

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

“MEJORAMIENTO DEL DISEÑO DEL TAPON PARA EL CIERRE FINAL DE LAS BOCAMINAS EN LA MODIFICATORIA DEL PLAN DE CIERRE DE MINA”

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

ELABORADOR POR:

RUBEN QUISPE TINCO

ASESORA

M.Sc. Ing. CARMEN ROSALIA MATOS AVALOS

LIMA-PERÚ

2021

RESUMEN

El trabajo de suficiencia plantea el mejoramiento en el diseño del tapón para mitigar la emisión de efluentes ácidos de las bocaminas en un contexto de la Modificación del Plan de cierre de Mina, en un yacimiento polimetálico a una altura superior a los 4,000 m.s.n.m, donde se produce concentrados de Pb con contenidos de Ag y Zn.

Para el mejoramiento en el diseño de tapones para el cierre de bocaminas se realizó estudios previos de caracterización geomecánica del macizo rocoso, estudios de calidad de agua de los efluentes, análisis geoquímico del material que conforma las bocaminas, adicionalmente, se conoce que de las ocho bocaminas que son materia de cierre cinco de ellos presentan drenaje ácido y tres de ellos se encuentran sin drenaje ácido.

En base a los resultados de los estudios y teniendo en cuenta las características físicas de las bocaminas, se plantea dos tipos de diseño de tapones y coberturas que garanticen la estabilidad física y química, que se describen a continuación:

- Tapón de concreto reforzado sin drenaje, que consistirá en la construcción de un muro de concreto armado con acero reforzado, que interactúe con la roca de manera hermética, debido a que no existe presencia de agua no se ha

- previsto la construcción de tuberías, este diseño de tapón corresponde a las bocaminas del Nv 3 (comunicación), X-150 y Coturcan Norte.
- Tapón de concreto reforzado con drenaje, que consistirá en la construcción de un muro de concreto armado con estructura de acero reforzado, que interactúe con la roca de manera hermética, debido a que existe presencia de agua se ha previsto en el diseño, la colocación de tuberías de forma que no permitan el ingreso de aire (uno de los elementos clave para la generación de drenaje ácido); sin embargo, se permite la salida del efluente mitigando la producción del drenaje ácido de roca, este diseño de tapón corresponde a las bocaminas Nv 6, Nv 3 (zona Coturcan), Nv 1 (zona Caridad), Nv 5 y Nv 4 Norte.

Se considera también, dos tipos de cobertura que se colocarán entre el tapón y el portal, adecuadamente escogidos entre las plantas típicas para cada tipo de terrenos, el Tipo I que consiste en tres capas (tierra de cultivo, material de baja permeabilidad o arcilla y material de préstamo) y el Tipo II que consiste en dos capas (material de baja permeabilidad o arcilla y material de préstamo).

Considerando estos tipos de diseño tanto de tapones como de coberturas se mejora la estabilidad física y química requerida para un adecuado cierre de bocaminas que cumplan con la normativa vigente.

Palabras clave: Bocamina, cobertura, drenaje ácido, estabilidad física y química

ABSTRACT

This sufficiency work proposes the improvement in the design of the plug to mitigate the emission of acid effluents from the mine mouths in a context of the Modification of the Mine Closure Plan, in a polymetallic deposit at a height greater than 4,000 meters above sea level, where Pb concentrates with Ag and Zn contents are produced.

For the improvement in the design of plugs for the closure of mine openings, previous studies of geomechanical characterization of the rock massif, studies of the water quality of the effluents, geochemical analysis of the material that make up the mine openings were carried out. 8 mine openings that are material of closure 5 of them present acid drainage and 3 of them are without acid drainage.

Based on the results of the studies and considering the physical characteristics of the mine openings, two types of design of plugs and covers are proposed that guarantee physical and geochemical stability, which are described below:

- Reinforced concrete plug without drainage, which will consist of the construction of a concrete wall reinforced with reinforcing steel, hermetic to the rock, because there is no presence of water, the construction of pipes has not been planned, this plug design corresponds to the mine mouths Lv. 3 (communication), X-150 and Coturcan Norte.

- Reinforced concrete plug with drainage, which will consist of the construction of a wall of concrete reinforced with reinforcing steel, hermetic to the rock, due to the presence of water, the placement of pipes designed in such a way that they do not allow the air entry (one of the key elements for the generation of acid drainage), but if the effluent exit, in such a way as to mitigate the production of acid rock drainage, this plug design corresponds to the Nv mine openings. 6, Lv. 3 (Coturcan Área), Nv. 1 (Charity zone), Lv. 5 and Nv. 4 North.

It is also considered 2 types of cover that will be filled in the space between the stopper and the portal, suitably chosen for each type of land, Type I, which consists of three layers (cultivation land, low permeability material or clay and material of loan) and Type II consisting of two layers (low permeability material or clay and loan material).

Considering these types of design of both caps and covers, the physical and geochemical stability required for an adequate closure of mine openings that comply with current regulations is improved.

Keywords: Bocamina, coverage, acid drainage, physical and geochemical stability.

INDICE

	Pag.
1. RESUMEN.....	1
2. ABSTRACT.....	1
3. INTRODUCCIÓN.....	10
1. CAPÍTULO I: GENERALIDADES	10
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	15
1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	20
1.2.1 Objetivo general	20
1.2.2 Objetivos Específicos	20
1.3 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN	20
1.3.1 Investigaciones Nacionales	20
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	27
2.1 MARCO TEÓRICO	27
2.1.1 Drenaje Acido de Roca (DAR)	27
2.1.2 Diseño de Tapones para Cierre de Bocaminas.....	29
2.1.3 Cobertura para el cierre de mina	31
2.2 MARCO CONCEPTUAL.....	33
3. CAPÍTULO III: HIPOTESIS Y OPERACIONALIDAD DE VARIABLES	34
3.1 HIPÓTESIS GENERAL	34
3.1.1 Hipótesis especifica.....	34
3.2 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	34

4. CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	35
4.1 TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	35
4.2 UNIDAD DE ANÁLISIS.....	36
4.2.1 Ubicación.....	36
4.2.2 Accesibilidad	37
4.2.3 Clima.....	39
4.3 Matriz de Consistencia	40
5. CAPITULO V: DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	41
5.1 RECOLECCIÓN DE DATOS	41
5.2 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	44
5.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	54
5.3.1 Diseño del tapón.....	55
6. CAPITULO VI: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	57
6.1 CALIDAD DE ROCA DE LAS BOCAMINAS	57
6.2 PRUEBAS DE CALIDAD DE AGUA	59
6.3 ANÁLISIS GEOQUÍMICO.....	63
6.4 RESULTADOS FINALES	63
6.4.1 Tipo de Tapón de concreto reforzado sin drenaje.....	64
6.4.2 Tipo de Tapón de concreto reforzado con drenaje.....	64
6.4.3 Características de los Tapones para cada Bocamina	66
6.4.4 Coberturas Seleccionadas para las bocaminas de la MPCM.....	68
6.4.5 Cobertura Tipo I.....	69
6.4.6 Cobertura Tipo II.....	69
6.5 CONTRASTACIÓN DE LOS RESULTADOS CON LA HIPÓTESIS.....	70
7. CONCLUSIONES.....	75
8. RECOMENDACIONES.....	77
9. BIBLIOGRAFÍA.....	79
ANEXOS	81

INDICE DE TABLAS

TABLA 7.1.: CLASIFICACIÓN DE DRENAJES EN FUNCIÓN DEL PH.....	16
TABLA 7.2.: SUSTANCIAS TÓXICAS Y SUS EFECTOS EN LA SALUD HUMANA	18
TABLA 7.3 SUSTANCIAS TÓXICAS Y SUS EFECTOS EN LAS PLANTAS	19
TABLA 10.1.: ACCESOS A LA UNIDAD DE ESTUDIO	38
TABLA 10.2.: TEMPERATURA MEDIA MENSUAL UNIDAD MINERA HUANCAPETÍ (C°).....	39
TABLA 10.3.: PRECIPITACIONES MENSUAL PARA AÑOS PROMEDIO, HÚMEDO Y SECO.....	39
TABLA 10.4.: MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	40
TABLA 11.1.: PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS BOCAMINAS	44
TABLA 11.2.: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN TRIAXIAL	45
TABLA 11.3.: ENSAYO DE CARGA PUNTUAL.....	45
TABLA 11.4.: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (MÉTODO BRASILEIRO).....	46
TABLA 11.5.: PROPIEDADES ELÁSTICAS	46
TABLA 11.6.: ENSAYO DE CORTE DIRECTO	47
TABLA 11.7 BOCAMINA PRINCIPAL NV-6 (ZONA HÉRCULES)	48
TABLA 11.8.: BOCAMINA NV 5.....	49
TABLA 11.9.: ANÁLISIS GEOQUÍMICO DEL DEPÓSITO DE DESMONTE HÉRCULES	53
TABLA 11.10 ANÁLISIS GEOQUÍMICO DEL DEPÓSITO DE DESMONTE COTURCAN	54
TABLA 11.11.: ANÁLISIS GEOQUÍMICO DEL DEPÓSITO DE DESMONTE CARIDAD	54
TABLA 11.12 RESULTADO DE CÁLCULO DE CIERRE DE BOCAMINAS.....	56
TABLA 12.1.: CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO SEGÚN CLASIFICACIÓN RMR	57
TABLA 12.2.: CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS BOCAMINAS (RMR)...	58
TABLA 12.3.: LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	59
TABLA 12.4 CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE DRENAJE ÁCIDO	63
TABLA 12.5.: TIPO DE TAPÓN SELECCIONADO PARA LAS BOCAMINAS.....	65
TABLA 12.6.: ESQUEMA DE LA COBERTURA TIPO I	69
TABLA 12.7.: ESQUEMA DE LA COBERTURA TIPO II	70
TABLA 12.8.: RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE MURO PARA EL CIERRE	71

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 7.1.: DRENAJE ACIDO EN MINA SUBTERRÁNEA	13
FIGURA 7.2.: FALLA EN EL TAPÓN DE BOCAMINA	13
FIGURA 7.3.: PERFIL LONGITUDINAL DEL DISEÑO DEL TAPÓN	14
FIGURA 7.4.: PASIVO AMBIENTAL MINERO	17
FIGURA 8.1.: ETAPAS EN LA FORMACIÓN DE AGUAS ACIDAS	28
FIGURA 8.2.: DISEÑO DE TAPONES	30
FIGURA 8.3.: INTERACCIÓN DEL AGUA CON LOS MATERIALES DE COBERTURA SDR.....	32
FIGURA 10.1.: UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	37
FIGURA 10.2.: ACCESO DEL ÁREA DE ESTUDIO	38
FIGURA 11.1.: UBICACIÓN SATELITAL DE LAS 8 BOCAMINAS	43
FIGURA 12.1.: CLASIFICACIÓN GEOMECANICA DE LAS BOCAMINAS.....	58
FIGURA 12.2.: VALORES DE PH DE LA BOCAMINA NIVEL 6 (ZONA HÉRCULES)	60
FIGURA 12.3.: VALORES DE PH DE LA BOCAMINA NIVEL 5.....	60
FIGURA 12.4.: VALORES DE PH DE LA BOCAMINA NV 4 NORTE.....	61
FIGURA 12.5.: VALORES DE PH DE LA BOCAMINA NIVEL 3 (ZONA COTURCÁN)	61
FIGURA 12.6.: VALORES DE PH DE LA BOCAMINA NIVEL 1 (ZONA CARIDAD).....	62
FIGURA 12.7 VALORES DE ACEITES Y GRASAS DE LAS BOCAMINAS.....	62
FIGURA 12.8.: DISEÑO DEL TAPÓN DE CONCRETO REFORZADO	64
FIGURA 12.9.: DISEÑO DEL TAPÓN DE CONCRETO REFORZADO CON DRENAJE.....	65
FIGURA 12.10 PRINCIPIO DE LA GENERACIÓN DE DRENAJE ÁCIDO.....	72
FIGURA 12.11.: COBERTURA TIPO I.....	73

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de suficiencia, se investiga los efectos de un cambio de capacidad de producción en la mina y en la planta en el Plan de Cierre de la Mina, generándose una Modificación sustancial en el Plan de Cierre, el trabajo de suficiencia se enfoca en la estabilidad fisicoquímica de la mina y tiene como aporte el mejoramiento del diseño del tapón para el cierre final de cada una de las bocaminas.

El contenido se ha estructurado en seis capítulos, descritos a continuación:

En el capítulo I, se describen las generalidades de la investigación, la problemática a partir del cual se describe los problemas más significativos, los antecedentes de investigación del sitio y el objetivo del estudio.

En el capítulo II, está constituido por el marco teórico y conceptual, donde se describen los antecedentes de la investigación relacionadas al tema, marcos legales, etc., las cuales orientan y establecen las bases teóricas para la realización del presente trabajo de suficiencia.

En el capítulo III, se consigna la hipótesis y define la operacionalización de las variables, en donde se plantea el sustento de la solución a la realidad problemática.

En el capítulo IV, consigna la metodología de la investigación que se constituye del tipo y diseño de la investigación, unidad de análisis y matriz de consistencia.

En el capítulo V, consigna como se ha desarrollo del trabajo de investigación, recolección de datos, procesamiento de la información, y el análisis de la información.

En el capítulo VI, está constituido por el análisis y discusión de resultados, donde se analiza cada uno de los instrumentos de recolección de datos, también es donde se contrasta la hipótesis planteada.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

El Plan de Cierre de Minas es un Instrumento Ambiental que se encuentra registrado y aprobado por la autoridad competente, constituye un sistema de actividades que se inicia desde la preparación de la mina hasta su post cierre, cuyo fin es rehabilitar las áreas afectadas por la operación minera, el Plan de Cierre es requisito para operaciones nuevas y existentes, donde se incluye los controles y las medidas que se asumirá para prevenir las consecuencias de los residuos líquidos, gaseosos y sólidos que se presenten en el corto, mediano o largo plazo de la vida de la mina, basándose en el reglamento del Plan de Cierre de Minas, D.S. N° 033-2005-EM y Modificatorias. Es por ello que se desarrolla un adecuado plan de cierre de minas, para prevenir una deficiente actividad que traería consigo consecuencias perjudiciales para el ambiente y la población cercana al área de influencia de la actividad minera como es el ejemplo del manejo de drenaje ácido de roca que se forma en las operaciones mineras debido a la interacción del mineral sulfurado, el agua y el oxígeno, que en concentraciones altas afecta al ambiente, en la Figura 1.1, se muestra la generación de drenaje ácido en una operación minera subterránea y como interactúa con el ambiente.



FIGURA 1.1.: DRENAJE ACIDO EN MINA SUBTERRÁNEA
FUENTE: Curso de Cierre de Minas, UNI (Vidalón, J. 2020).

En los Planes de Cierre de Mina para evitar la emisión de Drenajes Ácidos de Roca, se incluye el diseño de tapones para las bocaminas, sin embargo, cuando los diseños no son adecuados los tapones permiten la filtración de los drenajes incumpliendo la norma establecida. En la figura 1.2, se observa un tapón de bocamina mal diseñado que no cumple con la función de evitar la salida de drenaje ácido de roca (DAR), se observa la filtración del efluente por el pie del tapón.



FIGURA 1.2.: FALLA EN EL TAPÓN DE BOCAMINA
FUENTE: Plan de Cierre de Pasivos Ambientales Mineros (Fernández, A. 2019).

En el presente Trabajo de Suficiencia, se desarrolla el diseño del tapón, considerando los lineamientos consignados en la Guía para el Diseño de Tapones para el Cierre de Labores Mineras, estudio geomecánico, hidrogeológicos, estudios de peligro sísmico, estudios de calidad de agua del drenaje y el análisis geoquímico, para el diseño de acuerdo a los requerimientos de cierre. Integrando todos estos estudios realizados se busca optimizar la selección del tapón que mitigue la salida del DAR y se reduzca los metales disueltos en el efluente, alcanzando su estabilidad química y física. En la figura 1.3 se presenta el perfil longitudinal del diseño de un tapón adaptado a los requerimientos de la mina en estudio.

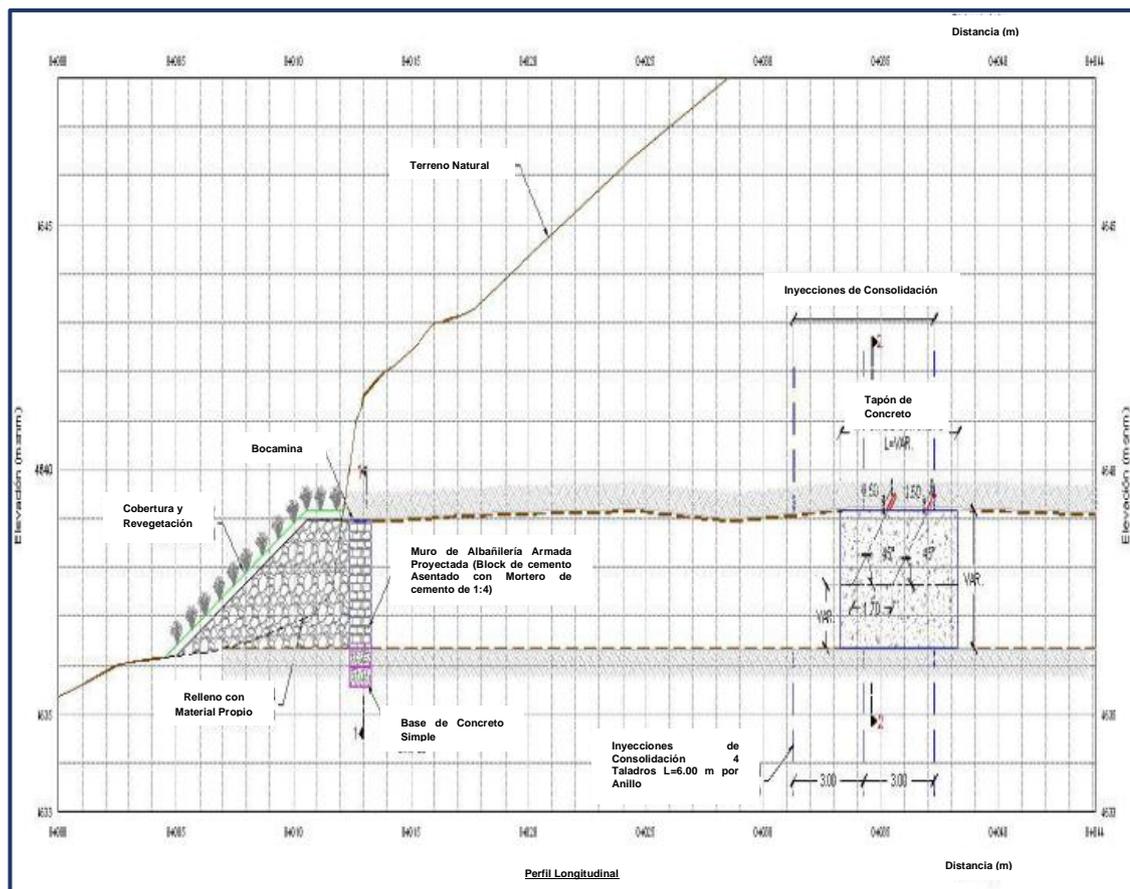


FIGURA 1.3.: PERFIL LONGITUDINAL DEL DISEÑO DEL TAPÓN

FUENTE: Diseño de Tapones Herméticos de Bocaminas (Deza, A. 2014)

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo con el Art. 21, D.S. N° 033-2005-EM, (MINEM) se presenta una “Modificatoria del Plan de Cierre de Mina” (MPCM): *“cuando varían las condiciones operacionales, tecnológicas y/o legales, afectando las actividades de cierre de un área, labor o instalación minera, o su presupuesto”*.

En este caso, se trata de la MPCM, debido a la ampliación de la capacidad instalada de planta de 3,000 a 3,600 Toneladas/día en donde se realizó el reemplazo de equipos existentes e incorporación de equipos de tecnología nueva en los circuitos de operaciones unitarias, como el chancado, molienda, flotación y filtrado de concentrado; debido a ello también cambia el cronograma de disposición de relaves; existe una mayor producción y movimiento de desmonte y mineral, mayor generación de efluentes, y la instalación de otros componentes secundarios. Adicionalmente, se debe cumplir el Art. 21, D.S. N° 033-2005-EM que plantea la modificatoria del diseño del cierre entre los más importantes tenemos, los depósitos de relaves y los depósitos de desmonte, así como también las bocaminas y chimeneas, por consiguiente, la modificación del presupuesto y cronograma.

El contexto la investigación se enfocará en el problema que genera el incremento de efluentes, generados en las labores mineras de la operación de mina, cuando el agua filtrada al entrar en contacto con los minerales sulfurados y el oxígeno generan un drenaje ácido de roca (DAR) con contenidos de metales pesados, como se indica en la Tabla 1.1.

TABLA 1.1.: CLASIFICACIÓN DE DRENAJES EN FUNCIÓN DEL pH

TIPO	pH	DESCRIPCIÓN
I	< 4.5	<ol style="list-style-type: none"> 1. Alta concentración de Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb y otros metales. 2. Alto contenido de oxígeno. 3. Muy ácido (llamado Drenaje Acido de Mina).
II	< 6.0	<ol style="list-style-type: none"> 1. Alta cantidad de sólidos disueltos. 2. Alta concentración de ion ferroso (Fe²⁺) y Mn. 3. Bajo contenido de oxígeno. 4. Por oxidación, el pH del agua baja drásticamente hasta convertirse en Tipo I.
III	>6.0	<ol style="list-style-type: none"> 1. Moderada a alta cantidad de sólidos disueltos. 2. Alta concentración de ion ferroso (Fe²⁺) y Mn. 3. Bajo contenido de oxígeno. 4. Alta alcalinidad (llamado Drenaje Alcalino de Mina). 5. Por oxidación de metales la acidez generada es neutralizada por la alcalinidad presente en el agua.
IV	>6.0	<ol style="list-style-type: none"> 1. Alta cantidad de partículas disueltas. 2. Drenaje neutralizado, pero todavía no se han fijado los hidróxidos en el agua. 3. A mayor tiempo de residencia en las balsas mayor fijación de partículas y el agua llega a ser similar al de tipo V.
V	>6.0	<ol style="list-style-type: none"> 1. Agua de drenaje es neutralizado. 2. Alta cantidad de sólidos disueltos. 3. Gran cantidad de hidróxidos precipitados y fijados en las balsas. 4. Cationes restantes son disueltos por Ca y Mn. 5. Oxi-aniones solubles como bicarbonato y sulfato quedan en la solución.

FUENTE: Drenaje Acido de Mina, Generación y Tratamiento, (Aduvire, O.2006)

El DAR discurre a la superficie aprovechando las características topográficas de la mina, generándose un peligro potencial para los suelos y las fuentes de agua cercanas; las bocaminas abandonadas (no selladas) permitirían que las personas ajenas a la operación y/o animales ingresen a las labores poniendo en peligro su integridad, así también, las bocaminas mal selladas con el diseño de tapón inadecuado y a la falta de una caracterización correcta del efluente, generan un peligro al ambiente mediante filtraciones de DAR en el lugar donde se ubica el tapón. En la Figura 1.4 se presenta una bocamina abandonada con un inadecuado cierre de la bocamina.



FIGURA 1.4.: PASIVO AMBIENTAL MINERO

FUENTE: Plan de Cierre de Pasivos Ambientales Mineros (Fernández, A. 2019).

Las reacciones que generan estos drenajes ácidos y metales pesados disueltos en los cursos de agua son diversas, por ejemplo, las aguas superficiales debido a la DAR y los arrastres de sedimentos provenientes de las bocaminas hacia los cuerpos acuáticos receptores se contaminan y se manifiestan en la reducción del pH y destrucción de los ecosistemas hídricos, por consiguiente contaminación del agua; las aguas subterráneas se ven afectadas cuando el drenaje ácido sobrepasa el nivel freático para entrar en contacto directo con las aguas subterráneas. Los efectos producidos por el drenaje ácido y metales pesados disueltos afectan a los seres vivos y principalmente a la salud humana, como se observa en la Tabla 1.2.

TABLA 1.2.: SUSTANCIAS TÓXICAS Y SUS EFECTOS EN LA SALUD HUMANA

SUSTANCIAS TOXICAS	EFECTO AGUDO	EFECTO CRÓNICO	NIVEL PERMISIBLE
Arsénico	a) Orina ensangrentada, malestar gastrointestinal, diarrea, dolores de cabeza, vómitos, convulsiones, como y muerte.	a) Dermatitis, ampollas, enfermedad del pie negro; mal funcionamiento y daño a los órganos; diabetes; cáncer y propiedades mutagénicas	0.02
Cadmio	a) Heridas hepáticas, pulmonares y testiculares.	a) Osteoporosis, heridas renales y de los huesos; carcinoma (principalmente en la próstata y riñones); tóxico para otros órganos	0.06
Cromo	a) Vómitos y diarrea; hemorragia y pérdida de sangre en el tracto gastrointestinal.	a) Necrosis al hígado y riñones; úlceras en la piel, "huevos de cromo", dermatitis; ulceración y perforación del tabique nasal; carcinomas nasales, faríngeas, y gastrointestinales	0.05
Plomo	a) Retardo mental en niños, retardo en el desarrollo, poca capacidad de atención; fatiga leve; dolores de cabeza, náuseas, vómitos.	a) Comportamiento antisocial; alteración de la síntesis de hemoglobina; alteración de la función renal; sordera, ceguera, retardo; disminución de la capacidad intelectual, pérdida de la memoria, disminución de la libido, fatiga.	0.1
EFECTOS NEGATIVOS			
Manganeso	a) La inhalación o contacto causa daño al sistema nervioso central		0.26
Mercurio	a) Daño al sistema nervioso, envenenamiento al citoplasma, aborto espontaneo, cambios fisiológicos menores, parálisis agitante (temblores), gingivitis, acrodinia caracterizada por la decoloración rosada de manos y pies.		0.01
Zinc	a) Daño a la membrana nerviosa.		15
Cobre	a) Anemia, daño al pulmón y riñón, irritación estomacal e intestinal.		0.1

FUENTE: Propuesta de mejoramiento de la calidad de aguas acidas (Cadillo, A. 2018)

Los efectos perjudiciales del drenaje ácido de roca y metales pesados disueltos también se dan en la vida vegetal tal como se describe en la Tabla 1.3.

TABLA 1.3 SUSTANCIAS TÓXICAS Y SUS EFECTOS EN LAS PLANTAS

SUSTANCIA TÓXICA	EFFECTOS
Cadmio	Disminuye la germinación de semillas, contenido de lípidos, y el crecimiento de la planta; induce la producción de fitoquelatinas.
Plomo	Reduce la producción de clorofila y el crecimiento de la planta; incrementa el superóxido dismutasa
Níquel	Reduce la germinación de semillas, acumulación de masa seca, producción de proteínas, clorofila y enzimas; incrementa aminoácidos libres
Mercurio	Disminuye la actividad fotosintética, absorción de agua y enzimas antioxidantes; acumula fenol y prolina
Cinc	Reduce la toxicidad del níquel y la germinación de semillas; incrementa en crecimiento de la planta y la ratio de ATP/clorofila
Cromo	Disminuye la actividad enzimática y el crecimiento de la planta; produce daño a la membrana, clorosis y daño a la raíz
Cobre	Inhibe la fotosíntesis, el crecimiento de la planta y el proceso reproductivo; disminuye la superficie de área del tilacoide.

FUENTE: Propuesta de mejoramiento de la calidad de aguas ácidas (Cadillo, A. 2018)

De acuerdo a, la problemática previamente descrita se formula el problema general y los problemas específicos.

- **Problema principal**

¿En qué forma, el inadecuado diseño del tapón y la presencia de drenaje ácido de roca afectan al ambiente y al plan de cierre de mina?

- **Preguntas específicas**

¿De qué manera, la caracterización geomecánica inadecuada afecta al diseño del tapón en el plan de cierre de minas?

¿Cómo perjudica el drenaje ácido de roca y los metales disueltos a los cuerpos de agua, flora y a salud humana?

1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.2.1 Objetivo general

Mejorar el cierre de las bocaminas, mediante la óptima selección del tapón, que mitigue la salida de drenaje ácido de roca y reduzca los metales disueltos en el efluente, alcanzando su estabilidad química y estabilidad física.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Mejorar el diseño del tapón de las bocaminas en la MPCM de acuerdo a la caracterización geomecánica del sitio, para alcanzar la estabilidad física.
- Minimizar la generación de drenaje ácido de roca y metales pesados para alcanzar la estabilidad química.

1.3 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

En diversas Unidades Mineras que están actualmente en operación o en minas abandonadas se han realizado diversos estudios, sobre diseños de tapones para planes de cierre de minas, así como, la aplicación de coberturas para la protección del tapón. Para esta investigación, se ha revisado investigaciones relacionadas a la materia de estudio como tesis de grado que a continuación se mencionan.

1.3.1 Investigaciones Nacionales

- Deza, A. (2014), en la tesis “Diseño de Tapones Herméticos de Bocaminas de la Ampliación Ancoyo II – Unidad Minera Paula – E.C. SERMINAS E.I.R.L.”, [2], define como objetivo principal establecer el diseño de tapones que cumplan con la estabilidad física y química requerida para pasivos mineros mediante una metodología experimental, que incluye trabajos de

campo como mapeo geomecánica y realiza tomas de muestras para caracterizar las propiedades físicas y geoquímicas.

La propuesta en la investigación establece el diseño de 2 tipos de tapones para cada bocamina, el primer tipo es un tapón simple que será ubicado cerca del portal diseñado con tubería de drenaje, utilizando material de concreto armado para el tapón. El segundo tipo es un tapón de concreto reforzado con acero, que le permite soportar la carga hidráulica y será ubicado a 15 m del portal de la bocamina; los dos tipos tapones permitirán que se alcance la estabilidad física, química y económica requerida para el proceso de cierre del pasivo minero.

- En la tesis “Diseño de Tapones Herméticos en Labores de Remediación Pasivo Ambiental para la Mina Recuperada-Huancavelica”, Paucar, F. (2015), [6], define como objetivo principal diseñar un tapón hermético con la estabilidad física requerida y con ubicación geomecánica, que permita la remediación del pasivo ambiental para que esté en armonía con la geografía del lugar.

La tesis se basó en los estudios geotécnicos, hidrológicos, geoquímicos y ambientales efectuadas al lugar de estudio, siguiendo una metodología aplicada; de investigaciones anteriores, para satisfacer el diseño mínimo requerido de $FS > 1$ y realizando cálculos estadísticos obtuvo un factor de seguridad (FS) de 1.14, finalmente el autor recomienda también, la construcción de un tapón hermético de seguridad adicional al diseño principal para prevenir los efectos del agua retenida y en caso colapse el primer tapón.

- El diseño del tratamiento adecuado del drenaje ácido que fluye por la bocamina, según Luque, S. (2020) lo define como su principal objetivo en la

tesis “Tratamiento del Drenaje Ácido de Mina para Propuesta de Cierre de Bocamina en los Niveles 4,500-4,800, Zona Carabaya-Puno”, [5] en el plan de cierre de este componente; se utilizó la data de la evaluación geoquímica y estabilidad química de la pruebas realizadas, las características necesarias para el diseño del tapón y la cobertura a aplicar.

La metodología aplicada a la investigación es de carácter aplicativo de causa y efecto, donde el autor define como causa el drenaje ácido y el efecto como la respuesta que se obtendrá después del tratamiento del drenaje ácido y la construcción del tapón.

Finalmente, después de evaluar los estudios realizados de estabilidad geomecánica, y química, el autor establece dos tipos de diseño de tapón para las 5 bocaminas a cerrar, tres de ellos presentan caudal de agua acida y dos son secos; para los que presentan caudal de agua acida se diseñara los tapones con una tubería que permita el drenaje del flujo y a su vez impida la entrada de aire; y el otro tapón es un diseño simple de un muro de concreto sin drenaje. La cobertura que se utilizará será de tres capas, una de arcilla que actuará como capa impermeable de 30 cm, una capa de material morreico de 20 cm y una última de material orgánico lchu de 10 cm.

- Para el tratamiento de pasivos mineros en la tesis “*Evaluación del Drenaje Anóxico Calizo, como Técnica Complementaria al Cierre de la Bocamina BQH5 de Colquirumi*”, Jiménez, P. (2019), [4], propone la mitigación del drenaje acido con la aplicación del sistema anóxico calizo como objetivo principal, para contrarrestar los efluentes ácidos y metales disueltos y totales, que fluyen a través del tapón de la bocamina abandonada (BQH5 de Colquirumi).

La aplicación del sistema anóxido calizo tiene por objetivo disminuir la concentración de agua acida y metales pesados para adecuarlos a los Límites Máximos Permisibles establecidos en el DS 010-2010-MINAM, la metodología del estudio es tipo experimental aplicada ya que se toman muestras de los efluentes de la bocamina y se analizan experimentalmente con los diferentes sistemas anóxidos a evaluar.

