



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



DISEÑO DE TAPONES HERMÉTICOS PARA CIERRE DE MINAS

EN LA UNIDAD MINERA RECUPERADA

EXAMEN DE SUFICIENCIA DE COMPETENCIA PROFESIONAL

PRESENTADO POR:

Bach. NAGUITH ELADIO FLORES MENDOZA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO – PERÚ

2019



DEDICATORIA

A mi madre Gladis Mendoza Choquenaira,

mi hermana y familia más cercana

*A todos ustedes es una satisfacción y un privilegio dedicarles con alegría
entusiasmo personal profesional y también intelectual, las horas invertidas en el
presente trabajo investigación que nos es más que la evidencia de la muestra del amor
y cariño hacia ustedes.*



AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a mis padres por darme la vida por los valores y fuerzas para afrontar el día a día, siempre dispuestos a escucharme y darme su apoyo incondicional, también por el sacrificio que ellos realizaron para que yo termine la carrera profesional de Ingeniería de Minas.

Agradezco a los docentes de la Facultad de Ingeniería de Minas, que fueron parte de la formación académica -profesional y que estuvieron siempre dispuestos a responder mis preguntas y aclarar mis dudas impartiendo conocimiento y experiencias que fueron vitales en mi aprendizaje.

Agradezco a Juan Carlos Alarcon Bendezu Ingeniero de Minas -Geomecánico en que fue mi mentor y amigo durante la ejecución del presente trabajo quien con amabilidad impartió sus enseñanzas y conocimientos.

Agradezco a la Universidad Nacional del Altiplano Puno, mi alma mater que me tuvo entre sus aulas los años de mi formación profesional otorgándome parte del conocimiento que he adquirido y que me servirá en el crecimiento profesional.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

TITULO.....	8
AUTOR Y AFILIACION.....	8
RESUMEN	8
PALABRAS CLAVE.....	8
ABSTRACT.....	9
I. INTRODUCCIÓN	10
II. MATERIALES Y MÉTODO	11
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
IV. CONCLUSIONES	20
V. RECOMENDACIONES	21
VI. REFERENCIAS.....	21



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Características sección (horizontal y vertical) y ubicación del tapón hermético.....	16
Tabla 2	Información geomecánica RMR, Q	16
Tabla 3	Resistencia a la compresión Soiltest	17
Tabla 4	Área del tapón a diseñar	17
Tabla 5	Capa de macizo rocoso y carga hidráulica.....	17
Tabla 6	Dosificación de mezcla concreto.....	18
Tabla 7	Resistencias al corte	18
Tabla 8	Esfuerzos de corte.....	19
Tabla 9	Longitud de los taponos (m)	19



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Curva de isoaceleraciones 10% excedencia 100 años	15
Figura 2 Resultado de longitud de tapones herméticos.....	20



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RMR: Rock mass rating.

RQD: Rock quality design.

GSI: Geological strength index.

Q: Índice Q de Barton.

ASTM: American Society for Testing and Materials.

MPA: Mega pascales.

PA: Pascales.

KPA: Kilopascales

UNI: Universidad Nacional de Ingeniería.

V: Velocidad en tierra.

C: Velocidad acústica del agua.

P : Presión hidráulica del líquido.

L : Longitud del tapón.

E.030: Norma de diseño sismorresistente.

ACI: Control de fisuración.

MF: Modulo de finura.

TMN: Tamaño máximo nominal.



Diseño de tapones herméticos para cierre de minas en la unidad minera Recuperada

Hermetic plug design for mine closure in the mining unit Recuperada

Naguith Eladio Flores-Mendoza (<https://orcid.org/0000-0002-6931-2841>),
Naguith2@gmail.com, +51 951695969.

RESUMEN

Las actividades descritas en el presente artículo se desarrollaron en la unidad minera Recuperada, en zonas Rublochico y Escopeta, ubicadas en Huachocolpa, provincia de Huancavelica, departamento de Huancavelica, los trabajos se realizaron entre los años 2016 y 2017. La problemática surge de la necesidad de cerrar las bocaminas permanentemente afectados por los factores sísmicos, geomecánico e hidrogeológicos afectan directamente en el diseño del tapón hermetico pudiendo comprometer resistencia, estabilidad física , química y funcionalidad .Los objetivos fueron mostrar el cálculo obtenido, comparación y selección del mejor diseño de los 18 tapones herméticos que satisfacen todas las necesidades y son utilizados en el proceso de cierre de minas . La metodología utilizada fue empírica y experimental utilizando métodos de recolección de información en campo y en gabinete evaluaciones de características geomecánicas, hidrológicas – hidrogeológicas y estructurales para 18 tapones, así también se usó guías y normas para cierre de minas. Se obtuvo resultados de carga hidráulica, clasificación RMR, dosificación de la mezcla del concreto; con estas se calculó las dimensiones del tapón hermético para cada labor, posteriormente se comparó los resultados para el método resistencia de corte concreto – roca y golpe de ariete hidráulico. Concluyendo que los diseños de tapones hermético seleccionados por el método de golpe de ariete hidráulico satisfacen la condición de cargas de movimiento sísmico y las ondas que propagan en una labor llena de un líquido en reposo, de la comparación se concluyó que no se puede estandarizar o utilizar un diseño para otra mina estando condiciones similares.

Palabras clave: carga hidráulica, resistencia al corte, golpe ariete hidráulico, longitud de tapón.



