

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Construcción del túnel Vilcapoma para el drenaje
de aguas subterráneas por el nivel 1300 en la
Unidad Minera San Vicente**

Victor Manuel Cordova Crisostomo
Luis Angel Suere Orihuela

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2020

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



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

ASESOR

Ing. Jesús Fernando Martínez Idefonso

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme el conocimiento necesario para cumplir este objetivo profesional. A mis padres, por su dedicación, enseñanzas y recomendaciones, para formarme profesionalmente. A la universidad Continental, por brindarme una formación integral y de calidad. A los docentes de la EAP de Ingeniería de Minas, por darme los conocimientos necesarios, para mi formación profesional.

DEDICATORIA

Le dedicamos este trabajo a nuestros padres por su apoyo incondicional, a nuestro asesor que con su conocimiento y experiencia ha aportado a nuestra investigación.

INDICE DE CONTENIDO

PORTADA.....	I
ASESOR	II
AGRADECIMIENTOS	III
DEDICATORIA.....	IV
INDICE DE CONTENIDO.....	V
INDICE DE TABLAS	VIII
INDICE DE FIGURAS	IX
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
INTRODUCCIÓN	XII
CAPITULO I PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	13
1.1 Planteamiento y formulación del problema	13
1.1.1 Planteamiento del problema	13
1.1.2. Formulación del problema	14
1.2 Objetivos.....	15
1.2.1.Objetivo general	15
1.2.2.Objetivos específicos.....	15
1.3 Justificación	15
1.3.1 Justificación practica.....	15
1.3.2 Justificación metodológica	15
1.3.3 Justificación social	15
1.4 Hipótesis	16
1.4.1 Hipótesis general	16
1.4.2 Hipótesis específicas	16
1.5 Identificación de variables.....	16
1.5.1 Variable independiente	16
1.5.2 Variable dependiente	16
1.5.3 Matriz de operacionalización de variables	16
CAPITULO II MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. Antecedentes del problema	18
2.1.1. Antecedentes nacionales.....	18

2.1.2. Antecedentes internacionales	21
2.2. Generalidades.....	23
2.2.1 Topografía	24
2.3. Bases teóricas	24
2.3.1. Túnel, función y necesidades	24
2.3.2. Clasificación de túneles	25
2.3.2.1. Diseño de un túnel.....	26
2.3.2.2. Sistema constructivo del túnel	29
2.4. Excavación general de túneles	33
2.4.1. Diseño de túneles	35
2.4.1.1. Importancia del diseño del túnel	35
2.4.1.2. Historia del diseño de túnel	36
2.4.1.3. Trazo en planta del túnel	36
2.4.1.4. Perfil longitudinal del túnel.....	37
2.4.1.5. Sección transversal del túnel	37
2.4.1.6. Cámara de carguío y acumulación	38
2.4.1.7. Cámara o poza de bombeo	38
2.4.1.8. Cuneta o canal de drenaje.....	38
2.4.1.9. Litología del trazo del túnel.....	38
2.4.1.10. Hidrogeología	41
2.4.1.11. Diseño geomecánica del túnel.....	43
2.4.1.12. Definición para los tipos de roca del túnel	45
2.5. Drenaje de aguas subterráneas	54
2.6. Definición de términos básicos	62
CAPITULO III METODO DE LA INVESTIGACIÓN	70
3.1. Método y alcances de la investigación.....	70
3.1.2 Alcances de la investigación	70
3.2. Diseño de la investigación	70
3.3 Población y muestra.....	70
3.3.1. Población	70
3.3.2. Muestra.....	71
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	71
3.4.1. Técnicas utilizadas en la recolección de datos	71
3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos.....	71

CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	72
4.1. Generalidades.....	72
4.1.1. Geoestructuras	72
4.2. Evaluación para la construcción del túnel Vilcapoma	72
4.3. Estudio económico del túnel Vilcapoma.....	90
4.3. Discusión de resultados	93
4.4.2. Resultados del estudio económico de la construcción del túnel Vilcapoma para el drenaje de aguas subterráneas.....	94
CONCLUSIONES.....	95
RECOMENDACIONES	96
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	97

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables.....	17
Tabla 2. Condiciones hidrogeológicas del túnel	42
Tabla 3. Caudales de filtración estimados para los tipos litológicos que atravesara el túnel	43
Tabla 4. Tipos de roca y sus porcentajes encontrados en las labores de la mina San Vicente.....	45
Tabla 5. Unidades litológicas que atravesara el túnel Vilcapoma.....	46
Tabla 6. Tipos de rocas previstas a encontrar en el túnel Vilcapoma	46
Tabla 7. Tipos soporte y esfuerzo para estabilización del macizo rocoso	47
Tabla 8. Tipos soporte y esfuerzo para estabilización del macizo rocoso	48
Tabla 9. Parámetros técnicos.....	50
Tabla 10. Indicadores para sección 5.00 m x 4.50 m	50
Tabla 11. Requerimiento y costos de explosivos para sección 5.00 m x 4.50 m.....	51
Tabla 12. Distribución de cargas y retardos para sección 5.00 m x 4.50 m	51
Tabla 13. Ingresos de aire.....	52
Tabla 14. Cálculo del caudal	62
Tabla 15. Tipos de roca establecida para el proyecto	79
Tabla 16: Tipos de roca y sus porcentajes encontrados en las labores de la mina.....	79
Tabla 17. Unidades litológicas que atravesará el túnel Vilcapoma.....	80
Tabla 18. Tipos de roca previstas encontrar en el túnel Vilcapoma	80
Tabla 19. Tipo de soportes y refuerzos para la estabilización del macizo rocoso.....	81
Tabla 20. Tipo de soportes y refuerzos para la estabilización del macizo rocoso.....	82

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la unidad minera San Vicente.....	24
Figura 2. Funciones de un túnel	25
Figura 3. Factores que influyen un túnel	25
Figura 4. Tipos de secciones.....	28
Figura 5. Esquema del sistema constructivo	29
Figura 6. Métodos de excavación.....	31
Figura 7. Diagrama de operaciones de una construcción subterránea	32
Figura 8. Imagen ficticia del túnel ideado por Thomé de Garamond bajo las aguas del Canal de la Mancha (proyecto presentado en 1867 en la Exposición Universal)	36
Figura 9. Grabado extraído de la obra de Re metálica del autor alemán Georgius Agrícola. Ésta sirvió de referencia como manual de consulta durante los s. XVI-XVII	36
Figura 10. Sección transversal del túnel	38
Figura 11. Columna Lito estratigráfica del trazo proyecto Túnel Vilcapoma.....	40
Figura 12. Columna lito estratigráfica de la mina San Vicente	41
Figura 13. Malla de voladura para sección de 5.00 m x 4.50 m	50
Figura 14. Ingresos de aire	52
Figura 15. Sección longitudinal del túnel Vilcapoma	74
Figura 16. Diseño geométrico del túnel Vilcapoma	75
Figura 17. Perfil longitudinal del túnel Vilcapoma.....	76
Figura 18. Ábaco utilizado para definir los tipos de roca en el túnel de drenaje	78
Figura 19. Bombeo drenaje agua de mina por el túnel Vilcapoma/ características hidráulicas del canal de drenaje	84
Figura 20. Detalles de bombeo y drenaje.....	85
Figura 21. Proyecciones del sistema de bombeo rampa 1020.....	86
Figura 22. Proyecciones del sistema de bombeo rampa 1020.....	87
Figura 23. Proyecciones del sistema de bombeo rampa 8090/8600/8810.....	88
Figura 24. Resumen de costos del túnel Vilcapoma	90
Figura 25. Detalle de la inversión del túnel Vilcapoma.....	91
Figura 26. Detalle del resumen de costos	92

RESUMEN

La presente tesis evalúa la construcción del túnel Vilcapoma para el drenaje de aguas subterráneas por el nivel 1300, en la unidad minera San Vicente, para determinar si es factible o no su construcción. Asimismo, el método de la investigación utilizado fue el método deductivo y analítico. En tanto, el tipo de investigación es la aplicada o tecnológica, que es la utilización de los conocimientos en la práctica.

El nivel de investigación es descriptivo, también conocido como investigación estadística, pues se describen los datos y características de la población o fenómeno en estudio. Este nivel de Investigación responde a las preguntas: ¿qué, ¿quién, ¿dónde, ¿cuándo y cómo? De la misma manera, el diseño de la investigación es descriptivo, porque se plantean a manera de objetivos. Para esto se dividió el trabajo en capítulos.

El capítulo I trata todo lo relacionado al planteamiento del estudio. A su vez, el capítulo II alude el marco teórico. Mientras que el capítulo III menciona la metodología de la investigación. Finalmente, en el capítulo IV se presenta el análisis e interpretación de resultados.

Palabras clave: construcción, túnel, drenaje, aguas subterráneas.

ABSTRACT

This thesis evaluates the construction of the Vilcapoma Tunnel for the drainage of groundwater at level 1300, in the San Vicente Mining Unit, to determine whether its construction is feasible or not. Also, the research method used was the deductive and analytical method. Meanwhile, the type of research is applied or technological, which is the use of knowledge in practice.

In addition, the research level is descriptive, also known as statistical research, since the data and characteristics of the population or phenomenon under study are described. This level of Investigation answers the questions: what, who, where, when and how? In the same way, the design of the research is descriptive, because they are presented as objectives.

For this the work was divided into chapters. Chapter I deals with everything related to the study approach. In turn, Chapter II alludes to the theoretical framework. While chapter III mentions the research methodology. Finally, chapter IV presents the analysis and interpretation of results.

Keywords: Construction, tunnel, drainage, groundwater.

INTRODUCCIÓN

En la presente tesis se analiza la construcción del túnel Vilcapoma para el drenaje de aguas subterráneas por el Nivel 1300, en la unidad minera San Vicente. Se hace una descripción general de los aspectos geográficos y geológicos de la zona en la que se ubicará dicho túnel. También, se muestra los trabajos que se realizaron antes de realizar la tesis, así como la metodología que emplearemos para desarrollar la investigación de la más adecuada.

Como parte de este trabajo se realiza una descripción del clima, la vegetación y la geomorfología que se tiene en la zona del proyecto. Luego, se presenta todos los recursos que se tienen, tanto recursos hídricos, recursos energéticos. Asimismo, se describe la geología regional y local.

La presente tesis considera los siguientes criterios, en el Capítulo I consideramos el planteamiento del problema, objetivos de investigación, justificación, hipótesis de investigación e identificación de variables.

En el Capítulo II, representa el marco teórico, antecedentes del problema, generalidades de la empresa, las bases teóricas para la construcción del Túnel Vilcapoma.

En el capítulo III describe la metodología de investigación, en la cual se especifica el método, el alcance de la investigación, el diseño a desarrollar, el nivel de investigación, población, muestra, la técnica de recolección y tratamiento de información.

En el capítulo IV se muestra los resultados obtenidos, los cuales son presentados con el análisis e interpretación de sus resultados. Finalmente, se presentan las conclusiones, recomendaciones y referencias bibliográficas.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento y formulación del problema

1.1.1 Planteamiento del problema

El estudio de los problemas de drenaje de minas tiene dos aspectos. El primero es el de mantener condiciones adecuadas de trabajo tanto a cielo abierto como en subterráneo, para lo que es frecuente la necesidad de bombeo de las aguas. El segundo aspecto del drenaje en las minas, es la gestión de las interferencias de la operación en la hidrósfera. Esta gestión debe: (I) minimizar la cantidad de agua en circulación en las áreas operativas; (II) reaprovechar el máximo de agua utilizada en el proceso industrial; (III) eliminar aguas con ciertas características para que no afecten negativamente la calidad del cuerpo de agua receptor.

Para alcanzar estos propósitos, la gestión incluye la implantación y operación de un sistema de drenaje adecuado a las condiciones de cada mina, además de un sistema de recirculación del agua industrial.

Un sistema de drenaje recolecta, transporta y elimina las aguas de escurrimiento superficial, de modo que la integridad de las labores mineras y los cuerpos receptores de agua sean preservadas. De esta forma, el drenaje evita la erosión, la minimización de la colmatación y la manutención de la calidad física y química de los cuerpos de agua receptores.

En la actualidad la unidad minera San Vicente, de la compañía minera San Ignacio de Morococha S. A. A, presenta acumulaciones de volúmenes de agua, que alcanzan en muchos casos un caudal de hasta 1200 m³ por segundo, las cuales interfieren en los trabajos de exploración, profundización y explotación de los recursos mineros, y se evidencian en los altos costos operativos que tiene la empresa.

En tal sentido la acumulación de grandes cantidades de agua en el interior mina, las paralizaciones y pérdida de volúmenes considerables de mineral, hacen necesario de una investigación que busque la solución del problema, planteando ideas innovadoras con sustento técnico y económico viable.

El problema que existe en la minería subterránea y en particular en la unidad minera San Vicente, es la falta del diseño y construcción de un túnel de drenaje, para reducir la demanda de potencia de energía generada por el bombeo de la profundización. El túnel Vilcapoma tiene como objetivo derivar el agua de la profundización, por lo que se categoriza como un túnel de drenaje.

1.1.2. Formulación del problema

Problema general

¿Cuáles son los resultados de los estudios de la construcción del túnel Vilcapoma, para el drenaje de aguas subterráneas, por el Nivel 1300, en la unidad minera San Vicente?

Problemas específicos

- ¿Cuáles son los resultados de los estudios de la construcción del túnel Vilcapoma, para el drenaje de aguas subterráneas, por el Nivel 1300, en la unidad minera San Vicente?
- ¿Cuáles son los resultados del estudio económico de la construcción del túnel Vilcapoma para el drenaje de aguas subterráneas por el nivel 1300, en la unidad minera San Vicente?

1.2 Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluar los resultados de los estudios de la construcción del túnel Vilcapoma para el drenaje de aguas subterráneas, por el Nivel 1300, en la unidad minera San Vicente.

1.2.2. Objetivos específicos

- Evaluar los resultados del estudio técnico de la construcción del túnel Vilcapoma para el drenaje de aguas subterráneas por el nivel 1300, en la unidad minera San Vicente.
- Evaluar los resultados del estudio económico de la construcción del túnel Vilcapoma para el drenaje de aguas subterráneas por el nivel 1300, en la unidad minera San Vicente.

1.3 Justificación

1.3.1 Justificación practica

Con el desarrollo de la investigación, se solucionará el problema del sistema de drenaje de las aguas subterráneas por el nivel 1300, de la unidad minera San Vicente.

1.3.2 Justificación metodológica

Para el desarrollo de la presente tesis, el investigador creará instrumentos y metodologías propias para la recolección de datos, el procesamiento y formulación de conclusiones, que pueden servir de base para otras investigaciones similares.

1.3.3 Justificación social

En la unidad minera San Vicente mejorará la condición del ambiente de trabajo, buscando la seguridad de los trabajadores, la cual es de primordial importancia para la empresa minera.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis general

Los resultados de los estudios determinarán la construcción del túnel Vilcapoma para el drenaje de las aguas subterráneas por el nivel 1300, en la unidad minera San Vicente.

1.4.2 Hipótesis específicas

- Los resultados del estudio técnico determinarán la construcción del túnel Vilcapoma para el drenaje de las aguas subterráneas por el nivel 1300, en la unidad minera San Vicente.
- Los resultados del estudio económico determinarán la construcción del túnel Vilcapoma para el drenaje de las aguas subterráneas por el nivel 1300, en la unidad minera San Vicente.

1.5 Identificación de variables

1.5.1 Variable independiente

Construcción del túnel

1.5.2 Variable dependiente

Drenaje de aguas subterráneas.

1.5.3 Matriz de operacionalización de variables

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Indicadores	Unidades
V.I.: Construcción del túnel	Es realizar artificialmente un paso subterráneo que comunica dos puntos para el transporte de personas o materiales.	Evaluación geomecánica	RMR GSI RQD	Tipo de macizo rocoso Tipo de macizo rocoso %
V.D.: Drenaje de aguas subterráneas	Es evacuar las aguas de las minas subterráneas, para evitar la inundación de la mina. Se hace por gravedad o por bombeo.	Cantidad de agua	Caudal de agua	l/s

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes nacionales

- Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas titulada “*Proyecto del Túnel 2006 U.P. Contonga de Minera Huallanca S. A.*”. El investigador tuvo como objetivo general la construcción del túnel 2006, el cual tendrá un acceso directo al cuerpo mineralizado, además con el desarrollo del túnel se debe extraer el mineral de las reservas probadas y así cuantificar los recursos. Con la ejecución del túnel se alcanzará a contar con un acceso de personal y de materiales directo a la zona de trabajo reduciendo los tiempos muertos, se logrará la mejora de la productividad y de reducción de costos. El tipo de investigación es descriptiva – analítica, el diseño de investigación que se emplea es experimental de causa efecto, la causa es construir el túnel y el efecto es aumento de producción. (1)

- Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas titulada “*Implementación de un sistema de bombeo integral para la evacuación de aguas subterráneas en Minera Kolpa S.A.*”. El investigador tuvo como objetivo general sistematizar el bombeo de aguas subterráneas, mediante la implementación del sistema de bombeo en la minera Kolpa S. A. Como objetivos específicos: realizar estudios básicos para la implementación del sistema de bombeo integral en minera Kolpa S. A., y evaluar los beneficios positivos que se obtendrán con la implementación del sistema de bombeo

integral en minera Kolpa S. A. El método de la investigación del presente trabajo de investigación desarrollará el método científico, el tipo de investigación es aplicada, el nivel de investigación es descriptivo – correlacional es descriptivo – correlacional por que describe registra , compara y evalúa las diferentes variables del sistema de bombeo integral para la evacuación de aguas subterráneas de mina. La conclusión, es la implementación del sistema de bombeo, que permite optimizar la evacuación del agua acumulada en el fondo de interior mina, de tal manera que se pueda continuar de manera óptima con la explotación y extracción de los recursos minerales. (2)

- Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas titulada *“Mejoramiento del sistema de bombeo para evacuación eficiente de aguas subterráneas en Volcan compañia minera S.A.A - unidad San Cristóbal”*, el objetivo general fue mejorar el sistema de bombeo interior mina para evacuación eficiente de aguas subterráneas, en la unidad San Cristóbal. Como objetivos específicos se tiene en primer lugar, analizar las características del actual sistema de impulsión del fluido en el interior mina. Además, determinar los parámetros hidráulicos que caracterizan el actual sistema de bombeo, para dimensionar un nuevo sistema. Seleccionar y diseñar el nuevo sistema de bombeo para evacuación eficiente de aguas subterráneas. El método de la investigación del presente trabajo, fue el método científico, el tipo de investigación es aplicada o tecnológica, el nivel de investigación es descriptivo. En conclusión, el resultado de la potencia de una bomba es dato inicial para la seleccionar la misma, porque en el catálogo de los fabricantes y proveedores se tiene una gama de marcas y modelos. (3)
- Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas denominada *“Mejoramiento del sistema de bombeo y drenaje de aguas subterráneas unidad de producción Uchucchacua- Cía. de minas Buenaventura S. A. A.”*. Se tuvo como objetivo determinar el funcionamiento óptimo del sistema de bombeo y drenaje de los materiales líquidos de las labores subterráneas en la unida minera Uchucchacua. Como objetivos específicos se plantearon realizar el ajuste y los cambios requeridos en el sistema de bombeo y drenaje

para mejorar las condiciones de servicio minero, en la unidad minera Uchucchacua. Analizar el sistema de bombeo y drenaje, para determinar los parámetros que nos ayuden a optimizar el diseño del sistema general de bombeo y drenaje de las aguas subterráneas de la unidad minera Uchucchacua. El método de la investigación del presente trabajo de investigación es científico, el tipo de investigación es tecnológico aplicada, el nivel de investigación es descriptivo, diseño analítico cuantitativo correlacionando. En conclusión, ante el incremento de las demandas sobre las fuentes de agua y de energía, la sostenibilidad de las operaciones mineras requerirá de mayores esfuerzos para implementación de procesos de optimización y uso eficiente de los recursos. La optimización de los sistemas de bombeo representa una importante oportunidad para el ahorro de costos en el sector minero, debido al uso intensivo de energía requerido. (4)

- Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Mecánico titulada "*Optimización del sistema de bombeo de agua subterránea, para satisfacer su demanda volumétrica, en Volcán Compañía minera S.A.A.-Unidad Chungar*", El investigador planteó como objetivo general optimizar el sistema de bombeo de agua subterránea, para satisfacer su demanda volumétrica en Volcán Compañía Minera S. A. A. - Unidad Chungar. Como objetivos específicos se tuvieron; primero, analizar las características del sistema de bombeo. En segundo lugar, seleccionar una nueva bomba que asegure un sistema de drenaje confiable. Además, diseñar el nuevo sistema de bombeo para satisfacer la demanda volumétrica. El método de la investigación del presente trabajo de investigación desarrollará el método científico, el tipo de investigación es tecnológica, el nivel de investigación es experimental, diseño es cuasi experimental. En conclusión, antes de la investigación fue necesario evaluar el sistema de bombeo instalado para ver donde se establecerá un sistema de bombeo en la que cualquier eventualidad ante un problema mecánico, eléctrico o hidráulico podamos actuar de manera inmediata sin perjudicar las operaciones, pero cumpliendo el mismo objetivo de evacuar eficientemente el agua de mina. (5)

- Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas titulada “*Evaluación, mejoramiento de rendimientos operativos y actualización de precios unitarios en la ejecución del crucero 500 – mina Yanaquihua – Arequipa*”. El objetivo fue evaluar y mejorar los rendimientos en las operaciones de perforación y voladura en la ejecución del Crucero 500 de la veta troncal, para el cumplimiento de los programas de avance mensuales y reducir los precios unitarios en la mina Yanaquihua. El tipo de investigación del presente estudio se enmarca en el campo de la investigación aplicada de la ingeniería (según el objeto de estudio), también denominada investigación activa o dinámica, ya que su propósito será resolver un problema existente (elevados precios unitarios en el ciclo de minado). El resultado se puede observar en la reducción de los precios unitarios del Crucero 500, logrados por la optimización de los estándares de las operaciones unitarias de perforación y voladura, optimización basada en la obtención de rendimientos superiores a los que se venían obteniendo. (6)
- Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas titulada “*Análisis técnico-económico para la ampliación de un sistema de bombeo de dos etapas en el interior de una mina subterránea*”. El objetivo general fue analizar la viabilidad de implementación de un proyecto de ampliación de un sistema de bombeo de dos a tres etapas en el interior de una mina subterránea, considerando el uso de bombas centrífugas de 500 HP para abastecer un caudal de 1200 lps. Como objetivos específicos se plantearon determinar los parámetros de diseño para la ampliación del sistema de bombeo. Además, evaluar técnicamente el óptimo sistema de drenaje, evaluar económicamente la propuesta de diseño. El método de la investigación del presente trabajo de investigación desarrollará el método científico, el tipo de investigación es una aplicada, el nivel de investigación es descriptivo. En conclusión, la evaluación técnica demuestra que es posible proponer un diseño de bombeo en tres etapas, del Nivel 3845 a Nivel 4100, del Nivel 4100 al Nivel 4355 y del Nivel 4355 al Nivel 4610, para trasladar aguas del interior mina a la superficie (7).