Finalmente se optó por utilizar un sistema anóxido calizo con barreras de contacto entre materiales (caliza, conchas de mar, material orgánico y aserrín), que serán ubicados después del muro tapón, este sistema tendría un área total de 60 m², los resultados del laboratorio reportan que el sistema anóxido calizo reduce las concentraciones de pH hasta obtener un valor de 11.6, para los metales pesados se obtuvieron resultados satisfactorios como la reducción de Al en 97%, As en 98%, Cd en 99%, Cu en 99%, Fe en 99% y Zn en 98%.

- Determinar el diseño de un tapón para las bocaminas y una loza de concreto para las chimeneas son el principal objetivo de Gómez P. (2013), en su tesis “*Cierre de Bocaminas y Chimeneas de la Zona de San Rafael – Puno*”, [11], propone elaborar diseños para el cierre de 35 bocaminas y 22 chimeneas para el Plan de Cierre de Minas de la Unidad Minera San Rafael, para ello utilizó recopilación y revisión de la información bibliográfica de la zona, llevó a cabo trabajos de campo como el mapeo del macizo rocoso en cada bocamina y chimenea, mapeo de discontinuidades y medición del aforo de caudales.

Con la data obtenida, desarrolló en gabinete, la simulación de los diferentes tipos de tapones y como resultado final obtuvo dos diseños de tapones para el cierre de las bocaminas, una de concreto armado con drenaje (se utilizaron

tuberías que varían de 4 pulgadas a 10 pulgadas dependiendo estas de las mediciones de aforo de sus caudales) y otra de concreto armado sin drenaje (la función principal de este diseño es solo de clausura y no del tipo estructural) y para el cierre de las chimeneas se optó por la construcción de una loza de concreto. Finalmente, se propone el uso de coberturas para las bocaminas y chimeneas que consiste en una capa de material impermeable (arcilla) de 30 cm de espesor, otra capa de material morrénico de 20 cm y una capa de *topsoil* de 10 cm de espesor.

- De la Cruz, E. (2016), en su estudio de “Mitigación de drenaje ácido en minas subterráneas aplicando fangos artificiales”, [12], plantea como objetivo principal la disminución de la acidez de los efluentes, la precipitación de los metales pesados y la eliminación de los sulfatos, producidos por el drenaje de las bocaminas Santiago y Tudela, para ello aplica la tecnología de fangos artificiales, la investigación que se realiza para esta tecnología plantea dos etapas, la primera es a nivel de laboratorio, en donde se experimentó diferentes substratos (obtenidos de la zona de estudio) que contiene piedra clasificada de río, arena clasificada de río, estiércol de cordero, sedimento del parque ecológico y aserrín; con las aguas ácidas provenientes de las dos bocaminas, se obtuvieron resultados favorables como el aumento del pH de 3.8 a 7.3 y la reducción de sólidos en suspensión en mg/L de Cu, Fe, Zn y Pb, conociendo estos resultados favorables, se procede a la segunda etapa que es la implementación en el terreno.

El agua proveniente de las bocaminas Santiago y Tudela ingresan primero a la poza de sedimentación y después estas mismas ingresan al fango aeróbico, se obtuvo un pH 6.45 y concentraciones de metales pesados por

debajo de los Límites Máximos Permisibles, como, T.S.S. de 15.3, Cu de 0.03, Fe de 0.44, Pb de 0.19 y Zn de 0.35, el resultado que se produjo fue positivo.

- Zeballos, J. (2016), en su tesis de “Estabilización del Drenaje Acido de Mina (DAM) de la Empresa Paraíso Perdido Apata”, [13], define como su principal objetivo estabilizar el drenaje acido que sale de la bocamina y alcanzar un pH adecuado, para ello plantea la aplicación de un método de tratamiento pasivo de los Drenajes Ácidos de Mina (poza con material alcalino), debido a que es eficiente largo plazo y lo considera económico; el método de investigación que realizo es aplicativo, desarrolló diversos estudios de campo y laboratorio, tomando muestras del efluente de la bocamina para su evaluación de calidad de agua y también muestras de roca proveniente de las bocaminas para la realización del Test de ABA.

Los resultados obtenidos fueron valores de pH de 4.25 y en el análisis geoquímico fueron que las muestras son generadoras de acidez, conociendo estos datos se procede a plantear la aplicación de un método pasivo de tratamiento de drenaje acido que consiste en un canal abierto con un lecho de caliza (los diámetros de caliza utilizados varían en una primera capa de 1 pulgada a 3 pulgadas y en la segunda capa de 6 pulgadas a 8 pulgadas) con dimensiones de 10 m * 5 m que recepcionará los efluentes de la bocamina; finalmente los resultados obtenidos indican el aumento del pH a 7.5 estabilizando de esta forma el drenaje generado en la mina.

- Huayhua, J. (2017), en su tesis de “Impermeabilización Mediante Inyección de Resina Liquida Poliuretano y Construcción de un Tapón de Cierre Nv. 5,000 U.E.A. Shila Paula – CÍA. De Minas Buenaventura S.A.A.”, [14], define como su objetivo principal es recuperar la calidad del entorno ambiental que

se tenía antes del inicio de la actividad minera, mediante el control del drenaje ácido de roca, utilizando la inyección de una resina líquida de poliuretano para poder sellar las filtraciones que se originan en las bocaminas selladas con anterioridad, también, plantea la construcción de un tapón de concreto reforzado en un lugar adecuado libre de fisuras, que impida la filtración de agua de mina; la investigación es de carácter aplicativo debido a que busca resolver un problema existente.

El autor realiza trabajos de investigación geomecánica, hidrogeológica, luego de un análisis diseña una malla de taladros (16 taladros de 6 m de longitud cada uno) donde filtra el drenaje ácido y mediante la inyección de 350 L/s de resina logra eliminar las filtraciones, luego se procede a construir un tapón hermético con concreto armado de resistencia $f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$ con la finalidad de evitar posibles fugas de drenaje en la impermeabilización del área afectada.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Drenaje Acido de Roca (DAR)

Las Normas Técnicas Para Diseño Ambiental “Guía Ambiental para el manejo de Drenaje Acido de Minas”, (MINEM, 2007), [8], define al drenaje acido de roca como a la reacción de la roca sulfurosa cuando entra en contacto con el aire y el agua produciendo oxidación del mineral sulfuroso y la lixiviación de metales asociados a la roca, y que es dependiente del tiempo debido a que con el tiempo el drenaje cambiara hasta tener un pH más acido con concentraciones crecientes de metales.

❖ Etapas de desarrollo del DAR

Este desarrollo depende del tiempo e involucra relaciones químicas de oxidación como fenómenos físicos que se relacionan.

A continuación, se presentan esquemáticamente el desarrollo del DAR por etapas dependientes del tiempo.

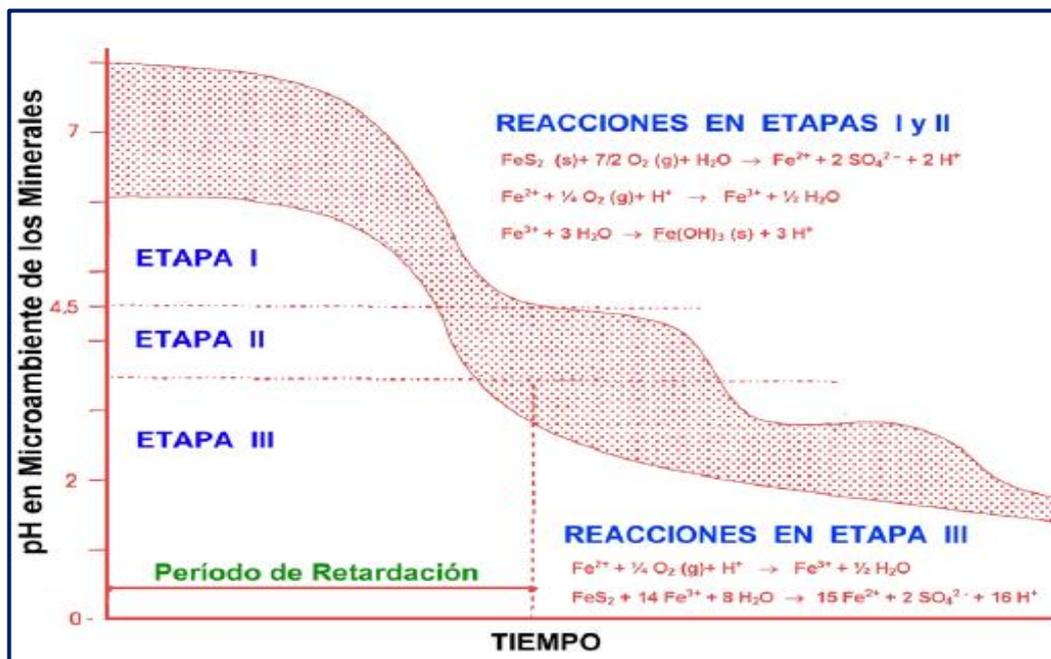


FIGURA 2.1.: ETAPAS EN LA FORMACIÓN DE AGUAS ACIDAS

FUENTE: Drenaje Acido de Mina, Generación y Tratamiento, (Aduvire, O. 2006)

La figura 2.1 indica las etapas que se desarrollan en la formación de las aguas acidas, que se describen a continuación:

- **Etapa 1**

Las acides producidas, al reaccionar, el mineral sulfuroso con el aire y la humedad del ambiente es rápidamente neutralizada debido que al producir el drenaje ácido hay suficiente alcalinidad disponible como para neutralizar las acides y precipitar el Fe en forma de hidróxido.

- **Etapa 2**

En esta etapa disminuyen los minerales carbonatados a medida que va generándose el drenaje ácido y por consiguiente el pH disminuye progresivamente, esta oxidación continua hasta el agotamiento del potencial neutralizador y los valores de pH relativamente constantes representan la neutralización de un mineral soluble a este nivel de pH, para esta etapa el

drenaje es todavía neutro con concentraciones elevadas de metales asociados como hierro ferroso y sulfatos.

- **Etapas 3**

A medida que los minerales carbonatados se van consumiendo rápidamente los valores de pH aumentan con mayor rapidez, esta velocidad es considerable según se observa en la Figura 2.1, el descenso de pH incrementa la rapidez de oxidación, de la reacción de oxidación del mineral sulfuroso se produce hierro ferroso que se oxida biológicamente y se convierte en ión férrico.

En esta etapa el drenaje es ácido con presencia de metales disueltos asociados en concentraciones altas.

2.1.2 Diseño de Tapones para Cierre de Bocaminas

MINEM, 2007, en su Normas Técnicas Para Diseño Ambiental “Guía para el Diseño de Tapones para el Cierre de Labores Mineras”, [10], propone una metodología para el diseño de los tapones, basándose en información de estudios geotécnicos y estructurales para determinar la estabilidad del tapón a largo plazo, resistencia del material del tapón y los esfuerzos sobre este, calidad del agua, gradiente hidráulico, peligro sísmico.

Define al tapón como barreras permanentes, estructuras de concreto que deben de tener factores de seguridad muy altos y que cumplan con un control de calidad riguroso.

El cierre de las bocaminas mediante tapones se realiza para:

- Evitar el ingreso de flujos de cobertura en el interior de la mina por falla de alguna estructura.
- Prevenir el drenaje ácido y la disolución de metales asociados que pudieran salir de las bocaminas.
- Sellar las bocaminas abandonadas que son un peligro potencial para las personas y animales.

Esta guía propone diferentes tipos de tapones, estas se observan en la figura 2.2; pero aclara que no impiden que se formule alternativas originales basándose en la realidad de cada mina.

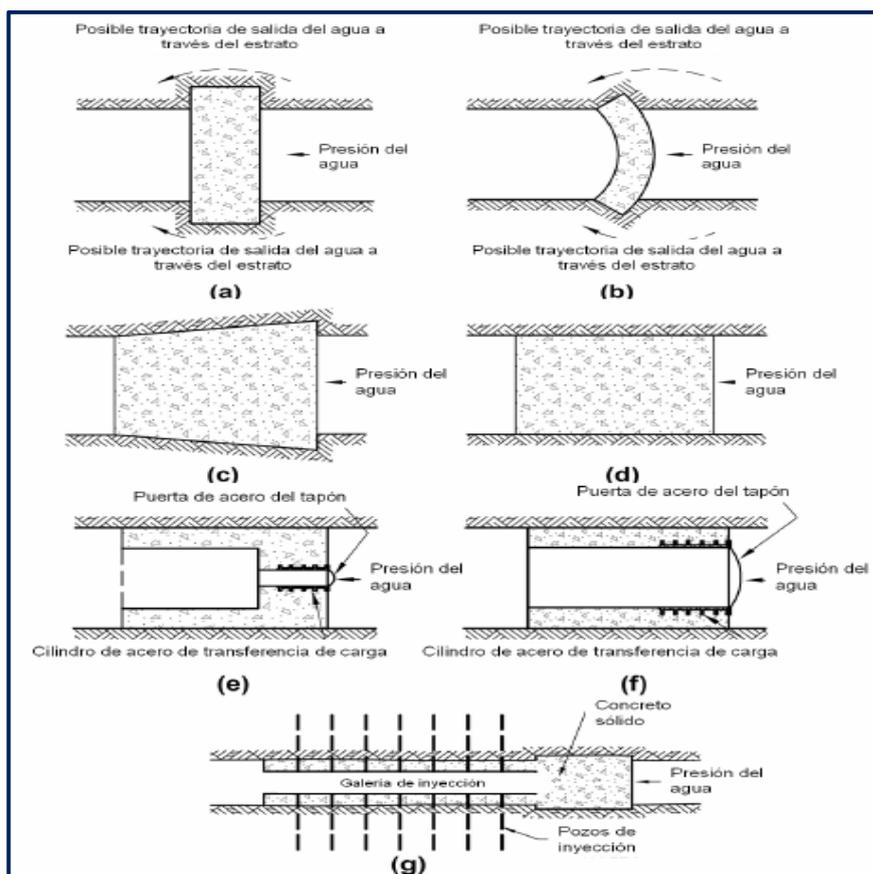


FIGURA 2.2.: DISEÑO DE TAPONES

FUENTE: Guía para el Diseño de Tapones para el Cierre de Labores Mineras (MINEM ,2007)

De acuerdo con la figura 2.2 se observa los diferentes tipos de tapones los cuales se describen a continuación:

- Los tapones (a) y (b) son tapones indentados que presentan una resistencia estructural adecuada, pero son deficientes cuando presentan fugas de agua.
- El tapón (c) es de concreto monolítico sin refuerzos de acero en forma de cuña que presenta una resistencia estructural adecuada y eficiente a las fugas de agua, pero que conlleva un mayor presupuesto con respecto a las otras alternativas.
- El tapón (d) es monolítico sin refuerzos de acero de lados paralelos, tiene una adecuada resistencia estructural y es eficiente contra las fugas de agua, es por lo general económico.
- El tapón (e) es de concreto sin refuerzo de acero, cilíndricos de lados paralelos, con acceso limitado en la vía principal.
- El tapón (f) es de concreto sin refuerzo de acero, cilíndricos de lados paralelos, con acceso mayor y acceso en toda su altura.
- El tapón (g) es de tipo indentado de sección compuesta con una galería inyectada, alcanza una resistencia adecuada y es efectivo contra fugas de agua.

2.1.3 Cobertura para el cierre de mina

MINEM, 2007, en su Normas Técnicas Para Diseño Ambiental “Guía para el Diseño de Coberturas de Depósitos de Residuos Mineros”, [9], donde define a las coberturas como una barrera que impida la filtración de drenaje ácido de roca y esto se realiza de forma efectiva eliminando o disminuyendo uno o más de los tres elementos que generan drenaje ácido, los que son mineral sulfurado, oxígeno y agua.

Uno de los tipos de cobertura más utilizados es la SDR (coberturas de almacenamiento-derivación-descarga) clásica, que está conformada por una capa de suelo de grano fino colocada sobre un material más grueso, es ventajoso porque el material grueso puede provenir de los residuos de mina (desmonte), esto resultaría si el contraste hidráulico entre el residuo de mina y el material fino es lo suficientemente acentuado.

El objetivo principal de la cobertura SDR, es evitar la infiltración de agua en los residuos de mina (roca disturbada), y esto se realiza al tener una adecuada escorrentía, evapotranspiración, filtración lateral.

En la Figura 2.3, se muestra el sistema de cobertura SDR clásica, donde se observan los parámetros ambientales: precipitación, infiltración, evapotranspiración, percolación, escorrentía, etc.

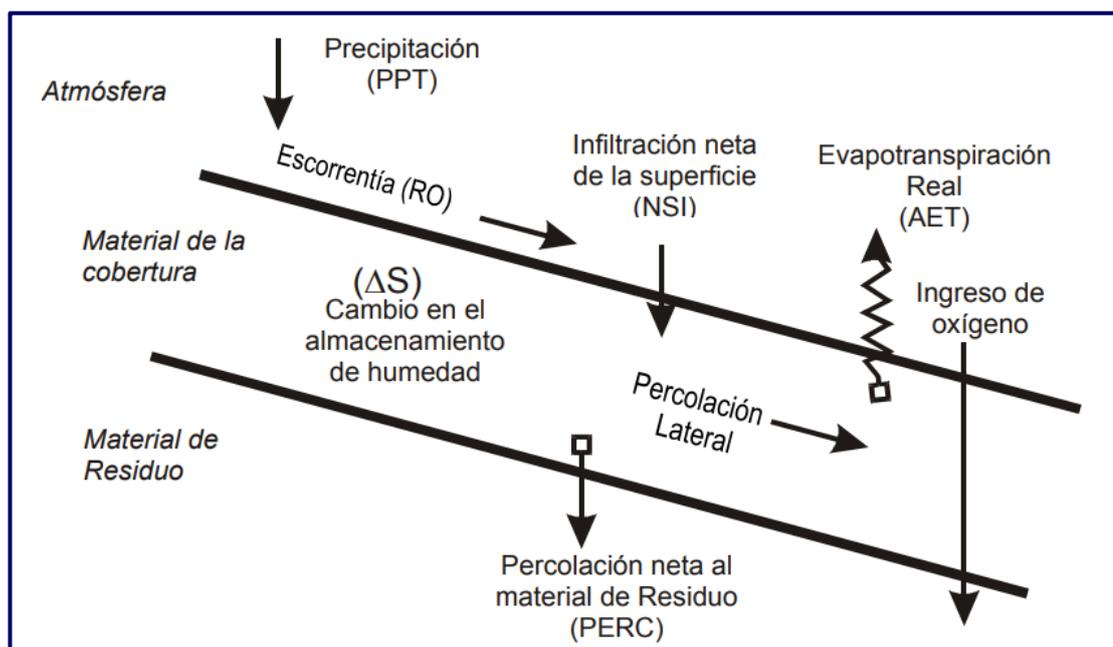


FIGURA 2.3.: INTERACCIÓN DEL AGUA CON LOS MATERIALES DE COBERTURA SDR
FUENTE: Diseño de Coberturas de Depósitos de Residuos Mineros (MINEM, 2007)

2.2 MARCO CONCEPTUAL

- **Bocaminas**

Es el lugar por donde se realiza el ingreso a la mina subterránea donde se realiza las actividades mineras, sus características están definidas por su sección (alto por ancho) y están dan facilidades de ingreso a los equipos y a los trabajadores.

- **Tapón**

Es una estructura de concreto armado, que para algunos casos incluye acero reforzado y que es usado como barrera permanente para retener fluidos baja presiones elevadas.

- **Concreto**

Es la mezcla de cemento, piedra chancada, arena gruesa y agua, que una vez mezclados genera una reacción química que endurece esta mezcla y esto varía de acuerdo del tiempo, las proporciones de estos materiales depende de lo que se indique en los requerimientos.

- **Estabilidad Física**

Comportamiento estable del material en el corto, mediano y largo plazo, frente a factores internos y externos que evitan ocasionar desplazamientos de materiales que dañarían al ambiente, personas y poblaciones.

- **Estabilidad Química**

Asegura que cuando se interrelacione el material disturbado por la actividad minera con los factores externos (agua, aire) no genere efluentes que sobrepasen los Límites Máximos Permisibles en los estándares de calidad ambiental, de tal manera que mantenga un comportamiento estable en el corto, mediano y largo plazo.

CAPÍTULO III

HIPOTESIS Y OPERACIONALIDAD DE VARIABLES

3.1 HIPÓTESIS GENERAL

El mejoramiento del cierre de bocaminas, por la mejora en el diseño del tapón, reducirá la probabilidad de drenaje ácido al ambiente, en el cierre final de bocaminas.

3.1.1 Hipótesis específica

- La caracterización geomecánica y una buena selección del tapón de las bocaminas garantizaría la estabilidad física del componente.
- La caracterización de drenaje ácido de roca (DAR) con contenidos de metales pesados permitiría el control del efluente y alcanzar la estabilidad química del componente.

3.2 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable dependiente (VD): Cierre final de bocaminas en la modificatoria del plan de cierre de mina.

Variable independiente (VI): Mejoramiento del diseño del tapón

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El desarrollo de la investigación detalla el tipo y diseño desde tres puntos de vista:

- **Según su enfoque**

Es cuantitativa, porque de las 7 características epistemológicas 5 corresponden a una investigación cuantitativa, entre las cuales la percepción de la realidad es objetiva porque hay teorías y se encuentra sustentado, el razonamiento de la investigación es deductivo porque contrasta la hipótesis, la finalidad de la investigación es de comprobación y estará orientado a los resultados y la perspectiva para esta investigación estará enfocada al margen de los datos.

- **Según su alcance**

Es de tipo descriptivo, porque toma características del tema a investigar, describe al fenómeno y como se manifiesta en el momento del estudio y de acuerdo a ello se elegirá el diseño de tapón que se empleará en las diferentes bocaminas para su cierre como del tipo de cobertura a utilizar.

- **Diseño de investigación**

Es de tipo experimental, porque se efectuarán evaluaciones geomecánicas, estudios hidrológicos e hidrogeológicos y evaluaciones mineralógicas de los materiales (desmante de mina) para las diferentes bocaminas, empleando ensayos de carga puntual de mineral, compresión triaxial de caja techo, tracción directa de caja techo y piso, propiedades elásticas, etc.

4.2 UNIDAD DE ANÁLISIS

4.2.1 Ubicación

La zona de estudio se encuentra ubicada en el departamento de Ancash, provincia y distrito de Aíja, y en la provincia de Recuay, distrito de Recuay y Ticapampa. Está ubicado entre las cotas 4,000 m.s.n.m. y 4,800 m.s.n.m., siendo sus coordenadas centrales referenciales UTM WGS 84 Zona 18S: 222518-E y 8929698-N.

La Unidad Minera Huancapeti explota las minas Hércules, Coturcán y Caridad, cuanta con una planta de beneficio de capacidad instalada de planta de 3,600 Toneladas/día, produce concentrados de Pb con contenidos de Ag y Zn.

En la figura 4.1 se aprecia la ubicación del área de la unidad de análisis.

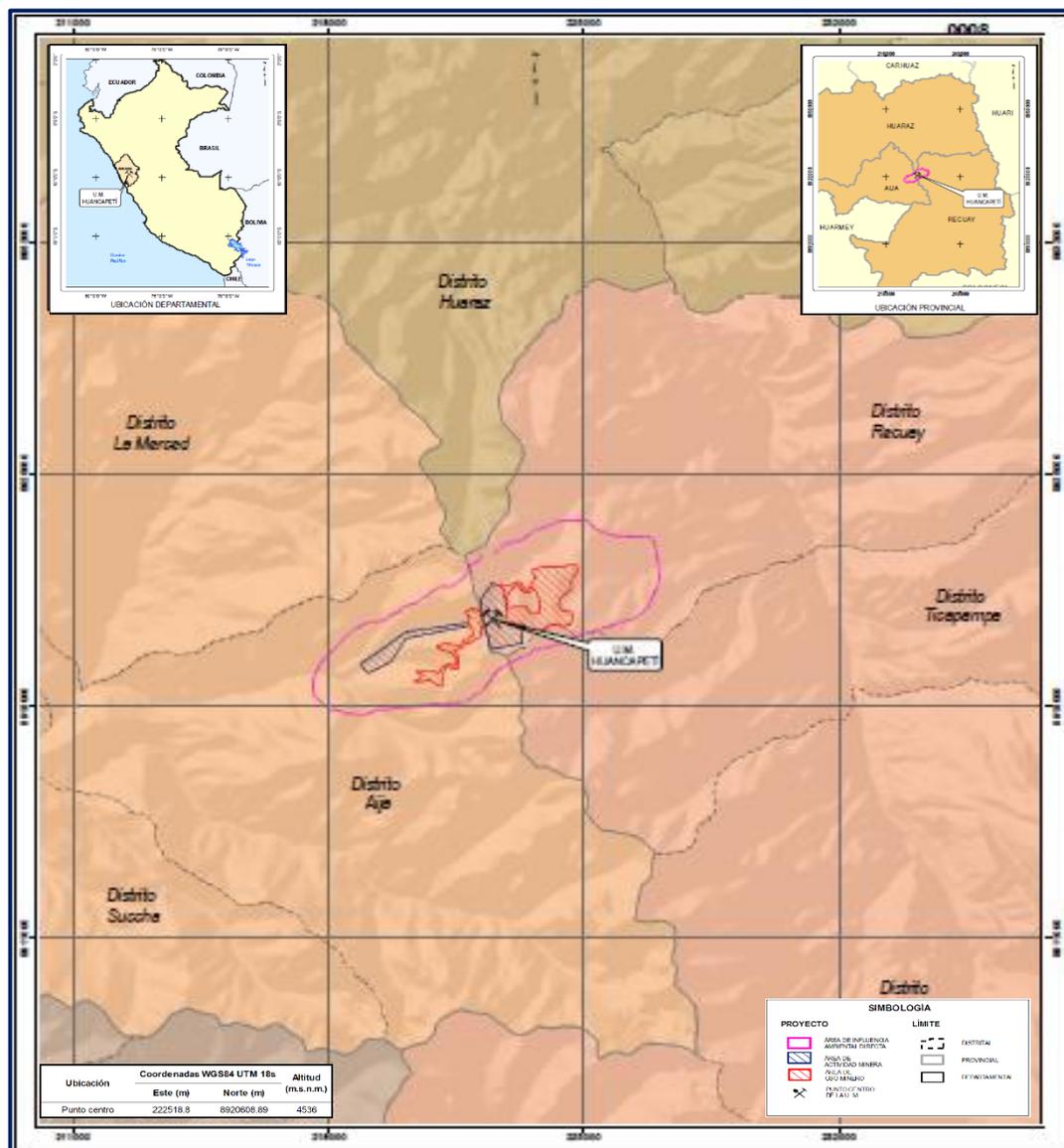


FIGURA 4.1.: UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO
FUENTE: Elaboración propia (Trabajo de Suficiencia, 2021)

4.2.2 Accesibilidad

El acceso desde Lima a la zona de estudio se inicia desde la Panamericana Norte hasta la localidad de Pativilca, y de allí en dirección noroeste hasta Recuay, lugar donde inicia una carretera afirmada de 42 Km en dirección a Aija, que en su paso da acceso a la U. M. Huancapetí.

En la tabla 4.1 se presenta el detalle los accesos hacia la zona de estudio y en la figura 4.2 también se puede observar las vías de acceso mencionadas.

TABLA 4.1.: ACCESOS A LA UNIDAD DE ESTUDIO

N°	TRAMO	TIPO DE VÍA	DISTANCIA (KM)	TIEMPO
1	Lima – Pativilca	Carretera Asfaltada	195	2 h 59 min
2	Pativilca – Recuay	Carretera Asfaltada	183	3 h 16 min
3	Recuay – U.M. Huancapeti /Área planta	Carretera Afirmada	23.8	29 min
4	Recuay – U.M. Huancapeti /Área mina	Carretera Afirmada	32.2	38 min
Total				6 h 53 min.

FUENTE: Elaboración propia

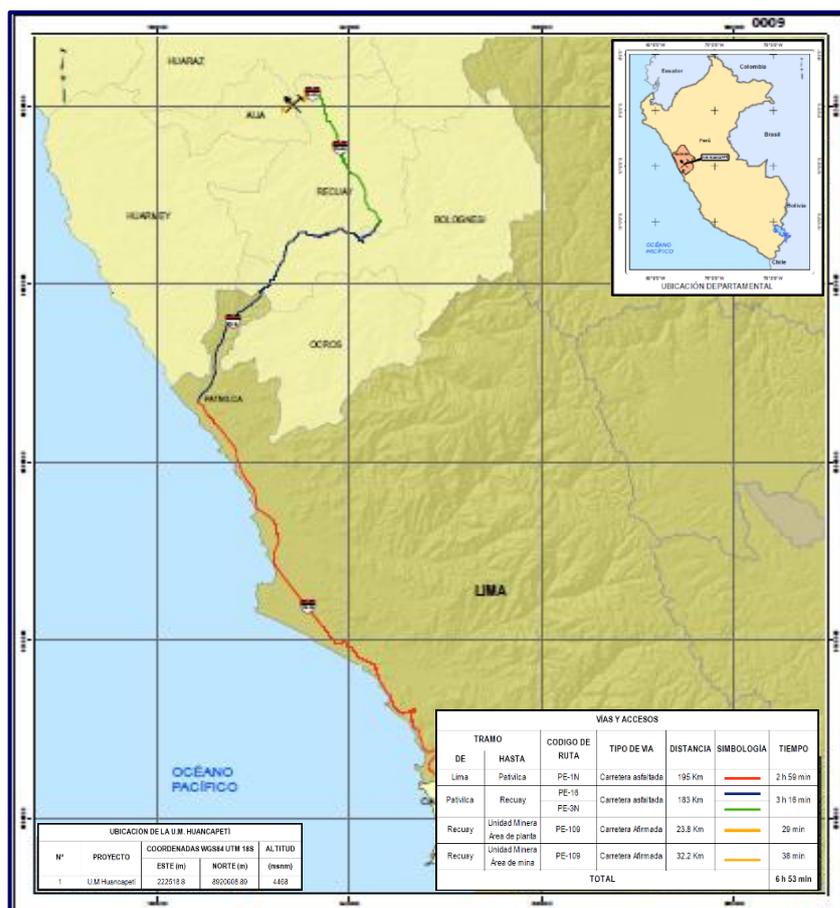


FIGURA 4.2.: ACCESO DEL ÁREA DE ESTUDIO

FUENTE: Elaboración propia (Trabajo de Suficiencia, 2021)

4.2.3 Clima

El clima en la zona de estudio es caluroso de día por la presencia de los rayos del sol y fuertemente lluvioso entre los meses de enero a marzo del año y la presencia de las heladas en los días que no lloven, en la tabla 4.3 se aprecia la temperatura media mensual.

TABLA 4.2.: TEMPERATURA MEDIA MENSUAL UNIDAD MINERA HUANCAPETÍ (C°)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP.	OCT	NOV	DIC	PROM ANUAL
Promedio	10.5	10.4	10.4	10.2	9.4	9	8.8	9.5	10.5	10.8	10.7	10.7	10.1

FUENTE: Data histórica de la plataforma PISCO (SENAMHI, 2019)

En la tabla 4.4 se presenta la variación mensual de las precipitaciones para años promedios, húmedos y secos.