ABSTRACT

The activities described in this article were developed in the Recuperada mining unit, in the Rublochico and Escopeta areas, located in Huachocolpa, Huancavelica province, Huancavelica department, the work was carried out between 2016 and 2017. The problem arises from necessity to close the mine openings permanently affected by seismic, geomechanical and hydrogeological factors, descriptions directly in the design of the hermetic plug, which may compromise resistance, physical, chemical stability and functionality. Hermetic plugs that meet all needs and are used in the mine closure process. The methodology used was empirical and experimental using data collection methods in the field and in the office, evaluations of geomechanical, hydrological - hydrogeological and structural characteristics for 18 plugs, as well as guidelines and standards for mine closure. Results of hydraulic load, RMR classification, concrete mix dosage were obtained; With these, the dimensions of the hermetic plug were calculated for each job, subsequently the results for the concrete shear resistance method - rock and hydraulic hammer were compared. Concluding that the hermetic plug designs selected by the hydraulic water hammer method satisfy the condition of seismic movement loads and the waves that propagate in a work filled with a liquid at rest, from the comparison it was concluded that it cannot be standardized or use a design for another mine in similar condition.

Keywords: hydraulic load, shear resistance, water hammer, plug length.



1. INTRODUCCIÓN

El cierre de minas de los proyectos mineros es un tema delicado y de suma importancia ya que, una vez culminada la actividad de explotación minera, será la última imagen mostrada por la minería y resaltan los impactos positivos y negativos.

Antecedentes, El presente artículo se encuentra enmarcado en los siguientes aspectos legales vigentes: la Constitución Política del Perú de 1993, en su artículo 2°, inciso 22, establece que: "Toda persona tiene derecho a la paz, la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida".

La investigación tiene como alcance 18 labores subterráneas horizontales húmedas (bocaminas) en la unidad minera Recuperada en sus zonas Rublo chico y Escopeta; el propósito es mostrar resultados empíricos los cuales puedan contribuir como bibliografía o base en trabajos similares futuros ya que el proceso de cierre de minas es una actividad sumamente importante y debe cumplir con los compromisos ambientales correspondientes a su instrumento de gestión ambiental aprobado y en concordancia con su Política Ambiental y en cumplimiento con las normas legales vigentes Ley N° 28090, 2005 Ley que regula el cierre de minas "...minimización y el control de los riesgos y efectos sobre la salud, la seguridad de las personas, el ambiente, el ecosistema circundante y la propiedad, que pudieran derivarse del cese de las operaciones de una unidad minera" y su Reglamento D.S. N° 033-2005-EM por lo cual se requiere implementar tapones herméticos de cierre en la Unidad de Producción Recuperada, que está dirigido a conseguir un cierre planificado de las operaciones a Nivel de Factibilidad, de

manera tal que se minimice los impactos ambientales post – cierre asegurando su estabilidad física , química y ambiental, de esta manera se aplicara el protocolo.

Se ha considerado la ley que regula el cierre de minas y su reglamento, así también, se ha seguido los criterios recomendados en la Guía para la elaboración de planes de cierre de minas, emitidas por el Ministerio de Energía y Minas.

Uno de los antecedentes iniciales es el primer instrumento ambiental aprobado en el año 1997 es el Programa de Adecuación y Manejo Ambiental de U.P. "Recuperada" de Cía. de Minas Recuperada S.A. mediante Resolución directoral N° 037-97-EM/DGM, y según la Actualización del plan de cierre de minas de la unidad minera Recuperada elaborada por Pasminaa S.A.C. (2016) "...serán cerradas con muros de concreto ciclópeo, tapones herméticos y/o rellenados con material propio en el caso de las bocaminas".

Se uso también la información de la tesis Diseño de tapones herméticos en labores de remediación pasivo ambiental para la mina Recuperada - Huancavelica "...nos muestra que para la determinación del método de cierre, tipo de estructura a emplear en la zona de estudio, se realiza en base a la evaluación de los parámetros (datos) obtenidos en la investigación hidráulica..."(Paucar, 2015).

Se analizo también trabajos similares realizados como la tesis de Diseño de tapones herméticos de bocaminas de la ampliación ANCOYO II - Unidad Minera Paula - E.C. SERMINAS E.I.RL.(Deza, 2014).

Como parte de la evaluación se utilizaron bastantes criterios geomecánicos recopilados de la Guía de criterios geomecánicos para diseño



construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas (Osinerming, 2017), usando como técnica importante para los cálculos el RMR (Bienawsky, 2014) y criterios de rotura-falla (Hoek, Corkum, & Carranza, 2002) y en la evaluación hidrogeológica realizada previamente por Cesel Ingenieros (2005) se utilizó la data existente de zonas cercanas proporcionada del estudio hidrogeológico considera los criterios para calcular la carga hidráulica (Ariel, Davist & De Wiest, 1971) (Vélez, 1999).

La hipótesis propone una estabilidad física, con la reducción del riesgo ambiental a través de la ubicación óptima del tapón para el cierre de minas; esta ubicación determina el control de falla por fractura hidráulica y la estabilidad con el diseño presentado es aceptable al tener criterios de estabilidad y de seguridad altos.

El objetivo de este trabajo es mostrar los resultados al dimensionar los tapones herméticos para cierre de minas realizado por diferentes criterios.

Como objetivos secundarios: Se quiere comparar los resultados obtenidos de acuerdo al método utilizado.

Analizar si se pueden usar en otras unidades mineras o estandarizar sus dimensiones en condiciones similares.

2. MATERIALES Y MÉTODO

El presente artículo se realizó para una población de dieciocho labores subterráneas distribuidas en dos zonas Rublo chico y Escopeta dentro de la unidad minera Recuperada ubicada en Huachocolpa, provincia de Huancavelica, departamento de Huancavelica, los trabajos se realizaron entre los años 2016 y 2017.

