

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**Estudio técnico - económico en el diseño de la distribución de
cortadores de Ø2.4m a Ø2.7m del Reamer en la máquina Raise
Boring RBM 6 en el Nv. 1965 CH 2682RB – “Consortio Minero
Horizonte S.A.” – U P Parcoy – 2020**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Bach. Luis Ángel HÚNGARO MELGAREJO

Asesor:

Ing. Toribio GARCÍA CONTRERAS

Cerro de Pasco – Perú – 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**Estudio técnico - económico en el diseño de la distribución de
cortadores de Ø2.4m a Ø2.7m del Reamer en la máquina Raise
Boring RBM 6 en el Nv. 1965 CH 2682RB – “Consortio Minero
Horizonte S.A.” – U P Parcoy – 2020**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

**Mg., Edwin Elias SANCHEZ ESPINOZA
PRESIDENTE**

**Mg., Silvestre Fabián BENAVIDES CHAGUA
MIEMBRO**

**Ing. Julio César SANTIAGO RIVERA
MIEMBRO**



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión
Facultad de Ingeniería de Minas
Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N°149-JUIFIM-2023

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión ha realizado el análisis con exclusiones en el Software Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Presentado por:

Bachiller: Luis Ángel HÚNGARO MELGAREJO

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería de Minas

Tipo de trabajo:

Tesis

"ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO EN EL DISEÑO DE LA DISTRIBUCIÓN DE CORTADORES DE Ø2.4M A Ø2.7M DEL REAMER EN LA MÁQUINA RAISE BORING RBM 6 EN EL NV. 1965 CH 2682RB – CONSORCIO MINERO HORIZONTE S.A. - U P PARCOY – 2020"

Asesor:

Ing. Toribio GARCIA CONTRERAS

Índice de Similitud: 03%

Calificativo

APROBADO

Se adjunta al presente el informe y el reporte de evaluación del software similitud.

Cerro de Pasco, 17 de noviembre del 2023

Dr. Agustin Arturo AGUIRRE ADAUTO
JEFE DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

DEDICATORIA

A mi madre por ser el principal soporte en todo lo que soy, tanto académica, como en la vida; por su gran sacrificio, hoy logro alcanzar mi meta.

A mis, hermanos, familiares y amigos, quienes me acompañaron durante estos años de formación universitaria y ejercicio profesional, apoyándome, aconsejándome y brindándome su incondicional afecto y valores.

AGRADECIMIENTO

Mi gratitud a la empresa XTRATA UNDERGROUND SOLUTIONS – PERÚ; en especial al Gerente General de la citada empresa por haberme permitido desarrollar esta investigación dentro de sus instalaciones y a la vez agradezco al Gerente de Operaciones de la misma. Quienes me brindaron todo su apoyo para la materialización de este trabajo de investigación.

Mi gratitud a todos los docentes de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión; sus enseñanzas contribuyen en la formación de nuevos profesionales, en el campo minero

Además; de ello mi gratitud a la “Compañía Minera Consorcio Minero Horizonte S.A.” al área de planeamiento por brindarnos la información necesaria para el desarrollo esta investigación.

RESUMEN

El presente estudio de investigación trata del Diseño y Estudio Técnico-Económico de la Distribución de Cortadores de $\varnothing 2.4\text{m}$ a $\varnothing 2.7\text{m}$ del Reamer en la Máquina Raise Boring RBM 6 – “Consortio Minero Horizonte S.A.” – 2020; para dicho estudio se han diseñado 3 posibles escenarios los cuales han sido simulados acorde a los estándares del perfil del escariador (The Reamer Profiler): altura, radio (anillos de corte) y ángulo del portacortador sobre el escariador en la perforación Raise Boring; los resultados obtenidos de las simulaciones demuestran que es factible el Diseño del Reamer Proyectado de $\varnothing 2.7\text{m}$; con un Reamer Existente de $\varnothing 2.4\text{m}$ demostrando el escenario que más se ajusta a las exigencias de rimado optadas por el cliente ($\varnothing 2.7\text{m}$); el cual es un diámetro admisible del Reamer de $\varnothing 2.727\text{m}$.

El objetivo básico de este estudio es desarrollar modelos empíricos para predecir el comportamiento del Reamer Proyectado de $\varnothing 2.727\text{m}$ durante la ejecución de la chimenea CH2682RB, utilizando las propiedades físico - mecánicas del macizo rocoso y los parámetros operativos del Método Raise Boring en la perforación de la chimenea con inclinación vertical de (90°); así mismo, podrían ser utilizados en las etapas de viabilidad operativa del proyecto.

La distribución geométrica de los Cortadores para la fabricación de un Reamer Proyectado de $\varnothing 2.727\text{m}$ con un Reamer Existente de $\varnothing 2.4\text{m}$; está directamente relacionada con el coste, la seguridad y el rendimiento durante la ejecución del proyecto.

De acuerdo a los estándares del Reamer Profiler (perfil del escariador); en relación a la distribución de cortadores se planteó el escenario más adecuado para el rimado de acuerdo al diámetro de operación(\varnothing) de la chimenea CH2682RB. Por ende; para poder hacer frente a las condiciones Geomecánicas – Geotécnicas de la chimenea CH2682RB, la geometría de corte del cabezal del Reamer se puede realizar mediante el Escenario

N°0001; dicho escenario se adapta a las condiciones estructurales del macizo rocoso prevaleciente y optimiza la tasa de avance y la vida útil de los componentes. Se muestran a continuación, las características del Escenario N°0001:

- Con un Reamer Proyectado de $\text{Ø}2.727\text{m}$; está pronosticado trabajar con 14 cortadores (Cortadores: 5 filas y 4 filas); el diseño en si no significará un aumento de cortadores, en relación al Reamer existente de $\text{Ø}2.4\text{m}$; la variación más relevante es la distribución de los mismos. Con el modelo planteado no se estima el incremento del efecto péndulo durante el Rimado Controlado; del cual se pronostica trabajar con 2 Portacortador Tipo Gauge (Posiciones N°13 y N°14)
- El Escenario N° 0001 demostró los resultados más favorables para la ejecución del Reamer Proyectado de $\text{Ø}2.727\text{m}$. Mediante este diseño se espera una reducción consecuente y significativa de los costos de fabricación del Reamer Proyectado de $\text{Ø}2.727\text{m}$.

Palabras Claves: Diseño y Estudio Técnico - Económico de la Distribución de Cortadores, Optimización.

ABSTRACT

The present investigation details the Design and Technical-Economic Study of the Distribution of Cutters from $\varnothing 2.4\text{m}$ to $\varnothing 2.7\text{m}$ of the Reamer in the Raise Boring Machine RBM 6 - Consorcio Minero Horizonte S.A. – 2020; For this study, 3 possible scenarios have been designed, which have been simulated according to the standards of the reamer profile (The Reamer Profiler): height, radius (cutting rings) and angle of the cutter holder on the reamer in Raise Boring drilling; the results obtained from the simulations show that the Projected Reamer Design of $\varnothing 2.7\text{m}$ is feasible; with an Existing Reamer of $\varnothing 2.4\text{m}$ demonstrating the scenario that best suits the reaming requirements chosen by the client ($\varnothing 2.7\text{m}$); which is an allowable diameter of the Reamer of $\varnothing 2.727\text{m}$.

The basic objective of this study is to develop empirical models to predict the behavior of the Projected Reamer of $\varnothing 2.727\text{m}$ during the execution of the CH2682RB chimney, using the physical-mechanical properties of the rock mass and the operational parameters of the Raise Boring Method in the drilling of the chimney with vertical inclination of (90°); likewise, they could be used in the operational feasibility stages of a project.

The geometric distribution of the Cutters for the manufacture of a Projected Reamer of $\varnothing 2.727\text{m}$ with an Existing Reamer of $\varnothing 2.4\text{m}$; it is directly related to the cost, security and performance during the execution of the project.

According to the standards of the Reamer Profiler (reamer profile); In relation to the distribution of cutters, the most appropriate scenario for reaming was proposed according to the operating diameter (\varnothing) of the CH2682RB chimney. Therefore; in order to face the Geomechanical – Geotechnical conditions of the CH2682RB chimney, the cutting geometry of the Reamer head can be carried out using Scenario N°0001; such a scenario

adapts to the prevailing rock mass structural conditions and optimizes the rate of advance and the useful life of the components. The characteristics of Scenario No. 0001 are shown below:

- With a Projected Reamer of $\text{Ø}2.727\text{m}$; it is forecast to work with 14 cutters (Cutters: 5 rows and 4 rows); the design itself will not mean an increase in cutters, in relation to the existing $\text{Ø}2.4\text{m}$ Reamer; the most relevant variation is their distribution. With the proposed model, the increase in the pendulum effect during Controlled Reaming is not estimated; which is expected to work with 2 Gauge Type Cutter Holders (Positions No. 13 and No. 14)
- Scenario No. 0001 showed the most favorable results for the execution of the Projected Reamer of $\text{Ø}2,727\text{m}$. Through this design, a consequent and significant reduction in manufacturing costs of the $\text{Ø}2.727\text{m}$ Projected Reamer is expected.

Key words: Design and Technical - Economic Study of the Distribution of Cutters Optimization

INTRODUCCIÓN

De acuerdo a las condiciones de excavaciones subterráneas; la ejecución de ejes verticales y/o inclinados entre dos niveles son desarrollados para suministrar aire limpio, transporte de personas y/o materiales y extracción de minerales.

La Metodología Raise Boring representa la mejor alternativa en el desarrollo de ejes verticales y/o inclinados en diversos campos de la construcción subterránea y adecuada para todo tipo de excavaciones; sin embargo, los costos de instalación y operación son más altos en comparación con la Metodología Convencional.

El presente estudio investigativo trata, de acuerdo a la situación actual, del sistema de ventilación de la mina “Consortio Minero Horizonte S.A.”; la necesidad de ejecutar una chimenea denominado CH2682RB que verticalmente presenta una longitud de 179 metros y un diámetro óptimo de operación 2.7m, en el Nv. 1965; el cual se realizará con la tecnología Raise Boring (RBM), la ejecución de la misma tiene como finalidad mejorar las condiciones ambientales actuales y/o proyectadas de la mina, suministrando aire limpio con el mínimo de contaminantes.

Dado lo anterior, la empresa XTRATA UNDERGROUND SOLUTIONS ejecutora de la CH2682RB dentro de los componentes de la maquina Raise Boring RBM 6 que dispone, no cuenta con un Reamer de Ø2.7m. Por ende, se procederá al Estudio Técnico - Económico en el Diseño de la Distribución de Cortadores del Reamer Existente de Ø2.4m a un Reamer Proyectado de Ø2.7m.

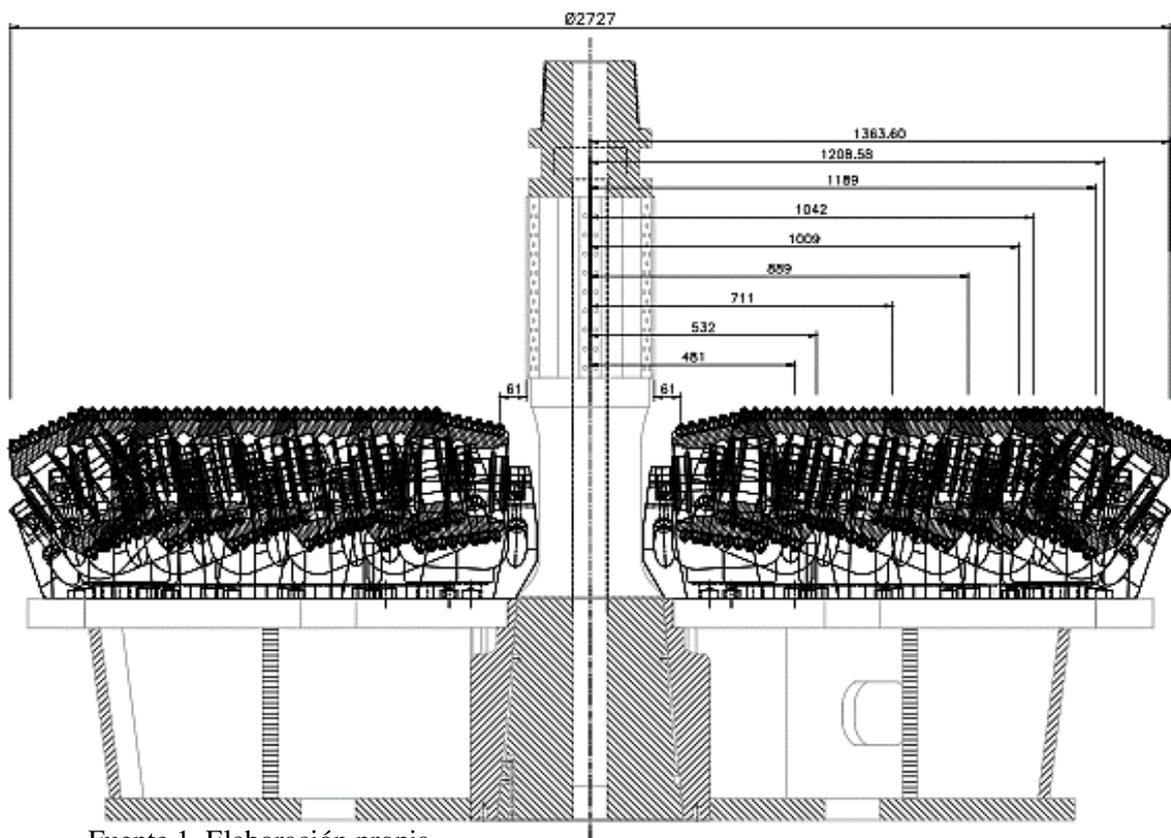
Para dicho estudio se ha diseñado 3 posibles escenarios los cuales han sido simulados acorde a los estándares del perfil del escariador (The Reamer Profiler): altura, radio (anillos de corte) y ángulo del portacortador sobre el escariador en la perforación Raise Boring; los resultados obtenidos de las simulaciones demuestran que es factible el Diseño del Reamer Proyectado de Ø2.7m; con un Reamer Existente de Ø2.4m

demostrando el escenario que más se ajusta a las exigencias de rimado optadas por el cliente ($\text{Ø}2.7\text{m}$); el cual es un diámetro admisible del Reamer de $\text{Ø}2.727\text{m}$.

Los resultados de los Escenarios planteados del Reamer Proyectoado de $\text{Ø}2.727\text{m}$; demuestran que se obtienen modelos confiables para el desarrollo de la chimenea CH2682RB

Por lo tanto, el desarrollo de un Reamer adaptable al diámetro de trabajo de $\text{Ø}2.727\text{m}$ garantizara la perforación a lo largo del eje de excavación, el cual es un tema importante del Método Raise Boring. Donde, el diámetro de excavación del Reamer está directamente relacionada con el coste, la seguridad y el rendimiento general del proyecto.

Figura 1. Reamer Proyectoado de $\text{Ø}2.7\text{m}$ – Diámetro Admisible de Corte 2.727m – Dressing Distribución de Cortadores



Fuente 1. Elaboración propia

Figura 2. Reamer Proyectado de $\text{Ø}2.7\text{m}$ – Diámetro Admisible de Corte 2.727m - Dressing Distribución de Cortadores



Fuente 2. Elaboración propia

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE GRÁFICOS

ÍNDICE DE ANEXOS

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y Determinación del Problema	1
1.2.	Delimitaciones de la Investigación	3
1.2.1.	Formulación Delimitación Espacial	3
1.2.2.	Delimitación Temporal	18
1.3.	Formulación del Problema	18
1.3.1.	Problema General	18
1.3.2.	Problema Específico	18
1.4.	Objetivos de la Investigación	19
1.4.1.	Objetivos Generales	19
1.4.2.	Objetivos Específicos	19
1.5.	Justificación de la Investigación	19
1.6.	Limitaciones de La Investigación.	20

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de la Investigación	21
2.1.1.	A nivel internacional	21
2.1.2.	A nivel nacional	22
2.2.	Bases Teóricas - Científicas	23
2.2.1.	Raise Boring	23
2.2.2.	Antecedentes	23
2.2.3.	Tipos de Raise Boring	24

2.2.4.	Preparación del Emplazamiento y Transporte de Equipos	25
2.2.5.	Principios de Excavación	27
2.2.6.	Evacuación de los Detritus.....	30
2.2.7.	Escariado al Diámetro Final.....	31
2.2.8.	Cabeza del Escariador	31
2.2.9.	Cortadores	32
2.2.10.	Tipo de Cortadores	33
2.2.11.	Sarta de Perforación y Estabilizadores.....	34
2.2.12.	Costes de Perforación con Raise Boring.....	35
2.2.13.	Parámetros de Operación.	35
2.2.14.	Modelos Empíricos de Predicción de la Velocidad de Perforación	37
2.3.	Definición de Términos Básicos	39
2.3.1.	Raise Boring:.....	39
2.3.2.	Máquina Raise Borer:	40
2.3.3.	Máquina Raise Boring (RBM 6).....	40
2.3.4.	Barras de perforación	41
2.3.5.	Escariador.....	42
2.3.6.	Cortador.....	42
2.3.7.	Stembar	43
2.3.8.	Estabilizador de escariado.....	44
2.3.9.	Crossover.....	44
2.4.	Formulación de la Hipótesis	45
2.4.1.	Hipótesis General	45
2.4.2.	Hipótesis Específico.....	45
2.5.	Identificación de Variables	45
2.5.1.	Variable Independiente	45
2.5.2.	Variable Dependiente.....	45
2.6.	Definición Operacional de variables e indicadores.....	46

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de Investigación.....	47
3.2.	Nivel de Investigación	47
3.3.	Método de Investigación.....	48
3.4.	Diseño de Investigación	48
3.5.	Población y Muestra de la Investigación	48

3.5.1. Población.....	48
3.5.2. Muestra.....	49
3.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	49
3.6.1. Técnicas.....	49
3.6.2. Instrumentos	49
3.7. Selección, Validación y Confiabilidad de los Instrumentos de Investigación	49
3.7.1. Selección	49
3.7.2. Validación	50
3.7.3. Confiabilidad.....	50
3.8. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos	53
3.8.1. Técnicas de Procesamiento	53
3.8.2. Análisis de Datos.....	54
3.9. Tratamiento Estadístico.....	54
3.10. Orientación Ética Filosófica y Epistémica.....	54

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del Trabajo de Campo.....	56
4.1.1. Estudio Geomecánico de la CH2682RB	56
4.1.2. Confiabilidad del Instrumento.....	61
4.1.3. Diseño Geométrico del Reamer Proyectado de Ø2.7M	62
4.1.4. Estudio Económico de la CH2682RB.....	65
4.2. Presentación, Análisis e Interpretación de Resultados.....	72
4.2.1. Principales Parámetros Técnicos.....	72
4.2.2. Escenarios Planteados para el Diseño del Reamer Proyectado de Ø2.7M.....	75
4.3. Prueba de la Hipótesis.....	93
4.3.1. Análisis Técnico de Escenarios para el Reamer Proyectado de Ø2.7M	94
4.4. Discusión de Resultados	97
4.4.1. Planificación – Consideraciones Generales del Reamer Proyectado de Ø2.7m.....	97
4.4.2. Diseño Geométrico del Reamer Proyectado de Ø2.7m	98
4.4.3. Parámetros Operativos de la Máquina Raise Boring RBM 6	100
4.4.4. Costes del Diseño Geométrico del Reamer Proyectado de Ø2.7M	104
4.4.5. Metodología Constructiva del Reamer Proyectado de Ø2.7M	106
4.4.6. Control y Ajuste durante el Rimado Controlado CH2682RB.....	114

CONCLUSIONES
RECOMENDACIONES
BIBLIOGRAFÍA
ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación Mina U.P. Parcoy - Consorcio Minero Horizonte S.A.	3
Tabla 2. Acceso vía terrestre Consorcio Minero Horizonte S.A.	4
Tabla 3. Acceso vía aérea Consorcio Minero Horizonte S.A.	4
Tabla 4. Relación entre el Ø de Barras & el Ø del Tricono	25
Tabla 5. Índices RBI.....	39
Tabla 6. Operacionalización de Variable Independiente.....	46
Tabla 7. Operacionalización de Variable Dependiente	46
Tabla 8. RMR Básico	59
Tabla 9. RMR Corregido.....	60
Tabla 10. Índice Q - BARTON	61
Tabla 11. Distribución de Cortadores y Ejes de Corte en el Reamer Existente de Ø2.4m	63
Tabla 12. Precios Unitarios del Proyecto Raise Boring CH2682RB	66
Tabla 13. Repuestos y Accesorios para la Perforación Rimado Ø2.7M	68
Tabla 14. Coste Cortadores y Accesorios Coste Reamer Ø2.7M - RBM 6 del Proyecto CH2682RB.....	69
Tabla 15. Cronograma de Ejecución del Proyecto Raise Boring CH2682RB	70
Tabla 16. Distribución de Cortadores del Reamer Proyectado Ø2.7M - Escenario N°0001 y Ejes de corte en el Reamer	75
Tabla 17. Reamer Proyectado de Ø2.7m – Distribución de Cortadores	77
Tabla 18. Coste Reamer Proyectado Ø2.7M - RBM 6 - Escenario N°0001	81
Tabla 19. Distribución de Cortadores del Reamer Proyectado Ø2.7M - Escenario N°0002 y Ejes de corte en el Reamer	83
Tabla 20. Reamer Proyectado de Ø2.7m – Distribución de Cortadores Escenario N° 0002.....	85
Tabla 21. Coste Reamer Proyectado Ø2.7M - RBM 6 - Escenario N°0002	87

Tabla 22. Distribución de Cortadores del Reamer Proyectado Ø2.7M - Escenario N°0003 y Ejes de corte en el Reamer	88
Tabla 23. Reamer Proyectado de Ø2.7m – Distribución de Cortadores Escenario N° 0003.....	91
Tabla 24. Coste Reamer Proyectado Ø2.7M - RBM 6 - Escenario N°0003	92
Tabla 25. Análisis Estadístico del Diseño Experimental para el Reamer Proyectado de Ø2.7M	96
Tabla 26. Selección del Tipo de Cortadores.....	99
Tabla 27. Distribución de Cortadores del Reamer Proyectado Ø2.7M - Escenario N°0001 y Ejes de corte en el Reamer	100
Tabla 28. Parámetros Operativos Método Raise Boring.....	102
Tabla 29. Performance de los Escenarios Planteados del Reamer Proyectado Ø2.7M	105
Tabla 30. Cálculo de la Carga del Cortador en el Reamer Proyectado 2.7M.....	107
Tabla 31. Distribución de Cortadores del Reamer Proyectado Ø2.7M - Escenario N°0001 y Ejes de corte en el Reamer	108
Tabla 32. Distribución de Cortadores Reamer Proyectado 2.727M - CMH	112
Tabla 33. Distribución de Cortadores Escenario N° 0001	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Reamer Proyectado de Ø2.7m – Diámetro Admisible de Corte 2.727m – ...	viii
Figura 2. Reamer Proyectado de Ø2.7m – Diámetro Admisible de Corte 2.727m - Dressing Distribución de Cortadores	ix
Figura 3. Ubicación y Vías de Acceso de la Mina U.P. Parcoy - Consorcio Minero Horizonte S.A.....	5
Figura 4. Columna Estratigráfica en el Cuadrángulo de Pataz.....	8
Figura 5. Columna Estratigráfica en el Cuadrángulo de Pataz – Maquina Raise Boring RBM6.....	9
Figura 6. Mapa Geológico de Consorcio Minero Horizonte	13
Figura 7. Secciones Transversales del Distrito de Pataz	15
Figura 8. Estudio Geomecanico - Logueo Sondaje Diamantino SF – 2777301.....	17
Figura 9. Cortador de Disco	33
Figura 10. Cortadores de Rodillo de Insertos de Carburo	34
Figura 11. Principio de Excavación: Piloto - Rimado.....	40
Figura 12. Máquina Raise Boring RBM 6.....	41
Figura 13. Barras de Perforación.....	41
Figura 14. Reamer Ø2.727M.....	42
Figura 15. Cortadores: 5 Filas y 4 Filas	43
Figura 16. Stembar Ø279mm	43
Figura 17. Estabilizador de Rimado.....	44
Figura 18. Cross Over.....	44
Figura 19. Diseño de la Investigación	48
Figura 20. Distribución de cortadores expansión del Reamer de Ø4.5m a Ø5m –	51
Figura 21. Vista Isométrica de la Distribución de cortadores expansión Reamer de Ø4.5m a Ø5m – Proyecto Oz Minerals.....	52

Figura 22. Distribución de cortadores expansión Reamer e Ø5.5m a Ø5.62m – Proyecto Pique Circular Minera Alpayana.....	52
Figura 23. Vista Isométrica de la Distribución de cortadores expansión Reamer de Ø5.5m a Ø5.62m – Proyecto Pique Circular Minera Alpayana.....	53
Figura 24. Logueo Sondaje Diamantino SF – 2777301	58
Figura 25. Ejes de Corte del Reamer Existente Ø2.4M	63
Figura 26. Modelo Computacional del Reamer Existente Ø2.4M	64
Figura 27. Reamer Existente Ø2.4M.....	64
Figura 29. Reamer Existente Ø2.4M.....	64
Figura 30. Ejes de Corte del Reamer Proyectado Ø2.7M - Escenario N°0001	76
Figura 31. Ejes de Corte del Reamer Proyectado Ø2.7M - Escenario N°0001	76
Figura 31. Ejes de Corte del Reamer Proyectado Ø2.7M - Escenario N°0001	76
Figura 32. Modelo Computacional del Reamer Proyectado - Escenario N0001	77
Figura 33. Reamer Proyectado de Ø2.7m – Distribución de Cortadores Escenario N° 0001.....	78
Figura 34. Reamer Proyectado de Ø2.7m – Diámetro Admisible de Corte 2.727m - Dressing Distribución de Cortadores	79
Figura 35. Reamer Proyectado de Ø2.7m – Diámetro Admisible de Corte 2.727m - Dressing Distribución de Cortadores	80
Figura 36. Ejes de Corte del Reamer Proyectado Ø2.7M - Escenario N°0002.....	84
Figura 37. Ejes de Corte del Reamer Proyectado Ø2.7M - Escenario N°0002.....	84
Figura 37. Ejes de Corte del Reamer Proyectado Ø2.7M - Escenario N° 0002.....	84
Figura 38. Modelo Computacional del Reamer Proyectado Ø2.7m –	85
Figura 39. Reamer Proyectado de Ø2.7m – Distribución de Cortadores Escenario N° 0002.....	86
Figura 40. Ejes de Corte del Reamer Proyectado Ø2.7M - Escenario N°0003.....	89
Figura 41. Modelo Computacional del Reamer Proyectado Ø2.7m – Escenario N0002	89

Figura 42. Ejes de Corte del Reamer Proyectado Ø2.7M - Escenario N°0003.....	90
Figura 43. Reamer Proyectado de Ø2.7m – Distribución de Cortadores Escenario N° 0003.....	91
Figura 44. Base Literaria para la Construcción Geométrica de la Distribución de Cortadores del Reamer Proyectado de Ø2.7m.....	94
Figura 45. Estándares del Reamer Profiler.....	95
Figura 46. Distribución de Cortadores en Base al Ø2.7M de la Chimenea CH2682RB	98
Figura 47. Escenario N0001 para el Diseño Geometrico del Reamer Proyectado de Ø2.727M.....	99
Figura 48. Identificación de Ejes de Corte del Reamer Proyectado Ø2.7M - Escenario N°0001.....	108
Figura 49. Portacortador Tipo Middle Posiciones N°11 y N°12.....	109
Figura 50. Portacortador Tipo Gauge Posiciones N°13 y N°14.....	109
Figura 51. Reamer Proyectado de Ø2.7m – Distribución de Cortadores Escenario N° 0001.....	110
Figura 52. Expansión Reamer Existente de Ø2.4m – considerando Distribución de Cortadores del Reamer Proyectado de Ø2.7m.....	111
Figura 53. Expansión Reamer Existente de Ø2.4m – considerando Distribución de Cortadores del Reamer Proyectado de Ø2.7m.....	111
Figura 54. Montaje Reamer Proyectado 2.727m – CMH.....	112
Figura 55. Montaje Reamer Proyectado 2.727m – CMH.....	113
Figura 56. Montaje Reamer Proyectado 2.727m – CMH.....	113
Figura 57. Anillos de corte Programado – Ejecutado.....	115
Figura 59. Rimado Controlado de la Chimenea CH2682RB – Ejecutado.....	117
Figura 58. Rimado Controlado de la Chimenea CH2682RB – Proyectado.....	117
Figura 60. Reamer Proyectado 2.727m – CMH.....	120
Figura 61. Hilos Buttress - DI-22.....	123
Figura 62. Proyecto Excavación Chimenea CH2682RB.....	125

Figura 63. Velocidad de rotación y penetración controlada durante el rimado controlado
en la CH2682125

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. RMR Básico	60
Gráfico 2. SF277301 RMR Corregido	60
Gráfico 3. Índice Q - BARTON	61
Gráfico 4. Precios Unitarios del Proyecto Raise Boring CH2682RB	67
Gráfico 5. Repuestos y Accesorios para la Perforación Rimado Ø2.7M	67
Gráfico 6. Coste de Cortadores y Accesorios del Reamer Ø2.7M - del Proyecto CH2682RB.....	69
Gráfico 7. Cronograma de Ejecución del Proyecto Raise Boring CH2682RB	71
Gráfico 8. Probabilidad de cumplir el Cronograma base del Proyecto Raise Boring CH2682RB.....	71
Gráfico 9. Coste Reamer Ø2.7M RBM 6 del Proyecto CH2682RB - Escenario N° 0001	82
Gráfico 10. Coste Reamer Ø2.7M RBM 6 del Proyecto CH2682RB - Escenario N° 0002.....	87
Gráfico 11. Coste Reamer Ø2.7M RBM 6 del Proyecto CH2682RB - Escenario N° 0003.....	93
Gráfico 12. Velocidad Máxima Recomendada del Cabezal de Escariado	101
Gráfico 13. Velocidad de Perforación del Reaming Ø2.7m en Función de la Resistencia de la Roca.....	102
Gráfico 14. Correlación entre los parámetros Torque - Empuje para Rocas de Tipo Medio a Dura	103
Gráfico 15. Costo de Excavación en Función del Empuje.....	104
Gráfico 16. Performance de los Escenarios Planteados del Reamer Proyectado Ø2.7M	105
Gráfico 17. Comparación de Consumibles de los Escenarios Planteados del.....	106
Gráfico 18. Capacidad de Operación del Equipo de Perforación RBM 6.....	124

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Precios Unitarios Taladro Piloto - Método Raise Boring	130
Anexo 2. Precios Unitarios Rimado - Método Raise Boring	131
Anexo 3. Especificaciones Técnicas del Material de Barras.....	132
Anexo 4. Principio de Excavación Método Raise Boring	133
Anexo 5. Principio de Excavación Método Raise Boring - Rimado.....	134
Anexo 6. Maquina Raise Boring RBM 6 - Atlantis	135
Anexo 7. Método Raise Boring - Reamer Profile	136
Anexo 8. Principio de Excavación Fase II - Fases de Rimado.....	137
Anexo 9. Principio de Excavacion Fase II - Rimado	138
Anexo 10. Expansión del Reamer Existente de Ø4.5M – Ø5M.....	139
Anexo 11. Expansión del Reamer Existente de Ø5.5M – Ø5.626M.....	140
Anexo 12. Expansión del Reamer Existente de Ø5.5M – Ø5.626M.....	141
Anexo 13. Distribución de Cortadores del Reamer Existente de Ø2.4M.....	142
Anexo 14. Distribución de Cortadores del Reamer Existente de Ø2.4M.....	143
Anexo 15. Ejes de Corte del Reamer Existente de Ø2.7m - Escenario N0001	144
Anexo 16. Distribución de Cortadores del Reamer Existente de Ø2.7m -Escenario N0001	145
Anexo 17. Distribución de Cortadores del Reamer Proyectado de Ø2.7m -Escenario N0001	146
Anexo 18. Diámetro Admisible de Corte 2.727m - Dressing Distribución de Cortadores	147
Anexo 19. Reamer Proyectado de Ø2.7m - Dressing Distribución de Cortadores	148
Anexo 20. Ejes de Corte Reamer Proyectado Ø2.7m - Escenario N0002	149
Anexo 21. Distribución de Cortadores Reamer Proyectado Ø2.7m - Escenario N0002	150
Anexo 22. Expansión Reamer Proyectado Ø2.7m - Escenario N0002	151

Anexo 23. Ejes de Corte Reamer Proyectado Ø2.7m - Escenario N0003	152
Anexo 24. Distribución de Cortadores Reamer Proyectado Ø2.7m - Escenario N0003	153
Anexo 25. Expansión Reamer Proyectado Ø2.7m - Escenario N0003	154
Anexo 26. Anillos de Corte Reamer Proyectado Ø2.7.....	155
Anexo 27. Reamer Proyectado de Ø2.7M.....	156
Anexo 28. Selección del Escenario N0001 para el Diseño Geométrico del Reamer Proyectado de Ø2.727M	157
Anexo 29. Anillos de Corte Reamer Proyectado Ø2.7 - Durante el Rimado Controlado	158
Anexo 30. Rimado Controlado en el RB CH2682	159
Anexo 31. Velocidad de rotación y penetración en el Rimado controlado de la CH2682	160
Anexo 32. Hilos Buttress - DI-22.....	161
Anexo 33. Pasaporte de la labor CH2682 NV 1965.....	162
Anexo 34. Matriz de Consistencia.....	163

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y Determinación del Problema

De acuerdo a las condiciones de excavaciones subterráneas; la ejecución de ejes verticales y/o inclinados entre dos niveles son necesarios para la actividad operativa; dichas construcciones son utilizados para suministrar aire limpio; transporte de personas y/o materiales y extracción de minerales.

El Método Raise Boring; representa la mejor alternativa en el desarrollo de excavación de ejes verticales y/o inclinados en proyectos mineros y de construcción civil en comparación con los métodos convencionales ligados a perforación y voladura.

El desarrollo minero y de construcción en Latinoamérica incluye en sus procesos el Método Raise Boring (RBM), dicha metodología desde su implementación, representa retos de ingeniería en cuanto al estudio de los principios de excavación parámetros de operación de las Máquinas Raise Boring (RBM); tanto en la Fase I (Pilotaje) y Fase II (Rimado); debido a las características geológicas y geotécnicas del macizo rocoso.

La implementación del Método Raise Boring en el Perú específicamente en el sector minero, ha contribuido a la solución de problemas de ventilación mediante el desarrollo de chimeneas (ejes verticales \varnothing inclinados); mediante estas construcciones se ha logrado mejorar las condiciones ambientales actuales \varnothing proyectadas de la mina, suministrando aire limpio con el mínimo de contaminantes.

En el Consorcio Minero Horizonte S.A., se necesita la ejecución de una chimenea en el Nv. 1965 (CH2682RB); con la tecnología Raise Boring (RBM), conforme a la información proporcionada por el Área de Ventilación C.M.H.S.A., se plantea la ejecución de una chimenea de ingreso de aire denominado CH2682RB, con una longitud vertical de 179 metros; siendo el diámetro óptimo de operación 2.7m. Por ello XTRATA UNDERGROUND SOLUTIONS planea ejecutar la chimenea con una maquina Raise Boring RBM 6; pero para la consecución de la Fase II (Rimado) de la chimenea no se cuenta con un Reamer de \varnothing 2.7m.

Dado lo anterior, la empresa XTRATA UNDERGROUND SOLUTIONS ejecutora de la CH2682RB dentro de los componentes de la maquina Raise Boring RBM 6 que dispone, no cuenta con un Reamer de \varnothing 2.7m. Por ende, se procederá al Estudio Técnico - Económico y Diseño de la Distribución de Cortadores del Reamer Existente de \varnothing 2.4m a un Reamer Proyectado de \varnothing 2.7m.

Además de ello; debido a la situación actual de la mina C.M.H.S.A, es necesario realizar dicho Estudio, con el fin de cubrir, la cobertura actual del sistema de ventilación que permita asegurar el confort de los trabajadores y mantener el ambiente a condiciones óptimas de las labores en interior mina.

1.2. Delimitaciones de la Investigación

1.2.1. Formulación Delimitación Espacial

El desarrollo del presente trabajo de investigación se realizó en las instalaciones de la empresa especializada Xtrata Underground Solutions y análisis y seguimiento en campo dentro de la mina Consorcio Minero Horizonte S.A. – U.P. Parcoy; específicamente en la CH2682 del Nv. 1965, durante el periodo de setiembre del 2020 a febrero del 2021.

1.2.1.1. Generalidades de la Mina

1.2.1.1.1. Ubicación

La mina aurífera U.P. Parcoy de Consorcio Minero Horizonte S.A. se encuentra ubicada en el anexo de Retamas, distrito de Parcoy, provincia de Pataz, Departamento de La Libertad, a una altitud que fluctúa entre los 2600 y 3200 m.s.n.m; enmarcada dentro de las siguientes coordenadas:

Tabla 1. Ubicación Mina U.P. Parcoy - Consorcio Minero Horizonte S.A.

COORDENADAS GEOGRÁFICAS			COORDENADAS UTM	
Longitud	72° 28' 00"	Oeste	9 108 500	Norte
Latitud	08° 01' 00"	Sur	230 500	Este

Fuente 3. Elaboración Propia

La mina se localiza a 1160 km hacia el Norte de Lima en el Flanco Oriental de la Cordillera de los Andes, perteneciendo a la Cuenca Hidrográfica del Maraón, según el Instituto Geológico de la "Hoja de Tayabamba" (17-I) de la Carta Geológica; muy cerca a los poblados de Retamas, La Soledad, Parcoy, Lúcumas y Llacuabamba. (Quispe, 2019, p. 44)

1.2.1.1.2. Accesibilidad

Por Vía Terrestre, según la siguiente tabla

Tabla 2. Acceso vía terrestre Consorcio Minero Horizonte S.A.

CIUDAD		DISTANCIA	
DE	A		
Lima	Trujillo	560	Km
Trujillo	Chagual	40	Km
Chagual	Retamas	40	Km

Fuente 4. Elaboración Propia

Por Vía Aérea: A través del aeródromo que se encuentra en la playa de la “Laguna de Pías”; y es el siguiente:

Tabla 3. Acceso vía aérea Consorcio Minero Horizonte S.A

CIUDAD	
DE	A
Lima	Pias
Lima	Trujillo
Trujillo	Pias

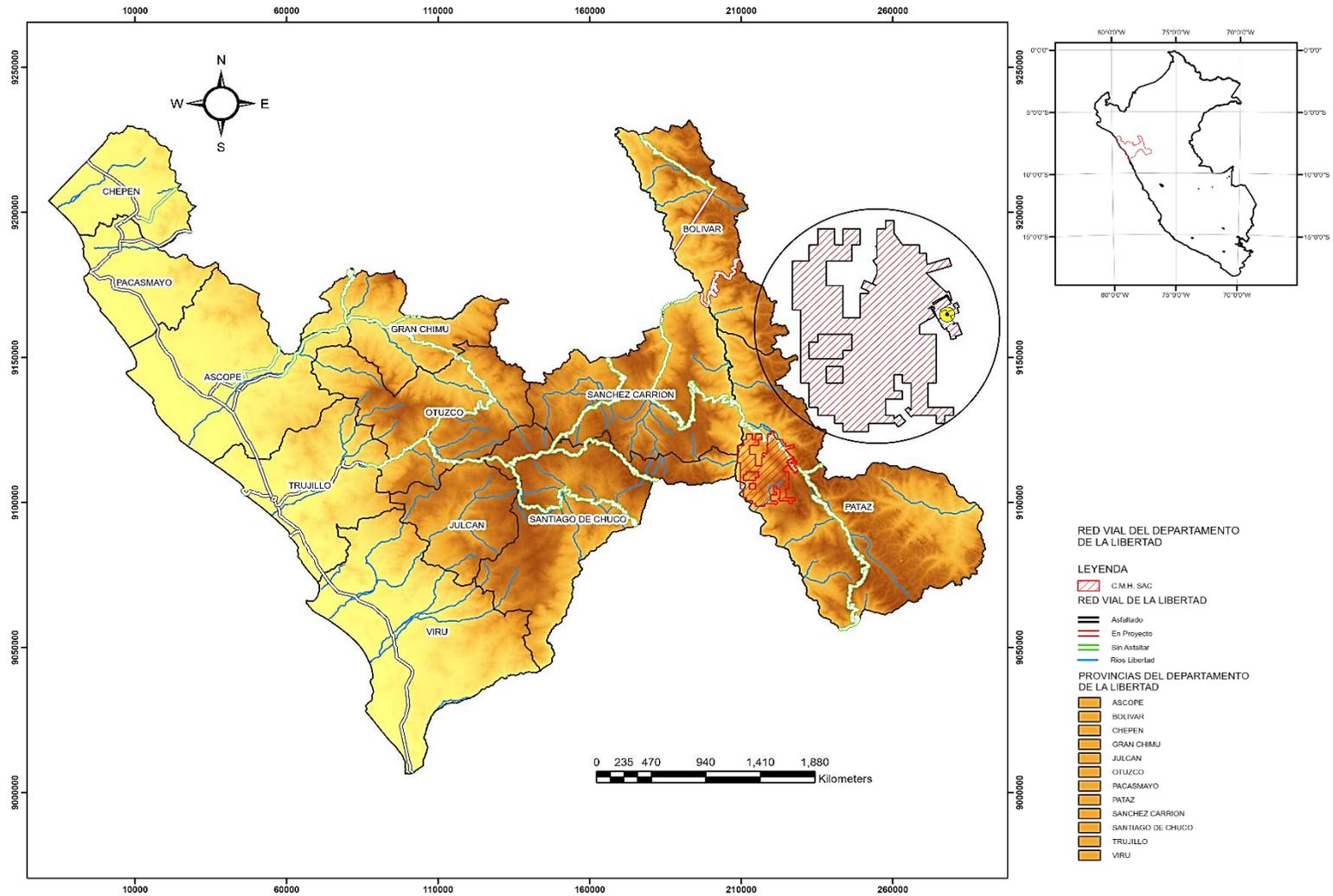
Fuente 5. Elaboración Propia

- Luego, se sigue por vía terrestre, río arriba, hacia Retamas, por un tiempo de 30 minutos aproximadamente.

1.2.1.1.3. Clima

U.P. Parcoy, presenta un clima templado, con una temperatura ambiental en superficie entre 13°C a 15° C, que puede ascender hasta 30°C y bajar hasta 10.9°C. La humedad relativa (HR) en superficie, varía de acuerdo a las estaciones del año, entre 21% y 59%. (Quispe, 2019, p. 45).

Figura 3. Ubicación y Vías de Acceso de la Mina U.P. Parcoy - Consorcio Minero Horizonte S.A.



Fuente 6. Elaboración Propia

1.2.1.2. Aspectos Geológicos

1.2.1.2.1.Litología

La geología regional del distrito comprende tres franjas (fajas):

- El basamento Pre cambriano del Complejo Marañón hacia el Este.
- El Batolito de Pataz del Carbonífero.
- Los estratos deformados del Pérmico - Cenozoico hacia el Oeste.

“El complejo basal de Marañón consiste de meta sedimentos pizarrosos a esquistosos y rocas meta volcánicas y exhibe plegamiento complejo y formación de clivajes. Los estratos del Pérmico al Cenozoico están plegados en pliegues parados hasta volcados convergiendo hacia el oeste cerca del contacto con el batolito, pero más al oeste son homoclinales” (Quispe, 2019, p. 50).

1.2.1.2.2.Estratigrafía

La Geología de la zona está ligada al desarrollo estratigráfico y estructural de la cordillera Nor-Andina del Perú, compuesto por la superposición de tres ciclos orogénicos:

- El Precámbrico.
- El Hercínico
- El Andino.

Precámbrico: Concierno a las rocas del “Complejo Marañón”, compuesto por filitas, mica esquistos y meta volcánicos.

Hercínico: Compuesto por pizarras de la “Formación Contaya”. El “plegamiento Eohercínico” acontece en un periodo de deformación con el establecimiento de una cuenca intramontana que es colmada por rocas del “Grupo Ambo”, en el “Permiano Superior” se presenta una aglomeración volcánica andesítica conocida como “Volcánico Lavasen”, que se distribuye ampliamente en las partes altas de Parcoy, especialmente al Este, hacia el lado derecho del río Parcoy. Una fase Epirogenética genera un resurgimiento y la aglomeración de las rocas ferruginosas del “Grupo Mitu”.

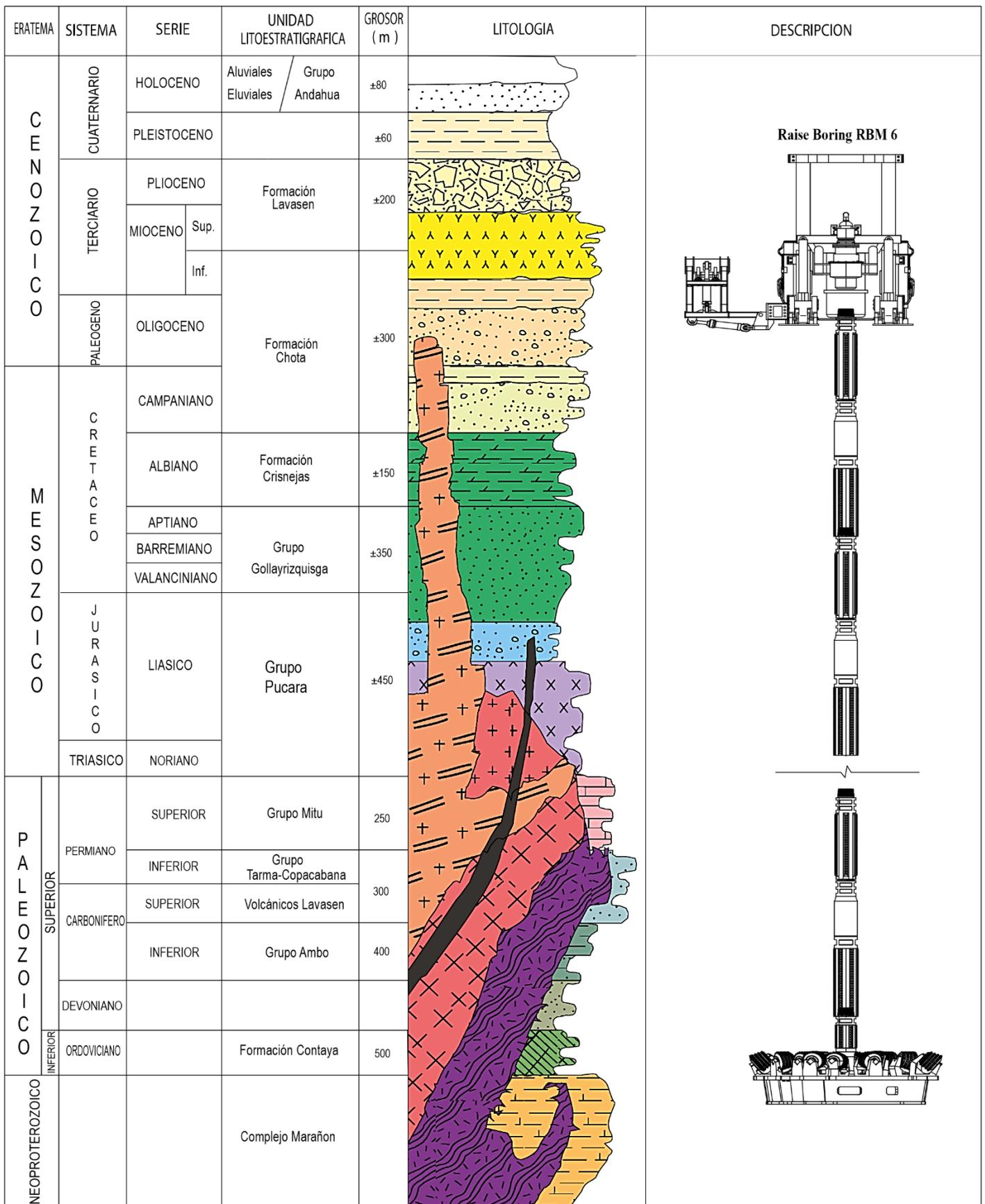
Andino: Se nota más en la Cordillera Occidental, empieza con las calizas del “Grupo Pucará”, revestida después por areniscas del “Grupo Goyllarisquizga”, calizas de la “Formación Crisnejas” y por las capas rojizas de la “Formación Chota”. Finalmente se detectan depósitos aluviales, coluviales y fluviales del “Cuaternario Reciente” (Quispe, 2019, p. 51).

Figura 4. Columna Estratigráfica en el Cuadrángulo de Pataz

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRAFICA	GROSOR (m)	LITOLOGIA	DESCRIPCION
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Aluviales / Grupo Andahua	±80		Depósitos fluvio glacial, aluviales y coluvial.
		PLEISTOCENO		±60		Depósitos glacial.
	TERCIARIO	PLIOCENO	Formación Lavasen	±200		Lavas, brechas volcánicas con clastos angulares
		MIOCENO	Sup. Inf.			Disc. eros.
	PALEOGENO	OLIGOCENO	Formación Chota	±300		Areniscas, Arcillas y conglomerados de color rojo
MESOZOICO	CRETACEO	CAMPANIANO				
		ALBIANO	Formación Crisnejas	±150		Lutitas calcareas, margas amarillentas, intercalaciones delgadas de calizas.
		APTIANO	Grupo Gollayrizquisga	±350		Areniscas de grano grueso a conglomeradico Cuarcíticas intercaladas con lutitas rojizas, marrón y grises
		BARREMIANO				
	VALANCINIANO					
JURASICO	LIASICO	Grupo Pucara	±450		Calizas oscuras, Lutitas negras y lentes de Chert Calizas con nódulos de Chert Areniscas calcareas de grano grueso a conglomerado.	
PALEOZOICO	SUPERIOR	PERMIANO	Grupo Mitu	250		Disc. eros.
		INFERIOR	Grupo Tarma-Copacabana	300		Calcarenitas remanentes volcánicos, Tufos riolíticos Areniscas rojas oscuras, conglomerados rojizos y verdosos
	CARBONIFERO	SUPERIOR	Volcánicos Lavasen	400		Calizas y Lutitas Calizas gris clara con nodulos de chert en Tobas y derrames lavicos de composición Dacítica y Andesíticas
		INFERIOR	Grupo Ambo	400		Secuencia de Arcillitas, Areniscas y Lutitas Intrusivo Granodioritico(Al cual se asocia mineralización aurífera de cuarzo pirita)
	DEVONIANO					Disc. eros.
INFERIOR	ORDOVICIANO	Formación Contaya	500		Pizarras negras y cuarcitas de grano fino.	
NEOPROTEROZOICO			Complejo Maraño			Meta - Andesitas Filitas, Micas y Esquistos

Fuente 7. Elaboración Propia

Figura 5. Columna Estratigráfica en el Cuadrángulo de Pataz – Maquina Raise Boring RBM6



Fuente 8. Elaboración Propia

1.2.1.3. Geología Local

El yacimiento Parcoy presenta principalmente rocas calco-alcálicas como granodiorita, cuarzomonzonita y diorita que pertenecen al “Paleozoico Superior”, conocido como “Batolito de Pataz”, además ella está seccionada por diques aplíticos, andesíticos y xenolitos. A continuación, presenta intrusivos terciarios de poca importancia, que han generado la mineralización del “Grupo Pucará”

El batolito es una franja de 70 Km de longitud con un ancho que fluctúa entre 0.8 y 5 Km ubicado al lado derecho del Río Marañón, con una dirección de N20 - 30°W. Se posesionó en el “Paleozoico Superior” guardando una relación muy cercana con la fase tectónica “Herciniana”, no determinado si su emplazamiento es sintectónico o post-tectónico.

Estructuralmente, el intrusivo con un ancho aproximado de 0.8 Km en las inmediaciones del túnel Horizonte, presenta una dirección N30°W, limitadas por fallas de alcance regional, al oeste con secuencias sedimentarias mesozoicas y al este en contacto con el “Complejo Marañón”.

En el “Carbonífero Medio”, comienza con la ascensión de un gran conglomerado y secuencia de granitos calco-alcálicos, que incursiona en las rocas basales pre-carboníferas, en toda la extensión de una fractura mayor de cizallamiento de dirección NW -SE (Quispe, 2019, p. 54).

1.2.1.3.1. Depósitos Cuaternarios.

Comprende Depósitos Fluvio-glaciáricos, Depósitos Coluviales y Depósitos aluviales, encontrándose estos últimos hacia abajo del valle Parcoy, en forma de abanico aluvial transportadas por

las quebradas y riachuelos; terrazas altas como consecuencia de la erosión del cauce del río sobre sus propios depósitos, y residuos aluviales. (Aluvión de Alpamarca y Ñuñapampa).

El aluvión de Pías es un derrumbe aproximadamente de 1 Km de ancho que represó el río Parcoy, originando el lago de Pías. (Quispe, 2019, p. 58).

1.2.1.3.2.Rocas intrusivas.

El intrusivo comprende la fase plutónica de microdiorita – diorita que contienen rocas que favorecen el depósito de soluciones mineralizantes, por ello encontramos la mayor cantidad y las más principales estructuras de minerales que en la actualidad están en exploración y explotación; y comprende también la fase granodiorita-granito que no favorecen la conformación de soluciones mineralizantes y que constituyen vetas delgadas y no continuas. (Quispe, 2019, p. 59-60).