TABLA 4.3.: PRECIPITACIONES MENSUAL PARA AÑOS PROMEDIO, HÚMEDO Y SECO

MES	PERIODO SECO (mm)	PERIODO PROMEDIO (mm)	PERIODO HÚMEDO (mm)
Ene	51.60	73.50	93.60
Feb	85.90	122.10	164.90
Mar	101.80	126.40	153.60
Abr	39.00	44.40	58.80
May	9.18	9.20	9.80
Jun	1.10	1.30	1.90
Jul	0.39	0.40	0.41
Ago	1.30	1.60	2.10
Set	11.00	12.80	18.70
Oct	29.70	33.80	35.90
Nov	36.60	50.90	49.50
Dic	53.50	72.50	85.80

FUENTE: Data histórica de la plataforma PISCO (SENAMHI, 2019)

4.3 Matriz de Consistencia

Título: "Mejoramiento del diseño del tapón para el cierre final de las bocaminas en la modificatoria del plan de cierre de mina"

TABLA 4.4.: MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES		INDICADORES
			DEPENDIENTE	INDEPENDIENTES	
1. ¿En qué forma, el inadecuado diseño del tapón y la presencia de drenaje ácido de roca afectan al ambiente y al plan de cierre de mina?	1. Mejorar el cierre de las bocaminas, mediante la óptima selección del tapón, que mitigue la salida de drenaje ácido de roca y reduzca los metales disueltos en el efluente, alcanzando su estabilidad química y estabilidad física.	1. El mejoramiento del cierre de bocaminas, por la mejora en el diseño del tapón, reducirá la probabilidad de drenaje ácido al ambiente, en el cierre final de bocaminas.	Cierre final de bocaminas en la modificatoria del plan de cierre de mina.	Mejoramiento del diseño del tapón.	<ul style="list-style-type: none"> • Factor de Seguridad en el diseño del tapón. • Potencial del Drenaje Acido y el Potencial de Neutralización mediante la prueba ABA. • Parámetros de calidad de agua (caudal y pH).
2. ¿De qué manera, la caracterización geomecánica inadecuada afecta al diseño del tapón en el plan de cierre de minas?	2. Mejorar el diseño del tapón de las bocaminas en la MPCM de acuerdo a la caracterización geomecánica del sitio, para alcanzar la estabilidad física.	2. La caracterización geomecánica y una buena selección del tapón de las bocaminas garantizaría la estabilidad física del componente.			
3. ¿Cómo perjudica el drenaje ácido de roca y los metales disueltos a los cuerpos de agua, flora y a salud humana?	3. Minimizar la generación de drenaje ácido de roca y metales pesados para alcanzar la estabilidad química.	3. La caracterización de drenaje ácido de roca (DAR) con contenidos de metales pesados permitiría el control del efluente y alcanzar la estabilidad química del componente.			

FUENTE: Elaboración propia

CAPITULO V

DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

5.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

Los datos fueron obtenidos directamente de La U.M. Huancapeti, que la conforman tres minas, Hercules, Coturcan y Caridad, que es donde se ubican las 8 bocaminas que son materia de cierre.

a) Para el análisis de estabilidad física se recolectaron los siguientes datos:

- El mapeo geomecánica se realizó en el área que abarca todas las bocaminas, estos se realizaron mediante los parámetros de observación y medición, según las normas sugeridas por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM).
- Muestras de testigos de perforación para determinar las propiedades físicas y mecánicas del macizo rocoso, estas muestras fueron procesadas por un laboratorio de mecánicas de rocas certificado.

En el Anexo 5.1 se observan los resultados pruebas de laboratorio realizados a los testigos de perforación y el mapeo geomecánica realizado al macizo rocoso.

b) Para el análisis de estabilidad química se recolecto los siguientes datos:

- Muestras de los efluentes de las bocaminas, estos fueron enviados para su análisis de acides y contenido de metales pesados en un laboratorio certificado.
- Muestras superficiales de rocas provenientes de todas las bocaminas, esto se realizó mediante la toma de muestras de los tres depósitos de desmonte que son depósito de desmonte Hércules, Coturcan y Caridad, esto se realizó mediante calicatas, estas muestras fueron enviadas a un laboratorio certificado para un análisis de espectrometría, en donde se determinara si esta roca perturbada produce acides.

En la Figura 5.1 se observa la ubicación satelital de las bocaminas que son materia de la presente investigación y de donde se recolecto los datos utilizados para el presente estudio.

En el Anexo 5.2 se encuentran los resultados de análisis espectrometría realizado a los diferentes desmontes provenientes de las diferentes bocaminas, para poder determinar el tipo de cobertura a utilizar



FIGURA 5.1.: UBICACIÓN SATELITAL DE LAS 8 BOCAMINAS
FUENTE: Elaboración propia

5.2 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Las muestras de roca que se tomaron (testigos de perforación) son procesados mediante ensayos de laboratorio:

- Ensayos de Propiedades Físicas.
- Ensayos de Propiedades Elásticas.
- Ensayos de Tracción Indirecta.
- Ensayos de Carga Puntual.
- Ensayos de Compresión Triaxial.
- Ensayos de Corte Directo.

A continuación, se presenta los datos obtenidos de los testigos de roca en los ensayos de laboratorio. Se realizaron pruebas a muestras de roca intacta, donde se obtuvieron las propiedades físicas de porosidad, densidad de roca y absorción, estos resultados se muestran en la tabla 5.1 siguiente.

TABLA 5.1.: PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS BOCAMINAS

MINA	DENSIDAD SECA (g/cm³)	DENSIDAD SATURADA (g/cm³)	POROSIDAD APARENTE (%)	ABSORCIÓN (%)
Bocamina Nivel 6 Principal (Zona Hércules)	3.13	3.17	0.89	0.27
Bocamina Nivel 5	3.19	3.22	0.92	0.25
Bocamina Nv 4 Norte	3.24	3.26	0.95	0.26
Bocamina Nivel 3 (Zona Coturcán)	2.73	2.73	1.13	0.35
Bocamina Nv-3 (comunicación)	2.73	2.74	1.15	0.41
Bocamina X- 150	2.73	2.73	1.13	0.44
Bocamina Coturcan Norte	2.73	2.73	1.13	0.44
Bocamina Nivel 1 (Zona Caridad)	2.72	2.72	0.55	0.25

FUENTE: Elaboración propia

En la Tabla 5.2 se determinó la resistencia a la compresión de los testigos de roca intacta en estado no drenado cuando es sometido a una presión de confinamiento y a una carga triaxial.

TABLA 5.2.: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN TRIAXIAL

MINA	σ_1 Mpa	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNO (°)	COHESIÓN (MPa)	mi
Bocamina Nivel 6 Principal (Zona Hércules)	145.89	55.14	16.23	10.74
Bocamina Nivel 5	146.14	55.32	16.38	10.89
Bocamina Nv 4 Norte	146.16	55.40	16.49	11.00
Bocamina Nivel 3 (Zona Coturcán)	242.19	241.55	25.45	14.28
Bocamina Nv-3 (comunicación)	242.11	60.18	26.09	14.56
Bocamina X- 150	242.23	60.20	26.11	15.00
Bocamina Coturcan Norte	242.23	60.20	26.11	15.00
Bocamina Nivel 1 (Zona Caridad)	138.48	48.00	21.16	6.30

FUENTE: Elaboración propia (Trabajo de Suficiencia, 2021)

TABLA 5.3.: ENSAYO DE CARGA PUNTUAL

COMPONENTE	Is (50) Mpa
Bocamina Nivel 6 (Zona Hércules) Principal	13.01
Bocamina Nivel 5	13.56
Bocamina Nv 4 Norte	13.85
Bocamina Nivel 3 (Zona Coturcán)	12.23
Bocamina Nv-3 (comunicación)	12.51
Bocamina X- 150	13.11
Bocamina Coturcan Norte	13.11
Bocamina Nivel 1 (Zona Caridad)	14.32

FUENTE: Elaboración propia (Trabajo de Suficiencia, 2021)

En la Tabla 5.3 se observan los resultados de los ensayos de muestra puntual, la

resistencia a la tracción indirecta consiste en la aplicación de una carga lineal de compresión en el eje del diámetro de un disco de roca, estos valores se utilizan para graficar los círculos de Mohr (envolvente de esfuerzos), estos resultados se presentan en la tabla 5.4.

TABLA 5.4.: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (MÉTODO BRASILEIRO)

MINA	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (Kg/cm ²)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (Mpa)
Bocamina Nivel 6 Principal (Zona Hércules)	279.85	27.45
Bocamina Nivel 5	280.14	27.48
Bocamina Nv 4 Norte	280.46	27.51
Bocamina Nivel 3 (Zona Coturcán)	190.45	18.68
Bocamina Nv-3 (comunicación)	191.17	18.75
Bocamina X- 150	191.2	18.75
Bocamina Coturcan Norte	191.2	18.755
Bocamina Nivel 1 (Zona Caridad)	202.34	19.85

FUENTE: Elaboración propia (Trabajo de Suficiencia, 2021)

TABLA 5.5.: PROPIEDADES ELÁSTICAS

MINA	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Gpa)	CONSTANTE DE POISSON (ν)	RESISTENCIA ÚLTIMA (Mpa)
Bocamina Nivel 6 Principal (Zona Hércules)	9.32	0.157	61.89
Bocamina Nivel 5	9.48	0.16	62.05
Bocamina Nv 4 Norte	9.6	0.18	62.12
Bocamina Nivel 3 (Zona Coturcán)	14.97	0.3048	209.12
Bocamina Nv-3 (comunicación)	15.07	0.31	209.46
Bocamina X- 150	15.1	0.33	209.48
Bocamina Coturcan Norte	15.1	0.33	209.48
Bocamina Nivel 1 (Zona Caridad)	16.6	0.28	265.49

FUENTE: Elaboración propia (Trabajo de Suficiencia, 2021)

Las propiedades que se determinan en laboratorio como módulo de elasticidad de Young, relación de Poisson, son mostradas en la tabla 5.5.

En la tabla 5.6 se presenta el resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio referidos al ensayo de corte directo para cada una de las muestras obtenidas en las distintas bocaminas.

TABLA 5.6.: ENSAYO DE CORTE DIRECTO

MINA	Módulo De Elasticidad (Gpa)	CONSTANTE DE POISSON (v)
Bocamina Nivel 6 Principal (Zona Hércules)	36.89	0.052
Bocamina Nivel 5	37.19	0.056
Bocamina Nv 4 Norte	37.3	0.058
Bocamina Nivel 3 (Zona Coturcán)	41.15	0.041
Bocamina Nv-3 (comunicación)	41.28	0.043
Bocamina X- 150	41.6	0.046
Bocamina Coturcan Norte	41.6	0.046
Bocamina Nivel 1 (Zona Caridad)	40.5	0.04

FUENTE: Elaboración propia (Trabajo de Suficiencia, 2021)

Las muestras de los efluentes que se tomaron de las bocaminas son procesadas mediante evaluación de calidad de agua. A continuación, se presentan los datos obtenidos de calidad de agua de los efluentes provenientes de las bocaminas a evaluar.

En la tabla 5.7 se muestra los resultados de calidad de agua de la bocamina

TABLA 5.7 BOCAMINA PRINCIPAL NV-6 (ZONA HÉRCULES)

PARÁMETROS	UNIDAD DE MEDIDA	D.S. 010-2010 MINAM LMP	2019											
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
FÍSICO - QUÍMICO														
Caudal	L/s		56.46	75.69	74.26	60.55	65.32	41.65	35.25	25.36	19.36	10.31	--	--
Aceites y Grasas	mg/L	20	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50
Cloruros	mg/L		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Color (b)	Pt/Co		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Conductividad	(uS/cm)		73,1	133,5	49,5	58,1	67,4	72,4	72	66,3	2 900	57,4	114.8	130
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L		5	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L		11	15	20	<10	<10	16	12	<10	<10	<10	<10	<10
Fenoles	mg/L		--	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Fluoruros	mg/L		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Nitritos (NO ₂ -) (d)	mg/L		<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.09	<0.005	<0.005	<0.005
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L		6,72	6,51	7,07	6,82	6,94	6,61	6,92	6,61	7,03	6,86	7,08	7,27
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6 - 9	6.1	5.5	5.2	5.4	6.2	5.7	5.5	5.3	5.5	5.2	5.1	5.4
Sulfatos	mg/L		19	16	11	13	16	28	20	17	2181	--	--	--
Temperatura	°C		12,4	11,3	9,3	12,4	7,7	15,1	9,1	12	12.6	11,5	10.7	9.1
INORGÁNICOS														
Aluminio	mg/L		0,24	0,09	0,2	0,17	0,26	0,21	0,22	0,26	1,11	0,22	0,29	0,22
Arsénico	mg/L	0.1	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008
Bario	mg/L		0,006	0,006	0,004	0,005	0,005	0,006	0,004	0,004	0,039	0,004	0,005	0,004
Berilio	mg/L		<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Boro	mg/L		0,004	0,007	<0.003	0,034	0,009	0,013	0,014	0,017	0,394	0,018	0,04	0,042
Cadmio	mg/L		<0.001	<0.001	0,003	<0.001	<0.001	0,007	<0.001	<0.001	0,033	<0.001	<0.001	<0.001
Cobre	mg/L		<0.003	0,004	0,006	0,006	<0.003	0,009	<0.003	0,003	0,017	<0.003	<0.003	0,004
Cromo Total	mg/L	0.5	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
Hierro	mg/L		0,11	0,07	0,16	0,1	0,17	0,06	0,05	0,07	0,3	0,1	0,06	0,13
Manganeso	mg/L		0,03	0,032	0,053	0,056	0,048	0,139	0,037	0,03	7,847	0,014	0,11	0,055
Mercurio	mg/L	0.002	0.0009	<0.0001	0.0001	0.0004	0.0002	0.0001	0.0004	<0.0001	0.0006	0.0002	0.0005	0.0005
Níquel	mg/L		<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Plomo	mg/L	0.2	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.02
Selenio	mg/L		<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Zinc	mg/L		0,125	0,254	0,314	0,287	0,287	0,982	0,22	0,134	4,771	0,052	0,145	0,224
ORGÁNICO														
Clordano	mg/L		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Lindano	mg/L		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Aldicarb	mg/L		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Coliformes	NMP/100		2	<1.8	46	<1.8	17	<1.8	<1.8	<1.8	14	<1.8	<1.8	<1.8
Termotolerantes	mL													
Escherichiacoli	NMP/100 mL		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

FUENTE: Elaboración propia (Trabajo de Suficiencia, 202

En la tabla 5.8 se muestra los resultados de calidad de agua de la bocamina

TABLA 5.8.: BOCAMINA NV 5

PARÁMETROS	UNIDAD DE MEDIDA	D.S. 010-2010 MINAM LMP	2019											
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
FÍSICO - QUÍMICO														
Caudal	L/s		0.6	1.15	1.21	0.8	0.65	0.6	0.3	0.25	0.15	0.1	--	--
Aceites y Grasas	mg/L	20	<1	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.5	<0.50	0,82
Cloruros	mg/L		0,52	3,71	0,99	0,6	2,85	4,14	5,23	4,94	8,12	6,16	5,11	--
Color (b)	Pt/Co		<0.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	--
Conductividad	(uS/cm)		608	2171	489	276	953	1822	1599	2029	1909	2280	1271	341
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L		<2.0	3	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2	<2.0	7,4	3,8	2,2	6,3
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L		<10	<10	10	20	18	<10	25	13	37	22	12	22
Fenoles Fluoruros	mg/L		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	mg/L		<0.05		0,255	0,091	0,651	1,562	1,235	1,26	1,294	--	0,572	--
Nitritos (NO ₂ -) (d)	mg/L		<0.05	0,09	<0.01	<0.01	<0.01	0,24	<0.01	<0.03	<0.01	0,23	0,07	0,01
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L		7,7	6,11	6,79	6,8	6,82	6,5	6,92	6,92	6,16	6,36	6,12	6,27
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6 - 9	5.7	5.1	4.8	5	5.8	5.3	5.1	4.9	5.1	4.8	4.7	5
Sulfatos	mg/L		64,87	1408.12	185.29	185,29	723,95	1728.76	1471.42	1740.34	1546.88	1389.02	768,97	178
Temperatura	°C		8,3	13,8	12,1	13	13,2	11,1	10,5	12,4	12,8	16,2	15,9	13,7
INORGÁNICOS														
Aluminio	mg/L		22645	0,78	2,83	1,55	1,24	1,33	2,29	1,43	2,48	1,11	1,07	1,63
Arsénico	mg/L	0.1	0,1508	0,033	<0.008	<0.008	<0.008	0,073	<0.008	<0.008	0,052	<0.008	<0.008	<0.008
Bario	mg/L		0,0168	0,022	0,009	0,007	0,013	0,024	0,023	0,026	0,023	0,025	0,019	0,013
Berilio	mg/L		<0.0006	<0.0003	0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	0,0006	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	0.0004
Boro	mg/L		0,0636	0,209	0,029	0,042	0,099	0,281	0,268	0,421	0,347	0,398	0,171	0,035
Cadmio	mg/L		0,0695	0,164	0,092	0,108	0,057	0,212	0,171	0,134	0,169	0,097	0,078	0,063
Cobre	mg/L		0,1388	0,028	0,135	0,073	0,039	0,042	0,053	0,035	0,063	0,038	0,075	0,103
Cromo Total	mg/L	0.5	0,0009	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
Hierro	mg/L		18166	0,34	1,8	1,04	0,63	0,54	0,47	0,7	0,99	0,17	0,2	0,49
Manganeso	mg/L		7952	36231	7,47	7603	18027	63274	39531	68504	65,03	52272	21586	4079
Mercurio	mg/L	0.002	<0.0001	0,0004	0,0004	0,0001	<0.0001	<0.0001	0,0003	<0.0001	0,0008	<0.0001	<0.0001	0.0003
Níquel	mg/L		0,0037	0,0004	0,007	0,0001	<0.002	<0.0001	0,0003	<0.0001	0,0008	<0.002	<0.002	<0.002
Plomo	mg/L	0.2	0,1645	<0.01	0,05	0,06	<0.01	0,05	<0.01	<0.01	0,02	<0.01	<0.01	0,05
Selenio	mg/L		<0.0002	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Zinc	mg/L		110253	7666	13867	15719	5546	11374	14557	9543	16504	7983	12273	10,7
ORGÁNICO														
Clordano	mg/L		<0.00005	<0.004	<0.004	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Lindano	mg/L			<0.002	<0.002	<0.1	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Aldicarb	mg/L			<0.10	<0.10	<1.8	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.1	<0.10	
Coliformes	NMP/100													
Termotolerantes	mL		17	350	33	<1.8	<1.8	<1.8	4,5	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8
Escherichiacoli	NMP/100 mL		2	23	33	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	

FUENTE: Elaboración propia (Trabajo de Suficiencia, 2,021)

En la tabla 5.9 se muestra los resultados de calidad de agua de la bocamina

TABLA 5.9.: BOCAMINA NV 4 NORTE

PARÁMETROS	UNIDAD DE MEDIDA	D.S. 010-2010 MINAM LMP	2019											
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
FÍSICO - QUÍMICO														
Caudal	L/s		0.36	0.65	0.66	0.42	0.31	0.25	0.06	0.01	--	--	--	--
Aceites y Grasas	mg/L	20	<1	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	0,82
Cloruros	mg/L		0.48	3.85	0,99	0.43	2.46	3.14	5.23	4.65	7.54	5.16	3.96	--
Color (b)	Pt/Co		<0.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	--
Conductividad	(uS/cm)		595	2121	465	235	912	1842	1566	2021	1708	2160	1385	326
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L		<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	3	3.8	3.2	6.3
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L		<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Fenoles	mg/L		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Fluoruros	mg/L		<0.05	0.165	0.255	0.045	0.712	1	1	1.38	1	--	0.678	--
Nitritos (NO ₂ -) (d)	mg/L		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L		7.3	6.05	6.89	6.45	6.26	6.35	6.16	6.89	6.01	6.26	6.63	6.29
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6 - 9	5.6	5	4.7	4.9	5.7	5.2	5.15	4.78	5.03	4.7	4.6	4.9
Sulfatos	mg/L		66.85	1307.63	186.36	176.96	721.45	1745.26	1572.38	1645.89	1636.12	1396.23	745.78	163
Temperatura	°C		8.1	12.6	11.96	14	13.1	10.65	10.23	12.45	12.52	16.3	15.56	13.42
INORGÁNICOS														
Aluminio	mg/L		21745	0.65	2.45	1.25	1.45	1.85	2.14	1.63	2.35	1.01	1.5	1.32
Arsénico	mg/L	0.1	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008
Bario	mg/L		0.0118	0.012	0.008	0.005	0.015	0.032	0.045	0,026	0,023	0,023	0,023	0,023
Berilio	mg/L		<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Boro	mg/L		0.0626	0.119	0.036	0.078	0.066	0.181	0.256	0.423	0.364	0.365	0.123	0.065
Cadmio	mg/L		0.0565	0.234	0.085	0.102	0.065	0.211	0.163	0.145	0.156	0.089	0.065	0.056
Cobre	mg/L		0.1298	0.036	0.165	0.045	0.036	0.026	0.085	0,035		0,038	0,075	0,103
Cromo Total	mg/L	0.5	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
Hierro	mg/L		0.24	0.45	1.7	1.06	0.73	0.45	0,47	0.47	0.98	0.36	0.48	0.54
Manganeso	mg/L		8922	35432	5.64	8403	17046	65342	37341	79021	55.04	51335	19356	4303
Mercurio	mg/L	0.002	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Níquel	mg/L		0.0025	0.0003	0.006	0.0001	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Plomo	mg/L	0.2	0.1456	<0.01	0,05	0,07	<0.01	0.05	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Selenio	mg/L		<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Zinc	mg/L		110453	6566	12745	14823	4536	10478	13446	8534	15526	7526	11256	10.8
ORGÁNICO														
Clordano	mg/L		<0.004	<0.004	<0.004	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Lindano	mg/L			<0.002	<0.002	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Aldicarb	mg/L			<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Coliformes	NMP/100													
Coliformes Termotolerantes	mL		16	345	31	<1.8	<1.8	<1.8	4,5	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8
Escherichiacoli	NMP/100 mL		3	21	30	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8

FUENTE: Elaboración propia (Trabajo de Suficiencia, 2,021)

En la tabla 5.10 se muestra los resultados de calidad de agua de la bocamina

TABLA 5.10 BOCAMINA NV 4 NORTE

PARÁMETROS	UNIDAD DE MEDIDA	D.S. 010-2010 MINAM LMP	2019											
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
FÍSICO - QUÍMICO														
Caudal	L/s		21.06	40.12	41.23	35.23	25.36	18.36	9.65	5.23	5.01	4.95	--	--
Aceites y Grasas	mg/L	20	<1	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.5	<0.50	0,82
Cloruros	mg/L		0.35	3.72	0.86	0.3	2.33	3.01	5.1	4.52	7.41	5.03	3.83	--
Color (b)	Pt/Co		<0.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	--
Conductividad	(uS/cm)		582	2108	452	222	899	1829	1553	2008	1695	2147	1372	313
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L		<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	3.6	4	3.2	6.3
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L		<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Fenoles	mg/L		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Fluoruros	mg/L		0.145	0.152	0.242	0.032	0.699	1	1	1.367	1		0.665	
Nitritos (NO ₂ -) (d)	mg/L		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L		3.4	2.15	2.99	2.55	2.36	2.45	2.26	2.99	2.11	2.36	2.73	2.39
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6 - 9	4.65	4.45	4.55	4.65	4.75	4.85	4.65	4.75	4.75	4.65	4.75	4.65
Sulfatos	mg/L		53.85	1294.63	173.36	163.96	708.45	1732.26	1559.38	1632.89	1623.12	1383.23	732.78	150
Temperatura	°C		6.8	11.3	10.66	12.7	11.8	9.35	8.93	11.15	11.22	15	14.26	12.12
INORGÁNICOS														
Aluminio	mg/L		21744.87	0.52	2.32	1.12	1.32	1.72	2.01	1.5	2.22	0.88	1.37	1.19
Arsénico	mg/L	0.1	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008
Bario	mg/L		0.0118	0.012	0.008	0.005	0.015	0.032	0.045	0.026	0,023	0,023	0,023	0,023
Berilio	mg/L		<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Boro	mg/L		0.0613	0.1177	0.0347	0.0767	0.0647	0.1797	0.2547	0.4217	0.3627	0.3637	0.1217	0.0637
Cadmio	mg/L		0.0552	0.2327	0.0837	0.1007	0.0637	0.2097	0.1617	0.1437	0.1547	0.0877	0.0637	0.0547
Cobre	mg/L		0.1285	0.0347	0.1637	0.0437	0.0347	0.0247	0.0837	0.0337	0.0641	0.0367	0.0737	0.1017
Cromo Total	mg/L	0.5	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
Hierro	mg/L		0.227	0.437	1.687	1.047	0.717	0.437	0.457	0.457	0.967	0.347	0.467	0.527
Manganeso	mg/L		8920.7	35430.7	4.34	8401.7	17044.7	65340.7	37339.7	79019.7	53.74	51333.7	19354.7	4301.7
Mercurio	mg/L	0.002	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Níquel	mg/L		<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Plomo	mg/L	0.2	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Selenio	mg/L		<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Zinc	mg/L		110452.87	6565.87	12744.87	14822.87	4535.87	10477.87	13445.87	8533.87	15525.87	7525.87	11255.87	10.67
ORGÁNICO														
Clordano	mg/L		<0.004	<0.004	<0.004	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Lindano	mg/L			<0.002	<0.002	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Aldicarb	mg/L			<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Coliformes	NMP/100													
Coliformes Termotolerantes	mL		<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	4,5	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8
Escherichiacoli	NMP/100 mL		2	19	27	<1.8	<1.8	<1.8	3	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8

FUENTE: Elaboración propia (Trabajo de Suficiencia, 2,021)

En la tabla 5.11 se muestra los resultados de calidad de agua de la bocamina

TABLA 5.11 BOCAMINA NV 1 (ZONA CARIDAD)

PARÁMETROS	UNIDAD DE MEDIDA	D.S. 010-2010 MINAM LMP	2019											
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
FÍSICO - QUÍMICO														
Caudal	L/s		21.06	40.12	41.23	35.23	25.36	18.36	9.65	5.23	5.01	4.95	--	--
Aceites y Grasas	mg/L	20	<1	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.5	<0.50	0,82
Cloruros	mg/L		0.35	3.72	0.86	0.3	2.33	3.01	5.1	4.52	7.41	5.03	3.83	--
Color (b)	Pt/Co		<0.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	--
Conductividad	(uS/cm)		582	2108	452	222	899	1829	1553	2008	1695	2147	1372	313
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L		<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	3.6	4	3.2	6.3
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L		<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Fenoles	mg/L		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Fluoruros	mg/L		0.145	0.152	0.242	0.032	0.699	1	1	1.367	1		0.665	
Nitritos (NO ₂ -) (d)	mg/L		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L		3.4	2.15	2.99	2.55	2.36	2.45	2.26	2.99	2.11	2.36	2.73	2.39
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6 - 9	4.65	4.45	4.55	4.65	4.75	4.85	4.65	4.75	4.75	4.65	4.75	4.65
Sulfatos	mg/L		53.85	1294.63	173.36	163.96	708.45	1732.26	1559.38	1632.89	1623.12	1383.23	732.78	150
Temperatura	°C		6.8	11.3	10.66	12.7	11.8	9.35	8.93	11.15	11.22	15	14.26	12.12
INORGÁNICOS														
Aluminio	mg/L		21744.87	0.52	2.32	1.12	1.32	1.72	2.01	1.5	2.22	0.88	1.37	1.19
Arsénico	mg/L	0.1	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008
Bario	mg/L		0.0118	0.012	0.008	0.005	0.015	0.032	0.045	0.026	0,023	0,023	0,023	0,023
Berilio	mg/L		<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Boro	mg/L		0.0613	0.1177	0.0347	0.0767	0.0647	0.1797	0.2547	0.4217	0.3627	0.3637	0.1217	0.0637
Cadmio	mg/L		0.0552	0.2327	0.0837	0.1007	0.0637	0.2097	0.1617	0.1437	0.1547	0.0877	0.0637	0.0547
Cobre	mg/L		0.1285	0.0347	0.1637	0.0437	0.0347	0.0247	0.0837	0.0337	0.0641	0.0367	0.0737	0.1017
Cromo Total	mg/L	0.5	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
Hierro	mg/L		0.227	0.437	1.687	1.047	0.717	0.437	0.457	0.457	0.967	0.347	0.467	0.527
Manganeso	mg/L		8920.7	35430.7	4.34	8401.7	17044.7	65340.7	37339.7	79019.7	53.74	51333.7	19354.7	4301.7
Mercurio	mg/L	0.002	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Níquel	mg/L		<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Plomo	mg/L	0.2	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Selenio	mg/L		<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Zinc	mg/L		110452.87	6565.87	12744.87	14822.87	4535.87	10477.87	13445.87	8533.87	15525.87	7525.87	11255.87	10.67
ORGÁNICO														
Clordano	mg/L		<0.004	<0.004	<0.004	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Lindano	mg/L			<0.002	<0.002	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Aldicarb	mg/L			<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Coliformes	NMP/100													
Coliformes Termotolerantes	mL		<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	4,5	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8
Escherichiacoli	NMP/100 mL		2	19	27	<1.8	<1.8	<1.8	3	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	

FUENTE: Elaboración propia (Trabajo de Suficiencia, 2,021)

No se presentan análisis de calidad de agua para las Bocaminas Nv-3 (comunicación), X-150 y Coturcan Norte, debido que estas bocaminas no presentan caudal. No se presentan análisis de calidad de agua para las Bocaminas Nv-3 (comunicación), X-150 y Coturcan Norte, debido que estas bocaminas no presentan caudal.

Las muestras de desmonte son procesados mediante ensayos de análisis ABA (Balance Acido Base).

Se realizó el análisis geoquímico a las muestras de desmonte de las minas Hércules, Corturcan y Caridad, debido a que estas muestras provienen de las 8 bocaminas en cuestión.

En la mina Hércules se ubican las bocaminas: Bocamina Nivel 6 (zona Hércules), Bocamina Nivel – 5 y Bocamina Nivel – 4 Norte.

Por ello en la tabla 5.12 se muestra de los resultados de análisis de estabilidad geoquímica del depósito de desmonte Hércules.

TABLA 5.9.: ANÁLISIS GEOQUÍMICO DEL DEPÓSITO DE DESMONTE HÉRCULES

MUESTRA	AZUFRE (%)	POTENCIAL (T CaCO ₃ /1000 T)			RELACIÓN	pH	RESULTADO
	SULFURO	ÁCIDO (PA)	NEUTRALIZACIÓN (PN)	NETO DE NEUTRALIZACIÓN (PNN)	PN/PA	PASTA	
DH – C19 -03	Silicatos con sulfuros	40.63	2.5	-38.13	0.06	7.1	Drenaje acido

FUENTE: Laboratorio de Espectrometría (UNI, 2019)

Por ello en la tabla 5.13 se muestra de los resultados de análisis de estabilidad geoquímica del depósito de desmonte Coturcan.

TABLA 5.10 ANÁLISIS GEOQUÍMICO DEL DEPÓSITO DE DESMONTE COTURCAN

MUESTRA	AZUFRE (%)	POTENCIAL (T CACO3/1000 T)			RELACIÓN	pH	RESULTADO
	SULFURO	ÁCIDO (PA)	NEUTRALIZACIÓN (PN)	NETO DE NEUTRALIZACIÓN (PNN)	PN/PA	PASTA	
DC - C19 - 02	Silicatos con sulfuros	89.06	46.25	-42.81	0.52	7.2	Drenaje acido

FUENTE: Laboratorio de Espectrometría (UNI, 2019)

En la mina Coturcan se ubican las bocaminas: Bocamina Nivel 3 (zona Coturcan), Bocamina Nv - 3 (comunicación), Bocamina X - 150 y Bocamina Coturcan Norte.

En la mina Caridad se ubica la bocamina Nivel 1 (zona Caridad).

Por ello en la tabla 5.14 se muestra de los resultados de análisis de estabilidad geoquímica del depósito de desmonte Caridad.

TABLA 5.11.: ANÁLISIS GEOQUÍMICO DEL DEPÓSITO DE DESMONTE CARIDAD

MUESTRA	AZUFRE (%)	POTENCIAL (T CACO3/1000 T)			RELACIÓN	pH	RESULTADO
	SULFURO	ÁCIDO (PA)	NEUTRALIZACIÓN (PN)	NETO DE NEUTRALIZACIÓN (PNN)	PN/PA	PASTA	
DCD - C19 - 04	Silicatos con sulfuros	66.25	27.50	-38.75	0.42	7	Drenaje acido

FUENTE: Laboratorio de Espectrometría (UNI, 2019)

5.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Con la información ya procesada que se obtuvo de las bocaminas, se analizan los indicadores para realizar el diseño del tapón, de tal forma que alcance la estabilidad física y química.

Para ello se conoce el tipo de roca, la calidad de roca, análisis geomecánico, presencia de agua para determinar si es necesario implementar un drenaje, el pH del efluente, la concentración de metales disueltos, las dimensiones de la bocamina y un

análisis geoquímico del material de las bocaminas para poder implementar la cobertura.

5.3.1 Diseño del tapón

Para la MPCM de las bocaminas se construirán tapones en las entradas de las bocaminas, principalmente para evitar la salida de drenaje ácido de roca y metales disueltos, también para evitar el ingreso de personas y animales que puedan comprometer su seguridad, para ello se realizó el diseño de dos tipos de tapones uno de concreto armado con drenaje y otro de concreto armado sin drenaje.

Para realizar él se tomó como referencia la Guía de Diseños de Tapones para el Cierre de Labores Mineras.

Se ha considerado que, las bocaminas que presentan drenaje tendrán en su diseño una tubería que impida que entre el oxígeno que provoca la oxidación de los sulfuros, también ello incide en que la carga hidráulica que soportará el tapón es menor debido a que saldrá agua y no la retendrá.

