar todo el techo y los hastiales. Desate Mecanizado. CONTROL DE VOLADURA.	42	22/11/2018 N	SOSTENIDO
		GL 1784 N	SI	Temp.	ALTO	Shotcrete 1.5° sección completa + frente 1.5° + Pernos Python 7, Ø = 1.20 m, de forma sistemática, FILAS 7X6 A 0.8 m de la gradiente, SECC 3.9m X 3.7m	Pericar todo el techo y los hastiales. Desate Mecanizado. CONTROL DE VOLADURA.	35	25/11/2018 D	PARTE DEL PROCESO
		GL 1798 S	SI	Temp.	ALTO	Shotcrete 1.5° sección completa + frente 1.5° + Pernos Python 7, Ø = 1.20 m, de forma sistemática, FILAS 7X6 A 0.8 m de la gradiente, SECC 3.9m X 3.7m	Pericar todo el techo y los hastiales. Desate Mecanizado. CONTROL DE VOLADURA.	34	25/11/2018 D	PARTE DEL PROCESO
3986	8942	GL 8942 E	SI	Perm.	ALTO	Shotcrete 2° sección completa + Pernos Python 7, Ø = 1.50 m, de forma sistemática desde la gradiente, SECC 4.5 m X 4.5 m, FILAS 8X7 A 0.6 m de la gradiente hacia arriba.	Pericar todo el techo y los hastiales. Desate Mecanizado. CONTROL DE VOLADURA.	45	29/11/2018 D	PARTE DEL PROCESO
		GL 1653 S	SI	Temp.	ALTO	Shotcrete 2° sección completa + Pernos Python 7, Ø = 1.50 m, de forma sistemática desde la gradiente, SECC 4.0 m X 4.0 m, FILAS 8X7 A 0.6 m de la gradiente hacia arriba. 8 METROS LUEGO SE DETERMINARÁ CON MALLA + SPLIT SET	Pericar todo el techo y los hastiales. Desate Mecanizado. CONTROL DE VOLADURA.	45	29/11/2018 D	PARTE DEL PROCESO
		GL 1633 S	-	Temp.	ALTO	Malla electrosoldada de alambre negro + empennado sistematizado con pernos split set, L = 7, (FILAS 7X6), Ø=1.5, desde la gradiente distribución en cocada. Sección 4.0 m X 4.0 m	Pericar todo el techo y los hastiales. Desate Mecanizado. CONTROL DE VOLADURA.	45	26/11/2018 D	PARTE DEL PROCESO
		GA 8832 W	SI	Perm.	ALTO	Shotcrete 2° sección completa + Pernos Python 7, Ø = 1.50 m, de forma sistemática desde la gradiente, SECC 4.5 m X 4.5 m, FILAS 8X7 A 0.6 m de la gradiente hacia arriba.	Pericar todo el techo y los hastiales. Desate Mecanizado. CONTROL DE VOLADURA.	45	21/11/2018 D	PARTE DEL PROCESO
	8832	GA 8832 E	SI	Perm.	ALTO	Shotcrete 2° sección completa + Pernos Python 7, Ø = 1.50 m, de forma sistemática desde la gradiente, SECC 4.5 m X 4.5 m, FILAS 8X7 A 0.6 m de la gradiente hacia arriba.	Pericar todo el techo y los hastiales. Desate Mecanizado. CONTROL DE VOLADURA.	45	24/11/2018 N	PARTE DEL PROCESO
		GA 1593 N	-	Temp.	ALTO	Malla electrosoldada de alambre negro + empennado sistematizado con pernos split set, L = 7, (FILAS 7X6), Ø=1.5, desde la gradiente distribución en cocada. SECC 4.0 m X 4.0 m	Pericar todo el techo y los hastiales. Desate Mecanizado. CONTROL DE VOLADURA.	45	06/11/2018 N	PARTE DEL PROCESO
		GA 1553 N	-	Temp.	ALTO	Malla electrosoldada de alambre negro + empennado sistematizado con pernos split set, L = 7, (FILAS 7X6), Ø=1.5, desde la gradiente distribución en cocada. SECC 4.0 m X 4.0 m	Pericar todo el techo y los hastiales. Desate Mecanizado. CONTROL DE VOLADURA.	45	27/11/2018 D	SOSTENIDO