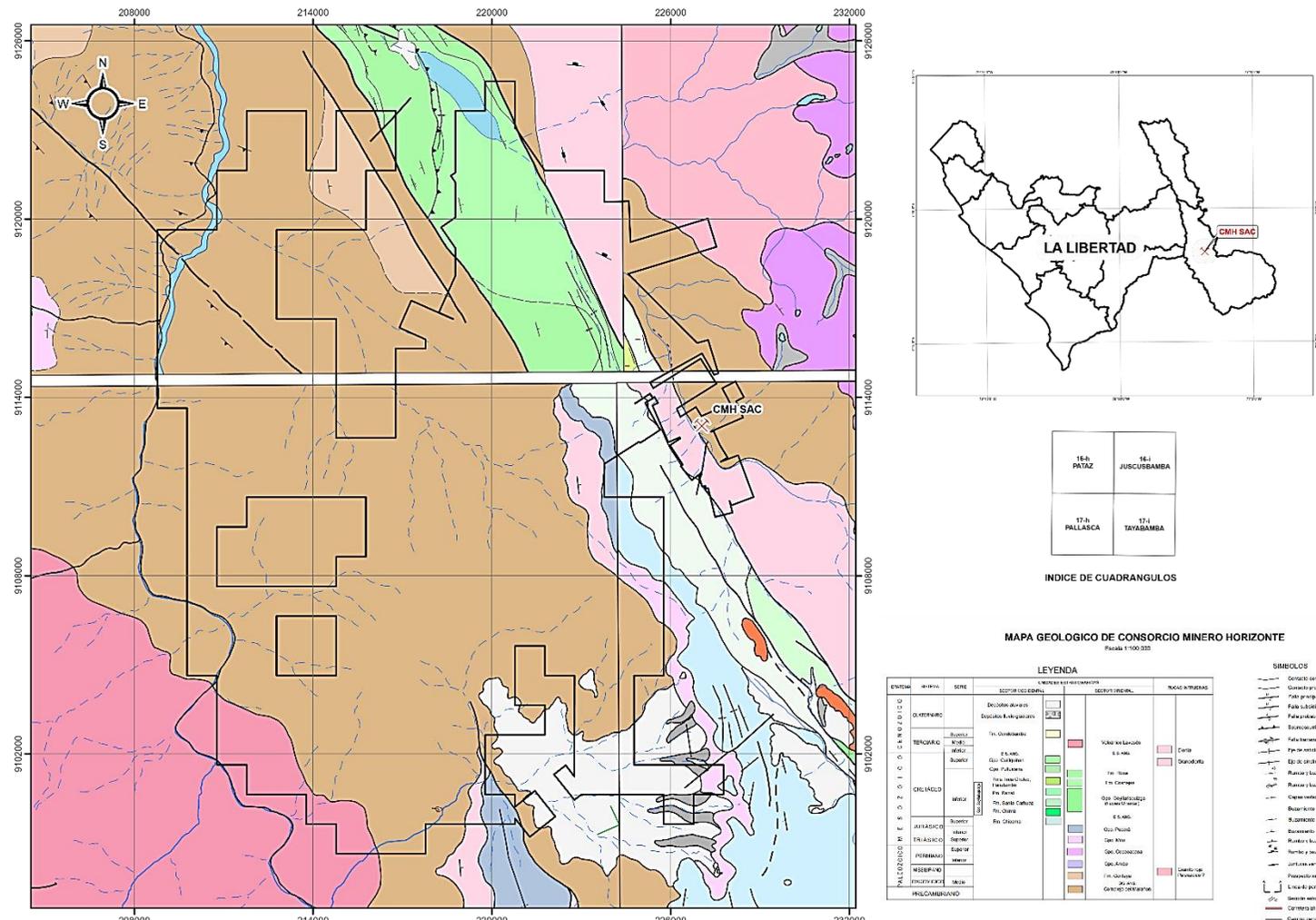
1.2.1.3.3.Rocas metamórficas.

Está comprendida dentro del “Complejo del Marañón”, formadas por pizarras oscuras y filitas grisáceos, combinadas con reducidas capas de esquistos cloritizadas y metavolcánicas; se encuentran hacia el NE del “Batolito de Pataz”, plegadas, falladas y/o perturbadas por un metamorfismo dinámico e ígneo y con asociación de ciertas estructuras auríferas.

1.2.1.3.4.Rocas sedimentarias.

Corresponde a la sedimentación del Paleozoico y mesozoico, del vulcano sedimentario que corresponden tanto al grupo “Mitú” del Pérmico como a las calizas del grupo “Pucará” del Triásico – Jurásico.

Figura 6. Mapa Geológico de Consorcio Minero Horizonte



Fuente 9. Elaboración Propia

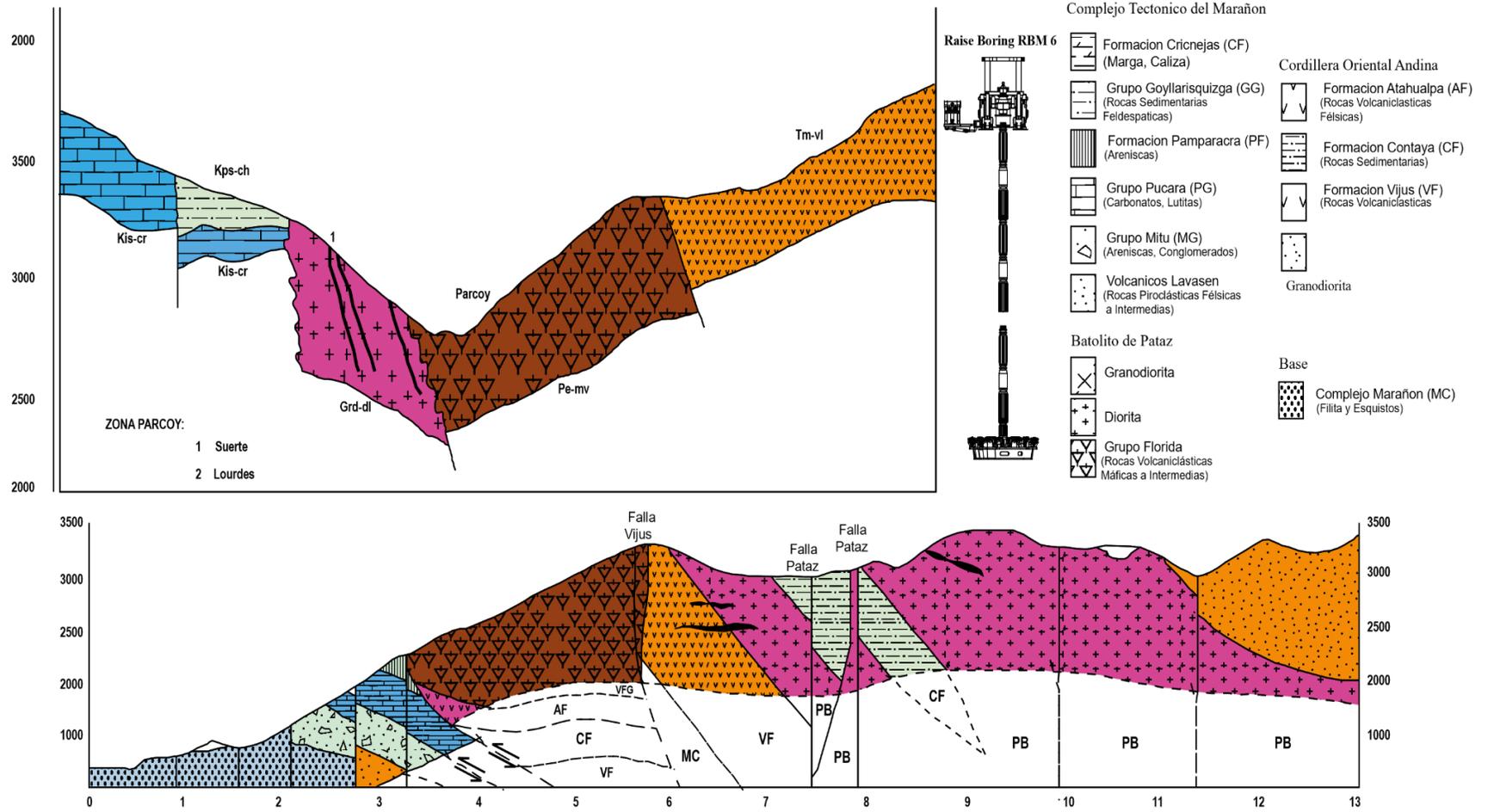
1.2.1.4. Geología Estructural.

Corresponde al “Batolito de Pataz” con fallas estructurales que comprenden etapa pre – mineral que emplaza a los clavos mineralizados controlando la ubicación de los yacimientos; la etapa de la mayor formación de minerales; y la etapa post – mineral que desplazó la estructura mineralizada.

Estas fallas que son de gran amplitud, pertenecen al periodo Cenozoico y son del tipo "strike slip" y tienen una dirección NW-SE, siendo los controles estructurales de las vetas y clavos y que probablemente son los que clavos mineralizados se inclinan hacia el Sur.

En la formación de fallas tiene mayor presencia el movimiento sinistral que los dextrales. (Saavedra, 2013, p. 33-36).

Figura 7. Secciones Transversales del Distrito de Pataz



Fuente 10. Elaboración Propia

1.2.1.5. Aspectos Geomecánicos

1.2.1.5.1. Caracterización Geomecánica del Yacimiento.

Presenta una capa de material cuaternario, depósitos aluviales y fluvio-glaciales, que Geomecánicamente no son competentes (gravas, arenas, limos, arcillas, y bloques de roca). Hacia la parte baja de esta capa aflora roca fracturada y con panizos de granodioritas y microdioritas.

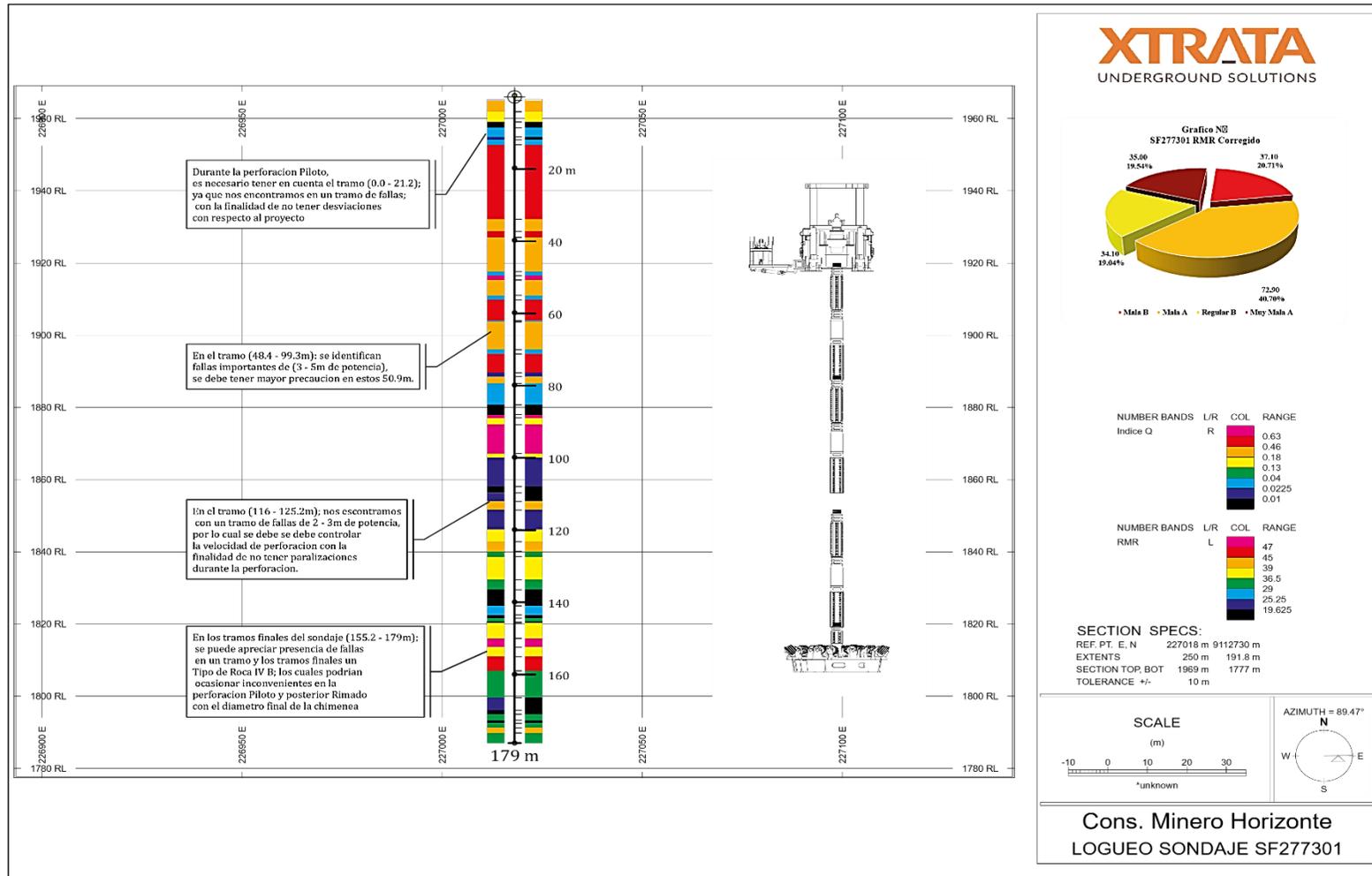
En las labores primarias se puede notar la existencia de agua subterránea que disminuye la calidad de roca motivo que ocasiona sus desprendimientos; mientras que las labores de desarrollo secundario se localizan en las estructuras mineralizadas con cajas muy fracturadas y húmedas de granodioritas. (Saavedra, 2013, p. 46).

1.2.1.5.2. Características del macizo rocoso

Las rocas no mineralizadas en los que se desarrollan las rampas, cruceros y galerías según el Sistema RMR son mayormente rocas de calidad IV Mala A, luego le siguen rocas de calidad IV Mala B y con menor presencia rocas III Regular B y escasamente roca III Regular A.

En los tajos y subniveles son mayormente rocas de calidad IV Mala B, luego le siguen rocas de calidad V Muy Mala, a continuación de calidad IV Mala A y escasamente rocas de calidad Regular IIIB.

Figura 8. Estudio Geomecanico - Logueo Sondaje Diamantino SF – 2777301



Fuente 11. Elaboración Propia

1.2.2. Delimitación Temporal

El presente estudio se desarrolla de octubre del 2019 hasta junio del 2020; periodo en el cual se determinó la mejor alternativa para la expansión del Reamer de Ø2.4m a Ø2.7m.

1.3. Formulación del Problema

1.3.1. Problema General

¿Cuál sería la mejor alternativa Técnico – Económico en el Diseño de la Distribución de Cortadores de Ø2.4m a Ø2.7m del Reamer en la Máquina Raise Boring RBM 6 en el Nv. 1965 CH 2682RB - Consorcio Minero Horizonte S.A. – 2020.?

1.3.2. Problema Específico

¿Cómo realizar la evaluación Técnico – Económico en el Diseño de la Distribución de Cortadores de Ø2.4m a Ø2.7m del Reamer en la Máquina Raise Boring RBM 6 en el Nv. 1965 CH 2682RB - Consorcio Minero Horizonte S.A. - 2020?

¿Cómo influye los costos de los escenarios planteados para la evaluación Técnico – Económico en el Diseño de la Distribución de Cortadores de Ø2.4m a Ø2.7m del Reamer en la Máquina Raise Boring RBM 6 en el Nv. 1965 CH 2682RB - Consorcio Minero Horizonte S.A. - 2020?

1.4. Objetivos de la Investigación

1.4.1. Objetivos Generales

Determinar la alternativa más factible del Diseño y Estudio Técnico-Económico de la Distribución de Cortadores de Ø2.4m a Ø2.7m del Reamer en la Máquina Raise Boring SBM 700 - Consorcio Minero Horizonte S.A. – 2020.

1.4.2. Objetivos Específicos

Realizar simulaciones y plantear posibles escenarios del Estudio Técnico – Económico en el Diseño de la Distribución de Cortadores de Ø2.4m a Ø2.7m del Reamer en la Máquina Raise Boring RBM 6 en el Nv. 1965 CH 2682RB - Consorcio Minero Horizonte S.A. – 2022

Realizar el análisis de costos de los escenarios planteados para el Estudio Técnico – Económico en el Diseño de la Distribución de Cortadores de Ø2.4m a Ø2.7m del Reamer en la Máquina Raise Boring RBM 6 en el Nv. 1965 CH 2682RB - Consorcio Minero Horizonte S.A. – 2022.

1.5. Justificación de la Investigación

En cumplimiento a la normativa vigente D.S N°. 024 – 2016 – EM; con respecto a los límites máximos permisibles de calidad y cantidad de aire que debe ingresar a una excavación subterránea; en la mina C.M.H.S.A dada la situación actual es necesario desarrollar una chimenea de ingreso de aire denominado CH2682RB con una longitud vertical de 179 metros; siendo el diámetro óptimo de operación 2.7m(Ø); con la finalidad de cubrir, la cobertura actual del sistema de ventilación que permita asegurar el confort de los trabajadores y mantener el ambiente a condiciones óptimas para las labores en interior mina.

La tecnología para la consecución de la chimenea CH2682 es la metodología Raise Boring, por lo cual; la mina C.M.H.S.A contrata los servicios de la empresa especializada XTRATA UNDERGROUND SOLUTIONS; el cual dispone de una maquina Raise Boring RBM 6 para la consecución de la misma.

Dentro de los componentes de la maquina Raise Boring RBM 6, no se cuenta con un Reamer de Ø2.7m; y debido a los costos de fabricación y/o alquiler se procederá a realizar la siguiente investigación: Estudio Técnico - Económico y Diseño de la Distribución de Cortadores del Reamer Existente de Ø2.4m a un Reamer Proyecto de Ø2.7m.

En base a la experiencia que posee la empresa especializada XTRATA UNDERGROUND SOLUTIONS; que viene acumulado a través de las observaciones y de las mejores prácticas que se llevan a cabo en otras minas

1.6. Limitaciones de La Investigación.

Las limitaciones en el desarrollo de la investigación con respecto a la Metodología Raise Boring (RBM); en este campo en particular, se han realizado pocas investigaciones con respecto al diseño del Perfil del escariador (The Reamer Profiler); Selección optima del número de cortadores; tipos de insertos en el cortador.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. A nivel internacional

Ramón Redrovan, E. (2015) Titulado: “Construcción del pozo de presión con el método Raise Boring y ensanchamiento manual en el Proyecto Hidroeléctrico Quijos Macas - Ecuador”. Detalla los sondajes realizados permitió tener información más acertada sobre el tipo de litologías que atravesará el pozo de presión del P.H. Quijos, en base a la información geomecánica se concluyó que el método más adecuado para la ejecución del proyecto es el método combinado de Metodología Raise Boring y Metodología Convencional (perforación y voladura). Donde se empezaría con el método Raise Boring; Culminado el proceso de rimado de la Fase II de la misma; se continuaría con el método convencional de perforación y voladura hasta alcanzar el diámetro proyectado del pozo de presión.

2.1.2. A nivel nacional

Molina Vilchez, J. “Diseño y optimización del modelo geométrico Harfacing para estabilizadores de perforación por medio de análisis DEM-FEM.” Detalla los escenarios en las simulaciones DEM-FEM; que permite validar la simulación base y hacerla extensivo a las simulaciones con geometría de soldadura de blindaje modificada. Concluye que la geometría para la soldadura de blindaje más adecuada a las propiedades mecánicas de la geología en la zona de perforación es la figura en cascada, que permite que sean distribuidos los esfuerzos homogéneamente sobre los cordones de soldadura y así mismo la optimización del consumo de energía durante la perforación, la misma que requiere de 475 HP, con un ahorro de 25 Hp comparado con lo existente.

Cabrera Otiniano, Y.; Vilca Pérez, J. (2015). “Ventajas técnico – Económico del Método Raise Boring en comparación del Método Convencional, en la construcción de chimeneas - Mina Condestable”. Detalla el análisis Técnico – Económico de la Metodología Raise Boring y la Metodología Convencional; cuyos resultados obtenidos demuestran un ahorro del 32.83% en la Metodología Raise Boring. Siendo los costos de avance 198.09 \$/m (Metodología Raise Boring) y 294.92 \$/m (Metodología Convencional). Con respecto al tiempo de ejecución de una chimenea de 60ml es desarrollada con la tecnología Raise Boring en 21 días con un rendimiento de 20 ml/día; mientras que el tiempo de ejecución con el método convencional representa el 285% de la tecnología Raise Boring con un rendimiento de 2 ml/día. Los costos operativos del Método Raise Boring y el Método Convencional son 216.14 \$/m y 80.45 \$/m; respectivamente; que representa el costo unitario más elevado de la Metodología Raise Boring; del cual la eficiencia de la misma se incrementa cuando se conocen datos operacionales previos.

2.2. Bases Teóricas - Científicas

2.2.1. Raise Boring

Conocido también como Raise Drilling, es el sistema mecánico para ejecutar pozos o chimeneas entre dos o más niveles, sean todos estos subterráneos, o el nivel superior ser superficial.

Tiene su origen en los Estados Unidos en la década del 60, donde primeramente se realiza un sondeo piloto para luego en forma ascendente ensanchar la chimenea, utilizando en la perforación secuencialmente y en varias operaciones, un tamaño mayor de cabeza de corte hasta lograr el diámetro final requerido.

2.2.2. Antecedentes

En 1962 en la mina Homer Wansica de Michigan por primera vez operó este sistema con una perforación piloto de 25 cm. de diámetro ensanchando luego hasta 101.6 cm. de diámetro, para luego ir evolucionando en el logro de conectar en forma perpendicular galería horizontales ubicadas en niveles distintos.

Inicialmente operaron estas máquinas hidráulicas con 2 cilindros de empuje y 75 kW, luego se incrementaron a 250 kW, siendo las cabezas de corte con rodillos de botones; para que en la actualidad operen con 4 o 6 cilindros y 400 kW. y con rodillos de discos de varias filas de corte, de acuerdo al tipo de roca y fabricante.

El sistema Raise Boring permite generalmente operaciones para diámetros de 2 a 3 metros con 100 y 200 metros de profundidad.

Su aplicación no solo es en la perforación de piques o chimeneas para operaciones mineras, dado a sus atributos para perforar pozos de grandes diámetros también se emplean en otros campos como son pozos de ventilación, como es el

caso de la perforación del pozo de ventilación de diámetro más grande de 6.022 m y 1,099 m de profundidad que corresponde a Rustenberg Plate Mine en Sudáfrica; y también se utiliza en las operaciones de centrales hidráulicas, almacenes subterráneos y otros.

2.2.3. Tipos de Raise Boring

Existen tres tipos de Raise Boring: los Estándar, los Reversibles y los destinados a perforar Huecos Ciegos.

2.2.3.1. Raise Boring Estándar

Este tipo de Raise Boring se utiliza para perforar, generalmente con tricono, un taladro piloto hacia abajo para llegar al nivel requerido, para luego ir agrandando el diámetro hacia arriba; mediante una cabeza escariadora hasta lograr el diámetro requerido.

La generación de detritus producto de las perforaciones es evacuado inyectando agua o aire y por gravedad los pequeños fragmentos son depositados en el nivel inferior aprovechando la gravedad.

2.2.3.2. Raise Boring Reversible

En este tipo la perforación del taladro piloto se realiza en forma ascendente., por lo que no se requiere el barrido de aire o agua para evacuar los detritos porque la mayor parte de éstos no pueden traspasar el espacio que deja el varillaje con la pared del taladro piloto, lo que se consigue ampliando el diámetro de éste. Como quiera que los detritus por gravedad se desploman al nivel inferior perjudica a la máquina y a su operador, de tal manera que para protegerlos la operación debe realizarse de forma intermitente.

2.2.3.3. Raise Boring para Huecos Ciegos

En este método la máquina se instala en el nivel inferior para perforar en forma ascendente a plena sección hasta llegar al nivel superior, por lo que no se requiere perforar taladro piloto; siendo su desventaja controlar la dirección de la perforación.

Esta alternativa se aplica para perforar chimeneas de diámetro de dos metros o menores y que requieran de profundidades menores a 400 m.

2.2.4. Preparación del Emplazamiento y Transporte de Equipos

Para instalar la máquina se requiere previamente ensanchar la labor para preparar una solera de hormigón que tenga por lo menos 20 cm. de espesor que servirá como cama para nivelar e instalar la máquina observando la inclinación diseñada, lo que se realiza utilizando los cilindros de empuje

Cuando la evacuación de detritos se realiza mediante aire se debe instalar un compresor; mientras que si se realiza con agua se requiere de una instalación de balsa de decantación.

2.2.4.1. Taladro Piloto

El diámetro del taladro piloto guarda relación con el diámetro de la varilla y del Reamer:

Tabla 4. Relación entre el Ø de Barras & el Ø del Tricono

RELACIÓN ENTRE EL Ø DE BARRAS & EL Ø DEL TRICONO						
Ø Barras (cm)	17.1	20.3	25.4	28.6	32.7	35.2
Ø Tricono (cm)	18.9	22.9-25.0	27.9	31.1	34.9	38.1

Fuente 12. Elaboración Propia

Es muy necesario controlar la desviación que sufren los taladros y que se deben a factores como:

2.2.4.1.1. Inclinación del taladro:

A mayor inclinación del taladro existe una mayor posibilidad de desviación del taladro.

2.2.4.1.2. Empuje aplicado:

A mayor empuje sobre la sarta de perforación existe una mayor posibilidad de desviación del taladro. Además, se debe observar que a ciertas profundidades existe la posibilidad que el peso de la sarta supere al empuje necesario, por lo que la máquina al equilibrar el peso excesivo de la sarta disminuya o deje de empujar.

2.2.4.1.3. Buzamiento de la formación:

Cuando los estratos buzanan menos de 45°, en taladros verticales, el tricono tiene menor avance en las zonas de mayor dureza del barreno, por lo que se produce desviaciones.; mientras que si los estratos tienen un buzamiento mayor a 45°, el barreno avanza en forma paralela al plano de estratificación.

2.2.4.1.4. Dureza de la formación:

Otro factor de desviación de taladros corresponde a la perforación de rocas de tipo más blandas.

2.2.4.1.5. Diseño de la sarta de perforación:

Las barras de mayor diámetro dan mayor rigidez a la sarta de perforación incrementando el efecto pendular que mantiene la dirección del sondeo; debiendo observar que la holgura entre la sarta del taladro y el taladro produce una mayor desviación del sondeo.

2.2.5. Principios de Excavación

En todas las aplicaciones donde se utiliza el Método Raise Boring la roca es fracturada con los mismos mecanismos que en la técnica de perforación rotativa.

El fundamento de este sistema consiste en hacer girar los cortadores con una gran carga o empuje contra la roca, fragmentándose ésta por la introducción del borde o los botones de cada cortador. La velocidad de penetración que se consigue tiene íntima relación con la resistencia a la compresión simple (USC) de cada roca. Como esta puede variar desde unos pocos MPa hasta 200 - 300 MPa, se comprende fácilmente que las velocidades de corte para un diámetro dado, con un determinado empuje, pueden ser totalmente diferentes, según sea la resistencia de la roca. Si este empuje es lo suficientemente grande como para sobrepasar la resistencia a la compresión de la roca se generarán unas grietas que comienzan en el punto de contacto, directamente debajo de cada botón a periferia del cortador, que se propagaran hasta que la roca se rompa, desprendiéndose entonces pequeños fragmentos. La expresión general de esta relación es:

Fórmula **profundidad de penetración**:

$$D = W^d$$

D = Profundidad de penetración
W = Carga o empuje aplicados
d = Exponente que varía de 1.5 para rocas duras y 1 para formaciones duras

Son dos principios que se usan en el frente de excavación del Método Raise Boring. Estos son:

- Creating
- Kerf Breaking

2.2.5.1. Cratering

Cratering es el término que se utiliza en la descripción de la acción de trituración en la roca directamente bajo la zona de contacto del filo del cortador (Figura 12). El filo del cortador es un inserto de carburo de tungsteno en forma de cincel.

A medida que incrementa la carga la cual reacciona dentro de la roca por el cortador, inmediatamente la roca bajo el filo del cortador es triturada a fragmentos finos. Esta acción se conoce como trituración triaxial y se produce cuando la carga transmitida a través del área de contacto del filo del corte supera la resistencia de la roca.

A medida que el filo del cortador entra en la roca debido al incremento de carga en el filo del cortador, la fuerza de compresión transmite esfuerzos (hacia arriba y lateral) en la masa rocosa. En cargas finitas, estos esfuerzos llegan a ser suficientes para producir grietas de tensión radial en el macizo rocoso adyacente.

Algunas de estas grietas eventualmente encuentran su camino de regreso a la superficie libre de la roca a cierta distancia de los lados del filo del cortador. A medida que la penetración el filo de cortador dentro de la roca sigue aumentando, las grietas se expanden finalmente, astillas se forman alrededor del filo del cortador y son expulsados, a menudo de forma explosiva, por las tensiones almacenadas en la roca. La formación y la expulsión de astillas en la superficie de la roca producen material triturado fino y nuevas grietas de tracción que se forman debajo de la superficie de la roca.

2.2.5.2. Kerf Breaking

El Kerf breaking es una extensión lógica del principio del cratering. El Kerf breaking ocurre cuando las grietas radiales debajo del fijo del cortador alcanzan un corte adyacente y forma un trozo entre los dos cortes de los cortadores (Figura 13).

Para que el kerf breaking ocurra, una cierta profundidad de la penetración de la roca (Profundidad crítica) por el filo del cortador debe ser alcanzado. Esta profundidad parece ser una función de la roca misma y el espaciamiento entre los cortes.

Los métodos modernos en raise boring aplican kerf reaking a toda la superficie de la roca mediante el uso de cortadores en forma circular al largo de una estructura giratoria. En raise boring, esta estructura se conoce como un rimador. Los cortadores pueden ser ya sea filas de discos o hileras con varios botones.

Estos cortadores son montados en el rimador a intervalos espaciados hacia fuera desde el centro del escariador. A medida que el rimador rota y es empujado hacia adelante en la cara de la roca, los cortadores ruedan contra la superficie de la roca y trituran los cortes en trayectorias circulares debajo de la cara de la roca (Figura 14).

Estas trayectorias trituradas son concéntricas al centro del rimador. A medida que la carga incrementada se aplica a la rotación del rimador, la penetración de los cortadores debajo de la cara de la roca aumenta. Una vez que la profundidad crítica de penetración al ratio de espaciamiento es alcanzado para el tipo de roca en particular a ser rimado,

trozos de rocas se producen entre los cortes y la cara de la roca es sistemáticamente excavada.

2.2.6. Evacuación de los Detritus

En la evacuación de los detritus del fondo del taladro se utiliza el flujo de aire o agua; que por ser un flujo turbulento supera la sustentación de las partículas de los detritus que se fundamenta en la turbulencia y remolinos que se producen más que en la resistencia originada por la viscosidad del fluido.

Esta capacidad de sustentación depende de:

- Forma, tamaño y densidad de los detritus
- Densidad del aire o agua utilizado
- Velocidad relativa del aire o agua utilizado en relación a los detritus en suspensión; siendo este factor de mayor facilidad de control para evacuar correctamente los detritus, requiriendo controlar la velocidad de circulación del fluido empleando la siguiente fórmula:

Formula **velocidad de circulación**:

$$V = \left(\frac{Q}{S} \right)$$

Q = Caudal del fluido

S = Sección anular entre el taladro y la varilla

Se debe tener en cuenta que la velocidad de circulación del agua debe estar entre 30-60 m/min; mientras que la velocidad de circulación del aire estará entre 900-1800 m/min.

Además, se debe tener presente que, si se emplea agua, la refrigeración de los cojinetes es mejor que si se empleara aire, pero con la desventaja que el agua puede a oxidar los elementos de perforación.

2.2.7. Escariado al Diámetro Final

Una vez conseguido el taladro piloto se realiza la operación de escariado, previamente se debe realizar las siguientes operaciones:

- Pulir la superficie de emboquillamiento de la cabeza del escariador con el fin de evitar desviaciones y flexiones del tren de varillaje.
- Previo a la colocación de la cabeza del escariador se debe quitar los estabilizadores, a excepción de uno, del extremo de la sarta con el fin de incrementar el torque que hace girar la cabeza de corte.
- Concluida esta operación, se empieza el escariado controlando que las irregularidades de la superficie de emboquillamiento alcancen torcer la cabeza de corte y doblar el varillaje. Además, se debe tener cuidado de estar engrasándose las roscas de las varillas según se van retirando.

Para retirar la máquina se debe sujetar la cabeza al techo utilizando vigas y cables.

2.2.8. Cabeza del Escariador

El rendimiento óptimo de la máquina requiere de una correcta selección de la cabeza del escariador que presentan diversas configuraciones y que pueden ser:

2.2.8.1. El Perfil Plano:

Tiene como característica el estar equipado con un menor número de cortadores que los demás tipos, que facilita su desplazamiento en labores subterráneas.

2.2.8.2. El Perfil Escalonado:

Este tipo de configuración facilita la variación del diámetro del hueco por efecto de la adición o eliminación de escalones, pero su desventaja radica en que los calibres de corte son muy grandes.

2.2.8.3. Los Perfiles Abovedados:

Requieren de un mayor tiempo para perforar que con los planos, pero presentan la ventaja de mayor estabilidad del espacio perforado con un hueco redondo.

2.2.9. Cortadores

La estructura de corte está en función del tipo de roca y de su resistencia a la compresión simple (UCS);

2.2.9.1. En Rocas Blandas (50-150 Mpa):

El incremento de la velocidad de penetración está en función de la cantidad menor de filas de los cortadores y de su mayor espaciamiento.

2.2.9.2. En Rocas Medias (150-250 Mpa):

Contrario al anterior se requiere una cantidad mayor de filas de los cortadores y de su menor espaciamiento.

2.2.9.3. En Rocas Duras (250-400 Mpa):

Se requiere de una máxima cantidad de filas de cortadores, con un mínimo espaciamiento, utilizando insertos de mayor longitud que estén sostenidos para reducir el desgaste.

2.2.10. Tipo de Cortadores

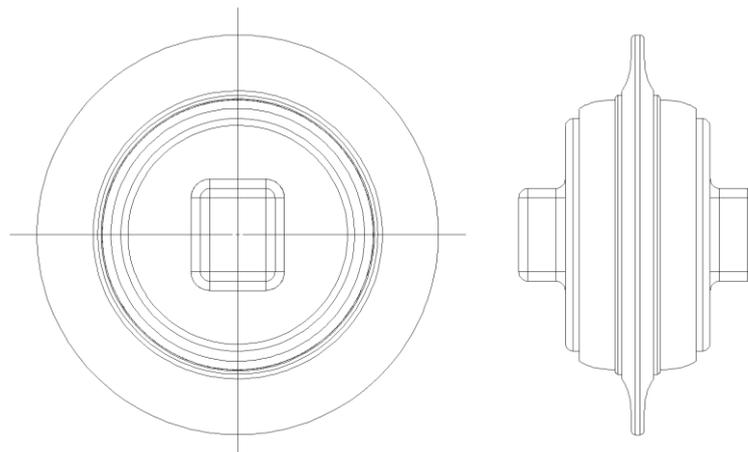
Este método de perforación pozos y chimeneas utiliza tres tipos esenciales de cortadores, pudiendo ser:

2.2.10.1. Cortadores de Discos:

El cortador de disco tiene como ventaja el de cortar un amplio tipo de rocas, desde una Resistencia Compresión Simple de 7 hasta 100 Mpa, lo que se logra variando el ángulo del filo del disco; pero mayormente en la perforación de chimeneas se los utiliza en rocas cuya resistencia a compresión simple sea de 225 a 275 Mpa

Este tipo de cortadores requiere de un alto empuje aplicado a un área reducida de contacto de corte con la roca, favoreciendo una penetración profunda y una obtención de mayor porcentaje de grandes trozos de roca.

Figura 9. Cortador de Disco



Fuente 13. Elaboración Propia

2.2.10.2. Cortadores de Entalladura:

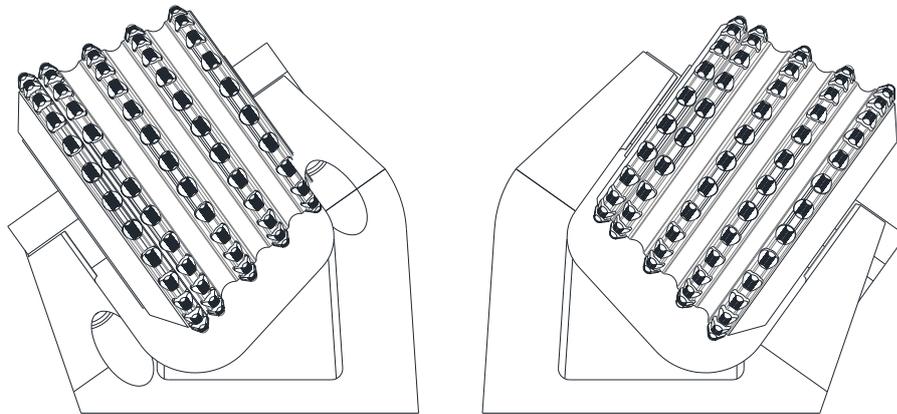
Este tipo de cortador presenta diversas estructuras de corte acoplados en una sola serie de cojinetes, que es útil esencialmente para

perforar rocas blandas; pero no es muy económico en comparación con un disco cortador, por su limitación en cortes de roca muy dura.

2.2.10.3. Cortadores de Rodillo de Insertos de Carburo

Este tipo de cortador tiene insertos de carburo de tungsteno que permite perforar rocas muy duras con la desventaja que originan una gran cantidad de finos que al final causan dificultades en la evacuación de los detritus. Se fabrican en diversos tamaños, formas y espaciamiento entre insertos.

Figura 10. Cortadores de Rodillo de Insertos de Carburo



Fuente 14. Elaboración Propia

2.2.11. Sarta de Perforación y Estabilizadores

Cada máquina Raise Boring tiene un diseño propio de la sarta de perforación, sarta diseñada para poder transmitir el máximo torque y empuje evitando los fallos, que son poco usuales, y que generalmente se deben a fallos de fabricación, y que mayormente se relacionan con el momento de flexión que se les aplica a los componentes de la sarta; por cuanto al incrementarse la ratio entre el diámetro de la cabeza y el tamaño de la sarta los momentos de flexión también se incrementan, consecuentemente se incrementa la frecuencia de fallos; fallos que pueden ser controlados si se observan las siguientes recomendaciones:

- Las zonas críticas deben ser frecuentemente inspeccionadas con el fin de descubrir probabilidades de grietas por fatiga, la misma que puede ser controlada utilizando estabilizador y vástago largo.
- Tener el cuidado de que el punto de emboquillamiento del escariador guarde aproximadamente igual forma que el escariador.
- Tener el cuidado de que los estabilizadores no presenten mayores desgastes.
- Tener el cuidado de inspeccionar y realizar el mantenimiento de la sarta de perforación cuando el escariador haya operado aproximadamente 2500 horas.

2.2.12. Costes de Perforación con Raise Boring.

El coste de la perforación con Raise Boring, se presenta desglosado y relacionado con los porcentajes de los diversos componentes del coste total del proyecto.

2.2.13. Parámetros de Operación.

2.2.13.1. Velocidad de rotación

Tiene su límite en la velocidad de los cortadores periféricos, debiendo observar necesariamente que la velocidad máxima de rotación recomendada para la cabeza de escariado es inversamente proporcional a su diámetro, aplicando la siguiente fórmula:

Formula **velocidad de rotacion**:

$$W_m = \left(\frac{38}{D} \right)$$

W_m = Velocidad máxima de rotación (r/min)

D = Diámetro de la cabeza de corte (m).

2.2.13.2. Empuje:

El empuje está en directa proporción con la resistencia del varillaje y la capacidad de la máquina que así lo permitan. Para calcular el empuje total se debe restar la capacidad de tiro de la máquina menos el peso del tren de varillaje y el de la propia cabeza.

A mayor empuje se desarrolla una alta velocidad de perforación consiguiendo incrementar la vida de los cortadores; pero teniendo cuidado de hacerlo en rocas fracturadas para evitar el desarrollo de mayores esfuerzos en los cortadores y varillaje.

2.2.13.3. Torque

El torque requerido para el giro de la cabeza del escariado se calcula a través de las siguientes fórmulas empíricas:

Formula **torque**:

- Si el avance por revolución es menor a $1 \frac{\text{mm}}{\text{r}}$:

$$M = \frac{C * f * E * D}{2}$$

- Si el avance por revolución es mayor a $1 \frac{\text{mm}}{\text{r}}$:

$$M = \frac{\sqrt{P} * C * f * E * D}{2}$$

Donde:

$$M = \text{Torque (kN/m)}$$

C = Factor de resistencia a la rodadura del cortador (0,05-0,06)

f = Factor de fricción de la cabeza de escariado (0,67)

$$P = \text{Avance (mm/r)}$$

E = Empuje total (kN)

D = diámetro de la cabeza (m)

No se puede esperar un incremento en el rendimiento con la aplicación de un mayor torque, por cuanto los acoplamientos de las barrenas soportan un alto torque de empuje con un escaso par de desenroscado; ya que, en forma especial en perforaciones profundas, conllevaría a un desacople de las conexiones durante la etapa de perforación.

2.2.14. Modelos Empíricos de Predicción de la Velocidad de Perforación

Howarth (1986, 1987) al analizar 20 casos de los diferentes modelos empíricos para calcular las velocidades de perforación llegó a la conclusión que la mejor forma de calcularlos era siguiendo el Método de Farmer y Glossop (1980), fundamentado en la relación del empuje del cortador con la resistencia a la tracción de la roca.

Se puede lograr mayor precisión en los cálculos utilizando el modelo propuesto por Lislrud et al. (1983), pero es muy complejo porque requiere de muchos datos por conocer.

2.2.14.1. Farmer y Glossop (1980)

Estos autores relacionan la energía que recibe el cortador por unidad de su longitud con la energía que se requiere en el área de rotura de la roca, proponiendo la siguiente fórmula:

Fórmula **penetración por revolución**:

$$P = \left(\frac{K \cdot F_L}{\sigma_{tf}} \right)$$

P = Penetración por revolución
F_L = Fuerza media del cortador
σ_{tf} = Resistencia a tracción de la roca

El valor de K es de 624 en unidades del S.I.

Una ecuación parecida fue propuesta por Graham (1970) aplicó en su investigación máquinas Robbins para perforar rocas duras, proponiendo la siguiente fórmula:

Fórmula **penetración por revolución**:

$$P = \text{Penetración por revolución}$$

$$P = 3.940 * \left(\frac{F_L}{\sigma_{cf}} \right)$$

F_L = Fuerza media del cortador
 σ_{cf} = Resistencia a la compresión uniaxial

2.2.14.2. Lislrud (1983, 1988)

Lislrud conjugando las propiedades del macizo rocoso como sus juntas, la resistencia, fragilidad y abrasividad de la roca intacta; con las propiedades de la máquina, como el empuje desarrollado por el cortador, el desgaste del filo del borde del cortador, el diámetro y espaciamiento entre cortadores, la fuerza de torsión, el diámetro y curvatura de la cabeza de corte, propuso la siguiente fórmula:

Fórmula **penetración por revolución**:

$$P = (i_b * K_s * K_d)$$

P = Penetración por revolución (mm/r)
 i_b = Penetración básica, función del empuje por disco y del Drilling Rate Index (DRI).
 K_s = Factor de corrección por junta normal y frecuencia
 K_d = Factor de corrección por diámetro de cortador.

2.2.14.3. Índice de Tamrock

La Compañía Tamrock determinó un nuevo índice de perforación (RBI), para tal fin, encima de la cara superior plana de una cazoleta con cemento colocó una muestra de roca aproximadamente de 10 cm x 10 cm x 10 cm de tamaño, al que aplicó una fuerza ejercida por un cilindro hidráulico, a continuación, midió la indentación producida, con lo que propone el cálculo del RBI mediante la siguiente fórmula:

Fórmula Índice de Perforabilidad :

$$RBI = 1,75 * 10^{-5} * \left(\frac{P}{E}\right)$$

P = Profundidad de la indentación (mm)
E = Fuerza de empuje aplicada (N).

Tabla 5. Índices RBI

ÍNDICES RBI		
ROCA	RBI	
Muy dura		10
Dura	10	17
Media/Dura	17	25
Media/Blanda	25	35
Blanda	35	

Fuente 15. Índice de Tamrock

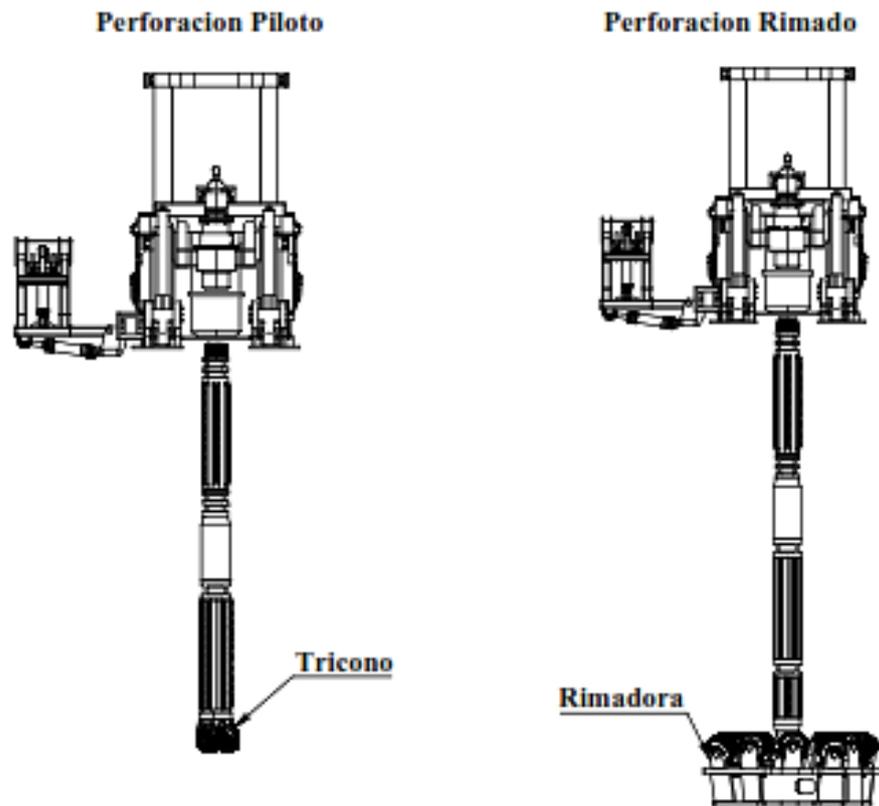
2.3. Definición de Términos Básicos

2.3.1. Raise Boring:

Es un método de perforación fundamentada en la fuerza de rozamiento, donde la rotación del accesorio de perforación es por medio de un motor eléctrico y el empuje mediante una fuerza hidráulica, que corresponde a los cilindros hidráulicos de una máquina Raise Borer

Este método consiste en perforar, partiendo de un nivel superior donde se encuentra instalado la máquina Raise Borer, un taladro piloto hasta comunicarlo con un nivel inferior que es el Pie de la Raise Borer; a continuación, se conecta el escariador iniciándose el proceso de escariado (Rimado) que es una perforación en forma ascendente, mediante el corte por rozamiento, a pleno diámetro requerido y a toda la longitud del pique o chimenea; éstos últimos son factores que condicionan la potencia requerida del motor eléctrico de la máquina Raise Borer que tiene un rango de operación de 150 HP a 400 HP (Figura 11).

Figura 11. Principio de Excavación: Piloto - Rimado



Fuente 16. Elaboración Propia

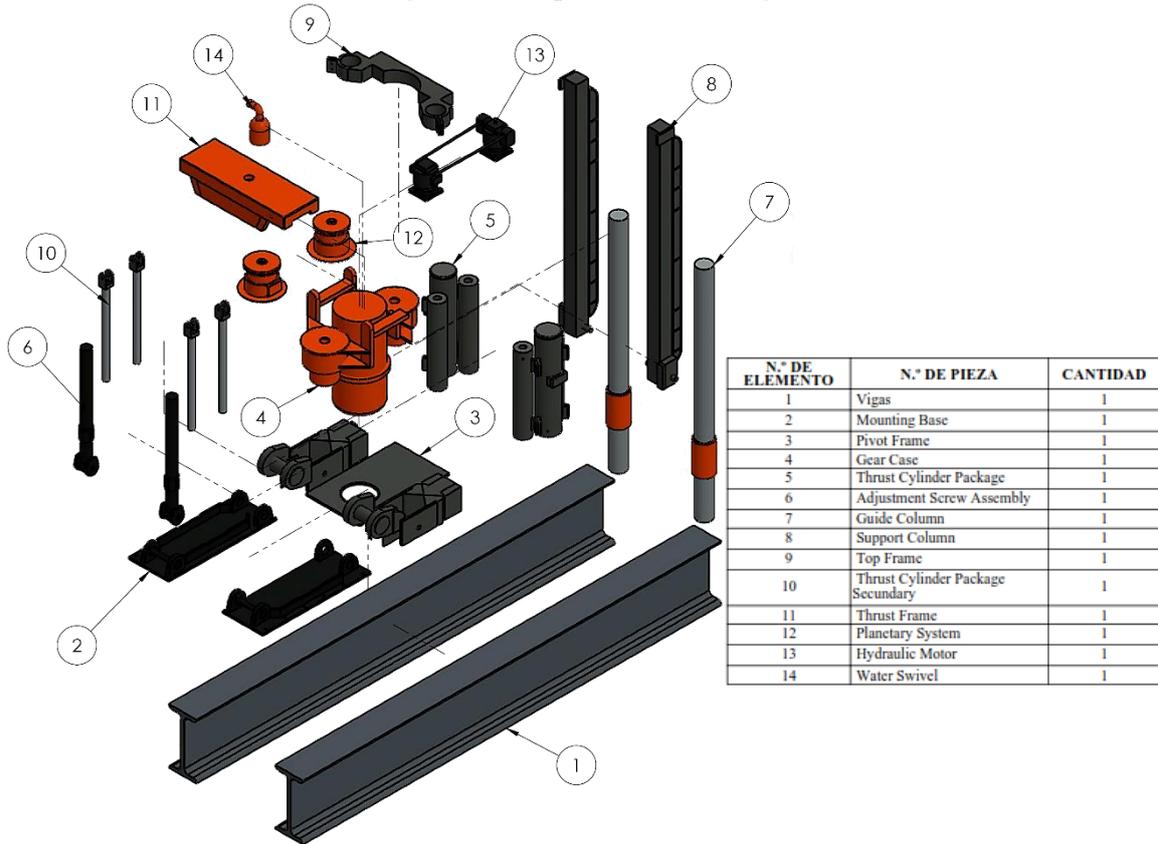
2.3.2. Máquina Raise Borer:

La Máquina Raise Borer (RBM) comprende de una torre de perforación RB; de sistemas hidráulicos, de lubricación, eléctricos, tablero de control y otros instrumentos de perforación.

2.3.3. Máquina Raise Boring (RBM 6)

La Máquina Raise Borer (RBM 6) es el montaje esencial del método de perforación Raise Borer, encargada de proporcionar la rotación y la fuerza de empuje que se requiere para perforar el hueco piloto y el escariado a pleno diámetro requerido, como también para levantar y bajar la columna de perforación, (Figura 12); comprendiendo las siguientes partes que se detallan en la figura 14.

Figura 12. Máquina Raise Boring RBM 6

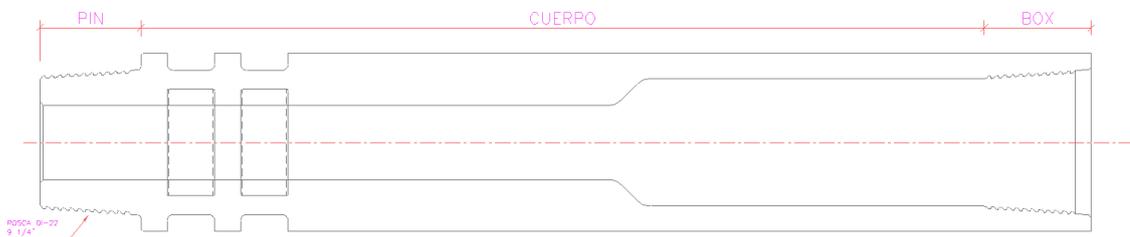


Fuente 17. Elaboración Propia

2.3.4. Barras de perforación

Este componente presenta conexiones de rosca en los extremos opuestos, tanto de pin (macho) como de box (hembra), que permite conectar los componentes de corte con la maquina Raise Borer (Figura 13).

Figura 13. Barras de Perforación

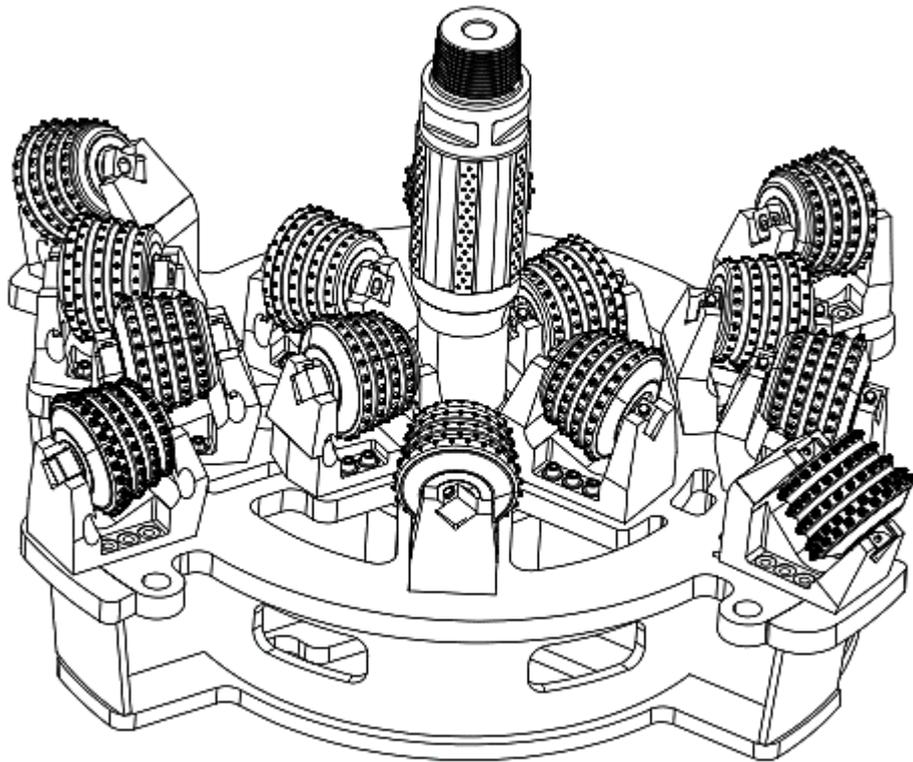


Fuente 18. Elaboración Propia

2.3.5. Escariador

Es una estructura metálica en aceros especiales, asimétrica, conexión a la barra stem, que contiene los cortadores cuya cantidad y disposición define el diámetro final de la perforación y que son los encargados de lograr el diámetro requerido de la labor con un corte final de perforación, a través de un empuje y rotación en forma ascendente que se ejerce sobre el macizo rocoso para lograr la rotura por corte cizalle.

Figura 14. Reamer Ø2.727M

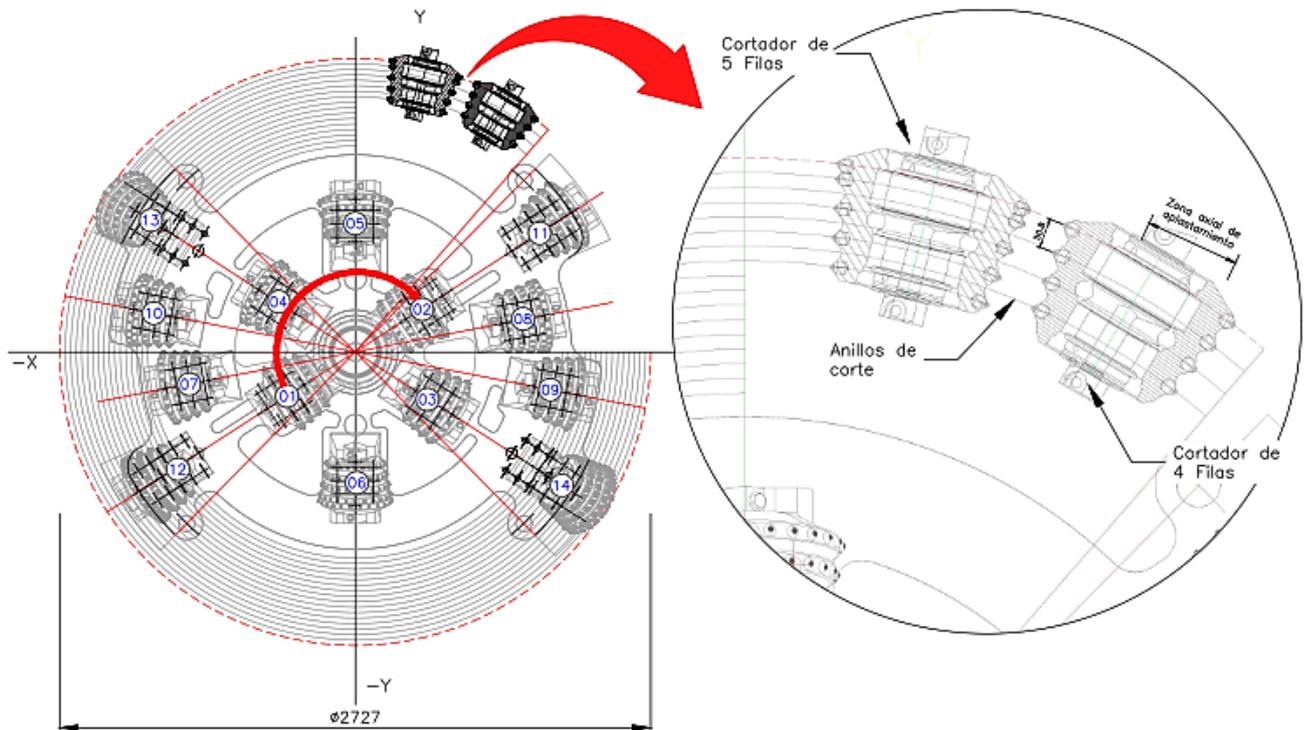


Fuente 19. Elaboración Propia

2.3.6. Cortador

Es un componente que internamente presenta rodamientos y un eje, y exteriormente, insertos de carburo de tungsteno, destinados al fracturamiento de la roca en la etapa del escariado, a través del corte por cizalla, (Figura 15).