2.1.2. Antecedentes internacionales

- Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas titulada “*Diseño e*

implementación del sistema de bombeo principal del Sector A - Mina Calenturitas propiedad de C:I PRODECO S.A., La Loma, Cesar". El objetivo del investigador fue realizar la optimización de los sistemas de bombeo existentes en la mina Calenturitas. El tipo de diseño es aplicado en la ingeniería, la capacidad de las instalaciones de manejo y mezcla de carbón permiten mezclar el carbón según los requerimientos específicos del cliente y optimizar nuestros flujos de productos. En conclusión y términos generales, el desarrollo del proyecto ha mejorado el tratamiento y el manejo de las aguas de escorrentía que afectan la operación tanto en épocas de lluvias como en épocas secas, que ocasionan retraso en la operación obteniendo una mayor eficiencia a menor costo provenientes de las reducciones de las estaciones de bombeo, tubería y materiales. (8)

- Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas titulada "*Análisis numérico de flujo subterráneo: caso mina subterránea de Vazante – Brasil*". El objetivo general fue indicar la utilidad de la aplicación de herramientas computacionales y métodos numéricos para la solución de situaciones complejas, como en el caso de modelos hidrogeológicos de proyectos de mineralización, donde soluciones analíticas no pueden más ser aplicadas. Por medio de estos modelos podrán ser verificados niveles piezométricos, así como previsiones de caudales de bombeo en la mina y en la cuenca dolomítica. Como objetivos específicos: Implementar numéricamente las estructuras cársticas, como estructuras discretas dentro del modelo hidrogeológico continuo de la mina, caracterizando hidráulicamente estos conductos por medio de una recalibración del sistema local y general. En conclusión se tiene como resultado de la modificación de la condición tipo 3 para tipo 1, en el caso de la mina subterránea de Vazante., se observó que la condición tipo 1 ofrece una representación más realista del nivel freático y de los flujos generados para el acuífero. Esto debido a que la imposición de la carga hidráulica conocida es fijada en el contorno correspondiente al río, para el caso de la condición de contorno tipo 3, sólo usa la carga hidráulica conocida como carga hidráulica de referencia, posteriormente el programa la compare con la carga hidráulica calculada, generando así apenas representaciones de flujos. (9)

- Tesis para optar el título profesional de Constructor Civil titulada “*Construcción de túneles*”. El principal objetivo fue realizar un estudio detallado de esta innovación tecnológica, sin olvidar los métodos clásicos, de forma que ésta sirva de guía para las diferentes personas que se ven involucradas en la construcción de un túnel, ya que las publicaciones existentes son escasas y debido al constante avance del mundo tecnológico, no debidamente actualizadas. Como objetivos específicos se plantearon dar a conocer y detallar las operaciones básicas en la construcción (el arranque, la carga, el transporte y el revestimiento o sostenimiento). Posteriormente, se dan a conocer en forma somera algunos conceptos o formas de replantear un túnel del punto de vista topográfico (planimetría y altimetría), los cuales son relevantes para lograr una buena obra, se incluyen además las últimas técnicas para la construcción, como son las técnicas del micro túnel, igualmente las formas mecanizadas que últimamente están en boga. En conclusión, la construcción de un túnel depende fundamentalmente de 2 factores: lo que entrega el terreno (Geología) y los métodos de construcción, los cuales están íntimamente relacionados con la forma del terreno en el cual se realizará el túnel (10)

2.2. Generalidades

En el plan de expansión de la mina San Vicente está programado la construcción de un túnel de drenaje con el fin de drenar la zona de profundización del yacimiento mineral San Vicente, al cual en este estudio se le ha identificado como “Túnel Vilcapoma” y que tiene como portal de entrada en la zona de la Esperanza en la margen derecha del río Puntayacu. cuyo trazo va de la mina (*bypass* 8500) hacia el este. El túnel fue estudiado a nivel de prefactibilidad (véase plano 01).

La boca de ingreso del túnel Vilcapoma está en la margen derecha del río Puntayacu. La cota de ingreso es de 1285.3 m s. n. m. El túnel tendrá 3.2 km de longitud, sección tipo baúl de 5.00 m de ancho y 4.50 m de altura, y pendiente de 3 por mil. La orientación del túnel es de oeste - este.



Figura 1. Ubicación de la unidad minera San Vicente
Tomado de compañía minera San Ignacio de Morococha S. A. A.

2.2.1 Topografía

El trazo del túnel se presenta en un plano topográfico a escala 1: 10,000 y con curvas de nivel cada 5 m y con coordenadas UTM (WGS-84).

Se digitalizó el plano topográfico a escala 1:10,000, con curvas de nivel cada 5 m y con coordenadas UTM (WGS-84). La prefactibilidad del proyecto Túnel Vilcapoma se ha preparado sobre este plano topográfico, donde se ha incluido el trazo del túnel, las cámaras de carguío y pozas de bombeo y sedimentadores, etc. Así mismo sobre este plano se preparó el plano geológico del proyecto

2.3. Bases teóricas

Dentro de los parámetros de selección de los métodos, tenemos dos:

- Túnel
- Drenaje de las aguas subterráneas

2.3.1. Túnel, función y necesidades

Un túnel se presenta con frecuencia como una solución alternativa de los trabajos a cielo abierto.

Como bien se sabe, los túneles tienen un rol importante en lo que respecta a

la explotación minera, pero por otro lado cabe destacar la inminente aplicación en las obras públicas.

En lo que respecta a las obras públicas, las principales funciones que poseen los túneles son muy diversas, como, por ejemplo, para el transporte, el almacenamiento, instalaciones varias, necesidades científicas y túneles para la protección de personas.

Ver esquema de funciones.

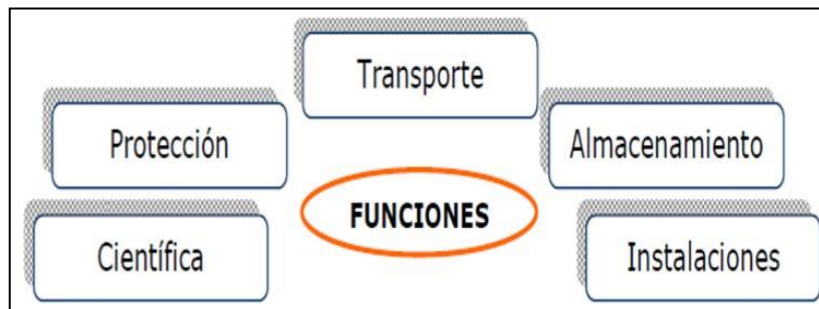


Figura 2. Funciones de un túnel

Existen factores que están relacionados con la función de cada túnel, y estos a la vez dependen entre sí, de manera que la elección de algunos, condicionará la de otros.

Dichos factores son los siguientes: la ubicación, el terreno, las dimensiones, la forma estructural, el sistema constructivo, el equipamiento. Ver figura 3.

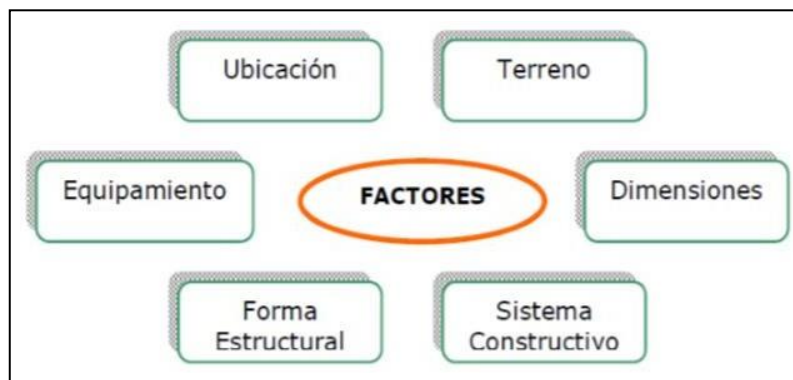


Figura 3. Factores que influyen un túnel

2.3.2. Clasificación de túneles

Los túneles pueden clasificarse de acuerdo con varios criterios, entre los que se pueden mencionar:

- La ubicación
- Características constructivas
- El clima y altitud
- Según flujos, longitud y equipamiento

2.3.2.1. Diseño de un túnel

En el diseño de los túneles se debe tener muy presente la complejidad del elemento estructural, ya que, como toda obra subterránea, esta se lleva a cabo en formaciones geológicas que en la mayoría de los casos presenta características heterogéneas. No obstante, lo anterior, las nuevas tendencias respecto al reconocimiento del terreno, el diseño y la construcción de obras subterráneas, permiten revisar y realizar una actualización en las técnicas existentes.

Respecto del diseño de un túnel, existen temas básicos que se deben contemplar a la hora de proyectar un túnel y que son los siguientes:

a) El objetivo de una obra subterránea

Dentro de los objetivos de una obra subterránea se distinguen los de tipo funcional, que vendrían siendo los objetivos prioritarios y los de tipo complementario que pueden ser de diversa índole y pueden llegar a ser en algunos casos relevantes.

- **Objetivos funcionales**

En términos de la ingeniería, la función esencial de un túnel es integrarse en el macizo, para que éste forme parte de los trazados de una vía de comunicación, de una galería o pozo de conducción hidráulica o de una galería o pozo de servicios; para la explotación minera, además de las instalaciones de tipo industrial

- **Objetivos complementarios**

Los objetivos complementarios corresponden en la mayoría de los casos, a objetivos adicionales respecto de la funcionalidad primaria del túnel.

En la mayoría de los casos estos tienden a estar ligados directa o

indirectamente a los aspectos de tipo ambiental, por lo que dichos objetivos apuntan a mejorar los requerimientos ambientales, dado que un túnel puede llegar a diseñarse con objeto de proteger el entorno existente.

b) La geometría del proyecto, el trazo y sección

La geometría en el diseño de un túnel está dividida en lo que corresponde al trazado en planta, trazado en alzado o pendiente y la sección tipo.

A continuación se describirán las consideraciones propias de cada etapa.

- Trazo en planta

En lo que al trazado en planta se refiere, se deben tener ciertas consideraciones que están relacionadas con la geotecnia local del macizo a atravesar, la afección a obras subterráneas y exteriores existentes, la existencia de obras o servicios en el subsuelo de la zona.

La existencia de otras obras subterráneas y/o exteriores va a condicionar de manera notable las alternativas del trazado.

La existencia de servicios en el subsuelo de la zona a trabajar, representa un problema de alta complejidad en los túneles urbanos.

- Trazo en alzado. La pendiente

Las pendientes del trazado, por lo general están determinadas por la funcionalidad del servicio que prestará el túnel, por lo que en la mayoría de los casos los trazados deben ser realizados según sean los requisitos establecidos.

Entonces los criterios para fijar las pendientes del trazado, van a depender de la funcionalidad del túnel y que pueden traducirse en túneles para autopistas, carreteras, ferrocarriles, obras hidráulicas o de servicios entre otras.

- Sección tipo

Las secciones tipo que se utilizan en los túneles van a depender básicamente de dos factores, del gálibo y de la forma óptima desde el punto de vista geotécnico. El gálibo va a depender de la funcionalidad que se quiera dar al túnel, mientras que geotécnicamente la forma circular es la que mejor se adecua a lo óptimo.

Dentro las secciones comúnmente utilizadas se encuentran las siguientes: circular, herradura, elíptica, y bóveda.

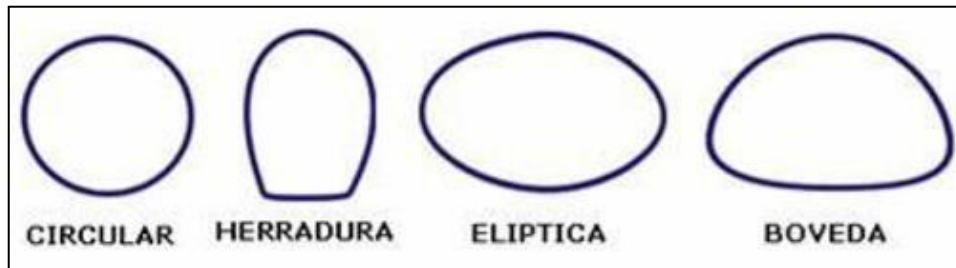


Figura 4. Tipos de secciones

c) La geología y la geomecánica del macizo

La geología y la geotecnia permiten realizar un reconocimiento respecto del medio natural en que se ha de trabajar. Los estudios realizados, tanto geológica como geotécnicamente, permitirán definir los terrenos que serán atravesados y estimar la estabilidad mecánica que estos presentarán al momento de llevar a cabo la construcción del túnel.

d) El sistema constructivo

El sistema constructivo se describirá con mayor profundidad en otro apartado más adelante.

e) La estructura resistente. El cálculo

Este tema justifica recurrir en forma detallada a las diversas teorías y métodos de cálculo que se tratan con mayor profundidad en bibliografías específicas del tema. Para este caso sólo se dará una idea general de lo que respecta al cálculo de la estructura.

En la mayoría de los cálculos estructurales se considera que el propio terreno junto a las estructuras de sostenimiento que se añaden forma el elemento estructural resistente del proyecto. El sostenimiento y revestimiento corresponden a los elementos estructurales añadidos.

f) Instalaciones para el drenaje

Dentro de las instalaciones que se deben considerar al momento de diseñar un túnel se encuentran algunos aspectos importantes como la impermeabilización y drenaje, la iluminación, la ventilación y la seguridad. Estos temas se consideran para los casos de túneles viales de comunicación, sobre todo para los carreteros.

Entre los temas señalados anteriormente existen algunos que resultan esenciales y que por ello mismo se justifica un estudio específico y acabado para cada tema. Estos temas esenciales corresponden a La geología y geotecnia, la estructura resistente y el sistema constructivo.

2.3.2.2. Sistema constructivo del túnel

El sistema constructivo de las labores subterráneas puede tratarse según dos aspectos relevantes: los métodos de explotación y las operaciones básicas. A continuación, se tratará cada uno de estos aspectos y sus respectivas etapas.

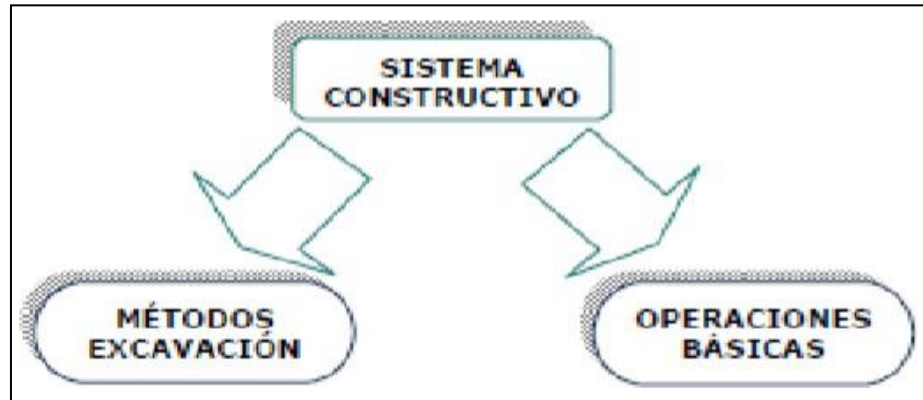


Figura 5. Esquema del sistema constructivo

a) Los métodos de explotación

La metodología empleada al momento de excavar o perforar los túneles va a depender principalmente de la naturaleza del terreno. Los métodos más utilizados son:

- Método inglés

El ataque de la excavación se realiza a sección completa en una sola operación a través de escalones y franjas horizontales comenzando por la

bóveda. Este método resulta conveniente en terrenos de inferior calidad y de sección pequeña (menos de 15 m²), aunque también suele utilizarse en buenos terrenos con secciones mayores además de su utilización en roca.

- Método belga

Considerado como uno de los métodos más utilizados posee la particularidad de ejecutar como primera tarea la excavación de la bóveda, lo que se conoce como avance en bóveda o calota, seguido del sostenimiento que descansa sobre el terreno ya que de esa forma se logra proteger la obra por encima. Luego se excava la parte inferior llamada destroza, comenzando por el centro y luego por tramos en los hastiales que una vez excavados se revisten. La bóveda descansará siempre sobre la destroza no excavada o en los pilares construidos.

- Método austriaco

La característica de este método se basa en el empleo de una galería de avance por el eje y en la base del túnel, instalando así una vía de evacuación que servirá durante toda la obra. Luego de haber avanzado cierta longitud se debe perforar un pozo hacia arriba y excavar luego en ambos sentidos a una segunda galería para continuar el proceso restante según el método belga. Los múltiples frentes de ataque permiten apurar la construcción del túnel.

- Método alemán

La característica se ve reflejada en el hecho de conservar la destroza o núcleo central hasta el término del sostenimiento de la bóveda como de los hastiales. El método se utiliza en secciones mayores de 50 m². Se deben excavar dos galerías en la base hacia la derecha e izquierda del eje, se ensanchan y construyen los hastiales.

Enseguida se ataca una galería de coronación ensanchándola hasta construir la bóveda que descansa sobre los hastiales. Finalmente se excava el núcleo central. Este método es el más costoso pero el más seguro a la vez en los terrenos malos.

- Nuevo método austriaco de tunelería (NATM)

Método innovador utilizado masivamente a nivel mundial en lo que se refiere a terrenos blandos. El método consiste en la excavación secuencial de los segmentos parciales que componen la sección transversal del túnel. Le sigue un revestimiento primario de hormigón proyectado reforzado con mallas o fibras metálicas y pernos de anclajes.

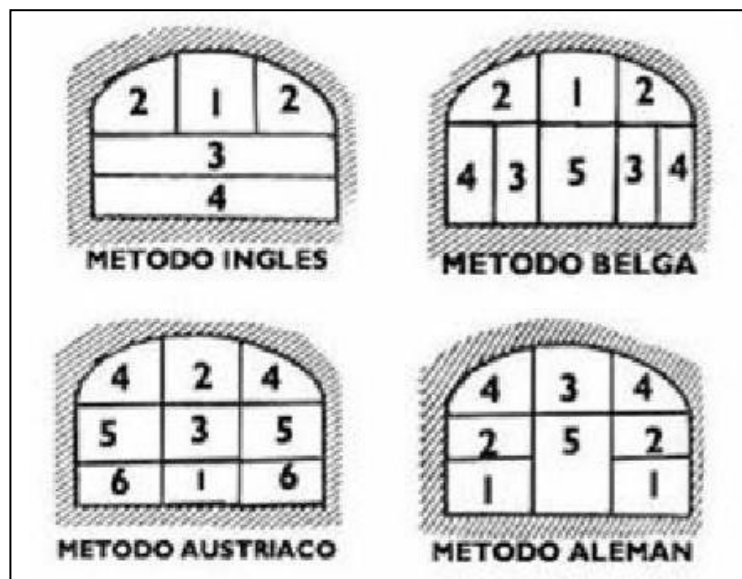


Figura 6. Métodos de excavación

b) Operaciones básicas

El sistema constructivo de un túnel sea cual sea, se puede dividir en cuatro operaciones bien definidas. Estas operaciones corresponden al arranque, la carga, el transporte y el sostenimiento.