		GA 1633 N	-	Temp.	ALTO	Malla electrosoldada de alambre negro + empennado sistematizado con pernos split set, L = 7, (FILAS 7X6), Ø=1.5, desde la gradiente distribución en cocada. SECC 4.0 m X 4.0 m	Pericar todo el techo y los hastiales. Desate Mecanizado. CONTROL DE VOLADURA.	45	28/11/2018 D	PARTE DEL PROCESO
	8832	GA 1533 N	-	Temp.	ALTO	Malla electrosoldada de alambre negro + empennado sistematizado con pernos split set, L = 7, (FILAS 7X6), Ø=1.5, desde la gradiente distribución en cocada. SECC 4.0 m X 4.0 m	Pericar todo el techo y los hastiales. Desate Mecanizado. CONTROL DE VOLADURA.	45	28/11/2018 N	PARTE DEL PROCESO
		GA 1593 S	-	Temp.	ALTO	Malla electrosoldada de alambre negro + empennado sistematizado con pernos split set, L = 7, (FILAS 7X6), Ø=1.5, desde la gradiente distribución en cocada. SECC 4.0 m X 4.0 m	Pericar todo el techo y los hastiales. Desate Mecanizado. CONTROL DE VOLADURA.	45	17/11/2018 N	FALTA SOSTENER
		GA 1553 S	-	Temp.	ALTO	Malla electrosoldada de alambre negro + empennado sistematizado con pernos split set, L = 7, (FILAS 7X6), Ø=1.5, desde la gradiente distribución en cocada. SECC 4.0 m X 4.0 m	Pericar todo el techo y los hastiales. Desate Mecanizado. CONTROL DE VOLADURA.	45	27/11/2018 D	FALTA 2 PAÑOS
		GA 1533 S	-	Temp.	ALTO	Malla electrosoldada de alambre negro + empennado sistematizado con pernos split set, L = 7, (FILAS 7X6), Ø=1.5, desde la gradiente distribución en cocada. SECC 4.0 m X 4.0 m	Pericar todo el techo y los hastiales. Desate Mecanizado. CONTROL DE VOLADURA.	45	29/11/2018 N	PARTE DEL PROCESO
	8887	GA 1633 S	-	Temp.	ALTO	Malla electrosoldada de alambre negro + empennado sistematizado con pernos split set, L = 7, (FILAS 7X6), Ø=1.5, desde la gradiente distribución en cocada. Sección 4.0 m X 4.0 m	Pericar todo el techo y los hastiales. Desate Mecanizado. CONTROL DE VOLADURA.	45	29/11/2018 D	PARTE DEL PROCESO
		GA 1633 N	-	Temp.	ALTO	Malla electrosoldada de alambre negro + empennado sistematizado con pernos split set, L = 7, (FILAS 7X6), Ø=1.5, desde la gradiente distribución en cocada. Sección 4.0 m X 4.0 m	Pericar todo el techo y los hastiales. Desate Mecanizado. CONTROL DE VOLADURA.	45	28/11/2018 N	PARTE DEL PROCESO
	1613	RP(-) 1462 E	NO	Perm.	ALTO	Shotcrete 2° Sección Completa + Frente + CIMBRAS @: 1.5 m	Desate Mecanizado. Pericar todo el techo y los hastiales. Perforación 8 pies. CONTROL DE VOLADURA.	20	24/11/2018 N	BOMBE AGUA + LIMPIEZA
		RP(+) 1462 W	NO	Perm.	ALTO	Shotcrete 2° Sección Completa + Frente + CIMBRAS @: 1.5 m	Desate Mecanizado. Pericar todo el techo y los hastiales. Perforación 8 pies. CONTROL DE VOLADURA.	20	18/11/2018 D	PARTE DEL PROCESO
		VN 8790 S	SI	Perm.	ALTO	Shotcrete 2° sección completa + Pernos Python 7, Ø = 1.50 m, de forma sistemática desde la gradiente, SECC 4 m X 4 m, FILAS 9X8 A 0.6 m de la gradiente hacia arriba.	Pericar todo el techo y los hastiales. Desate Mecanizado. CONTROL DE VOLADURA.	41	10/11/2018 D	PARTE DEL PROCESO