Figura 15. Cortadores: 5 Filas y 4 Filas

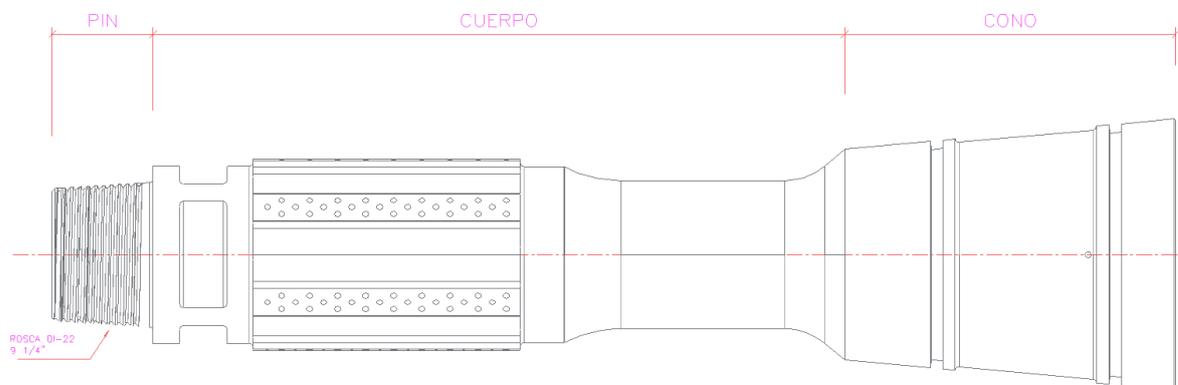


Fuente 20. Elaboración Propia

2.3.7. Stembar

Este componente está diseñado para servir de soporte fijando la estructura del escariador, como también para el acople con el estabilizador de rimado y las barras, (Figura 16).

Figura 16. Stembar $\varnothing 279\text{mm}$



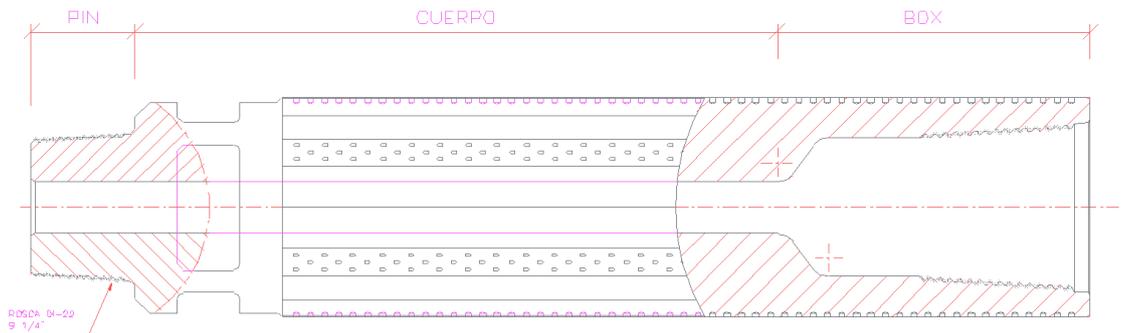
Fuente 21. Elaboración propia

2.3.8. Estabilizador de escariado

Este componente está diseñado para estabilizar la columna en la etapa del escariado, constituido por ribs o aletas en torno al diámetro exterior y soldados con soldadura de alta dureza en forma longitudinal.

El estabilizador debe estar calibrado con 2mm inferior a la medida que tiene el hoyo piloto al pie de la chimenea, (Figura 17).

Figura 17. Estabilizador de Rimado

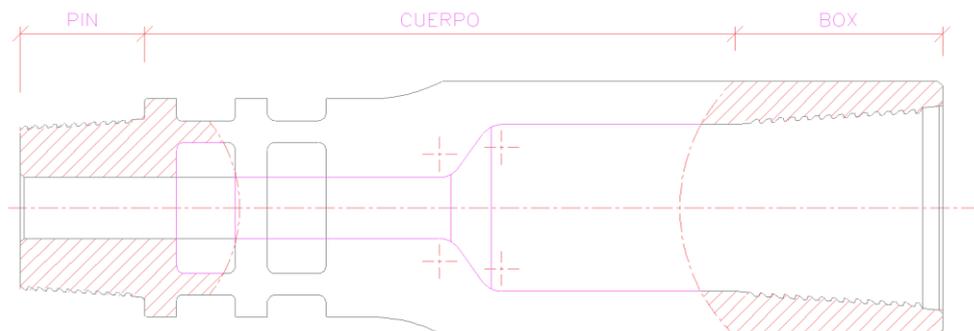


Fuente 22. Elaboración propia

2.3.9. Crossover

Este componente está diseñado para adaptar el cambio de diámetro del stembar con el estabilizador de rimado, (Figura 18).

Figura 18. Cross Over



Fuente 23. Elaboración propia

2.4. Formulación de la Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

El Estudio Técnico - Económico en el Diseño determinará la mejor alternativa para la Distribución de Cortadores de Ø2.4m a Ø2.7m del Reamer en la Máquina Raise Boring RBM 6 en el Nv. 1965 CH 2682RB - Consorcio Minero Horizonte S.A. - 2020

2.4.2. Hipótesis Específico

La realización de simulaciones y planteamiento de posibles escenarios determinará el Estudio Técnico – Económico en el Diseño de la Distribución de Cortadores de Ø2.4m a Ø2.7m del Reamer en la Máquina Raise Boring RBM 6 en el Nv. 1965 CH 2682RB - Consorcio Minero Horizonte S.A. – 2022

La realización del análisis de costos de los escenarios planteados determinará el Estudio Técnico – Económico en el Diseño de la Distribución de Cortadores de Ø2.4m a Ø2.7m del Reamer en la Máquina Raise Boring RBM 6 en el Nv. 1965 CH 2682RB - Consorcio Minero Horizonte S.A. – 2022

2.5. Identificación de Variables

2.5.1. Variable Independiente

Estudio Técnico-Económico del Reamer de Ø2.4m a Ø2.7m

2.5.2. Variable Dependiente

Diseño de la Distribución de Cortadores de Ø2.4m a Ø2.7m del Reamer en la Máquina Raise Boring RBM 6 en el Nv. 1965 CH 2682RB - Consorcio Minero Horizonte S.A. - 2022.

2.6. Definición Operacional de variables e indicadores

Tanto la operacionalización de la variable independiente como de la dependiente se muestran en la Tabla 6 y la Tabla 14, respectivamente

Tabla 6. Operacionalización de Variable Independiente

VARIABLES INDEPENDIENTE	DIMENSIÓN	INDICADORES	U.M
Estudio Técnico-Económico del Reamer de Ø2.4m a Ø2.7m	Caracterización del Macizo Rocoso	RMR de Bieniawski Q de Barton.	0 - 100 0.001 - 10000
	Geometría de Diseño	Coste de Fabricación	\$
	Diámetro operativo	Reamer Profile	Ø (m)

Fuente 24. Elaboración propia

Tabla 7. Operacionalización de Variable Dependiente

VARIABLES DEPENDIENTES	DIMENSIÓN	INDICADORES	U.M
Diseño de la Distribución de Cortadores de Ø2.4m a Ø2.7m del Reamer en la Máquina Raise Boring RBM 6 en el Nv. 1965 CH 2682RB - Consorcio Minero Horizonte S.A. - 2020.	Distancia operacional de los anillos de corte	Dressing	mm
	Selección del tipo de cortador	Cortadores de Rodillo de Insertos de Carburo	4 Filas 5 Filas

Fuente 25. Elaboración propia

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de Investigación

Según el propósito que utilizaremos en el proyecto en cuanto a la naturaleza que se persigue es una investigación aplicada, por la utilización de conocimiento teórico – práctico para la solución del diseño de la Distribución de Cortadores de Ø2.4m a Ø2.7m del Reamer; para ello se realizó la construcción del modelo computacional y diversas simulaciones mediante el conocimiento CAD CAE; y así tener los cálculos correctos, de esta manera hacer un adecuado diseño.

Según Oseda Gago (2008) una investigación aplicada tiene por finalidad la aplicación directa e inmediata de instrumentos o herramientas sobre una realidad circunstancial, antes que el desarrollo de teorías; con el fin de “conocer para hacer y para actuar.”

3.2. Nivel de Investigación

Corresponde a un nivel aplicativo.

3.3. Método de Investigación

El método de investigación corresponde al método cuantitativo, siendo estadístico y experimental.

3.4. Diseño de Investigación

El diseño que se utiliza en la investigación es de carácter experimental; ya que se realizará el diseño geométrico del Reamer Proyectado de $\text{Ø}2.7\text{m}$ mediante cálculos, manuales y posteriormente se evaluará su factibilidad mediante el uso del conocimiento CAD CAE.

Figura 19. Diseño de la Investigación



Fuente 26. Elaboración propia

Donde:

M_{Inicial} Reamer Existente de $\text{Ø}2.4\text{m}$

O_1 Reamer Proyectado de $\text{Ø}2.7\text{m}$

3.5. Población y Muestra de la Investigación

3.5.1. Población

La población del siguiente estudio son los escenarios planteados para el diseño Proyectado del Reamer de $\text{Ø}2.7\text{m}$; componente que forma parte importante de la maquina Raise Boring RBM 6; dada la geometría actual del Reamer Existente de $\text{Ø}2.4\text{m}$ se han propuestos 3 posibles Escenarios; por lo que se considera una población finita.

Según Tamayo y Tamayo (1997), la población es la totalidad del fenómeno en investigación, incluyendo el total de unidades de análisis que componen dicho fenómeno, debiendo cuantificarse para una determinada investigación,

incorporando a un conjunto (N) de entidades que intervienen según una determinada característica.

3.5.2. Muestra

La muestra corresponde a la estructura que se diseñara de acuerdo a los estándares de la distribución de cortadores de Ø2.4m a Ø2.7m del Reamer en la Máquina Raise Boring RBM 6; la cual tiene como finalidad ejecutar una chimenea de ingreso de aire denominado CH2682RB; que mediante esta construcción se pretende mejorar las condiciones ambientales actuales ^{y/o} proyectadas de la mina, suministrando aire limpio con el mínimo de contaminantes.

3.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

3.6.1. Técnicas

Para la presente investigación se obtuvo la información del proceso para el cual fue diseñada la expansión del Reamer de Ø2.4m a Ø2.7m; mediante otras investigaciones realizadas y estándares del perfil del escariador (The Reamer Profiler).

Asimismo, se realizó la revisión de anteriores diseños y experiencias tomadas en campo referenciales a este nuevo diseño.

3.6.2. Instrumentos

Normas, bibliografías, linkografías, entre otros.

3.7. Selección, Validación y Confiabilidad de los Instrumentos de Investigación

3.7.1. Selección

Para el diseño estructural del Reamer Existente de Ø2.4m a un Reamer Proyectado de Ø2.7m; se utiliza datos de la Matriz de Análisis del comportamiento

operacional de la Máquina Raise Boring RBM 6 con un Reamer Ø2.4m en la Fase II (Método Raise Boring); de tal manera determinar el punto operativo de la Máquina Raise Boring RBM 6 con un Reamer Proyectado Ø2.7m en la chimenea CH2682RB.

La investigación utiliza como instrumento fichas técnicas de fabricantes y extensa bibliografía académica de recolección de datos, asimismo, se realizó la revisión de anteriores diseños y experiencias tomadas en campo referenciales a este nuevo diseño.

3.7.2. Validación

La información expuesta en esta investigación; son fuentes de empresas dedicadas a la fabricación y/o ejecución de la Metodología Raise Boring desde su creación por la década de 1950. Así como por la empresa XTRATA UNDERGROUND SOLUTIONS con una experiencia de 11 años en la industria.

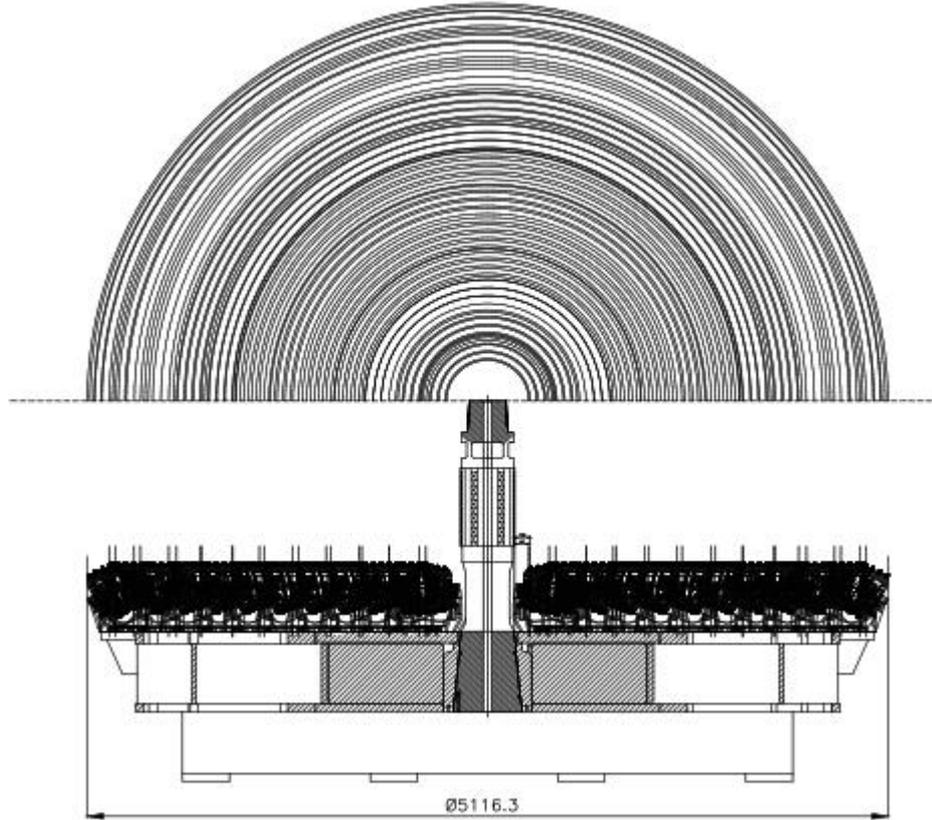
3.7.3. Confiabilidad

Con base en la información recopilada disponible, en el proyecto se presenta la experiencia de la empresa XTRATA UNDERGROUND SOLUTIONS en la industria minera con el desarrollo de chimeneas en diferentes terrenos con diseños anteriores de expansión de Reamers; los casos estudiados podrían predecir de manera eficiente el comportamiento real del corte del Reamer Proyectado de Ø2.7m en el proyecto chimenea CH2682RB.

Asimismo, se garantizó el seguimiento durante la ejecución de la chimenea CH2682RB, lo que mejoró la precisión y la integridad del modelo analizado. Finalmente, reflejó verdaderamente el estado del comportamiento operacional de la Máquina Raise Boring RBM 6 con un Reamer de Ø2.7m en la Fase II (Método

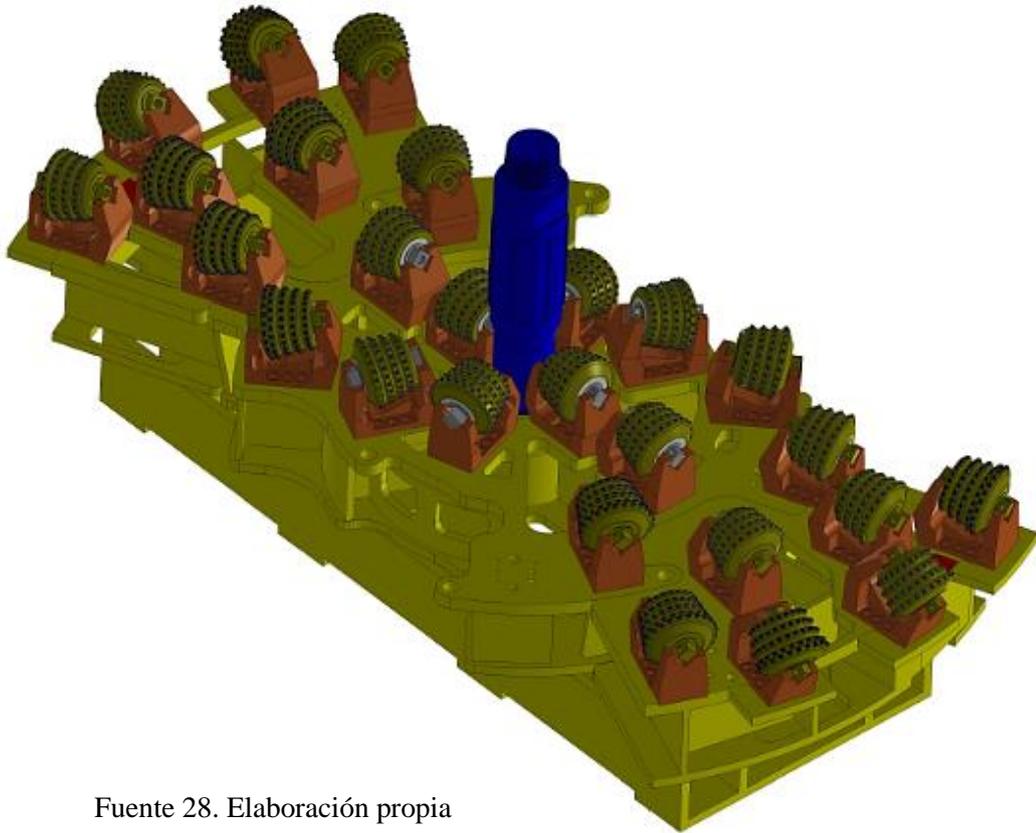
Raise Boring), lo que permitió que este experimento fuese representativo y confiable.

Figura 20. Distribución de cortadores expansión del Reamer de $\text{Ø}4.5\text{m}$ a $\text{Ø}5\text{m}$ – Proyecto Oz Minerals



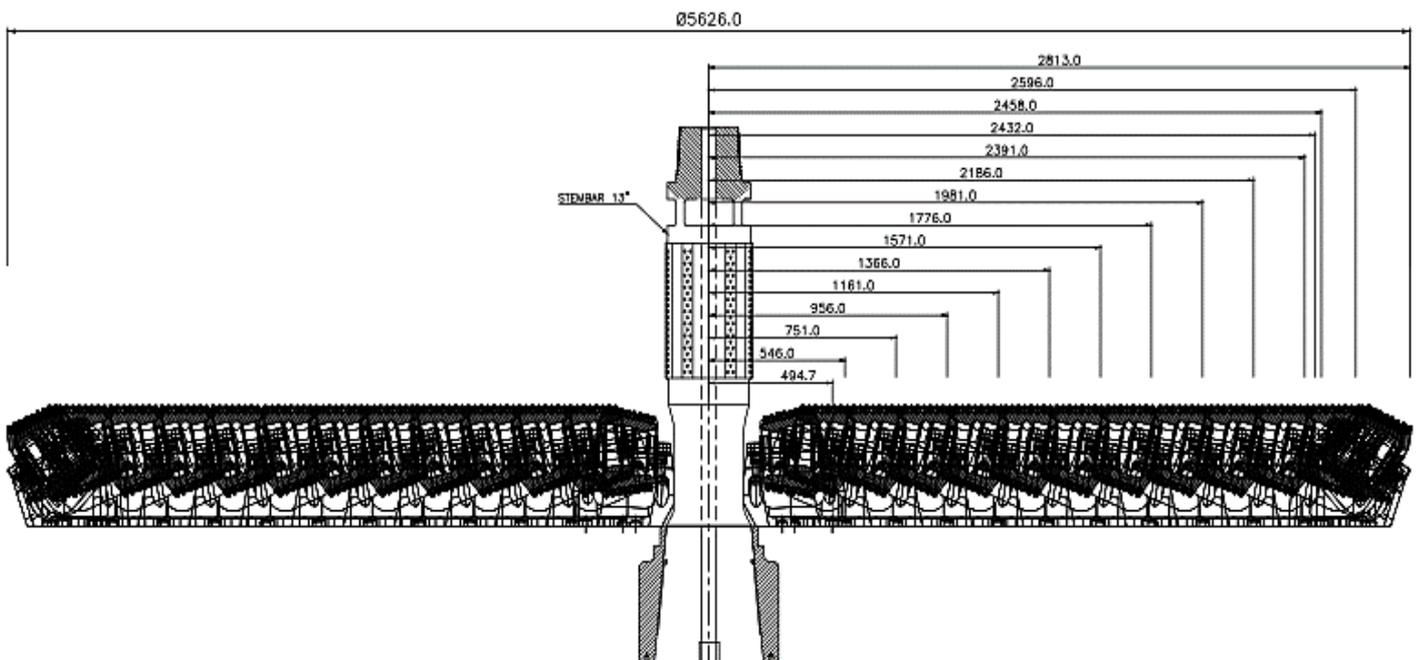
Fuente 27. Elaboración propia

Figura 21. Vista Isométrica de la Distribución de cortadores expansión Reamer de Ø4.5m a Ø5m – Proyecto Oz Minerals



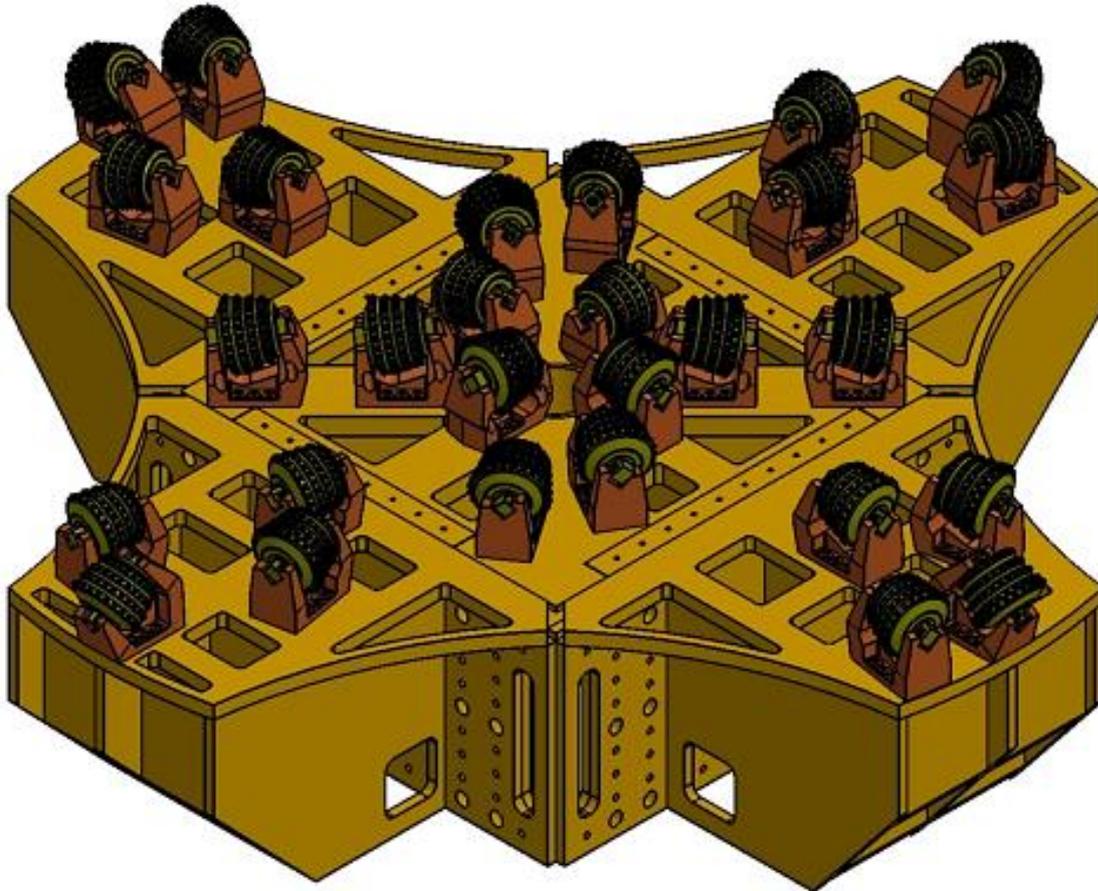
Fuente 28. Elaboración propia

Figura 22. Distribución de cortadores expansión Reamer e Ø5.5m a Ø5.62m – Proyecto Pique Circular Minera Alpayana



Fuente 29. Elaboración propia

Figura 23. Vista Isométrica de la Distribución de cortadores expansión Reamer de $\text{Ø}5.5\text{m}$ a $\text{Ø}5.62\text{m}$ – Proyecto Pique Circular Minera Alpayana



Fuente 30. Elaboración propia

3.8. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

3.8.1. Técnicas de Procesamiento

La Metodología Raise Boring; ha sido extensamente estudiada; de acuerdo a la literatura, existen estándares industriales para las geometrías de fabricación de los Reamers; los cuales se han utilizado en el siguiente proyecto, Asimismo, se realizó la revisión de anteriores diseños y experiencias tomadas en campo referenciales a este nuevo diseño por parte de la empresa XTRATA UNDERGROUND SOLUTIONS.

3.8.2. Análisis de Datos

El análisis del Estudio Técnico - Económico del Reamer Existente de Ø2.4m, define los parámetros para el diseño computacional de la distribución de cortadores a un Reamer Proyectado de Ø2.7m, mediante el perfil del escariador (The Reamer Profiler): altura, radio (anillos de corte) y ángulo del portacortador sobre el escariador además de ello las propiedades físico – mecánicas del macizo rocoso.

La Metodología para la consecución del análisis es la recopilación bibliográfica del Método Raise Boring; y experiencias tomadas en campo referenciales a diseños anteriores por parte de la empresa XTRATA UNDERGROUND SOLUTIONS.

3.9. Tratamiento Estadístico

Se realiza un enfoque cuantitativo, describiendo y explicando la selección de parámetros de ingeniería óptimos (usados para controlar el comportamiento operacional de la Metodología Raise Boring); para posteriormente realizar el diseño del Reamer Proyectado de Ø2.7m.

El desarrollo del presente tema de investigación se realiza en tres etapas; Recopilación de información, trabajo de campo y trabajo analítico.

3.10. Orientación Ética Filosófica y Epistémica

El desarrollo del presente proyecto de investigación, basa su contenido en la recolección de información relacionada al problema de estudio de acuerdo a la literatura y estándares industriales con respecto al Estudio Técnico – Económico en el Diseño de la Distribución de Cortadores del Reamer Existente de Ø2.4m a un Reamer Proyectado de Ø2.7m; con la finalidad de mejorar las condiciones

ambientales actuales y/o proyectadas de la mina, suministrando aire limpio con el mínimo de contaminantes.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del Trabajo de Campo.

4.1.1. Estudio Geomecanico de la CH2682RB

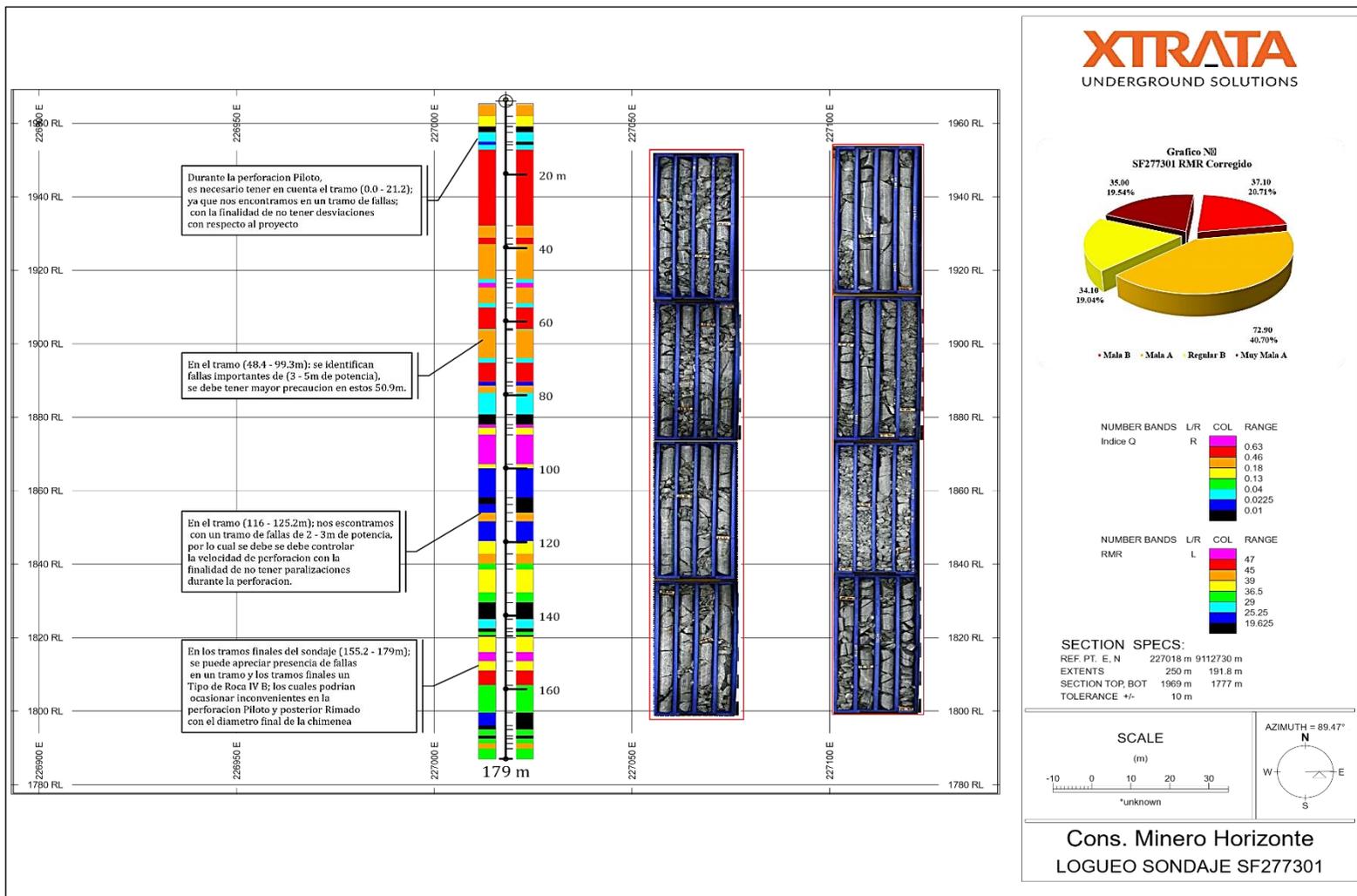
Para el desarrollo del presente proyecto chimenea CH2682RB se determinó realizar un sondaje diamantino SF – 2777301 a fin de determinar la caracterización del macizo rocoso a lo largo del eje del proyecto, el cual será ejecutado con la Metodología Raise Boring; el cual beneficiará al circuito de ventilación de la Zona Lourdes.

De acuerdo a la identificación de estructuras se podrá determinar los tramos inestables en la cual se deberá tener mayor control en el proceso de Pilotaje (Fase I) y Rimado (Fase II); siendo de carácter fundamental el Estudio Geomecanico el cual ha de proporcionar una referencia para la selección de los Escenarios planteados en la expansión del Reamer Existente de Ø2.4m a un Reamer Proyectado de Ø2.7m.

4.1.1.1. Logueo Geomecanico – Geotécnico

La literatura utilizada en el logueo Geomecanico – Geotécnico, es la Clasificación Geomecánica de Bieniawski o RMR (1989) e Índice Q de Barton, que son los más indicados para una evaluación permanente. La finalidad de este estudio es determinar, describir e identificar las principales estructuras y discontinuidades, complementando los parámetros establecidos para calcular el RMR Básico en cada caso; con ello posteriormente calcular el RMR Ajustado por el buzamiento que presentan estas continuidades.

Figura 24. Logueo Sondaje Diamantino SF – 2777301



Fuente 31. Elaboración propia

4.1.1.2. Análisis Geomecánico – Geotécnico

De acuerdo al análisis que se realizó; se determinó:

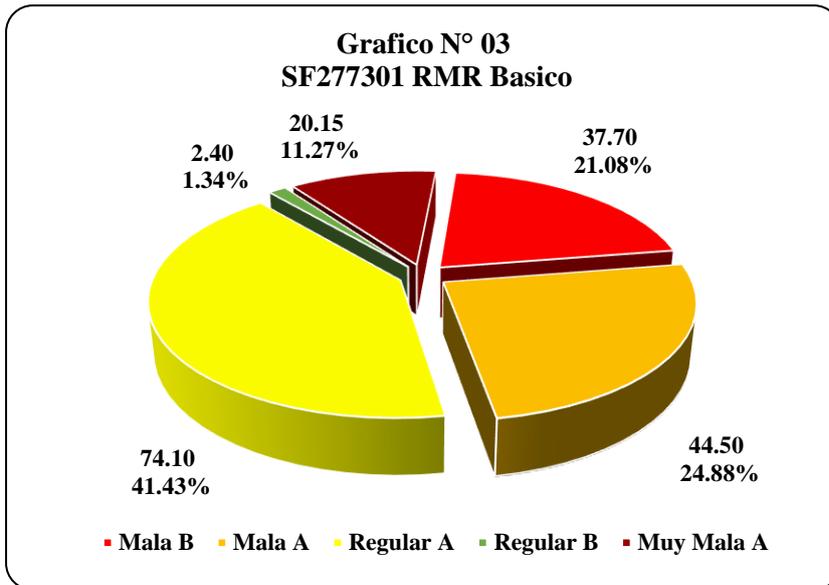
- En los tramos iniciales del sondaje; el tipo de roca predominante es Tipo IV A - Tipo IV B, con una ligera tendencia a Tipo Regular III B. Todo lo contrario, la tendencia en los tramos finales es un Tipo de roca Mala IV a Tipo de roca Mala V.
- A partir de 85m de profundidad, se evidencia cambios estructurales por un sistema de fallas con potencias que van de los 3m – 4m.
- La alteración es intensa en los tramos de intersección con una falla importante, donde el relleno de las fisuras es: Calcita, Cuarzo, Clorita y algunos casos Arcillas. Las aguas subterráneas en esta zona es humedad por goteo.

Tabla 8. RMR Básico

RMR BÁSICO		
TIPO DE ROCA	LONGITUD (m)	%
Mala B	37.70	21.08%
Mala A	44.50	24.88%
Regular A	74.10	41.43%
Regular B	2.40	1.34%
Muy Mala A	20.15	11.27%
TOTAL	178.85	100.00%

Fuente 32. Elaboración propia

Gráfico 1. RMR Básico



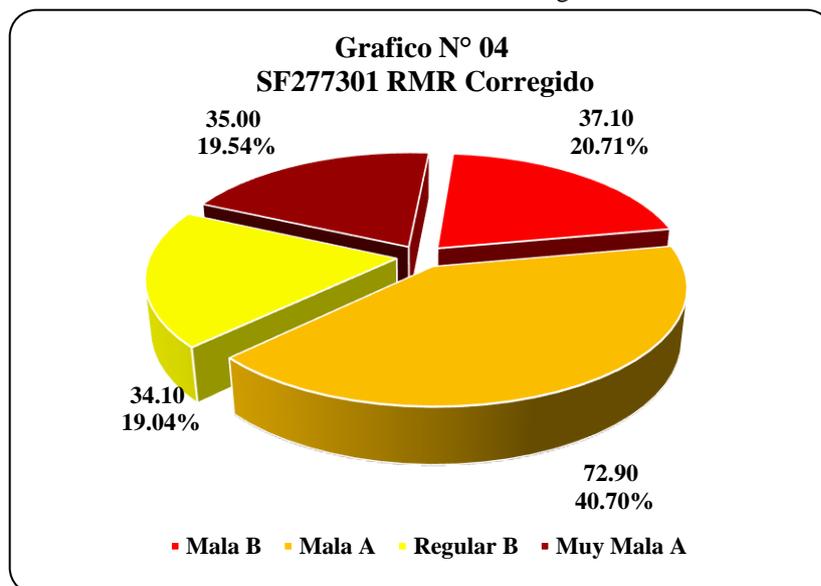
Fuente 33. Elaboración Propia

Tabla 9. RMR Corregido

RMR CORREGIDO		
TIPO DE ROCA	LONGITUD (m)	%
Mala B	37.10	20.71%
Mala A	72.90	40.70%
Regular B	34.10	19.04%
Muy Mala A	35.00	19.54%
TOTAL	179.10	100.00%

Fuente 34. Elaboración Propia

Gráfico 2. SF277301 RMR Corregido



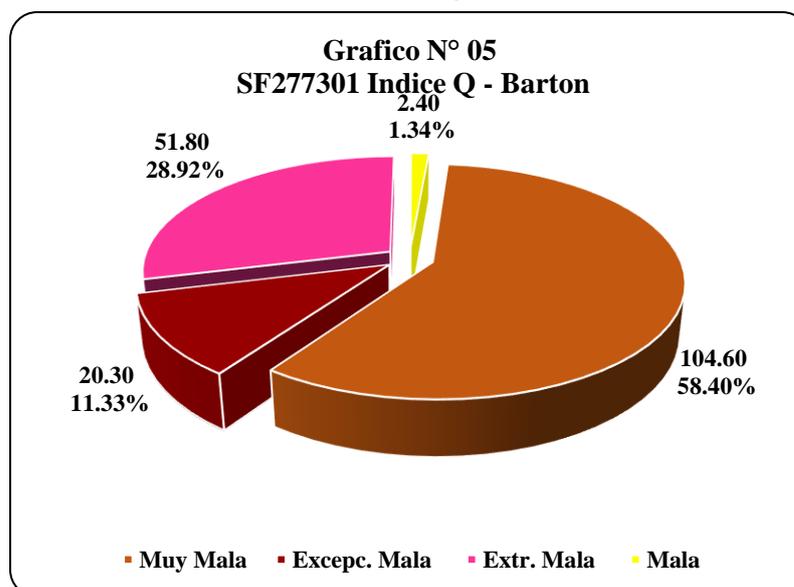
Fuente 35. Elaboración Propia

Tabla 10. Índice Q - BARTON

INDICE Q - BARTON		
TIPO DE ROCA	LONGITUD (m)	%
Muy Mala	104.60	58.40%
Excepc. Mala	20.30	11.33%
Extr. Mala	51.80	28.92%
Mala	2.40	1.34%
TOTAL	179.10	100.00%

Fuente 36. Elaboración Propia

Gráfico 3. Índice Q - BARTON



Fuente 37. Elaboración Propia

4.1.2. Confiabilidad del Instrumento

La confiabilidad del instrumento de la presente investigación ha sido limitada por la Población Finita de acuerdo a la necesidad del proyecto; que detallaremos a continuación:

Fórmula cálculo del tamaño de la muestra:

$$n = \frac{Z^2 pqN}{e^2 * (N+1) + Z^2 pq}$$

N = Tamaño de la Población

Z = Nivel de confianza

p = Probabilidad a favor

q = Probabilidad en contra

e = Margen de error (Máximo recomendado 5%)

NOTA: Si p y q no se conocen, se da un valor de 0,5 a cada una, porque $p+q = 1$

4.1.3. Diseño Geométrico del Reamer Proyectado de Ø2.7M

En base al análisis de los Escenarios planteados en la expansión del Reamer Existente de Ø2.4m a un Reamer Proyectado de Ø2.7m, se presentan los problemas del Reamer Profiler (altura del portacortador, anillos de corte y Angulo de portacortadores sobre el escariador), incluida las propiedades físico - mecánicas del macizo rocoso los cuales influyen directamente en el desarrollo de la perforación de la chimenea CH2682RB. Finalmente, los Escenarios planteados han sido desarrollados por medios computacionales que se describen a continuación:

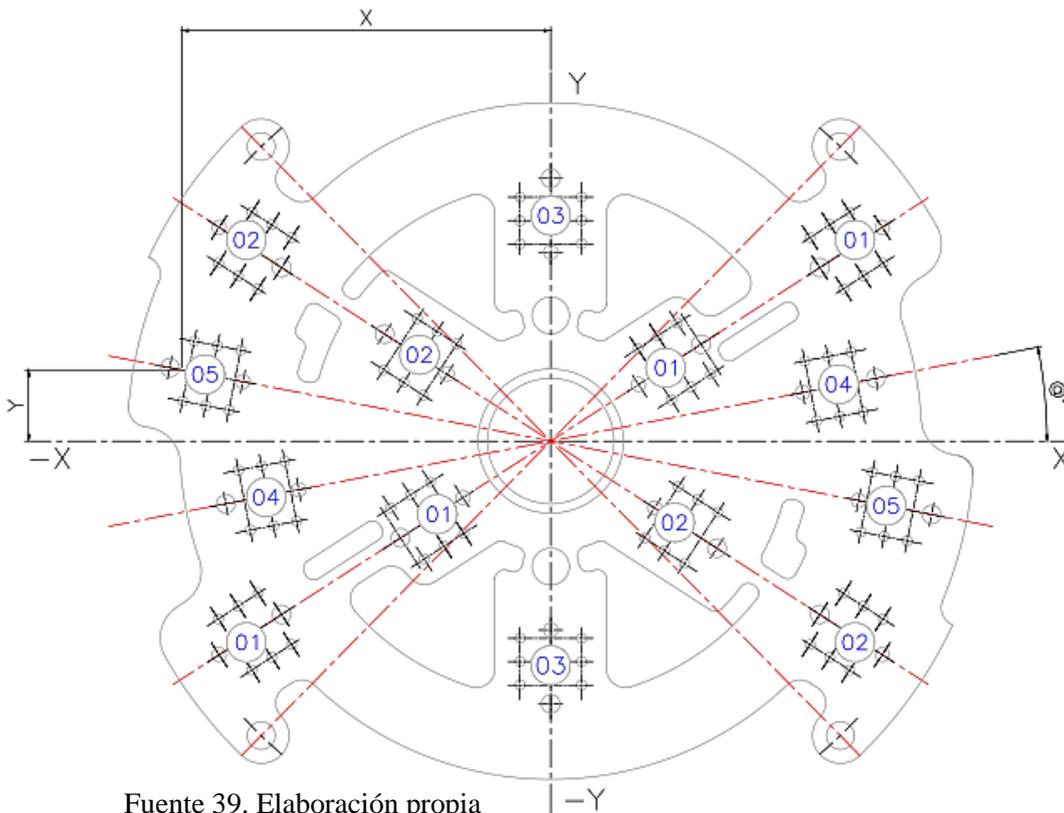
- El estudio de campo incluye la recopilación de parámetros operativos y de rendimiento, incluidas las velocidades de rotación y la fuerza de torque del cabezal de corte, el peso sobre el Reamer (fuerza de empuje), el empuje neto del reamer (fuerza de tracción), la tasa de penetración unitaria y la energía específica de la Maquina Raise Boring RBM 6.
- Dada la geometría actual del Reamer Existente de Ø2.4m se han diseñado 3 posibles Escenarios para la selección de la geometría optima en la fabricación del Reamer Proyectado de Ø2.7m; según los estándares del Reamer Profiler (altura del portacortador, anillos de corte y ángulo del portacortador sobre el escariador) y los requerimientos operacionales del Rimado (Fase II). El cual brindara un consolidado de modelos de deformación cuyo comportamiento mecánico es simulado por análisis computacionales.
- Selección del diseño adecuado optimiza la distribución de cortadores en el Reamer Proyectado de Ø2.7m, el cual garantiza la eliminación eficiente de los recortes.

Tabla 11. Distribución de Cortadores y Ejes de Corte en el Reamer Existente de Ø2.4m

CUTTER POSITIONING ON HEADS									
REAMING HEAD TYPE	HEAD DIAM. mm	N° OF CUTTERS	TYPE OF CUTTER	POSITION SPACING 25.5mm	CUTTING AXIS				
					1	2	3	4	5
RE - 2.4 - 0.1	2400	14	CMR 41	1 3 5 7 9 11 13	1	3	5	7	9
			CMR 52	2 4 6 8 10 12 14	2	4	6	8	10
					12	11			
					14	13			

Fuente 38. Elaboración propia

Figura 25. Ejes de Corte del Reamer Existente Ø2.4M



Fuente 39. Elaboración propia

El proceso de evaluación comienza con definir adecuadamente los límites operativos de la expansión del Reamer Proyectado de Ø2.7m; para ello es necesario determinar el tipo de Reamer requerido, el número de cortadores, la carga total del cortador requerida y el torque resultante requerido para rotar el escariador cuando está correctamente cargado.

Finalmente, con la experiencia obtenida en la ejecución de proyectos con la Metodología Raise Boring, se proporciona un pronóstico de desempeño para la geometría propuesta basado en el Reamer Proyectado de Ø2.7m descrito para los diferentes tipos de rocas principales.

4.1.4. Estudio Económico de la CH2682RB

Según los indicadores de la excavación del proyecto chimenea CH2682RB con la Metodología Raise Boring; la actividad crítica es la Perforación Rimado Ø2.7m; ya que representa el 80.2% del costo total de operación. Ello; debido al alto grado de desgaste que se genera en los componentes durante esta actividad como producto de la perforación. Dado esta realidad el objetivo es maximizar la vida útil de los componentes y garantizar que no se generen mantenimientos no programados.

Finalmente, la adaptabilidad de los Escenarios planteados diseñados para la interacción de la sarta de perforación y las propiedades físico - mecánicas del macizo rocoso, garantizaran que no se generen pérdidas económicas.

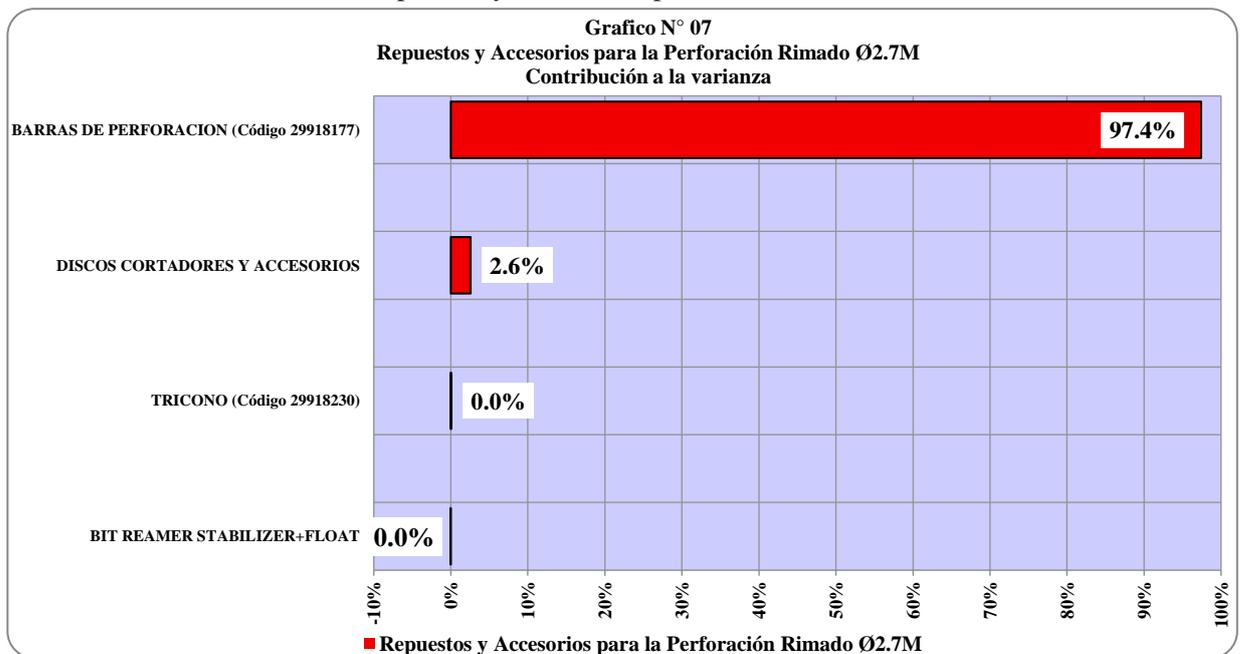
Tabla 12. Precios Unitarios del Proyecto Raise Boring CH2682RB

PRECIOS UNITARIOS DEL PROYECTO RAISE BORING CH2682RB							
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNID.	U\$\$/ UNIDAD	PRESUPUEST. MÍNIMO	PRESUPUEST. REAL PROBABLE	PRESUPUEST. MÁXIMO	DISTRIBUC.
1	Movilización de Equipos Raise Boring (Maquinas RB, Tubería, Cabeza Rimadora)	U\$\$	8,150.00	7,335.00	8,150.00	8,965.00	8150.00
2	Perforación Piloto (Norte/Sur) Chimenea Diámetro 11"	U\$\$/Mt	380.00	61,218.00	68,020.00	74,822.00	68020.00
3	Perforación Rimado diámetro 2.7m (Norte/Sur)	U\$\$/Mt	1,288.66	207,602.53	230,669.48	253,736.43	230669.48
4	Re perforación Piloto (Norte/Sur) Chimenea Diámetro 11"	U\$\$/Mt	270.00	43,497.00	48,330.00	53,163.00	48330.00
5	Perforación Piloto sin Rimado Diámetro 11" (Maquina RB y Personal)	U\$\$/Mt	435.00	70,078.50	77,865.00	85,651.50	77865.00
6	Hora Stand By Maquina Raise Boring (Maquina RB y Personal)	U\$\$/Hr	75.00	67.50	75.00	82.50	75.00
7	Alquiler diario de bomba de agua (durante la perforación piloto)	U\$\$/Dia	135.00	1,822.50	2,025.00	2,227.50	2025.00
8	Aditivos para perforación (durante la perforación piloto)	U\$\$	85.00	1,147.50	1,275.00	1,402.50	1275.00
9	Desmovilización de Equipos Raise Boring (Maquinas RB, Tubería, Cabeza Rimadora)	U\$\$	8,150.00	7,335.00	8,150.00	8,965.00	8150.00
TOTAL				400,103.53	444,559.48	489,015.43	489,015.43

Fuente 42. Elaboración Propia

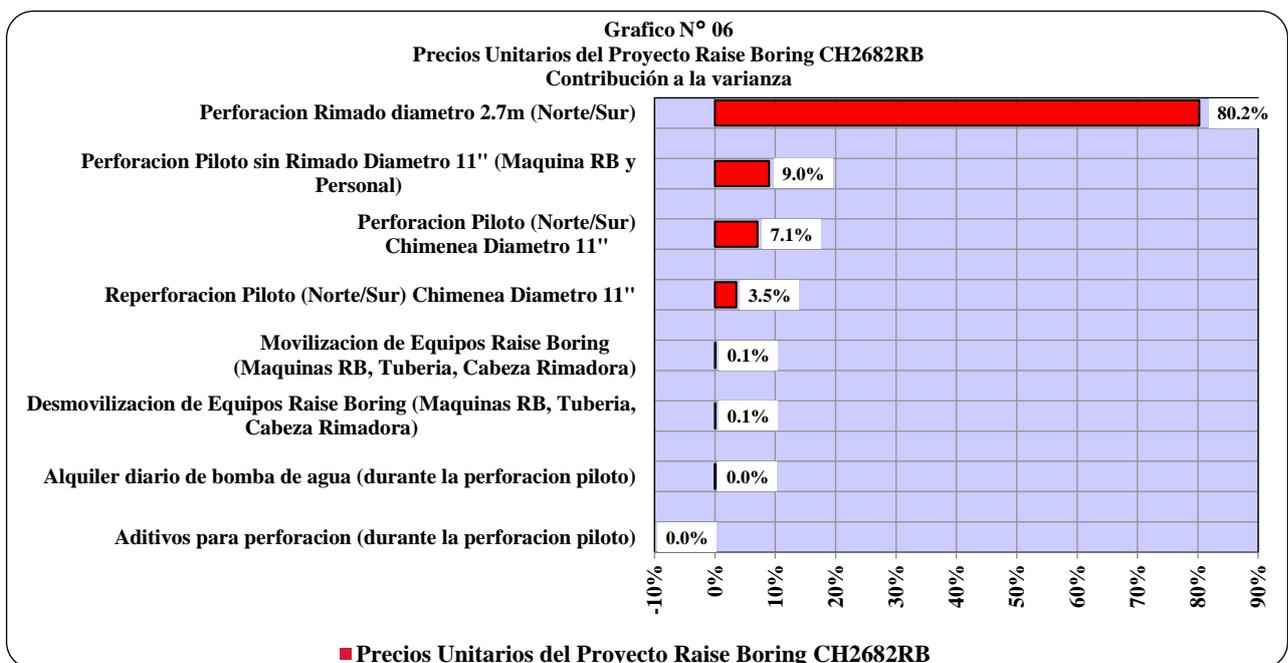
Además de ello; durante esta actividad aumentan riesgos en la sarta de perforación y particularmente en las conexiones roscadas; que pueden ocasionar fisuras y/o roturas durante la perforación rimado; que es generalmente muy costosa en la ejecución del proyecto.