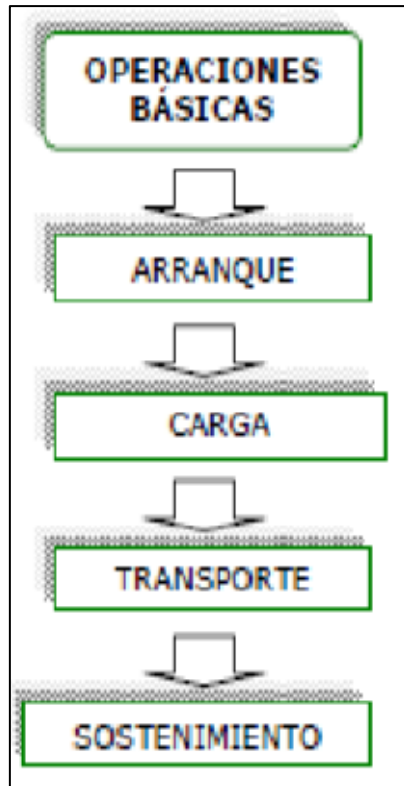


Figura 7. Diagrama de operaciones de una construcción subterránea

- **El arranque**

La excavación se puede realizar de tres modos posibles:

- ✓ Método manual: para secciones muy pequeñas (3-4 m²)
- ✓ Método con explosivos: Utilizado en terreno rocoso de cualquier dureza (roca dura, media o blanda)
- ✓ Método mecanizado: Para terrenos de roca dura, media o blanda y en los suelos.

La sección necesariamente debe ser media o grande debido a que se utilizarán: maquinaria convencional (tractores o palas cargadoras), tuneladoras (ya sean topes o escudos) y rozadoras.

- **La carga**

Cuando se trata de secciones pequeñas, las palas de volteo de accionamiento neumático desempeñan un rol importante, ya que son las encargadas de descargar el material sobre vagones. Pero existen casos extremos en que la sección es mínima y obliga a realizar la carga de forma manual.

Para secciones grandes suelen utilizarse en la mayoría de los casos equipos convencionales.

- **El transporte**

El transporte influye de manera considerable en el ciclo total de la excavación. El transporte puede llevarse a cabo de tres maneras: palas de alta velocidad de desplazamiento, a través de vías a tracción y sobre caminos por vehículos pesados. Aspecto de gran importancia resulta el mantener las vías de transporte en buen estado.

- **El sostenimiento**

El sostenimiento es el encargado de mantener la estabilidad del terreno en el momento en que se perturba el estado de equilibrio natural del terreno, ya que se produce una descompresión y pérdida de las características mecánicas debido al avance de la excavación del túnel. Dentro de los tipos de sostenimientos se encontrarán dos sistemas:

Los sistemas flexibles, en los que se encuentran los bulones, el hormigón proyectado, las cerchas o la combinación de los tres anteriores.

Los sistemas semiflexibles, como los diversos preanillos que se pueden encontrar.

Y las técnicas complementarias, como los son los paraguas, preservado de anillos, inyecciones o congelación.

2.4. Excavación general de túneles

A continuación, se presentan aspectos necesarios para realizar las labores de excavación para la construcción de túneles.

a) Procedimiento de trabajo en excavación

- **Limites**

Las excavaciones deben tener la forma, dimensiones y cotas señaladas en el proyecto. A continuación, se definen los límites teóricos de excavación y de revestimiento:

- ✓ Superficie teórica de excavación: es la superficie dentro de la cual no podrá quedar material alguno sin excavar.
- ✓ Superficie teórica de revestimiento: superficie dentro de la cual no podrá quedar ningún elemento del sostenimiento o del revestimiento. Delimita el área libre del túnel, dentro del cual sólo se permitirán las instalaciones definidas en el proyecto.

- **Métodos**

Se deberán usar metodologías apropiadas para que las superficies reales de excavación sean aproximadamente superficies regulares, para así también evitar deterioros significativos de las rocas adyacentes. Los procedimientos empleados no deben producir sobre excavaciones mayores que 0,30 m, deterioros de las rocas del contorno, disparos fallados, desmonte demasiado fino u otras anomalías.

El contratista será responsable por la seguridad y estabilidad de las excavaciones que efectúe. Todas las áreas inestables deberán ser desquinchadas, acuñadas, fortificadas con pernos, recubiertas con hormigón proyectado o con otro método alternativo según el caso.

- **Controles topográficos**

Mientras se ejecuten las excavaciones se deberá mantener un control permanente de los alineamientos y cotas, para lo cual se deberá recurrir a trabajos topográficos de precisión compatibles con la exactitud requerida. Cuando la longitud total del túnel no supere los 3 500 m, se utilizarán métodos de transporte de coordenadas que aseguren las tolerancias vigentes asociadas al orden de control primario. Para túneles de longitudes superiores a 3 500 m, se deberá presentar en forma detallada el procedimiento de transporte de coordenadas.

- **Drenajes**

Los frentes de trabajo deberán mantenerse libres de aguas, para lo cual se deberán utilizar los recursos necesarios para la evacuación de las aguas.

También se deberán utilizar procedimientos que permitan controlar las filtraciones que eventualmente pudieran producirse en zonas hormigonar. Todas

las medidas estarán destinadas a evitar perjuicios a la calidad de las obras a construir y a minimizar los riesgos constructivos. Para el caso de los túneles viales, cada una de estas características será explicada, ya que son tomadas en cuenta para su diseño y ejecución.

- **Ventilación**

Los frentes de trabajo deberán mantenerse ventilados mediante sistemas que permitan evacuar los gases tóxicos, el polvo en suspensión, el aire viciado, etc. La ventilación deberá ajustarse a las disposiciones de seguridad vigentes proporcionando un caudal mínimo de aire fresco de 3,0 m³ por minuto por cada trabajador que se encuentre laborando en el frente de la excavación.

La velocidad del aire no deberá sobrepasar los 150 m por minuto donde exista personal trabajando.

2.4.1.Diseño de túneles

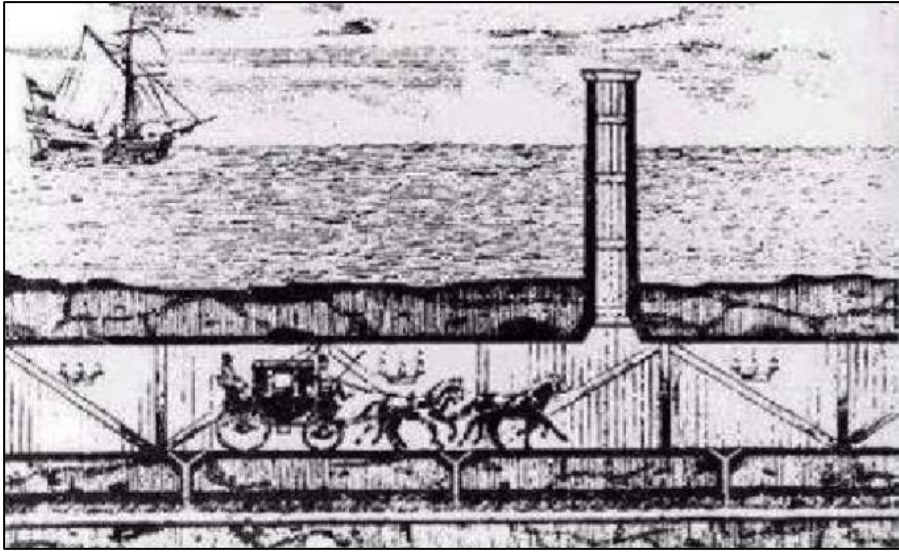
Para definir el trazo y todos los componentes de construcción del túnel Vilcapoma se debe tener los estudios previos como la información topográfica, litología de la zona, estudio hidrogeológico y estudio geomecánica.

2.4.1.1.Importancia del diseño del túnel

El túnel arranca de la necesidad de superar un obstáculo natural, generalmente un macizo montañoso. Pero, existen otras barreras que se pueden salvar mediante túneles como los cursos de agua, fluviales o marinos, y las zonas urbanas densamente edificadas en las que a menudo se incorporan túneles. Entre los usos más frecuentes pueden enumerarse:

- Los túneles para vehículos,
- Redes de ferrocarril urbano o Metros,
- Uso peatonal,
- Abastecimiento de agua,
- Saneamiento,
- Galerías de servicio y
- Almacenamiento de residuo

2.4.1.2.Historia del diseño de túnel



*Figura 8. Imagen ficticia del túnel ideado por Thomé de Garamond bajo las aguas del Canal de la Mancha (proyecto presentado en 1867 en la Exposición Universal)
Tomado de Exposición Universal*



*Figura 9. Grabado extraído de la obra de Re metálica del autor alemán Georgius Agricola. sta sirvió de referencia como manual de consulta durante los s. XVI-XVII
Tomado de Re metálica*

2.4.1.3.Trazo en planta del túnel

Su alineamiento obedece al objetivo del túnel, que es drenar la profundización

de San Vicente y continuar la explotación y exploración del manto Ayala inferior. Según las investigaciones preliminares el túnel atravesará principalmente esta unidad litológica. El portal del túnel se ha colocado en la margen derecha del río Puntayacu y aguas arriba de la desembocadura del río Chilpes. En relación con la carretera Aynamayo – Zona Industrial, este se encuentra a 50 m del borde y en un nivel que está a 15 m por debajo de la plataforma del portal, el túnel sigue un alineamiento con una dirección S 73° E hasta el km 1+900 y cruza por debajo del cauce de las afluencias de las quebradas Uncushito y Puntayacu entre las progresivas 1+650 y 1+700.

En el progresivo km 1+920 gira hasta tomar una dirección N 73° E y ponerse en el flanco derecho de la quebrada Puntayacu. El túnel termina en la progresiva 3+229, punto que fue establecido por SIMSA y que se ubica a 32.00 m por encima de la zona actual de explotación.

2.4.1.4. Perfil longitudinal del túnel

Se ha establecido que el túnel tendrá una pendiente de 3 por 1000, por razones de drenar por gravedad el agua que se encontrará durante la construcción del túnel.

2.4.1.5. Sección transversal del túnel

Para definir la sección tipo del túnel se consideró los siguientes aspectos: ancho de los equipos para extraer los desmontes, dimensión de la cuneta de drenaje, características del equipo de ventilación, instalaciones de agua y electricidad, etc. La sección del túnel tendrá 5.00 m de ancho y 4.50 m de altura máxima. Cada 800 m se ha considerado estaciones de paso de 2 m de ancho.

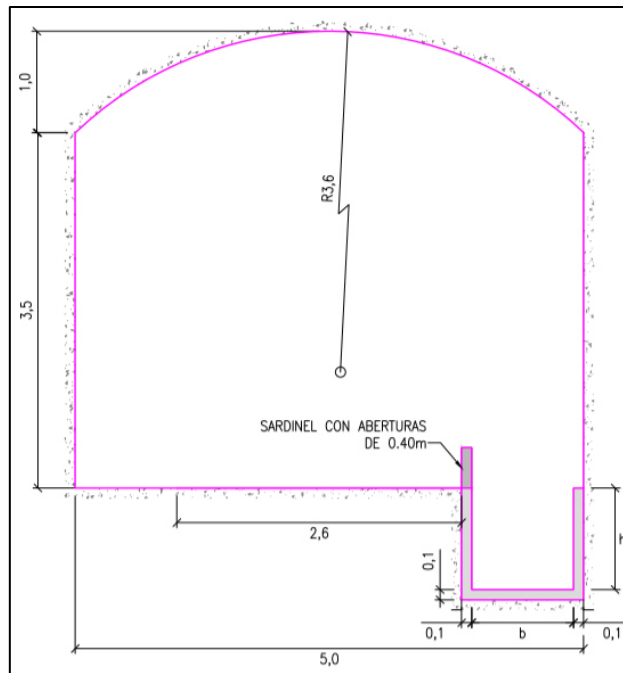


Figura 10. Sección transversal del túnel

2.4.1.6. Cámara de carguío y acumulación

Para fines del avance del túnel, se han proyectado cámaras cada 250 m en el hastial derecho e izquierdo, que tendrá 12 m de largo, 4 m de ancho y 4 m de altura, que a su vez serán utilizadas para las subestaciones eléctricas y refugio de vehículos.

2.4.1.7. Cámara o poza de bombeo

Para fines del avance del túnel, se han proyectado cámaras de bombeo cada 500 m en el hastial derecho, que tendrá 15 m de largo y 5 m de ancho y 4 m de altura, con una gradiente de -15 %.

2.4.1.8. Cuneta o canal de drenaje

Para fines del drenaje del agua, se ha proyectado el canal de derivación del bombeo del agua, de la profundización hacia superficie, a lo largo del túnel con revestimiento de concreto, con una pendiente de 3/1000 y una sección de 0.9 m de ancho y 1.5 m de profundidad, almacenando 1 m³/s.

2.4.1.9. Litología del trazo del túnel

El proyecto del túnel Vilcapoma abarca 3.2 km, está en la U.E.A. Palmapata y tiene una orientación casi paralela al río Puntayacu. Este proyecto se inicia desde el tope del BP 8500 a la cota piso 1295, con presencia de dolomía brechada, pseudomorfos y azufre en parches. Luego se tiene un cambio abrupto litológicamente a la dolomía San Judas sin antes pasar aparentemente por la caliza Neptuno, debido al acuñamiento en cotas superiores (según datos de sondajes diamantinos), las cuales serán corroborados con la labor proyecto.

Cercano al contacto entre la dolomía San Judas y la Caliza Porosa Basal se tiene posibles interceptos de mineralización según proyección de mineral que se ha tenido en el nivel 1515 y a lo largo de la rampa 630 (-), hasta la cota 1300. De haber evidencia de estructuras favorables y/o presencia de mineralización en las dolomitas San Judas, se recomienda realizar un programa de sondajes diamantinos. Se pasará también por la Unidad basal que constan de calizas cherticas dolomíticas y micritas. Se concluye con areniscas, limolitas y conglomerados del grupo Mitu. El marco geológico de la zona donde está ubicada el trazo del túnel está formado por las siguientes unidades litológicas:

Grupo Mitu

- Facies clásticas, constituidas de areniscas, limolitas, conglomerados plutonoclasticos y brechas arcaicas gris blanquecinas a rojizas, con niveles yesíferos. Ambiente de talud, lagunar fluvio aluvial. El túnel Vilcapoma se emplazaría en 1639 m de longitud entre las progresiva 1+590 a 3+229.

Grupo Pucará

- Unidad Basal (UB): calizas cherticas dolomíticas, micritas gris oscuras, dolomicritas, limolitas calcáreas o dolomíticas, calizas laminares con + -35 % de material clástico facies de mar abierto y facies someras. El túnel Vilcapoma se emplazaría en 760 m de longitud entre las progresiva 0+830 a 1+590.
- Caliza porosa Basal (CPB): calizas dolomicriticas porosas deleznable, brechas calcáreas de disolución, limolitas, dolomicritas laminares, y escasos niveles oolíticos. El túnel Vilcapoma se emplazaría en 110 m de longitud entre las progresiva 0+720 a 0+830.

- Dolomía San Judas (DSJ): Dolomías oides (grainstone) grises, brechas evaporíticas, a la base abundantes oides con cebrá incipiente, niveles fosilíferos. Facies subtidales, intertidales y lagoons. El túnel Vilcapoma se emplazaría en 720 m de longitud entre las progresiva 0+000 a 0+720.

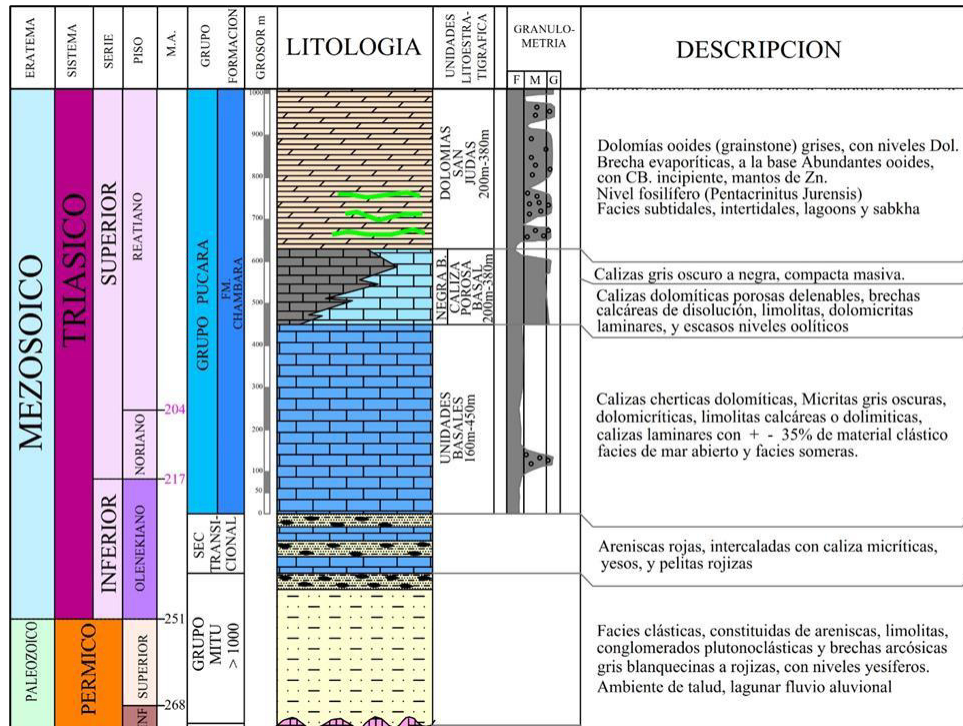


Figura 11. Columna Lito estratigráfica del trazo proyecto Túnel Vilcapoma

- La dolomía San Judas es un acuítardo, y la conductividad hidráulica de esta roca estimada está en el rango de 10^{-7} y 10^{-4} m/s.
- La caliza porosa basal está considerada como acuífero, y su conductividad hidráulica se ha estimado en el rango de 10^{-4} y 10^{-3} m/s.
- La Unidad basal está considerada como acuífero cárstico (roca capaz de almacenar, drenar y transmitir agua en grandes volúmenes), y su conductividad hidráulica se ha estimado en el rango de 10^{-4} y 10^{-3} m/s.
- El Grupo Mitu está considerada como Acuítardo, y su conductividad hidráulica se ha estimado en el rango de 10^{-8} y 10^{-6} m/s.

Se ha pronosticado que las condiciones hidrogeológicas del túnel Vilcapoma sería lo indicado en la sgte. tabla.

Tabla 2. Condiciones hidrogeológicas del túnel

Litología	Progresiva		Longitud (m)	Condiciones
Dolomía San Judas	0+000 0+720	a	720	Seco
Caliza Porosa Basal	0+720 0+830	a	110	Filtraciones abundantes. Cruce de río Puntayacu
Unidad Basal	0+830 1+590	a	760	Filtraciones abundantes
Gripo Mitu	1+590 3+229	a	1639	Filtraciones moderadas

Tomado de compañía minera San Ignacio de Morococha S. A. A.

Como se indicó anteriormente, el túnel será construido en rocas consideradas como acuíferas, por lo que, el túnel actuará como un dren.

Para estimar los caudales de agua (Q) que se espera drenar con la construcción del túnel se utilizó la ecuación propuesta por Billax y Feuda (1994) que viene expresada por:

$$Q = \frac{2kh}{\ln \frac{h + \sqrt{(h^2 + r^2)}}{r}}$$

Donde:

k = Permeabilidad del macizo rocoso (m/s)

h = Profundidad del túnel por debajo del nivel freático (m). r = Radio del túnel (m).