	8971	CA 8971 E	SI	Perm.	ALTO	Shotcrete 2° sección completa + Pernos Python 7, Ø = 1.50 m, de forma sistemática desde la gradiente, SECC 4 m X 4 m, FILAS 9X8 A 0.6 m de la gradiente hacia arriba.	Pericar todo el techo y los hastiales. Desate Mecanizado. CONTROL DE VOLADURA.	43	29/11/2018 D	PARTE DEL PROCESO
		CA 8971 W	SI	Perm.	ALTO	Shotcrete 2° sección completa + Pernos Python 7, Ø = 1.50 m, de forma sistemática desde la gradiente, SECC 4 m X 4 m, FILAS 9X8 A 0.6 m de la gradiente hacia arriba.	Pericar todo el techo y los hastiales. Desate Mecanizado. CONTROL DE VOLADURA.	43	29/11/2018 D	PARTE DEL PROCESO
	4012	GA 1453 N	-	Temp.	ALTO	Malla electrosoldada de alambre negro + empennado sistematizado con pernos split set, L = 7, (FILAS 7X6), Ø=1.5, desde la gradiente distribución en cocada. Sección 4.0 m X 4.0 m	Pericar todo el techo y los hastiales. Desate Mecanizado. CONTROL DE VOLADURA.	45	23/11/2018 N	PARTE DEL PROCESO
		GA 1433 N	-	Temp.	ALTO	Malla electrosoldada de alambre negro + empennado sistematizado con pernos split set, L = 7, (FILAS 7X6), Ø=1.5, desde la gradiente distribución en cocada. Sección 4.0 m X 4.0 m	Pericar todo el techo y los hastiales. Desate Mecanizado. CONTROL DE VOLADURA.	45	19/11/2018 N	COMPLETAR SOSTENIMIENTO
		GL 8832 W	SI	Perm.	ALTO	Shotcrete 2° sección completa + Pernos Python 7, Ø = 1.50 m, de forma sistemática desde la gradiente, SECC 4.5 m X 4.5 m, FILAS 7X6 A 0.6 m de la gradiente.	Pericar todo el techo y los hastiales. Desate Mecanizado. CONTROL DE VOLADURA.	46	11/11/2018 D	FALTA PYTHON
		VN 1533 S	SI	Perm.	ALTO	Shotcrete 2° sección completa + Pernos Python 7, Ø = 1.20 m, de forma sistemática desde la gradiente, SECC 4 m X 4 m, FILAS 9X8 A 0.6 m de la gradiente hacia arriba.	Desate Mecanizado. Pericar todo el techo y los hastiales. Perforación 8 pies. CONTROL DE VOLADURA.	46	24/11/2018 N	PARTE DEL PROCESO
4055	9021	VN 617 E	NO	Perm.	ALTO	Shotcrete 2° Sección completa + Frente de labor 1.5° + malla c/ pernos python Ø = 1.00 m + shotcrete 2° hasta cubrir la malla. Sección 4.5 m x 4.5 m	Pericar todo el techo y los hastiales. Desate Mecanizado. CONTROL DE VOLADURA. 8 pies.	27	29/11/2018 D	PARTE DEL PROCESO
		VN 438 E	NO	Perm.	ALTO	Shotcrete 2° Sección completa + Frente de labor 1.5° + malla c/ pernos python Ø = 1.00 m + shotcrete 2° hasta cubrir la malla. Sección 4.5 m x 4.5 m	Pericar todo el techo y los hastiales. Desate Mecanizado. CONTROL DE VOLADURA. 8 pies.	26	29/11/2018 D	PARTE DEL PROCESO
		VN 218 E	SI	Perm.	ALTO	Shotcrete 2° sección completa + frente 1.5°, Pernos Python 7, Ø = 1.20 m, de forma sistemática desde la gradiente, SECC 4.5 m X 4.5 m, FILAS 9X8 A 0.6 m de la gradiente.	Desate Mecanizado. Pericar todo el techo y los hastiales. Perforación 8 pies. CONTROL DE VOLADURA.	36	27/11/2018 N	SOSTENIDO