Materiales. Para el presente diseño de tapones herméticos para cierre de

minas se utilizó como materiales base de información de la Guía para el diseño de tapones para el cierre de labores mineras del Ministerio de energía y minas del Perú, así también las normativas vigentes aplicables a Perú referidas a cierre de minas estándares, evaluaciones ambientales, evaluaciones geológico-estructurales, geomecánico, geotécnicos, evaluación – clasificación y caracterización del macizo rocoso, ensayos de propiedades físicas y ensayos de resistencia a esfuerzos, evaluación de peligro sísmico se realizó aplicando la metodología desarrollada por Cornell (1968) en términos probabilísticos, metodología que fue modificada e implementada en el programa de cómputo RISK por McGuire (1976) , evaluaciones hídricas, información de estaciones climatológicas e información del SENAMHI de 11 estaciones meteorológicas de las cuales 05 son estaciones pluviométricas, San Genaro, Villena, Churcampa, Santa Rosa ,Huachocolpa y 06 estaciones climatológicas ordinarias Lircay, Paucarbamba, Acobamba, Pilchaca, Huancavelica , La Mejorada; topografía detallada, caminos, construcciones, mapa de las labores subterráneas, uso del software Rocscience.

Método. Las técnicas utilizadas para la presente investigación comprenden un conjunto de recolección de datos históricos, toma de datos y evaluaciones en campo, análisis y ensayos de laboratorio, cálculos y evaluación de resultados, diseños, replanteo, preparación ejecución y construcción de tapones.

Siguiendo dicha metodología el orden cronológico de ejecución de trabajos sería actividades:

Actividades preliminares: En esta fase preliminar se recopiló la información existente sobre la hidrología, cartografía, geología local, hidrogeología y



geomecánica de estudios anteriores realizados como: Estudios de Impacto Ambiental, Estudios Hidrológicos e Hidrogeológicos, Estudios Geomecánicos, Geotécnico, entre otros; de los cuales se evaluó dicha información tomándola como información base, para el desarrollo del estudio.

Trabajos de campo: Luego de haber procesado y evaluado la información recopilada en los trabajos realizados en campo, se desarrollaron las siguientes actividades: se realizó una evaluación de las características geológicas mediante el uso de mapeos geológicos y lito estructurales resaltantes, determinando las potenciales áreas de flujo subterráneo; asimismo según las formaciones geológicas identificadas en la zona de estudio, se infirió la conductividad hidráulica.

Se identificaron las áreas de recarga de nivel freático, tomando en cuenta la presencia de corrientes de agua superficiales y manantiales dentro de la zona de estudio.

Se tomaron muestras de calidad de agua; paralelamente se realizó la toma de parámetros físico químicos in situ (Temperatura, pH y conductividad eléctrica) y se aforaron las bocaminas de estudio.

Se desarrollaron labores de prospección geo eléctrica a fin identificar la litología y estructuras (fallas) en profundidad.

Se seleccionó la ubicación de los tapones herméticos y se caracterizó el macizo rocoso respecto a las condiciones de la roca alrededor del área del tapón; además se caracterizó el grado de las alteraciones de las unidades de roca, se usó la clasificación de la masa rocosa, denominada Sistema de Clasificación Geomecánica o Valoración de la Masa Rocosa RMR (por sus siglas en inglés:

Rock Mass Rating), Bieniawski (2014), se realizó la estimación de los esfuerzos verticales se determina a partir de la columna vertical de roca reposando sobre el punto de medición establecido (profundidad y peso unitario de la roca), mientras que el esfuerzo horizontal es determinado a partir de una constante (k) el cual depende del Módulo de deformación promedio y del esfuerzo vertical (Sheorey, 1994).

Trabajo de Gabinete: Las actividades de gabinete se realizarán en base a la información recopilada de estudios anteriores y la evaluación de campo.

El coeficiente de diseño sísmico a ser usado en el diseño sísmico pseudoestático se determina en base a la zona, condición del suelo e importancia de la estructura. Si la estructura es flexible, la carga sísmica se modifica tomando en cuenta su periodo fundamental y se evaluó sus capacidades de resistir terremotos determinando la sismicidad regional posteriormente identificando las características sismo tectónicas, estimar la atenuación de los efectos sísmicos regionales estimar el sismo de diseño, se analizaron los métodos Método Empírico (Sauter 1978-1980), Método Teórico (Whitman 1973-1975), Método Probabilístico – Peligro Sísmico utilizando el programa de cómputo CRISIS2007v1.1, desarrollado y actualizado por Ordaz et al (2007), considerando la ley de atenuación de Young et al (1997) para los sismos de subducción de interfase e intraplaca y la ley de atenuación (Sadigh et al 1997) para sismos continentales.

Para el análisis hidrológico se utilizó el estudio hidrogeológico de la unidad la cual procesó los registros de precipitaciones mensuales, anuales y máximas diarias; descargas medias, máximas y mínimas mensuales, y

evaporaciones mensuales y anuales realizando un análisis de consistencia.

El criterio de falla original desarrollado por Hoek & Brown, basándose en la experiencia empleando ese criterio en numerosos proyectos, (Hoek et. Al., 1992).

Ensayos de laboratorio para resistencia a la compresión en roca según la norma ASTM D 3148 utilizando la prensa Soiltest.

Ya recolectada toda la información mencionada se puede satisfacer los criterios de evaluación.

Diseño por corte en el caso de taponos paralelos, el enfoque de diseño que el proponente deberá seguir asume que la carga inducida por la presión hidrostática sería transmitida del tapón de concreto a la roca como corte y alrededor del perímetro del tapón y en toda su longitud:

Resistencia al corte del concreto

El esfuerzo de corte permisible ($f's$) para el concreto sin esfuerzo la determina el ACI (1972) en base al siguiente modelo matemático.

$$f's = 166.1\sqrt{f'c}$$

Donde $f'c$ está en MPa y $f's$ se proporciona en KPa.

Resistencia al corte del macizo rocoso: Para un macizo rocoso de y empleando la resistencia al corte en base a los ensayos realizados a muestras rocosas, regular calidad el esfuerzo de corte máximo permisible en la cantidad de kPa para cada labor, considerando un factor de seguridad de 3.