Los caudales obtenidos, con los parámetros hidrogeológicos para las diferentes unidades litológicas que cruzara el túnel, se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 3. Caudales de filtración estimados para los tipos litológicos que atravesara el túnel

Litología a	Permeabilidades (k)		h (m)	L (m)	Q (m ³ /s)
	(cm/s)	(m/s)			
Dolomía San Judas (Cruce Río Puntayacu)	1x10 ⁻⁷	1x10 ⁻⁴	50	720	0.204
Caliza Porosa Basal	1x10 ⁻⁴	1x10 ⁻³	200	1110	0.251
Unidad Basal (Cruce Qda. Uncushito y Puntauyacu)	1x10 ⁻⁴	1x10 ⁻³	500	760	0.249
Grupo Mitu	1x10 ⁻⁷	1x10 ⁻⁶	500	1639	0.569
Total, caudal de filtración					1.273

Tomado del Área Energía (sistemas hidráulicos), estudios hidrogeológicos CVS-2009

2.4.1.11. Diseño geomecánica del túnel

Como se indicó anteriormente, se ha pronosticado que el túnel será excavado en las dolomías San Judas, caliza porosa basal, unidad Basal y grupo Mitu, cuyas características geomecánicas fueron evaluadas en las labores de la mina y en

los afloramientos de las quebradas transversales al túnel.

- La dolomía San Judas es la primera secuencia de dolomías ooides alternados con niveles de dolomías finas. En esta unidad se han definido regionalmente dos barras, denominadas San Judas y Piñon; estas facies constituyen el tipo de roca que alberga la mineralización de zinc. En la barra San Judas, a la fecha se ha diferenciado tres mantos, en el cual el tipo de mineralización es de “flujo”. Se tienen espesores de 200 a 390 m, es una roca calcárea más resistente al proceso cárstico, dado que está constituido por dolomía carbonato doble de calcio y magnesio $(\text{CO}_3)_2\text{MgCa}$. Es la roca caja de la mineralización y constituye uno de los tres horizontes favorables para la mineralización al piso de San Vicente. Tanto en las labores como en los afloramientos, tiene una resistencia alta y estructura masiva, la roca está cortada por juntas agrupadas en dos a tres familias y que limitan bloques medianos. Las juntas están cerradas y sin relleno, sus superficies están sanas y son planas rugosas.
- La caliza porosa basal es una secuencia calcáreo-dolomítica constituida por calizas-dolomíticas porosas deleznales, sueltas, con niveles de brecha calcárea, limolitas laminares, dolomías finas y algunos niveles oolíticos. Se han determinado espesores de 60 a 180 m. Roca sedimentaria formada por la precipitación de carbonatos secuencia calcárea-dolomítica, constituida por calizas-dolomíticas porosas deleznales, sueltas, con niveles de brecha calcárea, el color característico es el gris cenizo, son deleznales al tacto, reaccionan fuertemente al ácido clorhídrico. es de grano medio, por lo que se puede considerar como calcarenita. Esta roca es de resistencia media y masiva, porosa y permeable. Según la información existente de la mina, esta roca drena abundante agua.
- Las unidades basales están en contacto directo sobre el grupo Mitu, el paso es transicional, aunque el cambio litológico es brusco, está constituida por calizas laminares y chérticas, dolomías micríticas, limolitas calcáreas, limolitas dolomíticas, calizas intraclásticas, todas ellas caracterizadas por su elevado porcentaje de cuarzo detrítico del tamaño de limo. Su espesor varía de 160 a 380 m.

- Grupo Mitu. Sedimentos continentales de coloración rojiza y del tipo molásico, constituido por areniscas, limolitas, yeso y conglomerados polimícticos, constituye morfológica y litológicamente la unidad guía para determinar la posición estratigráfica del Grupo Pucará. Por relaciones de edad relativa se le considera del Permo-Triásico.

2.4.1.12. Definición para los tipos de roca del túnel

En la definición de los tipos de roca, para este proyecto, se consideró los siguientes factores: geometría de la sección del túnel, índice de calidad del macizo rocoso, condiciones hidrogeológicas y tipo de servicio que prestará el túnel. Se ha utilizado dos sistemas de clasificación de macizo rocoso, reconocidos en el campo de la geomecánica como RMR y Q. En la estructura de los índices RMR y Q intervienen los parámetros de resistencia de la roca, la densidad de fracturamiento, el estado de las superficies y rellenos de las discontinuidades, y las condiciones hidrogeológicas.

Las investigaciones geomecánicas en la dolomía San Vicente, dentro de las labores de la mina determinó la presencia de los tipos de roca indicados en el cuadro, los cuales fueron tomados como referencia para el estudio del túnel de drenaje.

Tabla 4. Tipos de roca y sus porcentajes encontrados en las labores de la mina San Vicente

Roca Tipo	Porcentaje (%)	Condiciones hidrogeológicas
I	70	
II	27	Filtraciones importantes a presiones medias a altas
III	3	
IV	0	

Tomado de compañía minera San Ignacio de Morococha S. A. A.

Se utilizó el cuadro anterior como referencia para estimar los porcentajes de los tipos de roca que se tendría en el túnel Vilcapoma.

Pronóstico de los tipos de roca en el túnel: según el pronóstico, este túnel será excavado en las rocas indicadas en la tabla 5, y los tipos de roca previsto encontrar está en la tabla 6.

Tabla 5. Unidades litológicas que atravesara el túnel Vilcapoma

Unidades litológicas	Longitud (m)	%
Lutitas y limolita Mitu	1639	51
Unidad Basal (calizas)	760	24
Caliza Porosa Basal	110	3
Dolomía San Judas	720	22
Total	3229	100

Tomado de compañía minera San Ignacio de Morococha S. A. A.

Tabla 6. Tipos de rocas previstas a encontrar en el túnel Vilcapoma

Roca Tipo	I	II	III	IV	Total
Longitud (m)		720	870	1639	3229
Porcentaje (%)	0	22	27	51	100

Tomado de compañía minera San Ignacio de Morococha S. A. A.

Sostenimiento previsto para la estabilización de la roca: En la definición de los tipos de sostenimientos para estabilizar el macizo rocoso, se ha utilizado los siguientes factores: índice de calidad del macizo rocoso (RMR y Q), ancho del túnel (5 m) y la presencia de agua subterránea.

Tabla 7. Tipos soporte y esfuerzo para estabilización del macizo rocoso

Sistema Q		Sostenimiento recomendado		Sistema RMR		
Índice	Calificación	Categoría	Descripción	Índice	Calificación	
I	> 5.6	Regular - buena - muy buena - ext. buena - exc. buena	No soportes	Perno ocasional de 2 m de longitud y 2.5 cm de diámetro; 1 perno por metro de túnel.	> 60	Muy buena - buena
				Concreto lanzado de 5 cm de espesor o malla de alambre electrosoldada; estimado en 1 m ² por 5 m de túnel.		
II	1.0 - 5.6	Regular - mala	II	Perno sistemático de 2 m de longitud y 2.5 cm de diámetro; espaciado cada 2.00 m	51 - 60	Regular
				Malla en bóveda donde se requiera; estimado en 20 % del tramo. Concreto lanzado de 5 cm de espesor, en bóveda.		

Tomado del Área Planeamiento (Geomecánica), estudios geomecánicas DSR- 201

Tabla 8. Tipos soporte y esfuerzo para estabilización del macizo rocoso

Tipo roca	Sistema Q		Sostenimiento recomendado		Sistema RMR	
	Índice	Calificación	Categoría	Descripción	Índice	Calificación
III	0.3 - 1.0	Muy mala	IIIA	<p>Perno sistemático de 2 m de longitud y 2.5 cm de diámetro; espaciado cada 1.5 m.</p> <p>Malla en bóveda donde se requiera; estimado en 50 % del tramo.</p> <p>Concreto lanzado con fibra de acero de 7.5 cm de espesor, en bóveda y hastiales.</p>	41 - 50	Regular
	0.1 - 0.3	Muy mala	IIIB	<p>Perno sistemático de 2 m de longitud y 2.5 cm de diámetro; espaciado cada 1.2 m.</p> <p>Malla en bóveda donde se requiera; estimado en 50 % del tramo.</p> <p>Concreto lanzado con fibra de acero de 10 cm de espesor, en bóveda y hastiales.</p>	31 - 40	Mala
	0.02 - 0.1	Extremad. mala	IVA	<p>Cimbras metálicas espaciadas cada 1.2 m y planchas corrugadas.</p> <p>Paraguas de varillas de 5.00 m de largo y espaciadas cada 0.30 m, en bóveda. concreto lanzado de 5 cm.</p>	21 - 30	Mala
	< 0.02	Excepción al. mala	IVB	<p>Cimbras metálicas espaciadas cada 0.8 m y planchas corrugadas.</p> <p>Paraguas de varillas de 5.00 m de largo y espaciadas cada 0.30 m, en bóveda.</p>	< 20	Muy mala

Tomado del Área Planeamiento (Geomecánica), estudios geomecánicas DSR- 2019

Construcción del túnel: para la construcción de túneles en sus diferentes denominaciones como son: rampas de acceso, galerías y cruceros, accesos a mineral, frentes de desarrollo en mineral, tajeos de producción de mineral, entre otras excavaciones mineras subterráneas, se tienen las siguientes actividades: perforación, voladura, limpieza, acarreo y transporte.

El túnel se construirá en una sección de 5.0 m de ancho x 4.5 m de alto.

- **Marcado del proyecto:** mediante marcas topográficas la sección y orientación y gradiente, con que se debe excavar el túnel.
- **Malla de perforación:** el diseño de la malla de perforación, se elaboró considerando el macizo rocoso como variable independiente, las características del explosivo (emulsión) y la geometría (espaciamiento y burden) como variables dependientes.
- **Perforación:** es la primera operación en la preparación de una voladura, su propósito es el de abrir en la roca huecos cilíndricos destinados a alojar al explosivo y sus accesorios iniciadores, se denominan también taladros, barrenos, hoyos o blast holes. En SIMSA se realiza la perforación con equipos electrohidráulicos (Jumbos de un brazo) con vigas para barrenos de 12 pies de longitud.

Se emplean brocas de 45 mm para los taladros de producción y rimadoras de 100 mm de diámetro.

- **Voladura:** para la voladura se utiliza emulsión de los tipos emulnor 5000, emulnor 3000 y emulnor 1000. Asimismo, accesorios de voladura: faneles de periodo corto y periodo largo; *pentacord* como cordón detonante y *Carmex*. El diseño de la malla de voladura se elaboró con la técnica de la voladura controlada (carga desacoplada) para conservar el contorno de la labor, y el estudio de vibraciones para las distribuciones de los microretardos.

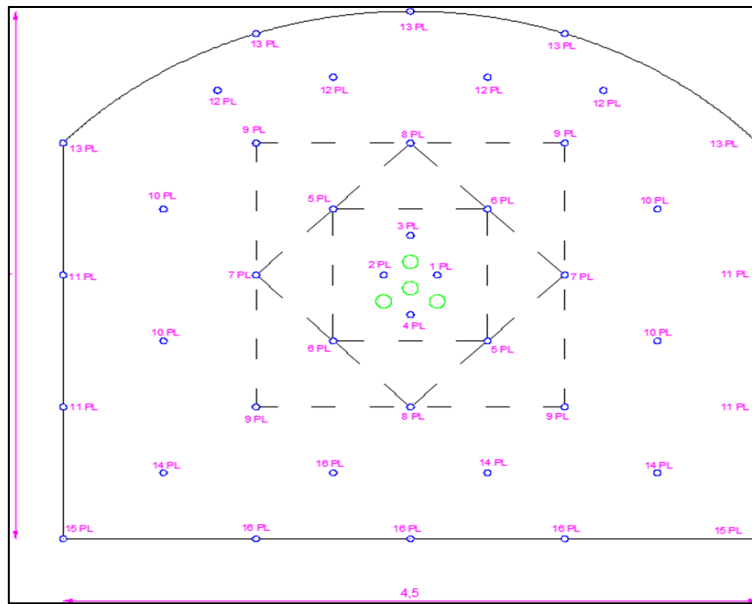


Figura 13. Malla de voladura para sección de 5.00 m x 4.50 m

Tabla 9. Parámetros técnicos

PARAMETROS TECNICOS			
SECCION (A *H)	4.5	4.0	m*m
RMR	50-60		
Ø TAL CARG	45		mm
Ø TAL RIMA	100		mm
LONG DE BARRA	12		pies
PERF EFECT TAL CARG	3.15		m
PERF EFECT TAL RIMA	3.20		m
PE MATERIAL	2.7		tn/m3
KG EXPLOSIVO USADO	94.46		kg

Tabla 10. Indicadores para sección 5.00 m x 4.50 m

INDICADORES		
AVANCE REAL POR DISP	3.0	m
EFICIENCIA VOLADURA	0.95	%
VOLUMEN ROTO	51.3	m3
TONELAJE ROTO	138.51	tn
FACTOR DE AVANCE (FA)	31.49	kg/m
FACTOR DE CARGA (FC)	1.84	kg/m3
FACTOR DE POTENCIA (FP)	0.68	kg/tn

Tabla 11. Requerimiento y costos de explosivos para sección 5.00 m x 4.50 m

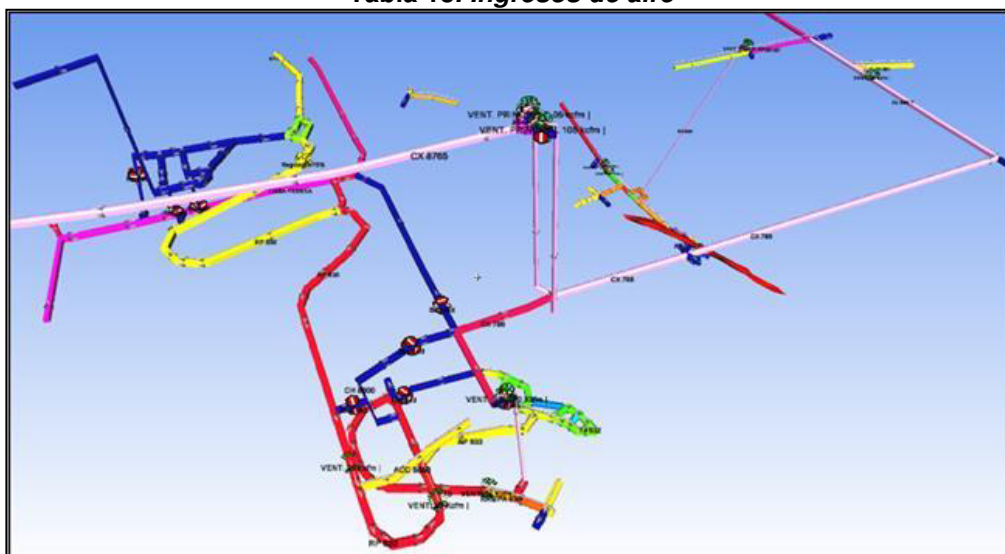
REQUERIMIENTO				
DESCRIPCION	CANT	UNID	PU	COSTO
FANEL PL	42	unid	1.48	62.16
EMULNOR 5000 1 1/8"*16"	40	cart	0.61	24.4
EMULNOR 3000 1 1/8"*16"	269	cart	0.55	147.95
EMULNOR 1000 1 1/8"*16"	15	cart	0.50	7.5
PENTACOR 3G	25	m	0.20	5
CARMEX	2	unid	0.70	1.4
MECHA RAPIDA DE IGNICION	0.10	m	0.41	0.04
TACOS DE ARCILLA	13	unid	0.30	3.9
			\$/DISP	252.35

Tabla 12. Distribución de cargas y retardos para sección 5.00 m x 4.50 m

SEC DE SALIDA	DIST DE TAL	N TAL	EMULNOR 5000		EMULNOR 3000		EMULNOR 1000		SEC SALIDA
			N CART	KG	N CART	KG	N CART	KG	
0	RIMADO	4							
1	ARRANQUE	4	10	11.92					1PL,2PL,3PL,4PL
2	2 SECC	4			8	9.31			5PL,6PL
3	3 SECC	4			8	9.31			7PL,8PL
4	4 SECC	4			8	9.31			9PL
5	AYUDA HASTIAL	4			8	9.31			10PL
6	HASTIAL	4			8	9.31			11PL
7	AYUDA CORONA	4			8	9.31			12PL
8	CORONA	5			1	1.46	3	4.26	13PL
9	AYUDA ARRASTRE	4			8	9.31			14PL
10	ARRASTRE	5			8	11.64			15PL,16PL
	TOTAL	46	40	11.92	269	78.28	15	4.26	42

- **Ventilación:** es el proceso mediante el cual se hace circular por el interior de esta, el aire necesario para asegurar que los gases producidos por la voladura y la emisión de gases de los equipos Diesel deben ser extradíos, o su concentración diluida para poder nuevamente permitir el ingreso del personal.
- Antecedentes técnicos generales: el circuito de ventilación principal de la U.M. San Vicente, es forzado por dos ventiladores principales de 105,000 CFM de capacidad los cuales extraen el aire viciado de la mina con ayuda de los ventiladores secundarios de 80,000 CFM y 50,000 CFM. Asimismo, estos ventiladores principales fuerzan el ingreso de aire por las bocaminas.
- Al ingresar el aire por las bocaminas generan circuito de ventilación para cada zona de la mina, en este caso para cada UEA. Los ventiladores secundarios direccionan el caudal necesario para cada UEA de la mina, según su requerimiento de aire.

Tabla 13. Ingresos de aire



Tomado de compañía minera San Ignacio de Morococha S. A. A.

Ingresos de Aire									
Est. Vent	Descripción	Velocidad (m/s)	Velocidad (m/min)	Ancho (m)	Alto (m)	Area (m2)	Caudal (cfm)	Caudal (m3/min)	
1	EV-11	Nv 1630	1.08	64.80	4.64	4.64	20.45	46,804.77	1,325.36
2	EV-12	Nv 1630	0.40	24.00	4.98	4.28	20.25	17,161.83	485.97
3	EVU-102	Bocamina BP 7405	0.70	42.00	4.87	4.40	20.36	30,193.26	854.98
4	EVU-103	Bocamina Nivel 1870 (Manganeso)	0.39	23.40	4.67	3.95	17.52	14,481.35	410.07
5	EV-13	Bocamina Quebrada Puntayacu 490N	1.60	96.00	3.88	2.96	10.91	36,989.10	1,047.41
6	EV-17	Bocamina Rhamys (Gal 6530 Nv1775)	0.67	40.20	5.35	4.62	23.48	33,335.04	943.94
7	EV-19	Taller Centac	0.29	17.40	4.29	3.63	14.79	9,090.59	257.42
8	EV-110	Bocamina Gal 335	0.62	37.20	4.20	4.16	16.60	21,805.43	617.46
9	EV-111	Bocamina Nivel 1515 (Galeria 550E).	3.51	210.60	4.15	3.66	14.44	107,375.19	3,040.52
10	EV- 116	Bocamina Orcopunco Nv 1652	1.30	78.00	4.65	4.23	18.69	51,471.53	1,457.51
11	EV- 117	Bocamina Neptuno	1.33	79.80	3.00	3.33	9.50	26,769.40	758.02
Total								395,477.48	11,198.66

Figura 14. Ingresos de aire
Tomado de compañía minera San Ignacio de Morococha S. A. A.

Antecedentes técnicos específicos: el ingreso de aire total a la U.M. San Vicente es de 395,477.98 CFM, el cual es suficiente para la cantidad de equipos, personas y temperatura que se tienen.

Demanda de aire total en San Vicente: los requerimientos necesarios de aire al interior mina, se ha determinado en base al número de trabajadores, consumo de madera, temperatura en las labores de trabajo, equipos con motor petrolero y por fugas. No se considera el requerimiento por consumo de explosivos debido a que en la U.M. San Vicente se emplean equipos con motores petroleros, cuyo requerimiento de aire es considerado.

$$Q_{T0} = Q_{T1} + Q_{Fu}$$

Donde:

Q_{T0} = Caudal total para la operación

Q_{T1} = La sumatoria de caudal requerido por: a) el número de trabajadores (Q_{Tr}), b) el consumo de madera (Q_{Ma}), c) temperatura en labores de trabajo (Q_{Te}) y d) equipos con motor petrolero (Q_{Eg})

Q_{Fu} = 15% del Q_{T1}

Los cálculos de las necesidades, nos permitirá ventilar las labores en forma eficiente, mediante un control de flujos de ingreso de aire fresco, como de extracción de aire viciado para cada ramal de la mina.

Esto permitirá diluir y extraer el polvo en suspensión, gases producto de la voladura o de la combustión de los equipos. La demanda de aire al interior mina, debe de ser calculada de acuerdo con el literal d) del Artículo 252° del RSSO.

Para esta determinación de requerimiento de aire total, se utilizó los siguientes parámetros operacionales:

- Caudal requerido por número de trabajadores (Q_{tr}).
- Caudal requerido por consumo de madera (Q_{ma}).
- Caudal requerido por temperatura en las labores de trabajo (Q_{te}).
- Caudal requerido por equipo con motor petrolero (Q_{eq}).
- Caudal requerido por fugas (Q_{fu})

Limpieza: la evacuación del material producto de la voladura de los frentes (avance), es realizada con equipos LHD; *scooptrams* de 6.0 yd³ y 4.2 yd³, hasta las cámaras de carguío ubicadas cada 250 m. en el eje del túnel, luego es cargado a los camiones de 25 tn.