NOTA: CUMPLIR CON EL DESATE MINUSIOSO DE LABOR, CANTONEO DE HASTIALES, COLOCACION DE CALIBRADORES, DISTRIBUCION ADECUADA DE PERNOS SEGUN INDICACION GEOMECANICA, CORRECTA INSTALACION DE CUBOS PARA MARCAR PUNTOS DE COLOCACION, MARCAJO DE MALLA DE PERFORACION PERNOS, MALLAS BIEN PEGADAS Y TRASLAPES CORRECTOS ENTRE MALLA Y MALLA, CIMBRAS PERPENDICULARES Y CON LÍNEAS TOPOGRAFICAS, ARCOS NOROCCIOS CON SHOTCRETE, CUMPLIR INDICACIONES GEOMECHANICAS, SOSTENIMIENTO DE PLAZA 8 METROS CON SHOTCRETE EN GALERIAS DE PREPARACION, RESPIRAR PLAZA 8 METROS CON SHOTCRETE DE 2° Y PERNOS PYTHON.

Anexo I. Código de actividades en perforación de taladros largos.

Cod	Actividad	Clasificacion	Sub Clasificacion
101	Perforación Vertical (Negativo)	Hrs. Operativas	Objetivo
102	Perforación Vertical (Positivo)	Hrs. Operativas	Objetivo
103	Perforación de Chimenea (Negativo)	Hrs. Operativas	Objetivo
104	Perforación de Chimenea (Positivo)	Hrs. Operativas	Objetivo
105	Perforación en Abanico (Negativo)	Hrs. Operativas	Objetivo
106	Perforación en Abanico (Positivo)	Hrs. Operativas	Objetivo
107	Perforación de Slot (Negativo)	Hrs. Operativas	Objetivo
108	Perforación de Slot (Positivo)	Hrs. Operativas	Objetivo
109	Perforación en Realce	Hrs. Operativas	Objetivo
110	Perforación en Recorte	Hrs. Operativas	Objetivo
111	Perforación en Repaso	Hrs. Operativas	Objetivo
112	Perforación Auxiliar (Cáncamo, Cachorro)	Hrs. Operativas	Objetivo
113	Otros Trabajos	Hrs. Operativas	Objetivo
200	Charla de Seguridad	Hrs. Disponibles	No Evitables
201	Reparto de Guardia	Hrs. Disponibles	No Evitables
202	Recojo de Brocas	Hrs. Disponibles	No Evitables
203	Traslado de Personal_labor	Hrs. Disponibles	No Evitables
204	Chequeo de Equipo	Hrs. Disponibles	No Evitables
205	Traslado de labor_comedor	Hrs. Disponibles	No Evitables
206	Refrigerio/Almuerzo	Hrs. Disponibles	No Evitables
207	Traslado de comedor_labor	Hrs. Disponibles	No Evitables
208	Mantenimiento Programado	Hrs. Disponibles	No Evitables
209	Instalación del Equipo en Labor (Agua, Energía)	Hrs. Disponibles	No Evitables
210	Desinstalación del Equipo	Hrs. Disponibles	No Evitables
211	Orden y Limpieza	Hrs. Disponibles	No Evitables
212	Preparación de Labor (Ubicación de Taladros)	Hrs. Disponibles	No Evitables
213	Fin de Guardia	Hrs. Disponibles	No Evitables
214	Ingreso de Personal	Hrs. Disponibles	No Evitables
301	Espera de Mecánicos	Mantenimiento	Mantenimiento
302	Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento	Mantenimiento
303	Mantenimiento Correctivo Eléctrico	Mantenimiento	Mantenimiento
304	Mantenimiento Correctivo Mecánico	Mantenimiento	Mantenimiento
401	Lavado de Equipo	Hrs. Disponibles	No Evitables
402	Abastecimiento de Combustible	Hrs. Disponibles	No Evitables
501	Esperando Orden de Trabajo	Hrs. Disponibles	Evitables
502	Falta de Labor (Limpieza, Marcado, Obstrucción)	Hrs. Disponibles	Evitables
503	Falta de Operador	Hrs. Disponibles	Evitables
504	Apoyo (Carguío, Limpieza, Desate)	Hrs. Disponibles	Evitables
505	Falta de Sostenimiento	Hrs. Disponibles	Evitables
506	Falta de Aceros	Hrs. Disponibles	Evitables
507	Falta de Agua, Instalación de tuberías	Hrs. Disponibles	Evitables
508	Falta de Estandarización de Labor	Hrs. Disponibles	Evitables
509	Falta de Energía	Hrs. Disponibles	Evitables
510	Falta de Iluminación	Hrs. Disponibles	Evitables
511	Falta de Ventilación	Hrs. Disponibles	Evitables
512	Falta de Presión de agua, aire	Hrs. Disponibles	Evitables
513	Falta de marcado de Malla de Perforación	Hrs. Disponibles	Evitables
514	Reparación de Mangas de Ventilación	Hrs. Disponibles	Evitables
515	Obstrucción de Vías con Material/Equipo	Hrs. Disponibles	Evitables
516	StandBy	Hrs. Disponibles	Evitables
517	Otras Demoras	Hrs. Disponibles	Evitables
601	Trancado y Recuperación de Aceros	Hrs. Disponibles	Evitables
602	Rotura de Aceros	Hrs. Disponibles	Evitables
603	Perforación para Drenaje de Agua	Hrs. Operativas	Objetivo
604	Perforación de Servicios Eléctricos	Hrs. Operativas	Objetivo