Diseño basado en la resistencia al corte en la Interfaz de concreto/roca: Tradicionalmente, la industria minera sudafricana ha diseñado taponos basados

en la resistencia al corte de la interfaz de roca/concreto. Típicamente, la longitud de diseño de un tapón rectangular se calcula tomando como base la siguiente fórmula desarrollada por Garrett & Campbell-Pitt (1961).

$$L = (Pf \cdot A) / (Pe \cdot f's)$$

Donde

Pf = Presión de fluido aplicada

$$(Pa) = \rho \cdot g \cdot H$$

H = Carga del fluido en el tapón (m)

ρ = Densidad del fluido (kg/m^3)

g = Constante gravitacional ($9.81 m/s^2$)

A = Área de la cara aguas arriba del tapón

Pe = Perímetro de sección transversal del tapón

Para la sección rectangular,

$$A = w \cdot h \text{ y } Pe = 2(w + h)$$

w = Ancho del túnel o tapón (m)

h = Altura del túnel o tapón (m)

L = Longitud del tapón (m)

$f's$ = Esfuerzo de corte permisible de la roca o concreto en la interfaz, la que sea menor (Pa)

La ecuación anterior cumple con un factor de seguridad de 3.0 para el fallamiento por corte.

El Mecanismos físico/químicos de largo plazo: El tipo de cemento a ser empleado en la construcción de los taponos es el Portland tipo V, el cual es usado donde sea requerido una elevada resistencia a la acción concentrada de los sulfatos.

Cabe indicar que el concreto a emplearse en la construcción del tapón es de $f'c = 280 kg/cm^2$, Este concreto se ha preparado de acuerdo al diseño de mezcla realizado por el laboratorio UNI y bombeado en el tapón hermético, cumpliendo sus especificaciones técnicas.

Diseño por resistencia a cargas hidráulicas (Ariete hidráulico)



El ariete hidráulico se define como la onda de impacto causada por un sismo que se podría propagar a través de la longitud del túnel.

La presión adicional (PH) (de acuerdo con Westergaard, 1931) requerida para determinar el fluido en movimiento en velocidad (v) se puede estimar:

$$PH=c(v)p$$

Donde:

c = velocidad acústica del agua (1437 m/s)

v = velocidad en tierra (m/s)

ρ = densidad del agua (kg/m^3)

Considerando la relación entre velocidad en tierra v_{max} y aceleración sísmica máxima a_{max} , como lo considera aproximadamente Seed e Idriss (1983) como:

$V_{\text{max}} / A_{\text{max}} = 55\text{cm/s/g}$ o el equivalente en aceleración de diseño.

La práctica sudafricana requiere que se realicen verificaciones sobre la longitud del tapón para garantizar que la gradiente de presión (P/L) a través del tapón no exceda los siguientes criterios:

$P/L \leq 470 \text{ kPa/m}$; cuando el contacto entre el tapón y la roca no está inyectado, o $\leq 3660 \text{ kPa/m}$; cuando la presión de la inyección aplicada dentro del macizo rocoso alrededor del tapón es por lo menos dos veces la presión hidrostática de diseño.

Donde:

P = presión hidráulica del líquido según diseño (o presión) (kPa).

L = longitud del tapón (m).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados

El diseño de tapones herméticos para cierre de minas representa un análisis de diversas áreas por lo cual se consideran los resultados obtenidos de la toma de datos, análisis, investigaciones, cálculos y ensayos de laboratorio; de manera consecuente una vez recolectado los resultados necesarios se procedió a realizar los cálculos para el dimensionamiento de los tapones herméticos llegando a los resultados finales.

Los resultados geológicos se obtuvieron que el modelado actual de la zona del Proyecto y alrededores se debe primero a la tectónica andina, que ocurrió en el terciario después de la formación de los sedimentos calcáreos del cretáceo, los cuales han generado un vulcanismo asociado a fallamientos y plegamientos de las rocas, que han formado la Cordillera de los Andes. La mineralización en vetas se forma durante la fase compresiva miocénica y fueron el resultado de la acción conjugada de los esfuerzos E-W y del movimiento de bloques a lo largo de las fallas principales, a consecuencia de los cuales se produjeron desgarres sub paralelos a estas direcciones principales hace 8 millones de años (McKee, 1975). A nivel local la geología se ubica en el sistema Paleógeno – Neógeno ubicados a lo largo del cuadrángulo de Tantara, Castrovirreyna, Apachet y Chahuarma; presentados también depósitos cuaternarios, glaciofluviales (Q-glf), depósitos aluviales (Q-al), depósitos coluviales (Q-co).

Geomorfológicamente la unidad minera recuperada se encuentra la Cordillera Occidental, que es esencialmente meso cenozoica, cubriendo la mayor parte del departamento y situándose en sus zonas central y occidental, y la Cordillera Oriental, que es principalmente paleozoica, ubicada en la región nor oriental del departamento. Ambos conjuntos se hallan divididos por

profundas depresiones interandinas por las que discurren el río Mantaro y sus tributarios.

El área del proyecto, según el Mapa de Zonificación Sísmica del Perú propuesto por la nueva Norma de diseño sísmo resistente E-030 del Reglamento Nacional de Construcciones (2016), se ubica en la “Zona 2 y 3”, clasificado como “Sismicidad media”. el resultado es una curva de peligro sísmico.

Figura 1

Curva de Isoaceleraciones 10% excedencia 100 años.



De la figura se relaciona la aceleración y su probabilidad anual de excedencia y considerando un coeficiente lateral sísmico entre 1/2 a 2/3 del valor de la aceleración horizontal máxima considerada. Considerando un periodo de retorno de 100 años y un 50% de la aceleración máxima el coeficiente sísmico (aceleración de diseño) es 0.20g.