Para los parámetros de diseño se tomó en cuenta:

- Clasificación del Macizo rocoso
- Dimensiones de la bocamina
- Dimensiones del muro
- Carga estática
- Fuerza cortante
- Momento flector último
- Pendiente
- Caudal
- Potencial de Hidrogeno (pH)

En la tabla 5.15, se muestra los resultados que se consideran para el diseño del cierre de las bocaminas, de tal forma de alcanzar la estabilidad física del tapón.

TABLA 5.12 RESULTADO DE CÁLCULO DE CIERRE DE BOCAMINAS

ÍTEM	COMPONENTES MINEROS	CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO	DIMENSIONES BOCAMINA			DIMENSIONES MURO		CARGA ESTÁTICA (M)	FUERZA CORTANTE	MOMENTO FLECTOR ÚLTIMO	PENDIENTE	CIERRE DE BOCAMINA	CAUDAL	TUBERÍA DRENAJE	POTENCIAL DE HIDROGENO		COBERTURA
			ALTURA	ANCHO	DISTANCIA LÍNEA SEGURA	PANTALLA									pH	ACIDO/BÁSICO	
			RMR	H (m)	B (m)	D (m)	H (m)										
1	Bocamina Nivel 6 (zona Hércules)	55	4	4	10	4.6	0.75	35	296.3	158.02	+	Tipo I	Q= 43 (con operación) Q= 19.23 (sin operación)	8"	5.2	Acido	IV
2	Bocamina Nivel 3 (zona Coturcán)	55	4	4	10	4.6	0.7	30	177.78	94.81	+	Tipo I	Q= 39.04 (con operación) Q= 10.80 (sin operación)	8"	4.75	Acido	IV
3	Bocamina Nivel 1 (zona Caridad)	58	4	4	10	4.6	0.75	35	355.56	189.63	+	Tipo I	Q= 33.13 (con operación) Q= 14.55 (sin operación)	8"	5	Acido	IV
4	Bocamina Nivel - 5	53	4	4	8	4.6	0.45	5	59.26	31.6	+	Tipo I	Q=056 (sin operación)	4"	-	-	IV
5	Bocamina Nivel - 4 Norte	56	4	4	8	4.6	0.4	5	59.26	31.6	+	Tipo I	Q = 0.32 (sin operación)	4"	-	-	IV
6	Bocamina Nv - 3 (comunicación)	52	4	4	15	4.6	0.35	5	59.26	31.6	-	Tipo I	-	-	-	-	IV
7	Bocamina X - 150	53	4	4	10	4.6	0.35	5	59.26	31.6	+	Tipo I	-	-	-	-	IV
8	Bocamina Coturcán Norte	53	4	4	8	4.6	0.4	10	118.52	63.21	+	Tipo II	-	-	-	-	IV

FUENTE: Elaboración propia

CAPITULO VI: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se procede a analizar los resultados obtenidos de las pruebas de nuestro realizados.

6.1 CALIDAD DE ROCA DE LAS BOCAMINAS

Los datos obtenidos de calidad de roca de las 8 bocaminas en estudio se contrastarán con el sistema de clasificación geomecánica RMR de Bieniawski, para su clasificación se utiliza el índice de calidad que tiene valores de 0 a 100, tal y como se observa en la siguiente tabla 6.1.

TABLA 6.1.: CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO SEGÚN CLASIFICACIÓN RMR

CLASE	CALIDAD	VALORACIÓN RMR
I	Muy buena	100 – 81
II	Buena	80 – 61
III	Media	60 – 41
IV	Mala	40 – 21
V	Muy mala	<20

FUENTE: Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989)

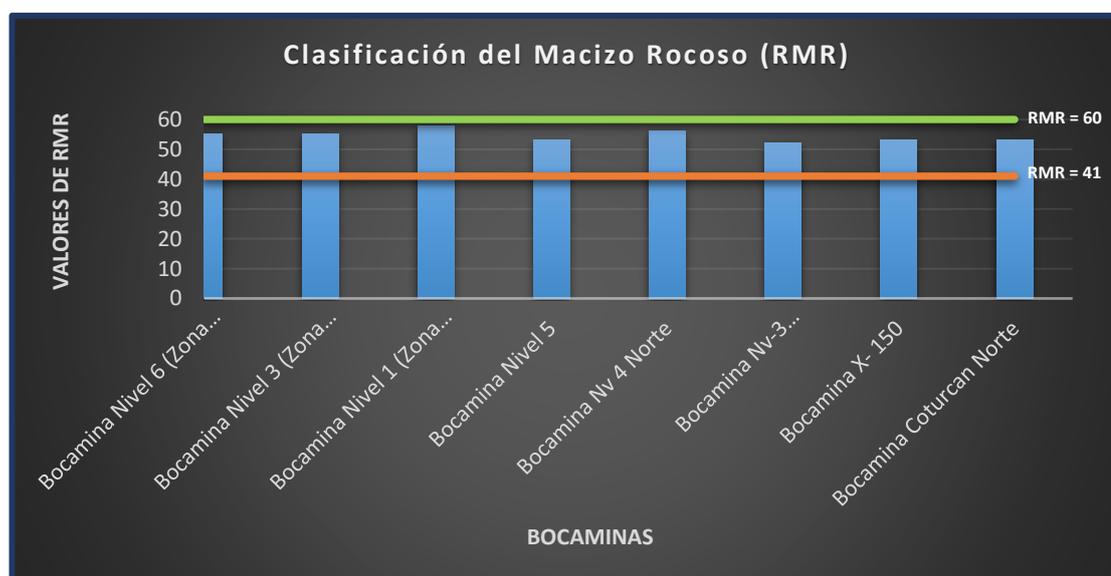
En base a la tabla 6.1 se procede clasificar la calidad del tipo de roca de las bocaminas en la tabla 6.2.

TABLA 6.2.: CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS BOCAMINAS (RMR)

ÍTEM	BOCAMINA	CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO	CALIDAD DE ROCA
		RMR	
1	Bocamina Nivel 6 Principal (Zona Hércules)	55	Media
2	Bocamina Nivel 3 (Zona Coturcán)	55	Media
3	Bocamina Nivel 1 (Zona Caridad)	58	Media
4	Bocamina Nivel 5	53	Media
5	Bocamina Nv 4 Norte	56	Media
6	Bocamina Nv-3 (comunicación)	52	Media
7	Bocamina X- 150	53	Media
8	Bocamina Coturcan Norte	53	Media

FUENTE: Laboratorio de Mecánica de Rocas, (PUCP, 2019)

En la figura 6.1 se muestra que los valores de RMR se encuentran en el rango de 41 a 60, en donde el sistema de clasificación geomecánica RMR de Bieniawski los clasifica como roca media.

**FIGURA 6.1.: CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS BOCAMINAS**

FUENTE: Elaboración propia

Por lo tanto, se resuelve que la calidad del macizo rocoso donde se construirán los tapones de bocaminas es una roca tipo media o regular.

6.2 PRUEBAS DE CALIDAD DE AGUA

Se tomaron muestras en las bocaminas con presencia de efluentes, se realizaron pruebas de calidad de agua y estas pruebas se compararon con los parámetros de Límites Máximos Permisibles establecidos en el D.S. 010-2010 MINAM.

En la tabla 6.3 se presentan los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero – Metalúrgicas.

TABLA 6.3.: LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES

PARÁMETRO	UNIDAD	LÍMITE EN CUALQUIER MOMENTO	LÍMITE PARA EL PROMEDIO ANUAL
pH		6-9	6-9
Sólidos Totales en Suspensión	Mg/L	50	25
Aceites y Grasas	Mg/L	20	16
Cianuro Total	Mg/L	1	0.8
Arsénico Total	Mg/L	0.1	0.08
Cadmio Total	Mg/L	0.05	0.04
Cromo Hexavalente	Mg/L	0.1	0.08
Cobre Total	Mg/L	0.5	0.4
Hierro Disuelto	Mg/L	2	1.6
Plomo Total	Mg/L	0.2	0.16
Mercurio Total	Mg/L	0.002	0.0016
Zinc Total	Mg/L	1.5	1.2

FUENTE: MINAM, D.S. 010-2010, (Año 2010)

En la figura 6.2 se presenta los valores de pH de la bocamina Nivel 6 (Zona Hércules) Principal, como se puede de observar la mayoría de los valores de pH evaluados en los meses son ácidos y están por debajo del rango mínimo aceptable.

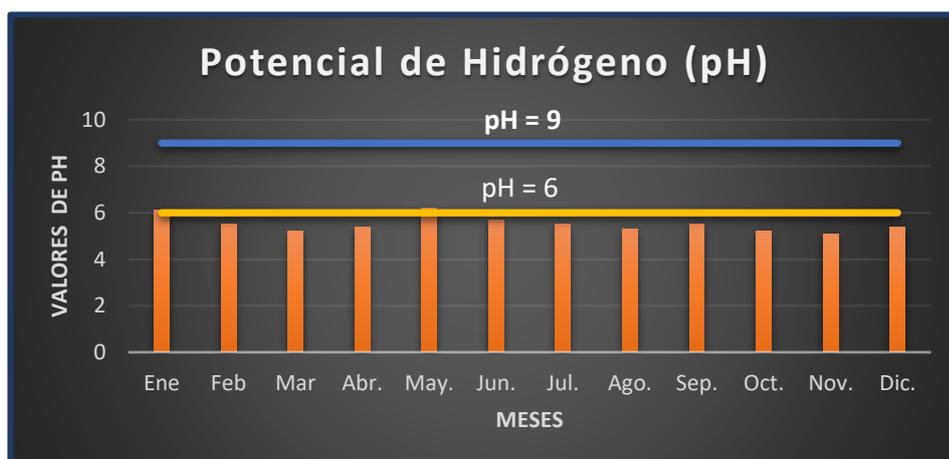


FIGURA 6.2.: VALORES DE PH DE LA BOCAMINA NIVEL 6 (ZONA HÉRCULES)
FUENTE: Elaboración propia

En la figura 6.3 se presenta los valores de pH de la Bocamina Nivel 5.

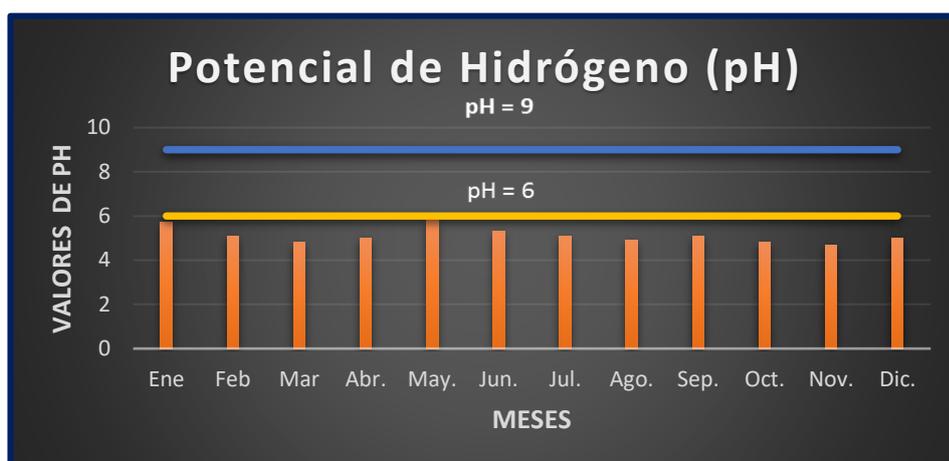


FIGURA 6.3.: VALORES DE PH DE LA BOCAMINA NIVEL 5
FUENTE: Elaboración propia

Como se puede de observar en la figura 6.3 todos los valores de pH evaluados en los meses son ácidos y están por debajo del rango mínimo aceptable.

En la figura 6.4 se presenta los valores de pH de la Bocamina Nv 4 Norte; cómo se puede de observar en la figura todos los valores de pH evaluados en los meses son ácidos y están por debajo del rango mínimo aceptable.

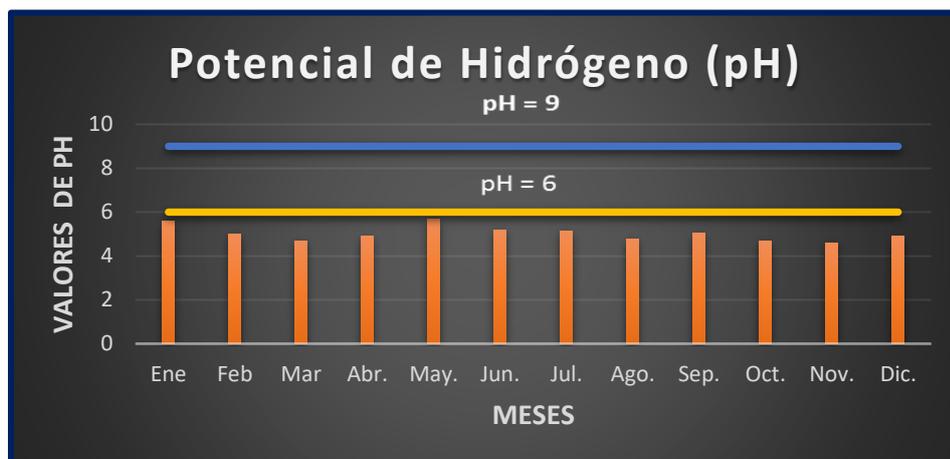


FIGURA 6.4.: VALORES DE PH DE LA BOCAMINA NV 4 NORTE
FUENTE: Elaboración propia

En la figura 6.5 se presenta los valores de pH de la Bocamina Nivel 3 (Zona Coturcán)

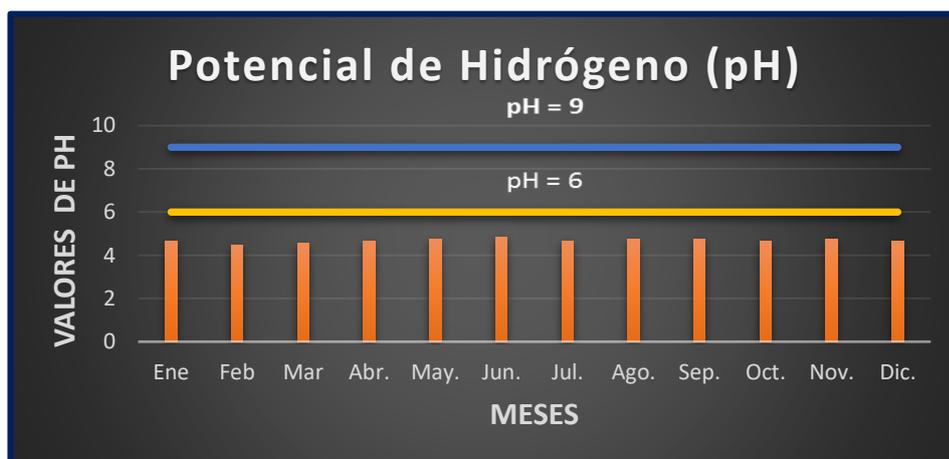


FIGURA 6.5.: VALORES DE PH DE LA BOCAMINA NIVEL 3 (ZONA COTURCÁN)
FUENTE: Elaboración propia

Como se puede de observar en la figura 6.5 todos los valores de pH evaluados en los meses son ácidos y están por debajo del rango mínimo aceptable.

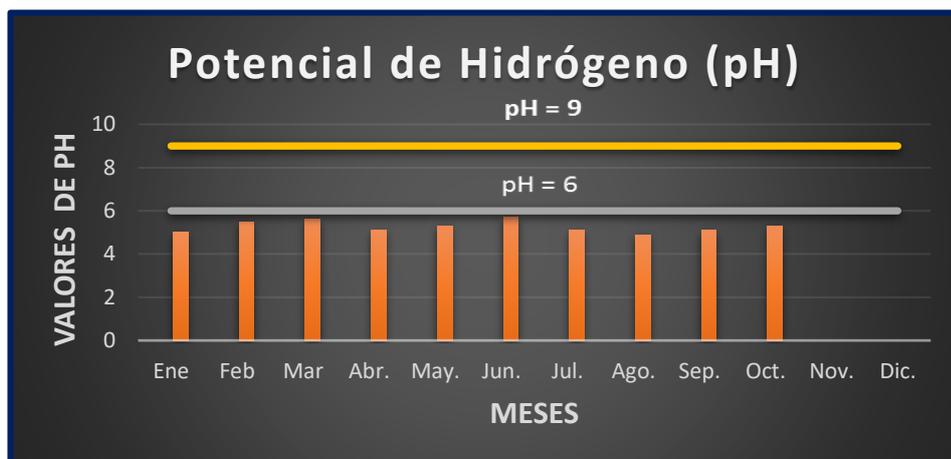


FIGURA 6.6.: VALORES DE PH DE LA BOCAMINA NIVEL 1 (ZONA CARIDAD)
FUENTE: Elaboración propia

En la figura 6.6 se presenta los valores de pH de la Bocamina Nivel 1 (Zona Caridad), como se puede de observar en la figura 6.6 todos los valores de pH evaluados en los meses son ácidos y están por debajo del rango mínimo aceptable.

Otro parámetro para evaluar que se considera son los niveles de aceites y grasas, en la figura 6.7 se observa los efluentes evaluados de las bocaminas que presenten caudal.

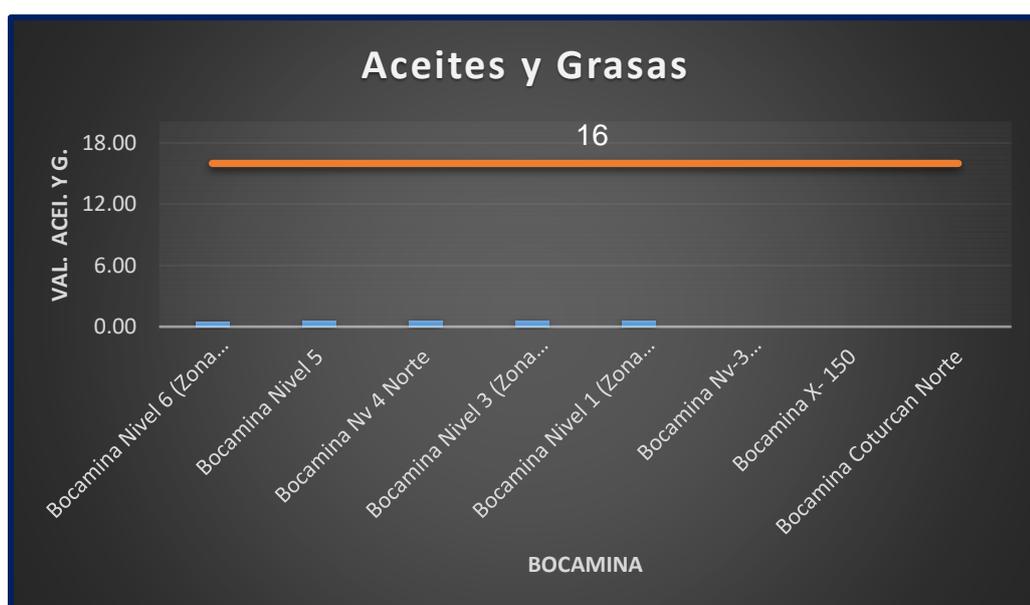


FIGURA 6.7 VALORES DE ACEITES Y GRASAS DE LAS BOCAMINAS
FUENTE: Elaboración propia

Como se puede de observar en la figura 6.7 todos los valores de aceites y grasas evaluados en las bocaminas que presentan los caudales se encuentran por debajo de los valores mínimos aceptables.

6.3 ANÁLISIS GEOQUÍMICO

De las muestras que se tomaron de los depósitos de desmonte, donde proceden las 8 bocaminas que corresponden a la presente investigación, son contrastados con los valores de los Límites Máximos Permisibles, establecidos en el D.S. 010-2010MINAM LMP, y los datos obtenidos de las muestras de material de desmonte, mediante el ensayo de análisis ABA, son contrastados con los criterios de evaluación de drenaje ácido, tal como se muestra en la tabla 6.4.

TABLA 6.4 CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE DRENAJE ÁCIDO

RANGO	CRITERIO
PNN>20 y PN/PA >3	No es generador de Ácido
PNN<20 y 1<PN/PA<3	Incertidumbre de Generación de Ácido
PNN<-20 y PN/PA<1	Si es generador de Ácido

FUENTE: Investigación de Drenaje Acido de Mina, Generación y Tratamiento, (Aduvire, 2006)

De acuerdo con las tablas 5.12, 5.13 y 5.14, donde se desarrolla el análisis de estabilidad geoquímica para los depósitos de desmonte de Hércules, Oturcan y Caridad respectivamente y comparando con la tabla 6.4, se concluye que todas las muestras estudiadas son generadores de drenaje ácido.

6.4 RESULTADOS FINALES

De los resultados obtenidos, se proponen dos tipos de tapones:

6.4.1 Tipo de Tapón de concreto reforzado sin drenaje

Este tipo de tapón considera la construcción de un muro de concreto armado, el cual tiene la finalidad de impedir el ingreso de personas y animales dentro de la bocamina. Debido a que este tipo de tapón no armoniza con el paisaje natural, se rellenará con material de préstamo, el cual se estabilizará geoquímicamente con la colocación de una cobertura del Tipo I y Tipo II. En la figura 6.1 se puede observar la sección típica del tapón sin drenaje.

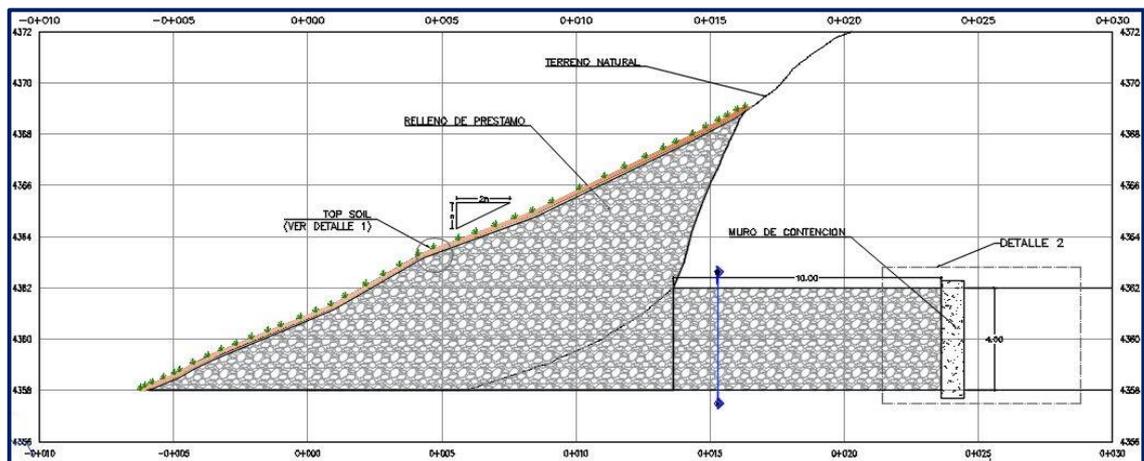


FIGURA 6.8.: DISEÑO DEL TAPÓN DE CONCRETO REFORZADO
FUENTE: Elaboración propia

6.4.2 Tipo de Tapón de concreto reforzado con drenaje

Este tipo de tapón considera la construcción de un muro de concreto armado con tubería HDPE con salida al exterior, la tubería presenta en su interior una garganta tipo sifón que facilita la salida del fluido, pero limita el ingreso del oxígeno, el cual permite la salida del agua evitando el ingreso de aire al interior de mina, de forma que impida la generación de drenaje ácido de mina.

Posteriormente, se rellenará con material de préstamo, el cual se estabilizará geoquímicamente con la colocación de una cobertura del Tipo I.

En la figura 6.2 se observa se observa la sección típica del tapón con drenaje.

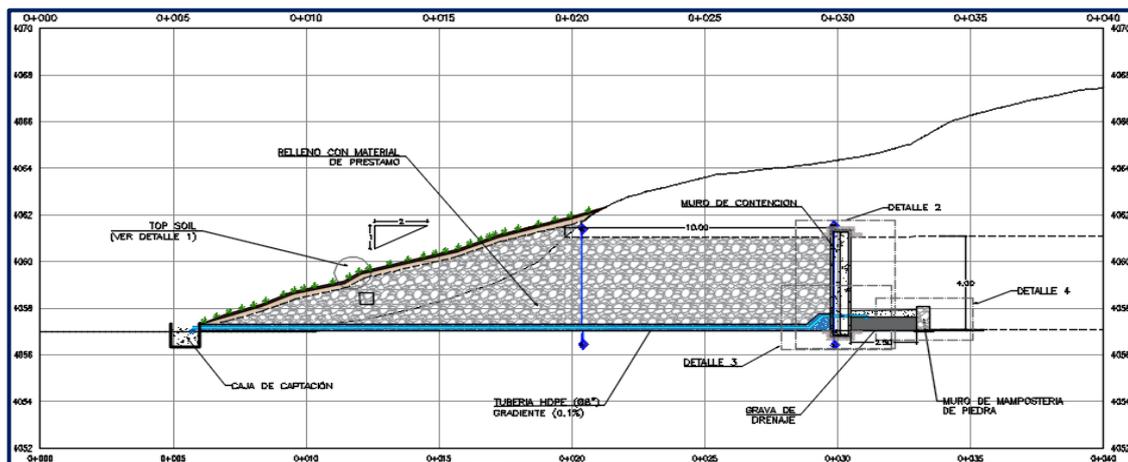


FIGURA 6.9.: DISEÑO DEL TAPÓN DE CONCRETO REFORZADO CON DRENAJE
FUENTE: Elaboración propia

En la Tabla 6.5 se presenta los tipos de cierre seleccionados para las bocaminas.

TABLA 6.5.: TIPO DE TAPÓN SELECCIONADO PARA LAS BOCAMINAS

N°	DESCRIPCIÓN	DRENAJE	TIPO DE TAPÓN	TIPO DE COBERTURA
1	Bocamina Nivel 6 (zona Hércules)	CD	C°A° con tubería	Tipo I
2	Bocamina Nivel 3 (zona Coturcan)	CD	C°A° con tubería	Tipo I
3	Bocamina Nivel 1 (zona Caridad)	CD	C°A° con tubería	Tipo I
4	Bocamina Nivel 5	CD	C°A° con tubería	Tipo I
5	Bocamina Nivel 4 Norte	CD	C°A° con tubería	Tipo I
6	Bocamina Nivel 3 (comunicación)	SD	C°A°	Tipo I
7	Bocamina X-150	SD	C°A°	Tipo I
8	Bocamina Coturcan Norte	SD	C°A°	Tipo II

FUENTE: Elaboración propia

NOTA: SD: Sin Drenaje, C°A°: Concreto armado, CD: Con Drenaje)

6.4.3 Características de los Tapones para cada Bocamina

6.4.3.1 Bocamina Nivel 6 (Zona Hércules)

Consiste en la construcción de un muro de concreto armado ($f'_c=315\text{kg/cm}$) de 0.75m de espesor, hermético a la roca y ubicado a una distancia de 10.00 m del portal de la bocamina. El espacio entre el muro y el portal será relleno con material de préstamo adquirido de terceros, considerando que la parte externa tenga un talud de 2.0H:1.0V que permitirá la revegetación natural de la zona.

Debido a que existe presencia de agua, se ha previsto la colocación de tuberías de 8". (Ver el Plano en el Anexo 6.4).

6.4.3.2 Bocamina Nivel 3 (Zona Coturcán)

Consiste en la construcción de un muro de concreto armado ($f'_c=315\text{kg/cm}$) de 0.70m de espesor, hermético a la roca y ubicado a una distancia de 10.00 m del portal de la bocamina. El espacio entre el muro y el portal será relleno con material de préstamo adquirido de terceros, considerando que la parte externa tenga un talud de 2.0H:1.0V que permitirá la revegetación natural de la zona.

Debido a que existe presencia de agua, se ha previsto la colocación de tuberías de 8". (Ver el Plano en el Anexo 6.4).

6.4.3.3 Bocamina Nivel 1 (Zona Caridad)

Consiste en la construcción de un muro de concreto armado ($f'_c=315\text{kg/cm}$) de 0.75m de espesor, hermético a la roca y ubicado a una distancia de 10.00 m del portal de la bocamina. El espacio entre el muro y el portal será relleno con material de préstamo adquirido de terceros, considerando que la parte externa tenga un talud de 2.0H:1.0V que permitirá la revegetación natural de la zona.

Debido a que existe presencia de agua, se ha previsto la colocación de tuberías de 8" (Ver el Plano en el Anexo 6.4).

6.4.3.4 Bocamina Nivel 5

Consiste en la construcción de un muro de concreto armado ($f'_c=315\text{kg/cm}$) de 0.45m de espesor, hermético a la roca y ubicado a una distancia de 8.00 m del portal de la bocamina. El espacio entre el muro y el portal será relleno con material de préstamo adquirido de terceros, considerando que la parte externa tenga un talud de 2.0H:1.0V que permitirá la revegetación natural de la zona.

Debido a que existe presencia de agua, se ha previsto la colocación de tuberías de 4" (Ver el Plano en el Anexo 6.4).

6.4.3.5 Bocamina Nivel 4 – Norte

Consiste en la construcción de un muro de concreto armado ($f'_c=315\text{kg/cm}$) de 0.40m de espesor, hermético a la roca y ubicado a una distancia de 8.00 m del portal de la bocamina. El espacio entre el muro y el portal será relleno con material de suelo adquirido de terceros, intentando que en la parte externa tenga un talud de 2.0H:1.0V que permitirá la revegetación.

Debido a que existe presencia de agua, se ha previsto la colocación de tuberías de 4". (Ver el Plano en el Anexo 6.4).

6.4.3.6 Bocamina Nivel 3 (Comunicación)

Consiste en la construcción de un muro de concreto armado ($f'_c=315\text{kg/cm}$) de 0.35m de espesor, hermético a la roca y ubicado a una distancia de 15.00 m del portal de la bocamina. El espacio entre el muro y el portal será relleno con material de suelo adquirido de terceros, intentando que en la parte externa tenga un talud de 2.0H:1.0V

que permitirá la revegetación. Ya que no existe presencia de agua, no se ha previsto la colocación de tuberías (Ver el Plano en el Anexo 6.4).

6.4.3.7 Bocamina X-150

Consiste en la construcción de un muro de concreto armado ($f'_c=315\text{kg/cm}$) de 0.35m de espesor, hermético a la roca y ubicado a una distancia de 10.00 m del portal de la bocamina. El espacio entre el muro y el portal será rellenado con material de suelo adquirido de terceros, intentando que en la parte externa tenga un talud de 2.0H:1.0V que permitirá la revegetación. Ya que no existe presencia de agua, no se ha previsto la colocación de tuberías (Ver el Plano en el Anexo 6.4).

6.4.3.8 Bocamina Coturcán Norte

Consiste en la construcción de un muro de concreto armado ($f'_c=315\text{kg/cm}$) de 0.35m de espesor, hermético a la roca y ubicado a una distancia de 8.00 m del portal de la bocamina. El espacio entre el muro y el portal será rellenado con material de suelo adquirido de terceros, intentando que en la parte externa tenga un talud de 2.0H:1.0V que permitirá la revegetación. Ya que no existe presencia de agua, no se ha previsto la colocación de tuberías (Ver el Plano en el Anexo 6.4).

6.4.4 Coberturas Seleccionadas para las bocaminas de la MPCM

Las obras de estabilización geoquímica a aplicarse en la presente Modificación de Plan de Cierre de minas están relacionadas a impedir la formación de efluentes contaminantes (probabilidad de generación de drenaje ácido) y la protección a la erosión mediante el uso de coberturas.

Para contrarrestar la acidez de los efluentes y reducir los metales disueltos, se ha previsto implementar tuberías en los diseños de tapones para las bocaminas y de

esta manera conducirlos por canales hacia la Planta de Tratamiento de Aguas Ácidas de Mina, donde serán tratadas para que cumplan con los Límites Máximos Permisibles y de esta forma puedan ser vertidas.

Para el diseño de las coberturas para el presente trabajo de suficiencia se toma de referencia la Guía para el Diseño de Coberturas de Depósitos de Residuos Mineros.

A continuación, se describe las coberturas que se plantean para garantizar la estabilidad geoquímica de las bocaminas.

6.4.5 Cobertura Tipo I

En la Tabla 6.6 se observa el esquema de la cobertura tipo I.

TABLA 6.6.: ESQUEMA DE LA COBERTURA TIPO I

CAPAS	DESCRIPCIÓN
Capa 1: Tierra de cultivo o top soil (0.10m de espesor)	La tierra de cultivo o <i>top soil</i> tiene la función de dar sustento a las especies sembradas. Se está considerando un espesor de 10 cm porque es el espesor necesario para el crecimiento de las especies de pastos nativos según el medio físico.
Capa 2: Material de baja permeabilidad – Arcilla (0.20m de espesor)	Tiene la función de que no exista drenaje de las aguas que pudieran atravesar la capa 1.
Capa 3: Relleno – Material de Préstamo	El uso de este material es para evitar el contacto directo de la arcilla con el terreno afectado por las operaciones realizadas, además de ello ayudara para dejar la topografía de acorde a la zona del componente.