Anexo J. Control de tiempo actividad de perforación de taladros largos.

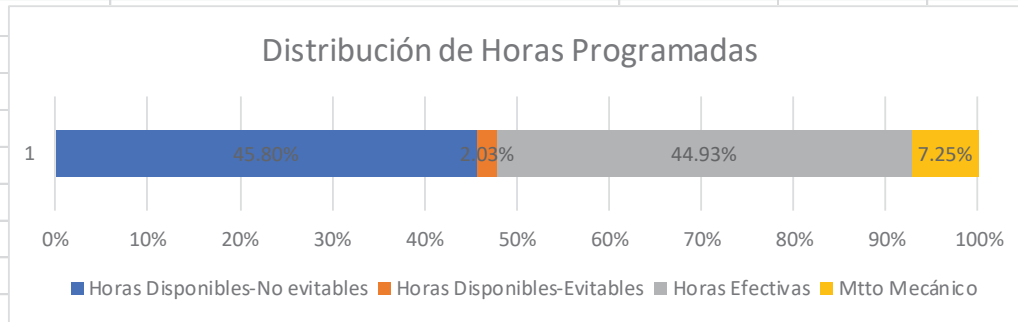
Codigo	Hora_Inicial	Hora_Final	Actividad	Clasificacion	Sub_Clasificacion	Hora_Actividad
200	07:00	07:50	Charla de Seguridad	Hrs. Disponibles	No Evitables	0.83
201	07:50	08:17	Reparto de Guardia	Hrs. Disponibles	No Evitables	0.45
202	08:17	08:28	Recojo de Brocas	Hrs. Disponibles	No Evitables	0.18
203	08:28	08:57	Traslado de Personal_labor	Hrs. Disponibles	No Evitables	0.48
204	08:57	09:15	Chequeo de Equipo	Hrs. Disponibles	No Evitables	0.30
304	09:15	10:05	Mantenimiento Correctivo Mecánico	Mantenimiento	Mantenimiento	0.83
106	10:05	11:37	Perforación en Abanico (Positivo)	Hrs. Operativas	Objetivo	1.53
205	11:37	11:55	Traslado de labor_comedor	Hrs. Disponibles	No Evitables	0.30
206	11:55	12:40	Refrigerio/Almuerzo	Hrs. Disponibles	No Evitables	0.75
207	12:40	13:03	Traslado de comedor_labor	Hrs. Disponibles	No Evitables	0.38
509	13:03	13:17	Falta de Energía	Hrs. Disponibles	Evitables	0.23
106	13:17	14:15	Perforación en Abanico (Positivo)	Hrs. Operativas	Objetivo	0.97
113	14:15	14:25	Otros Trabajos	Hrs. Operativas	Objetivo	0.17
106	14:25	16:55	Perforación en Abanico (Positivo)	Hrs. Operativas	Objetivo	2.50
401	16:55	17:04	Lavado de Equipo	Hrs. Disponibles	No Evitables	0.15
210	17:04	17:07	Desinstalación del Equipo	Hrs. Disponibles	No Evitables	0.05
213	17:07	18:30	Fin de Guardia	Hrs. Disponibles	No Evitables	1.38

Anexo K. Control de tiempo en perforación de taladros largos.