Las bocaminas analizadas de la Unidad de minera Recuperada, se halla en varias microcuencas analizándose dos principales la del río Carhuapata es un afluente de la margen derecha del río Lircay u Opamayo y este a su vez de la subcuenca del río Huarpa, afluente importante de la margen izquierda de la cuenca del río Mantaro esta microcuenca, hasta el punto de interés, tiene cuatro quebradas: dos en la margen izquierda denominadas Llullucha y Manchaylla; y otras dos en la margen derecha denominadas Acchisayhua y Yuracmachay. Y como segunda microcuenca la del río Huachocolpa, dicha microcuenca del río Huachocolpa, limita por el norte con la quebrada Accurupampa, por el este limita con el río Pallcapampa, en tanto por el sur limita con los cerros Chipchilla y Yahuarcocha, y por oeste limita con la quebrada Suyomachay.

De acuerdo a las características geológicas de la zona, se pueden identificar a grandes rasgos dos zonas diferenciadas, la primera que corresponde a depósitos recientes (material cuaternario) que se ubican en las zonas adyacentes a las quebradas de la zona, y cuya permeabilidad se estima entre 10-3 y 10-4 m/s, y otra zona ubicada en las partes altas conformada por materiales del Mioceno y que corresponden a valores mayores a 10-6 m/s.

Las aguas superficiales monitoreadas, registran valores entre 8.2, 8.5, 8.2, 8.1 y 8.4. independientemente del valor se encuentran en un rango de PH ligeramente básico y las aguas de efluentes registran valores entre 8.49, 8.40 y 8.35 esto indica que existe una estabilidad química.

La sección varia en cada labor sin embargo la progresiva resultante de la ubicación del tapón hermético presenta características similares en las bocaminas ya que se mapeo el lugar óptimo para

ubicar el tapón hermético llegando a tener una similitud en el peso unitario de la roca de 2.7 t/m³.

Tabla 1

Características sección (horizontal y vertical) y ubicación del tapón hermético.

N.º	Zona	Código	H m	V m	Pro gres
1	RUBLO CHICO	BRC01	2	2	3
2	RUBLO CHICO	BRC10	2	2	19
3	RUBLO CHICO	BRC11	2	2.5	15
4	RUBLO CHICO	BRC17	2	2.5	10
5	RUBLO CHICO	BRC18	2	2.5	15
6	ESCOPETA	BESC01	2	2	10
7	ESCOPETA	BESC03	2	2	10
8	ESCOPETA	BESC04	2	2	10
9	ESCOPETA	BESC05	2	2	6
10	ESCOPETA	BESC07	2	2	7
11	ESCOPETA	BESC08	2	3	10
12	ESCOPETA	BESC09	2	2	3
13	ESCOPETA	BESC10	2	2	10
14	RUBLO CHICO	BAG01	2	2	30
15	RUBLO CHICO	BTE-01	2	2	3
16	RUBLO CHICO	BC03	2	2	45
17	ESCOPETA	MLnv760	2	2	10
18	ESCOPETA	BGE04	3	3	60

De la tabla 1 se puede analizar que la las labores subterráneas presentan características similares en dimensiones, sin embargo, la progresiva en la cual se ubicaron los tapones herméticos varia esto debido a que el criterio para seleccionar la mejor ubicación está basado en la búsqueda de la zona que presente mayor estabilidad y con mejores características geomecánicas.

Como resultado de las evaluaciones en campo siendo principalmente mapeos geomecánico

pudo obtener la siguiente información geomecánica.

Tabla 2

Información Geomecánica RMR, Q

Código	RMR	GSi	Q	RQD
BRC01	42	37	0.800	50
BRC10	35	30	0.360	43
BRC11	50	45	1.920	50
BRC17	47	42	1.390	54
BRC18	47	42	1.390	50
BESC01	54	49	1.740	57
BESC03	49	44	1.740	52
BESC04	49	44	1.790	51
BESC05	50	45	1.940	53
BESC07	51	46	2.170	50
BESC08	48	43	1.550	46
BESC09	42	37	0.800	37
BESC10	55	50	3.390	37
BAG01	51	46	2.180	53
BTE-ADIC-01	61	56	6.610	63
BC03	41	36	0.720	39
MLnv760	61	56	6.610	63
BGE04	61	56	6.610	63

De la tabla 2 se puede analizar que la las labores ubicadas en rublo Chico y en Escopeta presentan en promedio una clasificación RMR regular, las labores BTE-ADIC-01, MLnv760 y BGE04 presentan una clasificación de roca buena y BRC10 presenta una clasificación de roca mala, el valor de la Q de Barton fue calculado durante los mapeos geomecánicos y verificado con la correlación con el RMR y los valores obtenidos ratifican la información ya mencionada de la calidad de macizo roca.

Como resultado de los ensayos de laboratorio para resistencia a la compresión en roca se obtuvo resultados similares de acuerdo a la zona ya que las muestras de macizo rocoso son representativas por la ubicación colindancia y tipo de roca.

Tabla 3

Resistencia a la compresión Soiltest

Zona	Fuerza Kg	Área Cm ²	Resist a la compresión Mpa
RUBLO CHICO	9071.81	7.5	121.0
ESCOPETA	11113	7.5	148.2

Debido a que para el ensayo de compresión de roca se utilizan macizo de roca intactos independientemente de la bocamina que se extrajo la muestra los valores son similares para las labores ubicadas en Rublochico y Escopeta respectivamente obteniéndose por ello 2 valores únicos para cada zona.

Se debe obtener el hermetismo en el diseño por lo cual los tapones deberán realizar una sobre excavación en la labor.