Gráfico 5. Repuestos y Accesorios para la Perforación Rimado Ø2.7M



Fuente 43. Elaboración Propia

Gráfico 4. Precios Unitarios del Proyecto Raise Boring CH2682RB



Fuente 44. Elaboración Propia

Tabla 13. Repuestos y Accesorios para la Perforación Rimado Ø2.7M

REPUESTOS Y ACCESORIOS PARA LA PERFORACIÓN RIMADO Ø2.7M										
ITEM	CANT.	UNID.	DESCRIPCIÓN	PU (\$)	Costo Parcial	Sub Total	Mínimo	Total (\$)	Máximo	Distribución
1	1	Pzas.	BIT REAMER STABILIZER+FLOAT Diámetro Exterior 11" Valve R 9/4" Rosca cabeza DI22 PIN API 6 3/8"	11,681.60	11,681.60	11,681.60	10,513.44	11,681.60	12,849.76	11,681.60
2	2	Pzas.	TRICONO (Código 29918230) API Regular Diámetro Exterior 11" Resistencia 360 Mpa, Alta Resistencia V.H. Material Abrasivo de alta dureza con protección de tungsteno en faldones.	6,130.51	12,261.02	12,261.02	11,034.92	12,261.02	13,487.12	12,261.02
3	118	Pzas.	BARRAS DE PERFORACIÓN (Código 29918177) Rosca 9/4" DI22 Diámetro Exterior 10" Longitud 1524 mm Material Abrasivo de alta dureza Anchura llave 9", con RIF laterales en espiral o estándar.	12,635.80	1,491,024.40	1,491,024.40	1,341,921.96	1,491,024.40	1,640,126.84	1,491,024.40
			DISCOS CORTADORES Y ACCESORIOS			241,816.33	217,634.70	241,816.33	265,997.96	241,816.33
4	7	Pzas.	Cortador para Escariado, 4 filas (diámetro 371 mm).	8,364.65	58,552.55					
5	7	Pzas.	Cortador para Escariado, 5 filas (diámetro 371 mm).	8,863.14	62,041.98					
6	2	Pzas.	Saddle Stem 0° (Código 30256970)	5,396.18	10,792.36					
7	10	Pzas.	Saddle Middle 10° (Código 30256969)	5,844.60	58,446.00					
8	2	Pzas.	Saddle Gauge 40° (Código 30256969)	5,845.60	1,691.20					
9	1	Pzas.	Reamer Ø2.7m	25,200.00	25,200.00					
10	36	Pzas.	Busch (Código 29606015)	46.66	1,679.76					
11	4	Pzas.	Perno (Código 24000831)	7.80	31.20					
12	30	Pzas.	Set fijación (Código 30257619)	118.80	3,564.00					
13	20	Pzas.	Perno (Código 30256974)	59.40	1,188.00					
14	20	Pzas.	Perno (Código 24000032)	1.80	36.00					
15	28	Pzas.	Perno (Código 24000006)	3.00	84.00					
16	80	Pzas.	Perno (Código 24000538)	9.60	768.00					
17	80	Pzas.	Tuerca (Código 24000001)	1.80	144.00					
18	160	Pzas.	Arandela (Código 24904046)	9.60	1,536.00					
19	1	Pza.	Indicador de desgaste Rosca DI22	430.24	430.24					
20	4	Pzas.	Anillo de sacrificio para stem (Código 40227358)	1,407.76	5,631.04					
TOTAL				92,058.54	1,756,783.35	1,756,783.35	1,581,105.02	1,756,783.35	1,932,461.69	1,756,783.35

Fuente 45. Elaboración Propia

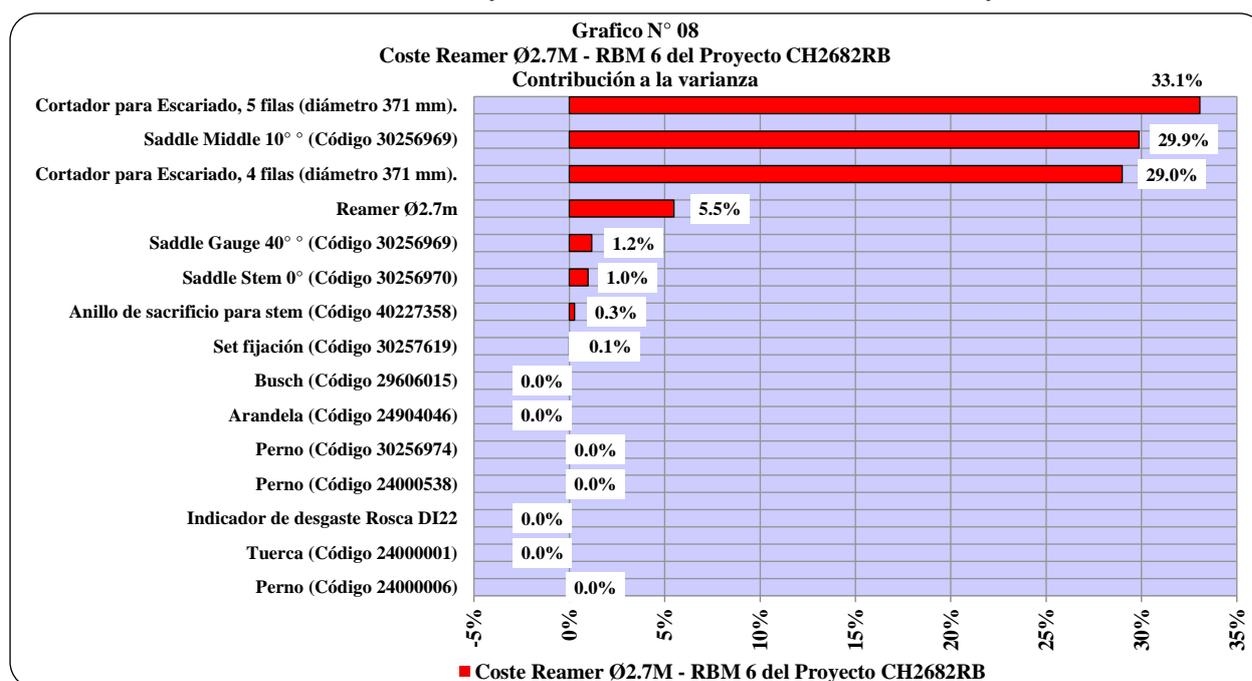
El cortador representa el principal material consumible en la Perforación Rimado; por ello una correcta selección del diseño del cabezal del Reamer es imprescindible para garantizar un rendimiento optimo durante el Rimado Controlado (Fase II) de la excavación.

Tabla 14. Coste Cortadores y Accesorios Coste Reamer Ø2.7M - RBM 6 del Proyecto CH2682RB

COSTO DISCOS CORTADORES Y ACCESORIOS EN EL REAMER Ø2.7M - RBM 6								
ITEM	CANT.	UNID.	DESCRIPCIÓN	PU (\$)	Costo Parcial	Sub Total	Total (\$)	Distribución
DISCOS CORTADORES Y ACCESORIOS								
4	7	Pzas.	Cortador para Escariado, 4 filas (diámetro 371 mm).	8,364.65	58,552.55	58,552.55	58,552.55	58,552.55
5	7	Pzas.	Cortador para Escariado, 5 filas (diámetro 371 mm).	8,863.14	62,041.98	62,041.98	62,041.98	62,041.98
6	2	Pzas.	Saddle Stem 0° (Código 30256970)	5,396.18	10,792.36	10,792.36	10,792.36	10,792.36
7	10	Pzas.	Saddle Middle 10° (Código 30256969)	5,844.60	58,446.00	58,446.00	58,446.00	58,446.00
8	2	Pzas.	Saddle Gauge 40° (Código 30256969)	5,845.60	11,691.20	11,691.20	11,691.20	11,691.20
9	1	Pzas.	Reamer Ø2.7m	25,200.00	25,200.00	25,200.00	25,200.00	25,200.00
10	36	Pzas.	Busch (Código 29606015)	46.66	1,679.76	1,679.76	1,679.76	1,679.76
11	4	Pzas.	Perno (Código 24000831)	7.80	31.20	31.20	31.20	31.20
12	30	Pzas.	Set fijación (Código 30257619)	118.80	3,564.00	3,564.00	3,564.00	3,564.00
13	20	Pzas.	Perno (Código 30256974)	59.40	1,188.00	1,188.00	1,188.00	1,188.00
14	20	Pzas.	Perno (Código 24000032)	1.80	36.00	36.00	36.00	36.00
15	28	Pzas.	Perno (Código 24000006)	3.00	84.00	84.00	84.00	84.00
16	80	Pzas.	Perno (Código 24000538)	9.60	768.00	768.00	768.00	768.00
17	80	Pzas.	Tuerca (Código 24000001)	1.80	144.00	144.00	144.00	144.00
18	160	Pzas.	Arandela (Código 24904046)	9.60	1,536.00	1,536.00	1,536.00	1,536.00
19	1	Pza.	Indicador de desgaste Rosca DI22	430.24	430.24	430.24	430.24	430.24
20	4	Pzas.	Anillo de sacrificio para stem (Código 40227358)	1,407.76	5,631.04	5,631.04	5,631.04	5,631.04
TOTAL				61,610.63	241,816.33	241,816.33	241,816.33	241,816.33

Fuente 47. Elaboración Propia

Gráfico 6. Coste de Cortadores y Accesorios del Reamer Ø2.7M - del Proyecto CH2682RB



Fuente 46. Elaboración Propia

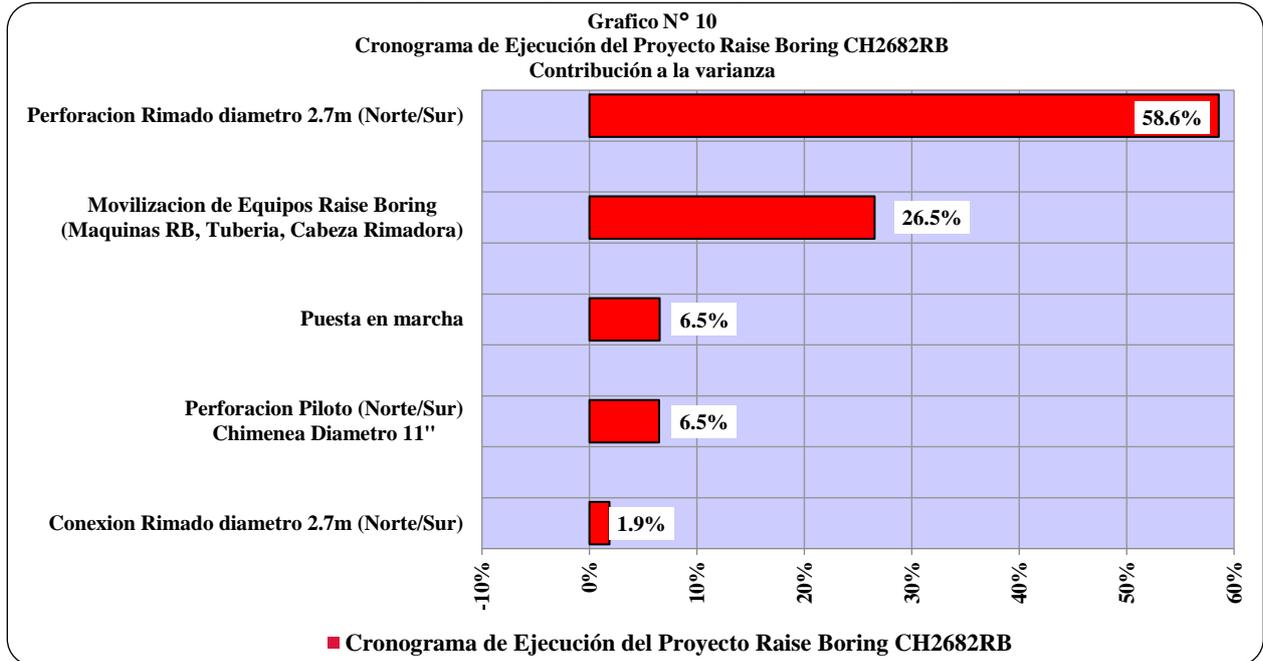
El desempeño de la Maquina Raise Boring RBM 6, en la etapa de factibilidad (planificación) es uno de los temas importantes en la excavación del proyecto chimenea CH2682RB para estimar los costos y el tiempo de finalización del trabajo (programación) que afecta directamente la economía del proyecto. El pronóstico del rendimiento de la Maquina Raise Boring RBM 6RBM podrían conducir a una planificación más realista y reducir los costos generales de las operaciones de excavación del proyecto chimenea CH2682RB.

Tabla 15. Cronograma de Ejecución del Proyecto Raise Boring CH2682RB

CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO RAISE BORING CH2682RB					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	Día/ UNIDAD	TIEMPO REAL PROBABLE	DISTRIBUCIÓN
1	Movilización de Equipos Raise Boring (Maquinas RB, Tubería, Cabeza Rimadora)	Día	30.0	30.0	30.00
2	Puesta en marcha	Día	15.0	15.0	15.00
3	Perforación Piloto (Norte/Sur) Chimenea Diámetro 11"	Día	15.0	15.0	15.00
4	Conexión Rimado diámetro 2.7m (Norte/Sur)	Día	8.0	8.0	8.00
5	Perforación Rimado diámetro 2.7m (Norte/Sur)	Día	45.0	45.0	45.00
TOTAL			113.0	113.0	113.0
Probabilidad de cumplir el Cronograma base		50.30%			
Probabilidad (95%)		116.64			
Contingencia para cumplir el proyecto		3.64			

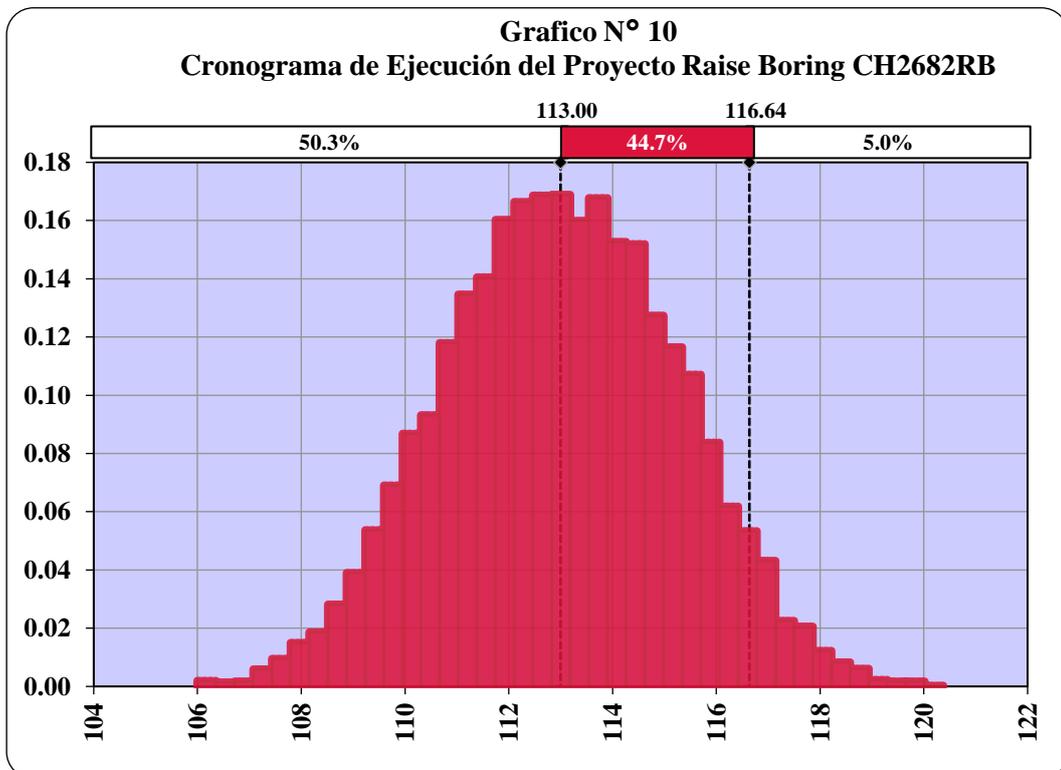
Fuente 48. Elaboración Propia

Gráfico 7. Cronograma de Ejecución del Proyecto Raise Boring CH2682RB



Fuente 49. Elaboración Propia

Gráfico 8. Probabilidad de cumplir el Cronograma base del Proyecto Raise Boring CH2682RB



Fuente 50. Elaboración Propia

4.2. Presentación, Análisis e Interpretación de Resultados.

4.2.1. Principales Parámetros Técnicos

4.2.1.1. Presión de perforación P_f

El diseño del Reamer de $\varnothing 2.7\text{m}$ (D_r); esta pronosticado trabajar con 14 cortadores y la perforación se realizará en las rocas con Resistencias a la Compresión Simple UCS (75MPa – 190MPa), donde la presión sobre los cortadores para romper las rocas debe ser de aproximadamente 35 kN.

4.2.1.2. Velocidad de Perforación

Fórmula penetración por revolución:

$$P = \left(\frac{K * F_L}{\sigma_{tf}} \right)$$

$$P = \left(\frac{624 * 0.15}{100} \right)$$

$$P = 0.936\text{mm}$$

P = Penetración por revolución

F_L = Fuerza media del cortador

σ_{tf} = Resistencia a tracción de la roca

El valor de K es de 624 en unidades del S.I.

4.2.1.3. Velocidad de rotación

Calculo velocidad de rotacion:

$$W_m = \left(\frac{38}{2.727} \right)$$

$$W_m = 13.9347$$

Datos:

W_m = Velocidad máxima de rotación (r/min)

$$D = 2.727$$

4.2.1.4. Velocidad de rotación

Calculo velocidad de rotacion:

$$W_m = \left(\frac{300-350 \text{ pies}/\text{min}}{\text{circunferencia (pies)}} \right)$$

Datos:

W_m = Velocidad máxima de rotación (r/min)

$$W_m = \left(\frac{337.28 \text{ pies}/\text{min}}{28.10735947 \text{ (pies)}} \right)$$

Circunferencia (pies)

$$W_m = 11.99970422$$

4.2.1.5. Velocidad de Rotación Periférica

Calculo **velocidad de rotacion periferica** :

$$V_p = \pi * D * \text{RPM}$$

Datos:

V_p = Velocidad de Rotación Periférica (ft/min)

D = Diámetro del Reamer (ft)

$$V_p = 337.28$$

RPM = 86% Velocidad máxima de rotación (r/min)

La velocidad de rotación periférica máxima de los cortadores es definida alrededor de 300 - 350 ft/min

4.2.1.6. Presión de Empuje para el Rimado

Calculo **Presión de Empuje** :

$$P_2 = \left(\frac{W+Y+Z+L}{A_2} \right)$$

Datos:

P_2 = Presión en el manómetro de empuje (psi)

W = Peso de la Columna de Perforación

$$P_2 = \left(\frac{35995.70667+5400+8000+127005.9}{0.065} \right)$$

W = w * d

Y = Peso del Gear Case (lb).

Z = Peso de la Cabeza Rimadora con Stem (lb).

$$P_2 = 2708336.923 \text{ kg f}/\text{m}^2$$

L = Carga deseada en la Cabeza Rimadora (lb).

L = X * N

$$P_2 = 3852.16 \text{ psi}$$

X = Carga deseada por Cortador (lb).

N = Número de Cortadores.

W = Peso / pie de Tubería (lb/pie)

d = Longitud de la Columna de Perforación en el hoyo (pies).

A = Área de los cilindros.

4.2.1.7. Tasa de Penetración Instantánea

Calculo **Tasa de penetración instantánea** :

$$IPR = \left(\frac{L_e}{t_e}\right) * 60$$

$$IPR = \left(\frac{179}{24000}\right) * 60$$

$$IPR = 0.4475 \frac{m}{h}$$

Datos:

IPR = Tasa de penetración instantánea(m/h)

L_e = longitud de perforación (m)

t_e = Tiempo de perforación (min)

4.2.1.8. Unidad de Penetración

Calculo **Unidad de Penetración** :

$$p = \left(\frac{IPR}{RPM}\right) * \left(\frac{1000}{60}\right)$$

$$p = \left(\frac{0.4475}{10}\right) * \left(\frac{1000}{60}\right)$$

$$IPR = 0.7458 \frac{mm}{rev}$$

Datos:

p = Unidad de Penetración (mm/rev.)

IPR = Tasa de penetración instantánea(m/h)

RPM = Velocidad de rotación (mm/rev.)

4.2.1.9. Velocidad de Corte Neta

Calculo **Velocidad de corte neta** :

$$NCR = (IPR) * (A_{sh})$$

$$NCR = (0.7458) * (5.840636)$$

$$IPR = 4.35594 \frac{m^3}{h}$$

Datos:

NCR = Velocidad de corte neta (m³/h)

IPR = Tasa de penetración instantánea(m/h)

A_{sh} = Área transversal del eje(m²)

4.2.2. Escenarios Planteados para el Diseño del Reamer Proyectado de Ø2.7M

4.2.2.1. Escenario N° 0001

4.2.2.1.1. Diseño Geométrico del Reamer Proyectado de Ø2.7M

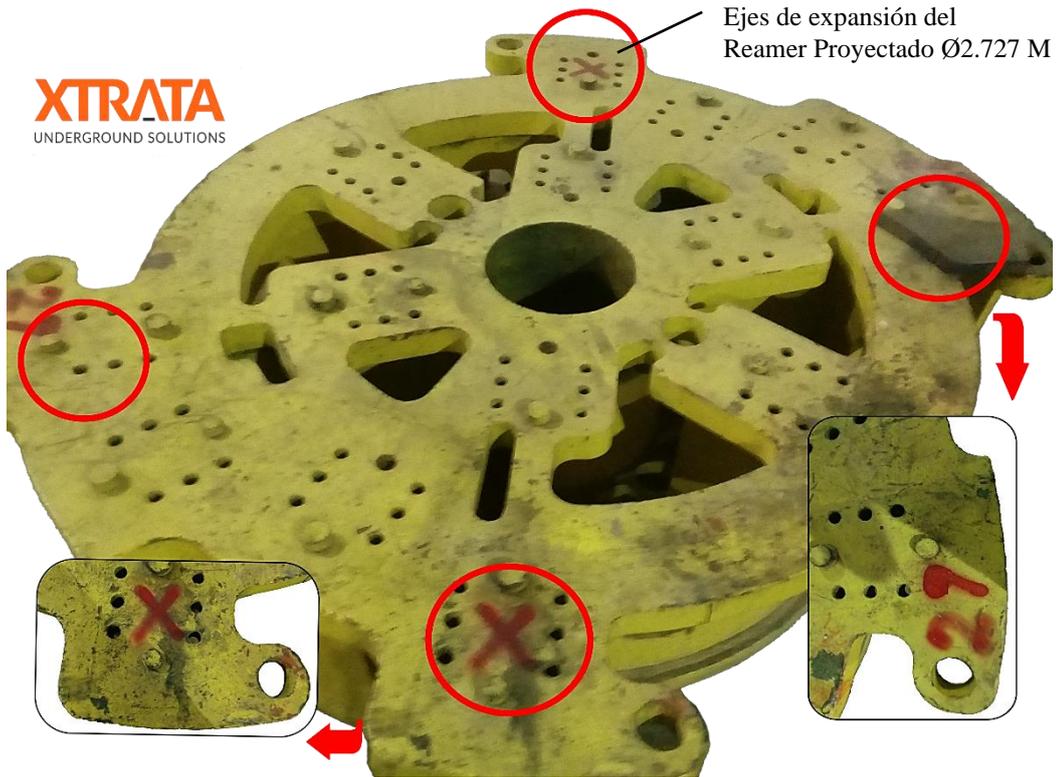
En el desarrollo actual de la construcción geométrica del Reamer Proyectado de Ø2.7M de perforación; en base a la geometría del Reamer Existente de Ø2.4m, se han identificado 5 ejes de corte, los mismos que serán utilizados para la expansión del mismo; de acuerdo a los datos funcionales técnicos del Reamer Profiler (altura del portacortador, anillos de corte y Angulo de portacortadores sobre el escariador).

Tabla 16. Distribución de Cortadores del Reamer Proyectado Ø2.7M - Escenario N°0001 y Ejes de corte en el Reamer

CUTTER POSITIONING ON HEADS															
REAMING HEAD TYPE	HEAD DIAM. mm	N° OF CUTTERS	TYPE OF CUTTER	POSITION SPACING 25.5mm				CUTTING AXIS							
				1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
RE - 2.4 - 0.1	2400	14	CMR 41	1	3	5	7	9	11	13	1	3	5	7	9
			CMR 52	2	4	6	8	10	12	14	11	13	2	4	6
RE - 2.7 - 0.1 Esc. N° 0001	2700	14	CMR 41	1	3	5	7	9	11	13	1	3	5	7	9
			CMR 52	2	4	6	8	10	12	14	11	13	2	4	6
												12	14		

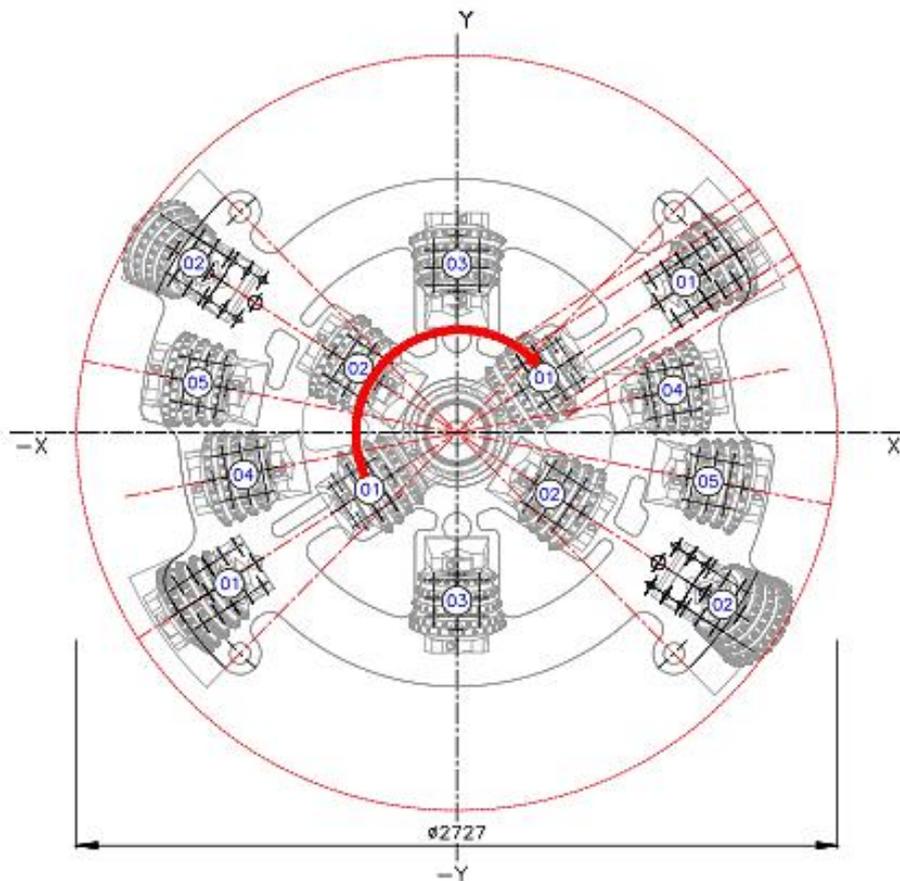
Fuente 51. Elaboración propia

Figura 30. Ejes de Corte del Reamer Projectado Ø2.7M - Escenario N°0001



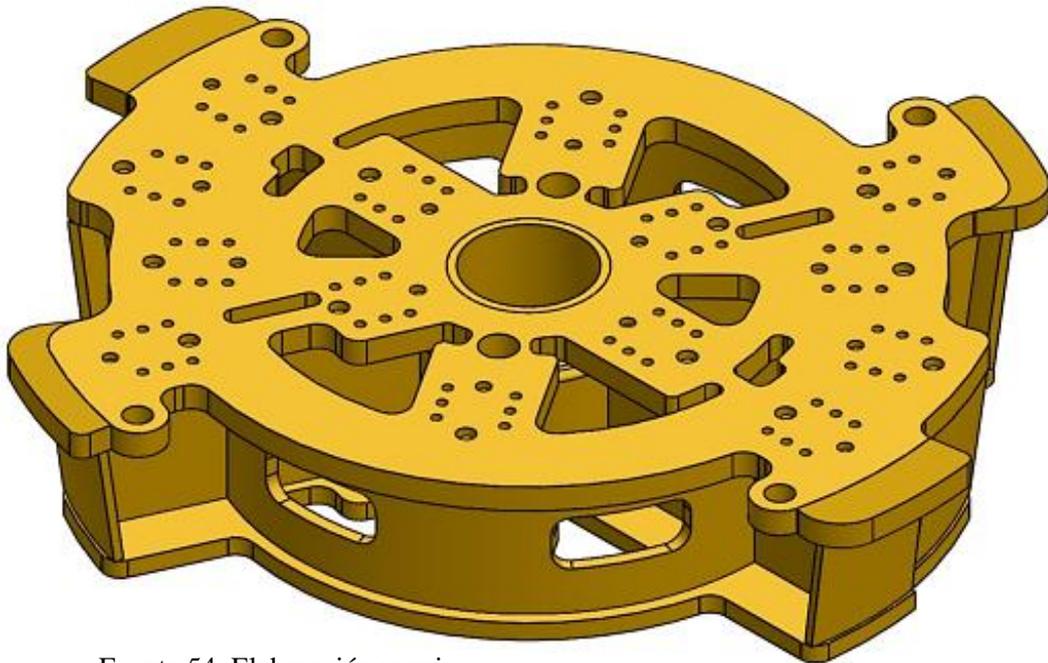
Fuente 52. Elaboración propia

Figura 31. Ejes de Corte del Reamer Projectado Ø2.7M - Escenario N°0001



Fuente 53. Elaboración propia

Figura 32. Modelo Computacional del Reamer Proyectado - Escenario N0001



Fuente 54. Elaboración propia

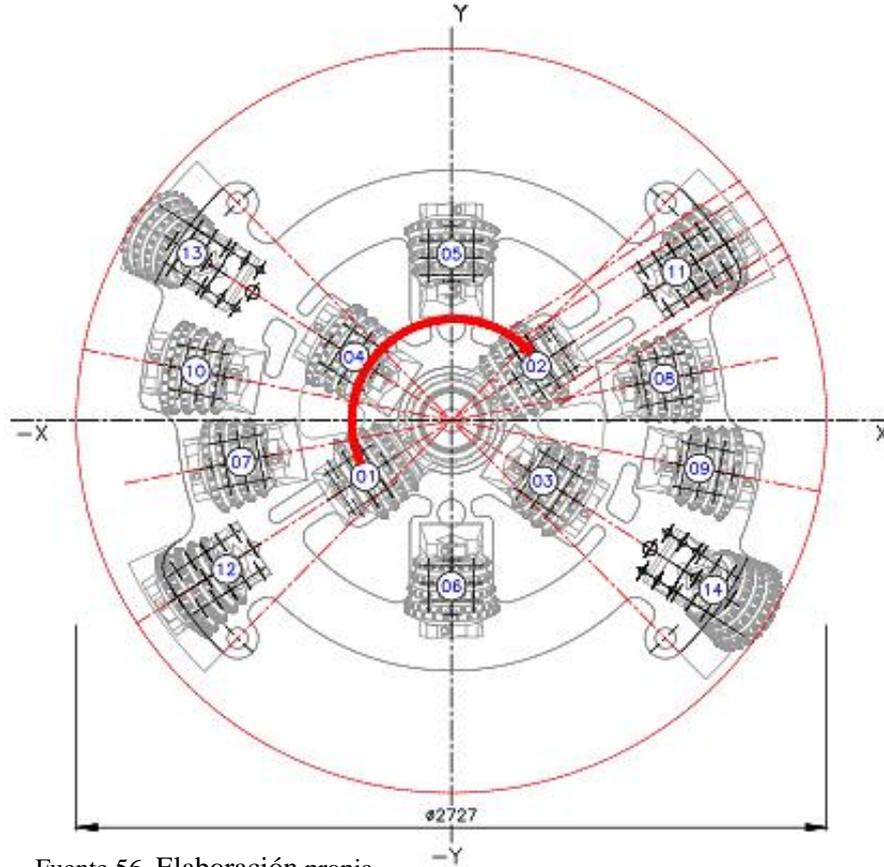
Con un Reamer Proyectado de $\text{Ø}2.727\text{m}$; está pronosticado trabajar con 14 cortadores (Cortadores: 5 filas y 4 filas); el diseño en si no significará un aumento de cortadores, en relación al Reamer existente de $\text{Ø}2.4\text{m}$; la variación más relevante es la distribución de los mismos; del cual se pronostica trabajar con 2 Portacortador Tipo Gauge (Posiciones N°13 y N°14).

Tabla 17. Reamer Proyectado de $\text{Ø}2.7\text{m}$ – Distribución de Cortadores
Escenario N° 0001

REAMER PROYECTADO DE $\text{Ø}2.727\text{M}$		
Tipo Cortador	Cantidad	
	Reamer Existente $\text{Ø}2.4\text{m}$	Reamer Escenario N° 0001
Cort. Stem (0°)	2	2
Cort. Middle ($10^\circ30'00''$)	8	10
Cort. Gauge ($35^\circ50'0''$)	4	2
TOTAL DE CORTADORES	14	14

Fuente 55. Elaboración propia

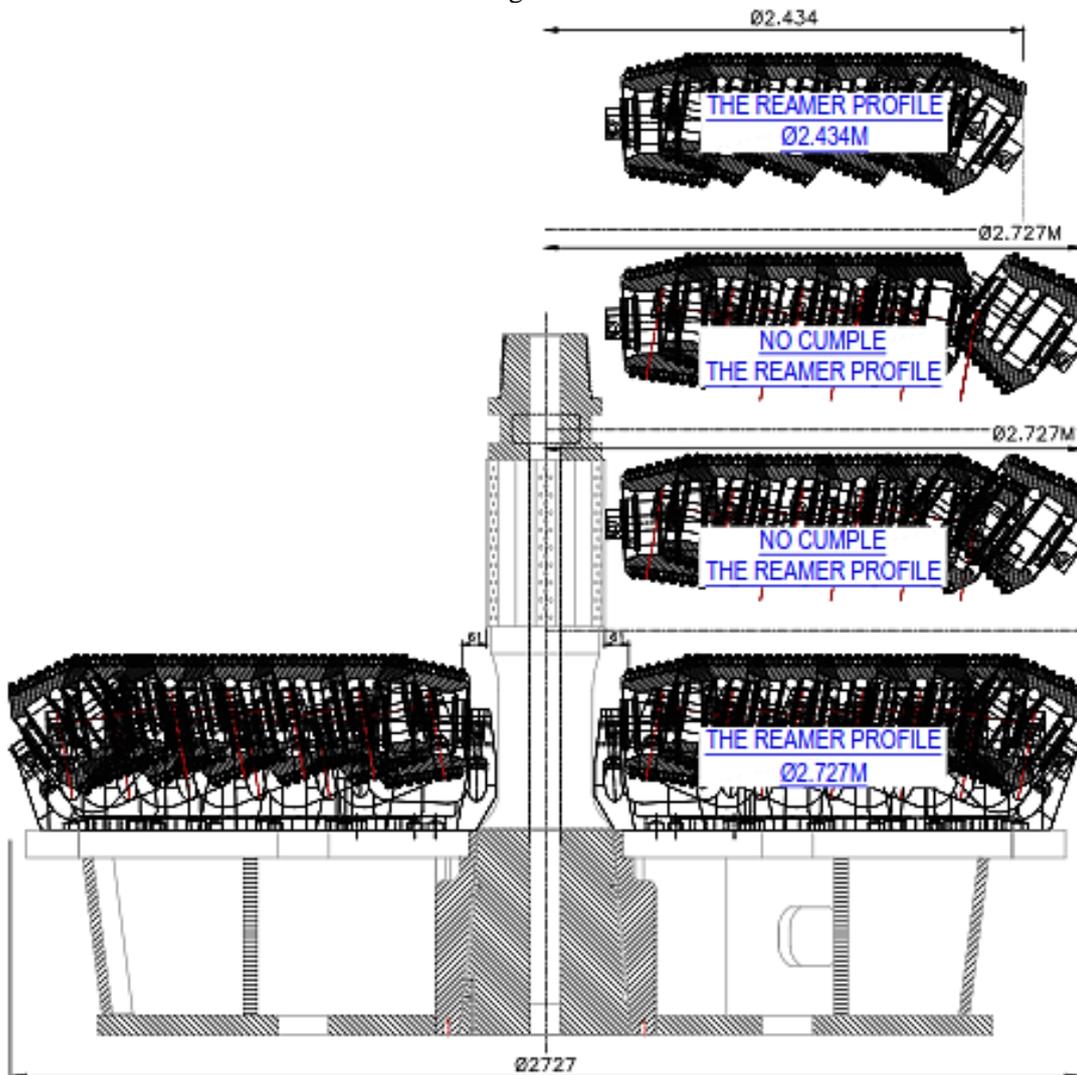
Figura 33. Reamer Proyectado de $\text{Ø}2.7\text{m}$ – Distribución de Cortadores Escenario N° 0001



Fuente 56. Elaboración propia

El presente estudio ha demostrado 2.727m como el \emptyset óptimo de perforación, según los parámetros del Reamer Profiler (altura del portacortador, anillos de corte y Angulo de portacortadores sobre el escariador). La ubicación de los elementos de corte es una parte crítica del diseño del Reamer. Además de ello; cuando los cortadores están debidamente espaciados proporcionan suficiente fuerza de corte, obteniéndose resultados de perforación muy eficientes mediante la acción

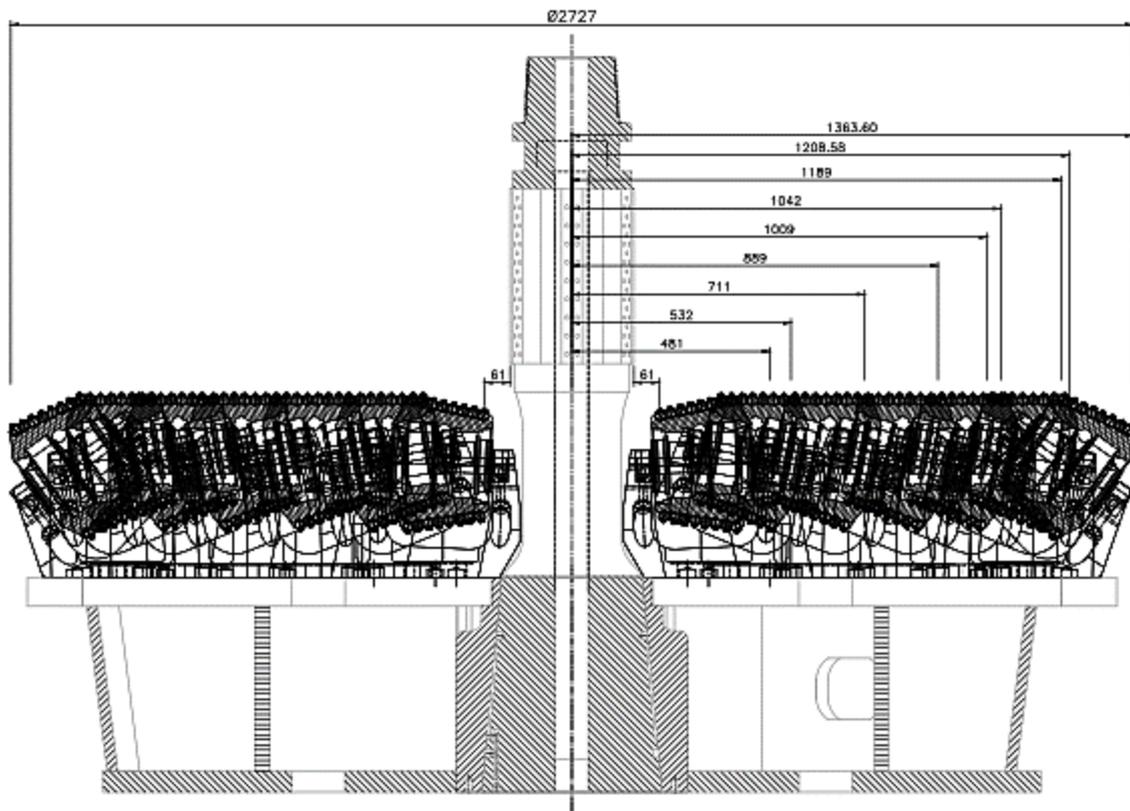
Figura 34. Reamer Proyectoado de $\emptyset 2.7m$ – Diámetro Admisible de Corte 2.727m - Dressing Distribución de Cortadores



Fuente 57. Elaboración propia

progresiva del elemento de corte.

Figura 35. Reamer Proyectado de Ø2.7m – Diámetro Admisible de Corte 2.727m - Dressing Distribución de Cortadores



Fuente 58. Elaboración propia

El diseño básico del Reamer Proyectado de Ø2.7m, es adecuado para el funcionamiento vertical permitiendo a la roca triturada del corte caer sobre la cabeza y pasar a través de las aberturas de la misma y caer por la chimenea.

Es un diseño seguro, eficiente y de bajo coste para realizar la excavación logrando al final el diámetro requerido. Donde no se requiere un mecanismo de fijación para expandir el cabezal a un tamaño mayor.

4.2.2.1.2. Costes Diseño Geométrico del Reamer Proyectado de Ø2.7M

El coste significativo en el Escenario N° 0001 de acuerdo a la geometría de diseño es: Cortadores de Rodillo de

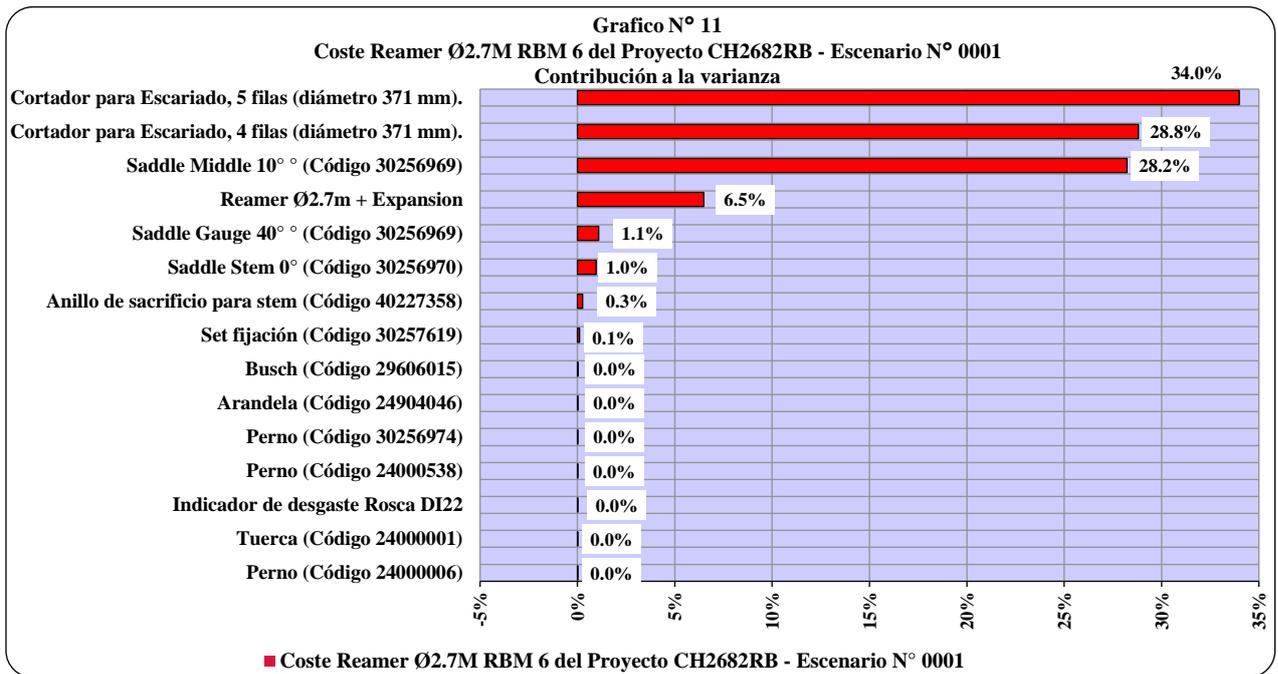
Insertos de Carburo (34.0% y 28.8%), Portacortadores Stem 0°
(28.2%).

Tabla 18. Coste Reamer Proyectado Ø2.7M - RBM 6 - Escenario N°0001

COSTO REAMER PROYECTADO Ø2.7M - RBM 6 - ESCENARIO N°0001								
ITEM	CANT.	UNID.	DESCRIPCIÓN	PU (\$)	Cost. Parcial	Sub Total	Total (\$)	Distribución
DISCOS CORTADORES Y ACCESORIOS								
4	7	Pzas.	Cortador para Escariado, 4 filas (diámetro 371 mm).	8,364.65	58,552.55	58,552.55	58,552.55	58,552.55
5	7	Pzas.	Cortador para Escariado, 5 filas (diámetro 371 mm).	8,863.14	62,041.98	62,041.98	62,041.98	62,041.98
6	2	Pzas.	Saddle Stem 0° (Código 30256970)	5,396.18	10,792.36	10,792.36	10,792.36	10,792.36
7	10	Pzas.	Saddle Middle 10° ° (Código 30256969)	5,844.60	58,446.00	58,446.00	58,446.00	58,446.00
8	2	Pzas.	Saddle Gauge 40° ° (Código 30256969)	5,845.60	11,691.20	11,691.20	11,691.20	11,691.20
9	1	Pzas.	Reamer Ø2.4m + Expansión	27,700.00	27,700.00	27,700.00	27,700.00	27,700.00
10	36	Pzas.	Busch (Código 29606015)	46.66	1,679.76	1,679.76	1,679.76	1,679.76
11	4	Pzas.	Perno (Código 24000831)	7.80	31.20	31.20	31.20	31.20
12	30	Pzas.	Set fijación (Código 30257619)	118.80	3,564.00	3,564.00	3,564.00	3,564.00
13	20	Pzas.	Perno (Código 30256974)	59.40	1,188.00	1,188.00	1,188.00	1,188.00
14	20	Pzas.	Perno (Código 24000032)	1.80	36.00	36.00	36.00	36.00
15	28	Pzas.	Perno (Código 24000006)	3.00	84.00	84.00	84.00	84.00
16	80	Pzas.	Perno (Código 24000538)	9.60	768.00	768.00	768.00	768.00
17	80	Pzas.	Tuerca (Código 24000001)	1.80	144.00	144.00	144.00	144.00
18	160	Pzas.	Arandela (Código 24904046)	9.60	1,536.00	1,536.00	1,536.00	1,536.00
19	1	Pza.	Indicador de desgaste Rosca DI22	430.24	430.24	430.24	430.24	430.24
20	4	Pzas.	Anillo de sacrificio para Stem (Código 40227358)	1,407.76	5,631.04	5,631.04	5,631.04	5,631.04
TOTAL				64,110.63	244,316.33	244,316.33	244,316.33	244,316.33

Fuente 59. Elaboración propia

Gráfico 9. Coste Reamer Ø2.7M RBM 6 del Proyecto CH2682RB - Escenario N° 0001



Fuente 60. Elaboración propia

4.2.2.2. Escenario N° 0002

4.2.2.2.1. Diseño Geométrico del Reamer Proyectado de Ø2.7M

El diseño presenta diversas modificaciones en el cabezal de corte con el fin de mejorar la vida útil de los cortadores periféricos. La selección de parámetros geométricos del diseño considera 5 ejes de corte para la expansión del Reamer Proyectado de Ø2.7M. A continuación, se detallan los cambios realizados para un diámetro admisible de corte.

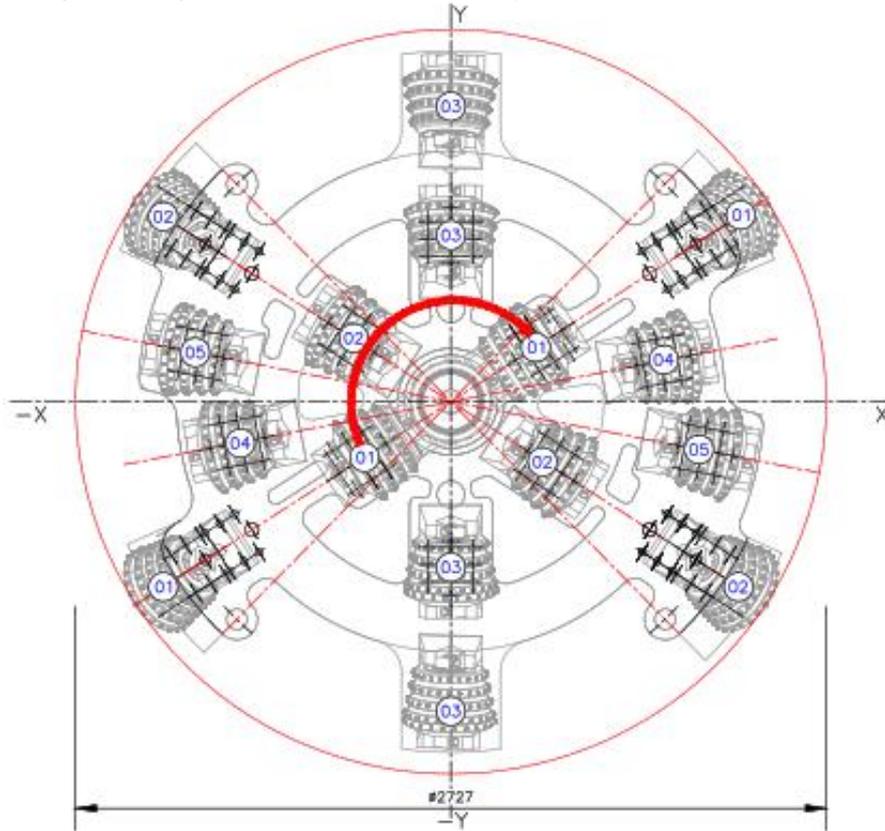
Tabla 19. Distribución de Cortadores del Reamer Proyectado Ø2.7M - Escenario N°0002 y Ejes de corte en el Reamer

CUTTER POSITIONING ON HEADS									
REAMING HEAD TYPE	HEAD DIAM. mm	N° OF CUTTERS	TYPE OF CUTTER	POSITION SPACING 25.5mm	CUTTING AXIS				
					1	2	3	4	5
RE - 2.4 - 0.1	2400	14	CMR 41	1 3 5 7 9 11 13	1	3	5	7	9
			CMR 52	2 4 6 8 10 12 14	11	13			
RE - 2.7 - 0.1 Esc. N° 0002	2700	16	CMR 41	1 3 5 7 9 11 13 15	2	4	6	8	10
			CMR 52	2 4 6 8 10 12 14 16	12	14			

Fuente 61. Elaboración propia

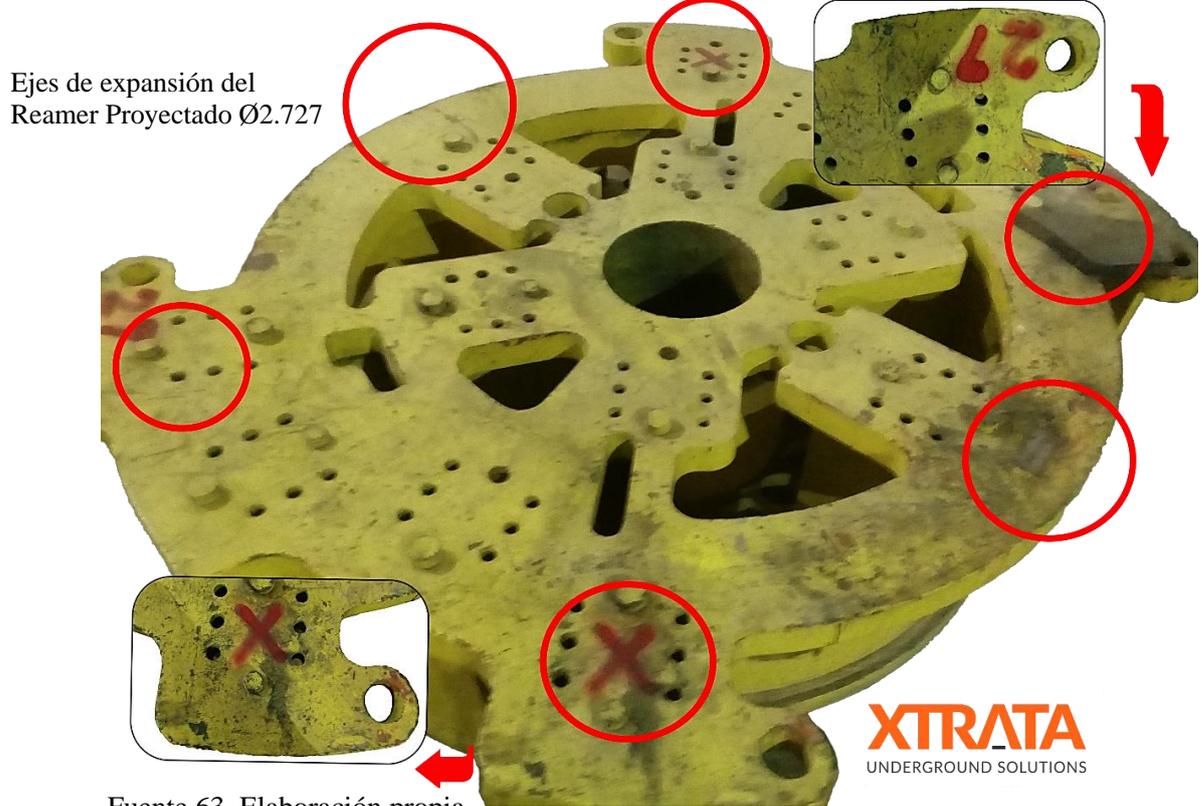
Los ejes de corte del Reamer tienen incidencia en la distribución de cortadores; dado que maximiza el número de cortadores requeridos, solucionando la necesidad de un Reamer Proyectado de Ø2.7m; el diseño en si representa un incremento del número de cortadores; además de ello; permite la eliminación de recortes, por lo cual ofrece menos oportunidades para que las formaciones abrasivas acumuladas en el Reamer puedan desgastar la carcasa del cortador y facilita una mayor penetración de los insertos, con menos consumo de energía.