Acarreo o transporte: es la actividad para transportar el material desde el túnel con camiones de 25 t, hasta la desmontera Cancha Norte Sector II (longitud aproximada 5.8 km), por medio de las rampas 8090, 240, galería 730 y rampa 7400.

2.5. Drenaje de aguas subterráneas

2.5.1. Definición

La función principal de un sistema de drenaje es la de permitir la retirada de las aguas que se acumulan en depresiones topográficas del terreno, causando inconvenientes ya sea a la agricultura o en áreas urbanizadas o carreteras. El origen de las aguas puede ser:

- Por escurrimiento o escorrentía superficial.
- Por elevación del nivel freático, causado por la elevación del nivel de un río próximo y filtraciones subterráneas.
- Directamente por las precipitaciones en el área.

2.5.2. Drenaje de minas

Toda explotación minera se ubica en una cuenca hidrológica e hidrogeológica concreta y, en la mayoría de los casos se desarrolla por debajo de los niveles freáticos de la zona. Por ello, las explotaciones constituyen puntos de drenaje o de descarga de escorrentías superficiales y / o subterráneas, y en todos los casos, pueden llegar a alterar el funcionamiento hidrológico o hidrogeológico de la zona.

El objetivo primordial es conseguir que las aguas que entren en contacto con la mina (tanto superficial como subterránea), sean las mínimas posibles, así como que el previsible contacto se realice de la manera más controlada posible.

El estudio de los problemas de drenaje de mina tiene dos aspectos. El primero es el de mantener condiciones adecuadas de trabajo tanto a cielo abierto como en interior, para lo que es frecuente la necesidad de bombeo del agua. Esta parte no será tratada en este capítulo por ser mucho más de carácter interno a la operación y su diseño que a sus impactos sobre el medio ambiente. El segundo aspecto del drenaje de mina es la gestión de las interferencias de la operación en la hidrosfera. Esta gestión tiene normalmente los siguientes objetivos:

- Minimizar la cantidad de agua en circulación en las áreas operativas.
- Reaprovechar el máximo de agua utilizada en el proceso industrial.
- Eliminar aguas con ciertas características para que no afecten negativamente la calidad del cuerpo de agua receptor.

2.5.3. Sistema de drenaje

En el plano operativo de una explotación, el objetivo primordial es conseguir que las aguas que entren en contacto con la mina (tanto superficial como subterránea), sean las mínimas posibles, así como que el previsible contacto sea de la manera más controlada posible. El estudio de los problemas de drenaje de mina tiene dos aspectos. El primero es el de mantener condiciones adecuadas de trabajo tanto a cielo abierto como en interior, para lo que es frecuente la necesidad de bombeo del agua. El segundo aspecto del drenaje de mina es la gestión de interferencias de operación con la hidrosfera. Esta gestión tiene normalmente los siguientes objetivos:

2.5.4. Métodos de drenaje subterráneo

Los sistemas de desagüe subterráneo se implantan cuando las aguas de escorrentía superficial como las aguas subterráneas, no pueden ser interceptadas y controladas eficientemente por los sistemas exteriores, o cuando es necesario dirigir aguas fuera de la explotación.

Los nueve puntos de desagüe subterráneos más comunes son:

- Inclinación de las bermas y/o el fondo del Pit.
- Construcción de sistemas de zanjas y cunetas.
- Construcción de zanjas con relleno drenante.
- Construcción de balsas y pozos colectores.

- Perforación de sondeos horizontales.
- Perforación de pozos interiores de bombeo.
- Inundaciones locales.
- Sondeos superficiales.

2.5.5. Tipos de drenaje

- **Drenaje con bombas:** las aguas que se encuentran a nivel inferior a los drenajes por gravedad, se recogen en depósitos recolectores para luego ser evacuados por medio de bombas. Los puntos de drenaje se distribuyen en lugares convenientes y las cámaras de bombas se sitúan próximas a los pozos. Bombas auxiliares desaguan en canales que conducen las aguas a los depósitos colectores. Se utilizan canales y tuberías. En minas profundas las aguas se bombean por etapas que van de 150 a 600 metros y aún superiores a 900 metros. Grandes alturas de impulsión representan grandes presiones, que obligan a emplear bombas.
- **Bomba de agua:** es la máquina que transforma energía, aplicándola para mover el agua. Este movimiento, normalmente es ascendente. Todas constan de un orificio de entrada (de aspiración) y otro de salida (de impulsión). Las bombas pueden recibir la energía de diversas fuentes (eléctrico o petróleo). En la actualidad casi todas las minas se equipan con bombas “sumergibles”. Tanto la bomba como el motor eléctrico están por debajo del nivel del agua, los motores son especiales y pueden funcionar sumergidos.

2.5.6. Clasificación de bombas de agua

- **De émbolo:** son aquellas que tienen un pistón dentro de un cilindro que corre a lo largo de su eje, expulsa el agua por delante y aspira la carga por detrás, al mismo tiempo que la carrera. Al efecto de expulsión de agua y al mismo tiempo de aspiración de carga, se llama Bomba de Doble Acción o Efecto. Si la bomba tiene dos o tres cilindros en paralelo montados unos al lado de otros, se le llama duplex, triplex, etc.
- **Bombas mammut o de elevación de agua por aire comprimido (air-lift):** actúa por el principio de generar una mezcla de aire comprimido y agua. Se

trata de un sistema de bombeo extremadamente sencillo: se insufla aire por una tubería ubicada por dentro o al costado del tubo de aducción, el aire al mezclarse con el agua conforma un fluido de menor peso específico que el agua circundante y en consecuencia la mezcla (no homogénea) asciende por el tubo de aducción por diferencia de densidad, en realidad se forman grandes burbujas de aire que ascienden con mayor velocidad que el agua, arrastrando a la porción de la misma que se encuentra por encima. El aire a medida que va ascendiendo se dilata ya que disminuye la presión hidrostática, aumentando si se mantiene la sección del tubo de aducción, su velocidad de ascenso y provocando por arrastre una mayor velocidad del agua, que de esta manera aumenta de abajo hacia arriba. El flujo en la descarga es pulsante e irregular ya que aire y el agua salen prácticamente por separado.

- **Rotativas helicoidales:** en el cuerpo cilíndrico se ha colocado compactamente el tornillo, al lado de la placa que separa los canales entre las espiras del tornillo y los tapan herméticamente. al girar el tornillo, el líquido encerrado en los canales entre espiras se retiene en los dientes de la placa y se desplaza en dirección axial, de esta manera se realiza la aspiración y la alimentación
- **Centrifugas:** son aquellas que aprovechan el movimiento rotacional del eje. Pueden impulsar líquidos densos tales como relaves. Están provistos de rodetes ya sea abiertos o cerrados, de acero y recubiertos de jebe prensado con fines de prevención a la fricción y la abrasión de partículas. Las paletas de trabajo están unidas rígidamente con los discos o al eje de rotación, que trasmite la fuerza motriz de rotación bajo la acción de las fuerzas centrífugas, el líquido aumenta su energía, se dirige al canal espiral y luego a la tubería de presión. Consta básicamente de un rotor, llamado rodete o impulsor con álabes, entre los cuales se produce una transferencia de energía del rotor al fluido manejado, mediante distintos fenómenos, que pueden resumirse así:
 - ✓ Autocebantes, las bombas centrífugas más comunes instaladas en las plantas de bombeo de agua potable y de aguas negras, se colocan debajo del nivel del agua.

- ✓ Axiales, las bombas axiales de gran caudal se fabrican con disposición vertical del árbol. Pueden ser de una o más etapas. El cuerpo con el dispositivo guía va adosado sobre el bastidor y la bancada. En el torneado cónico del extremo inferior del árbol se encaja el CUBO de la rueda de trabajo, que se fija con la ayuda de una chaveta y tuerca y gira a través de un COJINETE INFERIOR. Las paletas pueden ser sujetadas rígidamente (fijas) o pueden ser giratorias.

- ✓ De torbellino o vortex, dentro de la carcasa (cuerpo de la bomba) se dispone concéntricamente la Rueda de Trabajo (Impulsor de Torbellino); al funcionar la bomba, el líquido es atraído por el Impulsor para salir por la Tubería de Impulsión. La entrada del líquido se realiza en la periferia del Impulsor.

2.5.7. Manejo de agua de la mina

Mina San Vicente tiene identificado dos problemas grandes, el agua y los efectos del manejo del agua en nuestras operaciones mineras; dado los volúmenes con que se trabaja de aprox. 1,500 l/s. En 1995, cuando se inicia las labores de profundización para la continuidad de la operación se encontraron ingentes cantidades de agua con valores aproximados y estimados de 800 l/s. Se procedió a construir cunetas y sacar el agua por gravedad. A medida que las labores se fueron expandiendo al norte y hacia los niveles inferiores la capacidad de conducción del agua quedó superada, se presentaron problemas de recirculación de agua y aniegos de vías. Estas fueron resueltas adoptando medidas adecuadas de entubado y otras. La profundización considerada desde el Nv 1455 hasta la cota Nv 1100 que se tiene proyectado, requiere un alto consumo de energía y uso intensivo de mano de obra, y energía en el bombeo.

2.5.8. Estudios realizados del manejo de aguas

- Desde el año 1996 hasta el año 2015 se realizaron una serie de estudios, conducentes a estimar los volúmenes de agua a encontrar, proyectándola hasta la cota 1050. La conexión de los ríos y fuentes de agua superficiales es mínima, respecto a las aguas encontradas en interior mina.

- Existen múltiples conexiones entre las aguas circulantes en interior de la mina, siendo la facturación, las fallas NW y SW, los *epicarts*, y los *microcarts*, así como los taladros diamantinos (DDH) y las múltiples conexiones de labores mineras con las subsiguientes de niveles más abajo, las responsables de conducir el agua hacia los niveles inferiores de la mina.
- La mineralización se encuentra en paquetes de dolomitas, encerradas y/o limitadas entre paquetes de caliza y estas últimas son mejores portadoras de agua por el intenso fracturamiento sufrido durante el proceso de mineralización. La conexión de laboreo minero de las dolomitas con las calizas aumenta los flujos de agua a los niveles profundos.
- La cuenca portadora de agua, dada las características de la roca, puede incluir hasta 80 Km² de superficie.

2.5.9. Sistema actual de bombeo

- El sistema actual de bombeo ya presenta deficiencias y fallas para el manejo de aguas de mina, debido que el sistema no fue diseñado para demandas mayores a 1000 l/s.
- La capacidad de la infraestructura actual no permite el aumento del caudal en más del 20 %, desde el nivel 1050. El parque de bombas existentes en las estaciones de bombeo que se encuentran encima del nivel 1300 consumen alrededor de 4,692 kw, que representan \$ 1'347,192 anual y un costo de mantenimiento operativo mensual de \$ 420,000 aproximadamente.
- A medida que profundizamos la mina, también aumenta el caudal de agua generado por las aberturas producto del desarrollo y laboreo de la mina, originando el aumento del consumo de la energía térmica cuyo costo de generación es de 0.043 \$/Kw-h

2.5.10. Diseño de estructuras hidráulicas:

En el proyecto se ha considerado dos estructuras principales de drenaje: la cuneta de drenaje, poza de bombeo y poza de sedimentación.

El medio geológico donde se construirá el túnel está formado por rocas consideradas como acuíferos, por lo que el túnel actuará como un dren. Preliminarmente se ha estimado que el túnel drenará un caudal de 1.2 m³/s durante la etapa de construcción, caudal que disminuirá con el tiempo al deprimirse la napa freática.

Para evacuar las aguas de la mina y de las filtraciones del túnel, se ha diseñado una cuneta de drenaje para un caudal máximo de 2.0 m³/s y 3.20 km de longitud. Según los estudios hidrogeológicos de mina, drenará 2.0 m³/s. Las características hidráulicas del canal de drenaje están indicadas.

El canal colector de drenaje (cuneta) fue diseñado con sección rectangular, para un caudal máximo, en el tramo de aguas abajo de 2.0 m³/s. Se ha previsto que el canal sea revestido en toda su longitud, a fin de mejorar su eficiencia hidráulica y por ende minimizar las dimensiones de este. La pendiente prevista del canal, en toda su longitud es de 0.003 m/m.

A 150 m. de la salida del túnel se ha diseñado tres pozas sedimentadores de 30.00 m de largo, 8.00 m de ancho y 2.50 m de profundidad. Estas estructuras tendrán como objetivo captar los sedimentos que serán acarreados por el agua que drenará de la mina.

El sistema de sedimentación de sólidos transportados en el canal consta de tres pozas de sedimentación, diagonal al eje del túnel y compuertas en las salidas hacia la cuneta para permitir la limpieza de las pozas y no contaminar el agua. Las pozas serán de sección rectangular, con transiciones de entrada y salida y canal de descarga al sistema de drenaje natural del área. Se ha considerado el caudal máximo de 2.5 m/s y un tamaño máximo de partícula a sedimentar de 30 micrones.

Los estudios demostraron que:

Las calizas y dolomitas tienen capacidad conductora de agua con valores de hasta:

$$K = (1.2 \text{ a } 20) \times (10 - 2) \text{ cm/seg.}$$

Existe mayor cantidad de agua en las calizas que en las dolomitas, la temperatura de las aguas alcanza un promedio de entre 16 y 17 ° C

Existen tres tipos de calidad de agua:

- ✓ Agua de lluvia, 10% alto contenido de oxígeno
- ✓ Agua joven, 30% sales carbonatadas y bajo contenido de O₂
- ✓ Agua antigua, 60 % alto contenido de sales y bajo contenido de O₂
- ✓ Agua de recirculación, 10% no definidas

2.5.11. Sistema de bombeo

- Un sistema de bombeo es el conjunto de equipos electromecánicos, sus accionamientos, transmisiones, control y alimentación de energía, como también el sistema de conducciones, válvulas, incluyendo instalaciones de succión y descarga, y otros aditamentos, como filtros y elementos primarios de medición. Cada uno de estos elementos tiene su función, y de su adecuada selección, operación y mantenimiento depende el que se consuma más o menos energía. El motor convierte la electricidad en energía mecánica, que hace rotar la bomba y transfiere esta energía al agua. al transformar un tipo de energía en otra. Hay pérdidas, en un sistema que opera de manera eficiente, estas pueden ser del 20 al 35 %, este valor variará dependiendo de la potencia del motor y el tipo de diseño, si a esto le aunamos las pérdidas por fricción, una fuente de captación profunda, puntos de entrega en cotas altas, incrustaciones en las tuberías, fugas, etc., el consumo de energía del sistema será cada vez mayor.
- En el proyecto se ha considerado tres estructuras principales de drenaje: la cuneta de drenaje, poza de bombeo y poza de sedimentación.
- Durante la construcción del túnel se están considerando pozas de bombeo cada 500 m. Con dimensiones de 15 m de longitud, 5 m de ancho y 2.5 m de profundidad con una gradiente de -15%, con una capacidad de almacenamiento de 37.5 m³. Se consideran 4 bombas de 60 HP y una bomba de 30 HP de achique para el desarrollo del frente.

- Si bien dentro del diseño del túnel, se contempla la construcción de la cuneta, que es por donde se derivará toda el agua de la profundización, teniendo una capacidad de aforo de 2,000 lps o 2.0 m³/s, y una pendiente de 3/1000, donde se consideró el cálculo de la dimensión de la cuneta en sección rectangular, ancho de solera 0.9 m, tirante 1.3 m, donde se obtuvieron los siguientes resultados:

Caudal Q: 2.06 m³/s. Área hidráulica: 1.17 m² Radio hidráulico: 0.33 m
 Numero de froude: 0.49 Velocidad: 1.76 m/s Perímetro mojado: 3.5 m Espejo de agua: 0.9 m
 Energía específica: 1.46 m-kg

Tabla 14. Cálculo del caudal

Tomado de compañía minera San Ignacio de Morococha S. A. A.

2.6. Definición de términos básicos

- **Explosivos:** los explosivos son sustancias que tienen poca estabilidad química y que son capaces de transformarse violentamente en gases. Esta transformación puede realizarse a causa de una combustión o por acción de un golpe, impacto, fricción u otro, en cuyo caso recibe el nombre de explosivos detonantes, como es el caso de las dinamitas y los nitratos de amonio. Cuando

esta violenta transformación en gases ocurre en un lugar cerrado, como puede ser un barreno en un manto de roca, se producen presiones muy elevadas que fracturan la roca. La más antigua de las sustancias explosivas es la pólvora negra, que consistía en una mezcla formada por salitre, carbón y azufre.

- **Emulnor:** es una emulsión explosiva encartuchada en una envoltura plástica, que posee propiedades de seguridad, potencia, resistencia al agua y buena calidad de los gases de la voladura.
- **Faneles:** es un accesorio de voladura con características mejoradas en la tracción y abrasión de la manguera fanel, siendo apropiado para todas las aplicaciones de la minería.
- **Cordón detonante:** el cordón detonante se puede describir como una cuerda flexible, formada por varias capas protectoras y un núcleo del explosivo conocido como pentrita, que es muy difícil de encender, pero tiene la sensibilidad suficiente para iniciar la explosión con detonadores.
- **Mecha rápida:** es un componente del sistema tradicional de voladura, compuesto por una masa pirotécnica, dos alambres y una cobertura exterior de material plástico. La mecha rápida produce un alma incandescente durante su combustión con la suficiente temperatura para activar la masa pirotécnica del conector.
- **Pentacord:** es un accesorio de voladura, que posee características como; alta velocidad de detonación, facilidad de manipuleo y seguridad. Está formada por un núcleo de pentrita, el cual está recubierto y forrado con un material plástico.
- **Sostenimiento:** en toda explotación minera, el sostenimiento de las labores es un trabajo adicional de alto costo que reduce la velocidad de avance y/o producción, pero que a la vez es un proceso esencial para proteger de

accidentes a personal y al equipo. soporte de roca y un refuerzo de roca.

- **Macizo rocoso:** los macizos rocosos (las masas rocosas) ocurren en la naturaleza y medio ambientes geológicos afectados por planos de discontinuidad (discontinuidades) o planos de debilidad que separan a los bloques de matriz rocosa, ambos conjuntos la matriz rocosa y discontinuidades forman el macizo rocoso. Un macizo rocoso es un medio discontinuo, anisótropo y heterogéneo conformado en conjunto tanto por bloques de matriz rocosa y distintos tipos de discontinuidades que afectan al medio rocoso, mecánicamente los macizos rocosos pueden considerarse que presentan resistencia a la tracción nula. El conjunto de discontinuidades y bloques de matriz gobiernan el comportamiento mecánico global del macizo rocoso, es así que, para el estudio del comportamiento mecánico del macizo rocoso, se debe analizar las propiedades de la matriz rocosa y de las discontinuidades.
- **Robot lanzador:** la proyección de hormigón con equipos robotizados por vía húmeda es el método más eficiente en proyectos con altos niveles de producción. Se utiliza sobre todo en obras subterráneas para aumentar la seguridad del operador. El hormigón se introduce a través de la tolva del equipo y es transportado por la tubería hasta la boquilla del brazo proyector, donde se mezcla con el aire comprimido y el acelerante para proyectarse sobre el sustrato.
- **Mixcret:** es el equipo de mezclado y transporte de hormigón de perfil bajo para minería Putzmeister MIXKRET 4, con una capacidad máxima de masa de hormigón de 4 m³, complementa y mejora el proceso integral de *shotcrete*. Su motor 6 cilindros de 130 kW (174 HP) le confiere una gran capacidad de trepada y traslación, así como la posibilidad de ser utilizado a gran altura. El motor dispone del sistema AAC (compensación automática de altitud) para poder ser utilizado a gran altura sin verse mermadas sus prestaciones.
- **Planta:** en la producción del hormigón proyectado o *shotcrete* de calidad, es necesario disponer de una 'receta', en la cual se indican las proporciones

adecuadas de los diferentes materiales que se van a mezclar, pero no basta simplemente con una receta, ya que en la calidad tiene una repercusión importante tanto la forma de mezclar los diferentes componentes como la secuencia en la que se mezclan. Este post cubre los requerimientos básicos de una planta de hormigón y su rol en la calidad final del *shotcrete*.