FUENTE: MINEM, “Guía para el Diseño de Coberturas de Depósitos de Residuos Mineros, 2007”

6.4.6 Cobertura Tipo II

En la Tabla 6.6 se observa el esquema de la cobertura tipo II y el detalle de las capas que la constituyen.

TABLA 6.7.: ESQUEMA DE LA COBERTURA TIPO II

CAPAS	DESCRIPCIÓN
Capa 1: Material de baja permeabilidad – Arcilla (0.10m de espesor)	Tiene la función de que no exista drenaje de las aguas que pudieran atravesar la cobertura.
Capa 2: Relleno – Material de Préstamo	El uso de este material es para evitar el contacto directo de la arcilla con el terreno afectado por las operaciones realizadas, además de ello ayudara para dejar la topografía de acorde a la zona del componente.

FUENTE: MINEM, Guía para el Diseño de Coberturas de Depósitos de Residuos Mineros, 2007

6.5 CONTRASTACIÓN DE LOS RESULTADOS CON LA HIPÓTESIS

De las pruebas realizadas como caracterización geomecánica, análisis de calidad de agua y pruebas geoquímicas para cada bocamina se obtuvieron las características de diseño propias para cada tapón.

En la tabla 6.6 se presenta los cálculos de diseño de los muros para el cierre de cada bocamina. De los resultados se observa que para las diferentes bocaminas se tienen diferentes diseños de tapones:

- Para la Bocamina Nivel 6 (zona Hércules principal) y Nivel 1 (zona Caridad), se tienen espesores de muros de mayor dimensión equivalentes a 0.75 m y también presentan mayor magnitud de carga estática, fuerza cortante y momento flector, estos muros también presentan mayor caudal de drenaje que varían de 43 a 33.13 L/s, es por ello que presentan mayor diámetro de tubería de drenaje que es de 8 pulg.
- Para las bocaminas Nivel 3 (comunicación) y Bocamina X-150, presentan espesores de muros de menor longitud equivalente a 0.35 m, debido a sus condiciones geomecánicas debido a que no presentan de drenaje de agua, también presentan menor magnitud de carga estática, fuerza cortante y momento flector.

TABLA 6.8.: RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE MURO PARA EL CIERRE

ÍTEM	COMPONENTES MINEROS	DIMENSIONES BOCAMINA			DIMENSIONES MURO		CARGA ESTÁTICA (M)	FUERZA CORTANTE	MOMENTO FLECTOR ÚLTIMO	TUBERÍA DRENAJE	FACTOR DE SEGURIDAD (FS)					
		ALTURA	ANCHO	DISTANCIA LÍNEA SEGURA	PANTALLA						FH	VU (t)	MU (t-m)	D (")	VUELCO	DESLIZAMIENTO
		H (m)	B (m)	D (m)	H (m)	B (m)										
1	Bocamina Nivel 6 (zona Hércules)	4	4	10	4.6	0.75	35	296.3	158.02	8"	2.35	8.07				
2	Bocamina Nivel 3 (zona Coturcán)	4	4	10	4.6	0.7	30	177.78	94.81	8"	2.35	8.07				
3	Bocamina Nivel 1 (zona Caridad)	4	4	10	4.6	0.75	35	355.56	189.63	8"	2.35	8.07				
4	Bocamina Nivel - 5	4	4	8	4.6	0.45	5	59.26	31.6	4"	1.97	3.31				
5	Bocamina Nivel - 4 Norte	4	4	8	4.6	0.4	5	59.26	31.6	4"	1.97	3.31				
6	Bocamina Nv - 3 (comunicación)	4	4	15	4.6	0.35	5	59.26	31.6	-	1.97	3.31				
7	Bocamina X - 150	4	4	10	4.6	0.35	5	59.26	31.6	-	1.97	3.31				
8	Bocamina Coturcán Norte	4	4	8	4.6	0.4	10	118.52	63.21	-	1.97	3.31				

FUENTE: Elaboración propia

En el diseño de tapones de las 8 bocaminas para la Modificación del Plan de Cierre de Minas (véase los planos de diseños en el Anexo 6.4), se ha diseñado de tal manera que estas reducen en mayor medida la generación de drenaje ácido de roca, verificando la teoría y contrastado con la Guía Ambiental para el manejo de Drenaje Acido de Minas, en la figura que muestra la generación del Drenaje Acido de Roca.

En la figura 6.3 se presenta el principio de generación de drenaje ácido

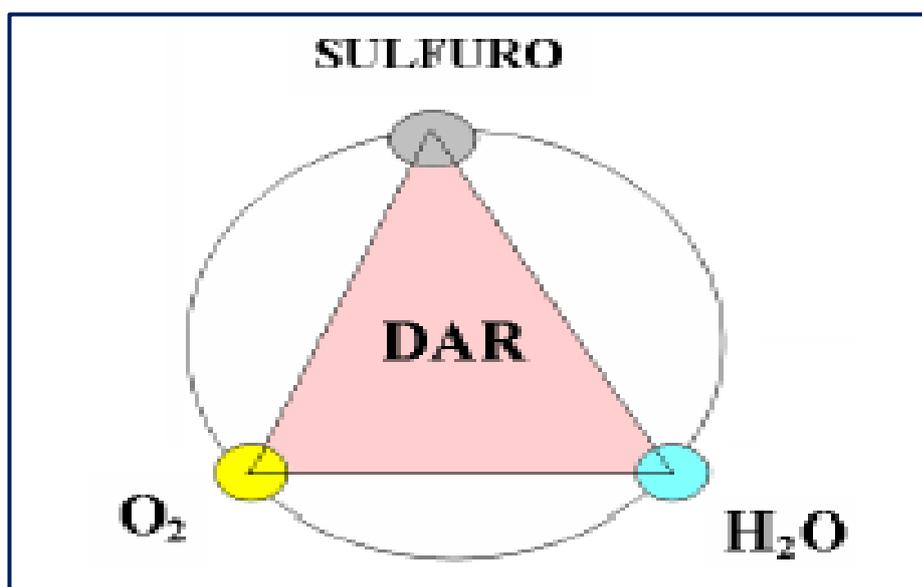


FIGURA 6.10 Principio de la generación de drenaje ácido

FUENTE: MINEM, Guía Ambiental para el manejo de Drenaje Acido de Minas, 2007

Debido a la presencia de sulfuro y a un caudal de agua en las 5 bocaminas que presentan caudal se adiciono una tubería tipo sifón que impide el ingreso de oxígeno y con ello se reduce la generación de Drenaje Acido de Roca (DAR).

La caracterización geomecánica realizada para cada bocamina nos informa que la calidad de roca evaluada para cada bocamina está dentro de un rango de 52 a 58 dentro de la clasificación RMR lo que nos proporciona una calidad de roca media, también, nos informa de la presencia de agua que se presenta para cada bocamina, de las 8 bocaminas materia de estudio, 5 presentan caudal de drenaje y 3 no

presentan caudal de acuerdo a ello se realiza una selección adecuada del tapón, los que presentan caudal tendrán incluidos una tubería de drenaje que impida la entrada de aire y de esa forma evita la formación de drenaje ácido, saliendo agua con un nivel de pH adecuado, dando de esa forma un estabilidad física adecuada, debido a que como permite la salida de agua ya no presentaría una presión hidrostática alta.

Así también, con la caracterización realizada a la calidad de agua se tiene resultados de valores de pH que están por debajo de 6, es decir son ácidos, es por ello que para los diseños de los taponos se prevé la implementación que no permita la generación de drenaje ácido mediante la implementación de tuberías tipo sifón, que impida el ingreso de aire y con ello evitar la formación de drenaje ácido de roca.

Aparte de ello, para evitar que las precipitaciones al entrar en contacto con la roca disturbada generen un DAR se ha diseñado una cobertura, diseñado de acuerdo a las recomendaciones establecidas en la Guía para el Diseño de Coberturas de Depósitos de Residuos Mineros elaborado por el MINEM en el año 2007. En la figura 6.4 se observa la cobertura planteada para la presente investigación.

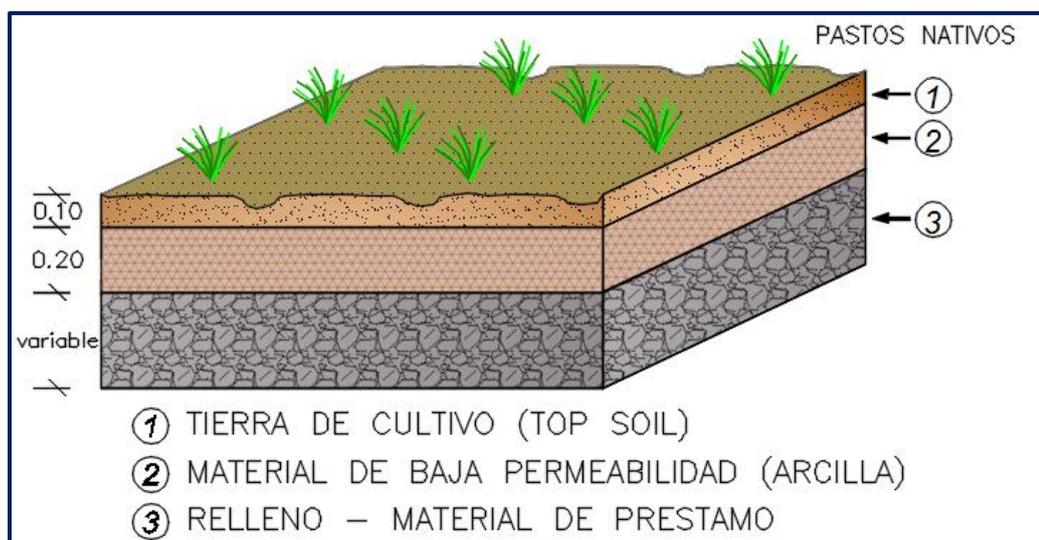


FIGURA 6.11.: COBERTURA TIPO I
FUENTE: Elaboración propia

Por lo tanto, de acuerdo al diseño que recomiendan tanto las Guía Ambiental para el manejo de Drenaje Acido de Minas, Guía para el Diseño de Coberturas de Depósitos de Residuos Mineros y Guía para el Diseño de Tapones para el Cierre de Labores Mineras, los diseños de tapón propuestos en el presente trabajo de suficiencia profesional verifica la hipótesis planteada debido a que mejora en el diseño del tapón al adicionarle una tubería que impide el ingreso de oxígeno y por lo tanto reduce la probabilidad de generar drenaje ácido al ambiente. (véase los planos de diseños en el Anexo 6.4)

CONCLUSIONES

- El mejoramiento en el diseño de los tapones se realizó con la data de los estudios geomecánicas y geoquímicos, la caracterización del macizo rocoso, como el caudal de efluente de las bocaminas, gradiente, el pH del efluente y el análisis geoquímico del material de las bocaminas. En el diseño se plantea la inclusión de tuberías para reducir la presión de agua que se ejerce sobre la pantalla y también evitará el ingreso de aire a la galería, que a su vez evita la posible generación de drenaje ácido de roca. El Tapón evitará que se genere contaminación al ser descargado al ambiente, debido a que con un tratamiento previo se llegaría a cumplir con los Límites Máximos Permisibles establecidos en el D.S. 010-2010 MINAM, permitiendo que no se altere el cuerpo receptor.
- El mejoramiento del diseño del tapón, permite lograr la estabilidad física de los tapones, las dimensiones de los tapones para las 8 bocaminas son de 4 m x 4 m y el muro tendrá una altura de 4.60 m, se anclaran a la caja techo y a la caja piso 0.30 m, el espesor del muro varía desde 0.35 m a 0.75 m contara con acero de refuerzo de $\frac{3}{4}$ " de diámetro y anclado a la roca de 20 cm y espaciado de 20 cm, para la selección de la tubería variara de acuerdo al caudal que sale de las

bocaminas, estos diámetros varían entre 4” a 8” de diámetro, el concreto utilizado tiene una resistencia a la compresión de 300 Kg/cm², estos parámetros se basan en la Guía para el Diseño de Tapones para el Cierre de Labores Mineras.

- Se minimizó la generación de drenaje ácido de roca y metales pesados con la adición de una tubería tipo sifón, que evita el ingreso de aire al interior de la bocamina e impide la posibilidad de la generación del DAR, a esto se le suma la selección del tipo de coberturas que impida el contacto de las aguas de precipitación con la roca alterada, el diseño de las coberturas incluye tres capas, la primera es de tierra de cultivo o *top soil* (0.10m de espesor), la segunda es de material de baja permeabilidad – Arcilla (0.20m de espesor) y por último relleno – material de Préstamo cuyo espesor es variable, y de esa forma garantizamos la estabilidad química de las bocaminas.
- Se estima un costo total de US\$ 82,995.66, para la construcción de los tapones y coberturas.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que el titular minero realice inspecciones o monitoreo periódicamente para evaluar la estabilidad del tapón, estado del macizo rocoso, posibles filtraciones que afecten la estabilidad física de la bocamina, estas inspecciones serán anuales de acuerdo a la Modificación del Plan de Cierre de Mina. Para el monitoreo de la estabilidad química se recomienda evaluar la calidad de agua que sale de la tubería de acuerdo a los Límites Máximos Permisibles vigentes, la frecuencia de monitoreo será trimestral o anual.
- Se recomienda que, todo diseño de tapón para bocamina se debe realizar un estudio geomecánico previo del lugar donde se va a ubicar el tapón, un análisis de calidad de agua para saber el grado de pH presente en el caudal, el análisis geoquímico del material conformado por la bocamina para saber si al entrar en contacto con las precipitaciones generen drenaje ácido, luego de tener estos datos se procede al diseño, para ello se tiene que apoyar en la Guía para el Diseño de Tapones para el Cierre de Labores Mineras de tal forma que se valide la metodología usada.

- Se recomienda para implementar el tipo de cobertura adecuado, un análisis geoquímico, que permita conocer si el material proveniente de la bocamina es generador de drenaje ácido y de acuerdo a los resultados guiándonos de la Guía para el Diseño de Coberturas de Depósitos de Residuos Mineros se escogería los tipos de materiales a utilizar para la conformación de las coberturas.
- Se recomienda considerar la adición de una capa vegetal para la cobertura tipo II, debido a la intensidad de las precipitaciones, de tal forma que no afecte la cobertura de arcilla diseñada.
- Se recomienda considerar la presente investigación como ayuda a otros proyectos similares.

BIBLIOGRAFÍA

- Aduvire, O. (2006). Drenaje Acido de Mina, Generación y Tratamiento. (*Tesis de Grado*). Instituto Geológico y Minero de España, España.
- Deza, A. (2014). Diseño de Tapones Herméticos de Bocaminas de la Ampliación Ancoyo II – Unidad Minera Paula – E.C. SERMINAS E.I.R.L. (*Tesis de Grado*). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa.
- Fernández, A. (2019). Plan de Cierre de Pasivos Ambientales Mineros de la Ex Unidad Minera Huampar. (*Tesis de Grado*). Universidad Nacional del Callao, Lima.
- Jiménes, P. (2019). Evaluación del Drenaje Anóxico Calizo, como Técnica Complementaria al Cierre de la Bocamina BQH5 de Colquirrumi. (*Tesis de Grado*). Universidad Privada del Norte, Lima.
- Luque, S. (2020). Tratamiento del Drenaje Ácido de Mina para Propuesta de Cierre de Bocamina en los Niveles 4,500-4,800, Zona Carabaya-Puno. (*Tesis de Grado*). Universidad Católica de Santa María, Arequipa.

MINEM. (2007). Guía Ambiental para el manejo de Drenaje Acido de Minas. (*Normas Técnicas Para Diseño Ambiental*). Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros, Lima.

MINEM. (2007). Guía para el Diseño de Coberturas de Depósitos de Residuos Mineros. (*Normas Tecnicas Para Diseño Ambiental*). Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros, Lima.

MINEM. (2007). Guía para el Diseño de Tapones para el Cierre de Labores Mineras. (*Normas Técnicas Para Diseño Ambiental*). Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros, Lima.

MINEM. (22 de 12 de 2016). Reglamento para el Cierre. *El Peruano*, pág. 84.

Paucar, F. (2015). Diseño de Tapones Herméticos en Labores de Remediación Pasivo Ambiental para la Mina Recuperada-Huancavelica. (*Tesis de Grado*). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo.

ANEXOS

Anexo N° 5.1: Pruebas de Laboratorio a Testigos de Perforación.

Anexo N° 5.2: Análisis de Espectrometría.

Anexo N° 6.4: Planos de Diseño de los Tapones para MPCM.

Anexo N° 5.1

Pruebas de Laboratorio a Testigos
de Perforación

FOTOS

ENSAYO DE PROPIEDADES ELÁSTICAS

Universitaria N° 1801, San Miguel
T: (511) 626 2000 anexos 5000, 5001
F: (511) 626 2852

<http://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/minas>



JÓRGE RAMÍREZ SEMINARIO
Ing. Geólogo-Geomecánico
C.I.P. 48426

Antes:



Después:



Universitaria N° 1801, San Miguel
T: (511) 626 2000 anexos 5000, 5001
F: (511) 626 2852

<http://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/minas>


JORGE RAMIREZ SEMINARIO
Ing. Geólogo-Geomecánico
CIP. 48123

Antes:



Después:



Universitaria N° 1801, San Miguel
T: (511) 626 2000 anexos 5000, 5001
F: (511) 626 2852

<http://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/minas>


JORGE RAMIREZ SEMINARIO
Ing. Geólogo-Geomecánico
CIP. 48123

Antes:



Después:



Universitaria N° 1801, San Miguel
T: (511) 626 2000 anexos 5000, 5001
F: (511) 626 2852

<http://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/minas>


JORGE RAMIREZ SEMINARIO
Geólogo-Geomecánico
CIP. 48123

Antes:

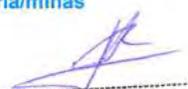


Después:



Universitaria N° 1801, San Miguel
T: (511) 626 2000 anexos 5000, 5001
F: (511) 626 2852

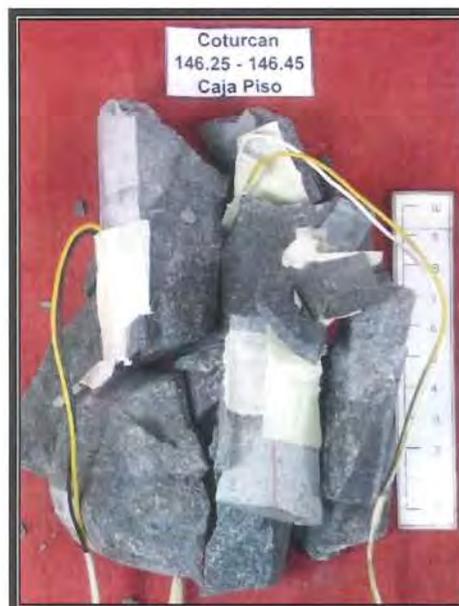
<http://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/minas>


JORGE RAMIREZ SEMINARIO
Ing. Geólogo-Geomecánico
CIP. 18123

Antes:



Después:



Universitaria N° 1801, San Miguel
T: (511) 626 2000 anexos 5000, 5001
F: (511) 626 2852

<http://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/minas>


JORGE RAMIREZ SEMINARIO
Abogado, Geólogo-Geomecánico
CIP. 48423

Antes:



Después:



Universitaria N° 1801, San Miguel
T: (511) 626 2000 anexos 5000, 5001
F: (511) 626 2852

<http://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/minas>


JORGE RAMIREZ SEMINARIO
Mg. Geólogo-Geomecánico
CIP. 18125

Antes:



Después:



Universitaria N° 1801, San Miguel
T: (511) 626 2000 anexos 5000, 5001
F: (511) 626 2852

<http://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/minas>



JORGE RAMIREZ SEMINARIO
Geólogo-Geomecánico
CIP. 18123

FOTOS

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA

Universitaria N° 1801, San Miguel
T: (511) 626 2000 anexos 5000, 5001
F: (511) 626 2852

<http://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/minas>



JORGE RAMIREZ SEMINARIO
Geólogo-Geomecánico
CIP. 48423

Antes:



Después:



Antes:



Después:



Antes:



Después:



Antes:



Después:



Universitaria N° 1801, San Miguel
T: (511) 626 2000 anexos 5000, 5001
F: (511) 626 2852

<http://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/minas>


JORGE RAMIREZ SEMINARIO
Ingeniero Geólogo-Geomecánico
CIP. 13213

Antes:



Después:



Antes:



Después:



Universitaria N° 1801, San Miguel
T: (511) 626 2000 anexos 5000, 5001
F: (511) 626 2852

<http://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/minas>

JORGÉ RAMÍREZ SEMINARIO
Ingeniero Geólogo-Geomecánico
CIP. 48423

FOTOS

ENSAYO DE CARGA PUNTUAL

Universitaria N° 1801, San Miguel
T: (511) 626 2000 anexos 5000, 5001
F: (511) 626 2852

<http://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/minas>



JÓRGE RAMÍREZ SEMINARIO
Ing. Geólogo-Geomecánico
CIP. 19113

Antes:



Después:



Antes:



Después:



Antes:



Después:



Antes:



Después:



Antes:



Después:



Antes:



Después:



FOTOS

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAxIAL

Antes:



Después:



Antes:



Después:



Antes:



Después:



Antes:



Después:



Antes:



Después:



FOTOS

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Universitaria N° 1801, San Miguel
T: (511) 626 2000 anexos 5000, 5001
F: (511) 626 2852

<http://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/minas>



JORGE RAMIREZ SEMINARIO
Mag. Geología-Geomecánica
2023

Antes:



Después:



Antes:



Después:



Universitaria N° 1801, San Miguel
T: (511) 626 2000 anexos 5000, 5001
F: (511) 626 2852

<http://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/minas>


JORGE RAMIREZ SEMINARIO
Mag. Ingeniero-Geomecánico
C.R. 10003

Antes:



Después:



Antes:



Después:



Antes:



Después:



Antes:



Después:



Anexo N° 5.2

Análisis de Espectrometría.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Laboratorio de Espectrometría

**POTENCIAL NETO DE NEUTRALIZACIÓN DE DOS RELAVES Y
TRES DESMONTES PROCEDENTES DEL
DISTRITO DE AIJA-ANCASH**

SOLICITADO : CGT COMPANY S.A.C.

Procedencia de muestras: Distrito Aija - Ancash

Recepción de muestras :Lima, 5 de Abril del 2019

1.- MUESTRAS EVALUADAS

Muestras	Tipo
DR1-C19-05	Relave
DR2-C19-05	Relave
DCD-C19-04	Desmonte
DH-C19-03	Desmonte
DC-C19-03	Desmonte

2. COMPOSICIÓN MINERALÓGICA DE MUESTRAS

Determinado por observaciones microscópicas y análisis espectral de las muestras; cuyos resultados se indican a continuación.

Av. Túpac Amarú N° 210, Lima 25, Apartado 1301-Perú
Teléfono: (511) 4824427 , Central Telefónica (511) 4811070, Anexo 4245
e-mail: labespectro@uni.edu.pe

2.1

Muestra	Tipo
DR1-C19-05	Relave

Relave constituido por partículas de cuarzo, sulfuros principalmente pirita, feldespatos, óxidos de hierro, ferromagnesianos, arcillas, y mínimos carbonatos. Su composición y abundancia mineralógica se indica en la tabla siguiente:

Minerales/ DR1-C19-05	Formula	% en Peso
Cuarzo	SiO ₂	64.24
Dolomita	CaMg(CO ₃) ₂	0.08
Calcita	CaCO ₃	0.21
Ortoclasa	K(AlSi ₃ O ₈)	2.96
Albita	Na(AlSi ₃ O ₈)	3.39
Anortita	Ca(Al ₂ Si ₂ O ₈)	6.47
Pirita	FeS ₂	7.578
Calcopirita	CuFeS ₂	0.029
Esfalerita	(Zn,Fe)S	0.471
Galena	PbS	0.181
Hematita	Fe ₂ O ₃	6.91
Montmorillonita	Na _{0.3} (Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ xH ₂ O	3.60
Pirolusita	MnO ₂	0.43
Arsenopirita	FeAsS	2.15
Hornblenda	Ca ₂ (Mg,Fe,Al) ₅ (Al,Si) ₈ O ₂₂ (OH) ₂ .	1.30

2.2

Muestra	Tipo
DR2-C19-05	Relave

Relave constituido por partículas de cuarzo, sulfuros principalmente pirita, arsenopirita, feldespatos, óxidos de hierro, ferromagnesianos, arcillas, y mínimos carbonatos. Su composición y abundancia mineralógica se indica en la tabla siguiente:

Minerales/ DR2-C19-05	Formula	% en Peso
Cuarzo	SiO ₂	51.22
Dolomita	CaMg(CO ₃) ₂	0.15
Calcita	CaCO ₃	0.42
Ortoclasa	K(AlSi ₃ O ₈)	5.33
Albita	Na(AlSi ₃ O ₈)	5.93
Anortita	Ca(Al ₂ Si ₂ O ₈)	7.46
Pirita	FeS ₂	11.645
Calcopirita	CuFeS ₂	0.020
Esfalerita	(Zn,Fe)S	0.464
Galena	PbS	0.196
Hematita	Fe ₂ O ₃	6.03
Montmorillonita	Na _{0.3} (Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ xH ₂ O	3.50
Pirolusita	MnO ₂	0.53
Arsenopirita	FeAsS	5.61
Hornblenda	Ca ₂ (Mg,Fe,Al) ₅ (Al,Si) ₈ O ₂₂ (OH) ₂ .	1.50

2.3

Muestra	Tipo
DCD-C19-04	Desmante

Fragmentos de rocas volcánicas andesitas silicificadas con diseminación de sulfuros, y partículas menores de cuarzo, sulfuros libres, arcillas y óxidos de hierro con escasos carbonatos. Su composición y abundancia mineralógica se indica en la tabla siguiente:

Minerales/ DCD-C19-04	Formula	% en Peso
Cuarzo	SiO ₂	45.63
Dolomita	CaMg(CO ₃) ₂	0.30
Calcita	CaCO ₃	1.08
Ortoclasa	K(AlSi ₃ O ₈)	9.47
Albita	Na(AlSi ₃ O ₈)	12.71
Anortita	Ca(Al ₂ Si ₂ O ₈)	12.94
Pirita	FeS ₂	3.478
Calcopirita	CuFeS ₂	0.040
Esfalerita	(Zn,Fe)S	0.602
Galena	PbS	0.363
Hematita	Fe ₂ O ₃	6.24
Montmorillonita	Na _{0.3} (Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ xH ₂ O	1.70
Pirolusita	MnO ₂	0.81
Arsenopirita	FeAsS	1.04
Hornblenda	Ca ₂ (Mg,Fe,Al) ₅ (Al,Si) ₈ O ₂₂ (OH) ₂ .	3.60

2.4

Muestra	Tipo
DH-C19-03	Desmante

Fragmentos mayores de roca volcánica andesita y pórfidos de diorita silicificados con diseminación de sulfuros y fracción arenosa conteniendo cuarzo, partículas libres de sulfuros, arcillas, óxidos de hierro y escasos carbonatos. Su composición y abundancia mineralógica se indica en la tabla siguiente:

Minerales/ DH-C19-03	Formula	% en Peso
Cuarzo	SiO ₂	44.25
Dolomita	CaMg(CO ₃) ₂	0.38
Calcita	CaCO ₃	0.04
Ortoclasa	K(AlSi ₃ O ₈)	11.24
Albita	Na(AlSi ₃ O ₈)	11.86
Anortita	Ca(Al ₂ Si ₂ O ₈)	14.43
Pirita	FeS ₂	2.041
Calcopirita	CuFeS ₂	0.009
Esfalerita	(Zn,Fe)S	0.548
Galena	PbS	0.193
Hematita	Fe ₂ O ₃	6.15
Montmorillonita	Na _{0.3} (Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ xH ₂ O	1.90
Pirolusita	MnO ₂	0.25
Arsenopirita	FeAsS	2.61
Hornblenda	Ca ₂ (Mg,Fe,Al) ₅ (Al,Si) ₈ O ₂₂ (OH) ₂ .	4.10

2.5

Muestra	Tipo
DC-C19-03	Desmante

Fragmentos mayores de rocas volcánicas andesita silicificadas con diseminación de sulfuros y fracción arenosa constituido por partículas de cuarzo, partículas libres de sulfuros, arcillas, óxidos de hierro y escasos carbonatos. Su composición y abundancia mineralógica se indica en la tabla siguiente:

Minerales/ DC-C19-03	Formula	% en Peso
Cuarzo	SiO ₂	40.86
Dolomita	CaMg(CO ₃) ₂	0.23
Calcita	CaCO ₃	2.12
Ortoclasa	K(AlSi ₃ O ₈)	12.43
Albita	Na(AlSi ₃ O ₈)	11.02
Anortita	Ca(Al ₂ Si ₂ O ₈)	13.93
Pirita	FeS ₂	4.853
Calcopirita	CuFeS ₂	0.049
Esfalerita	(Zn,Fe)S	0.578
Galena	PbS	0.365
Hematita	Fe ₂ O ₃	5.84
Montmorillonita	Na _{0.3} (Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ xH ₂ O	1.50
Pirolusita	MnO ₂	0.52
Arsenopirita	FeAsS	1.91
Hornblenda	Ca ₂ (Mg,Fe,Al) ₅ (Al,Si) ₈ O ₂₂ (OH) ₂ .	3.80

3.- COMPOSICIÓN QUÍMICA DE MUESTRAS

La distribución de elementos en las muestras determinadas por métodos de análisis espectral se indica en la tabla siguiente:

Componentes	DR1-C19-05	DR2-C19-05	DCD-C19-04	DH-C19-03	DC-C19-03
%SiO ₂	63.38	58.74	62.89	62.13	60.12
%Al ₂ O ₃	16.00	15.00	17.00	18.00	17.50
%Fe ₂ O ₃	6.91	6.03	6.24	6.15	5.84
%MgO	1.80	1.60	2.10	3.20	2.20
%CaO	1.30	1.50	2.60	2.90	2.80
%Na ₂ O	0.40	0.70	1.50	1.40	1.30
%K ₂ O	0.50	0.90	1.60	1.90	2.10
%Fe	3.53	5.42	1.62	0.95	2.26
%S	4.24	6.41	2.12	1.30	2.85
%CO ₂	0.09	0.18	0.47	0.02	0.93
%TiO ₂	0.10	0.11	0.14	0.16	0.17
%Mn	0.271	0.335	0.509	0.155	0.329
%Cu	0.010	0.007	0.014	0.003	0.017
%Pb	0.157	0.170	0.314	0.167	0.316
%Zn	0.316	0.311	0.404	0.368	0.388
%Cd	0.0023	0.0021	0.0026	0.0024	0.0026
%As	0.9902	2.5834	0.4798	1.1957	0.8797

Los valores de la sílice, alúmina, óxido de hierro, óxido de magnesio, óxido de calcio, óxido de sodio y óxido de potasio corresponden a los silicatos, el TiO₂ al rutilo, el Fe, S, Cu, Pb, Zn, Cd, As a los sulfuros, el CO₂ a los escasos carbonatos, y el Mn a ocurrencias de pirrolusita.

4.- POTENCIAL NETO DE NEUTRALIZACIÓN

La evaluación del contenido de azufre como sulfuro y la prueba ácido-base en las muestras nos permite determinar el potencial neto de neutralización cuyos resultados se indica en el cuadro siguiente:

Muestras	pH en pasta	%S	PN	PA	PNN	PN/PA	%Sulfatos	%Sales solubles totales
DR1-C19-05	6.9	4.24	5.0	132.50	-127.50	0.04	0.25	0.34
DR2-C19-05	6.9	6.41	13.75	200.31	-186.56	0.07	0.20	0.28
DCD-C19-04	7.0	2.12	27.50	66.25	-38.75	0.42	0.11	0.23
DH-C19-03	7.1	1.30	2.50	40.63	-38.13	0.06	0.30	0.36
DC-C19-03	7.2	2.85	46.25	89.06	-42.81	0.52	0.23	0.31

Donde:

- PN = Potencial de neutralización
- %S = Porcentaje de azufre como sulfuro
- PA = Potencial de acidez
- PNN = Potencial neto de neutralización

PN, PA y PNN están expresados en KgCaCO₃/TM y evaluados según:

EXTRACTS FROM FIELDS AND LABORATORY METHODS APPLICABLE TO OVERBURDENS AND MINE SOILS, U.S. EPA, 600/2 - 78-054, 1978

4.1 Posibilidad de drenaje ácido de muestras

Determinado en base al resultado del potencial neto de neutralización de las muestras que depende del balance de minerales neutralizantes y sulfuros, considerando:

Que $PNN = PN - PA$

Si $PNN > +20$; la muestra NO GENERA DRENAJE ÁCIDO

Si $PNN < -20$; la muestra GENERA DRENAJE ÁCIDO

Si $-20 < PNN < +20$, muestra de comportamiento INCIERTO

De acuerdo a estas consideraciones podemos establecer el comportamiento de las muestras en presencia de agua, oxígeno y actividad bacterial, como se indica en la tabla siguiente.