N° Fila	N° Taladro	Angulo	Diametro [mm]	Longitud Perforación [m]	N° Barras	Tiempo Posicionamiento [min]	Tiempo Perforación [min]	Retorno Barras [min]	Ciclo Perforación [h]	Penetración [m/min]
6	4	54°	89	5.24	3b + 0.74m	0.67	5.90	1.60	0.14	0.89
6	3	36°	89	3.75	2b + 0.75m	0.67	4.10	1.00	0.10	0.91
6	2	14°	89	3.14	2b + 0.14m	0.83	3.20	1.60	0.09	0.98
6	1	5°	89	3.24	2b + 0.24m	0.67	3.75	0.67	0.08	0.86
6	9	85°	89	12.05	8b + 0.05m	0.82	14.67	4.15	0.33	0.82
6	10	77°	89	12.31	8b + 0.31m	0.83	13.20	4.03	0.30	0.93
6	11	68°	89	9.16	6b + 0.16m	1.18	10.15	2.22	0.23	0.90
6	12	54°	89	5.24	3b + 0.74m	0.88	5.62	1.60	0.14	0.93
6	13	36°	89	3.75	2b + 0.75m	1.08	4.17	0.37	0.09	0.90
6	14	14°	89	3.14	2b + 0.14m	1.23	3.45	0.75	0.09	0.91
6	15	5°	89	3.24	2b + 0.24m	0.67	3.38	0.83	0.08	0.96
7	8	90°	89	12.00	8b	1.08	13.33	4.27	0.31	0.90
7	7	85°	89	12.05	8b + 0.05m	0.67	14.75	4.02	0.32	0.82
7	6	77°	89	12.31	8b + 0.31m	0.67	13.38	4.18	0.30	0.92
7	5	68°	89	9.16	6b + 0.16m	0.67	9.40	2.50	0.21	0.97
7	4	54°	89	5.24	3b + 0.74m	0.83	5.50	1.60	0.13	0.95
7	3	36°	89	3.75	2b + 0.75m	0.92	4.25	0.58	0.10	0.88
7	2	14°	89	3.14	2b + 0.14m	0.75	3.92	0.65	0.09	0.80
7	1	5°	89	3.24	2b + 0.24m	0.67	3.58	0.50	0.08	0.90
7	9	85°	89	12.05	8b + 0.05m	0.83	13.50	3.97	0.31	0.89
7	10	77°	89	12.31	8b + 0.31m	0.67	14.35	4.08	0.32	0.86
7	11	68°	89	9.16	6b + 0.16m	0.75	9.92	3.00	0.23	0.92
7	12	54°	89	5.24	3b + 0.74m	0.67	5.33	3.08	0.15	0.98
7	13	36°	89	3.75	2b + 0.75m	1.08	3.83	0.53	0.09	0.98
7	14	14°	89	3.14	2b + 0.14m	1.23	3.85	0.42	0.09	0.82
7	15	5°	89	3.24	2b + 0.24m	0.67	3.38	0.50	0.08	0.96

Anexo L. Resultados en perforación de taladros largos con 89mm.

	Horas Programadas	11.50	
	Metros Perforados por Guardia	175.00	
	Promedio de Flota	Porcentaje	Horas
	Horas Disponibles-No evitables	45.80%	5.27
	Horas Disponibles-Evitables	2.03%	0.23
	Horas Efectivas	44.93%	5.17
	Mtto Mecánico	7.25%	0.83
	TOTAL	100%	11.50



Etiquetas de fila	Total Horas
Hrs. Disponibles	5.50
Evitables	0.23
Falta de Energía	0.23
No Evitables	5.27
Charla de Seguridad	0.83
Chequeo de Equipo	0.30
Desinstalación del Equipo	0.05
Fin de Guardia	1.38
Lavado de Equipo	0.15
Recojo de Brocas	0.18
Refrigerio/Almuerzo	0.75
Reparto de Guardia	0.45
Traslado de comedor_labor	0.38
Traslado de labor_comedor	0.30
Traslado de Personal_labor	0.48
Hrs. Operativas	5.17
Objetivo	5.17
Otros Trabajos	0.17
Perforación en Abanico (Positivo)	5.00
Mantenimiento	0.83
Mantenimiento	0.83
Mantenimiento Correctivo Mecánico	0.83
Total general	11.50

Anexo M. Litología del TJ1553 del Nv3986-Nv4012.