Figura 36. Ejes de Corte del Reamer Projectado Ø2.7M - Escenario N°0002



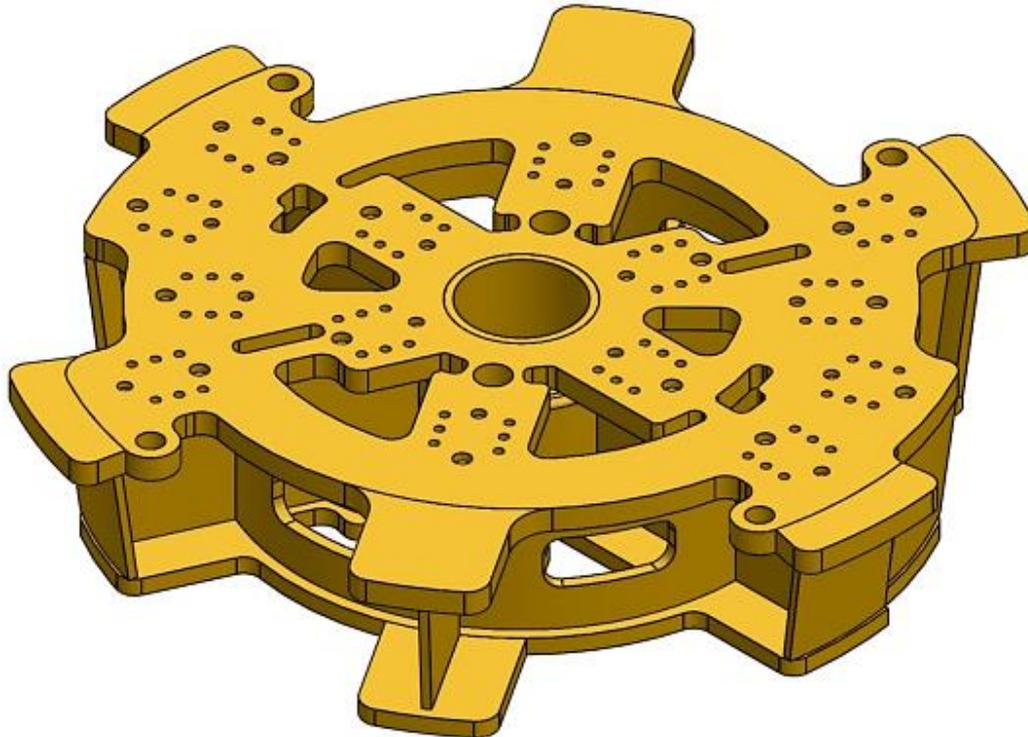
Fuente 62. Elaboración propia

Figura 37. Ejes de Corte del Reamer Projectado Ø2.7M - Escenario N° 0002



Fuente 63. Elaboración propia

Figura 38. Modelo Computacional del Reamer Proyectado Ø2.7m – Escenario N0002



Fuente 64. Elaboración propia

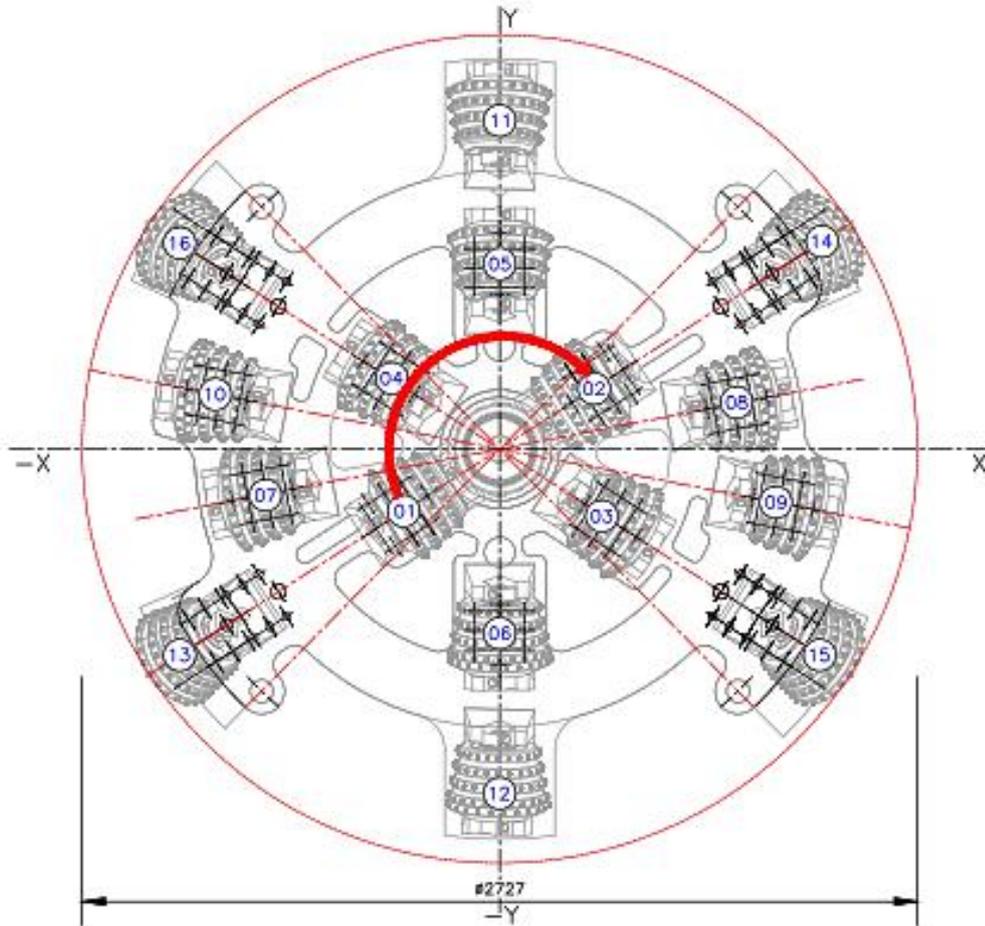
En el Escenario N° 0002; la Distribución de Cortadores del Reamer Proyectado de Ø2.727m; está pronosticado trabajar con 16 cortadores (Cortadores: 5 filas y 4 filas).

Tabla 20. Reamer Proyectado de Ø2.7m – Distribución de Cortadores Escenario N° 0002

REAMER PROYECTADO DE Ø2.727M		
Tipo Cortador	Cantidad	
	Reamer Existente Ø2.4m	Reamer Escenario N° 0002
Cort. Stem (0°)	2	2
Cort. Middle (10°30'00")	8	10
Cort. Gauge (35°50'0")	4	4
TOTAL DE CORTADORES	14	16

Fuente 65. Elaboración Propia

Figura 39. Reamer Proyectoado de $\text{Ø}2.7\text{m}$ – Distribución de Cortadores
Escenario N° 0002



Fuente 66. Elaboración propia

4.2.2.2.2. Cotes Diseño Geométrico del Reamer Proyectoado de $\text{Ø}2.7\text{M}$

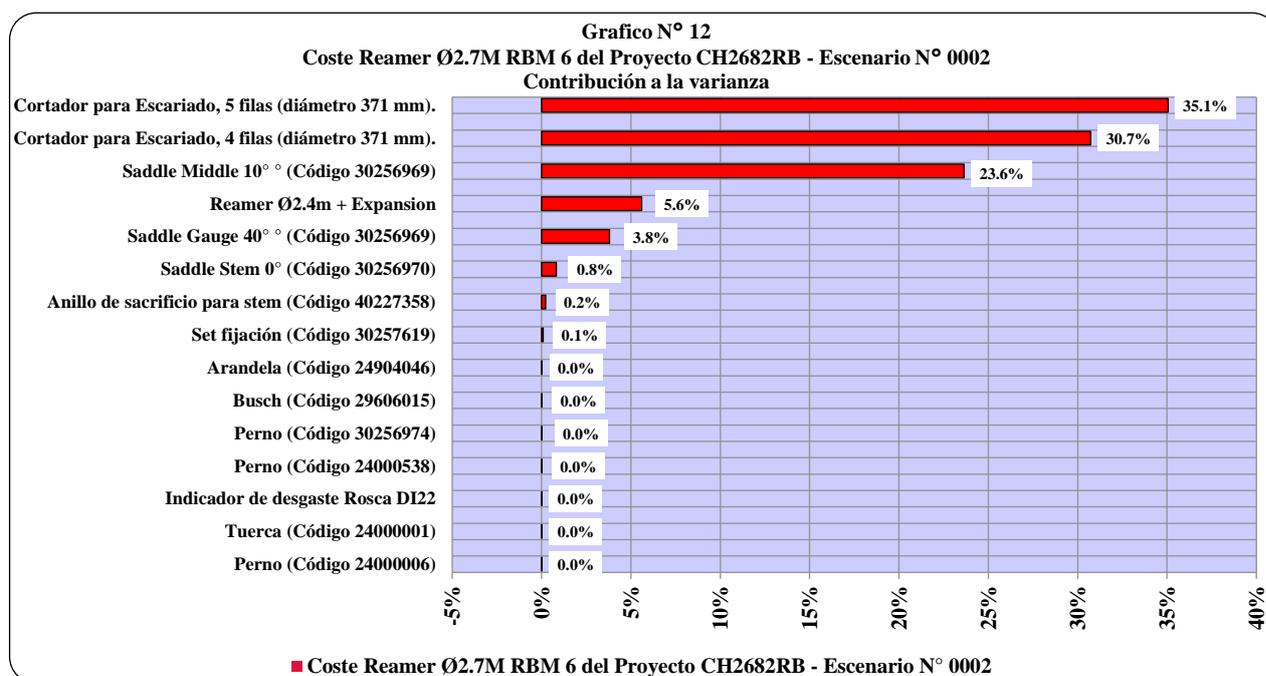
El coste significativo en el Escenario N° 0002 de acuerdo a la geometría de diseño es: Cortadores de Rodillo de Insertos de Carburo (35.1% y 30.7%), Portacortadores Middle 15° (23.6%).

Tabla 21. Coste Reamer Proyectoado Ø2.7M - RBM 6 - Escenario N°0002

COSTO REAMER PROYECTADO Ø2.7M - RBM 6 - ESCENARIO N°0002								
ITEM	CANT.	UNID.	DESCRIPCIÓN	PU (\$)	Cost. Parcial	Sub Total	Total (\$)	Distribución
DISCOS CORTADORES Y ACCESORIOS								
4	8	Pzas.	Cortador para Escariado, 4 filas (diámetro 371 mm).	8,364.65	66,917.20	66,917.20	66,917.20	66917.2
5	8	Pzas.	Cortador para Escariado, 5 filas (diámetro 371 mm).	8,863.14	70,905.12	70,905.12	70,905.12	70905.12
6	2	Pzas.	Saddle Stem 0° (Código 30256970)	5,396.18	10,792.36	10,792.36	10,792.36	10792.36
7	10	Pzas.	Saddle Middle 10° ° (Código 30256969)	5,844.60	58,446.00	58,446.00	58,446.00	58446
8	4	Pzas.	Saddle Gauge 40° ° (Código 30256969)	5,845.60	23,382.40	23,382.40	23,382.40	23382.4
9	1	Pzas.	Reamer Ø2.4m + Expansion	28,200.00	28,200.00	28,200.00	28,200.00	28200
10	36	Pzas.	Busch (Código 29606015)	46.66	1,679.76	1,679.76	1,679.76	1679.76
11	4	Pzas.	Perno (Código 24000831)	7.80	31.20	31.20	31.20	31.2
12	30	Pzas.	Set fijación (Código 30257619)	118.80	3,564.00	3,564.00	3,564.00	3564
13	20	Pzas.	Perno (Código 30256974)	59.40	1,188.00	1,188.00	1,188.00	1188
14	20	Pzas.	Perno (Código 24000032)	1.80	36.00	36.00	36.00	36
15	32	Pzas.	Perno (Código 24000006)	3.00	96.00	96.00	96.00	96
16	92	Pzas.	Perno (Código 24000538)	9.60	883.20	883.20	883.20	883.2
17	92	Pzas.	Tuerca (Código 24000001)	1.80	165.60	165.60	165.60	165.6
18	184	Pzas.	Arandela (Código 24904046)	9.60	1,766.40	1,766.40	1,766.40	1766.4
19	1	Pza.	Indicador de desgaste Rosca DI22	430.24	430.24	430.24	430.24	430.24
20	4	Pzas.	Anillo de sacrificio para stem (Código 40227358)	1,407.76	5,631.04	5,631.04	5,631.04	5631.04
TOTAL				64,610.63	274,114.52	274,114.52	274,114.52	274,114.52

Fuente 67. Elaboración propia

Gráfico 10. Coste Reamer Ø2.7M RBM 6 del Proyecto CH2682RB - Escenario N° 0002



Fuente 68. Elaboración propia

4.2.2.3. Escenario N° 0003

4.2.2.3.1. Diseño Geométrico del Reamer Proyectado de

Ø2.7M

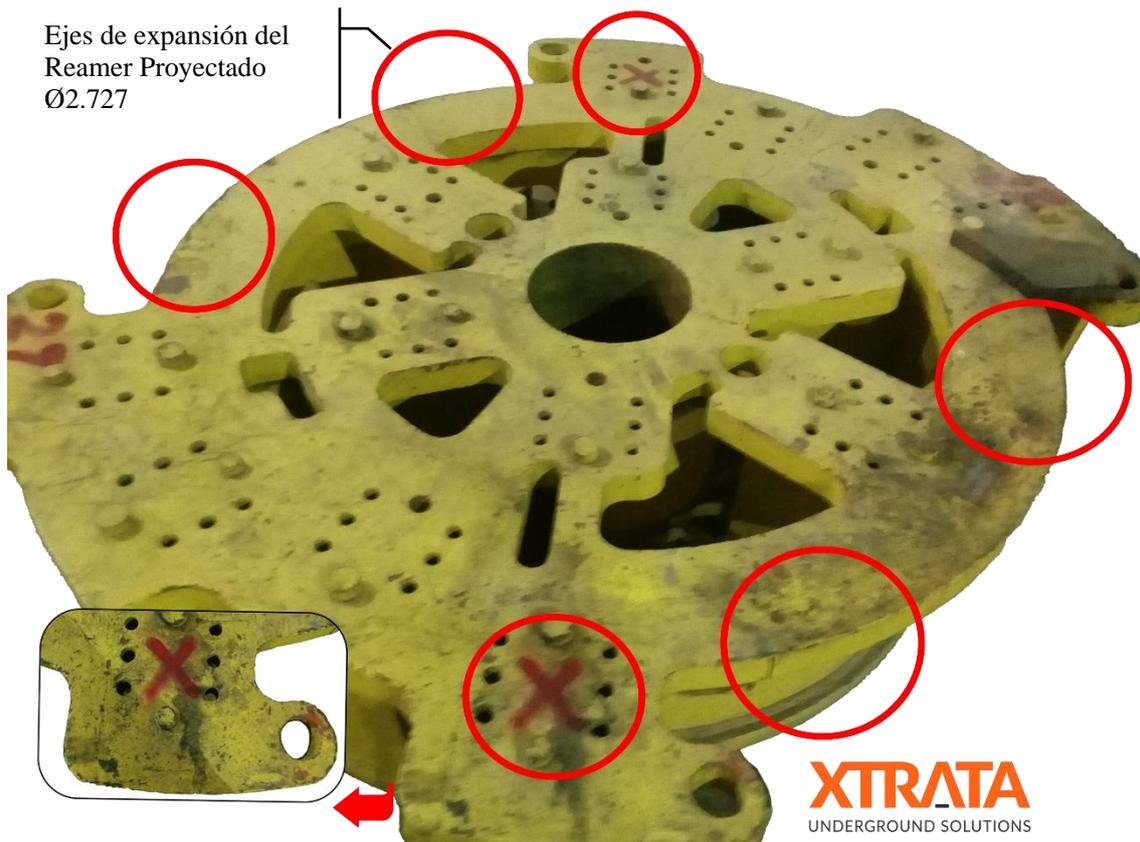
El cabezal del escariador está compuesto por segmentos removibles, de tal modo que la extensión y portacortadores se puedan quitar para reconstruirla o reemplazarla en campo de acuerdo al diámetro de operación. La geometría de diseño considera 7 ejes de corte de acuerdo al Reamer Profiler para la expansión del Reamer Proyectado de Ø2.7M.

Tabla 22. Distribución de Cortadores del Reamer Proyectado Ø2.7M - Escenario N°0003 y Ejes de corte en el Reamer

CUTTER POSITIONING ON HEADS												
REAMING HEAD TYPE	HEAD DIAM. mm	N° OF CUTTERS	TYPE OF CUTTER	POSITION SPACING 25.5mm	CUTTING AXIS							
					1	2	3	4	5	6	7	
RE - 2.4 - 0.1	2400	14	CMR 41	1 3 5 7 9 11 13	1	3	5	7	9			
			CMR 52	2 4 6 8 10 12 14	11	13						
RE - 2.7 - 0.1 Esc. N° 0003	2700	16	CMR 41	1 3 5 7 9 11 13 15	1	3	5	7	9	13	15	
			CMR 52	2 4 6 8 10 12 14 16	11							
					2	4	6	8	10	14	16	
					12							

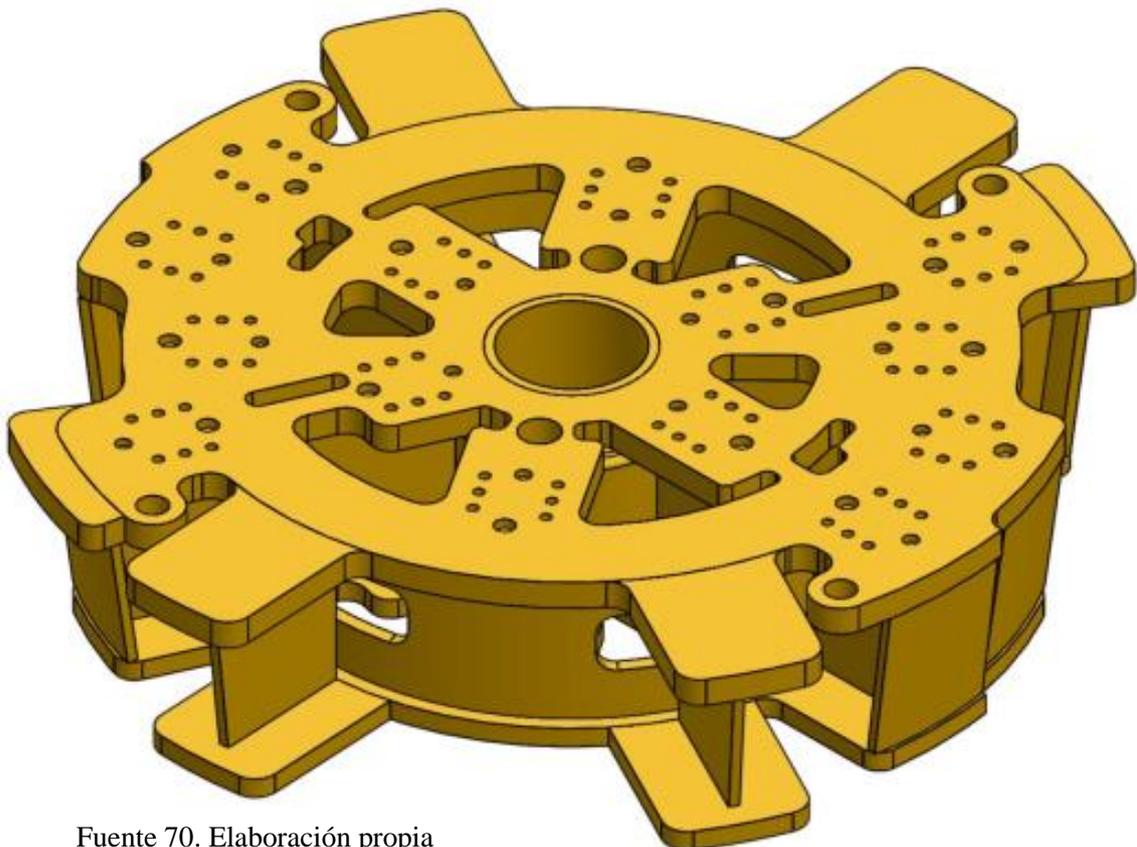
Fuente 69. Elaboración propia

Figura 40. Ejes de Corte del Reamer Proyectoado Ø2.7M - Escenario N°0003



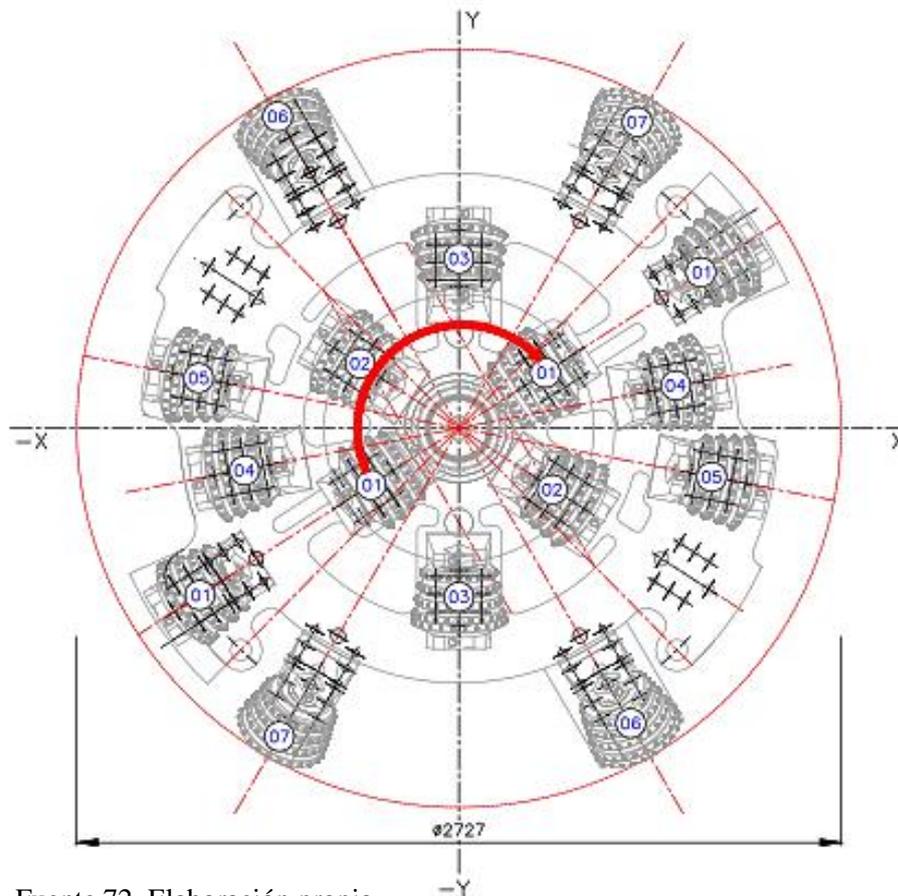
Fuente 71. Elaboración propia

Figura 41. Modelo Computacional del Reamer Proyectoado Ø2.7m – Escenario N0002



Fuente 70. Elaboración propia

Figura 42. Ejes de Corte del Reamer Proyectoado Ø2.7M - Escenario N°0003



Fuente 72. Elaboración propia

De acuerdo a la geometría de diseño la eliminación de los recortes puede tener un efecto negativo en la perforación ascendente; ya que los recortes se acumulan en el Reamer. Como resultado de este diseño, se puede lograr una perforación deficiente durante el rimado y/o afectar el rendimiento de la perforación.

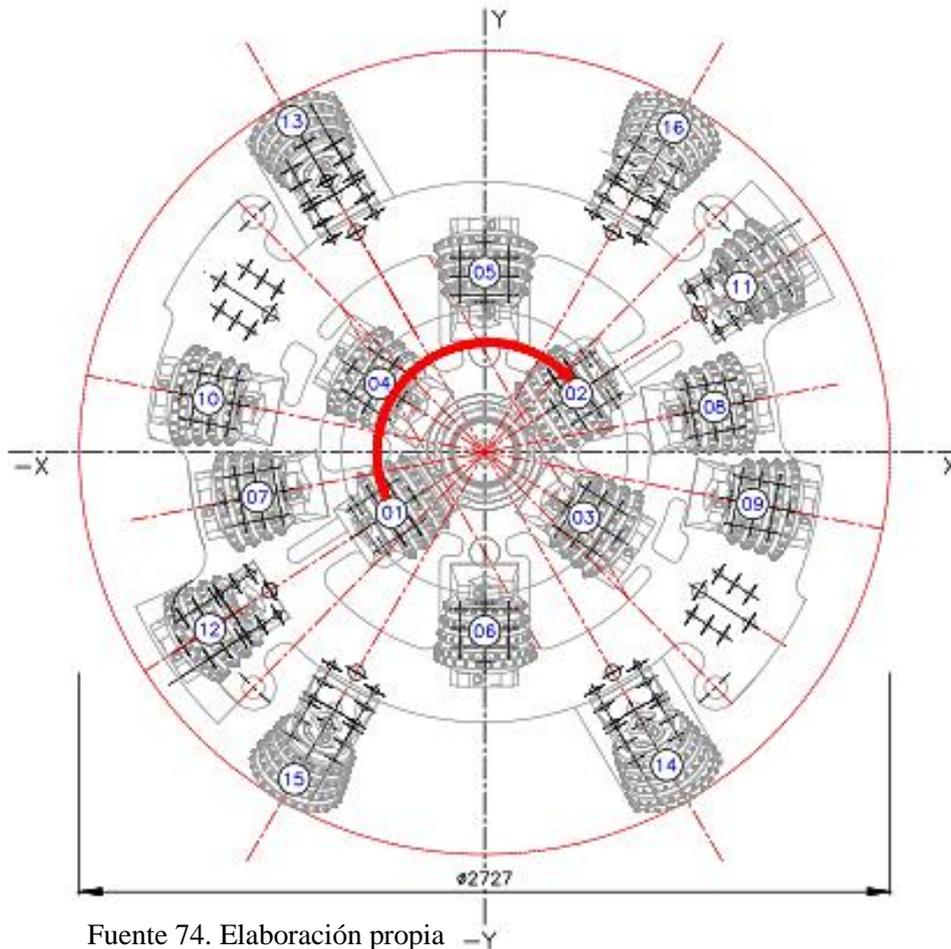
En el Escenario N° 0003; la Distribución de Cortadores del Reamer Proyectoado de Ø2.727m; está pronosticado trabajar con 16 cortadores (Cortadores: 5 filas y 4 filas).

Tabla 23. Reamer Proyectoado de Ø2.7m – Distribución de Cortadores Escenario N° 0003

REAMER PROYECTADO DE Ø2.727M		
Tipo Cortador	Cantidad	
	Reamer Existente Ø2.4m	Reamer Escenario N° 0003
Cort. Stem (0°)	2	2
Cort. Middle (10°30'00")	8	10
Cort. Gauge (35°50'0")	4	4
TOTAL DE CORTADORES	14	16

Fuente 73. Elaboración propia

Figura 43. Reamer Proyectoado de Ø2.7m – Distribución de Cortadores Escenario N° 0003



Fuente 74. Elaboración propia

4.2.2.3.2. Costes Diseño Geométrico del Reamer Proyectado de Ø2.7M

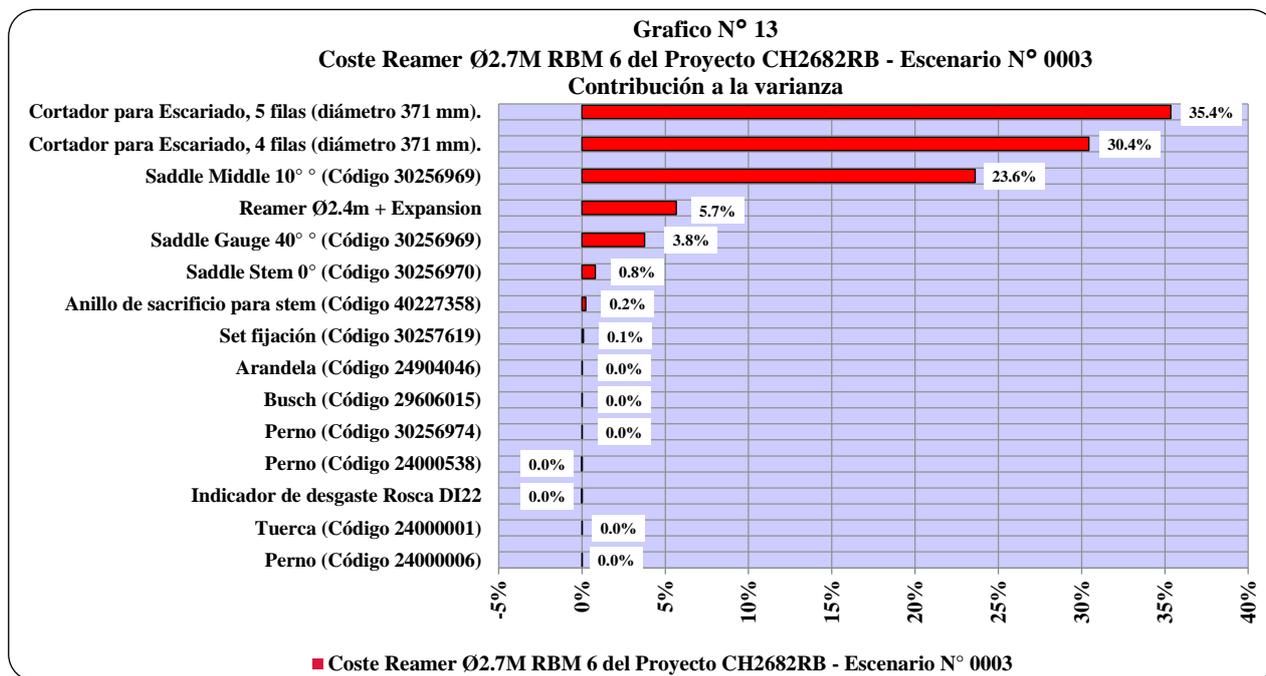
El coste significativo en el Escenario N° 0003 de acuerdo a la geometría de diseño es: Cortadores de Rodillo de Insertos de Carburo (35.4% y 30.4%), Portacortadores Stem 0° (23.6%).

Tabla 24. Coste Reamer Proyectado Ø2.7M - RBM 6 - Escenario N°0003

COSTO REAMER PROYECTADO Ø2.7M - RBM 6 - ESCENARIO N°0003								
ITEM	CANT.	UNID.	DESCRIPCIÓN	PU (\$)	Cost. Parcial	Sub Total	Total (\$)	Distribución
DISCOS CORTADORES Y ACCESORIOS								
4	8	Pzas.	Cortador para Escariado, 4 filas (diámetro 371 mm).	8,364.65	66,917.20	66,917.20	66,917.20	66,917.20
5	8	Pzas.	Cortador para Escariado, 5 filas (diámetro 371 mm).	8,863.14	70,905.12	70,905.12	70,905.12	70,905.12
6	2	Pzas.	Saddle Stem 0° (Código 30256970)	5,396.18	10,792.36	10,792.36	10,792.36	10,792.36
7	10	Pzas.	Saddle Middle 10° ° (Código 30256969)	5,844.60	58,446.00	58,446.00	58,446.00	58,446.00
8	4	Pzas.	Saddle Gauge 40° ° (Código 30256969)	5,845.60	23,382.40	23,382.40	23,382.40	23,382.40
9	1	Pzas.	Reamer Ø2.4m + Expansión	28,600.00	28,600.00	28,600.00	28,600.00	28,600.00
10	36	Pzas.	Busch (Código 29606015)	46.66	1,679.76	1,679.76	1,679.76	1,679.76
11	4	Pzas.	Perno (Código 24000831)	7.80	31.20	31.20	31.20	31.20
12	30	Pzas.	Set fijación (Código 30257619)	118.80	3,564.00	3,564.00	3,564.00	3,564.00
13	20	Pzas.	Perno (Código 30256974)	59.40	1,188.00	1,188.00	1,188.00	1,188.00
14	20	Pzas.	Perno (Código 24000032)	1.80	36.00	36.00	36.00	36.00
15	32	Pzas.	Perno (Código 24000006)	3.00	96.00	96.00	96.00	96.00
16	92	Pzas.	Perno (Código 24000538)	9.60	883.20	883.20	883.20	883.20
17	92	Pzas.	Tuerca (Código 24000001)	1.80	165.60	165.60	165.60	165.60
18	184	Pzas.	Arandela (Código 24904046)	9.60	1,766.40	1,766.40	1,766.40	1,766.40
19	1	Pza.	Indicador de desgaste Rosca DI22	430.24	430.24	430.24	430.24	430.24
20	4	Pzas.	Anillo de sacrificio para Stem (Código 40227358)	1,407.76	5,631.04	5,631.04	5,631.04	5,631.04
TOTAL				65,010.63	274,514.52	274,514.52	274,514.52	274,514.52

Fuente 75. Elaboración propia

Gráfico 11. Coste Reamer Ø2.7M RBM 6 del Proyecto CH2682RB - Escenario N° 0003



Fuente 76. Elaboración propia

4.3. Prueba de la Hipótesis

El Estudio Técnico - Económico y Diseño si Determinará la Mejor Alternativa para la Distribución de Cortadores de Ø2.4m a Ø2.7m del Reamer en la Máquina Raise Boring RBM 6 en el Nv. 1965 CH 2682RB - Consorcio Minero Horizonte S.A. – 2020

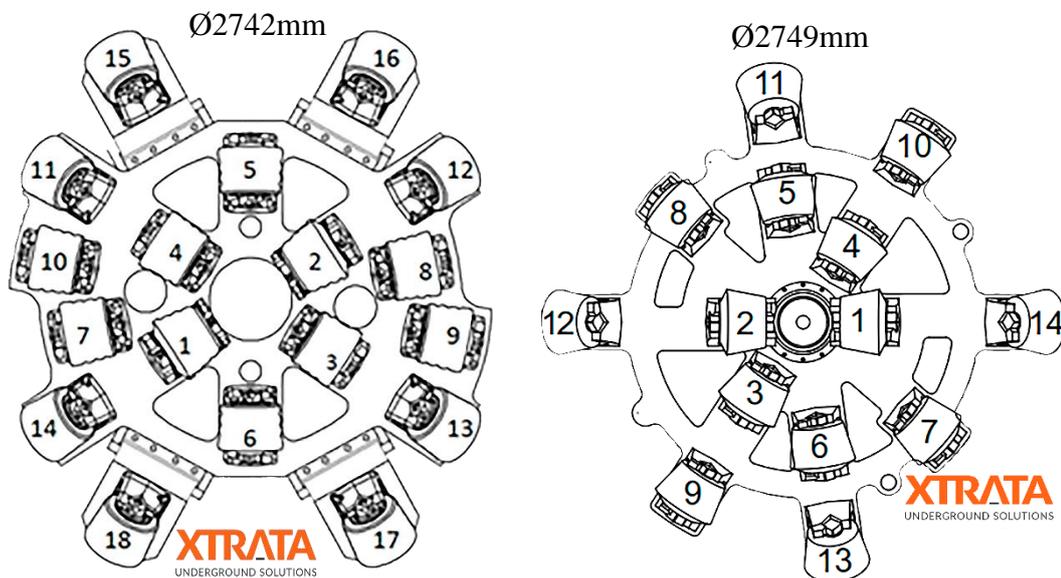
Dada la situación actual de la mina U.P. Parcoy de Consorcio Minero Horizonte S.A., se requiere ejecutar la chimenea CH2682RB en el Nv. 1965, con la finalidad de mejorar el circuito de ventilación de la Zona Lourdes; para la ejecución del mismo se utilizará la Metodología Raise Boring. Por ello XTRATA UNDERGROUND SOLUTIONS, ejecutora del proyecto planea realizar el Estudio Técnico - Económico y Diseño de la Distribución de Cortadores del Reamer Existente de Ø2.4m a un Reamer Proyectado de Ø2.7m.

Según los indicadores del Estudio Técnico - Económico para la expansión del Reamer Existente de Ø2.4m; la factibilidad de diseño depende principalmente

de la recopilación literaria de parámetros operativos y de rendimiento, incluidas las velocidades de rotación, el peso sobre la Reamer (fuerza de empuje), el empuje neto del escariador (fuerza de tracción), y las propiedades físico-mecánicas del macizo rocoso.

Además de ello, los estándares del Reamer Profiler (altura del portacortador, anillos de corte y Angulo de portacortadores sobre el escariador).

Figura 44. Base Literaria para la Construcción Geométrica de la Distribución de Cortadores del Reamer Proyecto de Ø2.7m



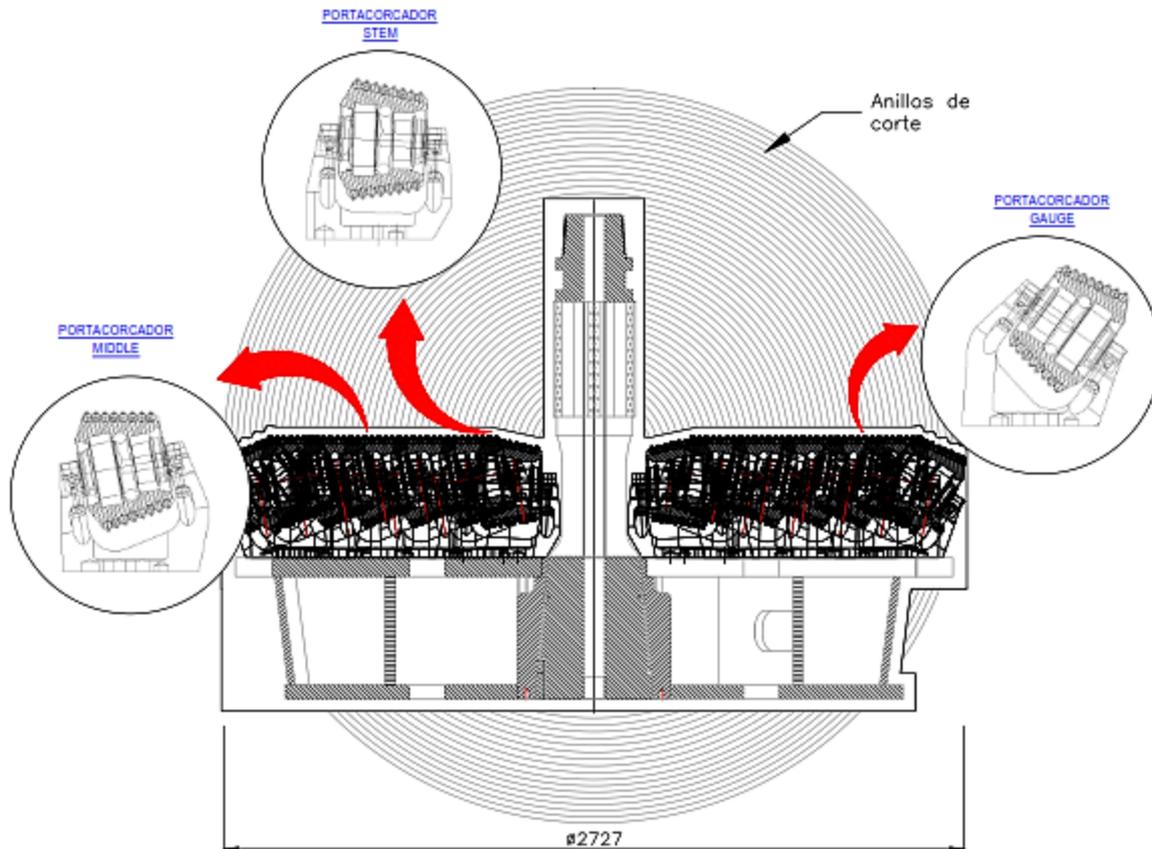
Fuente 77. Elaboración propia

4.3.1. Análisis Técnico de Escenarios para el Reamer Proyecto de Ø2.7M

El logeo Geomecanico – Geotécnico; a través del análisis de datos del sondaje diamantino SF – 2777301, se determinó el tipo de roca predominante: Tipo IV A - Tipo IV; con Resistencias a la Comprensión Simple UCS (80MPa – 190MPa). Por lo tanto, las condiciones del macizo rocoso tienen la mayor inferencia en el Diseño de la Distribución de Cortadores del Reamer Existente de Ø2.4m a un Reamer Proyecto de Ø2.7m. Además de ello los parámetros operacionales y de rendimiento, que incluyen las velocidades de rotación y la

fuerza de torque del cabezal de corte, el peso sobre la Reamer (fuerza de empuje), el empuje neto del escariador (fuerza de tracción), la tasa de penetración de la unidad y la energía específica de la Maquina Raise Boring RBM 6.

Figura 45. Estándares del Reamer Profiler



Fuente 78. Elaboración propia

4.3.1.1. Análisis Estadístico Diseño Experimental para el Reamer Proyectado de $\varnothing 2.7M$

Los escenarios empíricos desarrollados mediante la realización de análisis de regresión multivariable para los grupos de datos de la perforación de rimado vertical indican que las propiedades físico-mecánicas de las rocas del proyecto CH2682RB; como el principal indicador en el Diseño de la Distribución de Cortadores del Reamer

Existente de Ø2.4m a un Reamer Proyectoado de Ø2.7m; mediante el cual se concluyó que representa el 4.799 del T- Student.

Tabla 25. Análisis Estadístico del Diseño Experimental para el Reamer Proyectoado de Ø2.7M

Resistencia Comprensión Simple (MPa)	Presión	Avance	Distr. de Cortadores
80	1600	7	14
90	1700	6	14
100	1600	6.5	14
110	1900	5	14
120	2000	5.5	16
130	1800	6	16
140	2200	5	16
150	1900	5.5	16
160	2400	5	16
170	1400	4.75	18
180	2200	4.5	18
190	1800	4.3	18

Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	0.950
Coefficiente de determinación R ²	0.902
R ² ajustado	0.866
Error típico	0.581
Observaciones	12.000

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	3.000	24.962	8.321	24.609	0.000
Residuos	8.000	2.705	0.338		
Total	11.000	27.667			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	10.008	4.062	2.464	0.039	0.642	19.375	0.642	19.375
Resistencia Comprensión Simple (UCS)	0.047	0.010	4.799	0.001	0.024	0.069	0.024	0.069
Presión	-0.001	0.001	-1.132	0.290	-0.002	0.001	-0.002	0.001
Avance	0.173	0.445	0.389	0.708	-0.853	1.199	-0.853	1.199

Fuente 79. Elaboración propia

4.3.1.2. Análisis de Costos del Diseño del Reamer Proyectado de Ø2.7M

Se considera a las propiedades físico-mecánicas de las rocas del proyecto CH2682RB; como el principal indicador en el Diseño de la Distribución de Cortadores del Reamer Existente de Ø2.4m a un Reamer Proyectado de Ø2.7m; mediante el análisis estadístico se concluyó que representa el 4.799 del T- Student.

4.4. Discusión de Resultados

4.4.1. Planificación – Consideraciones Generales del Reamer Proyectado de Ø2.7m

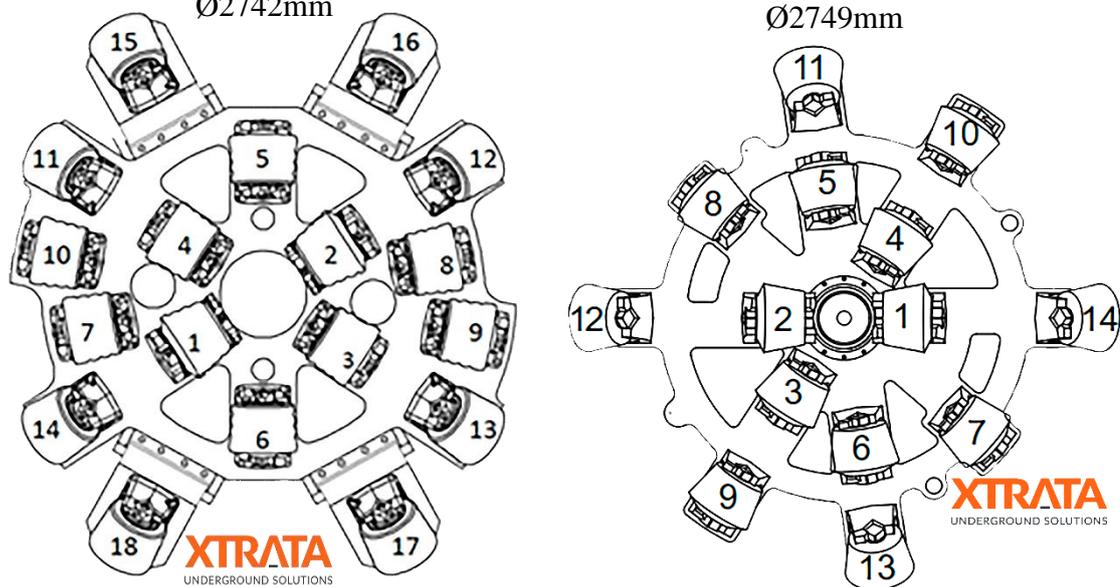
Definidas las principales propiedades Geológico - Geotécnicas de las rocas de la CH2682RB, se estaría en condiciones de utilizar la información del sondaje diamantino SF – 2777301, para la ejecución del proyecto; en este caso para pronosticar el desempeño de la Maquina Raise Boring RBM 6 con respecto al Reamer Proyectado de Ø2.7M. Por lo tanto, la excavación requiere una comprensión del comportamiento y las propiedades del macizo rocoso para tratar de manera efectiva con los diferentes parámetros operacionales aplicados, como la fuerza de empuje (tracción) de rimado.

Para garantizar la selección optima del Reamer y la posterior ejecución de la chimenea CH2682RB, se debe realizar una evaluación de riesgos utilizando datos detallados de exploración geológica, incluida la composición de la roca, las propiedades físico - mecánicas de las rocas, la estructura geológica, el desarrollo de discontinuidades, fisuras y la magnitud de la influencia del agua subterránea.

4.4.2. Diseño Geométrico del Reamer Proyectado de Ø2.7m

La Metodología Raise Boring, es un método práctico e intuitivo, sin embargo, en la actualidad hay pocas investigaciones bibliográficas respecto al diseño de la distribución de cortadores del Reamer de acuerdo al diámetro(Ø) de operación. La consecución del presente trabajo de investigación basa su desarrollo en la experiencia de la empresa XTRATA UNDERGROUND SOLUTIONS y de empresas en el mismo rubro.

Figura 46. Distribución de Cortadores en Base al Ø2.7M de la Chimenea CH2682RB Ø2742mm

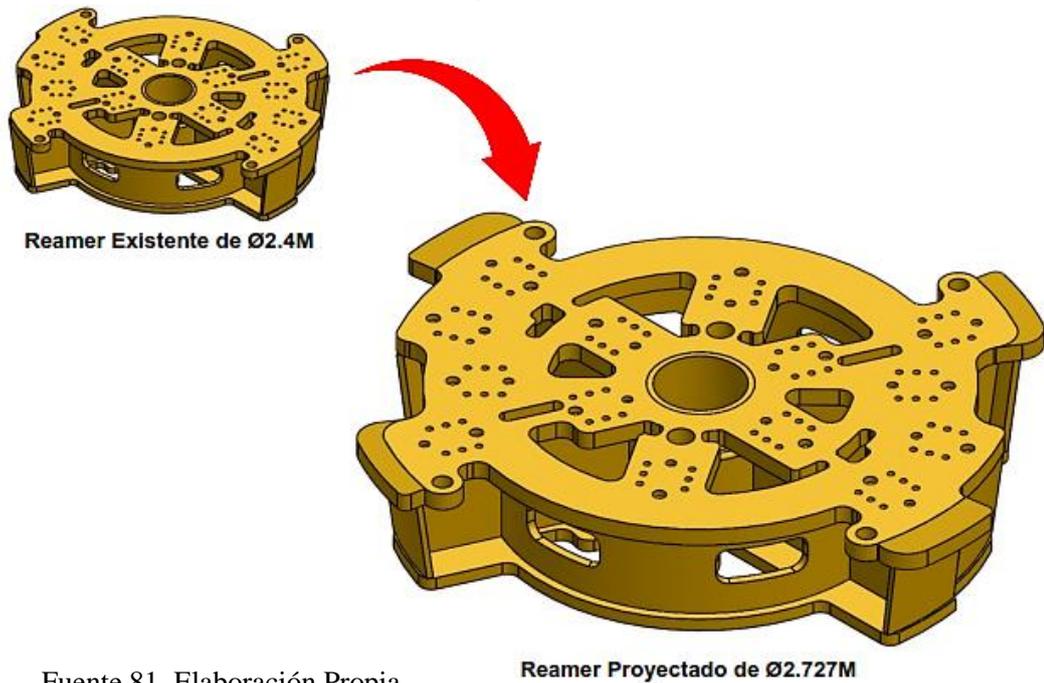


Fuente 80. Elaboración Propia

Los resultados de la simulación fueron validados por medio de los estándares del Reamer Profiler; con la finalidad de obtener el diseño geométrico más adecuado para las condiciones dadas de la chimenea CH2682RB. El Reamer Profiler es esencial para asegurar una larga vida útil de los cortadores

- Altura del portacortador
- Anillos de corte
- Angulo de portacortadores sobre el escariador.
- Tipo de cortador

Figura 47. Escenario N0001 para el Diseño Geométrico del Reamer Proyectoado de Ø2.727M

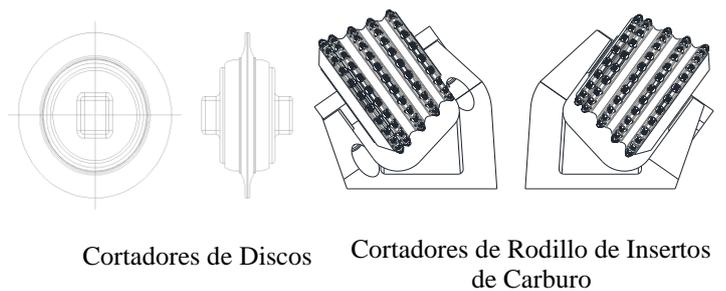


Fuente 81. Elaboración Propia

Tabla 26. Selección del Tipo de Cortadores

TABLA PARA LA SELECCIÓN DE CORTADORES																
CLASIFICACIÓN DE LA ROCA A LA COMPRESIÓN SIMPLE																
TIPOS DE CORTADOR	BLANDA 0-150 Mpa						MEDIA 150-250 Mpa					DURA 250-400 Mpa				
	Discos	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375
Entalladuras	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400
Rodillos	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400

LEYENDA	
	Rango de uso óptimo
	Rango de uso bueno
	Rango de uso inadecuado
	Rango de uso malo
	Rango fuera de uso



Fuente 82. Elaboración propia

Los Escenarios planteados para operaciones de escariado vertical, son limitados en la literatura. Pon ende la prueba de corte de roca en laboratorio, junto con la simulación por computadora, son los métodos más confiables para predecir el rendimiento del rimado ascendente. También hay estudios limitados sobre la

predicción del rendimiento de la Máquina Raise Boring basados en pruebas de corte del macizo rocoso.

Para poder hacer frente a las condiciones Geomecánicas – Geotécnicas de la chimenea CH2682RB, la geometría de corte del cabezal de escariado se puede realizar mediante el Escenario N°0001; dicho escenario se adapta a las condiciones estructurales del macizo rocoso prevaeciente y optimiza la tasa de avance y la vida útil de los componentes.

Tabla 27. Distribución de Cortadores del Reamer Proyectado Ø2.7M - Escenario N°0001 y Ejes de corte en el Reamer

CUTTER POSITIONING ON HEADS																	
REAMING HEAD TYPE	HEAD DIAM. mm	N° OF CUTTERS	TYPE OF CUTTER	POSITION SPACING 25.5mm						CUTTING AXIS							
				1	2	3	4	5	1	2	3	4	5				
RE - 2.4 - 0.1	2400	14	CMR 41	1	3	5	7	9	11	13	1	3	5	7	9		
				11	13	2	4	6	8	10	12	14	2	4	6	8	10
			CMR 52	2	4	6	8	10	12	14	12	14					
RE - 2.7 - 0.1 Esc. N° 0001	2700	14	CMR 41	1	3	5	7	9	11	13	1	3	5	7	9		
				11	13	2	4	6	8	10	12	14	2	4	6	8	10
			CMR 52	2	4	6	8	10	12	14	12	14					

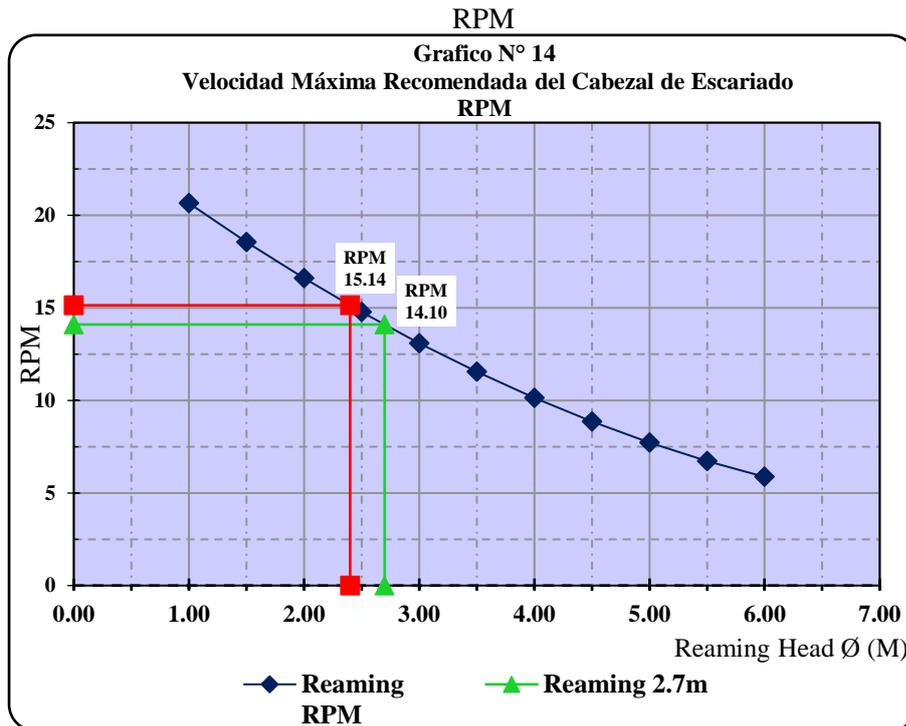
Fuente 83. Elaboración propia

4.4.3. Parámetros Operativos de la Máquina Raise Boring RBM 6

4.4.3.1. Velocidad de rotación

De acuerdo a las condiciones operacionales del Ø del Reamer y la Máquina Raise Boring RBM 6, se pronostica como límite máximo de velocidad de rotación el 90% del valor calculado; el cual disminuirá la probabilidad de atascamiento del Reamer y rotura de la sarta de perforación debido a los cambios estructurales que presenta el macizo rocoso debido a un sistema de fallas con potencias que van de los 3m – 4m; durante la perforación de rimado. Siendo la rotación óptima de trabajo 12 RPM.

Gráfico 12. Velocidad Máxima Recomendada del Cabezal de Escariado



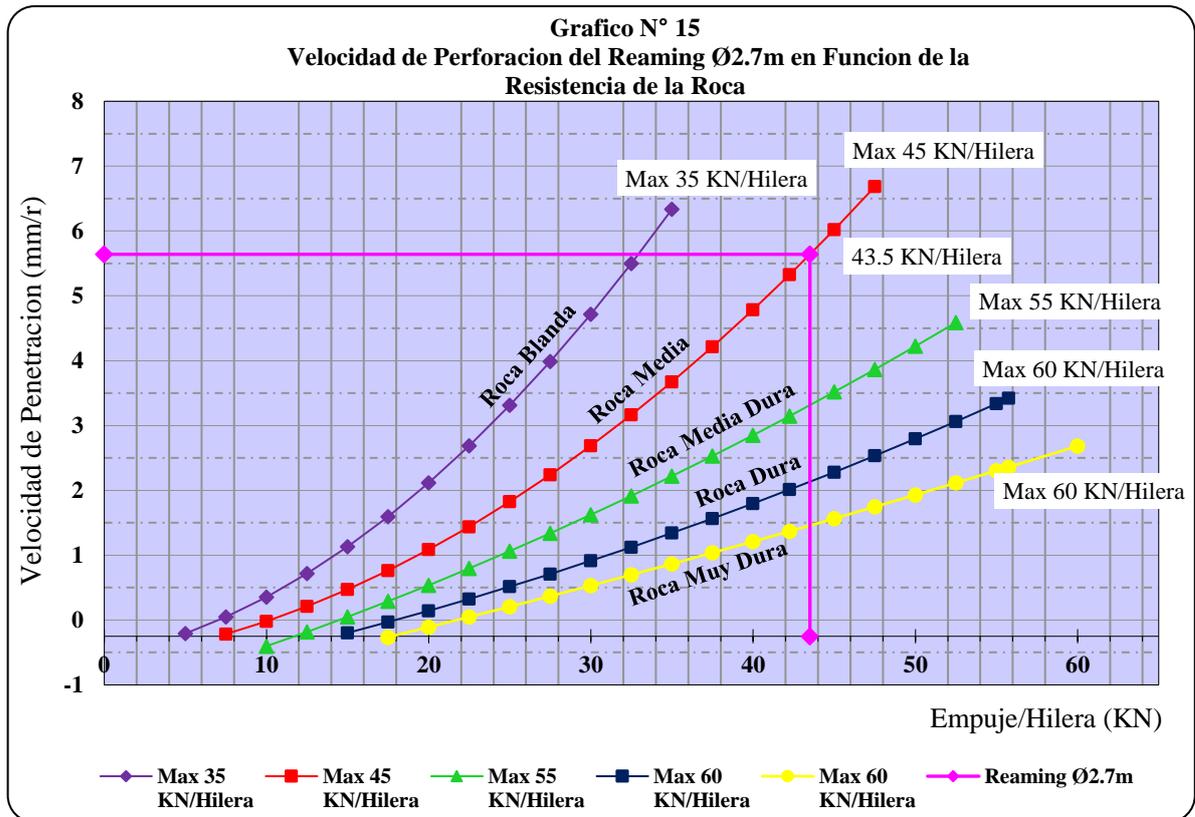
Fuente 84. Elaboración propia

4.4.3.2. Velocidad de Perforación

Las simulaciones de operación en la Fase I(Pilotaje) y Fase II(Rimado), han permitido conocer de forma precisa los parámetros operativos de la misma, que tiene incidencia significativa en el rendimiento y costos de excavación.