- **Shotcrete:** de acuerdo con el Instituto Americano del Concreto (ACI, por sus siglas en inglés), es definido como el mortero o concreto aplicado neumáticamente y proyectado a alta velocidad. Concreto lanzado, de acuerdo con la Federación Europea de Productores y Aplicadores de Productos Especiales para Estructuras (EFNARC, por sus siglas en inglés), es una mezcla de cemento agregado y agua proyectado neumáticamente desde una boquilla a un sitio determinado para producir una masa densa y homogénea.
- **El concreto lanzado:** normalmente incorpora aditivos y pueden incluir también adiciones de fibras (metálicas o sintéticas) o una combinación de estas. Ambos términos, concreto lanzado o shotcrete, se refieren básicamente al mismo material. La tendencia, especialmente en Europa, es referirse al producto como concreto lanzado.
- **Cemento:** el cemento es un material aglutinante con finura similar al talco que tiene a la caliza como materia prima base, formado por diversos cristales y vidrios que al mezclarse con el agua producen una jalea de hidrosilicatos de calcio, excelente pegadura, capaz de unir fragmentos pétreos para formar un conglomerado moldeable, durable, resistente e impermeable a voluntad, adaptable a diversos usos.
- **Dramix:** las fibras de acero Dramix® para refuerzo de hormigón, son producidas a partir de hilos de acero de bajo tenor de carbono, que cuando son agregados al hormigón, actúan como una armadura tridimensional, restringiendo la propagación de fisuras y aumentando la resistencia posfisuración del elemento estructural.
- **Perno Swillex:** es un perno con la porción roscada que se proyecta de una

estructura; generalmente se usa para sostener seguro el marco de un edificio contra la carga del viento o para sostener una máquina contra las fuerzas de la vibración. Un perno u otro dispositivo para asegurar la base de un equipo de perforación a una fundación sólida, puede ser roscado o no. Tornillo encofrado que se usa para anclar la base de un equipo de perforación a una plataforma o fundación. Elemento que se utiliza para dar estabilidad y que es una varilla que se utiliza para amarrar bloques de roca sueltos de macizo rocoso en taludes o túneles.

- **Perno split set:** el *Frirock* es un sistema estabilizador de rocas que actúa o transfiere su carga por fricción; consiste en un tubo ranurado longitudinalmente, con un extremo cónico para ser insertado en la perforación. El otro extremo lleva un anillo soldado que sirve para sujetar la planchuela de acero.
- **Malla electrosoldada:** las mallas electrosoldadas están conformadas por barras lisas o corrugadas, laminadas en frío, que se cruzan en forma ortogonal, las cuales están soldadas en todas sus intersecciones.
- **Hormigón lanzado:** material que se coloca y compacta mediante impulsión neumática, proyectándose a gran velocidad sobre una superficie determinada. Sus componentes son agregados, cemento y agua, y se puede complementar con materiales finos, aditivos químicos y fibras de refuerzo.
- **Ventilación:** la ventilación en una mina subterránea es el proceso mediante el cual se hace circular por el interior de la misma el aire necesario para asegurar una atmósfera respirable y segura para el desarrollo de los trabajos. La ventilación se realiza estableciendo un circuito para la circulación del aire a través de todas las labores. Para ello es indispensable que la mina tenga dos labores de acceso independientes: dos pozos, dos socavones, un pozo y un socavón, etc. En las labores que sólo tienen un acceso (por ejemplo, una galería en avance) es necesario ventilar con ayuda de una tubería. La tubería se coloca entre la entrada a la labor y el final de la labor. Esta ventilación se conoce como secundaria, en oposición a la que recorre toda la mina que se conoce como principal.

- **Caudal Q:** el caudal de un ventilador es la masa de aire que éste puede desplazar en una unidad de tiempo. Se expresa en m^3/h ($1,7 \text{ m}^3/\text{h} = 1 \text{ CFM}$).
- **Ventiladores:** los ventiladores de alta presión *Serpent* de *Epiroc* están diseñados para suministrar aire a través de mangueras en proyectos mineros y de túneles. Nuestros ventiladores están disponibles en diferentes tamaños y combinaciones para adaptarse a sus necesidades, desde proyectos pequeños hasta grandes operaciones subterráneas profundas. Los ventiladores están equilibrados estática y dinámicamente, tienen sistemas de lubricación automática y se fabrican con carcasa de acero soldada y un recubrimiento anticorrosivo para proporcionar un alto rendimiento de forma constante, incluso en los entornos más duros.
- **Manga de ventilación:** sistema de ductos flexibles de ventilación, eficientes y económicos que sirven para trasladar el aire fresco, y evacuar el aire viciado de las minas y túneles. Las mangas que fabricamos pueden ser ductos colapsables por insuflación de sección circular o sección elipsoidal.
- **Cuneta:** canaletas transversales instaladas juntamente con las longitudinales, conducen las aguas recogidas en las cunetas hacia cotas inferiores.
- **Costo de operación:** es el total que se deriva de las erogaciones que hace el contratista por concepto del pago de salarios al personal y de todos los otros gastos relacionados con el desarrollo de la operación.
- **Hidrogeología:** rama de la geología que estudia las aguas subterráneas y especialmente su formación
- **Conductividad hidráulica:** propiedad combinada de un medio poroso saturado y del fluido que lo atraviesa, que determina la relación, llamada la ley Darcy, entre el caudal específico y el gradiente hidráulico que lo origina.
- **Caudal:** se define como el volumen de agua que pasa por la sección transversal del cauce por unidad de tiempo, y se expresa en m^3/s o l/s .

- **Manejo de aguas:** proceso en el que se produce un descenso de la tabla de agua subterránea en un área minera, mediante bombeo de pozos para luego ser transportada y utilizada o recargada al sistema de aguas subterráneas mediante infiltración, reinyección o irrigación
- **Correntómetro:** es el instrumento de precisión que mide la velocidad del agua en los puntos de medición de una sección de control, existen variedad de tipos de correntómetros de eje vertical y de eje horizontal.
- **Sistema de bombeo:** un sistema de bombeo consiste en un conjunto de elementos que permiten el transporte a través de tuberías y el almacenamiento temporal de los fluidos, desde interior mina hasta la superficie, de forma que se cumplan las especificaciones de caudal y presión necesarias en los diferentes sistemas y procesos.
- **Mejoramiento de un sistema de bombeo:** es la evaluación inicial de sistema en funcionamiento a fin de acopiar información de la dimensión hidráulica y mecánica, para luego proponer una nueva instalación que salve las limitaciones del anterior.
- **Evacuación eficiente de aguas subterráneas:** en minería es el traslado de las aguas subterráneas mediante sistema de bombeo a la superficie desde interior mina, para facilitar el proceso de extracción de mineral. Es la instalación que está compuesto por un tanque de aspiración, tubería de aspiración, una bomba hidráulica, tubería de descarga y tanque de descarga.
- **Pozas de bombeo:** pozo a través del cual se extrae agua para diferentes usos, mediante un equipo de bombeo Las pozas de bombeo son cámaras de 15 metros de longitud, 5 metros de ancho, altura de 4.5 metros, con una pendiente negativa de 15 %. Estas cámaras tienen una capacidad de almacenamiento de 37.5 m³ aproximadamente.
- **Pozas de sedimentaciones:** tanque redondeado usado en las plantas de tratamiento de minerales, para separar sólidos de líquido.

- **Bombas:** máquina para evacuar agua u otro líquido, accionada eléctrica o neumáticamente. Aparato mecánico utilizado para transferir líquidos o gases de un lugar a otro, por ejemplo, la bomba de *Cornalles* (tipo de bomba desarrollada en *Cornalles* (Inglaterra) utilizada en minas profundas del siglo XIX para elevar agua subterránea) o la bomba de Trasiago. Aparato mecánico para comprimir o atenuar gases.
- **Bombas hidráulicas:** bomba impulsada por agua corriente. La bomba hidráulica utiliza la energía de una gran cantidad de agua que corre desde una pequeña altura, para bombear una limitada (10 %) cantidad de agua a una gran altura.
- **Bombas estacionarias:** son bombas con auto lubricación y agitador en la tolva, para alcance de grandes alturas hasta 300 metros verticalmente, y 1000 metros horizontalmente, estas bombas son instaladas en las estaciones de bombeo principal del circuito de bombeo.
- **Bombas sumergibles:** una bomba sumergible es una bomba que tiene un impulsor sellado a la carcasa. El conjunto se sumerge en el líquido a bombear. La ventaja de este tipo de bomba es que puede proporcionar una fuerza de elevación significativa, pues no depende de la presión de aire externa para hacer ascender el líquido. se cuentan actualmente con 60 bombas sumergibles
- **Instalación de una bomba:** para esta actividad se debe realizar como mínimo con dos personas, antes de la actividad realizar el IPERC, comunicar al personal de energía para cortar y bloquear los tableros de energía con la ayuda del manitud, colocar la bomba en el tope de la poza, acoplar la tubería flexible por el lado de la vitaúlica luego empalmar los cables eléctricos.

CAPITULO III

METODO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Método y alcances de la investigación

3.1.1.Método de la investigación

El método es descriptivo, porque se basa en la observación de todos los componentes del proyecto.

3.1.2 Alcances de la investigación

a) Tipo de investigación

Es un tipo de Investigación aplicada o tecnológica, porque es la utilización de los conocimientos en la práctica, para aplicarlos, en los objetivos de la investigación.

b) Nivel de investigación

Es descriptivo, porque describen los datos y características de la población o fenómeno en estudio.

3.2. Diseño de la investigación

Es descriptivo, porque se plantean a manera de objetivos.

3.3 Población y muestra

3.3.1.Población

Unidad minera San Vicente.

3.3.2.Muestra

Nivel 1300.

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1.Técnicas utilizadas en la recolección de datos

Observación:

Esta técnica nos permitió observar detenidamente todos los componentes del Nivel 1300, para determinar el objetivo general de la tesis.

Recopilación:

Recopilación de datos de campo, del Nivel 1300.

3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos

- Informes
- Publicaciones
- Tesis
- Planos
- Fichas
- Libros
- Internet
- PC

CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.Generalidades

4.1.1. Geoestructuras

Según SIMSA (1999), el patrón geoestructural del distrito minero de San Vicente consta de un monoclinal que buza al oeste y fallas inversas de bajo ángulo de tipo sobre escurrimiento y con convergencia al oeste. Se ha identificado que las fracturas están dispuestas en tres sistemas de fracturas, las dos primeras de alto ángulo y con orientación NE-SO y N-S y la tercera con tendencia NO-SE.

4.2.Evaluación para la construcción del túnel Vilcapoma

Diseño geométrico

El diseño geométrico del túnel contempló la definición y dimensionamiento de los siguientes aspectos: Trazo en planta, trazo en alzado o perfil longitudinal y sección típica transversal.

Trazo en planta

Su alineamiento obedece al objetivo del túnel que es drenar la profundización de la mina San Vicente y continuar la explotación y exploración del manto Ayala inferior. Según las investigaciones preliminares el túnel atravesara principalmente esta unidad litológica.

El portal del túnel se ha colocado en la margen derecha del río Puntayacu y aguas arriba de la desembocadura del río Chilpes. En relación con la carretera

Aynamayo – Zona Industrial, este se encuentra a 50 m del borde y en un nivel que está a 15 m por debajo de la plataforma del portal, el túnel sigue un alineamiento con una dirección S 73° E hasta el km 1+900 y cruza por debajo del cauce de las afluencias de las quebradas Uncushito y Puntayacu entre las progresivas 1+650 y 1+700.

En la Progresiva km 1+920 gira hasta tomar una dirección N 73° E y ponerse en el flanco derecho de la quebrada Puntayacu. El túnel termina en la Progresiva 3+229, punto que fue establecido por SIMSA y que se ubica a 32.00 m por encima de la zona actual de explotación.

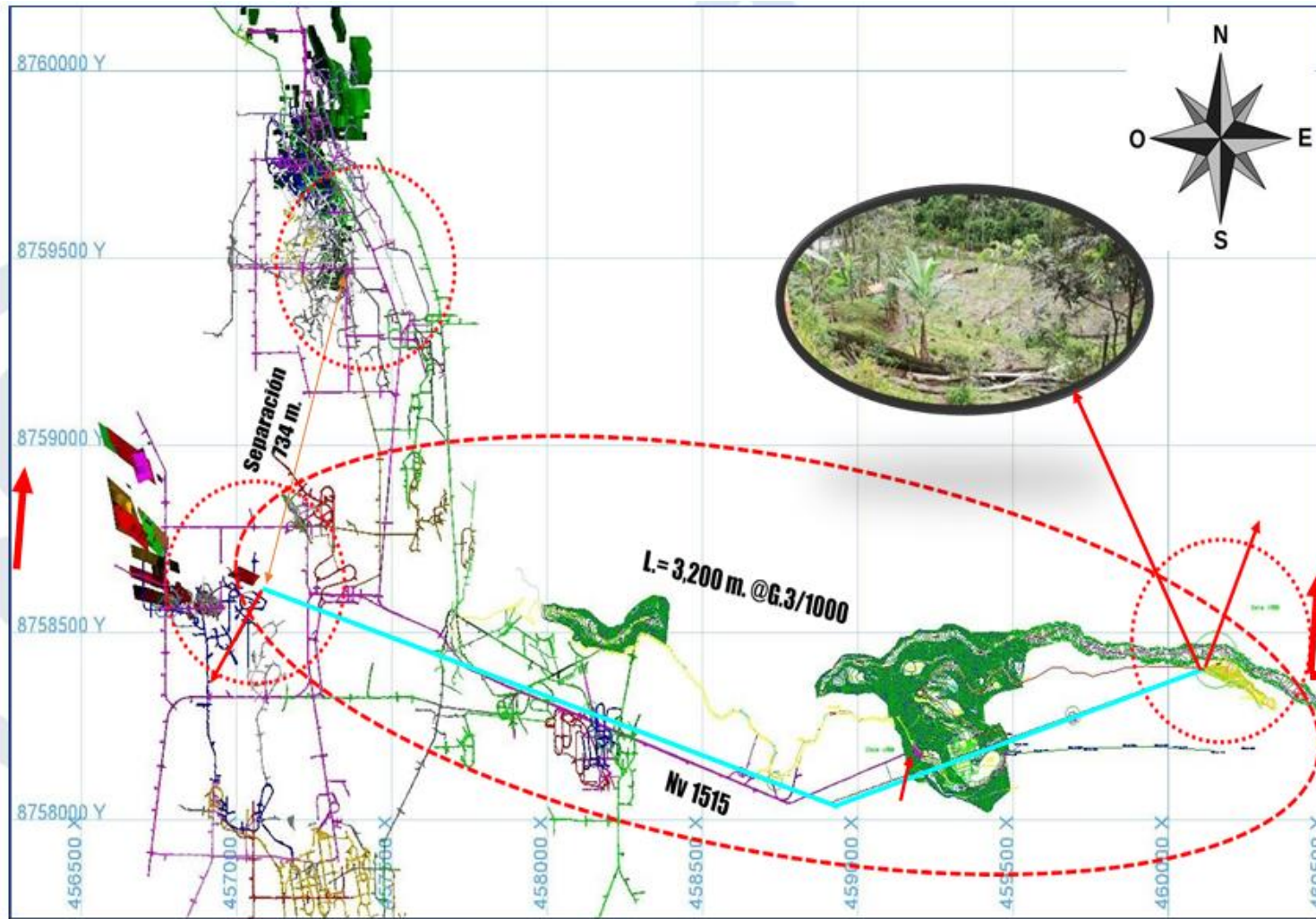


Figura 16. Diseño geométrico del túnel Vilcapoma

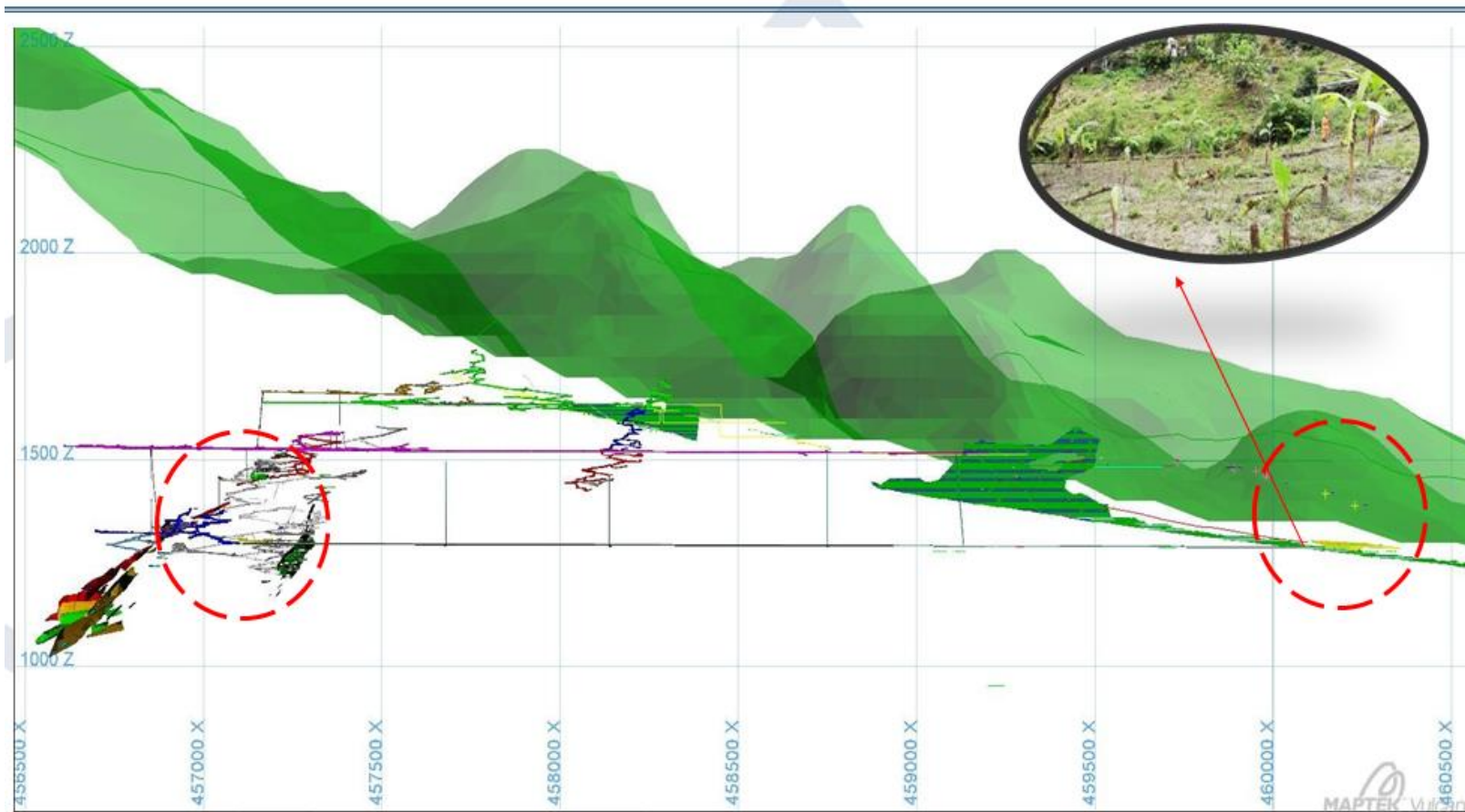


Figura 17. Perfil longitudinal del túnel Vilcapoma

Sección transversal

Para definir la sección tipo del túnel, se consideró los siguientes aspectos: ancho de los equipos para extraer los desmontes, dimensión de la cuneta de drenaje, características del equipo de ventilación, instalaciones de agua y electricidad, etc. La sección del túnel tiene 5.00 m de ancho y 4.50 m de altura máxima. Cada 800 m se ha considerado estaciones de paso de 2 m de ancho.

Cámara de acumulación y carguío

Asimismo, para fines del avance del túnel se ha proyectado cámaras cada 250 m en el hastial derecho e izquierdo, que tendrá 12 m de largo, 4 m de ancho y 4 m de altura, que a su vez serán utilizadas para las subestaciones eléctricas y refugio de vehículos.

Cámara o poza de Bombeo

Asimismo, para fines del avance del túnel, se ha proyectado cámaras de bombeo cada 500 m en el hastial derecho, que tendrá 15 m de largo y 5 m de ancho y 4 m de altura, con una gradiente de -15%.

Diseño geomecánico del túnel

Como se indicó anteriormente, se ha pronosticado que el túnel será excavado en las dolomías San Judas y Caliza Neptuno, cuyas características geomecánicas fueron evaluadas en las labores de la mina y en los afloramientos de las quebradas transversales al túnel.

La dolomía San Judas, tanto en las labores como en los afloramientos, tiene una resistencia alta y estructura masiva. La roca está cortada por juntas agrupadas en dos a tres familias y que limitan bloques medianos. Las juntas están cerradas y sin relleno, sus superficies están sanas y son planas rugosas.

La caliza Neptuno es de grano medio, por lo que se puede considerar como calcarenita. Esta roca es de resistencia media y masiva, porosa y permeable. Según la información existente de la mina, esta roca drena abundante agua.