Muestras	Predomina	PN/PA	PNN KgCaCO₃/TM	Drenaje Acido
DR1-C19-05	Silicatos con sulfuros	0.04	-127.50	Si
DR2-C19-05	Silicatos con sulfuros	0.07	-186.56	Si
DCD-C19-04	Silicatos con sulfuros	0.42	-38.75	Si
DH-C19-03	Silicatos con sulfuros	0.06	-38.13	Si
DC-C19-03	Silicatos con sulfuros	0.52	-42.81	Si

Lima, 26 de Abril del 2019



MSc. Atilio Mendoza A
Jefe Lab. ESPECTROMETRIA

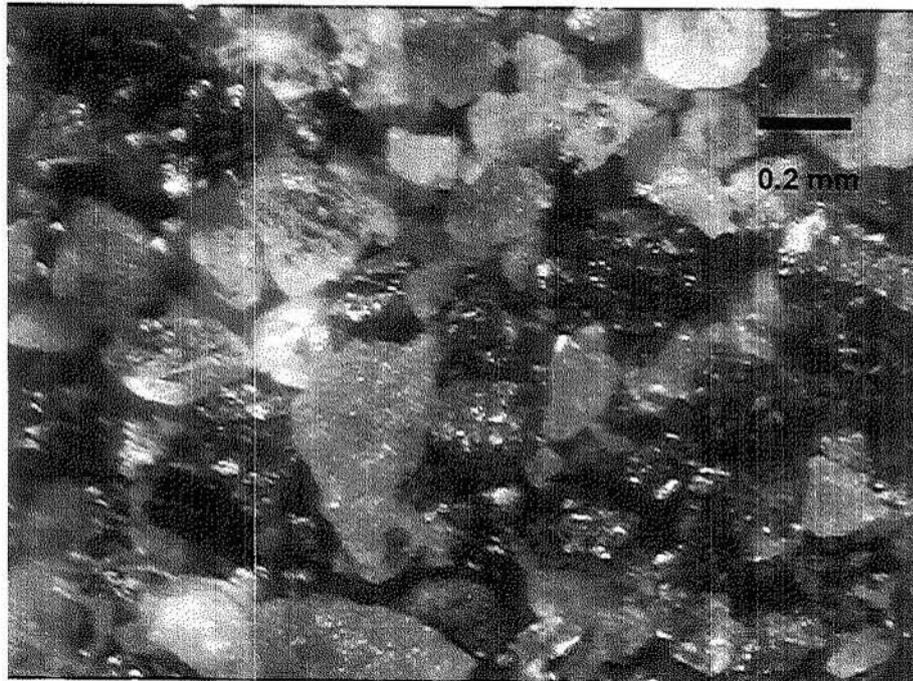


Se adjunta fotografías de las cinco muestras, indicando sus principales características mineralógicas.

FOTOGRAFÍAS DE DOS RELAVES Y TRES DESMONTES
PROCEDENTES DEL DISTRITO DE AIJA-ANCASH

DR1-C19-05

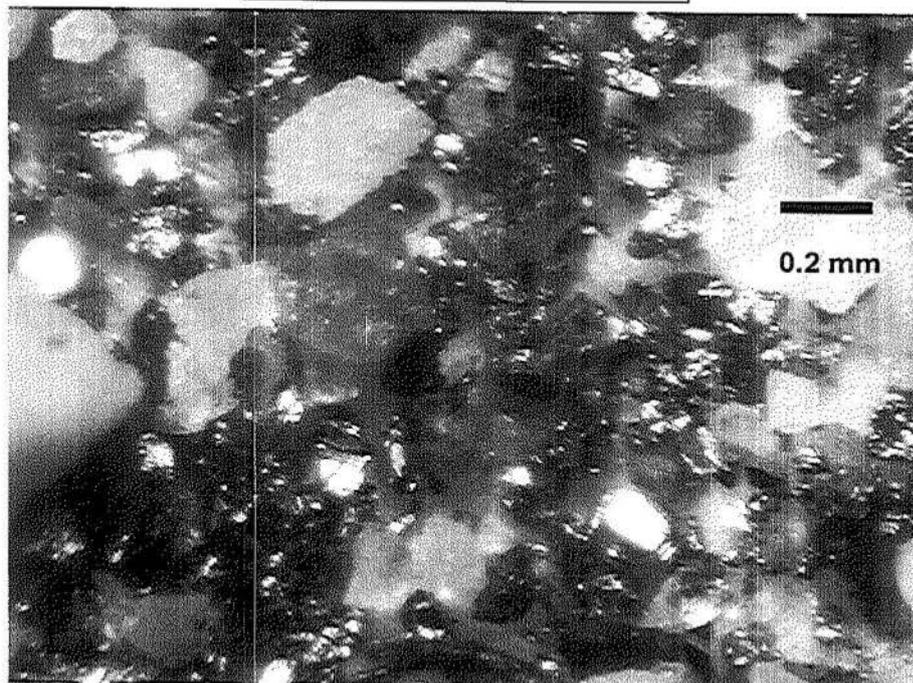
Relave



Relave constituido por partículas de cuarzo, sulfuros principalmente pirita, feldespatos, óxidos de hierro, ferromagnesianos, arcillas, y mínimos carbonatos.

DR2-C19-05

Relave



Relave constituido por partículas de cuarzo, sulfuros principalmente pirita, arsenopirita, feldespatos, óxidos de hierro, ferromagnesianos, arcillas, y mínimos carbonatos.

DCD-C19-04

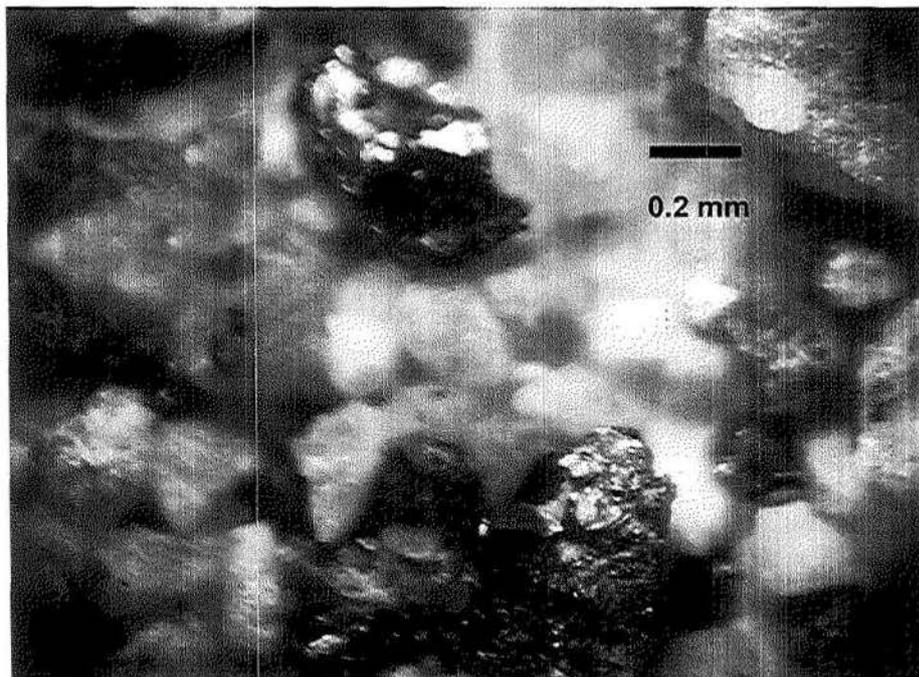
Desmonte



Fragmentos de rocas volcánicas andesitas silicificadas con diseminación de sulfuros partículas menores de cuarzo, sulfuros libres, arcillas y óxidos de hierro y escasos carbonatos.

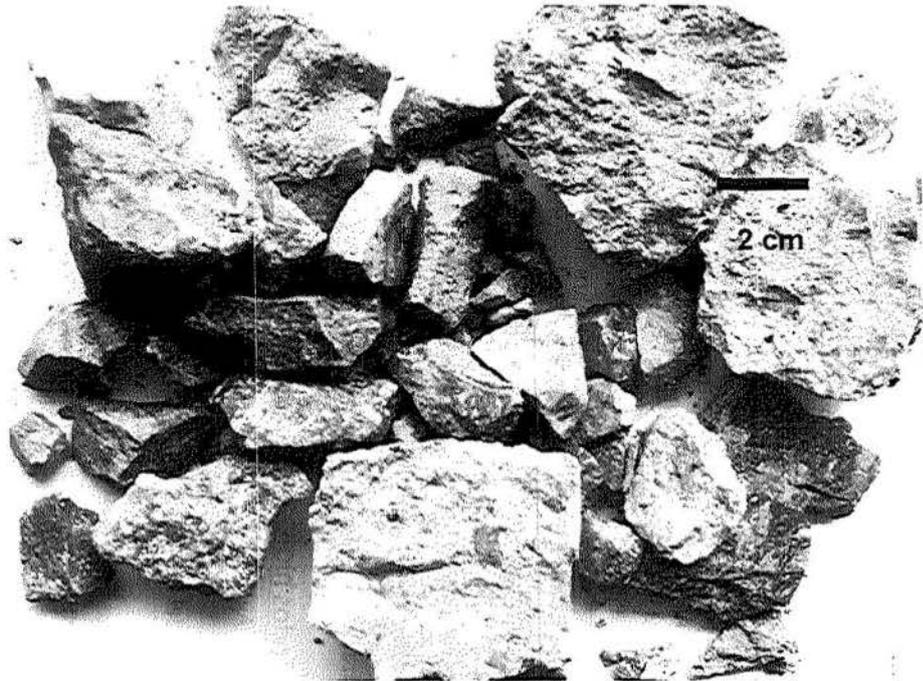
DCD-C19-04

Desmonte



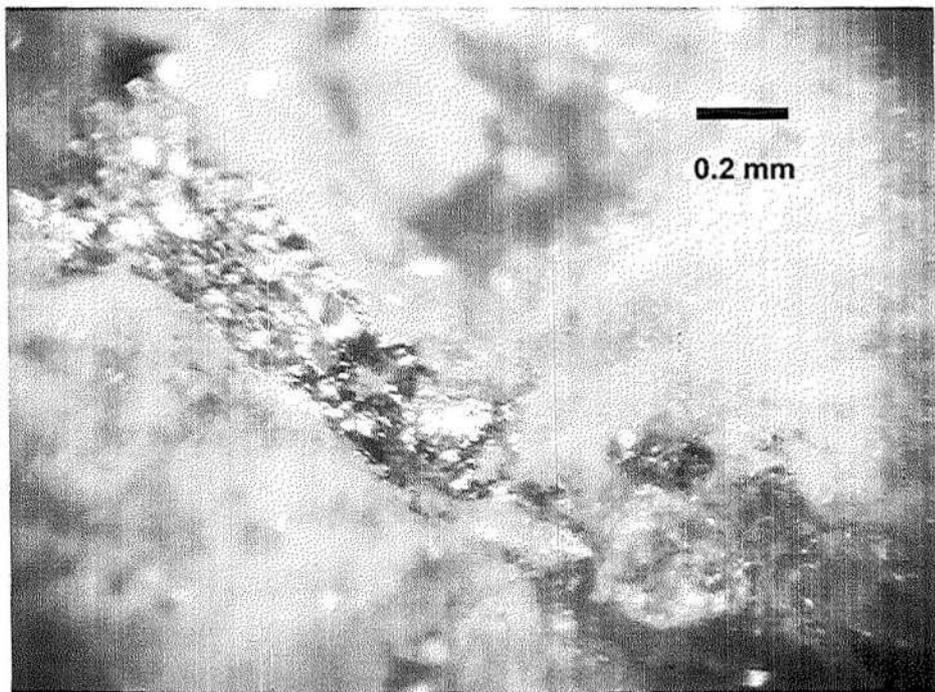
Microfotografía mostrando fracción arenosa del desmonte con partículas libres de cuarzo y sulfuros(pirita).

DH-C19-03	Desmonte
-----------	----------



Fragmentos mayores de roca volcánica andesita y pórfidos de diorita silicificados con diseminación de sulfuros y fracción arenosa conteniendo cuarzo, partículas libres de sulfuros, arcillas, óxidos de hierro y escasos carbonatos.

DH-C19-03	Desmonte
-----------	----------



Microfotografía mostrando venilla y desiminación fina de pirita en matriz de roca

DC-C19-03

Desmorte



Fragmentos mayores de rocas volcánicas andesita silicificadas con diseminación de sulfuros y fracción arenosa constituido por partículas de cuarzo, partículas libres de sulfuros, arcillas, óxidos de hierro y escasos carbonatos.

DC-C19-03

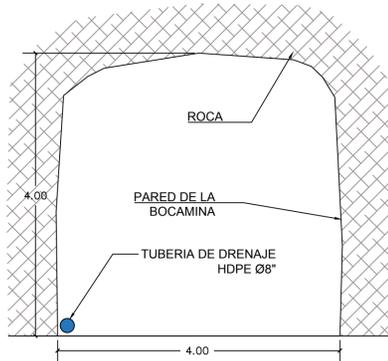
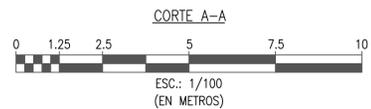
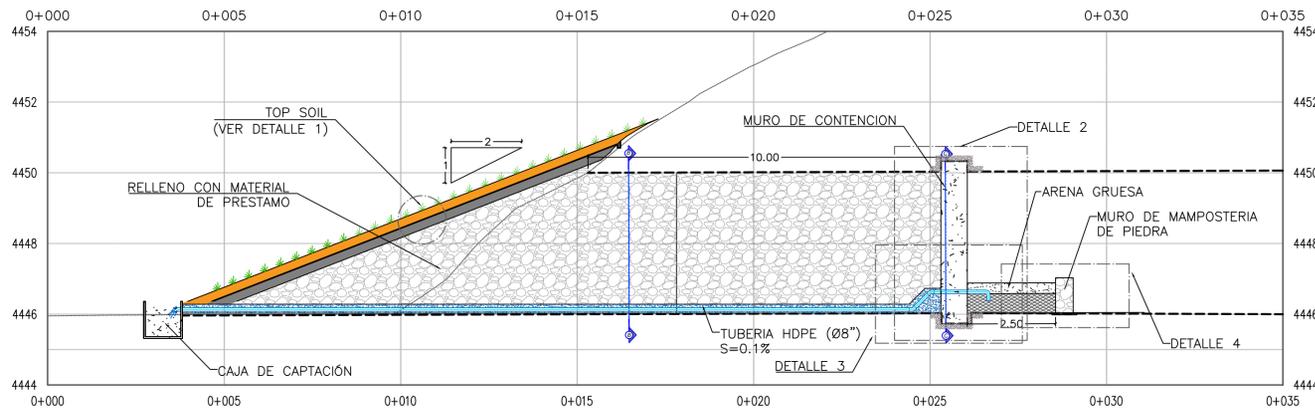
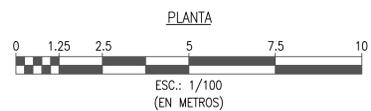
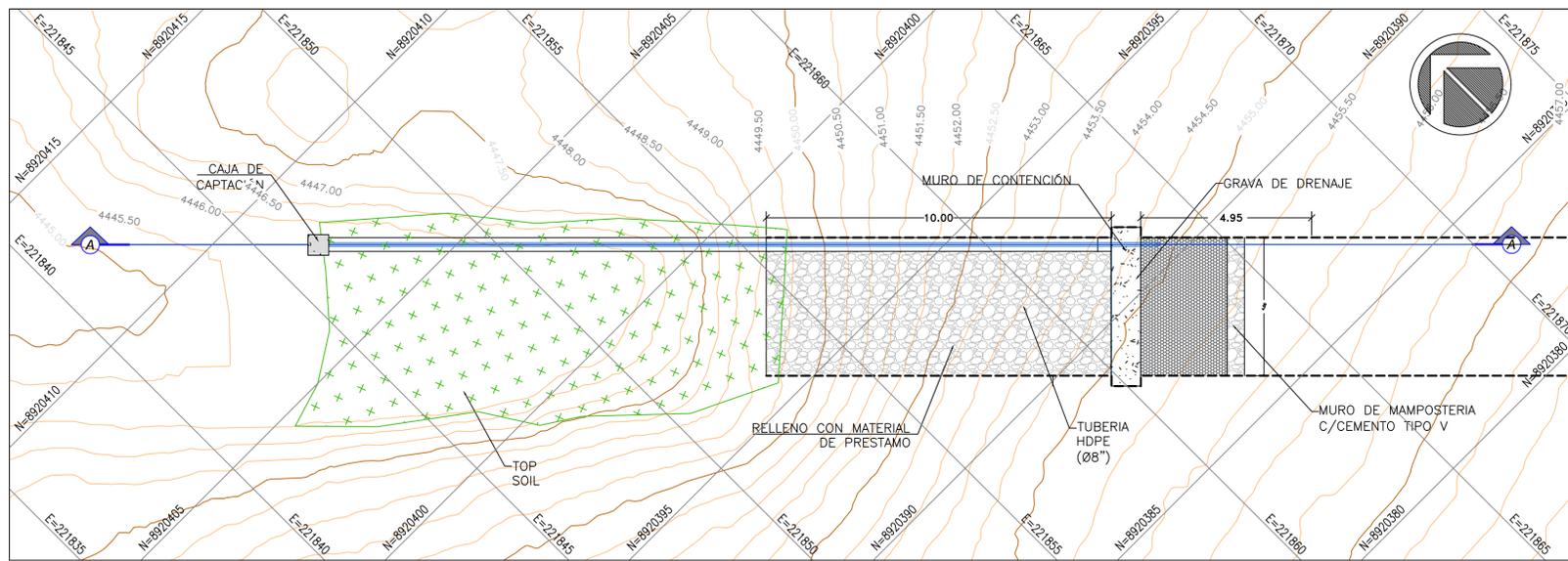
Desmorte



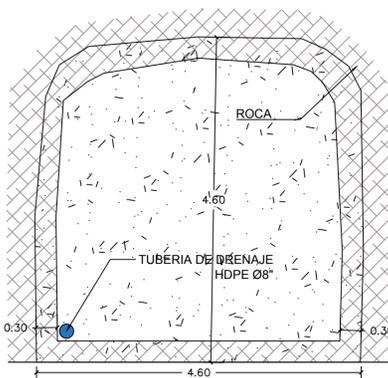
Microfotografía mostrando fracción arenosa con partículas de cuarzo, ferromagnesianos y pirita.

Anexo N° 6.4

**Planos de Diseño de los Tapones
para MPCM.**



SECCIÓN B-B
Escala: 1/50

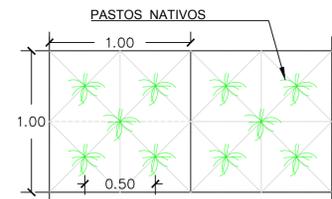


SECCIÓN C-C
Escala: 1/50



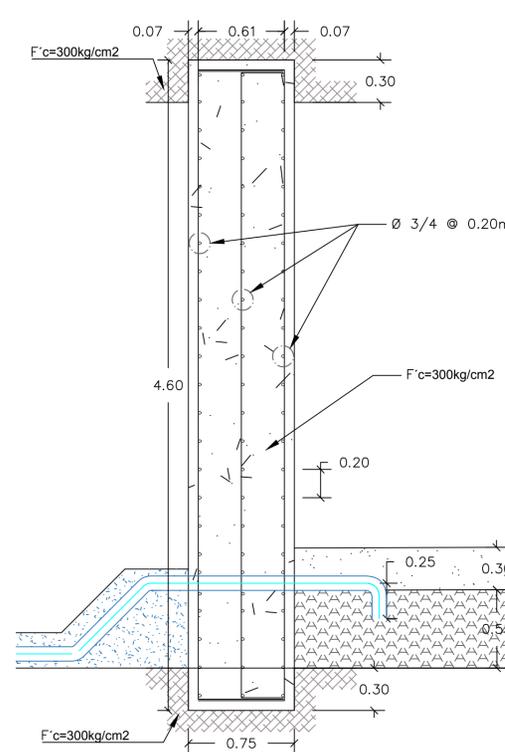
- ① TIERRA DE CULTIVO (TOP SOIL)
- ② MATERIAL DE BAJA PERMEABILIDAD (ARCILLA)
- ③ RELLENO - MATERIAL DE PRESTAMO

DETALLE 1:
COBERTURA TIPO I
ISOMETRICO

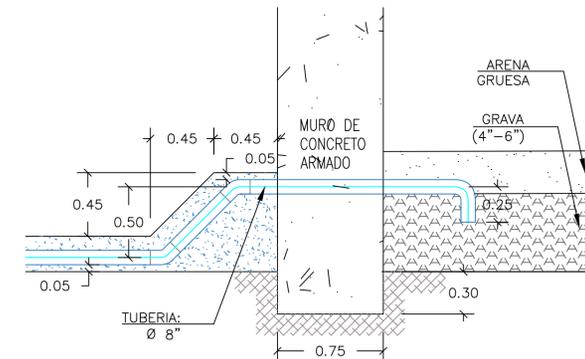


DETALLE DE REVEGETACIÓN
Y DISTRIBUCIÓN DE MATAS
Escala: 1/25

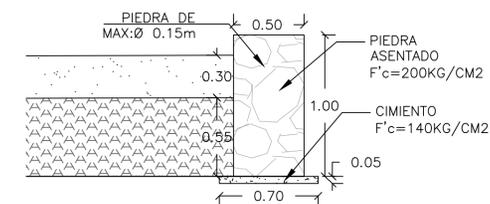
CUADRO CARACTERISTICAS BOCAMINA - APCM - LINCUNA								
N°	PUNTO	LITOLÓGIA	RMR	DISTANCIA MURO m.	ESPESOR MURO (e) m.	CAUDAL (Q) lt/s	pH	Ø Tub pulg.
1	BC-NV1	LAVAS TUFOS VOLCÁNICOS	58	10	0.750	15.62	5.000	8



DETALLE 2:
MURO DE CONCRETO ARMADO
Escala: 1/25



DETALLE 3
Escala: 1/25



DETALLE 4:
MURO DE MAMPOSTERIA
Escala: 1/25

CARACTERÍSTICA DEL MURO-CONCRETO:

- CONCRETO f'c=300kg/cm²
- CEMENTO TIPO V F'c=140kg/cm²
- ACERO fy=4200kg/cm²

RECUBRIMIENTO:

- MURO CONCRETO 70mm

CARACTERÍSTICA DEL MURO-MAMPOSTERIA:

- ROCA F'c=200kg/cm²
- CONCRETO F'c=140kg/cm²

PROPORCIÓN MEZCLA:

- CEMENTO-CAL-ARENA 1:1/2:3
- AGUA POTABLE
- ARENA LIMPIA (SIN POLVO)
- PIEDRA TAM MAX. 0.25mØ
- TAM MIN. 0.15mØ

NOTAS:

1. TODAS LAS DIMENSIONES ESTÁN DADAS EN EL SISTEMA MÉTRICO DECIMAL
2. LAS DIMENSIONES DE LAS GALERIAS SON APROXIMADAS.
3. ANTES DEL VACIADO DE CONCRETO SE DEBERA HACER LA LIMPIEZA DE LA SUPERFICIE SEGÚN ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.
4. COLOCAR ADITIVO IMPERMEABILIZANTE AL CONCRETO.

SISTEMA COORD.: UTM ZONA: 18S
DATUM HORIZONTAL: WGS-84
BASE TOPOGRÁFICA: COMPAÑIA MINERA LINCUNA
NOTA: ---

PLANOS DE REFERENCIA

NOMBRE PLANO DE REFERENCIA

REVISIONES

REV. N° FECHA DESCRIPCIÓN

07/2021 EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA

RUBEN QUISPE RUBEN QUISPE RUBEN QUISPE RUBEN QUISPE

CLIENTE:

COMPAÑIA MINERA LINCUNA

NOMBRE DEL PROYECTO:

MODIFICACIÓN DEL PLAN DE CIERRE DE MINAS

TITULO:

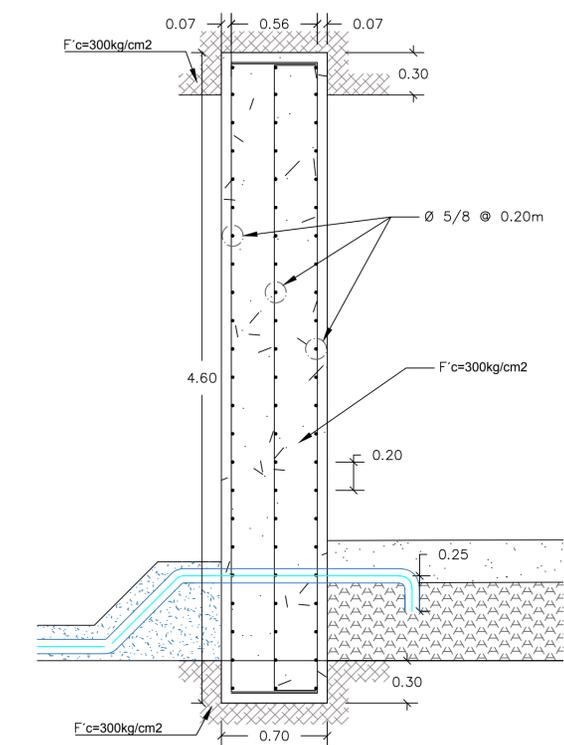
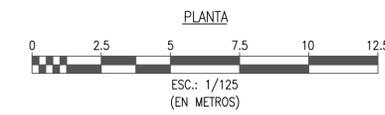
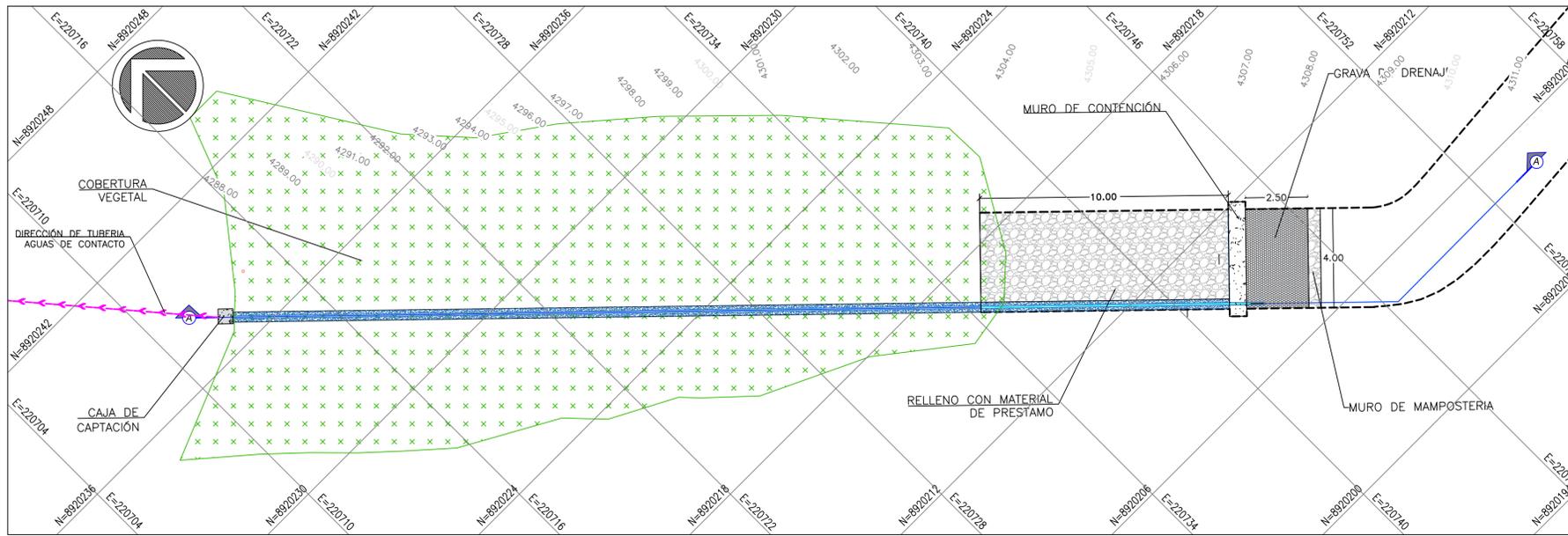
BOCAMINA NIVEL 1 (ZONA CARIDAD)

DISEÑO: RUBEN QUISPE
REVISÓ: RUBEN QUISPE
DIBUJÓ: RUBEN QUISPE

ESCALA: INDICADA
FECHA: jul. 2021

ARCHIVO:
N° PLANO:

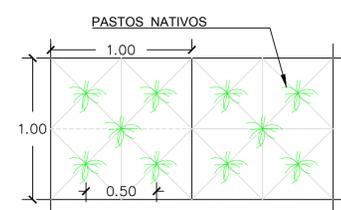




DETALLE 2:
MURO DE CONCRETO ARMADO
Escala: 1/25

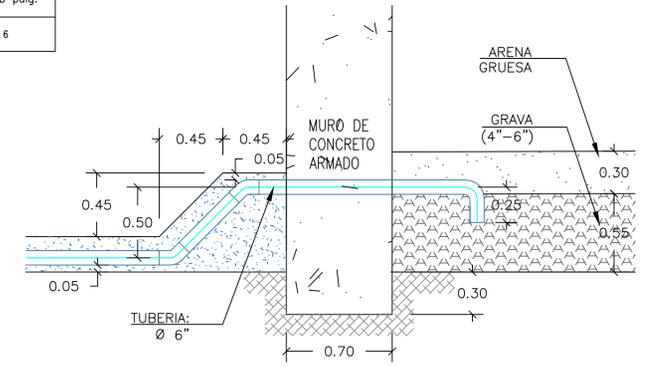


DETALLE 1:
COBERTURA TIPO I
ISOMÉTRICO

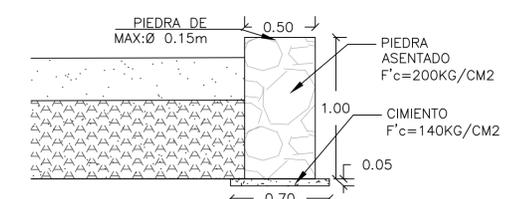


DETALLE DE REVEGETACIÓN
Y DISTRIBUCIÓN DE MATAS
Escala: 1/25

CUADRO CARACTERÍSTICAS BOCAMINA - APCM - LINCUNA									
N°	PUNTO	LITOLÓGIA	RMR	DISTANCIA MURO m.	ESPESOR MURO (e) m.	CAUDAL (Q) lt/s	pH	Ø Tub pulg.	
1	BC-NV3	LAVAS TUFO VOLCÁNICOS	55	10	0.700	12.13	4.750	6	