En el contexto de la velocidad, se ha desarrollado una variedad de soluciones, a través de un proceso de selección, se elige la mejor alternativa; teniendo en cuenta: requerimientos operacionales (altura del portacortador, anillos de corte y Angulo de portacortadores sobre el escariador)

Gráfico 13. Velocidad de Perforación del Reaming Ø2.7m en Función de la Resistencia de la Roca



Fuente 85. Elaboración propia

Tabla 28. Parámetros Operativos Método Raise Boring

Parámetros Operativos Método Raise Boring				
ROCA	Resistencia a la Compresión Uniaxial (UCS)			
Roca Blanda	≤	100		Mpa
Roca Media	>	100	< 140	Mpa
Roca Media Dura	≥	140	< 180	Mpa
Roca Dura	≥	180	≤ 250	Mpa
Roca Muy Dura	>	250		Mpa

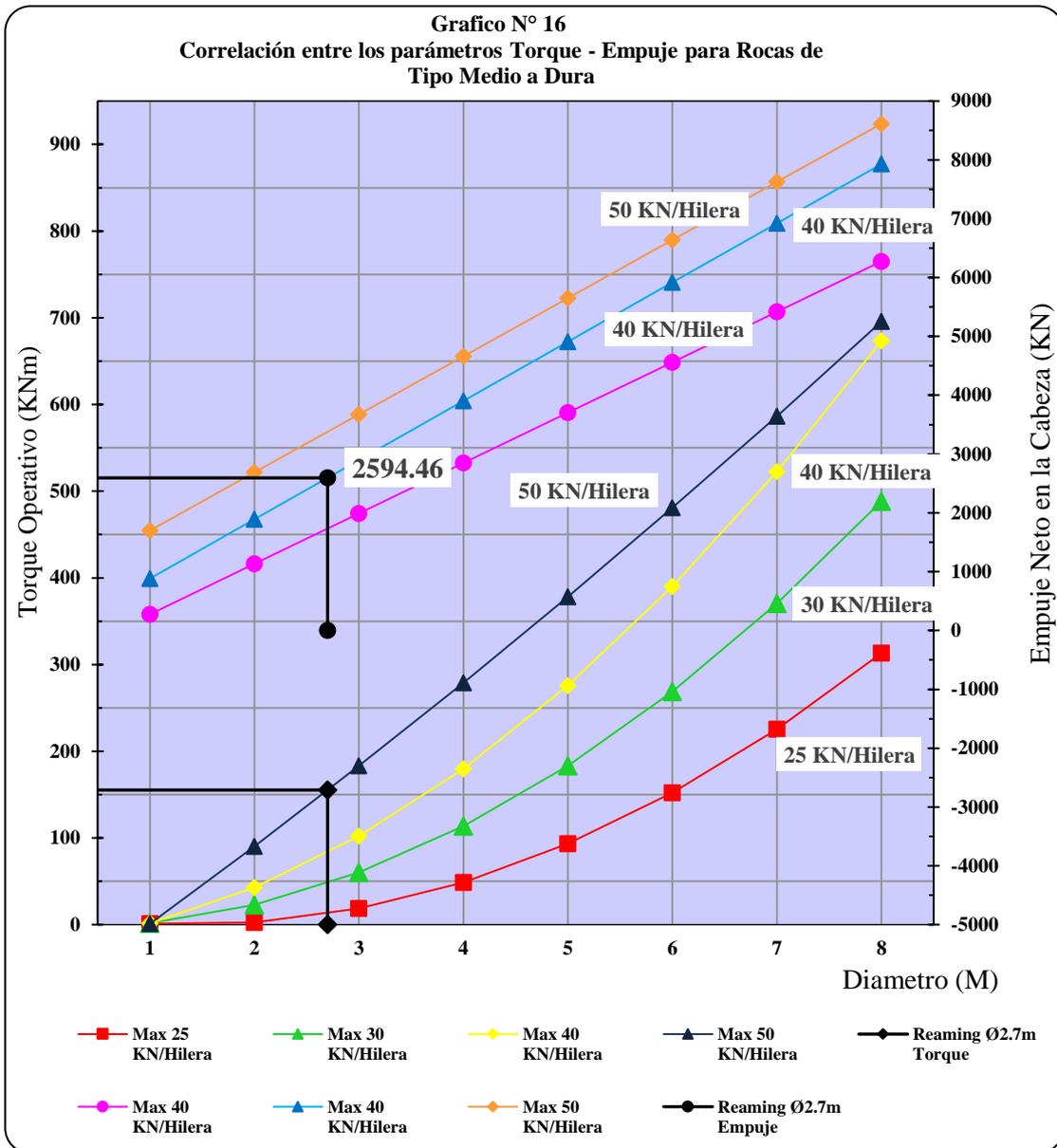
Fuente 86. Miguel Torija Maillo
SANDVIK ESPANOLA S.A.

4.4.3.3. Torque - Empuje

De acuerdo a la información Geomecánico – Geotécnico de la chimenea CH2682RB es necesario encontrar un equilibrio adecuado entre las dos variables: torque de rotación y empuje, para de este modo obtener la velocidad de penetración óptima.

La fuerza de empuje y/o el torque fluctúan debido a las condiciones cambiantes de las propiedades físico-mecánicas de las rocas, en un valor de penetración establecido, entonces el empuje (velocidad de avance de los cilindros de empuje hidráulicos) y la velocidad de rotación del cabezal de corte se modifican para obtener un nivel óptimo de penetración dentro de los límites de la fuerza de empuje y las capacidades de torsión, así como dentro de la velocidad de corte máxima permitida.

Gráfico 14. Correlación entre los parámetros Torque - Empuje para Rocas de Tipo Medio a Dura

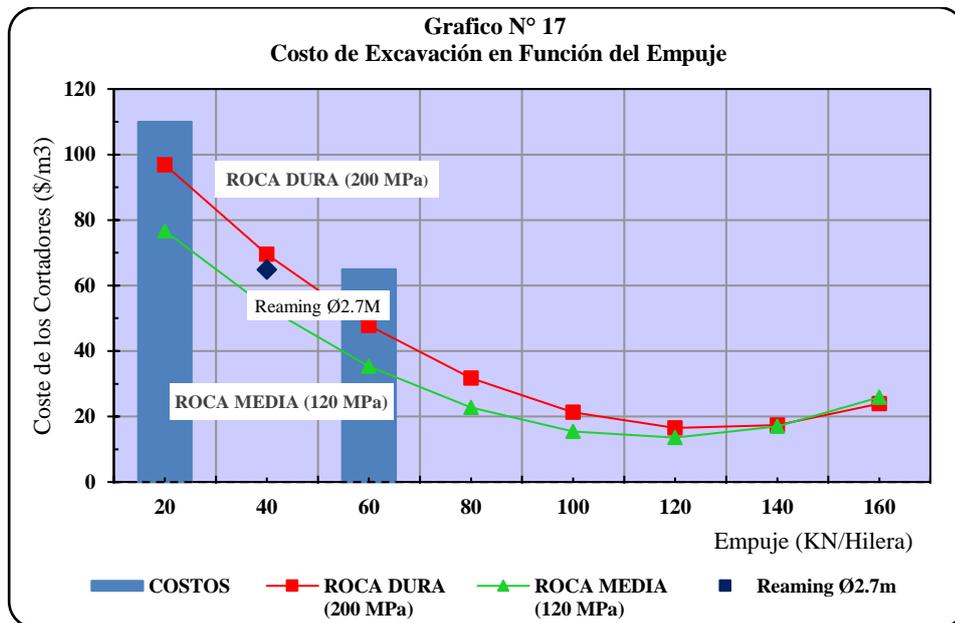


Fuente 87. Elaboración propia

4.4.3.4. Costes Operativos

De acuerdo a la mayor capacidad de corte de los cortadores y según su distribución en el Reamer, es menor la fuerza necesaria para cortar el macizo rocoso. Por ende, el diseño del cabezal de corte tiene influencia en la velocidad de penetración, en la vida útil del equipo, así como también en los costos de perforación.

Gráfico 15. Costo de Excavación en Función del Empuje



Fuente 88. Elaboración propia

4.4.4. Costes del Diseño Geométrico del Reamer Proyectoado de Ø2.7M

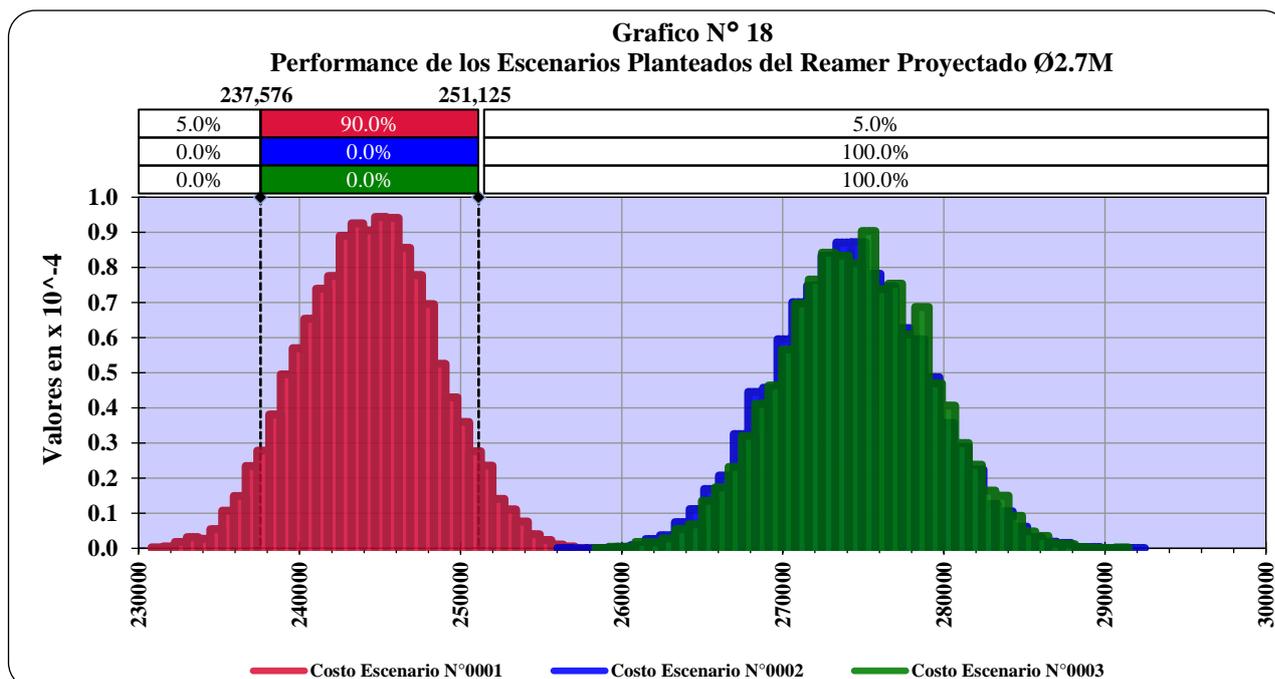
El Modelo que mostró los resultados más favorables para la ejecución del proyecto es el Escenario N° 0001. Mediante este diseño se espera una reducción consecuente y significativa de los costos de fabricación del Reamer Proyectoado de Ø2.727m.

Tabla 29. Performance de los Escenarios Planteados del Reamer Proyectoado Ø2.7M

COSTO REAMER PROYECTADO Ø2.7M - PROYECTO CH2682RB	
Escenarios Planteados	Coste (\$)
Escenario N°0001	244,316.33
Escenario N°0002	274,114.52
Escenario N°0003	274,514.52

Fuente 89. Elaboración propia

Gráfico 16. Performance de los Escenarios Planteados del Reamer Proyectoado Ø2.7M



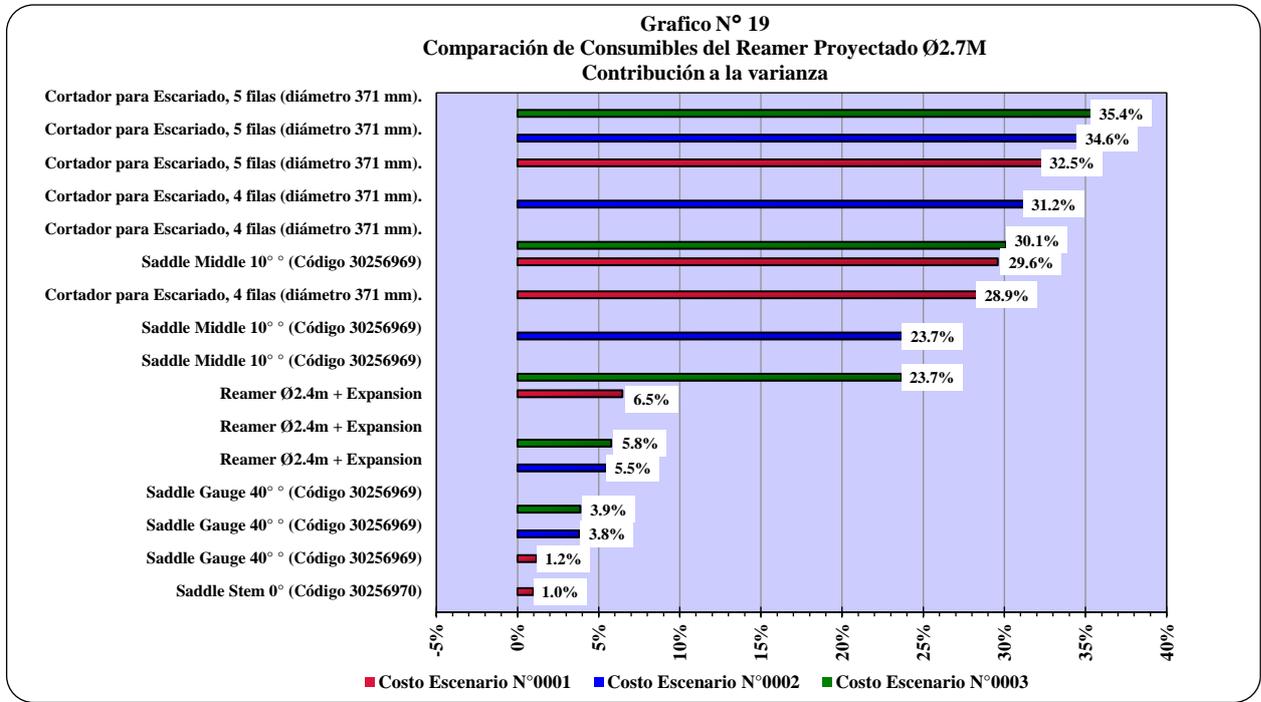
Fuente 90. Elaboración propia

En principio el Escenario N° 0001 reduciría los costos operativos en la ejecución de la chimenea CH2682RB; además de ello garantizan eficiencia y rendimiento de las operaciones de rimado.

La pronostico del rendimiento también debe cubrir la tasa de consumo del cortador además del rendimiento estimado en este estudio. Sin embargo, es un hecho conocido que los Cortadores de Rodillo de Insertos de Carburo tienen una vida útil realmente mayor en comparación con los otros tipos de cortadores utilizados en excavaciones subterráneas. Los estudios con respecto a la vida útil

del Cortador de Rodillo de Insertos de Carburo indican un promedio alrededor de 250m de longitud lineal de perforación de chimeneas.

Gráfico 17. Comparación de Consumibles de los Escenarios Planteados del Reamer Proyectado Ø2.7M



Fuente 91. Elaboración propia

4.4.5. Metodología Constructiva del Reamer Proyectado de Ø2.7M

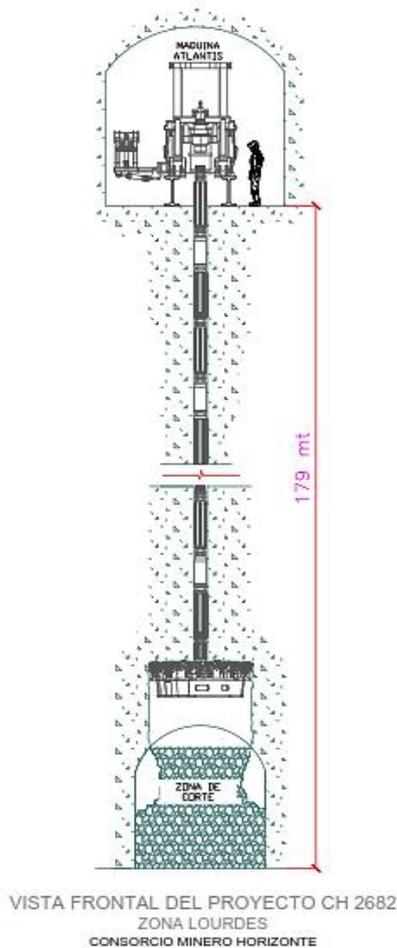
4.4.5.1. Consideraciones Generales del Reamer Proyectado de Ø2.727M en la Máquina Raise Boring RBM 6

La capacidad operativa neta del cabezal de corte se elige según la capacidad de la máquina (Máquina Raise Boring RBM 6) y/o tubería de perforación y las propiedades físico - mecánicas de las rocas. Cuya; capacidad operativa está definida por la capacidad de corte de los cortadores.

Tabla 30. Cálculo de la Carga del Cortador en el Reamer Proyectado 2.7M

CONVENTIONAL RAISE BORING

CUTTER LOADING CALCULATION



MACHINE		RBM6
REAMER	un	2.7
RODS	un	10 DI-22
INCLINATION	°	90
LENGTH	m	179
PRESSURE	MPa	14
METERS DRILLED	m	0
RECOMMENDED PRESSURE	MPa	26.6
GROUND HARDNESS	MPa	SOFT
REAMER ROTATIONAL SPEED	RPM	12.10
ROTACIONAL HORSE POWER	HP	4157.2
DERICK WEIGHT	tones	5.4
RODS WEIGHT	tones	36.0
REAMER WEIGHT	tones	8.0
CUTTERS WEIGHT	tones	1.68
UPLIFT FORCE	tones	93
COS (Ø)	na	1.00
DEAD WEIGHT	tones	51.1
RESULTANT FORCE	tones	42
CUTTER LOAD	t/cutter	3.0
PERIPHERAL ROTATIONAL SPEED	M/min	102.61
REAMER TORQUE REQUIRED	Kg f/m ²	1804976.94
REAMER TORQUE REQUIRED	PSI	2567.27
REAMER TORQUE REQUIRED	Mpa	17.70
REAMER TORQUE REQUIRED	Bar	177.01

Fuente 92. Elaboración propia

4.4.5.2. Construcción Geométrica del Reamer Proyectado de Ø2.7M

En base a la geometría del Reamer Existente de Ø2.4m, se ha identificado el cabezal de corte: Tipo Integral; donde en comparación con los Escenarios planteados el Escenario N°0001 es el más adecuado para el desarrollo del proyecto chimenea CH2682RB debido a las ventajas técnicos y económicos en la construcción geométrica del Reamer Proyectado de Ø2.7M.

En el Escenario N°0001; está pronosticado trabajar con 14 cortadores (Cortadores: 5 filas y 4 filas); el diseño en si no significará un

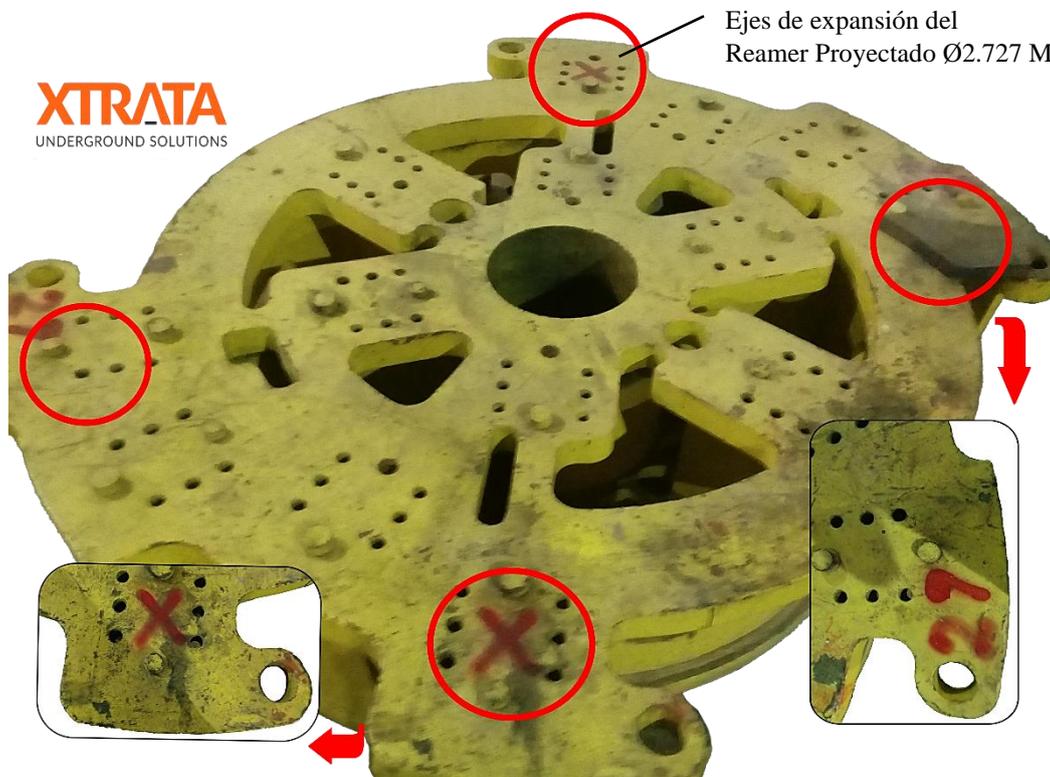
aumento de cortadores, en relación al Reamer existente de Ø2.4m; la variación más relevante es la distribución de los mismos.

Tabla 31. Distribución de Cortadores del Reamer Proyectado Ø2.7M - Escenario N°0001 y Ejes de corte en el Reamer

CUTTER POSITIONING ON HEADS																
REAMING HEAD TYPE	HEAD DIAM. mm	N° OF CUTTERS	TYPE OF CUTTER	POSITION SPACING 25.5mm				CUTTING AXIS								
								1	2	3	4	5				
RE - 2.4 - 0.1	2400	14	CMR 41	1	3	5	7	9	1	1	1	3	5	7	9	
									11	13						
			CMR 52	2	4	6	8	10	1	1	2	4	6	8	10	
									12	14						
RE - 2.7 - 0.1 Esc. N° 0001	2700	14	CMR 41	1	3	5	7	9	1	1	1	3	5	7	9	
									11	13						
			CMR 52	2	4	6	8	10	1	1	2	4	6	8	1	0
									12	14						

Fuente 93. Elaboración propia

Figura 48. Identificación de Ejes de Corte del Reamer Proyectado Ø2.7M - Escenario N°0001



Fuente 94. Elaboración propia

Identificado los 5 ejes de corte del Reamer Existente de $\text{Ø}2.4\text{M}$, los mismos que serán utilizados para la expansión geométrica del Reamer Proyectado de $\text{Ø}2.7\text{M}$; considerando la distribución de cortadores planteada en el Escenario N°0001; se concluye que el punto más relevante en el diseño son las condiciones de las propiedades físico - mecánicas de las rocas de la chimenea CH2682RB; por ende, se pronostica trabajar con 2 Portacortador Tipo Gauge (Posiciones N°13 y N°14).

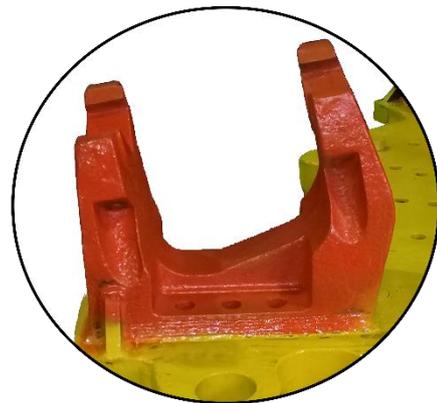
La adaptabilidad del Reamer planteado en el Escenario N°0001 en la ejecución del rimado para condiciones variables del terreno requiere un estudio de factibilidad geotécnica más extenso por adelantado.

Figura 50. Portacortador Tipo Gauge Posiciones N°13 y N°14



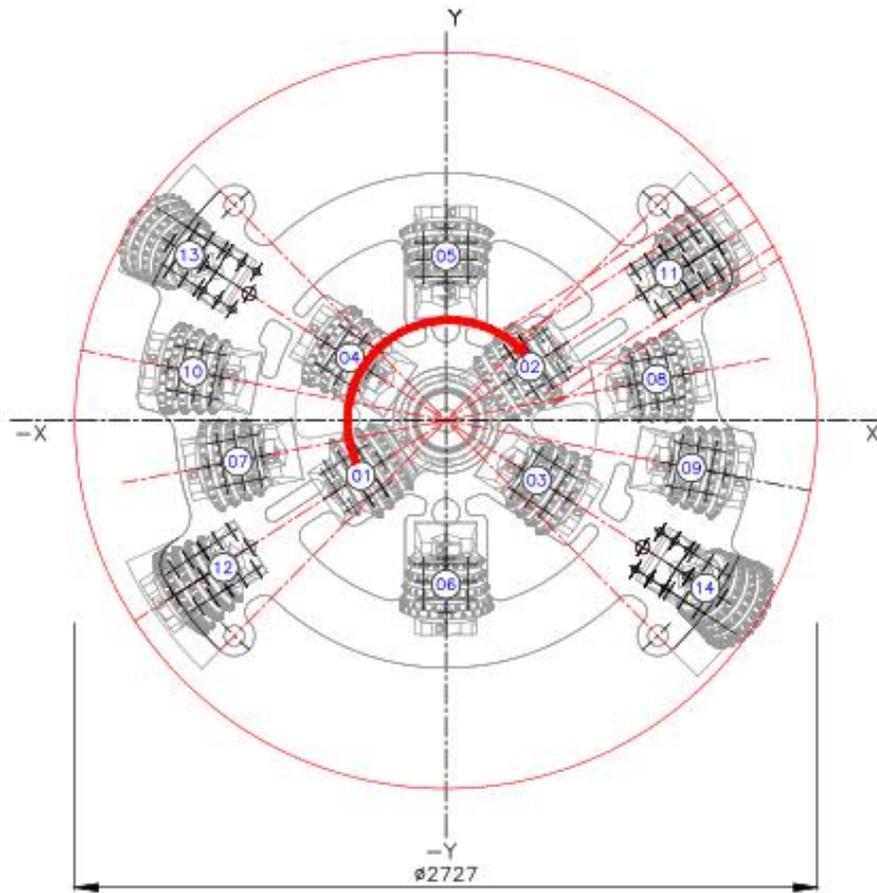
Fuente 96. Elaboración propia

Figura 49. Portacortador Tipo Middle Posiciones N°11 y N°12



Fuente 95. Elaboración propia

Figura 51. Reamer Proyectado de $\text{Ø}2.7\text{m}$ – Distribución de Cortadores
Escenario N° 0001



Fuente 97. Elaboración propia

Figura 52. Expansión Reamer Existente de Ø2.4m – considerando Distribución de Cortadores del Reamer Proyectado de Ø2.7m



Fuente 98. Elaboración propia

Figura 53. Expansión Reamer Existente de Ø2.4m – considerando Distribución de Cortadores del Reamer Proyectado de Ø2.7m



Fuente 99. Elaboración propia

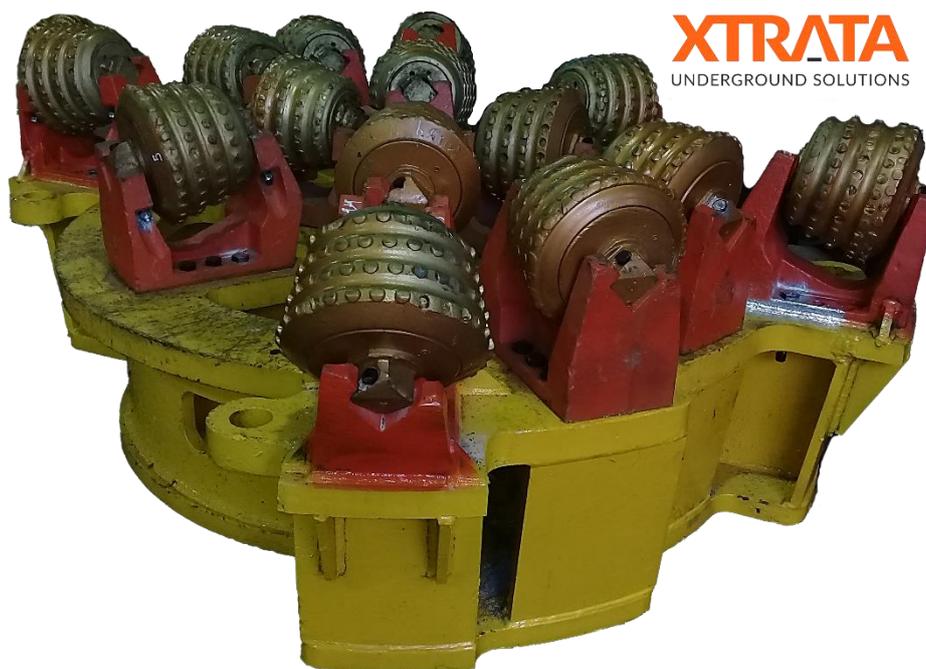
4.4.5.3. Montaje Reamer Proyectado 2.727m – CMH

Tabla 32. Distribución de Cortadores Reamer Proyectado 2.727M - CMH

DISTRIBUCIÓN DE CORTADORES REAMER 2.727M						
ITEM	SADDLE N°	TYPE OF SADDLE	TIPO	CÓDIGO	% INSERTO TUNGSTENO	OBSERVACIONES
1	1	STEM	M (CMR 41)	15012	95%	
2	2	STEM	N (CMR 52)	15027	95%	
3	3	MIDDLE	M (CMR 41)	15028	95%	
4	4	MIDDLE	N (CMR 52)	0004	70%	
5	5	MIDDLE	M (CMR 41)	0003	95%	
6	6	MIDDLE	N (CMR 52)	0006	75%	
7	7	MIDDLE	M (CMR 41)	0004	95%	
8	8	MIDDLE	N (CMR 52)	0009	70%	
9	9	MIDDLE	M (CMR 41)	37814	100%	
10	10	MIDDLE	N (CMR 52)	15005	90%	
11	11	MIDDLE	M (CMR 41)	37812	100%	
12	12	MIDDLE	N (CMR 52)	37813	100%	
13	13	GAUGE 40°	M (CMR 41)	36547	100%	
14	14	GAUGE 40°	N (CMR 52)	36548	100%	
TOTAL DE CORTADORES						14

Fuente 100. Elaboración propia

Figura 54. Montaje Reamer Proyectado 2.727m – CMH



Fuente 101. Elaboración propia

Figura 55. Montaje Reamer Proyectoado 2.727m – CMH



Fuente 102. Elaboración propia

Figura 56. Montaje Reamer Proyectoado 2.727m – CMH



Fuente 103. Elaboración propia

4.4.6. Control y Ajuste durante el Rimado Controlado CH2682RB

4.4.6.1. Reamer Profile del Proyectoado Ø2.727M – CMH

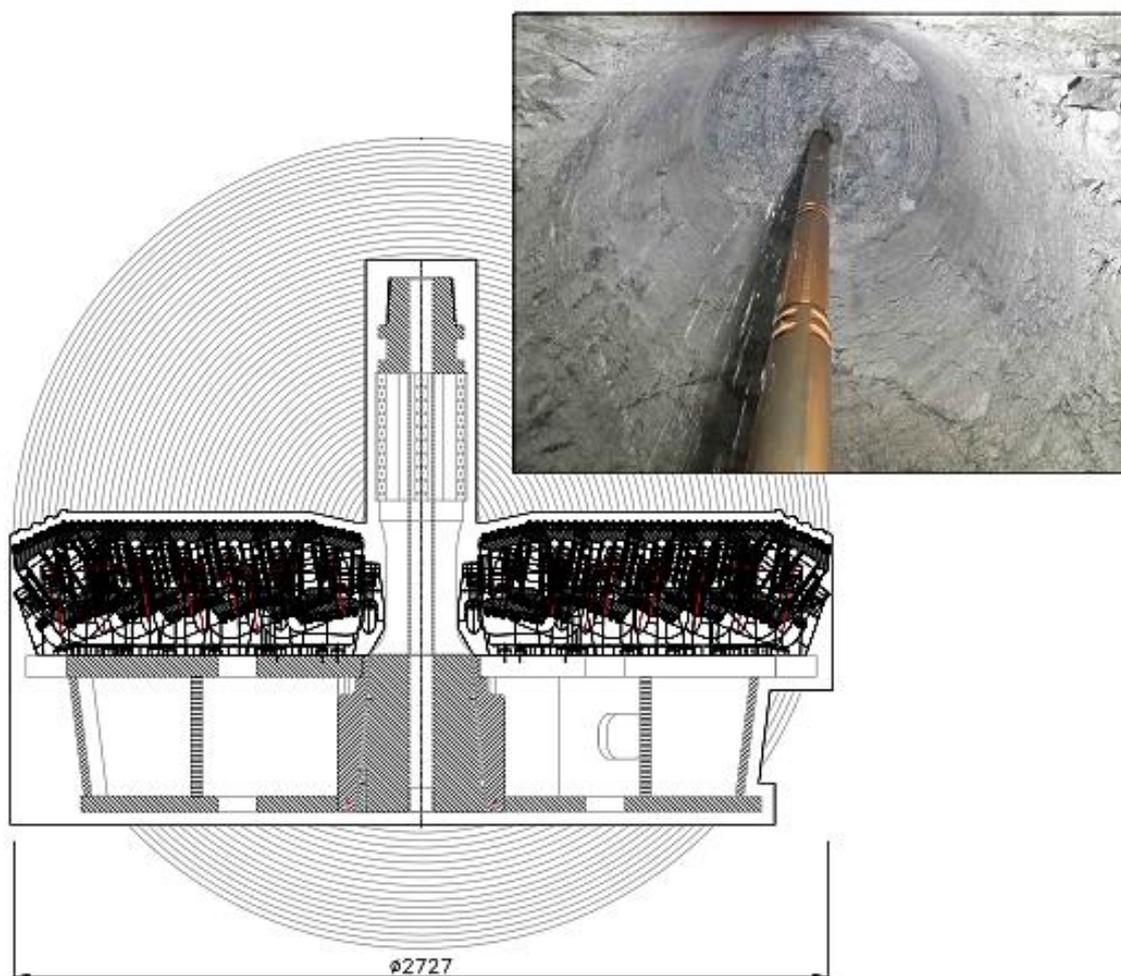
4.4.6.1.1. Anillos de Corte Programado – Ejecutado

Respecto al análisis de datos del sondaje diamantino SF – 2777301, se determinó el principal tipo de roca sedimentario con resistencia a la compresión uniaxial (UCS) (<120 MPa). La longitud de perforación es de 179m y el diámetro máximo del escariado posterior es de 2.727 m, con una inclinación de 90°.

De acuerdo a los parámetros de operación alcanza una velocidad máxima de escariado inverso de $0.4475 \frac{\text{m}}{\text{h}}$.

Los cortadores se colocan en diferentes posiciones, según la distribución de cortadores de acuerdo al diámetro requerido. Se recomienda una separación de 25,5 mm para roca media a dura, y una separación de 51 mm para roca blanda.

Figura 57. Anillos de corte Programado – Ejecutado



Fuente 104. Elaboración propia

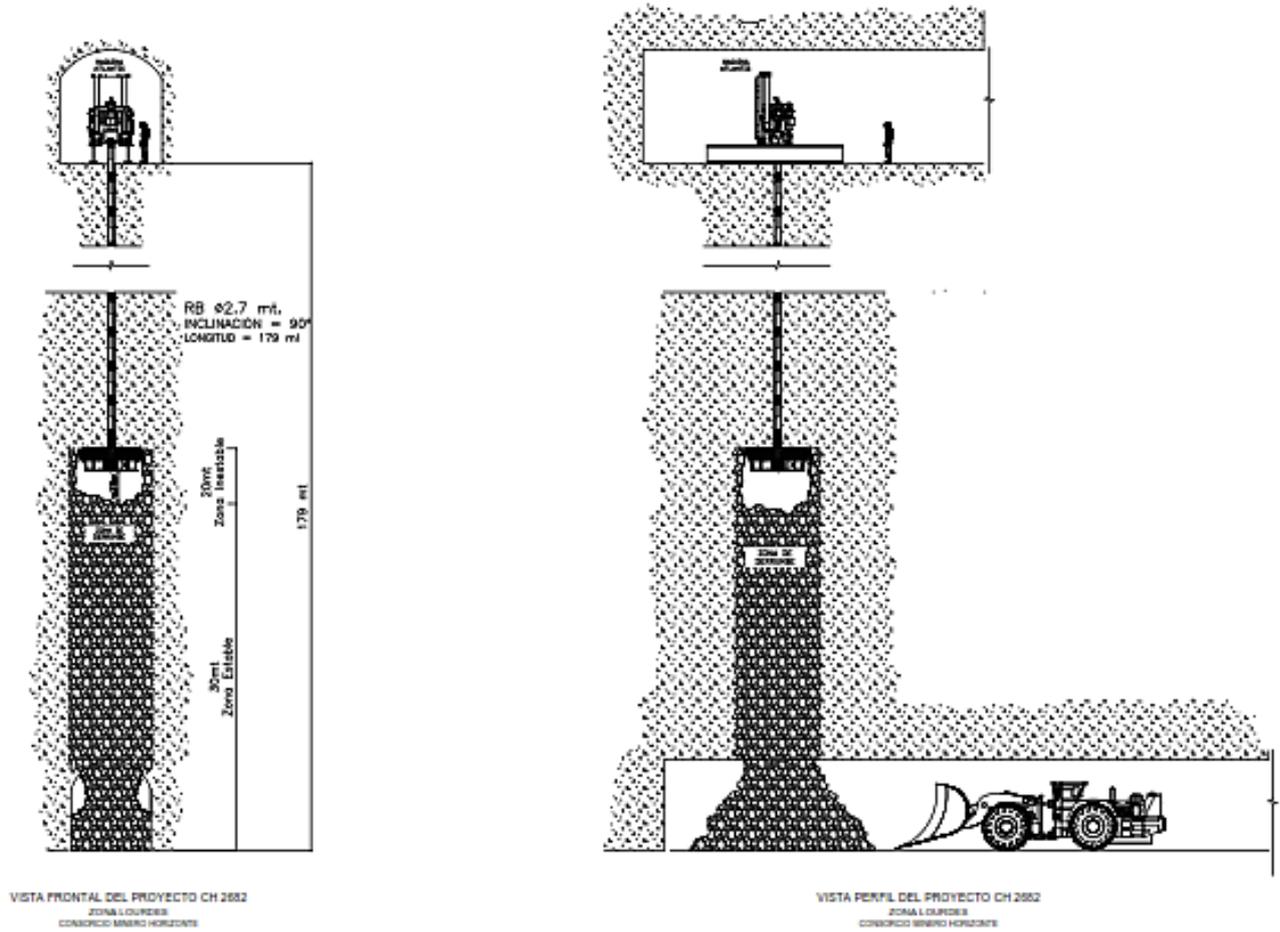
4.4.6.2. Rimado Controlado de la Chimenea CH2682RB

De acuerdo al análisis de datos del sondaje diamantino SF – 2777301 en el proyecto chimenea CH2682RB, se encuentran varias condiciones de terreno desfavorables, incluidas zonas con fallas, litología mixta que cambia con frecuencia y la débil y/o nula capacidad de autoaporte de la excavación. Finalmente, puede conducir a una baja tasa de penetración, un alto consumo de cortadores, colapso parcial de los hastiales del eje y retraso de tiempo en la ejecución del proyecto. Por ende, se optará por la alternativa de Rimado Controlado para la culminación del proyecto.

Las características del Rimado Controlado se detallan a continuación:

- El rimado posterior durante el desarrollo de la excavación no puede soportar su estabilidad, debido a condiciones geológicas desfavorables, que causan el colapso parcial y hundimiento de la excavación.
- En el desarrollo del Rimado Controlado de la chimenea CH2682RB; se estableció un espacio de seguridad de 2.5m para realizar maniobras operativas en la máquina Raise Boring RBM 6 (Atlantis) y no tener inconvenientes durante el rimado.
- La limpieza durante el proceso de rimado en la chimenea CH2682RB solo será determinado por el contratista minero y la cantidad a retirar.

Figura 59. Rimado Controlado de la Chimenea CH2682RB – Proyectoado



Fuente 105. Elaboración propia

Figura 58. Rimado Controlado de la Chimenea CH2682RB – Ejecutado



Fuente 106. Elaboración propia

CONCLUSIONES

A través del análisis de datos del sondaje diamantino SF – 2777301, se determinó el tipo de roca predominante: Tipo IV A - Tipo IV y a partir de 85m de profundidad, se evidencia cambios estructurales por un sistema de fallas con potencias que van de los 3m – 4m; que pueden provocar el colapso de la chimenea CH2682RB durante el Rimado (Fase II) de la perforación, por lo que se realizan excavaciones parciales de Rimado Controlado.

Una vez terminada el Pilotaje (Fase I), se iniciará el Rimado Controlado (Fase II), evitando al máximo que el tipo de macizo rocoso y sistema de fallas pueda torcer el cabezal de corte y flexionar la sarta de perforación.

Una selección correcta del diseño del cabezal del Reamer Proyectado de Ø2.7m es imprescindible para garantizar un buen rendimiento durante el Rimado Controlado (Fase II) de la excavación. Dicha construcción geometría se ha realizado variando la geometría de diseño mediante simulaciones computacionales.

En este trabajo se estudia el comportamiento operacional del Reamer Existente de Ø2.4m; a través de: la velocidad de perforación, velocidad de rotación periférica, velocidad de rotación y presión de empuje del rimado, la cual se utiliza como referencia para el diseño del Reamer Proyectado de Ø2.7m

Por otro lado, dada la relación entre la sarta de perforación y el diámetro(Ø) del Reamer, se puede realizar simulaciones variando la distribución de cortadores; dado que brindara como resultado la distribución optima de los cortadores para un diámetro(Ø) admisible del Reamer de 2.727m. Por ello, el presente proyecto de investigacion optará por la optimización de la distribución de cortadores del Reamer Existente de Ø2.4m a un Reamer Proyectado de Ø2.7m.

Bajo los parámetros del Reamer Profiler, la selección de la geometría de diseño del Reamer Proyectado de Ø2.7M, tiene influencia significativa en la tasa de perforación durante el Rimado Controlado. El Escenario N°0001 representa la mejor alternativa para la fabricación del Reamer Proyectado de Ø2.7M; dicho Escenario solo se puede utilizar sin problemas en la perforación vertical para macizos rocosos con capacidades de resistencia máxima de 180MPa.

A continuación, se detalla los parámetros técnicos del Escenario N°0001 de diseño para un Reamer Proyectado de Ø2.727m:

Con un Reamer Proyectado de Ø2.727m; está pronosticado trabajar con 14 cortadores (Cortadores: 5 filas y 4 filas); el diseño en si no significará un aumento de cortadores, en relación al Reamer existente de Ø2.4m; la variación más relevante es la distribución de los mismos. Con el modelo planteado no se estima el incremento del efecto péndulo durante el Rimado Controlado

Tabla 33. Distribución de Cortadores Escenario N° 0001

REAMER PROYECTADO DE Ø2.727M		
Tipo Cortador	Cantidad	
	Reamer Existente Ø2.4m	Reamer Escenario N° 0001
Cort. Stem (0°)	2	2
Cort. Middle (10°30'00")	8	10
Cort. Gauge (35°50'0")	4	2
TOTAL DE CORTADORES	14	14

Fuente 107. Elaboración propia

Los modelos empíricos del diseño geometría del Reamer Proyectado de Ø2.7M generalmente se basan en relaciones estadísticas entre el comportamiento operacional de la Maquina Raise Boring RBM 6 y las propiedades físico - mecánicas del macizo rocoso. La característica del macizo rocoso más utilizada en los escenarios planteados para la construcción geométrica del Reamer Proyectado

de $\text{Ø}2.7\text{M}$; fue la resistencia a la compresión uniaxial (UCS). Por lo tanto, la experiencia previa en los pronósticos de desempeño solo puede predecir la tasa de penetración de las operaciones de rimado.

Figura 60. Reamer Proyectoado 2.727m – CMH



Fuente 108. Elaboración propia

Se encuentran varias condiciones de suelo desfavorables, incluidas zonas con fallas, suelo de cara mixta y que cambia con frecuencia, lo que puede conducir a una baja tasa de penetración, un alto consumo anormal de cortadores, inestabilidad de la cara del túnel, entrada de agua y retraso de tiempo

El perfil de corte general del escariador es plano, con un ángulo levemente hundido en el aguijón y un bisel estándar en el área del indicador. Este perfil plano reduce el número de cortadores necesarios para excavar el diámetro de elevación deseado.

Con menos cortadores en el escariador, se requiere menos torque para rotar el escariador, lo que conduce a una perforación más eficiente. El bisel en el área del calibre agrega estabilidad al escariar.

Propiedades de la roca y del macizo rocoso que afectan el rendimiento del escariado vertical e inclinado y la perforación de pozos piloto. Este estudio debe

continuar para desarrollar modelos de predicción más generalizados y confiables, especialmente agregando diferentes diámetros de cabeza de escariador e inclinaciones de elevación a la base de datos como parámetros predictivos.

RECOMENDACIONES

Para garantizar la selección óptima del Reamer y la posterior ejecución de la chimenea CH2682RB, se debe realizar una evaluación de riesgos utilizando datos detallados de exploración geológica, incluida la composición de la roca, las propiedades físico-mecánicas de las rocas, la estructura geológica, el desarrollo de discontinuidades, fisuras y la magnitud de la influencia del agua subterránea.

Los escenarios de optimización del Diseño de la Distribución de Cortadores del Reamer Proyectado de Ø2.7m; dependerá estrictamente de las propiedades físico-mecánicas del macizo rocoso a las que será sometida durante la excavación.

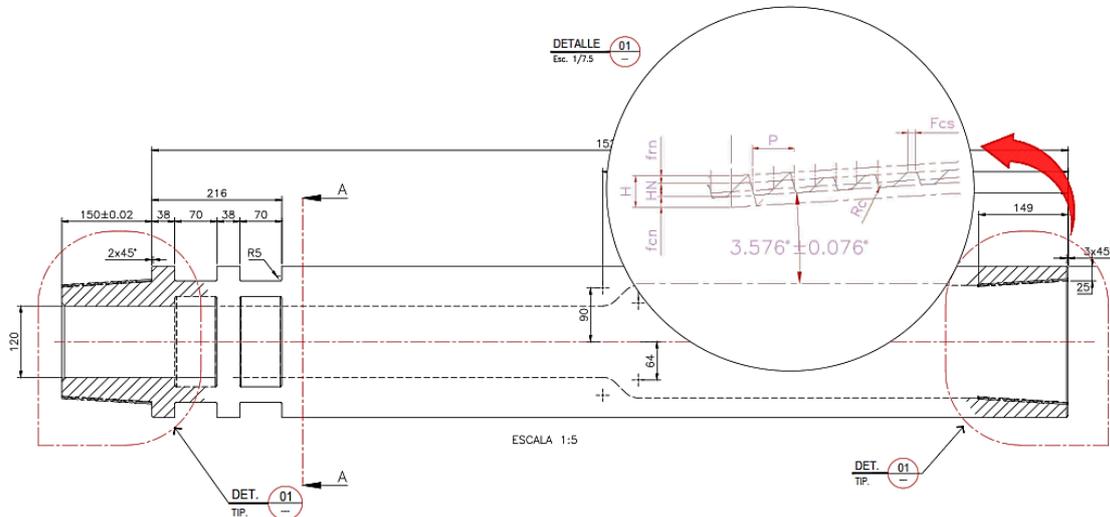
La precisión de la perforación piloto en cuanto a la verticalidad de operación, minimiza los momentos de flexión en la sarta de perforación durante el rimado

Las ubicaciones de las monturas del cortador se pueden volver a verificar en el campo utilizando un conjunto de verificación de perfil, que es una plantilla de acero con muescas precisas de la posición radial exacta de cada fila de corte del escariador. El conjunto de verificación de perfil permite que esta plantilla se instale en el centro del escariador y girado 360 grados sobre el perfil de corte del escariador. De esta manera, las posiciones de las filas de corte de cada cortador se pueden comparar con las posiciones ubicadas en la plantilla.

El diámetro del Reamer(Ø) está estrictamente relacionado con la sarta de perforación, ya que la columna de perforación está sujeto a más carga durante el rimado; además de la fuerza de tensión, la columna tiene que resistir fuerzas de torque muy altas. Ambas acciones se concentran en las conexiones roscadas de la sarta de perforación. Las fuerzas son resistidas por un hilo tipo contrafuerte (DI 22) especialmente desarrollado para la Metodología Raise Boring. Además, las

características Geomecánico – Geotécnico del macizo rocoso es decisiva para la factibilidad de que se pueda perforar un pozo de cierto diámetro.

Figura 61. Hilos Buttress - DI-22

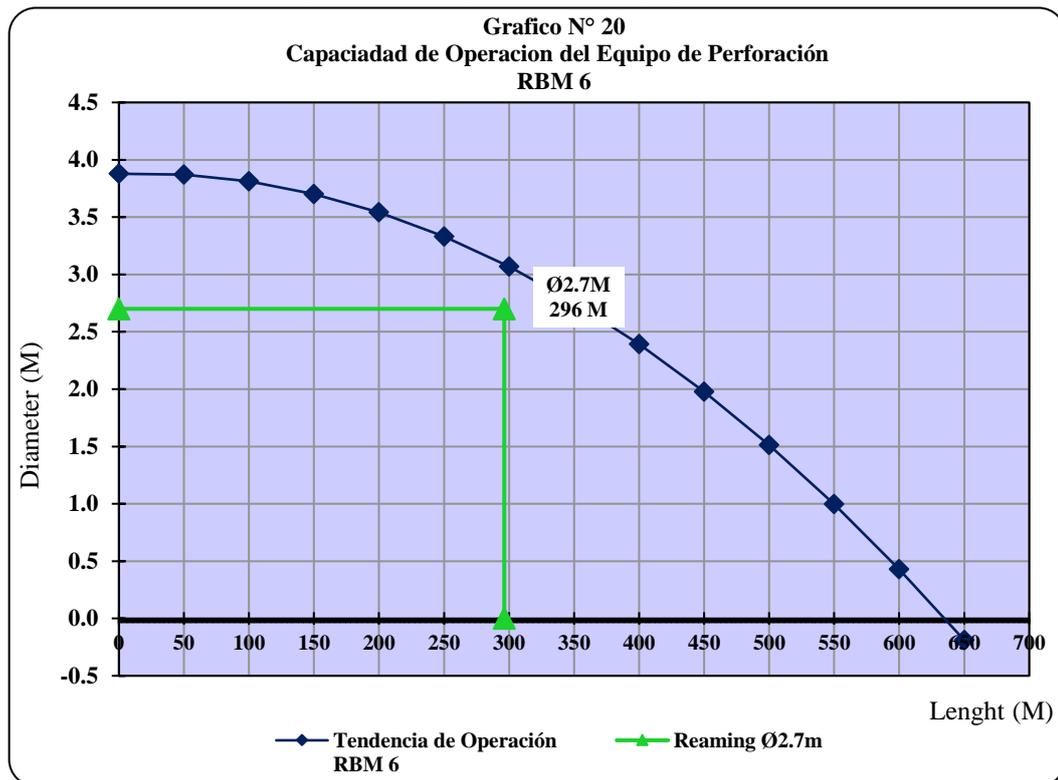


Fuente 109. Elaboración Propia

Con el desarrollo de la Metodología Raise Boring en la ejecución de ejes verticales y/o inclinados en diversos campos de la construcción subterránea y adecuada para todo tipo de excavaciones. Por lo tanto, desarrollar un Reamer adaptable a diferentes diámetros de trabajo y que garantice la perforación a lo largo del eje de la chimenea se convierte en un tema importante del Método Raise Boring.

La tendencia de operación de la maquina Raise Boring RBM 6; se adapta al esquema de perforación del Reamer de Ø2.727M con una longitud estimada de 300M de perforación, diseñado de acuerdo a los parámetros del Reamer Profiler (altura del portacortador, anillos de corte y Angulo de portacortadores sobre el escariador) y las propiedades físico-mecánicas del macizo rocoso.

Gráfico 18. Capacidad de Operación del Equipo de Perforación RBM 6

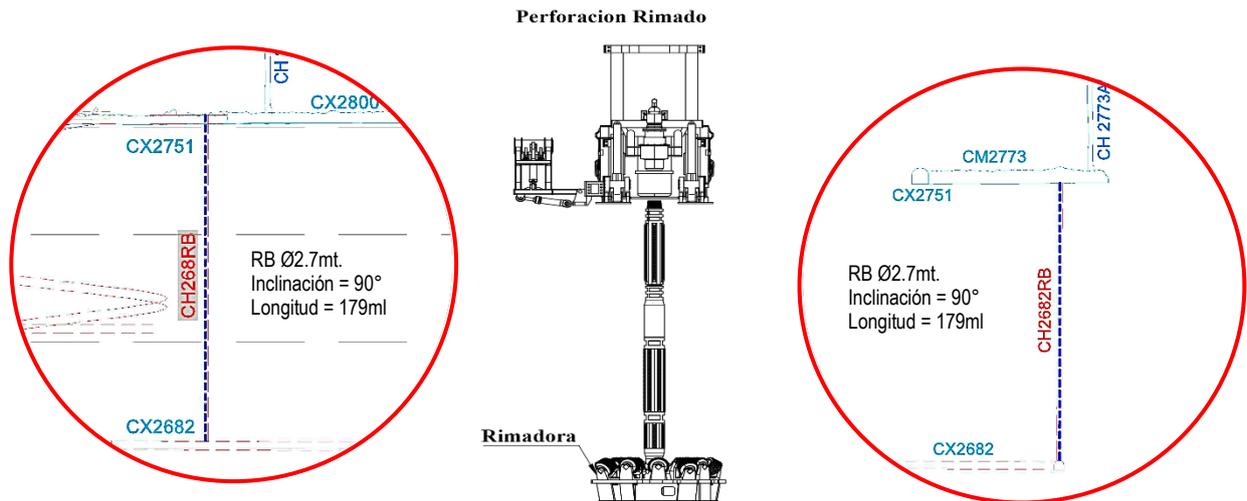


Fuente 110. Elaboración Propia

Este estudio debe continuar para desarrollar modelos de predicción más generalizados y confiables, especialmente agregando diferentes diámetros de cabeza de escariador e inclinaciones de elevación a la base de datos como parámetros predictivos.

