



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“ANÁLISIS GEOMECÁNICO Y DISEÑO DE ESTABILIDAD FÍSICA E HIDROLÓGICA DE LABORES MINERAS SUBTERRÁNEAS EN SANTILLANA, AYACUCHO 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Juan José Chávez Díaz

Edwin Alexis García Campos

Asesor:

Ing. Daniel Alejandro Alva Huamán

Cajamarca - Perú

2021

DEDICATORIA

La presente tesis la dedicamos a nuestras familias, principalmente a nuestros padres que han sido un pilar fundamental en nuestra formación académica como profesionales, por brindarnos toda la confianza, consejos, oportunidades, y los recursos para poder lograr nuestras metas, gracias a todos los mencionados por estar en los buenos y malos momentos brindándonos amor, comprensión y paciencia, agradecer a mi madre por siempre estar conmigo, agradecer a mi padre desde el cielo me puede ver triunfar y por último agradecer a July mi esposa la cual me apoyo en todo momento sin dudar de mí gracias por todo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por habernos dado una familia, amigos y compañeros que, a lo largo de nuestra realización como profesionales en esta apasionante carrera de ingeniería de minas, siempre nos han dado ese aliento y apoyo para poder seguir adelante y nunca decaer.

Agradecemos también a nuestros maestros en especial consideración al Ing. Daniel Alva Huamán quien ha sido abierto a responder nuestras dudas académicas sacrificando su tiempo logrando que nos enamoremos de nuestras carreras.

Tabla de contenidos

	Pág.
AGRADECIMIENTO	3
RESUMEN.....	7
CAPTULO I INTRODUCCIÓN.....	8
1.1. Realidad problemática	8
1.2. Formulación del problema	15
1.3. Objetivos.....	15
1.4. Hipótesis	15
CAPÍTULO II METODOLOGÍA	16
2.1. Tipo de investigación.....	16
2.2. Población.....	16
2.3. Muestra	16
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	16
CAPÍTULO III. RESULTADOS	18
3.1. Ubicación	18
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	60
4.1. Discusión	60
4.2. Conclusiones	63
REFERENCIAS	64
Anexos.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Ubicación de la mina Santillana	18
Tabla 2 Coordenadas de las Labor mineras	18
<i>Tabla 3 Puntajes asociados a la resistencia de la roca intacta.</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 4 Puntaje asociado al índice de calidad RQD del macizo rocoso</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 5 Puntajes asociados al espaciamiento entre discontinuidades.....</i>	<i>25</i>
Tabla 6 Valoración del RMR al sumar los puntajes obtenidos.....	26
Tabla 7 Ajuste de la valoración por orientación de discontinuidades	27
<i>Tabla 8 Sistema de discontinuidades</i>	<i>35</i>
Tabla 9 Ajuste de la valoración por orientación de las fisuras.	38
Tabla 10 orientación de las discontinuidades BSB - 09	43
Tabla 11 orientación de las discontinuidades BSB - 10	46
Tabla 12 Resumen de estudio del macizo rocoso de las Labor mineras BSB-09 y BSB-10...49	49
Tabla 13 Resumen de la clasificación geomecánica de los macizos rocosos de las Labores mineras BSB-09 y BSB-10	49

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
figura 1 Mapa de Ubicación de la las labores minera SBS9 y SBS10.....	18
figura 2: Rocas calizas con rumbo NW – SE, ubicadas a la izquierda de del campamento “Santillana”	19
figura 3 Areniscas con derrame basáltico al Oeste de la laguna Suytoccocha.	20
figura 4 Rocas volcánicas de la formación Chayllacatana al sur de la mina Santillana.	20
figura 5 Calizas de la formación Chúlec.....	21
figura 6 :La Labor minera BSB-09 ubicada cerca al mirador de Ayacucho.....	22
figura 7 Puntaje asociado a la resistencia a la compresión uniaxial de la roca “intacta”	23
figura 8 Imagen del metro cuadrado para hallar el RQD. Fuente: Propia (2019).....	24
figura 9 Estimación de GSI de la labor subterránea BSB - 09. Fuente. Propia (2019).....	28
figura 10 Bocamina BSB10.	32
figura 11 Puntaje asociado a la resistencia a la compresión uniaxial de la roca “intacta”	33
figura 12 Imagen de la condición de las discontinuidades del macizo rocoso. Fuente: Propia. (2019).....	36
figura 13 Plano de estabilidad Física BSB10.....	50
figura 14: Sección típica L-L BSB09, Escala 1:50	51
figura 15 Plano de estabilidad hidrológica BSB09	53
figura 16 Sección de la zanja de coronación	54
figura 17 plano de estabilidad física BSB 10.....	55
figura 18 Sección típica M-M BSB10, Escala 1:50	56
figura 19 plano de estabilidad hidrológica BSB 10.....	58
figura 20 Sección de la zanja de coronación.....	59