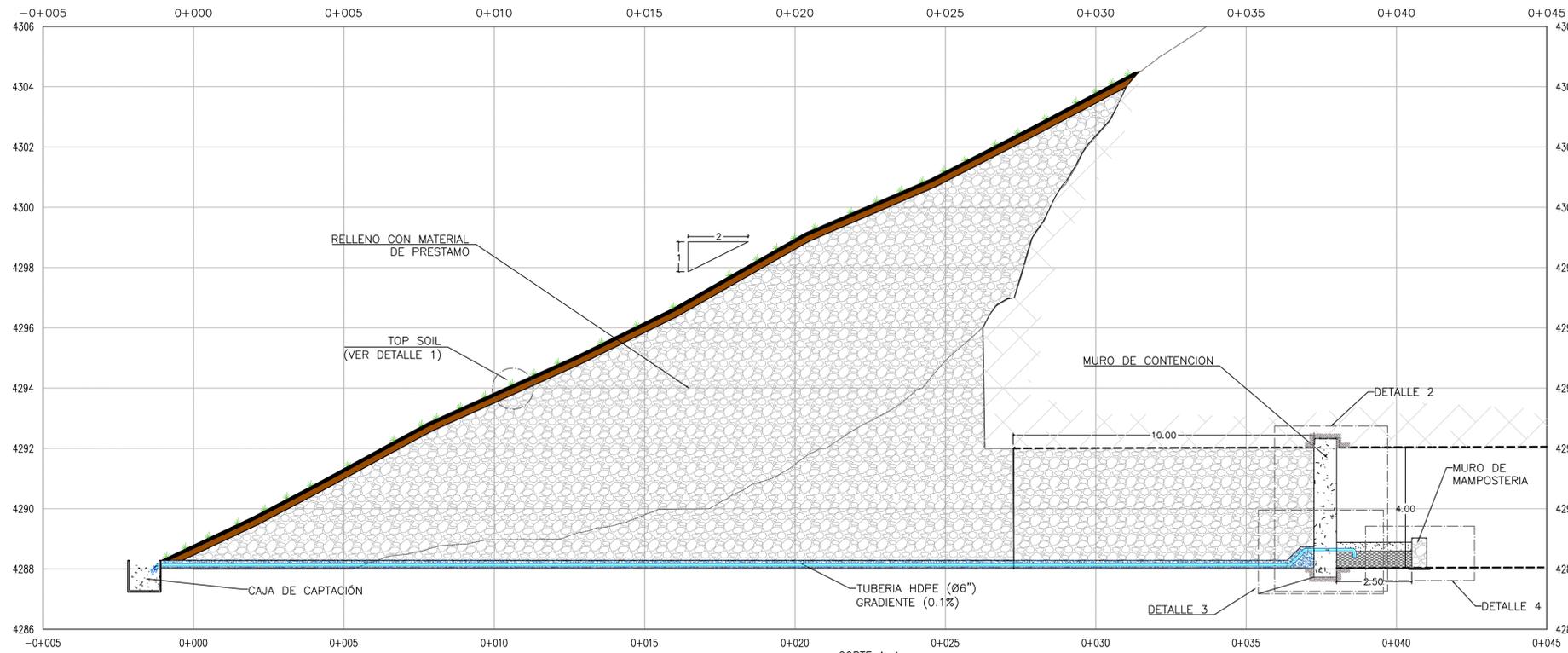
DETALLE 3
Escala: 1/25



DETALLE 4:
MURO DE MAMPOSTERIA
Escala: 1/25

- CARACTERÍSTICA DEL MURO-CONCRETO:**
- CONCRETO f'c=300kg/cm²
 - CEMENTO TIPO V
 - ACERO fy=4200kg/cm²
- RECUBRIMIENTO:**
- MURO CONCRETO 70mm

- CARACTERÍSTICA DEL MURO-MAMPOSTERIA:**
- ROCA F'c=200kg/cm²
 - CONCRETO F'c=140kg/cm²
- PROPORCIÓN MEZCLA:**
- CEMENTO-CAL-ARENA 1:1/2:3
 - AGUA POTABLE
 - ARENA LIMPIA (SIN POLVO)
 - PIEDRA TAM MAX. 0.25mØ
 - PIEDRA TAM MIN. 0.15mØ



SISTEMA COORD.: UTM ZONA: 18S
DATUM HORIZONTAL: WGS-84
BASE TOPOGRÁFICA: COMPAÑIA MINERA LINCUNA
NOTA: ---

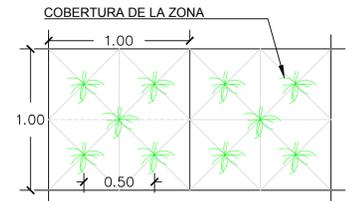
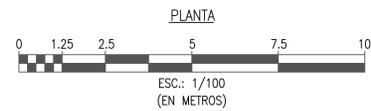
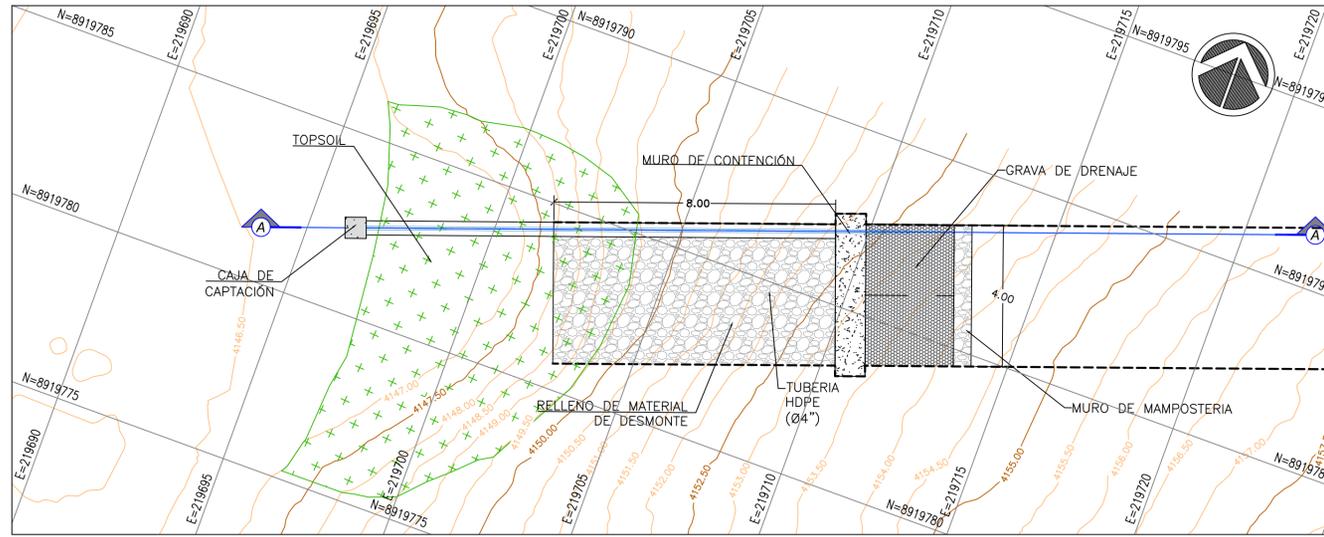
PLANO DE REFERENCIA	No. PLANO REF.	NOMBRE PLANO DE REFERENCIA
---	---	---
---	---	---
---	---	---
---	---	---
---	---	---
---	---	---
---	---	---
---	---	---
---	---	---
---	---	---

REV. N°	FECHA	DESCRIPCIÓN	DIBUJADO	DISEÑADO	REVISADO	APROBADO
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---

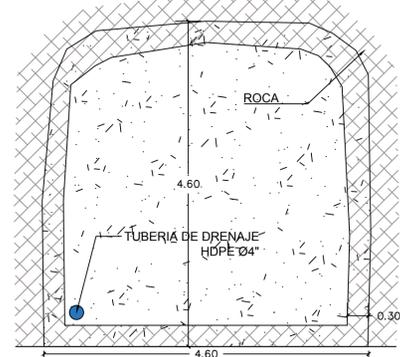
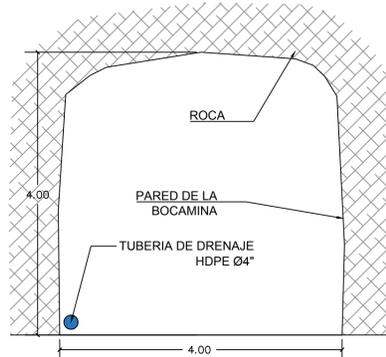
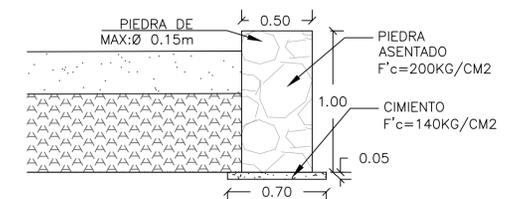
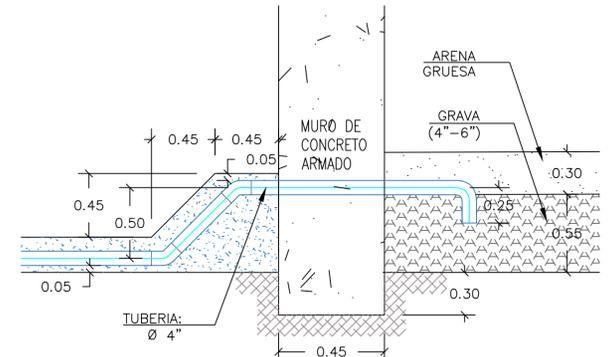
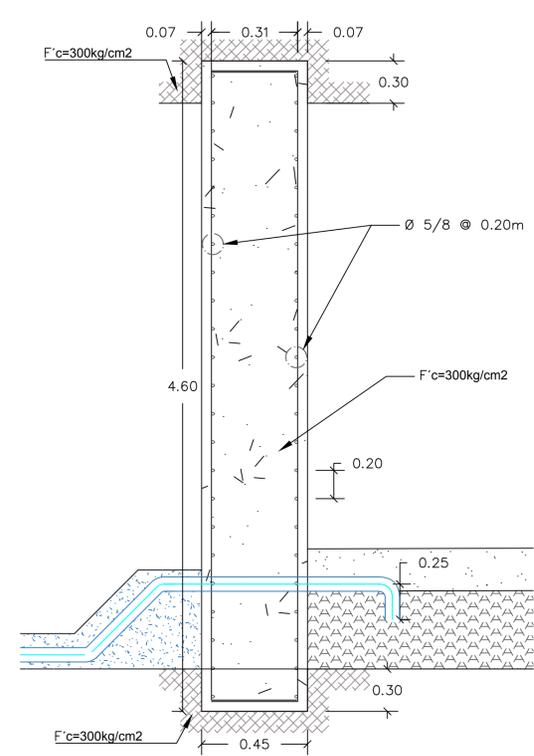
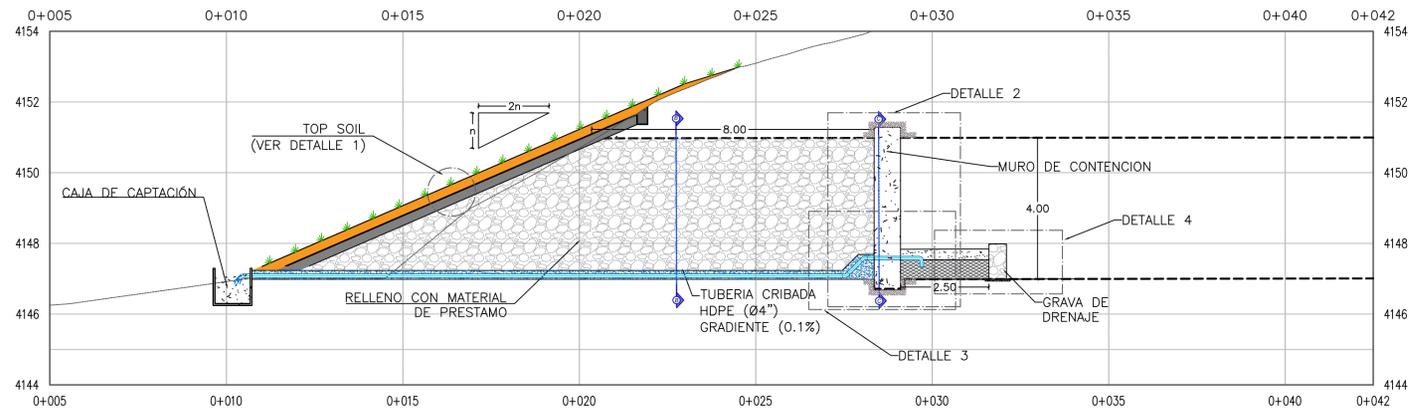
CLIENTE: **COMPAÑIA MINERA LINCUNA**
NOMBRE DEL PROYECTO: **MODIFICACIÓN DEL PLAN DE CIERRE DE MINAS**

TÍTULO: **Bocamina Nivel 3 (Zona Coturcán)**
DISEÑO: RUBEN QUISPE
REVISÓ: RUBEN QUISPE
DIBUJÓ: RUBEN QUISPE
APROBÓ: CML
ESCALA: INDICADA
FECHA:
ARCHIVO:
N° PLANO:





CUADRO CARACTERISTICAS BOCAMINA - APCM - LINCUNA								
N°	PUNTO	LITOLÓGIA	RMR	DISTANCIA MURO m.	ESPESOR MURO (e) m.	CAUDAL (Q) lt/s	pH	Ø Tub pulg.
1	BC-NV5	LAVAS TUFOS VOLCÁNICOS	5.3	8	0.450	0.18	-	4



CARACTERISTICA DEL MURO-CONCRETO:

- CONCRETO f'c=300kg/cm²
- CEMENTO TIPO V
- ACERO fy=4200kg/cm²

RECUBRIMIENTO:

- MURO CONCRETO 70mm

CARACTERISTICA DEL MURO-MAMPOSTERIA:

- ROCA F'c=200kg/cm²
- CONCRETO F'c=140kg/cm²

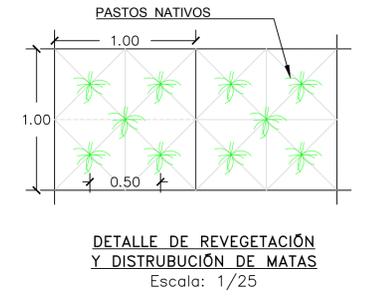
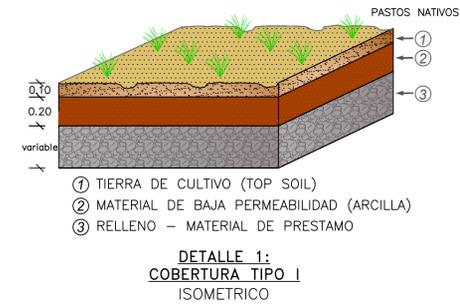
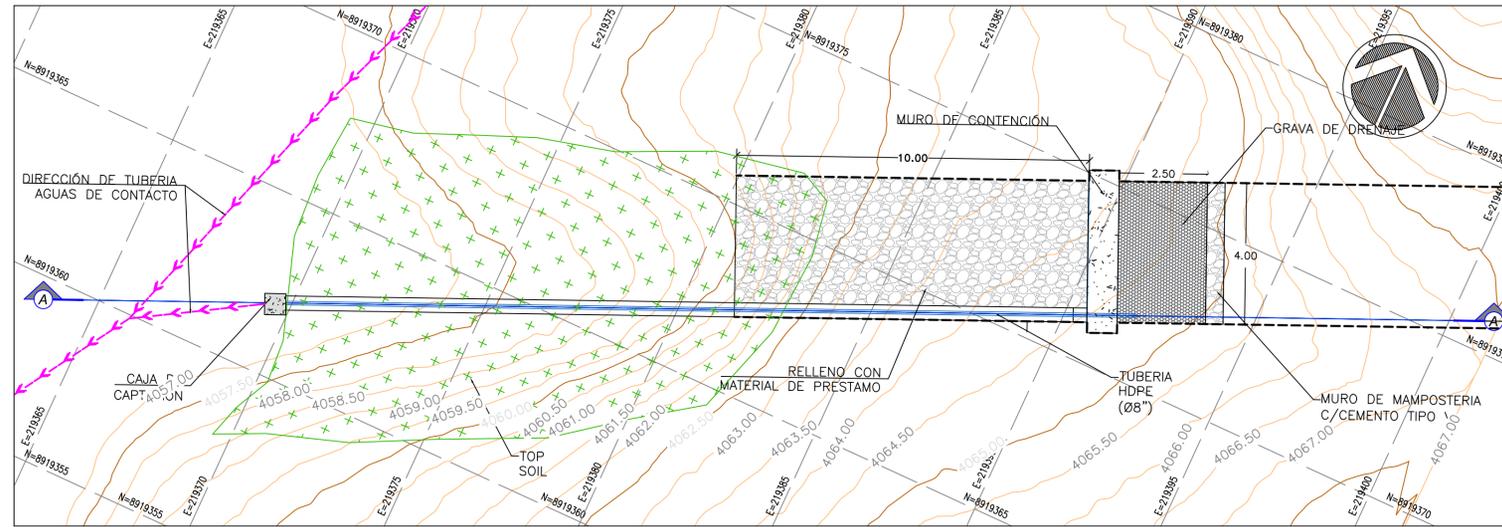
PROPORCIÓN MEZCLA:

- CEMENTO-CAL-ARENA 1:1/2:3
- AGUA POTABLE
- ARENA LIMPIA (SIN POLVO)
- PIEDRA TAM MAX. 0.25mØ
- TAM MIN. 0.15mØ

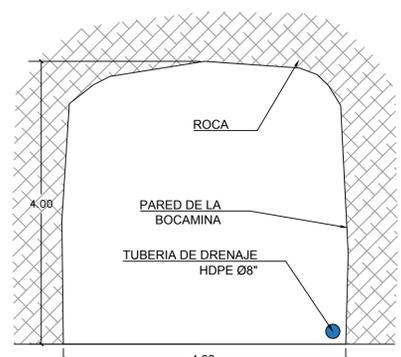
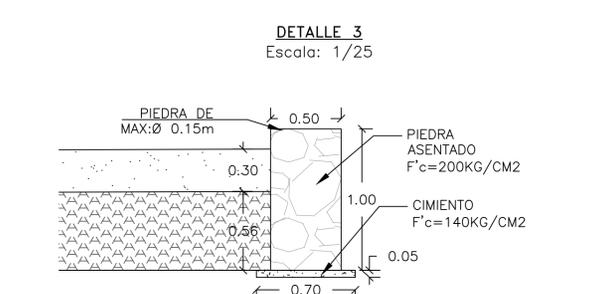
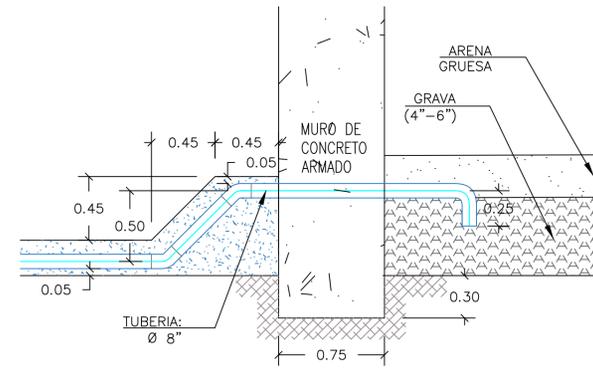
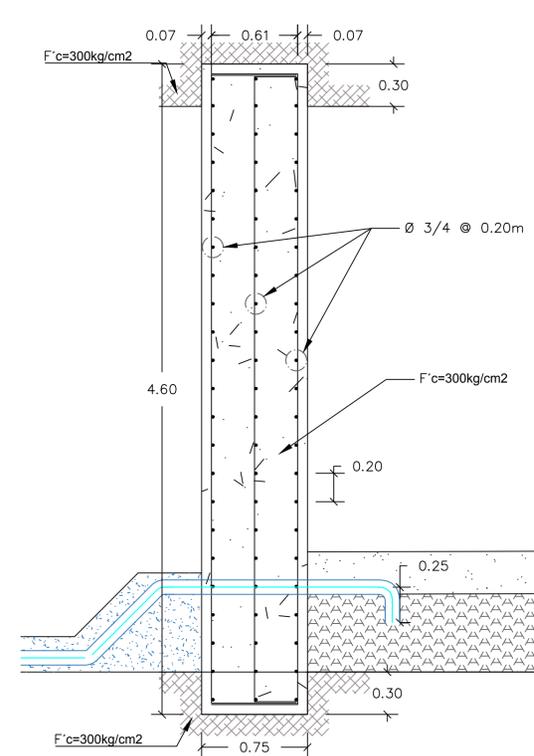
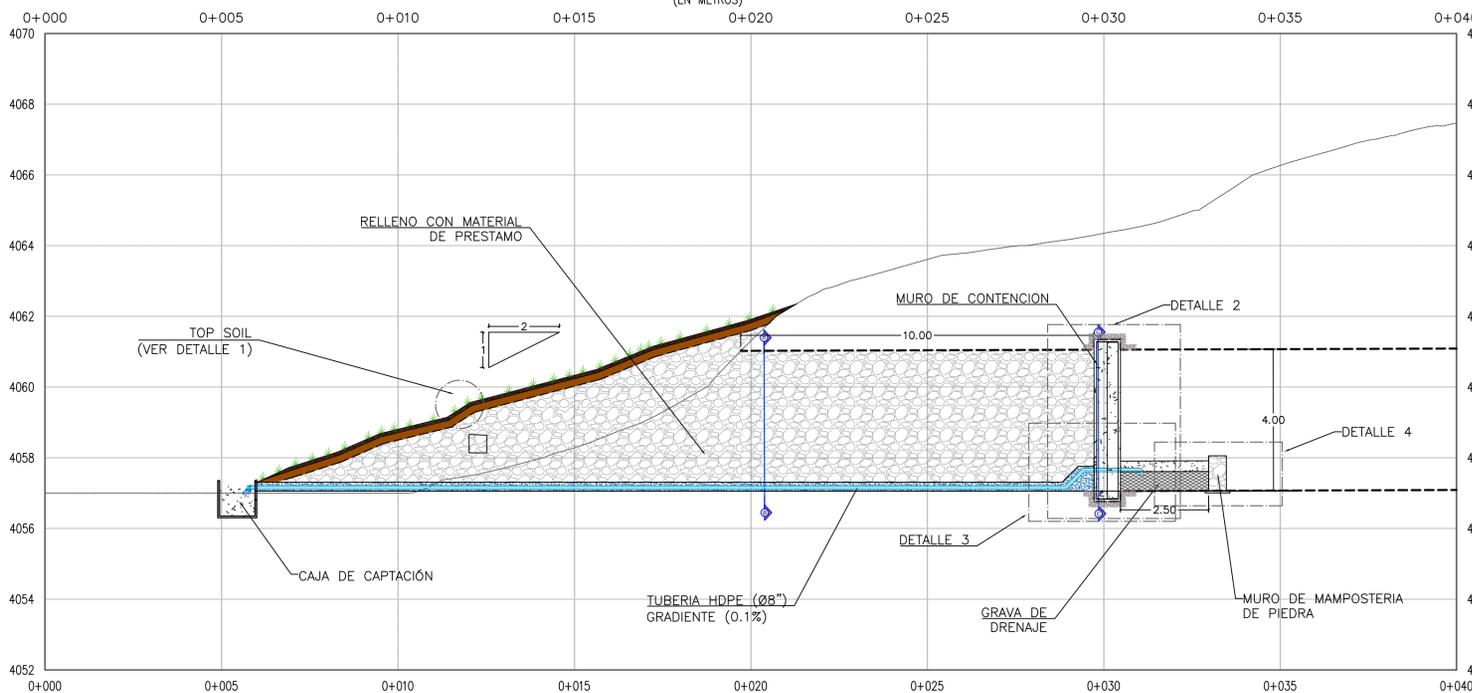
- NOTAS:**
- TODAS LAS DIMENSIONES ESTÁN DADAS EN EL SISTEMA MÉTRICO DECIMAL
 - LAS DIMENSIONES DE LAS GALERIAS SON APROXIMADAS.
 - ANTES DEL VACIADO DE CONCRETO SE DEBERA HACER LA LIMPIEZA DE LA SUPERFICIE SEGUN ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.
 - COLOCAR ADITIVO IMPERMEABILIZANTE AL CONCRETO.

SISTEMA COORD.: UTM ZONA: 18S DATUM HORIZONTAL: WGS-84 BASE TOPOGRÁFICA: COMPAÑIA MINERA LINCUNA NOTA: ---		07/2021 EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA RQT RQT RQT RQT				CLIENTE: COMPAÑIA MINERA LINCUNA		TÍTULO: DISEÑO DE CIERRE DE BOCAMINA NIVEL 5	
NOTAS		REVISIONES:				NOMBRE DEL PROYECTO: MODIFICACIÓN DEL PLAN DE CIERRE DE MINAS		DISEÑO: RUBEN QUISPE	
No. PLANO REF.		DESCRIPCIÓN				APROBADO: CML		REVISO: RUBEN QUISPE	
NOMBRE PLANO DE REFERENCIA		DIBUJADO				FECHA		ESCALA: INDICADA	
		DISEÑADO				REVISADO		ARCHIVO:	
		APROBADO				N° PLANO:			





CUADRO CARACTERISTICAS BOCAMINA - APCM - LINCUA								
N°	PUNTO	LITOLOGÍA	RMR	DISTANCIA MURO m.	ESPESOR MURO (e) (m)	CAUDAL (Q) lt/s	pH	Ø Tub pulg.
1	BC-NV6	LAVAS TUFOS VOLCÁNICOS	55	10	0.750	16.15	5.200	8



CARACTERISTICA DEL MURO-CONCRETO:

- CONCRETO f'c=300kg/cm²
- CEMENTO TIPO V
- ACERO fy=4200kg/cm²

RECUBRIMIENTO:

- MURO CONCRETO 70mm

CARACTERISTICA DEL MURO-MAMPOSTERIA:

- ROCA f'c=200kg/cm²
- CONCRETO f'c=140kg/cm²

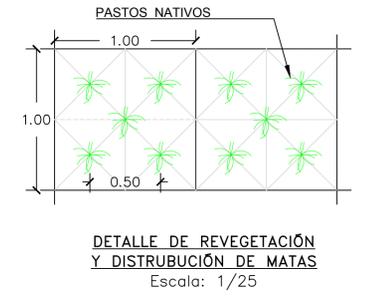
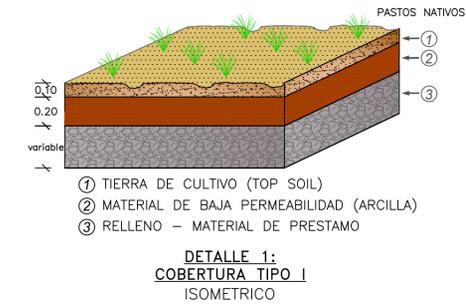
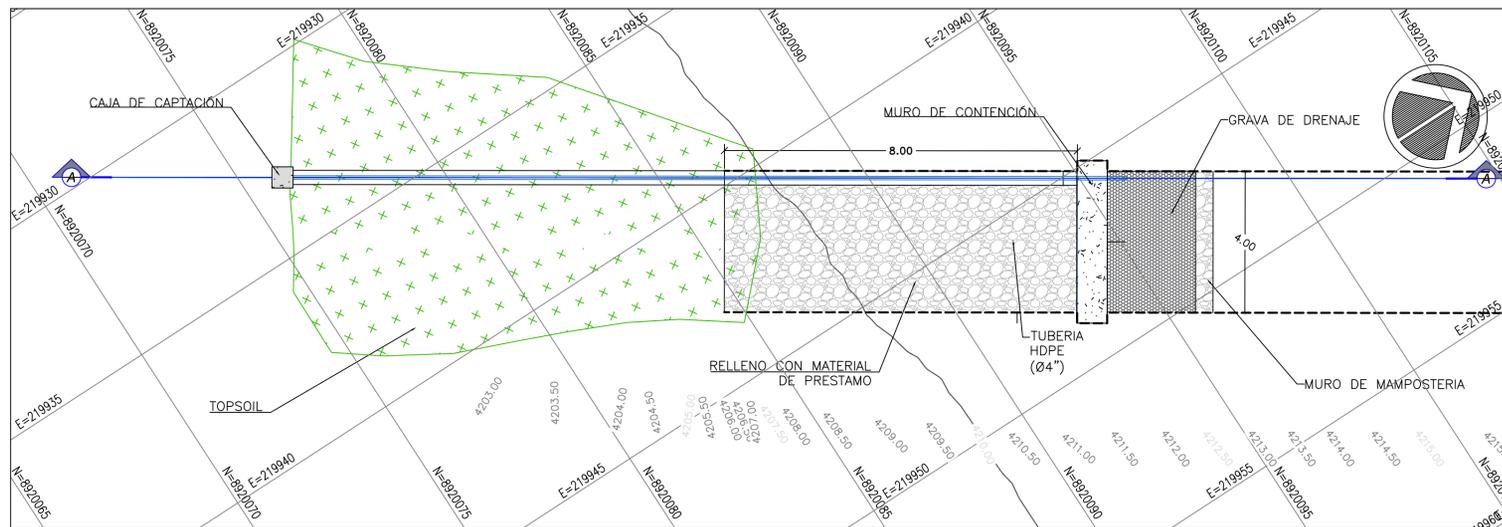
PROPORCIÓN MEZCLA:

- CEMENTO-CAL-ARENA 1:1:2:3
- AGUA POTABLE
- ARENA LIMPIA (SIN POLVO)
- PIEDRA TAM MAX. 0.25m^Ø

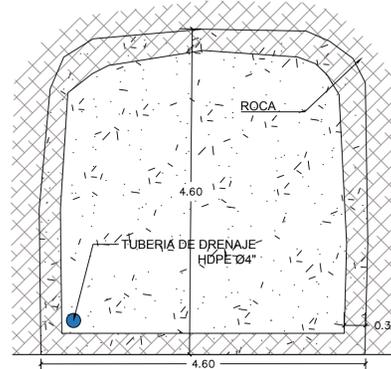
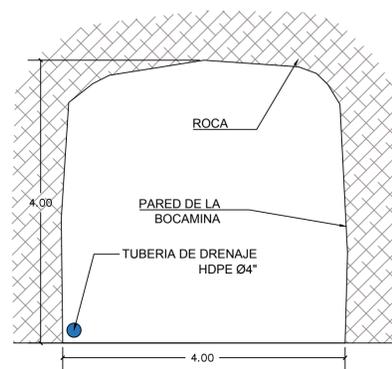
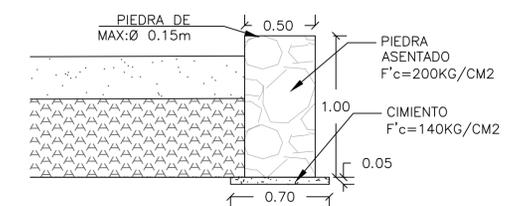
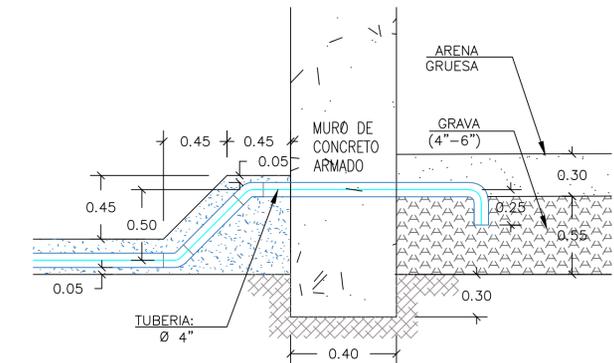
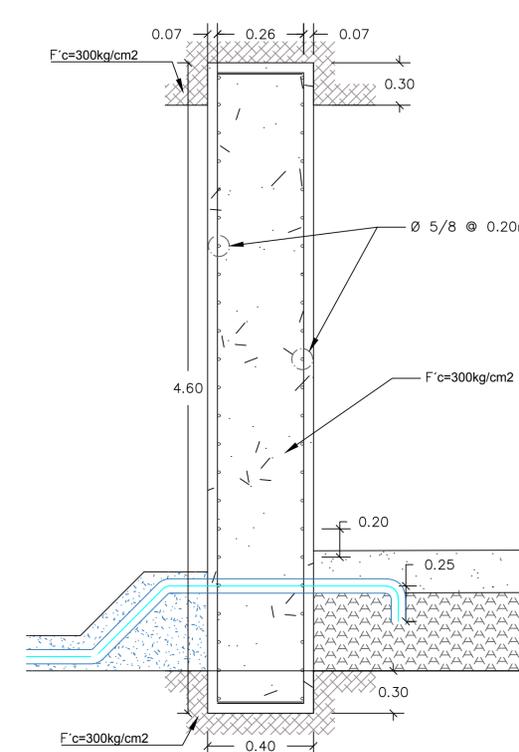
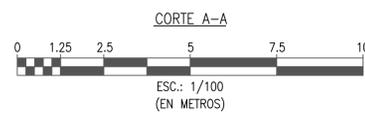
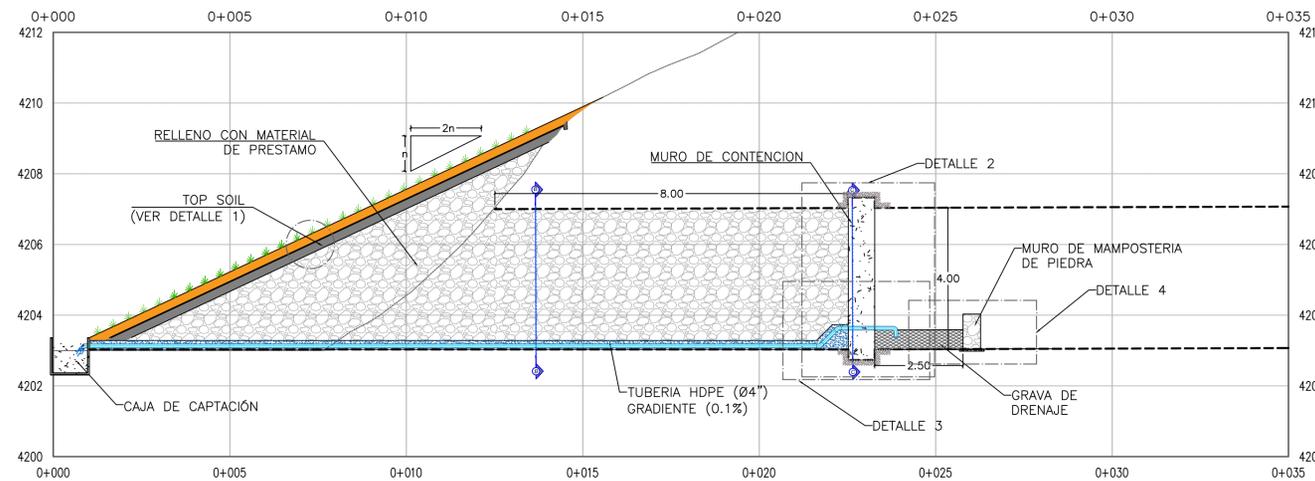
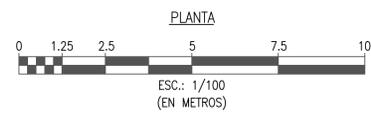
- NOTAS:**
- TODAS LAS DIMENSIONES ESTÁN DADAS EN EL SISTEMA MÉTRICO DECIMAL
 - LAS DIMENSIONES DE LAS GALERIAS SON APROXIMADAS.
 - ANTES DEL VACIADO DE CONCRETO SE DEBERA HACER LA LIMPIEZA DE LA SUPERFICIE SEGUN ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.
 - COLOCAR ADITIVO IMPERMEABILIZANTE AL CONCRETO.