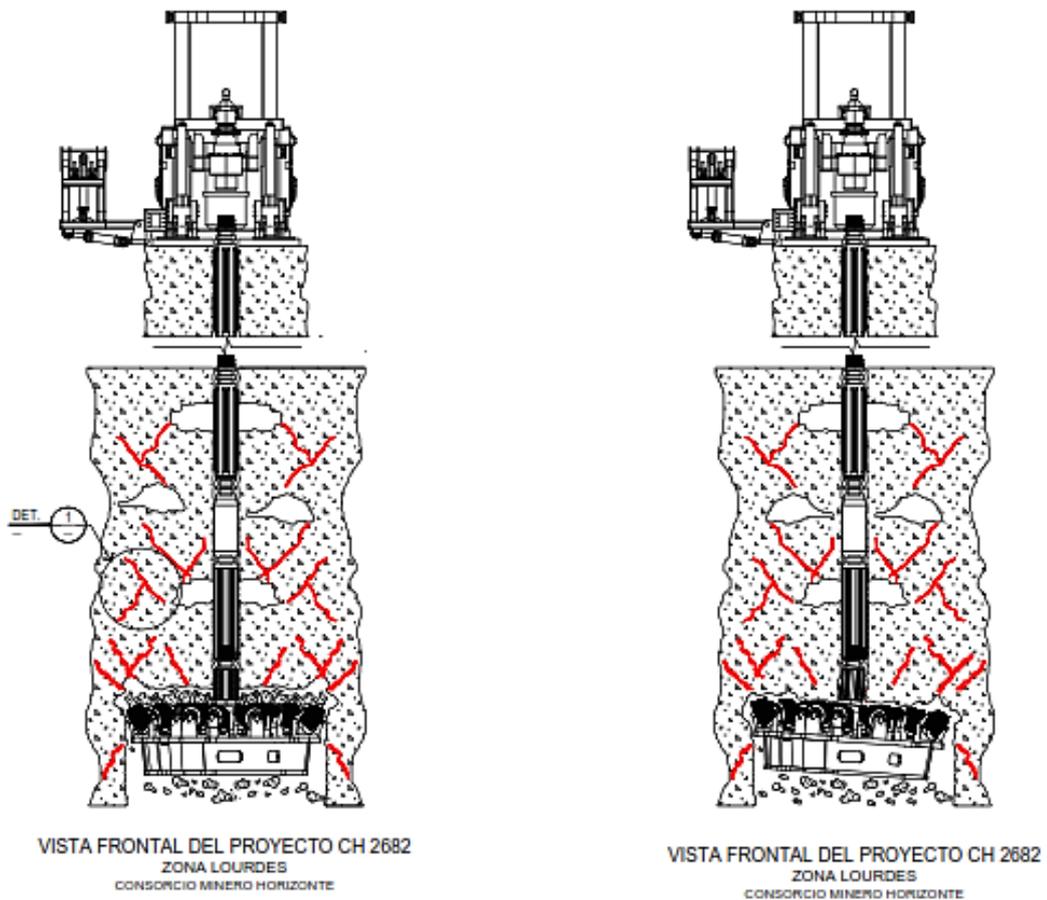
Definidas las principales propiedades geológico-geotécnicas de las rocas de la CH2682RB, se estaría en condiciones de utilizar la información del sondaje diamantino SF – 2777301, para la ejecución del proyecto; en este caso para pronosticar el desempeño de la Máquina Raise Boring RBM 6 con respecto al Reamer Proyectado de Ø2.7M. Por lo tanto, la excavación requiere una comprensión del comportamiento y las propiedades del macizo rocoso para tratar de manera efectiva con los diferentes parámetros operacionales aplicados, como la fuerza de empuje (tracción) de rimado.

Figura 62. Proyecto Excavación Chimenea CH2682RB



Fuente 111. Elaboración Propia

Figura 63. Velocidad de rotación y penetración controlada durante el rimado controlado en la CH2682



Fuente 112. Elaboración Propia

BIBLIOGRAFÍA

- ATN, G. (S.F.). Sistema de Excavacion: Raise – Boring. Departamento Técnico Microtúneles Sonntag .
- Ayala Carcedo , F. (1997). Manual de Tuneles y Obras Subterranas. (C. Lopez Jimeno, Ed.) Madrid, España: Graficas Arias Montano, S. A. - Mostoles (Madrid).
- Blattner, I. S. (S.F.). Manual SBM 700 - Stu Blattner Incorporated.
- Cabrera Otiniano, Y., & Cabrera Otiniano, J. (2015). “Ventajas Técnico – Económico del Método Raise Boring en Comparación del Método Convencional, en la Construcción de Chimeneas, Mina Condestable”. Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo.
- Cao, J., & Zhao, S.-D. (2010). A Fuzzy Logic Model to Predict the Specific Power of Rock Fragmentation for Large-Diameter Shaft Rigs Rolling Cutters. Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, Xi'an, China.
- Cheng, S.-Y., Gao, F., Jing, G.-Y., Zhou, M., Han, B., & Tang, Z. (S.F.). An Intelligent Temporary While-Boring Support Technology for Raise Boring Method. National Engineering Laboratory for deep Shaft Construction Technology in Coal Mine, Beijing, 100013, China, Beijing.
- Copco, A. (2008). Raiseboring In Mining and Construction - Turning Heads and Pulling the String. Copyright 2008, Atlas Copco Rock Drills Ab, Ahrt, Örebro, Sweden.
- Edelbro, C., Brummer, R., Pierce , M., Sandström , D., & Sjöberg , J. (2019). Raiseboring in Difficult Rock Conditions. Ground Support 2019 - J Hadjigeorgiou & M Hudyma (Eds) - 2019 Australian Centre for Geomechanics, Perth, ISBN 978-0-9876389-4-6, Perth.

- Elgenklöw, M. (2003). Boxhole Boring at El Teniente. Elsevier Science Ltd. All Rights Reserved., Sweden.
- Ferreira, P. (2015). Mechanised Mine Development Utilising Rock Cutting and Boring Through Raise and Blind Boring Techniques. The South African Institute of Mining and Metallurgy.
- Hu, X., Jiang, H., & Du, C. (2006). Finite Element Method for Prediction of Rock Breaking Performance of the Tipped Hob With Different Tooth Profiles. This Worknational Natural Science Foundation of China Under Grant 51975573, and in Part by the China Postdoctoral Science Foundation Under Grant 2018m640532., Xuzhou - China.
- Kratz, T., & Schichtel-Seberkste, B. (2019). Modernizing Mining – Shaft Construction in Serbia. World of Mining – Surface & Underground 71 , Germany.
- Kujundžić, T., Macenić, M., & Korman, T. (2012). State of the Art Of Drilling Large Diameter Boreholes for Deposition of High Level Waste and Spent Nuclear Fuel. Rudarsko-Geološko-Naftni Fakultet Sveučilišta U Zagrebu, Pierottijeva 6, Hr-10000 Zagreb, Hrvatska, Gornja Stubica - Croatia.
- Lyle, R. (2017). Considerations for Large-Diameter Raiseboring. Underground Mining Technology 2017 – M Hudyma & Y Potvin (Eds) - Australian Centre for Geomechanics, Perth, Isbn 978-0-9924810-7-0 , Perth.
- Molina Vilchez, J. (2020). Diseño y Optimización del Modelo Geométrico Harfacing para Estabilizadores de Perforación por Medio De Análisis Dem-Fem. Universidad de Ingeniería y Tecnología, Lima.
- Pimenta de Avila, L., Caproni Junior, N., & Martins Filho, G. (S.F.). "Raise Boring ", Uma Alternativa Para Execucao De Pocos Profundos Escavados em Rocha. Xix Seminario Nacional de Grandes Arragens.

- Ramon Redrovan , E. (2015). “Construcción del Pozo de Presión con el Método Raise Boring y Ensanchamiento Manual en el Proyecto Hidroeléctrico Quijos”. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Macas - Ecuador.
- Sandvik Mining and Construction Tools. (2010). Raise Boring Heads - User Manual. Sandvik Mining, Sandviken - Sweden.
- Vogt, D. (2016). A Review of Rock Cutting for Underground Mining: Past, Present, and Future. Centre for Mechanised Mining Systems, University Of The Witwatersrand, Johannesburg, South Africa, Johannesburg.
- Walls, E., Joughin, W., & Paetzold, H. (2019). Geotechnical Data Analysis to Select a Feasible Method for Development of a Long Axis, Large Diameter Vertical Ventilation Shaft. The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, South Africa.
- Zhiqiang , L., & Yiping , M. (2015). Key Technologies of Drilling Process with Raise Boring Method. Institute of Mine Construction, Tiandi Science and Technology Co., Ltd., China Coal Mine Engineering Co., Ltd., Beijing 100013, China, Beijing - China.
- Zhiqiang, Z., Kangjian, Z., Weijie, D., & Biao, Z. (2020). Study of Rock-Cutting Process by Disc Cutters in Mixed Ground Based on Three-Dimensional Particle Flow Model. School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, Sichuan - China.

ANEXOS

Anexo 1. Precios Unitarios Taladro Piloto - Método Raise Boring

Tabla 41. Precios Unitarios Taladro Piloto - Método Raise Boring

CHIMENEA RAISE BORER TALADRO PILOTO						TC	3.74
PARAMETROS							
Diametro de Taladro Piloto	m	0.2794					
Avance por guardia	m	6					
Horas trabajadas por guardia	h	10					
Proyecto de perforación	m	179.00					
Horas total de perforación	Hr	150					
Guardias completas	gda	15					
MANO DE OBRERA							
	CANTIDAD	SALARIO		SERVIDIO	INCIDENCIA	SUBTOTAL	
		Nº	%			US\$	US\$/ML
Operador de Raise Borer	1	112.83	1.04	229.93	1.50	1383.29	7.73
Ayudante Operador Raise Borer	1	77.83	1.04	158.61	1.50	954.19	5.33
Electricista	1	102.83	1.04	209.55	0.38	315.17	1.76
Mecánico	1	107.26	1.04	218.58	0.38	328.75	1.84
Capataz	1	122.83	1.04	250.31	0.15	150.59	0.84
Replanteo	1	72.83	1.04	148.42	0.15	89.29	0.50
Ing de Guardia	1	136.16	0.60	218.31	0.15	131.34	0.73
SUBTOTAL MANO DE OBRERA						3352.62	18.73
EFF							
	Cantidad	Costo/Día		Incidencia	SUBTOTAL		
		US\$	Día/Laborer		US\$	US\$/ML	
Operador de Raise Borer	1.00	3.27	1.00		49.05	0.27	
Ayudante Operador Raise Borer	1.00	3.27	1.00		49.05	0.27	
Electricista	1.00	4.10	0.25		15.37	0.09	
Mecánico	1.00	4.10	0.25		15.37	0.09	
Capataz	1.00	3.18	0.10		4.77	0.03	
Replanteo	1.00	3.18	0.10		4.77	0.03	
Ing. De Guardia	1.00	3.19	0.10		4.78	0.03	
SUBTOTAL EFF						143.17	0.80
HERRAMIENTAS							
		Costo/Día		Incidencia		SUBTOTAL	
		US\$				US\$	US\$/ML
Herramientas menores		6.59		1		98.85	0.55
PERFORACION							
	Precio Unitario	Vida Util	Cost. Unit.	Unidades Utilizadas	SUBTOTAL		
					US\$	Hr	US\$/Hr
Borra Tricorónica de 11"	6130.31	1200	5.11	1	766.31	4.28	
Estabilizadores de Borra Piloto Ø 279.4 x 500 mm	10962.88	2000	5.49	1	823.72	4.60	
Borra estabilizadora Ø 279.4 x 1324 mm	11681.60	2000	5.84	3	2628.36	14.68	
Borra de avance aceptable Ø 279.4 x 1324 mm	12500.00	2000	6.25	115	10781.25	60.23	
SUBTOTAL PERFORACION						14999.64	83.80
EQUIPOS							
		Costo		Boras		SUBTOTAL	
		US\$/Hr		Troche		US\$	US\$/ML
ALQUILER Scorpion R 16000 4 Yd (incluye oper: app + control)		144.13		1.00		144.13	0.81
Raise Borer Kama (incluye repuestos)		175.84				20373.92	115.84
Consumibles Raise Borer		13.44				2015.39	11.26
SUBTOTAL EQUIPOS						20533.35	117.90
COSTO TOTAL DIRECTO						US\$	391.79
GASTOS GENERALES 10%		0.15					43.77
UTILIDAD 10%		0.10					33.55
COSTO POR PERFORACION PILOTO						US\$ x METRO LINEAL	868.10

Anexo 2. Precios Unitarios Rimado - Método Raise Boring

Tabla 42. Precios Unitarios Rimado - Método Raise Boring

CHIMENEA RAISE BORER RIMADO							TC	3.74
PARAMETROS								
Diametro de Rimado	m	2.7270						
Avance por guardia	m	4.5						
Horas trabajadas por guardia	h	10						
Proyecto de perforacion	m	179.00						
Horas total de perforacion	Hr	150						
Guardias empleadas	gda	23						
MANO DE OBRA							SUBTOTAL	
	CANTIDAD	SALARIO	BR. SS	SUBTOTAL	INCIDENCIA			
		\$.	%	\$.		US \$	US \$ /ML.	
Operador de Raise Borer	1	112.83	1.04	229.93	1.50	2121.04	11.85	
Ayudante Operador Raise Borer	1	77.83	1.04	158.61	1.50	1463.09	8.17	
Electricista	1	102.83	1.04	209.55	0.38	483.26	2.70	
Mecanico	1	107.26	1.04	218.58	0.38	504.08	2.82	
Capataz	1	122.83	1.04	250.31	0.15	230.90	1.29	
Bodegazo	1	72.83	1.04	148.42	0.15	136.91	0.76	
Ing de Guardia	1	136.16	0.60	218.31	0.15	201.39	1.13	
SUBTOTAL MANO DE OBRA						5140.69	28.72	
EFP							SUBTOTAL	
	Cantidad	Costo /Dia	Incidenca			US \$	US \$ /ML.	
		US \$	Dia/Laborer					
Operador de Raise Borer	1	3.27	1.00			75.21	0.42	
Ayudante Operador Raise Borer	1	3.27	1.00			75.21	0.42	
Electricista	1	4.10	0.25			23.57	0.13	
Mecanico	1	4.10	0.25			23.57	0.13	
Capataz	1	3.18	0.10			7.32	0.04	
Bodegazo	1	3.18	0.10			7.32	0.04	
Ing. De Guardia	1	3.19	0.10			7.33	0.04	
SUBTOTAL EFP						219.52	1.23	
HERRAMIENTAS							SUBTOTAL	
		Costo /Dia	Incidenca			US \$	US \$ /ML.	
		US \$						
Herramientas incanora		6.59	1			151.58	0.85	
PERFORACION							SUBTOTAL	
	Unidad	Precio Unitario	Vida UH	Cost. Unit.			US \$ /ML	
		US \$	Hr	US \$ Hr	US \$	US \$ /ML		
R. Boring serration Hob (reaming Bit) 5 Tooth	7.00	8863.14	960	64.63	9604.06	54.16		
R Boring -ordnally drilling rod Ø 254 x10,000	1.00	12500.00	720	17.36	2604.17	14.55		
R Boring Stable drilling Rod Ø 250 mm x 10,000	1.00	12089.22	480	25.19	3777.88	21.11		
R Boring Pilot Tricorno c Bit Ø 250 mm	1.00	6130.51	720	8.51	1277.19	7.14		
R Boring Fine serration Hob (Reaming Bit) 4 Tooth	7.00	8264.65	480	121.98	18297.67	102.22		
Estabilizadores del Kimer Ø250 x590 mm	2.00	12635.80	2000	12.64	1895.37	10.59		
Barra estabilizadora Ø 250 x 1000 mm	3.00	11681.60	2000	17.52	2828.36	14.68		
Escariador TT 46	1.00	42286.38	2000	21.14	3171.48	17.72		
R Boring F N O 10201 - 35 A MOVABLE CASINO	1.00	4488.67	2000	2.24	336.65	1.88		
Barra de avance acoplable Ø 254 x 1524 mm	115	12500.00	2000	718.75	#####	602.30		
SUBTOTAL PERFORACION						846.34		
EQUIPOS							SUBTOTAL	
		Costo	Horas			US \$	US \$ /ML.	
		US \$ / Hr	Tratado					
Scoptram R 1600G 6 VdD (incluye opc+ app + combust)		138.26	1.00			138.26	0.77	
Raise Borer Kama (incluye repuestos)		175.64				26375.92	175.84	
Consumibles Raise Borer		13.44				2015.29	11.26	
SUB TOTAL EQUIPOS						28529.48	187.87	
COSTO TOTAL DIRECTO							US \$	1066.01
GASTOS GENERALES 10%		0.10					106.50	
UTILIDAD 10%		0.10					117.15	
COSTO POR PERFORACION RIMADO						US \$ x METRO LINEAL	1388.66	

Anexo 3. Especificaciones Técnicas del Material de Barras

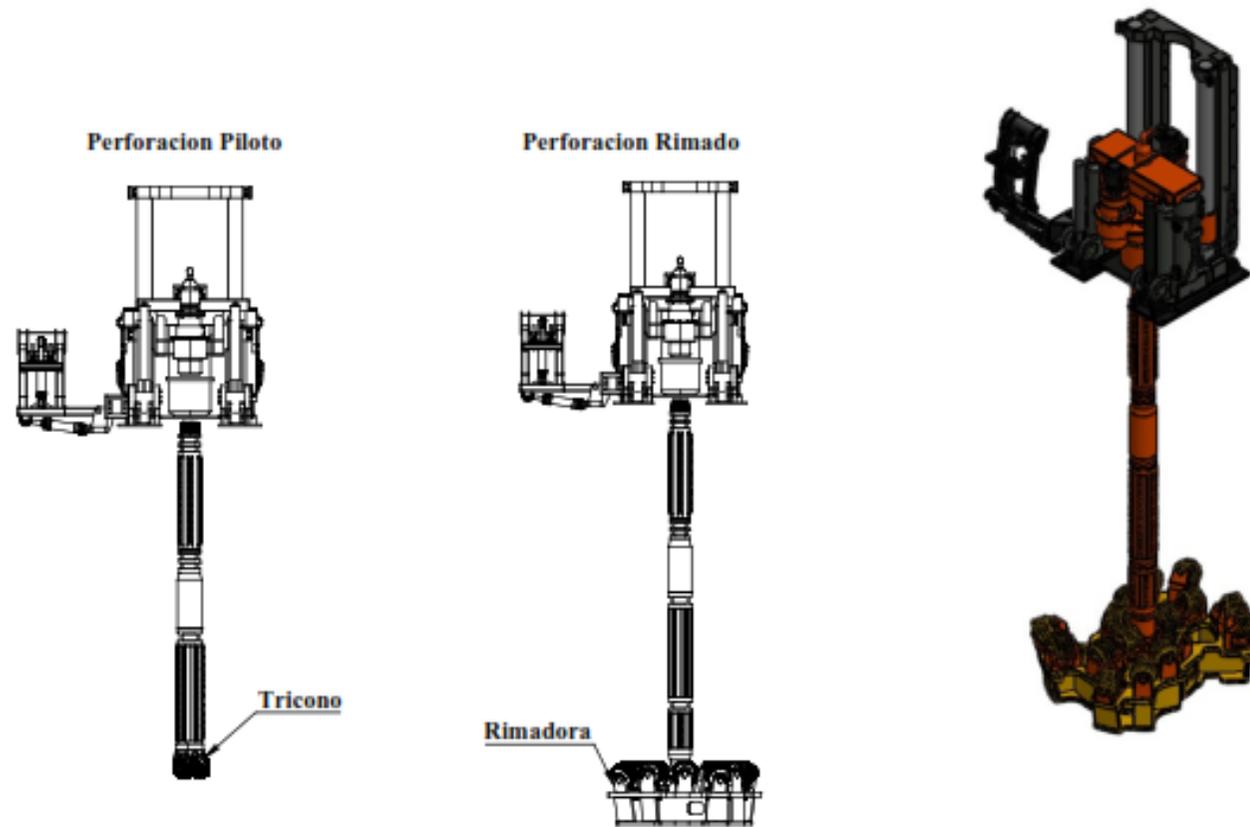
Anexo 4. Especificación Técnica del Material de Barras

MEDIUM STRENGTH SERIES			
Material: Alloy Steel, ref. AISI 4330 - available for Hot-Set Rods: 8", 10", 11 1/4", 12 7/8"			
Property	Symbol	Dimension	Raw Material Ø 200 mm to 350 mm
Yield Strength	$R_{p0.2}$	N/mm ²	≥ 930 (135 ksi)
Tensile Strength	Rm	N/mm ²	≥ 1030 (149 ksi)
Elongation after Fracture (Lo-O 4x do)	A4	%	≥ 15
Reduction of Area	Z	%	≥ 45
Notch Impact Strength Charpy V-Notch	A	J	≥ 65
Hardness on Specific Diameter	-	HBS	320 - 370
Hardness on Circumferential Surf	-	HBS	≥ 340

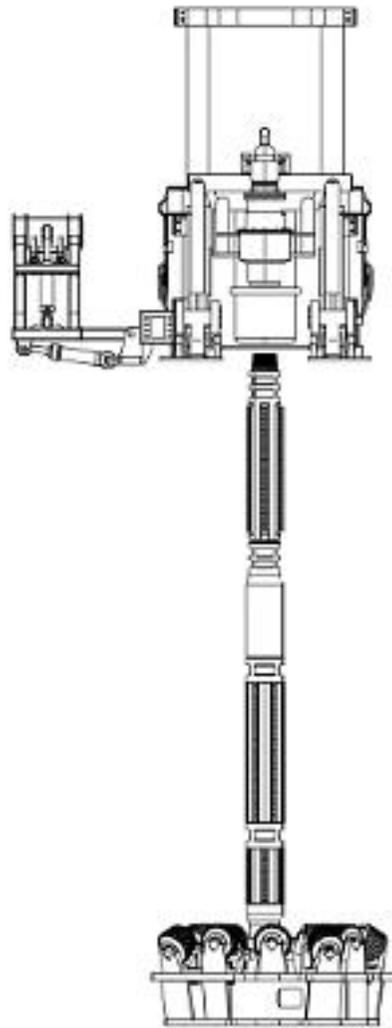
HIGH STRENGTH SERIES			
Material: Alloy Steel, ref. AISI 4330 mod - available for Hot-Set Rods: 8", 10", 11 1/4", 12 7/8"			
Property	Symbol	Dimension	Raw Material Ø 200 mm to 350 mm
Yield Strength	$R_{p0.2}$	N/mm ²	≥ 965 (140 ksi)
Tensile Strength	Rm	N/mm ²	≥ 1035 (150 ksi)
Elongation after Fracture (Lo-O 4x do)	A4	%	≥ 15
Reduction of Area	Z	%	≥ 45
Notch Impact Strength Charpy V-Notch	A	J	≥ 65
Hardness on Specific Diameter	-	HBS	320 - 380
Hardness on Circumferential Surf	-	HBS	≥ 340

ULTRA-HIGH STRENGTH SERIES			
Material: Alloy Steel, ref. AISI 4330 V mod — available for Hot-Set Rods: 10", 11 1/4", 12 7/8", 15"			
Property	Symbol	Dimension	Raw Material Ø 200 mm to 350 mm
Yield Strength	$R_{p0.2}$	N/mm ²	≥ 1030 (149 ksi)
Tensile Strength	Rm	N/mm ²	≥ 1110 (161 ksi)
Elongation after Fracture (Lo-O 4x do)	A4	%	≥ 14
Reduction of Area	Z	%	≥ 45
Notch Impact Strength Charpy V-Notch	A	J	≥ 65
Hardness on Specific Diameter	-	HBS	330 - 390
Hardness on Circumferential Surf	-	HBS	≥ 340

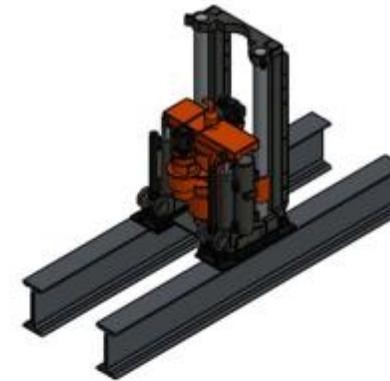
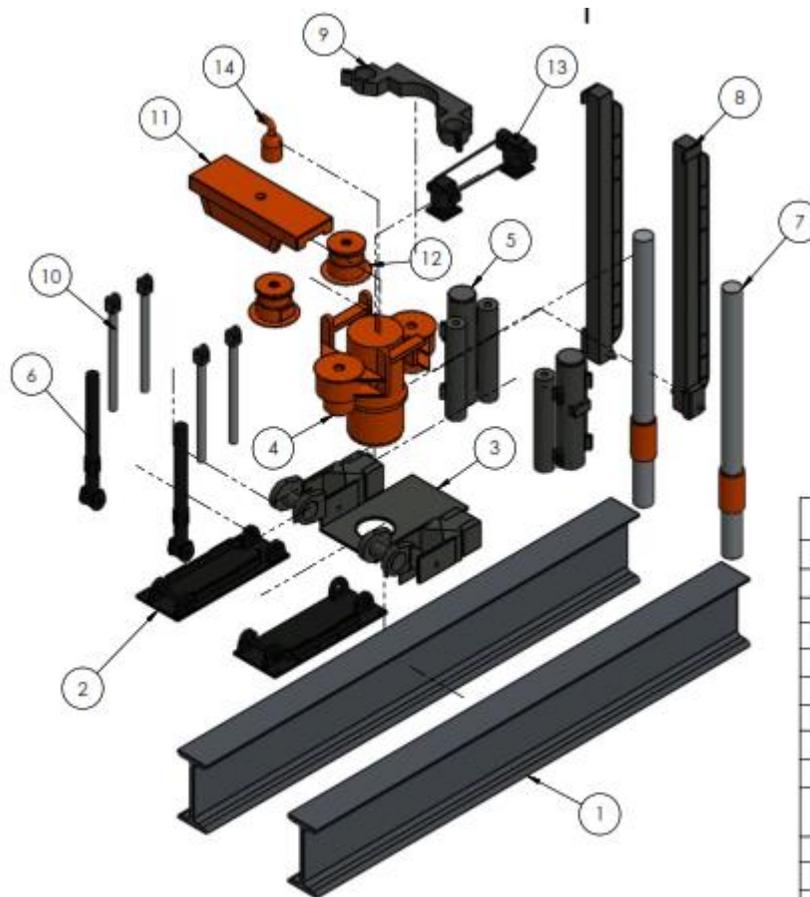
Anexo 4. Principio de Excavación Método Raise Boring



Anexo 5. Principio de Excavación Método Raise Boring - Rimado



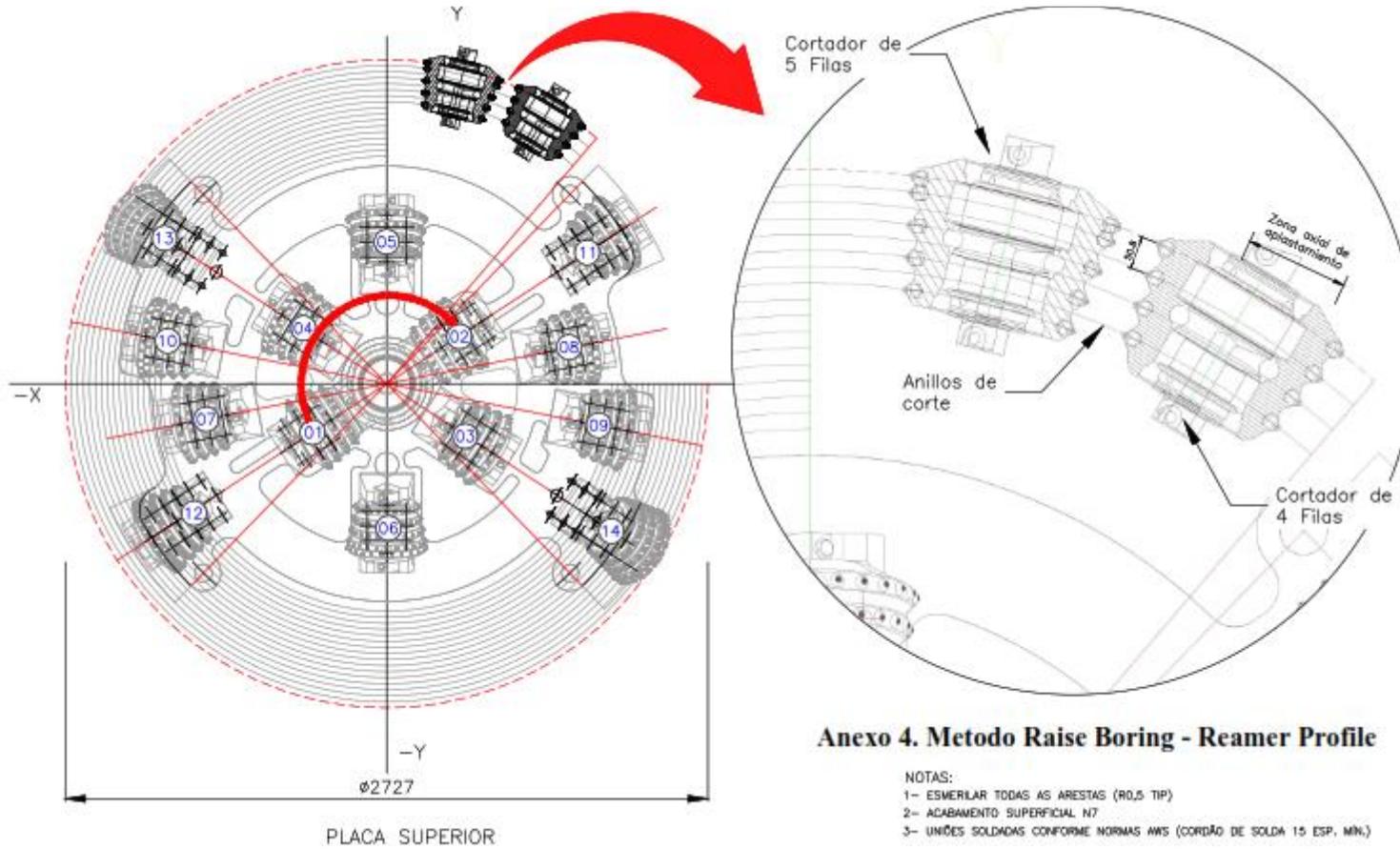
Anexo 6. Maquina Raise Boring RBM 6 - Atlantis



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Vigas	1
2	Mounting Base	1
3	Pivot Frame	1
4	Gear Case	1
5	Thrust Cylinder Package	1
6	Adjustment Screw Assembly	1
7	Guide Column	1
8	Support Column	1
9	Top Frame	1
10	Thrust Cylinder Package Secondary	1
11	Thrust Frame	1
12	Planetary System	1
13	Hydraulic Motor	1
14	Water Swivel	1

Anexo 3. Maquina Raise Boring RBM 6 - Atlantis

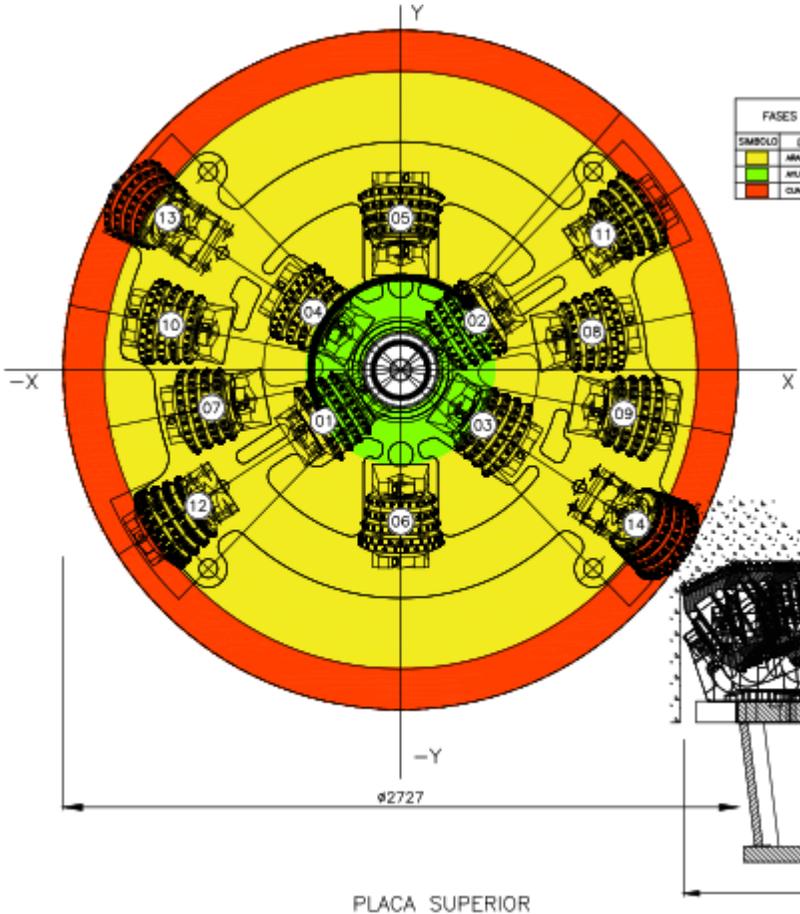
Anexo 7. Método Raise Boring - Reamer Profile



Anexo 4. Metodo Raise Boring - Reamer Profile

- NOTAS:
- 1- ESMERILAR TODAS AS ARESTAS (R0,5 TIP)
 - 2- ACABAMENTO SUPERFICIAL N7
 - 3- UNİDES SOLDADAS CONFORME NORMAS AWS (CORDÃO DE SOLDA 15 ESP. MIN.)

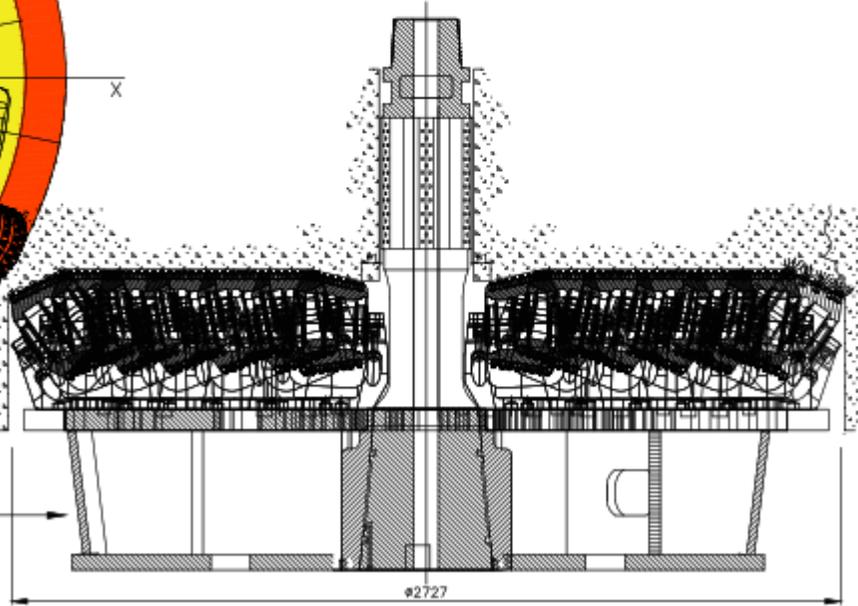
Anexo 8. Principio de Excavación Fase II - Fases de Rimado



FASES DE RIMADO	
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
■	ARANDE
■	ANILLO
■	CLAVADOR

- NOTAS:
 1- ESMERILAR TODAS AS ARESTAS (R0,5 TIP)
 2- ACABAMENTO SUPERFICIAL N7
 3- UNIÕES SOLDADAS CONFORME NORMAS AWS (CORDÃO DE SOLDA 15 ESP. MIN.)

Anexo 5. Principio de Excavacion Fase II - Fases de Rimado

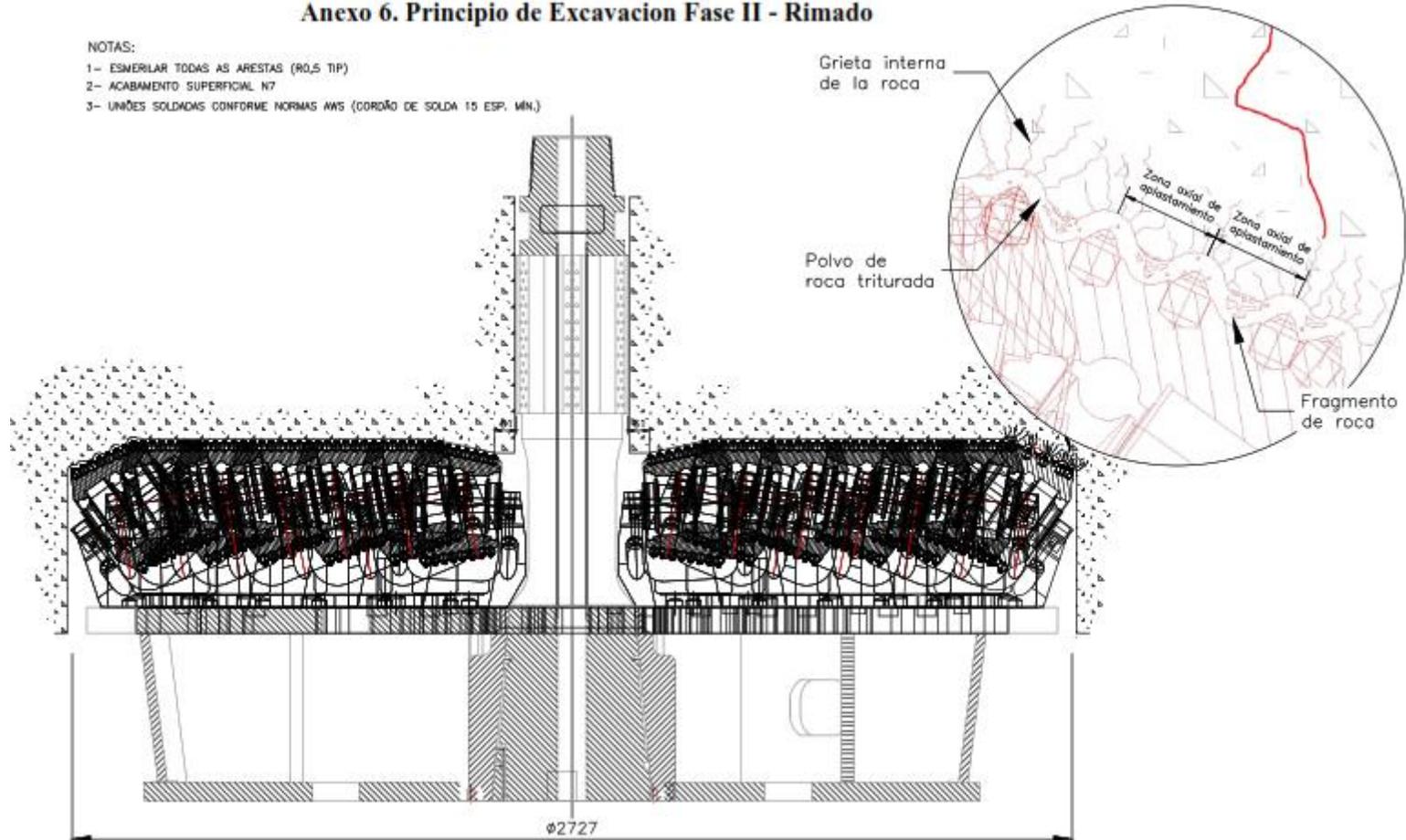


Anexo 9. Principio de Excavacion Fase II - Rimado

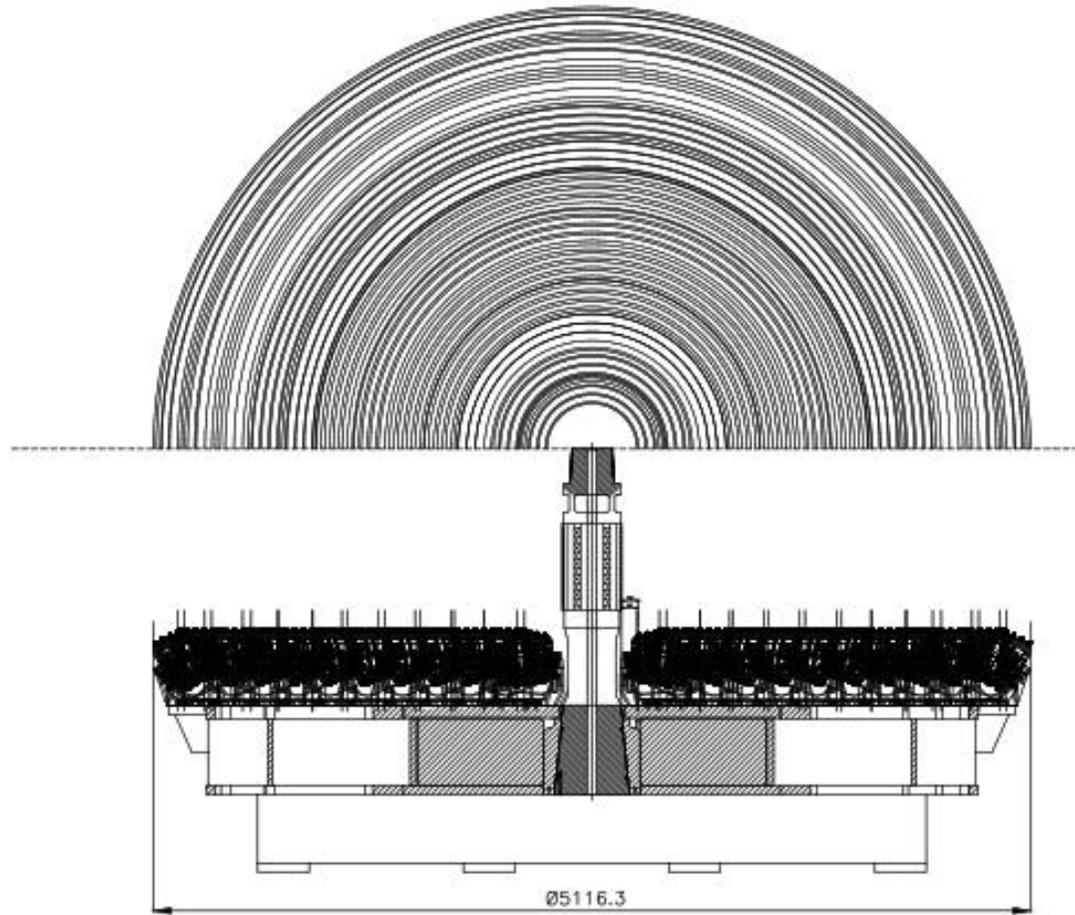
Anexo 6. Principio de Excavacion Fase II - Rimado

NOTAS:

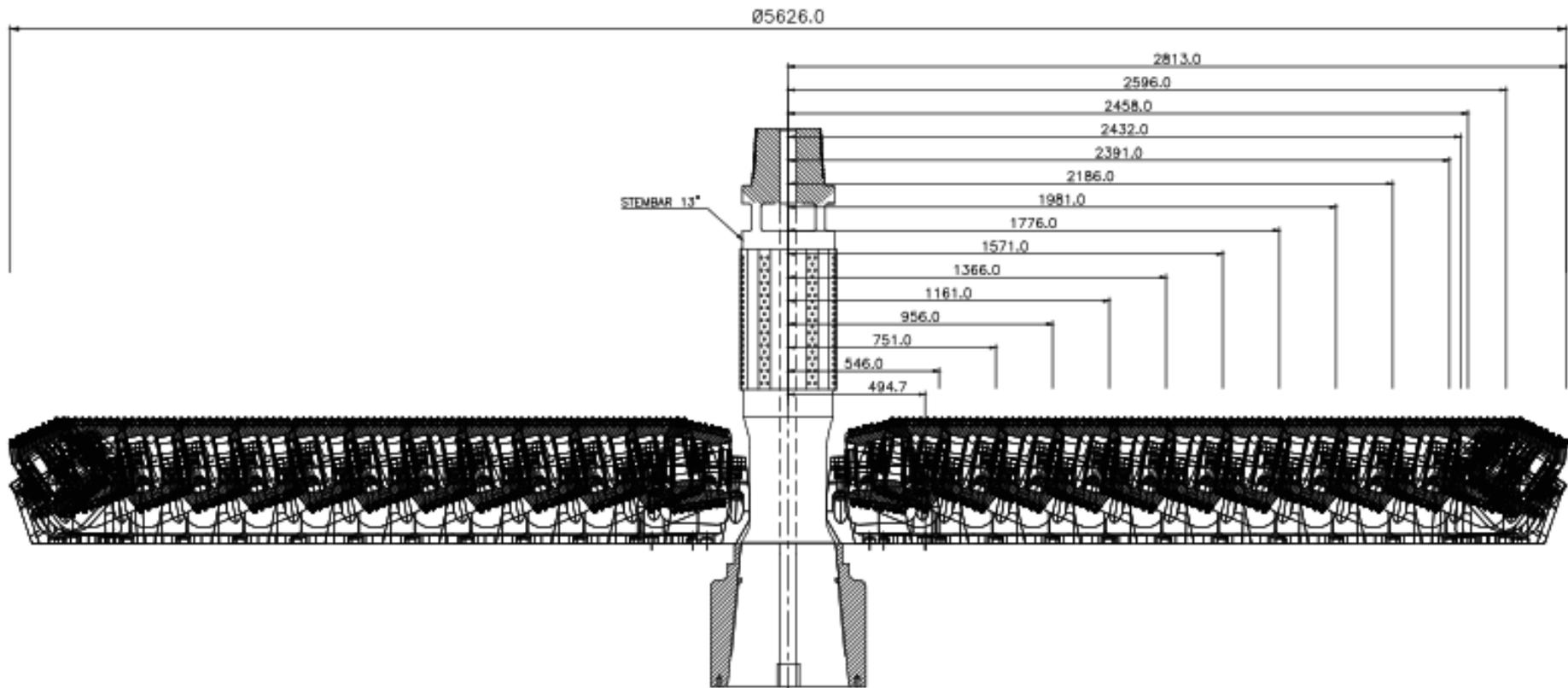
- 1- ESMERILAR TODAS AS ARESTAS (R0,5 TIP)
- 2- ACABAMENTO SUPERFICIAL N7
- 3- UNIÕES SOLDADAS CONFORME NORMAS AWS (CORDÃO DE SOLDA 15 ESP. MÍN.)



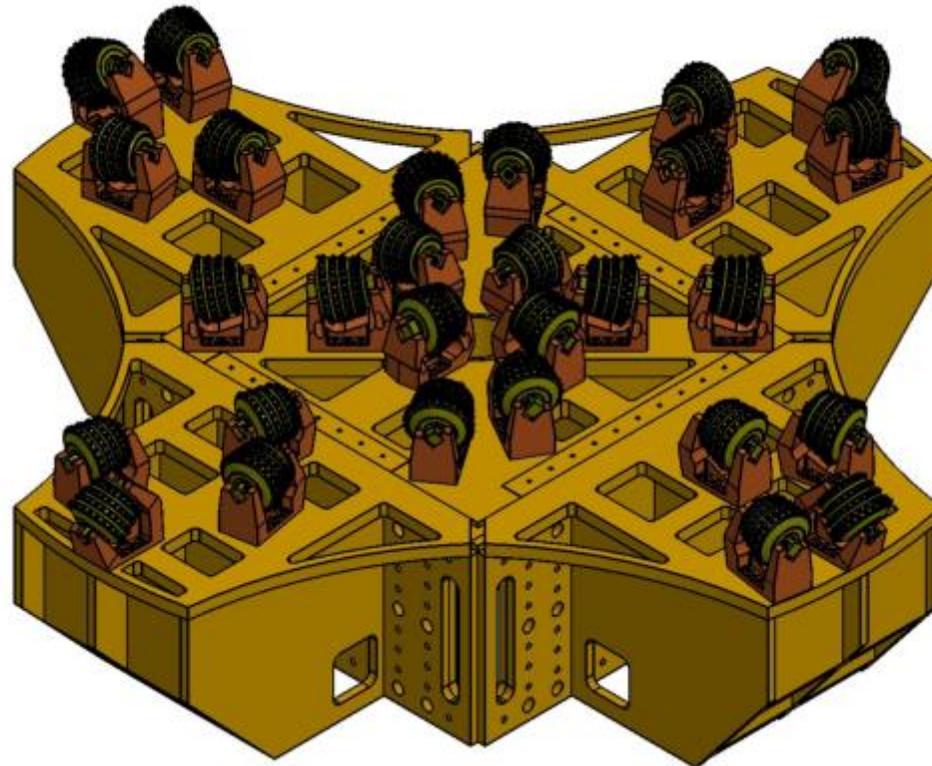
Anexo 10. Expansión del Reamer Existente de $\text{Ø}4.5\text{M} - \text{Ø}5\text{M}$



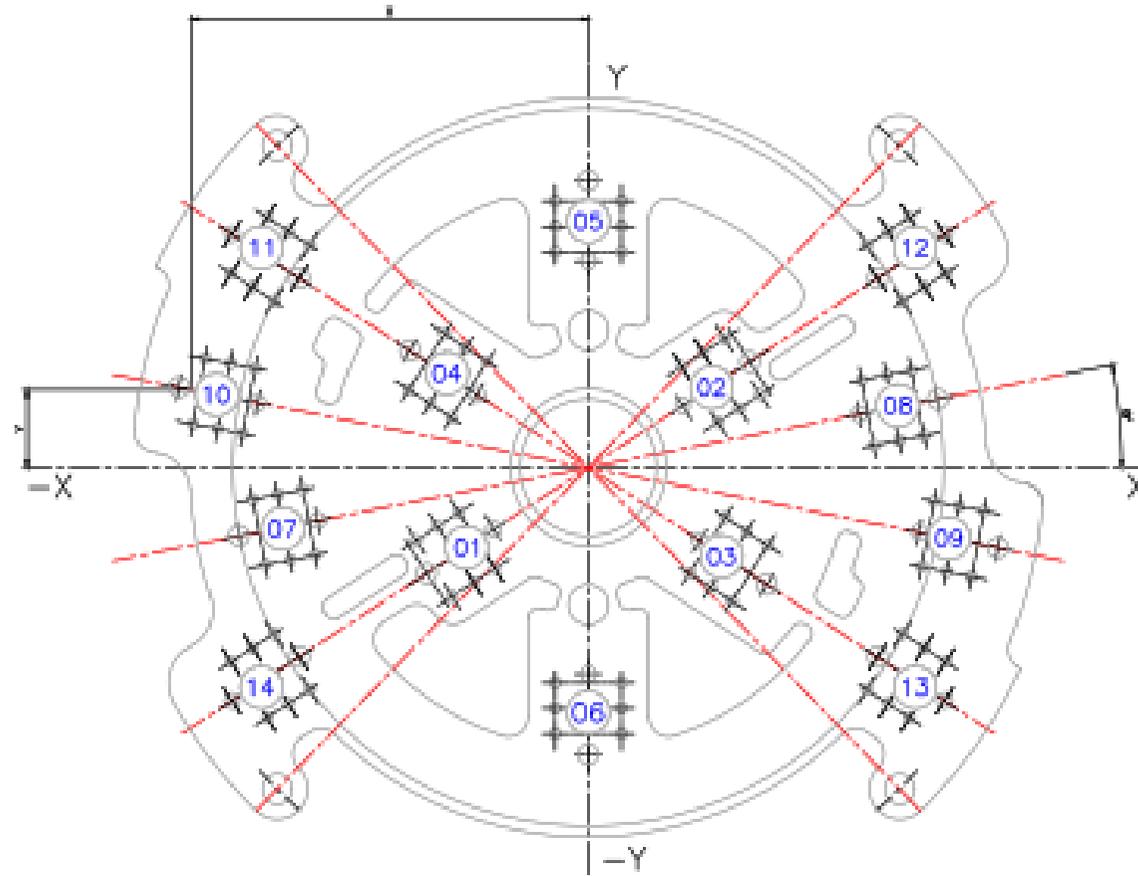
Anexo 11. Expansión del Reamer Existente de Ø5.5M – Ø5.626M



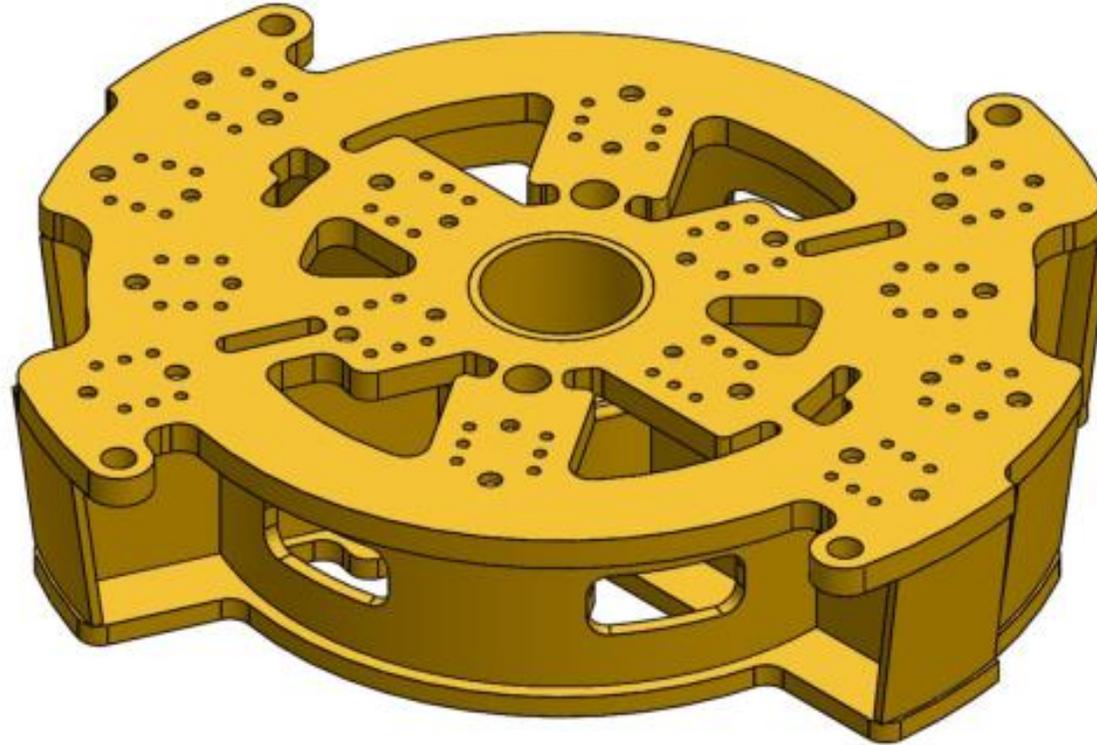
Anexo 12. Expansión del Reamer Existente de Ø5.5M – Ø5.626M