Definición de los tipos de roca para este proyecto

En la definición de los tipos de roca, para este proyecto, se consideró los siguientes factores: geometría de la sección del túnel, índice de calidad del macizo rocoso, condiciones hidrogeológicas y tipo de servicio que prestará el túnel.

Se ha utilizado dos sistemas de clasificación de macizo rocoso, reconocidos en el campo de la geomecánica como RMR y Q. En la estructura de los índices RMR y Q intervienen los parámetros de resistencia de la roca, la densidad de fracturamiento, el estado de las superficies y rellenos de las discontinuidades, y las condiciones hidrogeológicas.

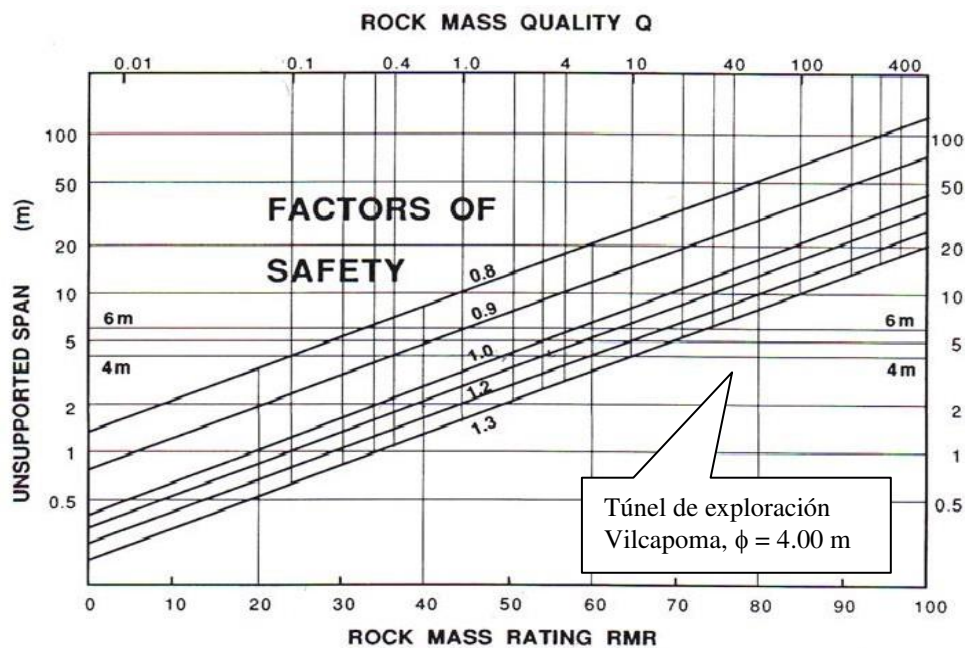


Figura 18. Ábaco utilizado para definir los tipos de roca en el túnel de drenaje

Tabla 15. Tipos de roca establecida para el proyecto

Tipo roca	Material	Índice		Fs	Términos de estabilidad
		RMR	Q		
I	Roca masiva con escasas juntas	> 60	> 5.6	>1.2	Estable
II	Roca moderadamente fracturada con fallas angostas y aisladas	50 - 60	1.75 - 5.6	1 - 1.2	Parcialmente estable
III	Roca intensamente fracturada con fallas angostas y aisladas	25 - 49	0.1 - 1.75	0.8 - 1	Potencialmente inestable
IV	Fallas y rocas cizalladas con múltiples fallas	< 25	< 0.1	< 0.8	Inestable

Las investigaciones geomecánicas en la dolomía San Vicente, dentro de las labores de la mina determinó la presencia de los tipos de roca indicados en la Tabla 4.2, los cuales fueron tomados como referencia para el estudio del túnel de drenaje.

Tabla 16: Tipos de roca y sus porcentajes encontrados en las labores de la mina San Vicente

Roca Tipo	Porcentaje (%)	Condiciones hidrogeológicas
I	70	Filtraciones importantes a presiones medias a altas
II	27	
III	3	
IV	0	

Pronóstico de los tipos de rocas

- **Túnel Vilcapoma**

Según el pronóstico, este túnel será excavado en las rocas indicadas.

Tabla 17. Unidades litológicas que atravesará el túnel Vilcapoma

Unidades litológicas	Longitud (m)	%
Granito San Ramón	2050	37
Lutitas y limolita Mitu	1145	21
Unidad Basal (calizas y dolomías)	465	8
Caliza Porosa Basal	600	11
Dolomía San Judas	830	15
Caliza Neptuno	410	7
Total	5500	100

Tabla 18. Tipos de roca previstas encontrar en el túnel Vilcapoma

Roca Tipo	I	II	III	IV	Total
Longitud (m)	2095	1150	1110	1145	5500
Porcentaje (%)	38	21	20	21	100

- **Sostenimientos previstos para la estabilización de la roca**

En la definición de los tipos de sostenimientos para estabilizar el macizo rocoso, se ha utilizado los siguientes factores: índice de calidad del macizo rocoso (RMR y Q), ancho del túnel (4 m) y la presencia de agua subterránea.

Tabla 19. Tipo de soportes y refuerzos para la estabilización del macizo rocoso

Tipo roca	Sistema Q		Sostenimiento recomendado		Sistema RMR	
	Índice	Calificación	Categoría	Descripción	Índice	Calificación
I	> 5.6	Regular - buena - muy buena - ext. buena - exc. buena	No soportes	Perno ocasional de 2 m de longitud y 2.5 cm de diámetro; 1 perno por metro de túnel.	> 60	Muy buena
				Concreto lanzado de 5 cm de espesor o malla de alambre electrosoldada; estimado en 1 m ² por 5 m de túnel.		
II	1.0- 5.6	Regular - mala	II	Perno sistemático de 2 m de longitud y 2.5 cm de diámetro; espaciado cada 2.00 m.	51 - 60	Regular
				Malla en bóveda donde se requiera; estimado en 20 % del tramo. Concreto lanzado de 5 cm de espesor, en bóveda.		

Tabla 20. Tipo de soportes y refuerzos para la estabilización del macizo rocoso

Tipo roca	Sistema Q		Sostenimiento recomendado		Sistema RMR	
	Índice	Calificación	Categoría	Descripción	Índice	Calificación
III	0.3 - 1.0	Muy mala	IIIA	Perno sistemático de 2 m de longitud y 2.5 cm de diámetro; espaciado cada 1.6 m.	41 - 50	Regular
				Malla en bóveda donde se requiera; estimado en 50 % del tramo.		
				Concreto lanzado con fibra de acero de 7.5 cm de espesor, en bóveda y hastiales.		
III	0.1 - 0.3	Muy mala	IIIB	Perno sistemático de 2 m de longitud y 2.5 cm de diámetro; espaciado cada 1.2 m.	31 - 40	Mala
				Malla en bóveda donde se requiera; estimado en 50 % del tramo.		
				Concreto lanzado con fibra de acero de 10 cm de espesor, en bóveda y hastiales.		
IV	0.02- 0.1	Extremada. mala	IVA	Cimbras metálicas espaciadas cada 1.2 m y planchas corrugadas.	21 -30	Mala
				Paraguas de varillas de 5.00 m de largo y espaciadas cada 0.30 m, en bóveda. Concreto lanzado de 5 cm.		
				Cimbras metálicas espaciadas cada 0.8 m y planchas corrugadas.		
IV	< 0.02	Excepcional . mala	IVB	Paraguas de varillas de 5.00 m de largo y espaciadas cada 0.30 m, en bóveda.	< 20	Muy mala

- **Diseño de estructuras hidráulicas**

En el proyecto se ha considerado dos estructuras principales de drenaje: la cuneta de drenaje, poza de bombeo y poza de sedimentación.

El medio geológico donde se construirá el túnel, está formado por rocas consideradas como acuíferos, por lo que el túnel actuará como un dren. Preliminarmente se ha estimado que el túnel drenará un caudal de 1.2 m³/s durante la etapa de construcción, caudal que disminuirá con el tiempo al deprimirse la napa freática.

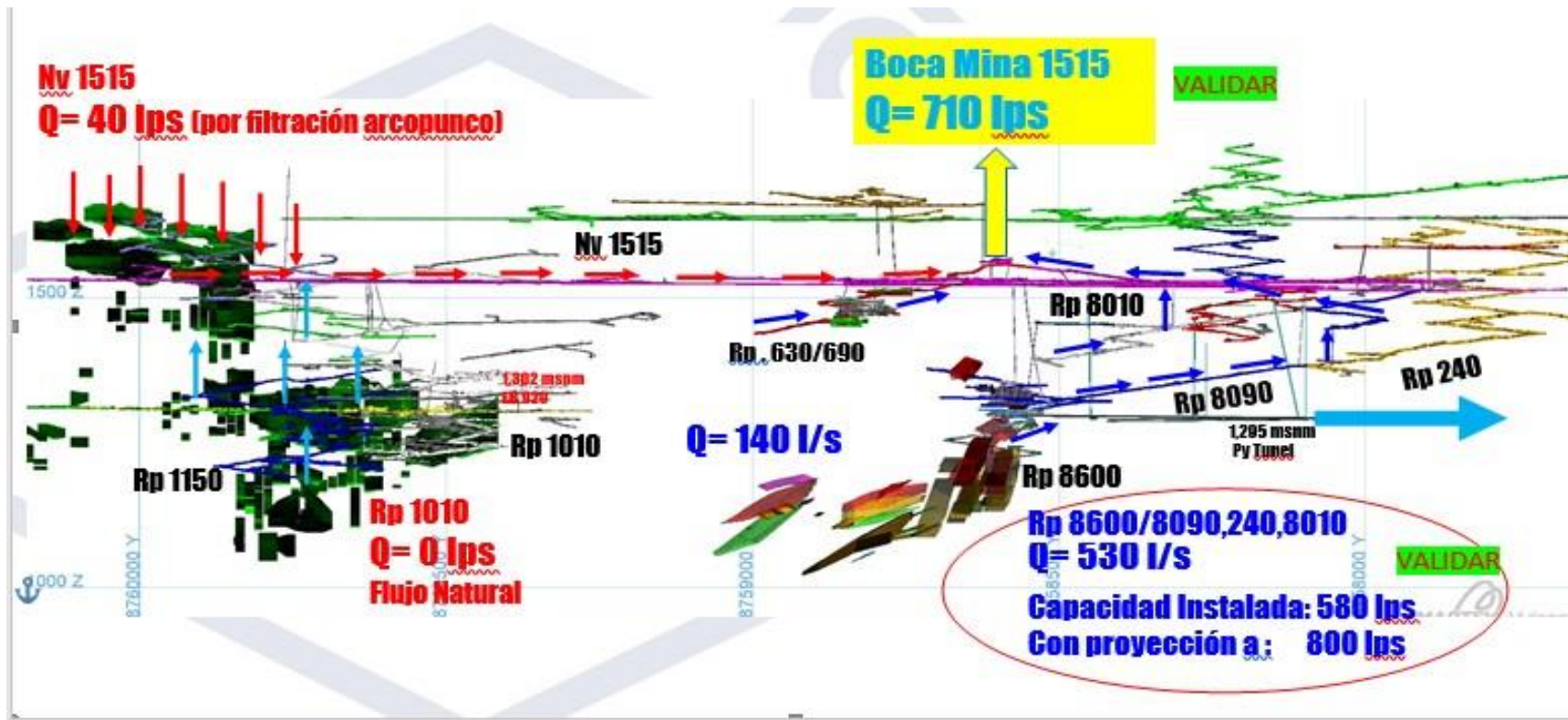
Para evacuar las aguas de la mina y de las filtraciones del túnel se ha diseñado una cuneta de drenaje para un caudal máximo de 2.0 m³/s y 3.20 km de longitud. Según los estudios hidrogeológicos de mina drenará 2.0 m³/s.

El canal colector de drenaje (cuneta) fue diseñado con sección telescópica, para un caudal máximo, en el tramo de aguas abajo de 2.0 m³/s. Se ha previsto que el canal sea revestido en toda su longitud, a fin de mejorar su eficiencia hidráulica y por ende minimizar las dimensiones de este. La pendiente prevista del canal, en toda su longitud es de 0.003 m/m.

A 150 m de la salida del túnel se ha diseñado tres pozas sedimentadores de 30.00 m de largo, 8.00 m de ancho y 2.50 m de profundidad. Estas estructuras tendrán como objetivo captar los sedimentos que serán acarreados por el agua que drenará de la mina.

El sistema de sedimentación de sólidos transportados en el canal, consta de tres pozas de sedimentación, diagonal al eje del túnel y compuertas en las salidas hacia la cuneta para permitir la limpieza de las pozas y no contaminar el agua.

Las pozas serán de sección rectangular, con transiciones de entrada y salida y canal de descarga al sistema de drenaje natural del área. Se ha considerado el caudal máximo de 2.5 m/s y un tamaño máximo de partícula a sedimentar de 30 micrones.



BOMBEO DRENAJE AGUA DE MINA CON EL TUNEL VILCAPOMA

Rp 1010
Q= 1,050 l/s
Bombeo de cota 1,070 msnm
Gabeza: 225 m.
Potencia a Instalar: 5,300 HP /4,042 Kw.
Gasto Energía: 178.80 US\$/Hr. 125,140 US\$/Mes

Equipos: 7 Bombas estacionarias de 500 HP c/u.
Alimentadoras: 25 Bombas sumergibles de 60 HP c/u
 • 500 HP x 7 = 3500 HP
 • 60 HP x 21 = 1260 HP
TOTAL 5,300 HP EN BOMBEO.

Rp 8600
Q= 950 l/s
Bombeo de cota 1,070 msnm
Gabeza: 225 m.
Potencia a Instalar: 4,650 HP./3,487 Kw.

Equipos: 7 Bombas estacionarias de 450 HP c/u.
Alimentadoras: 25 Bombas sumergibles de 60 HP c/u
 • 450 HP x 7 = 3150 HP
 • 60 HP x 25 = 1500 HP
TOTAL 4,650 HP. EN BOMBEO.

Figura 19. Bombeo drenaje agua de mina por el túnel Vilcapoma/ Características hidráulicas del canal de drenaje