Tabla 4

Área del Tapón a diseñar

Código	Ancho m	Alto m	Área m ²	Perímetro m
BRC01	2.5	2.5	5.75	9.59
BRC10	3	3	8.28	11.51
BRC11	3	3.5	9.66	12.43
BRC17	3	3.5	9.66	12.43
BRC18	3	3.5	9.66	12.43
BESC01	2.5	3	6.9	10.51
BESC03	2.5	3	6.9	10.51
BESC04	3	3	8.28	11.51
BESC05	2.5	2.5	5.75	9.59
BESC07	3	2.5	6.9	10.51
BESC08	3	4	11.04	13.29
BESC09	2	2.5	4.6	8.58
BESC10	2.5	3	6.9	10.51
BAG01	3	3	8.28	11.51
BTE-01	3	3	8.28	11.51
BC03	2	3	5.52	9.40
MLnv760	3	3	8.28	11.51
BGE04	4.5	4.5	18.63	17.26

El diseño de los tapones herméticos se calculará con el área que se

presenta en la tabla 4 ya que la sobre excavación es imperativa para poder anclar en ella los pernos e inyectar la solución de lechada seleccionada para impermeabilizar dicha sección.

Se calculo una carga hidráulica de acuerdo a la altura que presenta su ubicación con respecto a la superficie y se mapeo la capa de macizo rocoso que existe por encima de cada labor.

Tabla 5

Capa de macizo rocoso y carga hidráulica.

Código	Capa de macizo (m)	Carga Hidráulica
BRC01	13.00	27
BRC10	15.00	18
BRC11	14.00	22
BRC17	25.00	22
BRC18	30.00	22
BESC01	10.50	17
BESC03	9.00	14
BESC04	10.00	15
BESC05	8.00	17
BESC07	10.00	18
BESC08	11.50	15
BESC09	9.00	18
BESC10	10.00	14
BAG01	27.00	48
BTE-ADIC-01	10.00	20
BC03	23.00	15
MLnv760	9.50	20
BGE04	20.00	20

Las cargas hidráulicas varían bastante debido a las progresivas que se eligieron para cada tapón, en comparación con otros diseños de tapones las cargas hidráulicas que se presentan en RubloChico y Escopeta en general es baja.

En este punto es necesario indicar que los datos son calculados para satisfacer los criterios de diseño Guía

Para El Diseño De Tapones Para El Cierre De Labores Mineras (Ministerio de Energía y Minas, 2007), realizándose la evaluación consistente en el dimensionamiento del tapón por dos métodos diferentes, métodos que presenta dicha guía como son:

Diseño por corte: El enfoque de diseño asume que la carga inducida por presiones hidrostáticas se transmitiría desde el tapón de concreto a la roca como corte alrededor del perímetro del tapón y en su longitud en estos es necesario determinar:

Resistencia al corte del concreto: El esfuerzo de corte permisible (f'_s) para el concreto sin esfuerzo la determina el ACI (1972) en base a un modelo matemático y usando la consideración del concreto a usar será un portland tipo V considerando su resistencia a los 28 días que la compresión del concreto es de 280 kg/cm² (27.45 MPa), el esfuerzo de corte permisible del concreto, equivalente a 870 kPa, la dosificación de la mezcla se realizó analizando las canteras de material de préstamo que tiene el proyecto y materiales de desmonte que pudieran seleccionarse.

Tabla 6

Dosificación de mezcla de concreto

Material	Dosificación
Cemento Kg	476
Arena (MF: 4.43) (HUMEDAD: 2.38%) kg	951
Piedra (TMN: ¾") (HUMEDAD: 1.04%)kg	669
Agua L	201
Aditivo Chemaplast gr * bolsa cemento	7133.3

Resistencia al corte del macizo rocoso: Para un macizo rocoso de Regular calidad y empleando la resistencia al corte en base a los ensayos realizados a muestras rocosas, el esfuerzo

de corte máximo permisible variara de acuerdo al tipo de roca.

Diseño basado en la resistencia al corte en la Interfaz de concreto/roca la longitud de diseño de un tapón rectangular se calcula tomando como base la fórmula desarrollada por Garrett & Campbell-Pitt (1961) y deberá cumplir el factor de seguridad de 3.0 para falla por corte, de la cual la resistencia al corte de la roca se obtuvo del modelo de Ascano (1992).

Tabla 7

Resistencias al corte

Código	Resist corte concreto Kpa	Resist al corte por RMR	Resist al corte – roca Kpa	FS
BRC01	870.4	200-600	580.0	2
BRC10	870.4	100-300	270.0	2
BRC11	870.4	200-600	560.0	3
BRC17	870.4	200-600	530.0	3
BRC18	870.4	200-600	530.0	3
BESC01	870.4	200-600	500.0	2
BESC03	870.4	200-600	600.0	3
BESC04	870.4	200-600	600.0	3
BESC05	870.4	200-600	560.0	2
BESC07	870.4	200-600	500.0	2
BESC08	870.4	200-600	510.0	3
BESC09	870.4	200-600	560.0	2
BESC10	870.4	200-600	600.0	3
BAG01	870.4	200-600	600.0	3
BTE-01	870.4	300-900	800.0	3
BC03	870.4	200-600	500.0	2
MLnv760	870.4	300-900	750.0	3
BGE04	870.4	300-900	500.0	3

En la tabla 7 podemos apreciar el factor de seguridad está en un rango de 2 y 3, siendo 3 el factor aceptable para este método.

En la tabla 8 se puede apreciar los esfuerzos de corte de roca y concreto para cada tapón hermético.

Tabla 8*Esfuerzos de corte*

Código	Esfuerzo de corte – roca Kpa	Esfuerzo del concreto Kpa
BRC01	290.0	1087.5
BRC10	135.0	506.3
BRC11	186.7	700.0
BRC17	176.7	662.5
BRC18	176.7	662.5
BESC01	250.0	937.5
BESC03	200.0	750.0
BESC04	200.0	750.0
BESC05	280.0	1050.0
BESC07	250.0	937.5
BESC08	170.0	637.5
BESC09	280.0	1050.0
BESC10	200.0	750.0
BAG01	200.0	750.0
BTE-01	266.7	1000.0
BC03	250.0	937.5
MLnv760	250.0	937.5
BGE04	166.7	625.0

Cabe notar que el esfuerzo al corte permisible para el concreto, indicado en las ecuaciones, ya incorpora un factor de seguridad de 3. Como resultado de ello, no es necesario aplicar factores de seguridad adicionales al verificar el potencial de corte a través del concreto usando el valor estimado.