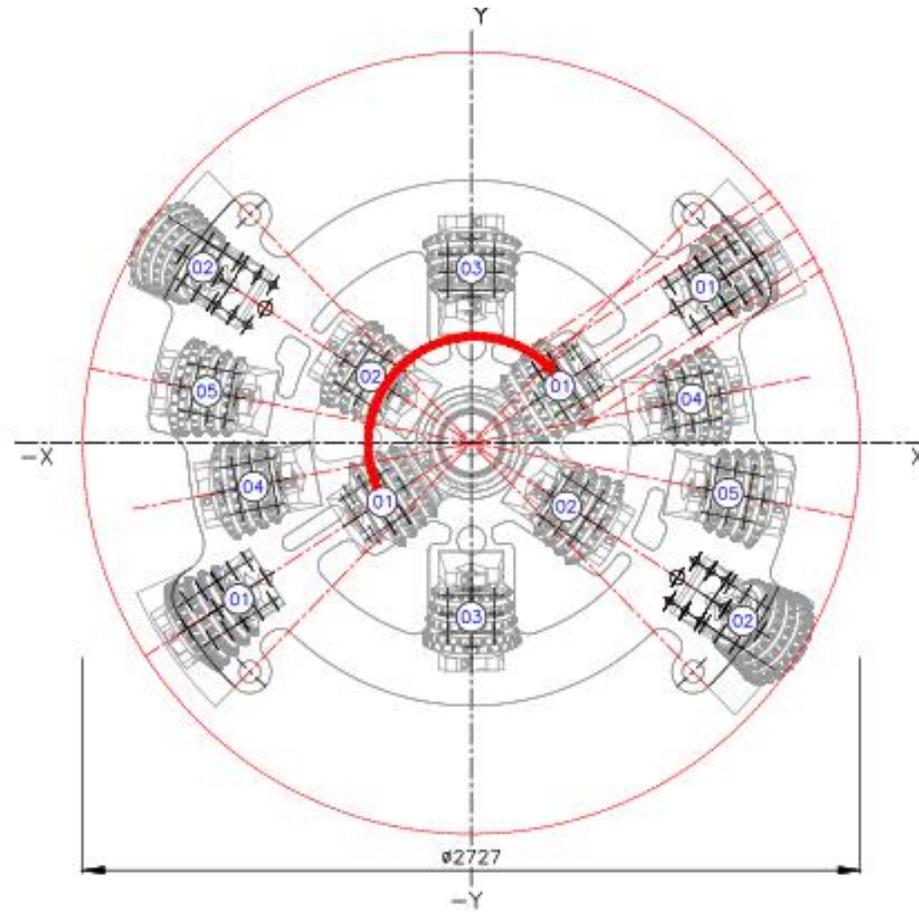
Anexo 13. Distribución de Cortadores del Reamer Existente de Ø2.4M



Anexo 14. Distribución de Cortadores del Reamer Existente de Ø2.4M

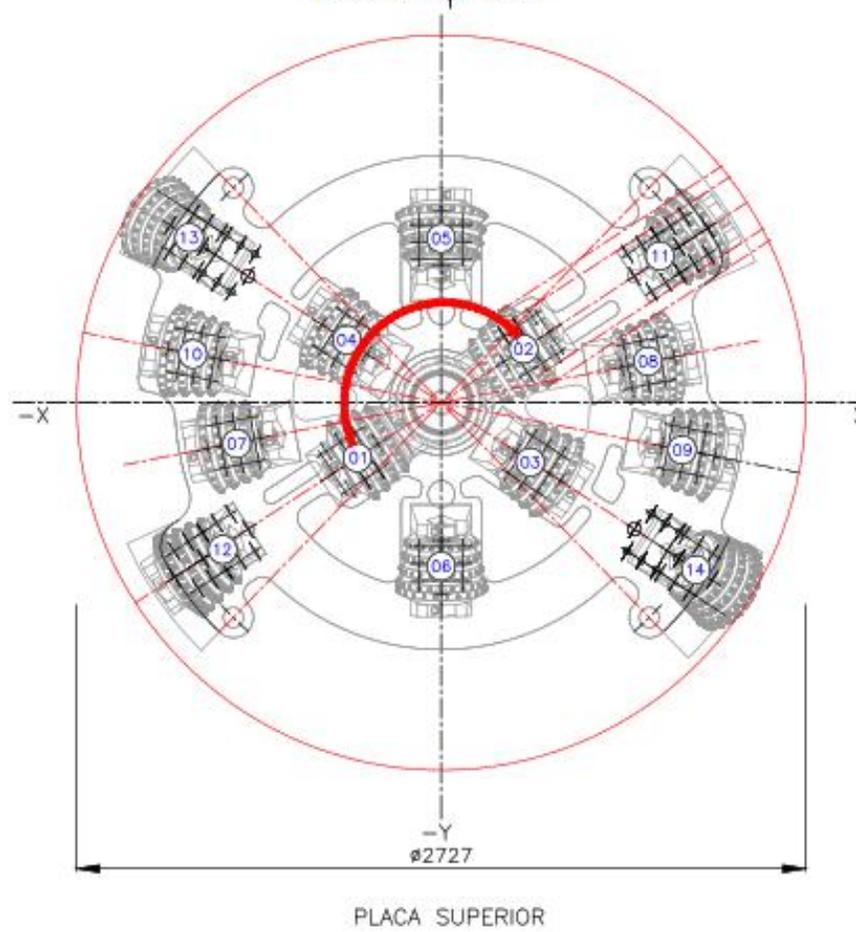


Anexo 15. Ejes de Corte del Reamer Existente de Ø2.7m - Escenario N0001

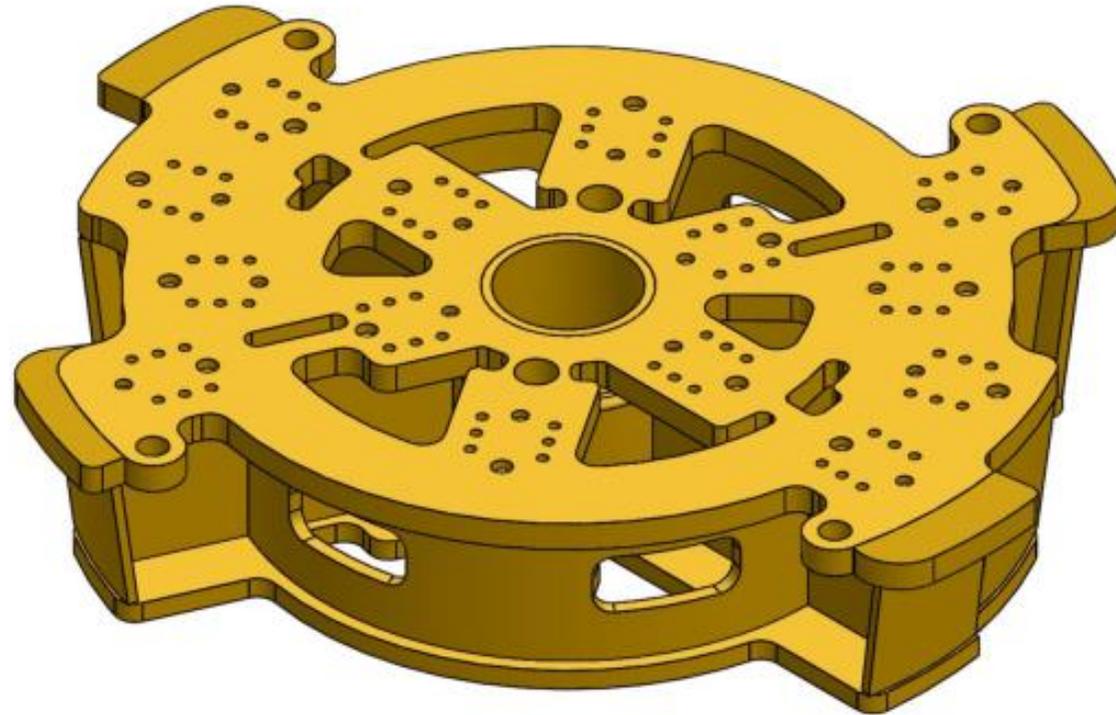


Anexo 16. Distribución de Cortadores del Reamer Existente de Ø2.7m -
Escenario N0001

**Anexo 11. Distribucion de Cortadores del Reamer Existente de Ø2.7m -
Escenario N0001**

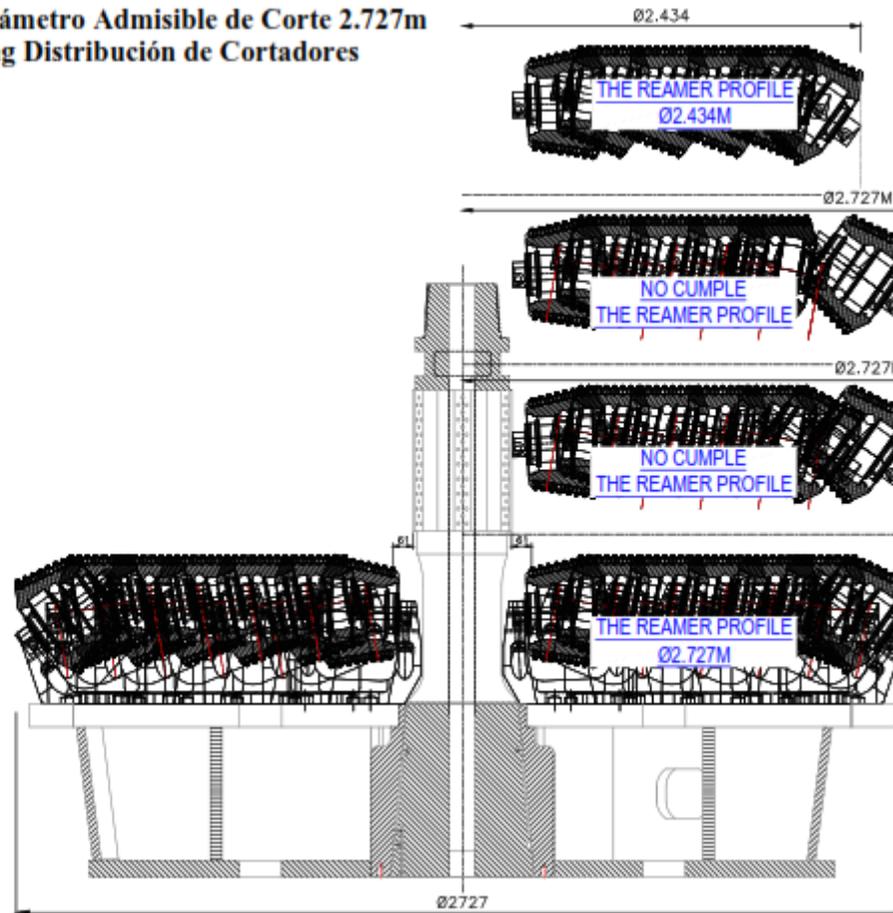


Anexo 17. Distribución de Cortadores del Reamer Proyectado de $\text{Ø}2.7\text{m}$ -Escenario N0001

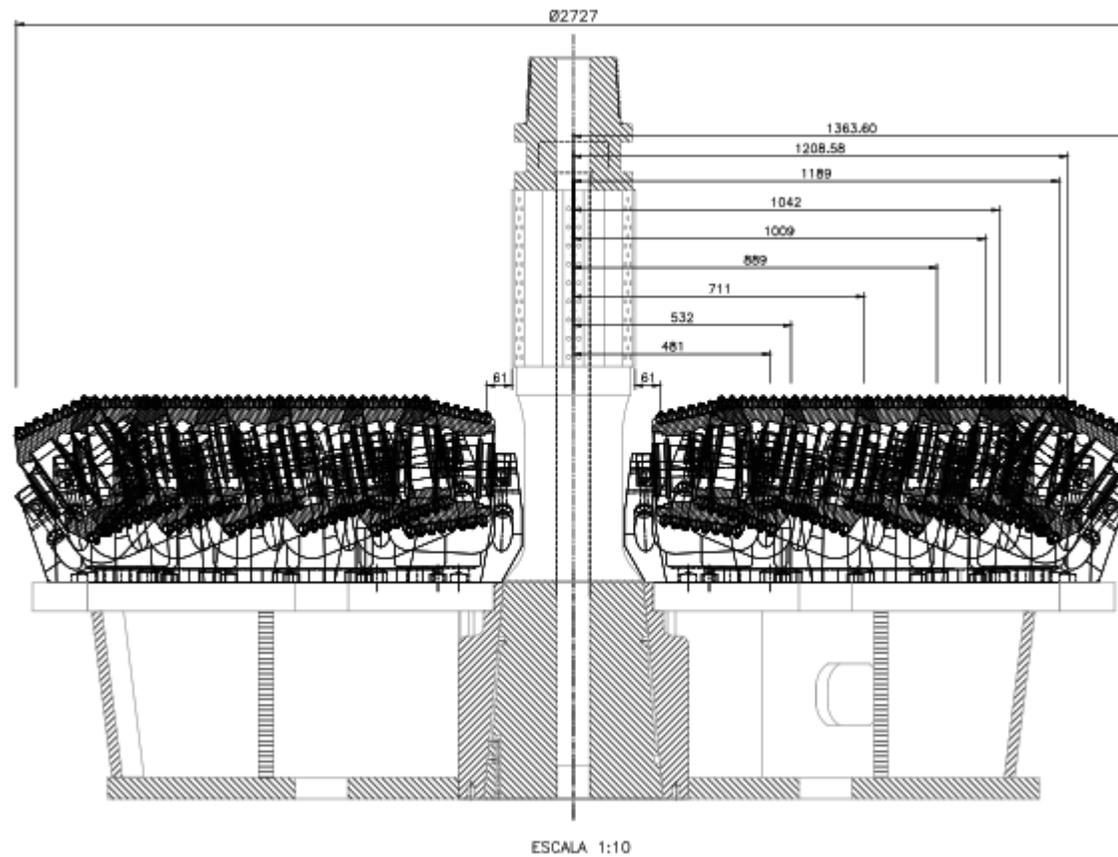


Anexo 18. Diámetro Admisible de Corte 2.727m - Dressing Distribución de Cortadores

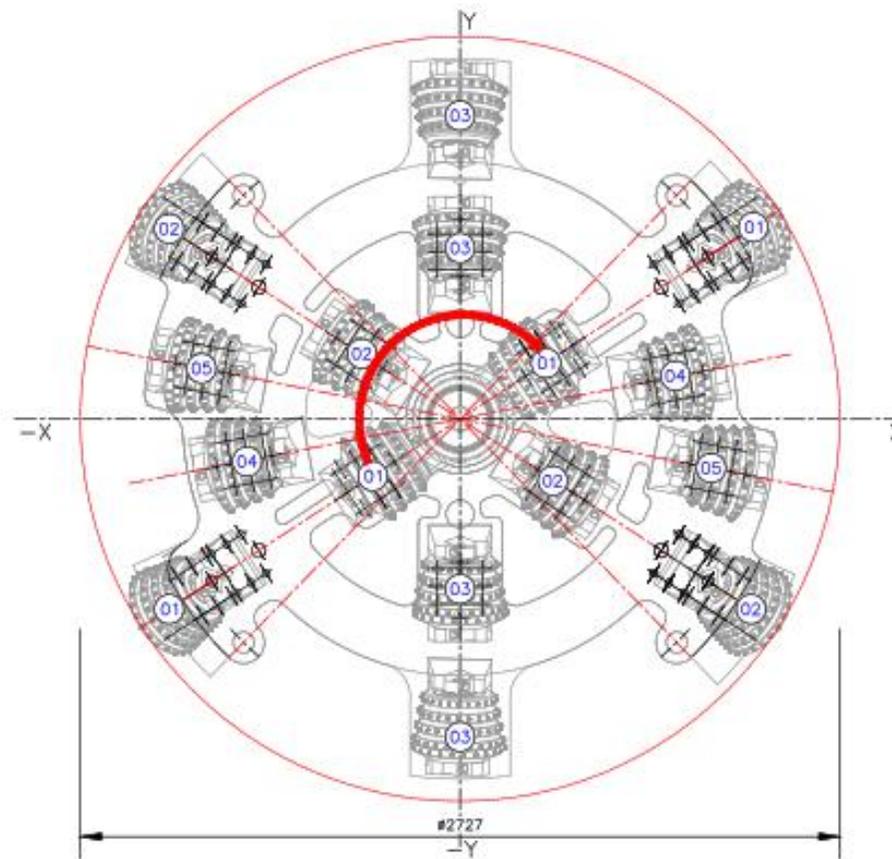
**Anexo 14. Diámetro Admisible de Corte 2.727m
Dressing Distribución de Cortadores**



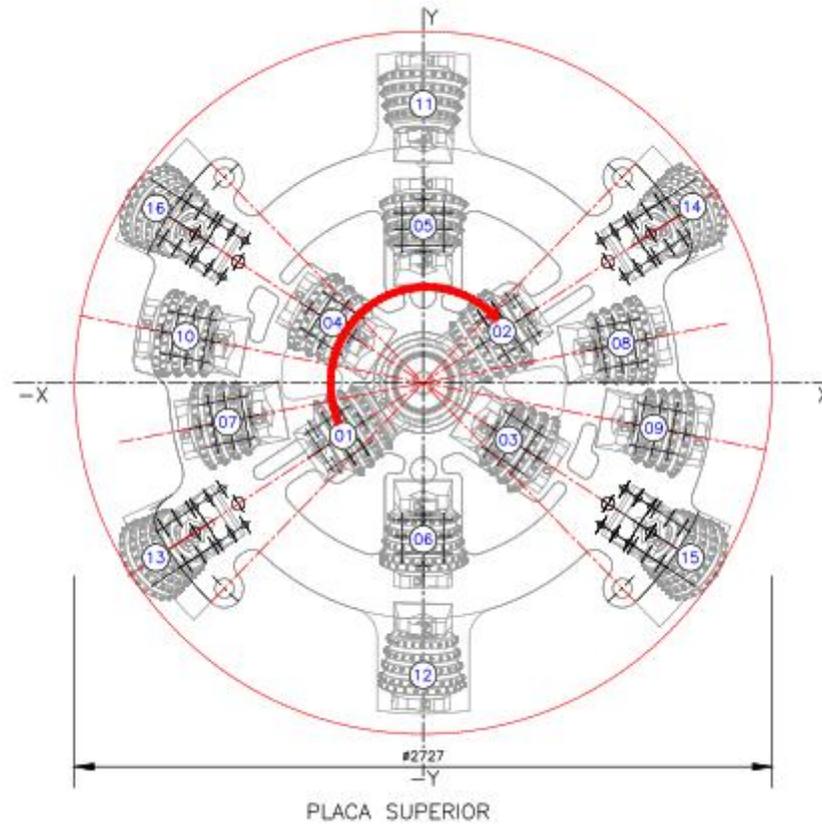
Anexo 19.Reamer Proyectoado de Ø2.7m - Dressing Distribución de Cortadores



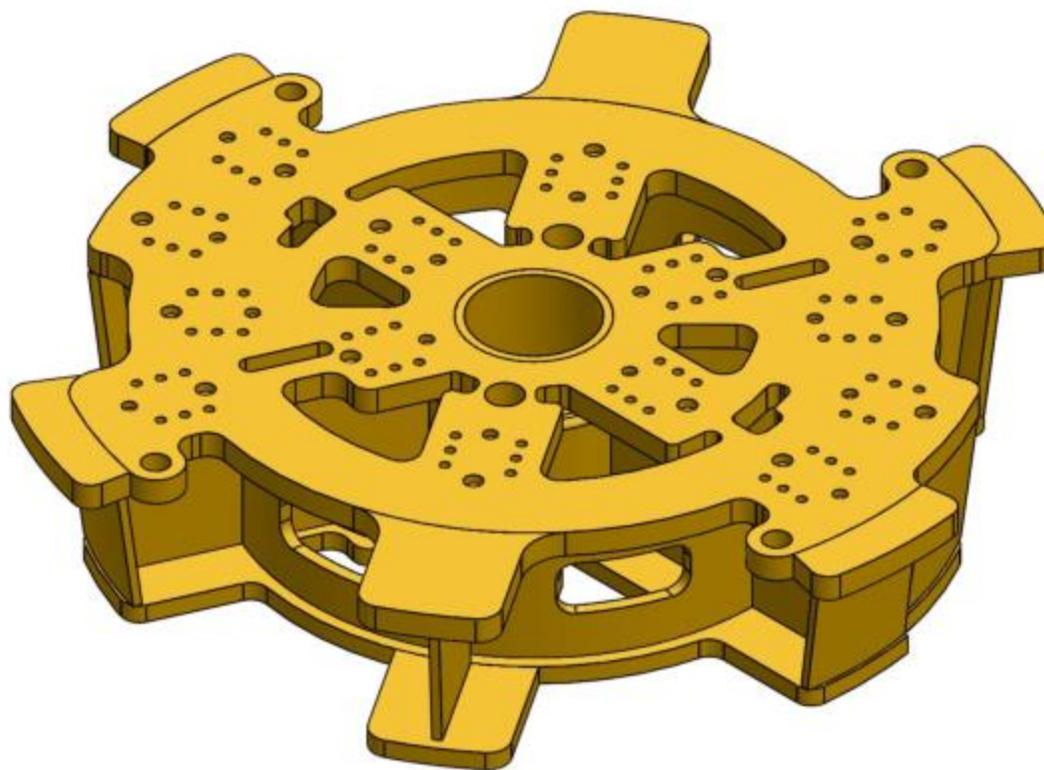
Anexo 20. Ejes de Corte Reamer Proyectoado Ø2.7m - Escenario N0002



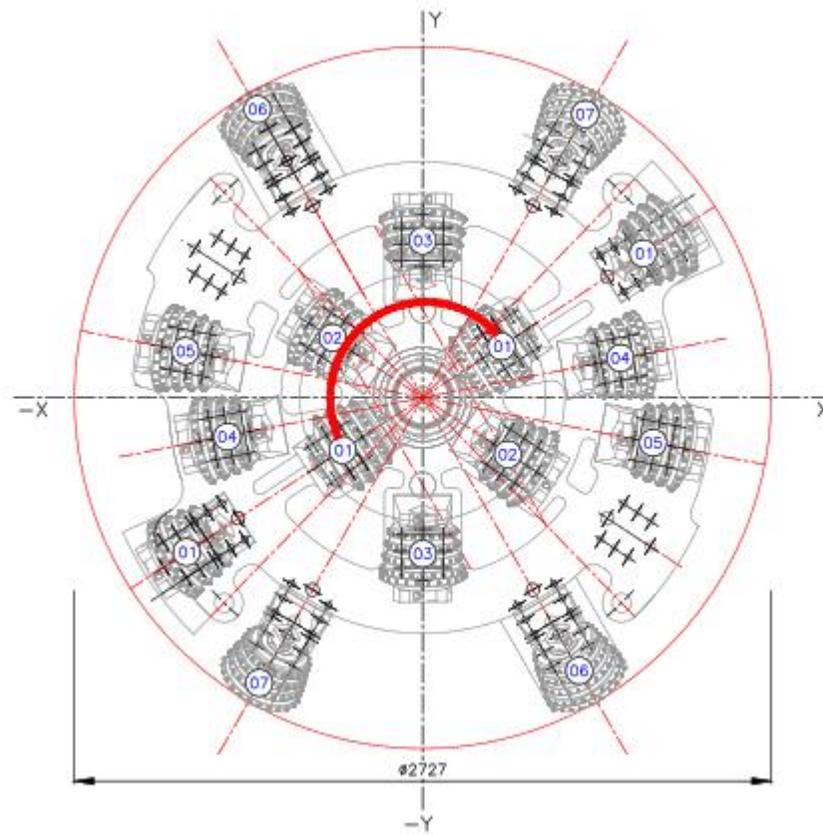
Anexo 21. Distribución de Cortadores Reamer Proyectado $\text{Ø}2.7\text{m}$ - Escenario N0002



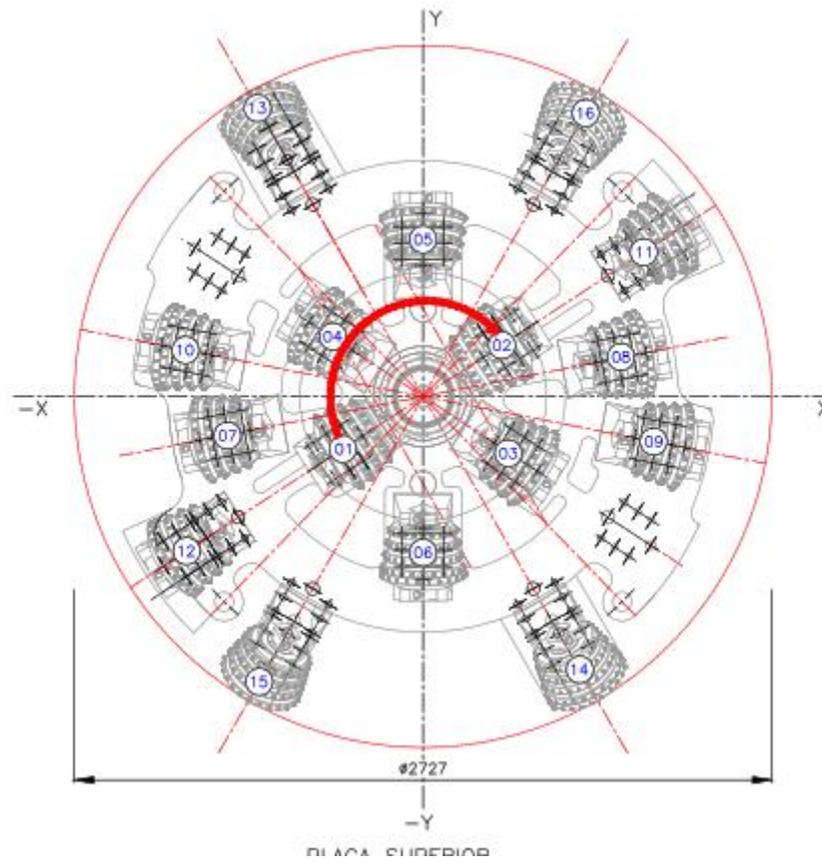
Anexo 22. Expansión Reamer Proyectado Ø2.7m - Escenario N0002



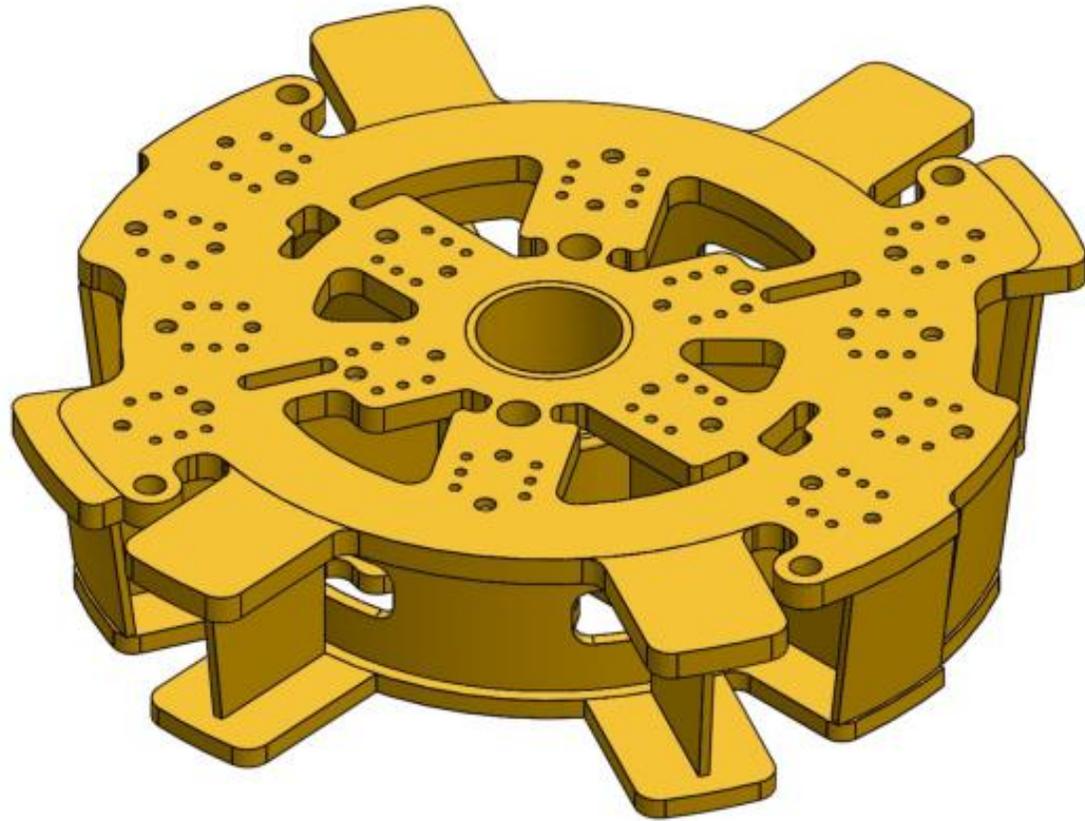
Anexo 23. Ejes de Corte Reamer Proyecto Ø2.7m - Escenario N0003



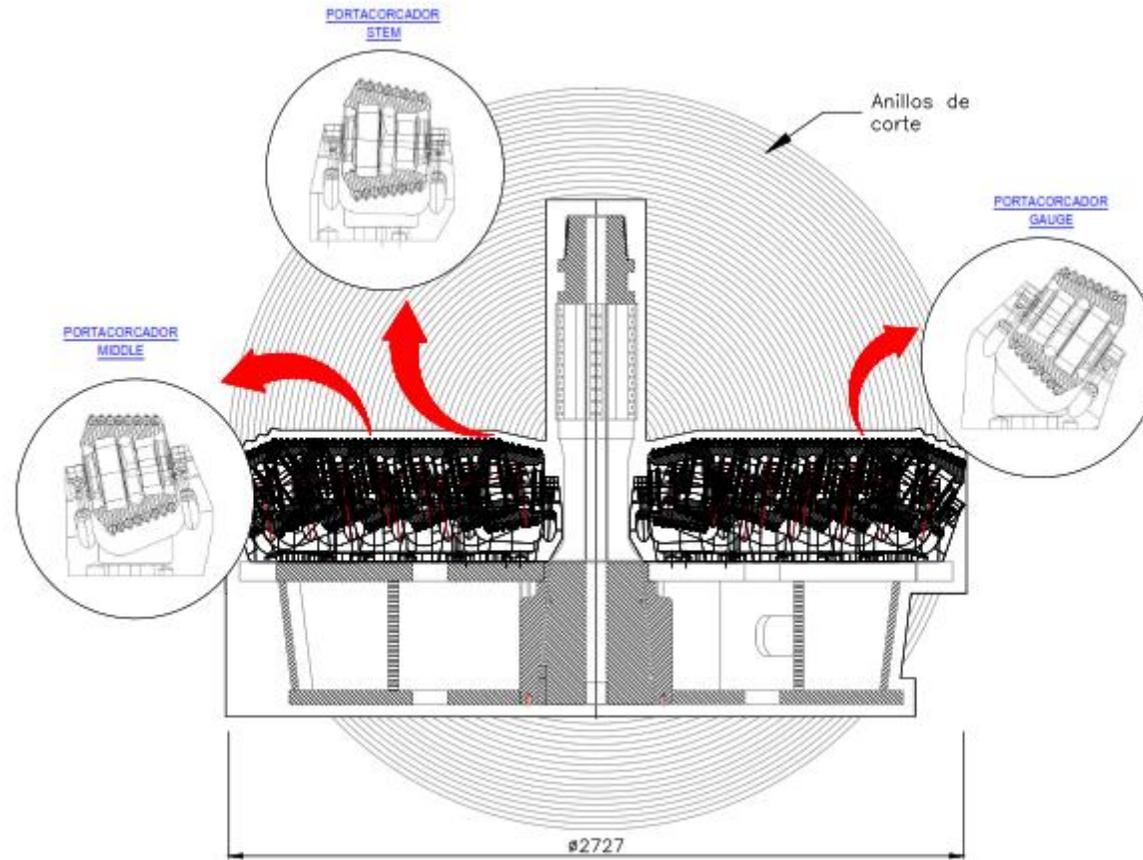
Anexo 24. Distribución de Cortadores Reamer Proyectado Ø2.7m - Escenario N0003



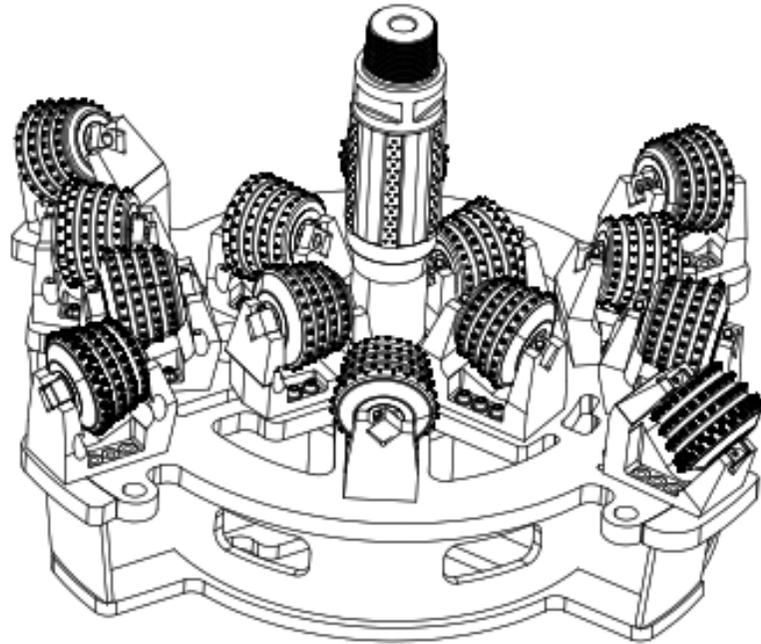
Anexo 25. Expansión Reamer Proyectado Ø2.7m - Escenario N0003



Anexo 26. Anillos de Corte Reamer Proyectoado Ø2.7



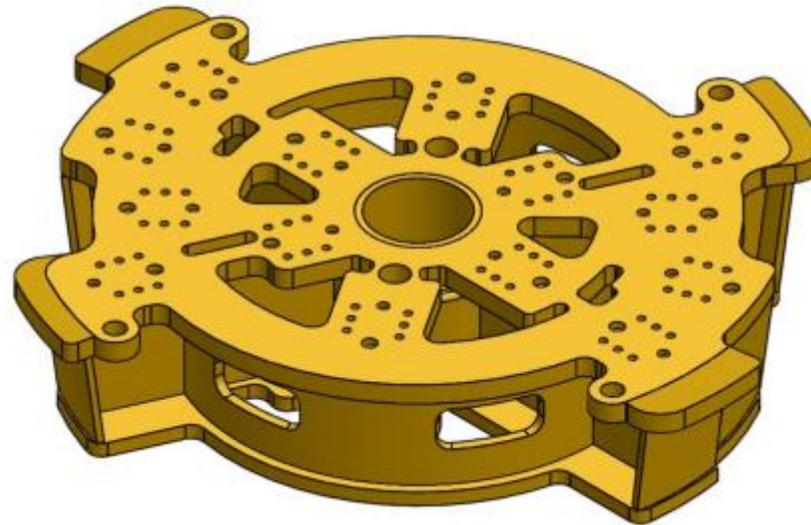
Anexo 27. Reamer Proyectoado de $\text{Ø}2.7\text{M}$



Anexo 28. Selección del Escenario N0001 para el Diseño Geométrico del Reamer Proyectado de $\text{Ø}2.727\text{M}$

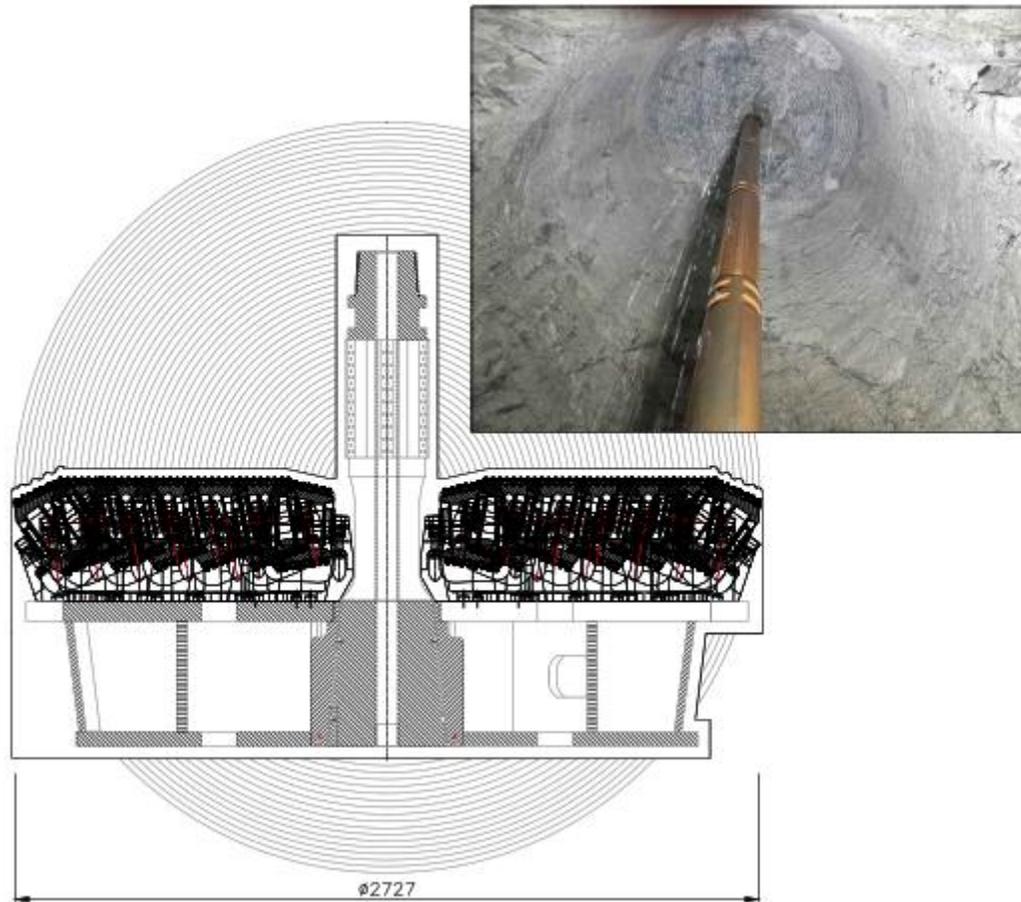


Reamer Existente de $\text{Ø}2.4\text{M}$

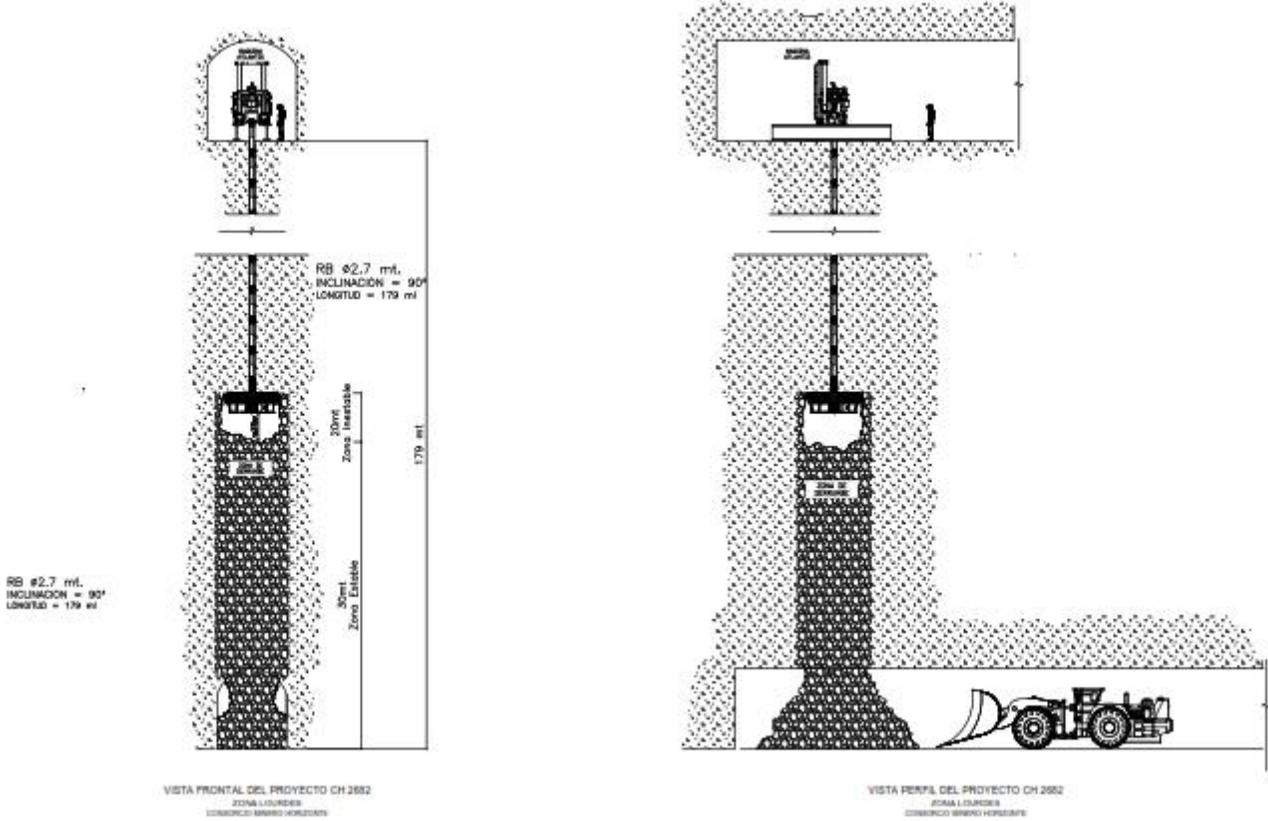


Reamer Proyectado de $\text{Ø}2.727\text{M}$

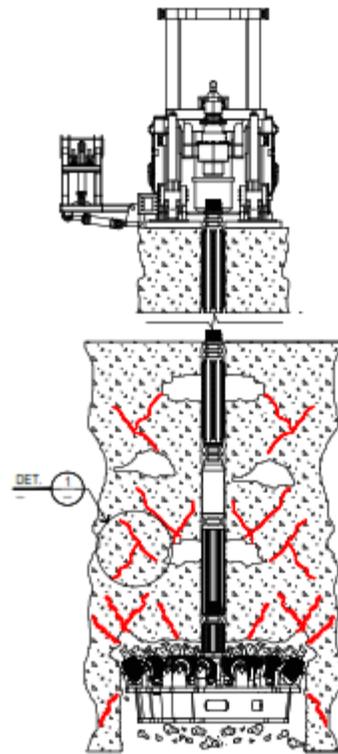
Anexo 29. Anillos de Corte Reamer Proyectoado Ø2.7 - Durante el Rimado Controlado



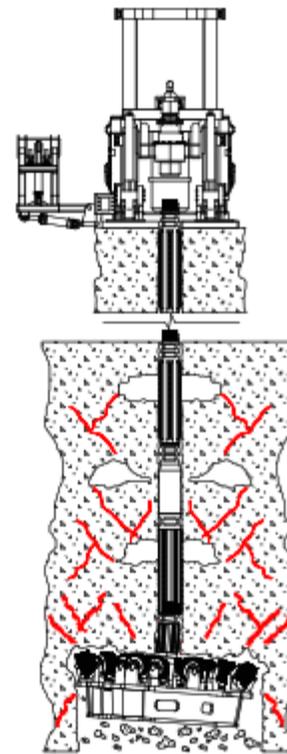
Anexo 30. Rimado Controlado en el RB CH2682



Anexo 31. Velocidad de rotación y penetración en el Rimado controlado de la CH2682

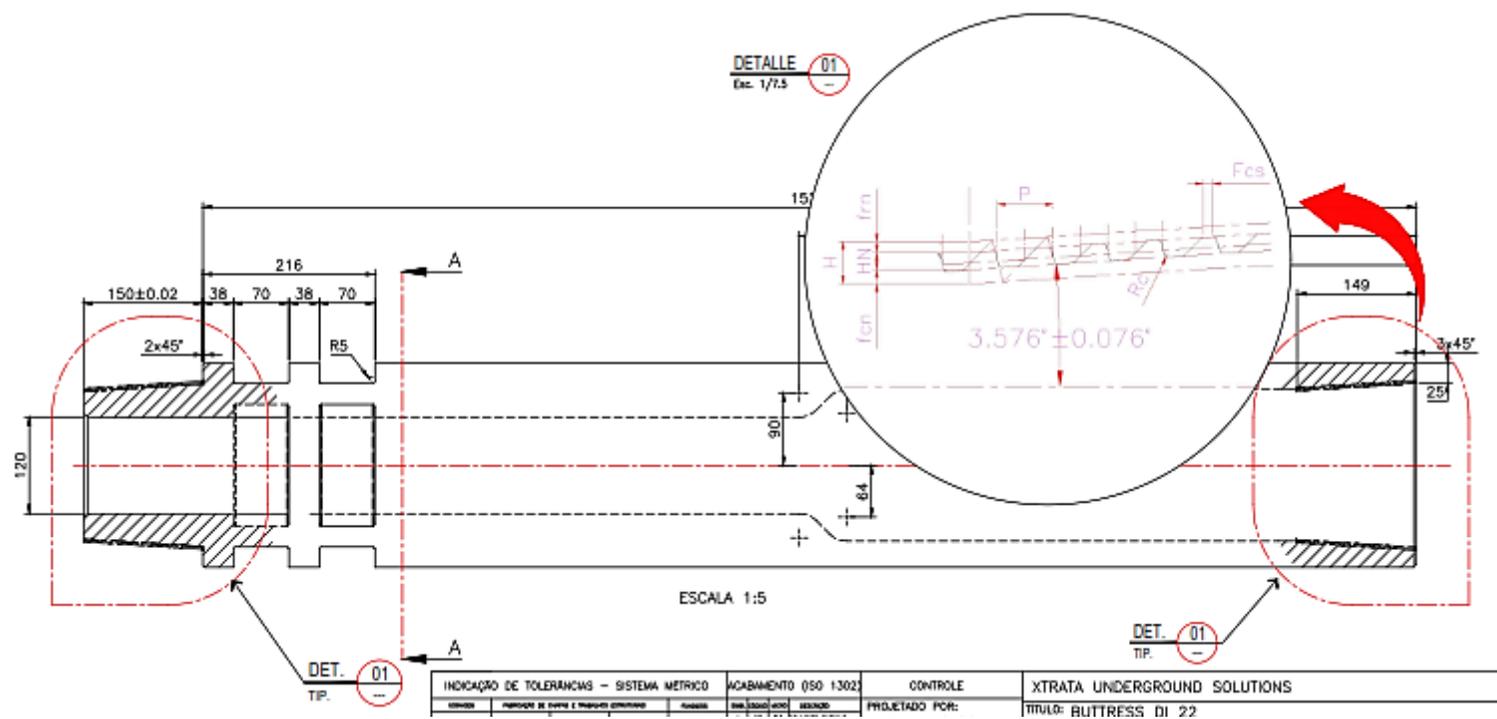


VISTA FRONTAL DEL PROYECTO CH 2682
ZONA LOURDES
CONSORCIO MINERO HORIZONTE

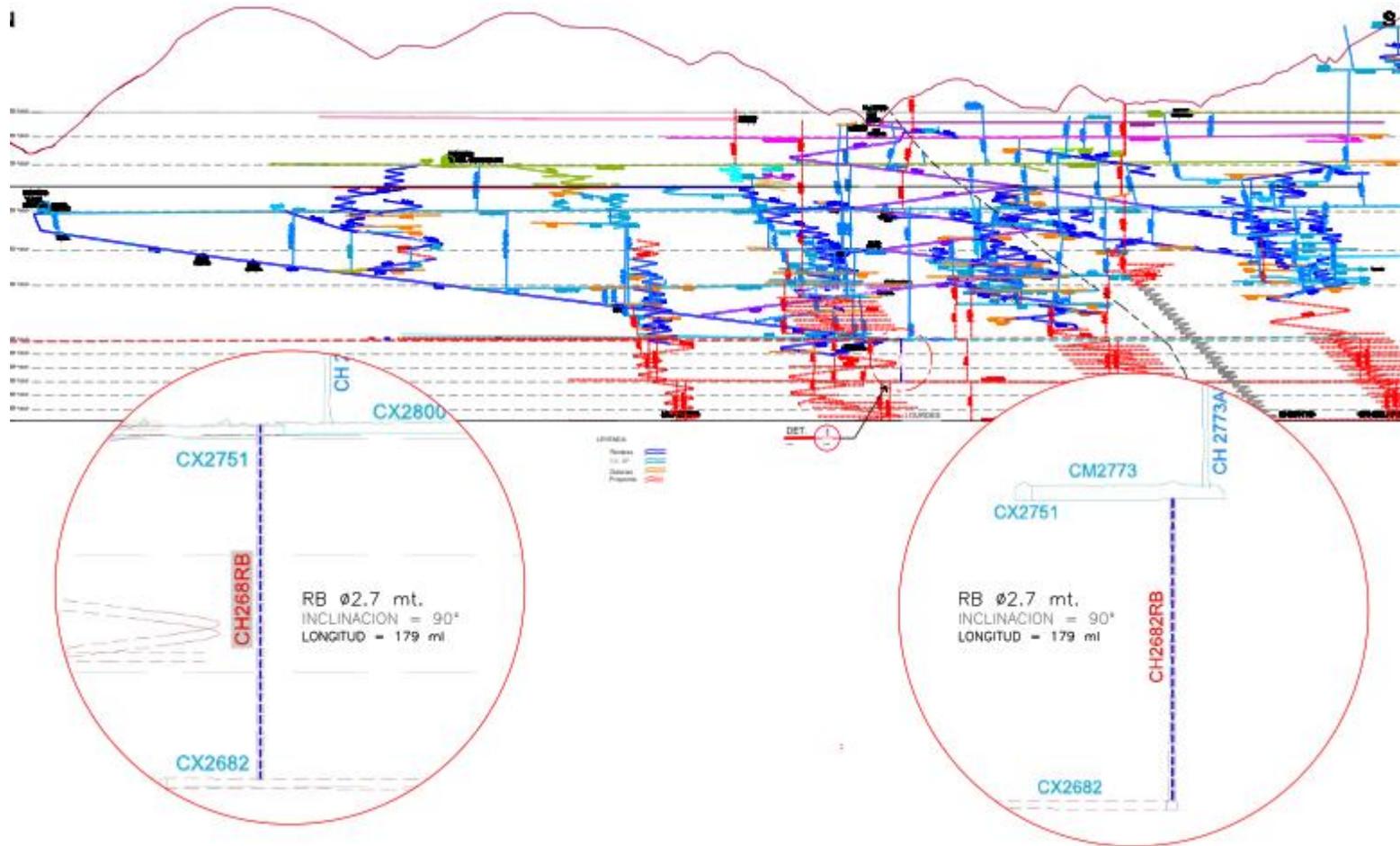


VISTA FRONTAL DEL PROYECTO CH 2682
ZONA LOURDES
CONSORCIO MINERO HORIZONTE

Anexo 32. Hilos Buttress - DI-22



Anexo 33. Pasaporte de la labor CH2682 NV 1965



Anexo 34. Matriz de Consistencia

Anexo 1. Matriz de Consistencia

TÍTULO	FREGUNTA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES	U.M
	Pregunta General	Objetivo general	Hipótesis General	Variable independiente			
					Caracterización del Macizo Rocoso	RMR de Bieniowski Q de Barton.	0 - 100 301 - 10000
	¿Cuál sería la mejor alternativa para el Estudio Técnico - Económico en el Diseño de la Distribución de Cortadores de 02.4m a 02.7m del Reamer en la Máquina Raise Boring RBM 6 en el Nv. 1965 CH 2682RB - Consorcio Minero Horizonte S.A. - 2020	Determinar la alternativa más factible del Estudio Técnico - Económico en el Diseño de la Distribución de Cortadores de 02.4m a 02.7m del Reamer en la Máquina Raise Boring RBM 6 en el Nv. 1965 CH 2682RB - Consorcio Minero Horizonte S.A. - 2020	El Estudio Técnico - Económico en el Diseño Determinará la Mejor Alternativa para la Distribución de Cortadores de 02.4m a 02.7m del Reamer en la Máquina Raise Boring RBM 6 en el Nv. 1965 CH 2682RB - Consorcio Minero Horizonte S.A. - 2020	Estudio Técnico-Económico del Reamer de 02.4m a 02.7m	Geometría de Diseño	Coste de Fabricación	\$
					Diámetro operativo	Reamer Profile	Ø (m)
ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO EN EL DISEÑO DE LA DISTRIBUCIÓN DE CORTADORES DE 02.4M A 02.7M DEL REAMER EN LA MÁQUINA RAISE BORING RBM 6 EN EL NV. 1965 CH 2682RB - CONSORCIO MINERO HORIZONTE S.A. - 2020	Preguntas específicas	Objetivos específicos	Hipótesis Específico	Variables dependientes	DIMENSIÓN	INDICADORES	U.M
	¿Cómo realizar la evaluación del Estudio Técnico - Económico en el Diseño de la Distribución de Cortadores de 02.4m a 02.7m del Reamer en la Máquina Raise Boring RBM 6 en el Nv. 1965 CH 2682RB - Consorcio Minero Horizonte S.A. - 2020?	Realizar simulaciones y plantear posibles escenarios del Estudio Técnico - Económico en el Diseño de la Distribución de Cortadores de 02.4m a 02.7m del Reamer en la Máquina Raise Boring RBM 6 en el Nv. 1965 CH 2682RB - Consorcio Minero Horizonte S.A. - 2020	La realización de simulaciones y planteamiento de posibles escenarios determinará el Estudio Técnico - Económico en el Diseño de la Distribución de Cortadores de 02.4m a 02.7m del Reamer en la Máquina Raise Boring RBM 6 en el Nv. 1965 CH 2682RB - Consorcio Minero Horizonte S.A. - 2020	Diseño de la Distribución de Cortadores de 02.4m a 02.7m del Reamer en la Máquina Raise Boring RBM 6 en el Nv. 1965 CH 2682RB - Consorcio Minero Horizonte S.A. - 2020.	Distancia operacional de los anillos de corte	Dressing	mm
	¿Cómo influye el análisis de costos de los escenarios planteados para el Estudio Técnico - Económico en el Diseño de la Distribución de Cortadores de 02.4m a 02.7m del Reamer en la Máquina Raise Boring RBM 6 en el Nv. 1965 CH 2682RB - Consorcio Minero Horizonte S.A. - 2020?	Realizar el análisis de costos de los escenarios planteados para el Estudio Técnico - Económico en el Diseño de la Distribución de Cortadores de 02.4m a 02.7m del Reamer en la Máquina Raise Boring RBM 6 en el Nv. 1965 CH 2682RB - Consorcio Minero Horizonte S.A. - 2020	La realización del análisis de costos de los escenarios planteados determinará el Estudio Técnico - Económico en el Diseño de la Distribución de Cortadores de 02.4m a 02.7m del Reamer en la Máquina Raise Boring RBM 6 en el Nv. 1965 CH 2682RB - Consorcio Minero Horizonte S.A. - 2020		Escenarios Planteados	Costes de Escenarios Planteados	\$