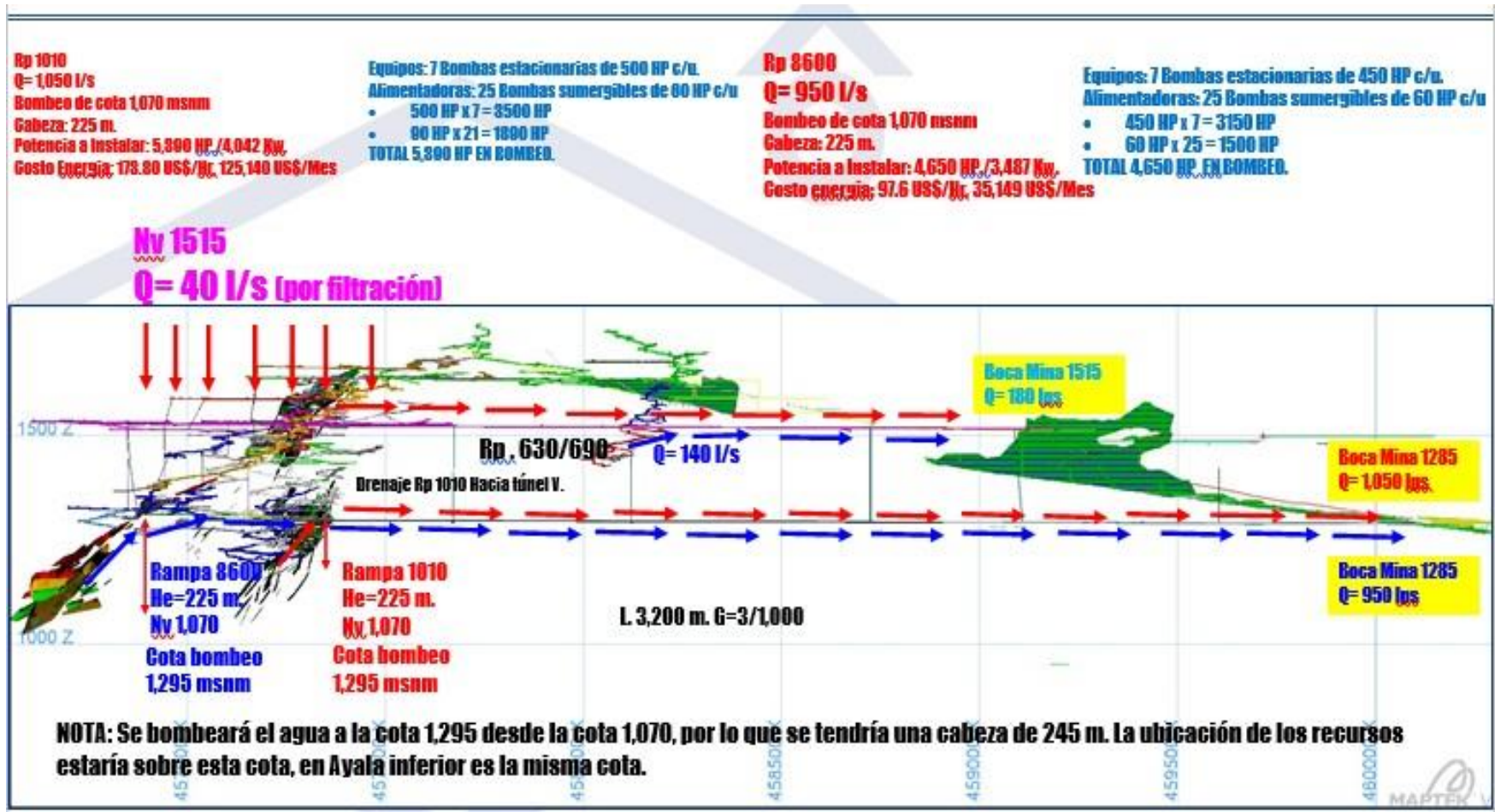


Figura 20. Detalles de bombeo y drenaje

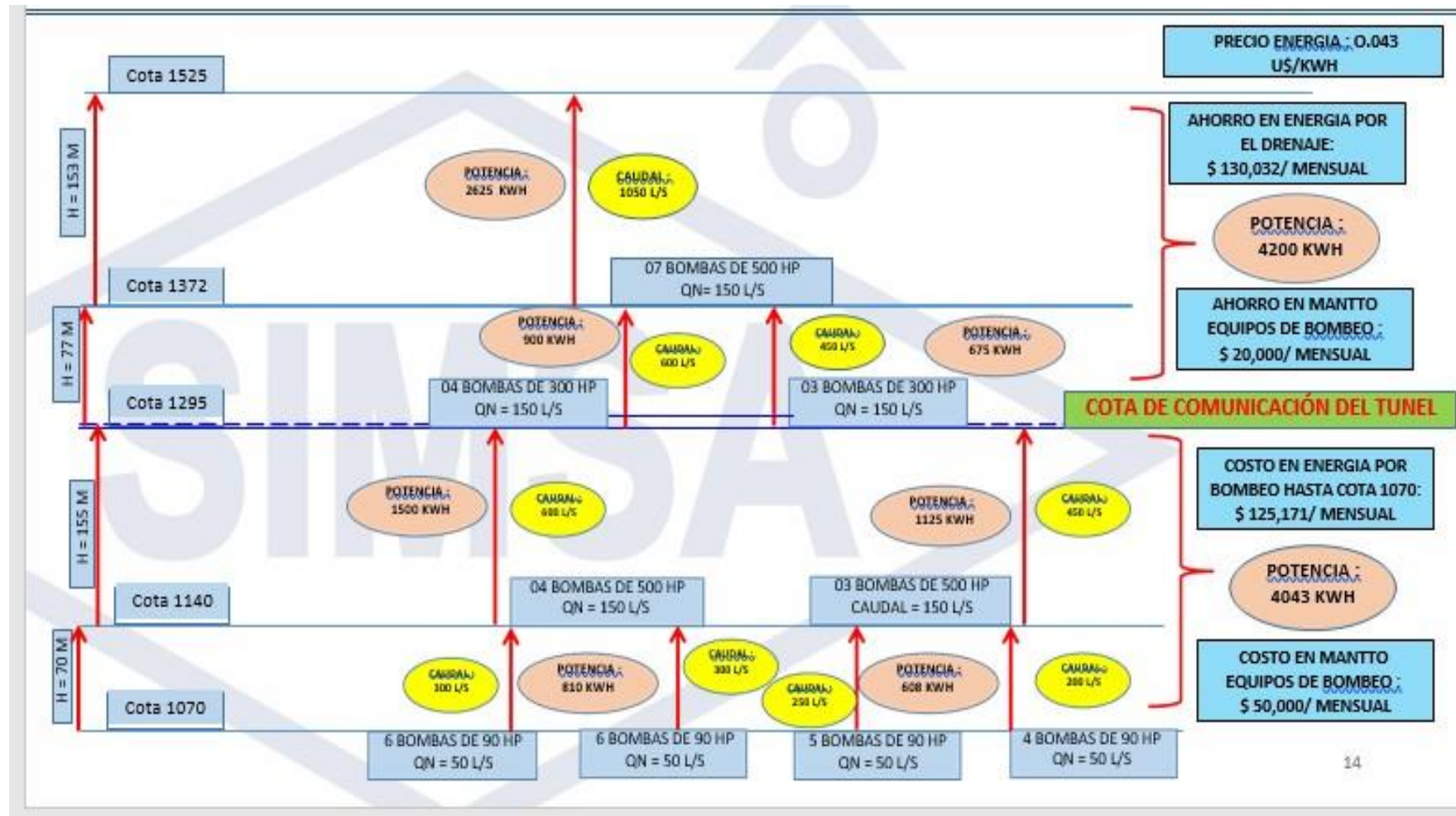


Figura 21. Proyecciones del sistema de bombeo rampa 1020

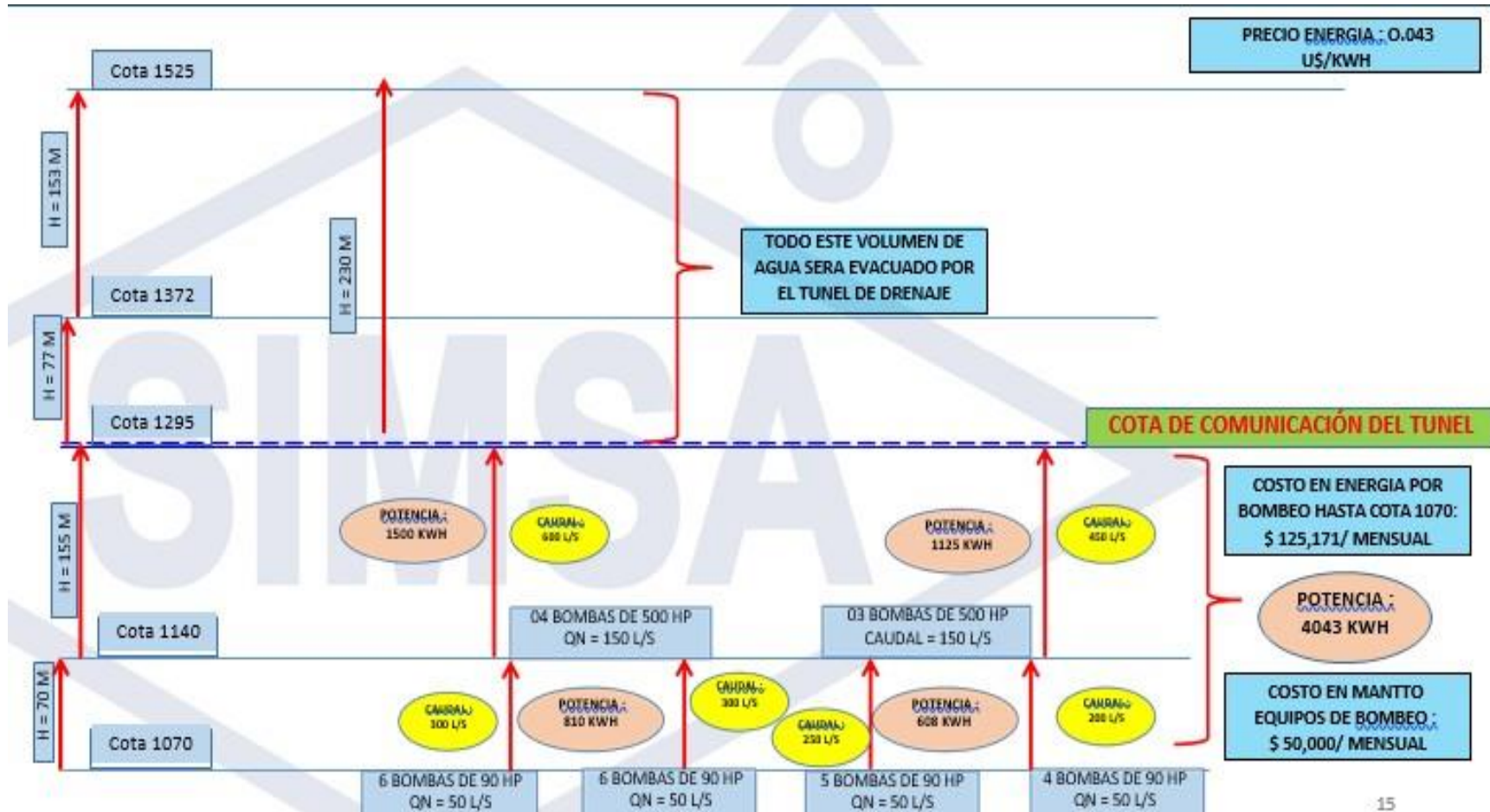


Figura 22. Proyecciones del sistema de bombeo rampa 1020

PROYECCION SISTEMA DE BOMBEO RAMPA 8090/ 8600/8010

Ahorro Total US\$ 2.13 M/año

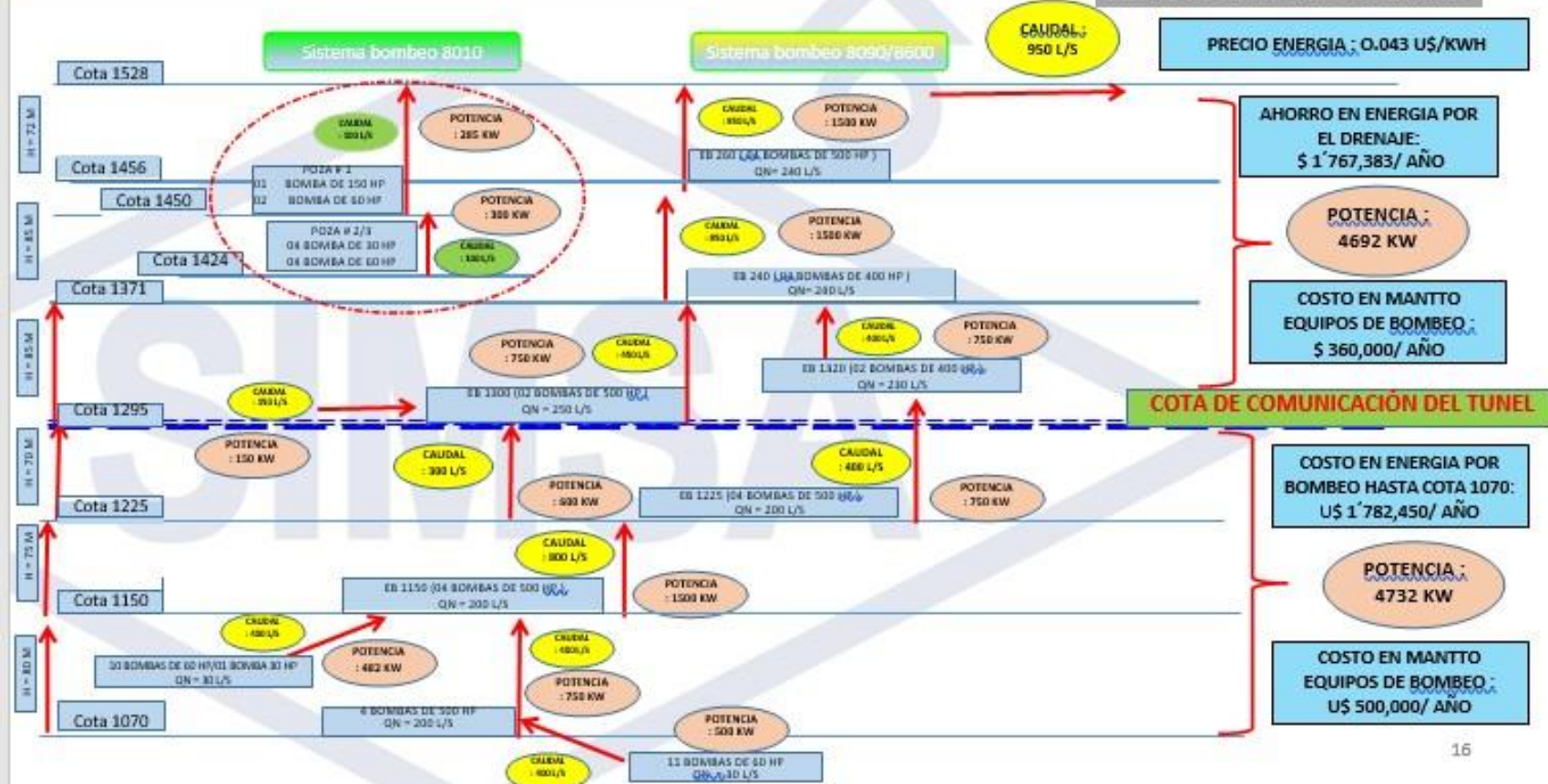


Figura 23. Proyecciones del sistema de bombeo rampa 8090/8600/8810

- **Suministro de energía eléctrica para la construcción**

El suministro será dado por Electrocentro a partir de su sistema rural 22,9 KV que llega a Chalhuapuquio (peaje del Ministerio de Transportes). A este punto el sistema llega en trifásico y puede suministrar hasta 1.5 MW.

- **Disposición de materiales de desmonte**

Los desmontes que se producirán durante la excavación del túnel de drenaje, serán transportados hacia el botadero ubicado en cancha norte sector II.

- **Metrado y costo de obra**

La tabla de cantidades y costo del proyecto están detalladas en los cuadros.

- **Programa de investigaciones para el estudio definitivo**

Levantamiento topográfico a escala 1: 5000 de todo el trazo del túnel y el área ocupada por la mina San Vicente.

Levantamiento topográfico a escala 1: 100 de las siguientes zonas: portal del túnel, pozas de sedimentación, canal, instalaciones auxiliares, accesos, botaderos y canteras. Replanteo topográfico del trazo del túnel y apoyo en el levantamiento geológico.

Levantamiento geológico a las escalas topográficas indicadas anteriormente de las siguientes zonas: el trazo del túnel, portal de entrada, pozas de sedimentación, botaderos y accesos. El levantamiento geológico será con apoyo topográfico.

Prospección sísmica de refracción con una longitud total de 3000 m.

4.3. Estudio económico del túnel Vilcapoma

- Resumen de costos del túnel Vilcapoma



Figura 24. Resumen de costos del túnel Vilcapoma

- **Detalle de la inversión del túnel Vilcapoma**

DETALLE DE LA INVERSIÓN EN EL TÚNEL VILCAPOMA

	Unidad	Metrado	P.U.
Avance Lineal	m	3,230	
Desquinces	m	3,23	
Sostenimiento	m		
Raise Borings	m		
Transporte	m		
Servicios Auxiliares			
Obras Civiles			
Desmontera			
Contingencia 10			

El Monto total en que incurriría el proyecto asciende a 10'843,068 US\$. 5'155,307 US\$ como labor minera y 5'687,760 US\$ que representa: Infraestructura, transporte, estudios y gestión de permisos, contingencias.

Este costo representa básicamente a la construcción del túnel, para analizar la viabilidad económica de proyecto, se debe considerar la operación de minado, la operación de bombeo de agua de la parte baja del túnel.

Inv

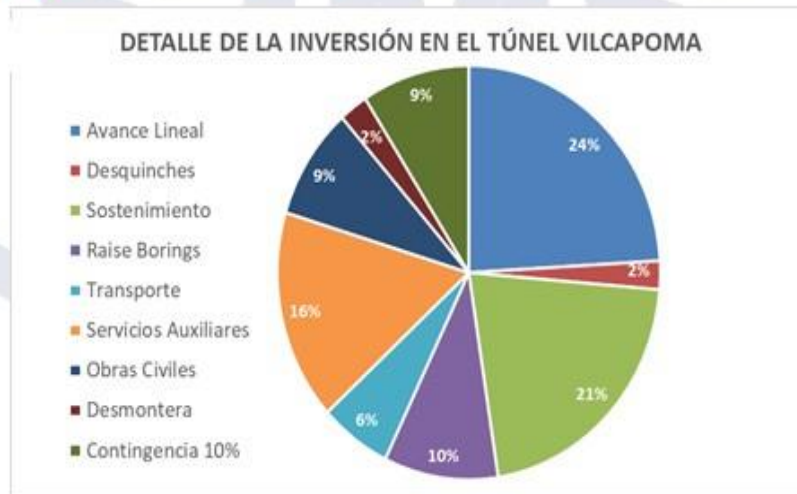


Figura 25. Detalle de la inversión del túnel Vilcapoma

- **Detalle del resumen de costos**

	Unidad	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	A
Ingreso	US\$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Costo Operativo	US\$	0	2,208,000	2,208,000	2,208,000	2,208,000	2,208,000	2,208,000	2,208,000	2,	
Depreciación	US\$	0	-1,204,785	-1,204,785	-1,204,785	-1,204,785	-1,204,785	-1,204,785	-1		
Utilidad Antes de Impuestos	US\$	0	1,003,215	1,003,215	1,003,215	1,003,215	1				
Impuestos (30.00%)	US\$	0	-300,964	-300,964	-300,964						
Utilidad Después de Impuestos	US\$	0	702,250	702,250							
Depreciación	US\$	0	1,204,785								
Inversiones Propias	US\$	-10,843,068									
Flujo de Caja	US\$	-									

VAN (10.00%)

Perio

Notas:

Costo Operativo = se refiere al ahorro anual

Depreciación = 9 años

Valor de Rescate = 20% Valor Inicial de Transformadores, Tableros, Bombas, Ventiladores y Cables

Figura 26. Detalle del resumen de costos

4.3. Discusión de resultados

4.4.1. Evaluación del estudio técnico para la construcción del túnel Vilcapoma

Para el drenaje de aguas subterráneas, en la profundización de la zona norte manto III piso por la rampa 1010 (cota 1200), se justifica debido que en el proceso de busque de reservas se pudo determinar la presencia de recursos de mineral, pero por la presencia del agua que requería de bombeo de 1,050 l/s con una altura estática de 400 metros, hizo inviable de forma técnica y económica mantener la operación, por lo cual se abandonó esa zona.

Actualmente, en la profundización del manto Ayala Inferior por la rampa 8600 (cota 1260), se viene explotando los recursos de mineral lo cual se tiene un caudal de 430 l/s, con proyección a 850 l/s. Conforme se continúe el avance de la rampa los caudales se incrementarán haciendo que los costos de bombeo se eleven (consumo de energía y repuestos de bombas) En san Vicente se tiene identificado dos problemas grandes, el agua y los efectos del manejo del agua. En la profundización de la zona norte manto III Piso por la rampa 1010 (cota 1200), en el pasado, se minó recursos de mineral, pero por la presencia del agua que requería de bombeo de 1,050 l/s, con una altura estática de 400 metros, hizo inviable de forma técnica y económica mantener la operación, por lo cual se abandonó esa zona.

Actualmente, en la profundización del manto Ayala Inferior por la rampa 8600 (cota 1260), se viene explotando los recursos de mineral lo cual se tiene un caudal de 430 l/s, con proyección a 850 l/s. Conforme se continúe el avance de la rampa los caudales se incrementarán haciendo que los costos de bombeo se eleven (consumo de energía y repuestos de bombas), en tal sentido se hace factible la construcción del túnel ya que técnicamente y geo mecánicamente luego de los pertinentes estudios se demuestra que el proyecto será eficiente para el proceso del desagüe de las aguas subterráneas.

Por otro lado, según el reporte geológico, en la profundización Ayala inferior se tiene recursos minerales del orden de 3´687,883 t con ley de 10.07 % de Zinc, que hace sustentable su ejecución

4.4.2. Resultados del estudio económico de la construcción del túnel Vilcapoma para el drenaje de aguas subterráneas

De la evaluación económica se deduce que el monto total en que incurriría el proyecto asciende a 10'843,068\$. 5'155,307\$ como labor minera y 5'687,760\$ que agrupa a infraestructura, transporte, estudios y gestión de permisos, contingencias; este costo representa básicamente a la construcción del túnel, para analizar la viabilidad económica de proyecto, se debe considerar la operación de minado, la operación de bombeo de agua de la parte baja del túnel.

Del análisis de la parte económica se puede deducir que:

Costo operativo = se refiere al ahorro anual depreciación = 9 años

Valor de Rescate = 20 %

Valor Inicial de transformadores, tableros, bombas y ventiladores.

Por lo tanto, se puede afirmar que para darle vida a esta zona y el futuro de la empresa se requiere contar con un túnel de desagüe de la mina.

CONCLUSIONES

1. El proyecto es factible tanto en la parte técnica y económica, debido que la capacidad operativa y económica para su ejecución está garantizada con la explotación de las reservas las cuales ascienden a 3'687,883 TM con ley de 10.07 % de Zinc, siendo la inversión de 10'843,068\$, los cuales de acuerdo al flujo económico serán recuperados a partir del periodo séptimo y octavo.
2. La construcción del túnel es factible, ya que actualmente la zona donde se proyecta la construcción del túnel cumple con los requerimientos técnicos, tanto en la parte geomecánica como en la disponibilidad mecánica de los equipos destinados.
3. El monto total en que incurriría el proyecto asciende a 10'843,068\$. 5'155,308\$ como labor minera, y 5'687,760\$ como Infraestructura, transporte, estudios y gestión de permisos, contingencias, este costo representa básicamente la construcción del túnel.
4. Para analizar la viabilidad económica de proyecto, se debe considerar la operación de minado, la operación de bombeo de agua de la parte baja del túnel.

RECOMENDACIONES

1. Es de suma importancia que en la tesis esté bien delineada la formulación del problema, en concordancia con la posible respuesta de la hipótesis y un objetivo pertinente para que guíe la investigación.
2. El estudio de campo es bien importante, cuando se pretende drenar las aguas de una mina, porque conociendo las características del terreno, por donde se construirá el túnel, se puede proponer con conocimiento de causa, alternativas de modificación técnica o diseño según que el caso amerite.
3. Supervisar y controlar siempre el frente del túnel, antes, durante y después de su construcción, para hacer su seguimiento, con el fin de verificar el comportamiento de la roca.
4. Durante la ejecución de obras civiles: tener en cuenta la disposición de equipos para el ingreso de materiales, herramientas y otros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. PALOMINO, D. *Proyecto Del Túnel 2006 U. P. Contonga de minera Huallanca S. A.* (Título de Ingeniero de Minas). Huancayo: Universidad Nacional Del Centro Del Peru,, 2010, 155 pp.
2. RAFAEL, J. *Implementación de un sistema de bombeo integral para la evacuación de aguas subterráneas en minera Kolpa S. A.* (Título de Ingeniero de Minas). Huancayo - Peru : Universidad Nacional Del Centro Del Peru, 2019, 112 pp.
3. RODRIGUEZ, M. *Mejoramiento del sistema de bombeo para evacuación eficiente de aguas subterráneas en Volcan compañía minera S.A.A - unidad San Cristóbal.* (Título de Ingeniero de Minas). Huancayo : Universidad Nacional Del Centro Del Peru, 2014, 79 pp.
4. CONDEZO, H. *Mejoramiento del sistema de bombeo y drenaje de aguas subterráneas unidad de producción Uchucchacua- Cía. de minas Buenaventura S.A.A.* (Título de Ingeniero de Minas). Cerro de Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, 2019, 72 pp.
5. FRANCO, J. *Optimización del sistema de bombeo de agua subterránea para satisfacer su demanda volumétrica, en Volcán compañía minera S. A. A.- Unidad Chungar.* (Título de Ingeniero Mecánico). Huancayo: Universidad Nacional Del Centro Del Peru, 2015, 72 pp.
6. CONDORI, P. *Evaluación, mejoramiento de rendimientos operativos y actualización de precios unitarios en la ejecución del Crucero 500 – mina Yanaquihua – Arequipa.* (Título de Ingeniero de Minas). Arequipa - Peru : Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa, 2017, 151 pp.
7. SUMARIA, R. y SUAREZ, C. *Análisis técnico-económico para la ampliación de un sistema de bombeo de dos etapas en el interior de una mina subterránea.* (Título de Ingeniero de Minas). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2019, 117 pp.

8. ORTÍZ, G. *Diseño e implementación del sistema de bombeo principal del sector A - mina Calenturitas propiedad de C:1 Prodeco S.A., La Loma, Cesar.* (Título de Ingeniero de Minas). Sogamoso–Boyacá : Universidad Pedagógica y Tecnológica De Colombia, 2014, 90 pp.
9. NINANYA, H. *Análisis numérico de flujo subterráneo: caso mina subterránea De Vazante – Brasil.* (Título de Ingeniero de Minas). Lima Universidad Ricardo Palma, 2015, 120 pp.
10. SOTO, P. *Construcción de túneles.* (Título de Constructor Civil). Chile: Universidad Austral De Chile, 2004, 144pp.