El segundo método es el diseño por resistencia a cargas hidráulicas: Considera las cargas dinámicas de ariete hidráulico y los impactos dinámicos. Considerando que estas condiciones son pasajeras, se puede aceptar un Factor de Seguridad menor que el aplicable, el efecto de ariete hidráulico se modela como el deslizamiento del pistón en un cilindro lleno con fluido en descanso. Es necesario calcular la presión adicional (PH) de acuerdo con Westergaard (1931) requerida para determinar el fluido en movimiento en velocidad (v) para este

análisis esta presión es de 287400 en todos los tapones herméticos.

Procediendo con el diseño del tapón hermético se calculó la longitud de los tapones teniendo estos resultados:

Tabla 9*Longitud de los tapones (m)*

Código	L por resist. al corte del concreto-roca	L por soporte concreto/roca	L por falla golpe de ariete
BRC01	0.55	0.29	2.79
BRC10	0.94	0.50	3.33
BRC11	0.90	0.48	2.72
BRC17	0.95	0.51	2.88
BRC18	0.95	0.51	2.88
BESC01	0.44	0.23	1.86
BESC03	0.45	0.24	1.91
BESC04	0.53	0.28	1.87
BESC05	0.36	0.19	1.82
BESC07	0.46	0.25	1.97
BESC08	0.72	0.38	1.91
BESC09	0.34	0.18	2.15
BESC10	0.45	0.24	1.91
BAG01	1.69	0.90	5.99
BTE-01	0.53	0.28	1.87
BC03	0.35	0.18	1.83
MLnv760	0.56	0.30	2.00
BGE04	1.27	0.68	2.00

De la tabla 9 ya se puede realizar una comparación de las longitudes resultantes a los cálculos siendo el golpe de ariete hidráulico el que presenta mayor longitud, la ubicación de los tapones fue clave para el dimensionamiento ya otra ubicación representaría cálculos y dimensionamientos excesivos este fenómeno se presentó también en el diseño de tapones herméticos de una Unidad Recuperada (Paucar, 2015) y en la ampliación Ancoyo II Unidad Minera Paula (Deza, 2014) en los cuales los tapones diseñados son de mayores longitudes,

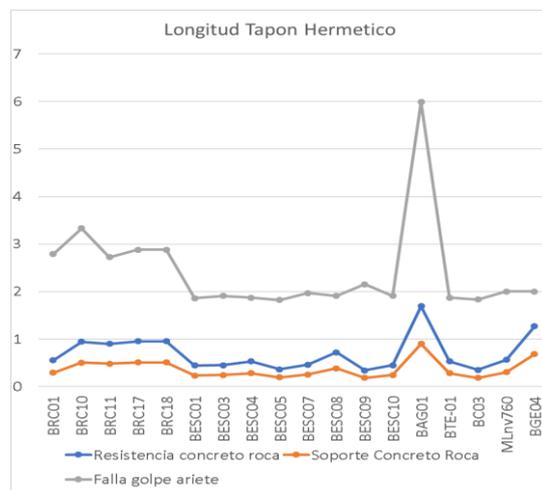
Discusión

De todo el procedimiento realizado se analiza el dimensionamiento de los tapones herméticos, al realizarse el diseño por diferentes satisfacen diferentes escenarios.

La selección de la longitud de los Tapones hermético está ligado a el objetivo del mismo siendo en este caso el cierre definitivo de dichas labores se debe utilizar el método que satisfaga todas las variables de diseño.

Figura 2

Resultado de longitud de tapones herméticos



En la figura 2 se puede apreciar como los resultados obtenido en el método por falla golpe de ariete son mayores a los de soporte concreto/roca llegando a ser hasta cinco veces mayor esto debido a que considera la presión del fluido estático siendo este un punto clave en este análisis y diseño ya que al ser un grupo de tapones herméticos y proyectados ala perpetuidad debe considerarse que en el supuesto que hubiese un movimiento sísmico este fluido estático transmitirá esta presión hacia el tapón incrementada considerablemente, al ser un tapón hermético este continuara acumulando presión que los tapones dimensionados

por los otros métodos analizados no podrán soportar.

La política de seguridad y compromisos ambientales de la empresa también influye en la selección del tapón hermético a utilizar, bajo este criterio se selecciona los tapones resultantes por el método de Ariete hidráulico ya que presenta un mayor factor de seguridad y sustento técnico en su longitud.

El dimensionamiento de los tapones nos muestra también que pese a que las labores se encuentran en la misma zona minera las variables como carga hidráulica y resistencia del macizo rocoso son sensibles a hacer variar la longitud de los tapones.

Las labores presentan dimensiones, propiedades, características diferentes y las longitudes son bastantes similares, sin embargo, se aprecian resultados en los cuales pasa lo opuesto incluso con un gran porcentaje de parámetros similares la longitud de diseño presenta diferencia notoria.

4. CONCLUSIONES

Los factores más importantes a considerar para el diseño de tapones herméticos a nivel de ingeniería son los criterios de sismicidad, carga, hidráulica y propiedades geomecánicas.

Tras haber realizado el dimensionamiento de tapones herméticos en una misma unidad minera con labores colindantes se obtuvo resultados similares sin embargo no se puede estandarizar el tamaño de un tapón ya que la longitud del tapón es muy sensible a sus variables de diseño.