SISTEMA COORD.: UTM ZONA: 18S DATUM HORIZONTAL: WGS-84 AUTOR: --- NOTA: ---		EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA			RUBEN QUISPE	RUBEN QUISPE	RUBEN QUISPE	CLIENTE: COMPAÑIA MINERA LINCUA	TITULO: DISEÑO DE CIERRE DE BOCAMINA NV6 (ZONA HERCULES)
PLANO DE REFERENCIA		REVISIONES			DISEÑO			REVISIÓN	
No. PLANO REF.	NOMBRE PLANO DE REFERENCIA	REV. N°	FECHA	DESCRIPCIÓN	DIBUJADO	DISEÑADO	REVISADO	APROBADO	ARCHIVO:
NOTAS								INDICADA	
								FECHA: JUN. 2021	
								N° PLANO:	





CUADRO CARACTERISTICAS BOCAMINA - APCM - LINCUNA								
N°	PUNTO	LITOLÓGIA	RMR	DISTANCIA MURO m.	ESPESOR MURO (e) m.	CAUDAL (Q) lt/s	pH	Ø Tub pulg.
1	BC-NV4-S	LAVAS TUFOS VOLCANICOS	56	8	0.400	0.09	-	4



- CARACTERISTICA DEL MURO-CONCRETO:**
- CONCRETO f'c=300kg/cm²
 - CEMENTO TIPO V
 - ACERO fy=4200kg/cm²
- RECUBRIMIENTO:**
- MURO CONCRETO 70mm

- CARACTERISTICA DEL MURO-MAMPOSTERIA:**
- ROCA F'c=200kg/cm²
 - CONCRETO F'c=140kg/cm²
- PROPORCIÓN MEZCLA:**
- CEMENTO-CAL-ARENA 1:1/2:3
 - AGUA POTABLE LIMPIA (SIN POLVO)
 - ARENA TAM MAX. 0.25mØ
 - PIEDRA TAM MIN. 0.15mØ

NOTAS:

- TODAS LAS DIMENSIONES ESTÁN DADAS EN EL SISTEMA METRICO DECIMAL
- LAS DIMENSIONES DE LAS GALERIAS SON APROXIMADAS.
- ANTES DEL VACIADO DE CONCRETO SE DEBERA HACER LA LIMPIEZA DE LA SUPERFICIE SEGÚN ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.
- COLOCAR ADITIVO IMPERMEABILIZANTE AL CONCRETO.

SISTEMA COORD.: UTM ZONA: 18S
DATUM HORIZONTAL: WGS-84
BASE TOPOGRÁFICA: COMPAÑIA MINERA LINCUNA
NOTA: ---

PLANO DE REFERENCIA	No. PLANO REF.	NOMBRE PLANO DE REFERENCIA
---	---	---
---	---	---
---	---	---
---	---	---
---	---	---
---	---	---
---	---	---
---	---	---
---	---	---

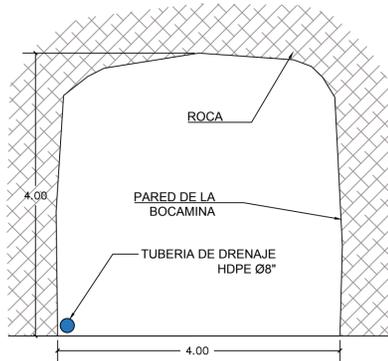
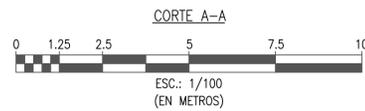
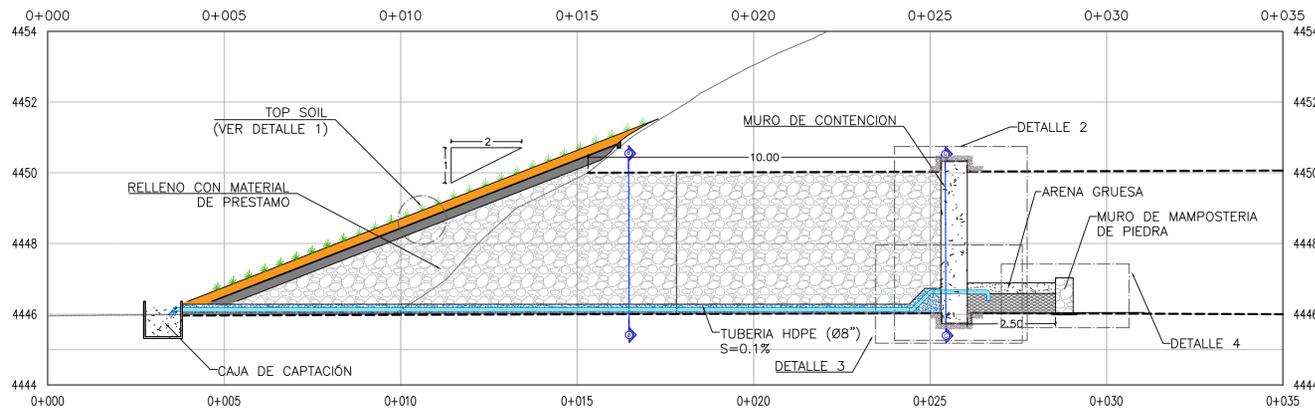
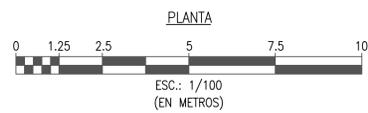
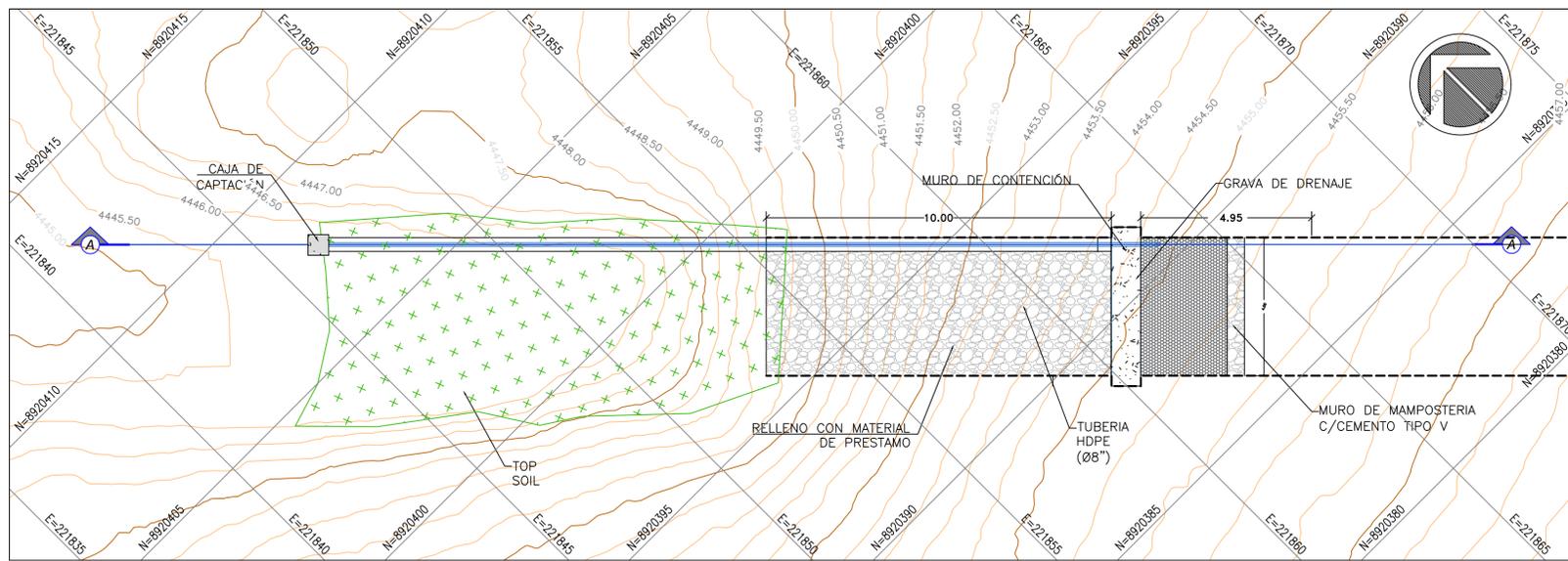
REVISIONES	REV. N°	FECHA	DESCRIPCIÓN	DIBUJADO	DISEÑADO	REVISADO	APROBADO
---	A	21/02/2020	EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA	R.Q.T.	R.Q.T.	R.Q.T.	R.Q.T.
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---

CLIENTE: **COMPAÑIA MINERA LINCUNA**

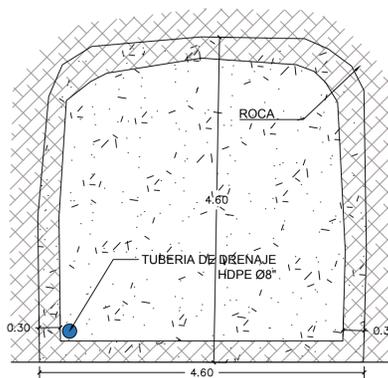
NOMBRE DEL PROYECTO: **ACTUALIZACION DEL PLAN DE CIERRE DE MINAS**

BOCAMINA N° 4 NORTE			
DISEÑO:	REVISÓ:	ESCALA:	ARCHIVO:
RUBEN QUISPE	RUBEN QUISPE	INDICADA	---
DIBUJÓ:	APROBÓ:	FECHA:	N° PLANO:
RUBEN QUISPE	CML	---	---





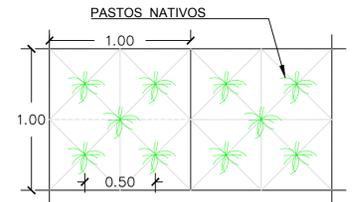
SECCIÓN B-B
Escala: 1/50



SECCIÓN C-C
Escala: 1/50

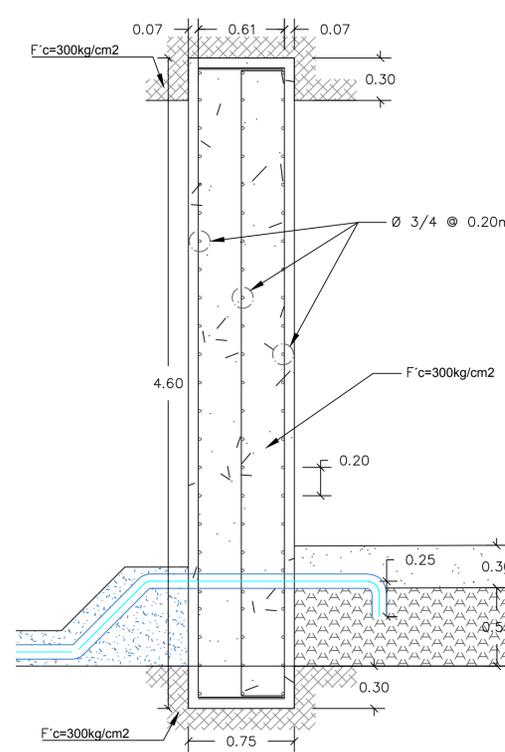


DETALLE 1:
COBERTURA TIPO I
ISOMETRICO

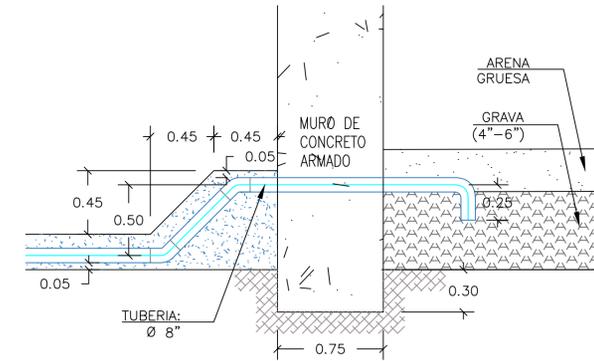


DETALLE DE REVEGETACIÓN
Y DISTRIBUCIÓN DE MATAS
Escala: 1/25

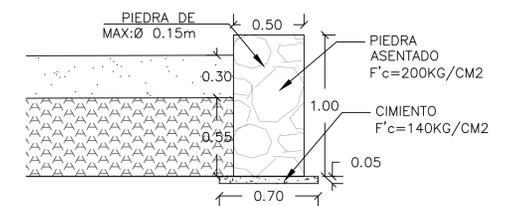
CUADRO CARACTERISTICAS BOCAMINA - APCM - LINCUNA								
N°	PUNTO	LITOLÓGIA	RMR	DISTANCIA MURO m.	ESPESOR MURO (e) m.	CAUDAL (Q) lt/s	pH	Ø Tub pulg.
1	BC-NV1	LAVAS TUFOS VOLCÁNICOS	58	10	0.750	15.62	5.000	8



DETALLE 2:
MURO DE CONCRETO ARMADO
Escala: 1/25



DETALLE 3
Escala: 1/25



DETALLE 4:
MURO DE MAMPOSTERIA
Escala: 1/25

CARACTERÍSTICA DEL MURO-CONCRETO:

- CONCRETO $f'c=300kg/cm^2$
- CEMENTO TIPO V $f'c=140kg/cm^2$
- ACERO $f_y=4200kg/cm^2$

RECUBRIMIENTO:

- MURO CONCRETO 70mm

CARACTERÍSTICA DEL MURO-MAMPOSTERIA:

- ROCA $F'c=200kg/cm^2$
- CONCRETO $F'c=140kg/cm^2$

PROPORCIÓN MEZCLA:

- CEMENTO-CAL-ARENA 1:1/2:3
- AGUA POTABLE
- ARENA LIMPIA (SIN POLVO)
- PIEDRA TAM MAX. 0.25mØ
- TAM MIN. 0.15mØ

NOTAS:

1. TODAS LAS DIMENSIONES ESTÁN DADAS EN EL SISTEMA MÉTRICO DECIMAL
2. LAS DIMENSIONES DE LAS GALERIAS SON APROXIMADAS.
3. ANTES DEL VACIADO DE CONCRETO SE DEBERA HACER LA LIMPIEZA DE LA SUPERFICIE SEGÚN ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.
4. COLOCAR ADITIVO IMPERMEABILIZANTE AL CONCRETO.

SISTEMA COORD.: UTM ZONA: 18S
DATUM HORIZONTAL: WGS-84
BASE TOPOGRÁFICA: COMPAÑIA MINERA LINCUNA
NOTA: ---

PLANOS DE REFERENCIA

NOMBRE PLANO DE REFERENCIA

REVISIONES

REV. N° FECHA DESCRIPCIÓN

07/2021 EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA

RUBEN QUISPE RUBEN QUISPE RUBEN QUISPE RUBEN QUISPE

CLIENTE:

COMPAÑIA MINERA LINCUNA

NOMBRE DEL PROYECTO:

MODIFICACIÓN DEL PLAN DE CIERRE DE MINAS

TITULO:

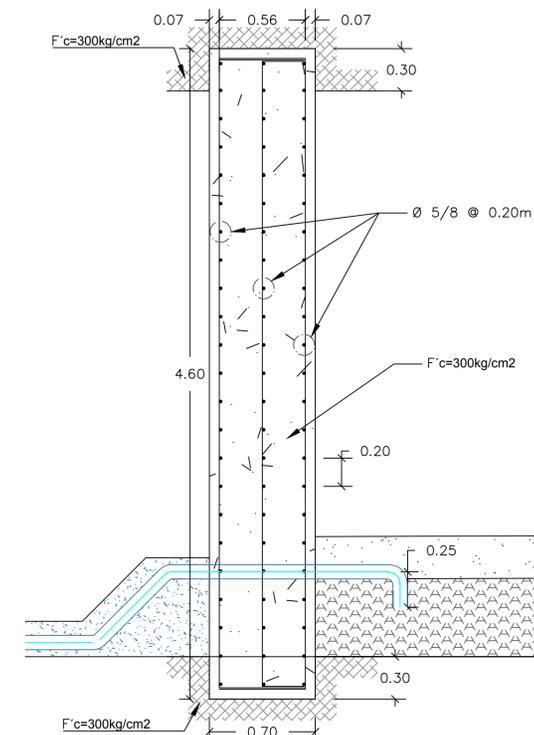
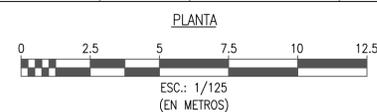
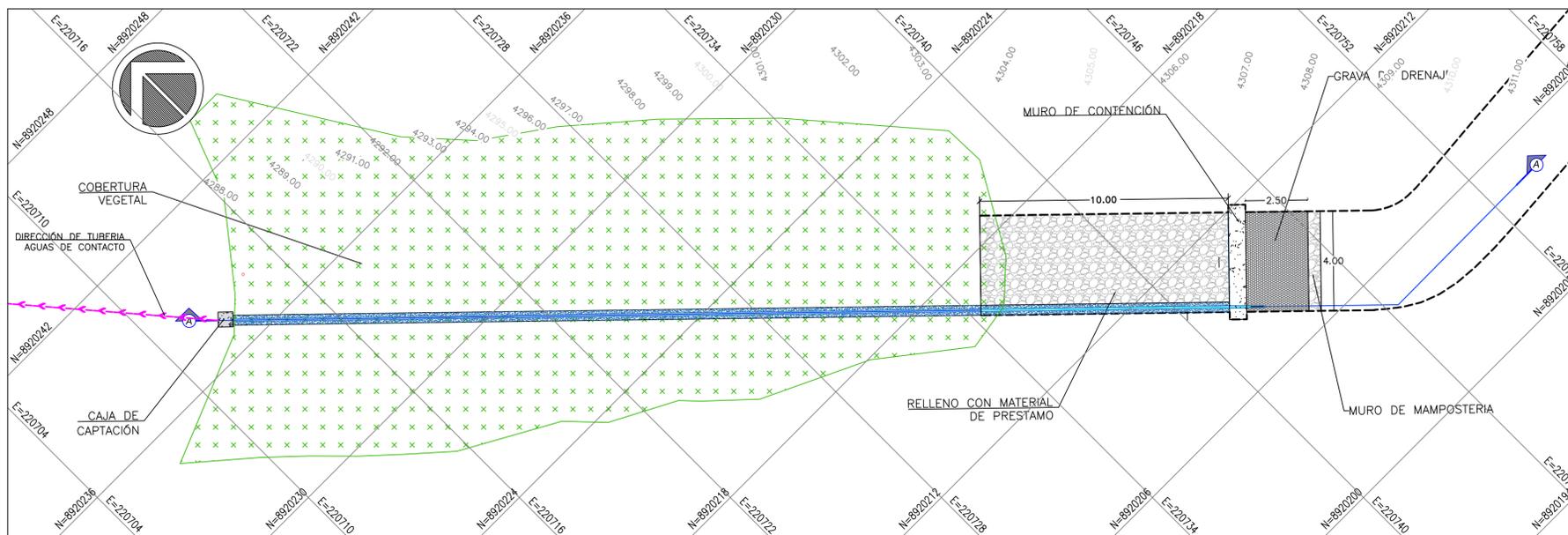
BOCAMINA NIVEL 1 (ZONA CARIDAD)

DISEÑO: RUBEN QUISPE
REVISÓ: RUBEN QUISPE
DIBUJÓ: RUBEN QUISPE

ESCALA: INDICADA
FECHA: jul. 2021

ARCHIVO:
N° PLANO:

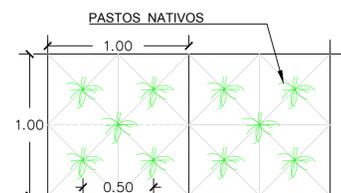




DETALLE 2:
MURO DE CONCRETO ARMADO
Escala: 1/25

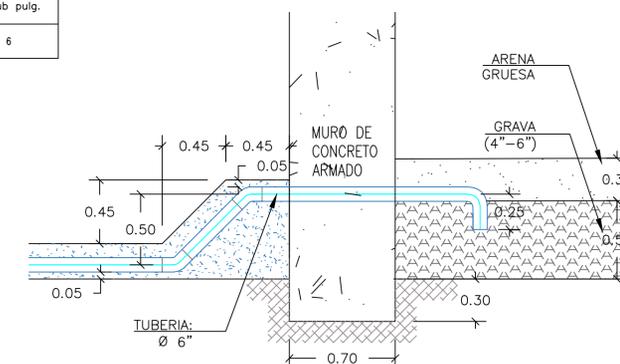


DETALLE 1:
COBERTURA TIPO I
ISOMÉTRICO

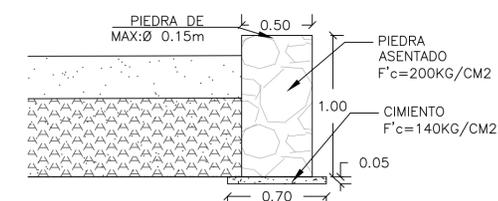


DETALLE DE REVEGETACIÓN
Y DISTRIBUCIÓN DE MATAS
Escala: 1/25

CUADRO CARACTERÍSTICAS BOCAMINA - APCM - LINCUNA								
N°	PUNTO	LITOLÓGIA	RMR	DISTANCIA MURO m.	ESPESOR MURO (e) m.	CAUDAL (Q) lt/s	pH	Ø Tub pulg.
1	BC-NV3	LAVAS TUFO VOLCÁNICOS	55	10	0.700	12.13	4.750	6



DETALLE 3
Escala: 1/25



DETALLE 4:
MURO DE MAMPOSTERIA
Escala: 1/25

CARACTERÍSTICA DEL MURO-CONCRETO:

- CONCRETO f'c=300kg/cm²
- CEMENTO TIPO V
- ACERO fy=4200kg/cm²

RECUBRIMIENTO:

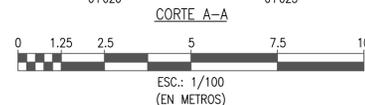
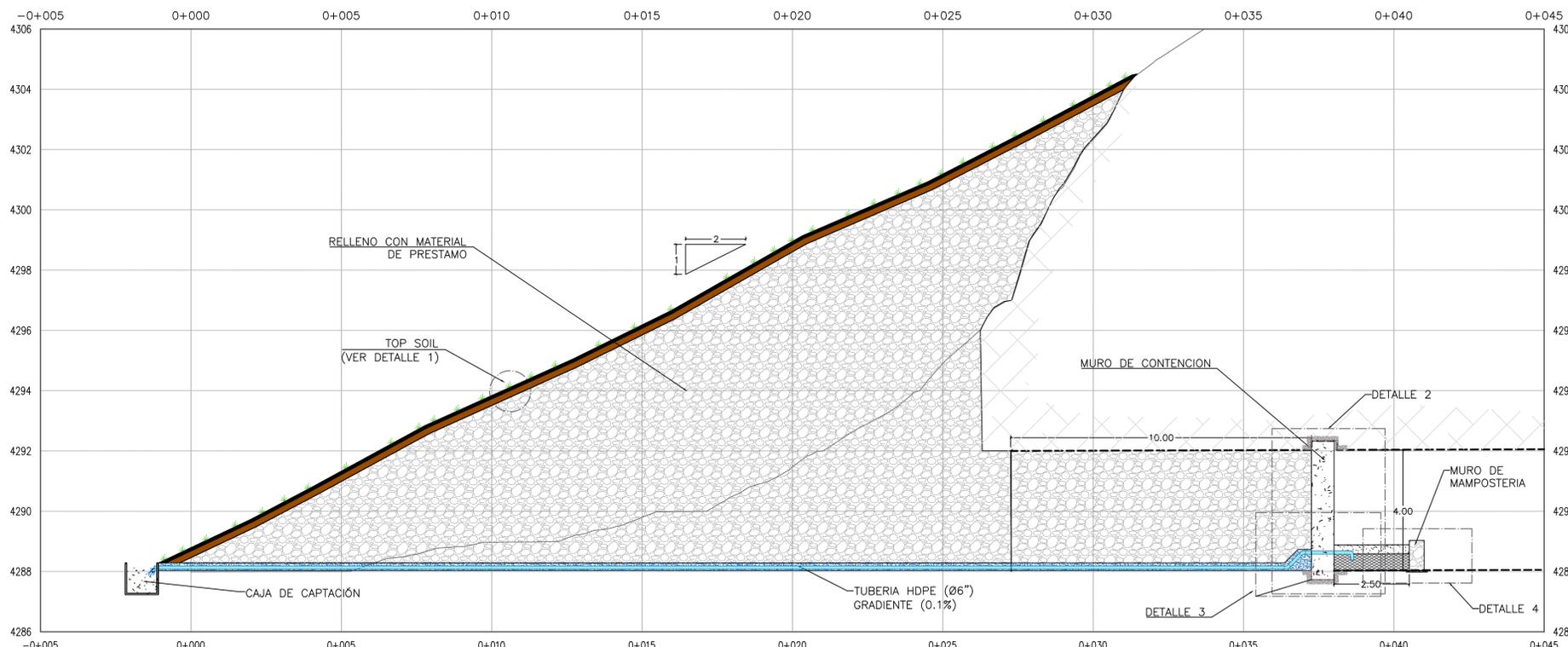
- MURO CONCRETO 70mm

CARACTERÍSTICA DEL MURO-MAMPOSTERIA:

- ROCA F'c=200kg/cm²
- CONCRETO F'c=140kg/cm²

PROPORCIÓN MEZCLA:

- CEMENTO-CAL-ARENA 1:1/2:3
- AGUA POTABLE
- ARENA LIMPIA (SIN POLVO)
- PIEDRA TAM MAX. 0.25mØ
- TAM MIN. 0.15mØ



SISTEMA COORD.: UTM ZONA: 18S
DATUM HORIZONTAL: WGS-84
BASE TOPOGRÁFICA: COMPAÑIA MINERA LINCUNA
NOTA: ---

PLANO DE REFERENCIA	No. PLANO REF.	NOMBRE PLANO DE REFERENCIA
---	---	---
---	---	---
---	---	---
---	---	---
---	---	---
---	---	---

REV. N°	FECHA	DESCRIPCIÓN	DIBUJADO	DISEÑADO	REVISADO	APROBADO
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---

CLIENTE: **COMPAÑIA MINERA LINCUNA**

NOMBRE DEL PROYECTO: **MODIFICACIÓN DEL PLAN DE CIERRE DE MINAS**

TÍTULO: **Bocamina Nivel 3 (Zona Coturcán)**

DISEÑO:	REVISÓ:	ESCALA:	ARCHIVO:
RUBEN QUISPE	RUBEN QUISPE	INDICADA	---
DIBUJÓ:	APROBÓ:	FECHA:	N° PLANO:
RUBEN QUISPE	CML	---	---





RUBEN QUISPE TINCO

Celular : 956705181

Correo : rubenquispetinco@gmail.com
ruquispet@uni.pe

Dirección: Mz E´ Lt 11 | Etapa Urb. Pachacamac – Villa El Salvador

Bachiller de Ingeniería de Minas de la UNI, con sólidos conocimientos en Ingeniería Minera, capaz de adaptarme y desarrollarme en equipo. Responsabilidad, compromiso y trabajo son competencias que me identifican. Deseo formar parte de un equipo de trabajo donde pueda aprender y contribuir con mis conocimientos al logro de los objetivos de la empresa.

SOFTWARE MICROSOFT:

- **Excel:** Nivel avanzado.
- **Excel VBA:** Intermedio.
- **Word:** Nivel avanzado.
- **Power point:** Nivel avanzado

SOFTWARE DE INGENIERÍA:

- **AutoCAD** (nivel avanzado).
- **Ms Project** (nivel avanzado).
- **Minesight** (nivel avanzado).
- **S10** (nivel avanzado).

EDUCACIÓN

- **INGENIERÍA DE MINAS** –UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA (BACHILLER).

CONOCIMIENTOS COMPLEMENTARIOS

- **INGLES.- Nivel Intermedio en la Asociación Cultural Peruano Británica.**

DIPLOMADO

- **Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente-** Centro Latinoamericano de Postgrado (CELAEP)-En curso.

CURSOS

- Sistema de Gestión de Calidad ISO 9001. - **Centro Latinoamericano de Postgrado (CELAEP).**
- Sistema de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional e Interpretación de los Requisitos de la Norma ISO 45001:2018.- **Centro Latinoamericano de Postgrado (CELAEP).**
- Pasivos Ambientales Mineros y la Gestión de Cierre de Minas. - **Centro Latinoamericano de Postgrado (CELAEP).**
- Plan de Manejo de Pasivos Ambientales Mineros. - **Centro Latinoamericano de Postgrado (CELAEP).**
- C.D.E. En Gestión de Flotas Vehiculares – **CTIC UNI**

EXPERIENCIA LABORAL

Asistente Técnico de Obra

Compañía Minera Antamina S.A – JME Obras a Pie de Presa
Mayo del 2021- Actualidad

- Elaboración de reportes diarios de producción (trabajos realizados en el día, recursos, instrucciones técnicas)
- Encargado de requerimientos de materiales permanentes para obras.
- Metrados de la extensión del túnel de decantación.
- Encargado del dimensionamiento del servicio del túnel (drenaje, aire y ventilación).

Ingeniero de Planeamiento y Proyectos

CGT Company S.A.C

Julio del 2017- Abril del 2021

- Apoyo en la elaboración de Presupuestos de Cierre de Minas temporal, progresiva, final y garantía financiera para la U.M. Century.
- Diseño y planes de mina (uso de herramientas interactivas de diseño tales como: AutoCAD, MineSight).
- Apoyo en la Elaboración de Tasación de Predios Superficiales y Yacimientos Mineros - Sociedad Minera El Brocal S.A.
- Elaboración del Informe Técnico Complementario a la Modificación del Plan de Cierre de Minas – U.M. San Juan de Chorunga, Century.
- Apoyo en la elaboración de Plan Ambiental Detallado para la U.M. Corihuarmi IRL.
- Modificación del Estudio de Impacto Ambiental (MEIA) para el proyecto Minero Pampa de Pongo Jin Zhao Mining Perú, entre otros Instrumentos de gestión ambiental (IGAs).
- Elaboración del informe para la aprobación del procedimiento AM 01 (inicio/reinicio de las actividades de desarrollo, preparación y explotación incluye plan de minado y botaderos) para el Proyecto Minero Pampa de Pongo de la empresa minera Jinzhao Mining Perú S.A.

Ingeniero Junior de Producción (Trainee)

INCIMMET S.A.

Septiembre del 2016- Julio del 2017

- Supervisión y monitoreo en la construcción de muros para la contención de relleno en pasta, desde el proceso de perforación con Jack leg, empernado, estructurado y encofrado de secciones de 5x5 m y 5x4.5 m, supervisión de la dosificación del concreto y el funcionamiento de la bomba estacionaria de concreto Putzmeister.
- Elaboración de órdenes de trabajo y revisión de las herramientas de gestión en la mina, monitoreo de gases (Co₂, Co, NO_x, O₂) con equipo Altair, en la Unidad Minera Cerro Lindo-Milpo.
- Analizando el precio unitario de los proyectos de relleno hidráulico.
- Monitoreo y realización de muestreo del relave usado para el relleno hidráulico, seguimiento del relave usado para el relleno hidráulico desde la cancha de relaves pasado por el clasificador hidrociclón su composición y luego enviarlo a las labores requeridas, previa preparación de la labor, en la Unidad Minera el Porvenir-Milpo y Unidad minera Uchuchacua-Buenaventura.