Se concluye que los tapones por el método de golpe de ariete hidráulico son los más adecuados debido a cargas de movimiento sísmico y las ondas que



propagan en una labor llena de un líquido en reposo.

5. RECOMENDACIONES

Se recomienda que en futuras investigaciones ubicar los tapones en zonas de alta clasificación RMR y baja carga hidráulica, el concreto presenta una variable que se puede controlar si se contase con mayores presupuestos se recomienda realizar una dosificación de mezcla con mayores aditivos para aumentar la resistencia del concreto, el aumento de aditivos se verá reflejado inversamente proporcional a la longitud del tapón.

6. REFERENCIAS

- Congreso de la república del Perú (1993). *Constitución política del Perú*.
- Congreso de la república del Perú (2005). *Ley N° 28090 Ley que regula el Cierre de Minas*.
- Ministerio de Energía y Minas. (2005). *Decreto supremo N° 033-2005-EM Reglamento para el cierre de minas*
- Cornell, Allin (1968) *Engineering Seismic Risk Analysis* Bulletin of the Seismological Society of America.
- McGuire, William J. (1976) *Historical comparisons: Testing psychological hypotheses with cross-era data*. International Journal of Psychology Volume 11, Issue 2 p. 161-183, <https://doi.org/10.1080/00207597608247356>
- Sheorey, P. (1994). *A theory for in situ stresses in isotropic and transversely isotropic rock*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts.
- Oviedo R.(2014) *Peligro, vulnerabilidad y riesgo sísmico*. Rev. Peruana Investigaciones en Ingeniería Civil <http://oviedos.tripod.com/peligr.htm>
- Ordaz, M, L E Pérez-Rocha y J Alemán Velásquez (2007). *Definición de sismos máximos para el diseño sísmico de estructuras*, XVI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Ixtapa-Zihuatanejo, Guerrero, México.
- Young, R., S. Chiou, W. Silva, J. Humphrey (1997). *Strong Ground Motion Attenuation Relationship for subduction zone earthquakes*. Seism. Res. Lett., V-68, N-1, January/February.
- Sadigh, K., C. Chang, J. Egan, F. Makdisi, R. Young (1997). *Attenuation relationship for shallow crustal earthquakes based on California Strong Motion Data*. Seis. Res. Lett., V-68, N-1, January/February.
- Hoek E , Wood D., and S. Shah J. A. Hudson (1992). *Rock Characterization*. ISRM Symposium, Eurock '92, Chester, UK, 14–17.
- American Concrete Institute (1972). *ACI Manual of Concrete Practice*.
- Garrett, W. S., and L. T. Campbell Pitt (1958). *Tests on an Experimental Underground Bulkhead for High Pressures*. J. S. African Inst. Min. and Metall.
- Westergaard H. M. (1931), *Water pressures on dams during earthquakes*, ASCE Transactions.
- Seed, B. & Idriss, I. M. (1982). *Ground Motions and Soils Liquefaction During Earthquakes*. Technical report, Earthquake Engineering Research Institute.
- McKee, V(1975), *Fragmentation on the Labour Right*.



- <https://doi.org/10.1111/j.1467-9256.1991.tb00189.x>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2016). *D.S. N° 003-2016-Vivienda Decreto Supremo Que Modifica La Norma Técnica E.030 "Diseño Sismorresistente" Del Reglamento Nacional De Edificaciones, Aprobada Por Decreto Supremo N° 011-2006-Vivienda, Modificada Con Decreto Supremo N° 002-2014-Vivienda.*
- Garrett, W. S. and Campbell Pitt, L. T. (1961): *Design and construction of underground bulkheads and water barriers.* Seventh Commonwealth Mining and Metallurgical Congress, Johannesburg.
- Ariel, Davist, S., & De Wiest, R. (1971). *Hidrogeología* Barcelona.
- Bienawsky, R. (2014). *Actualización y mejora del RMR.*
- CESELIngenieros, S. A. (2005). *Estudio Hidrogeológico Unidad Minera Recuperada.*
- DEZA CONDORI, A. (2014). *Diseño de tapones herméticos de bocaminas de la ampliación Ancoyo II - Unidad Minera Paula - E.C. SERMINAS E.I.R.L., Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.*
- Hoek, E., Corkum, B., & Carranza, C. (2002). *El criterio de rotura de Hoek-Brown.* , 1–8.
- Ministerio de Energía y Minas. (2007). *Guía para el diseño de tapones para el cierre de labores mineras.* Journal of Chemical Information and Modeling, 25(9), 170. http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/XXV_Tapon es.pdf
- Osinerming. (n.d.). *Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas.* Recuperado de https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/Documentos/Publicaciones/Guia-Criterios-Geomecanicos.pdf
- PASMINAA S.A.C. (2016). *Actualización del plan de cierre de minas de la unidad minera "Recuperada."*
- Paucar Conce Freddy Carlos. (2015). *Diseño de tapones herméticos en labores de remediación pasivo ambiental para la mina "Recuperada"* [Tesis de Grado Universidad nacional del centro del Perú]. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/390>
- Vélez, M. V. (1999). *Hidráulica de aguas subterráneas.*
- Auld, F.A. (1983). *Design of underground plugs.* International Journal of Mining Engineering, Vol.1.
- Benson, R.P. (1989). *Design of unlined and lined pressure tunnels.* Tunneling and Underground Space Technology, Vol. 4 .
- Chekan, G.I. (1985). *Design of bulkheads for controlling water in underground mines* USBM Inf. Circ. 9020.
- Dahlø, T.S., Bergh-Christensen, J. and Broch, E. (1992). *A review of Norwegian high-pressure concrete plugs.* Proc. Hydropower'92, Broch & Lysne (eds), Balkema.
- Djahanguiri, F.D. and Abel, J.F. (1997). *Design and construction of a bulkhead for a simulated underground leaching stope.* Mining Engineering, January