RESUMEN

Esta investigación tuvo por objetivo realizar el análisis para el diseño de estabilidad física e hidrológica en el sellado de las labores mineras BSB9 y BSB10, en el cierre de mina Santillana, Ayacucho. La investigación fue descriptiva, explicativa y cuantitativa; los instrumentos utilizados fueron el formato de clasificación geomecánica y la ficha de toma de datos de campo. Se evaluó los parámetros geomecánicas en base al RMR 89, RMR ajustado, GSI y Q de Barton, para los macizos rocos donde se encuentran ubicados las labores mineras BSB9 y BSB10, determinando así la calidad de roca para cada uno de ellos. Se realizó un análisis cinemático con el software Dips y se conoció los probables tipos de rotura para cada labor minera. Con la información recopilada se diseñó por medio de planos la estabilidad física considerando un tapón del tipo I, y la estabilidad hidrológica con una zanja del tipo trapezoidal, la estabilidad geoquímica con un bloqueo de aire para las chimeneas. De esta manera se aseguró la estabilidad para la etapa de cierre de minas, evitando la generación de aguas ácidas.

Palabras claves: Estabilidad, física, hidrológica, Labor mineras.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Existe un alto impacto generado por los incidentes derivados de la mala gestión de la estabilidad física e hidrológica de las instalaciones mineras, con altos índices de pérdidas económicas para las empresas, un alto nivel de efectos sobre el medio ambiente y, lo que es peor, gran capacidad de generar pérdida de vidas humanas. Por otro lado, la estabilidad física e hidrológica adquiere mayor relevancia cuando se trata de instalaciones mineras “remanentes”, que al término de la ejecución de las operaciones se mantendrán en el lugar de manera indefinida (Servicio Nacional de geología y minería de Chile, SERNAGEOMIN, 2018).

En las excavaciones subterráneas se puede producir la rotura del terreno alrededor de la excavación, a partir de inestabilidades como convergencia excesiva, derrames, hundimientos y estallidos de roca, entre otros. En muchos casos las tensiones inducidas alrededor de la excavación superan a la resistencia del macizo rocoso. Cuando los niveles de tensión son bajos, en macizos rocosos fracturados a una profundidad relativamente somera, las inestabilidades son controladas en gran medida por la estructura; la forma más típica de inestabilidad es la caída de cuñas formadas en el techo, formadas por la intersección de discontinuidades estructurales (juntas, planos de estratificación), que separan el macizo rocoso en unidades discretas. El proceso de rotura se inicia con la caída de una cuña y prosigue con otras cuñas hasta que se forme un arco estable natural en la roca que evita la caída de más rocas o hasta que el espacio libre se llena de material caído (Laboratorio Oficial J.M. Madariaga, 2015).

Dentro de los mecanismos de inestabilidad controlados por discontinuidades, los más comunes corresponden a: Deslizamiento o caída de bloques o cuñas, este mecanismo está controlado por la presencia de fallas intermedias, que en conjunto definen bloques o cuñas sensibles a desprenderse cuando se les genera cara libre; derrumbe progresivo, este mecanismo se gatilla por el alto grado de fracturamiento cuando se sobrepasa el radio hidráulico máximo de una cavidad (área/perímetro), por uso descontrolado de explosivos sin alivio en los contornos y por esfuerzos generados sobre zonas de alto fracturamiento sin sostenimiento, dentro de los mecanismos más comunes de inestabilidad controlados por el estado tensional, están las deformaciones por esfuerzos inducidos, que se producen por alteraciones del macizo rocoso, generadas por concentraciones de esfuerzos, a partir de determinadas condiciones de tensión-deformación. Otros autores como Hoek han relacionado las inestabilidades típicas y modos de rotura en función del grado de fracturamiento (GSI), tensión mayor y resistencia a compresión simple.

Lorig (2009) describe los mecanismos de inestabilidad potenciales de un túnel en roca y relaciona la razón tensión/ resistencia del macizo rocoso con su grado y tipo de fracturamiento. A partir de esta información, el Laboratorio Oficial J.M. Madariaga, 2015, realiza el siguiente análisis:

Para macizos rocosos masivos se produce un incremento del riesgo de roturas frágiles o súbitas (popping–spalling– rockburst) a medida que aumenta el nivel tensional respecto a la resistencia. Para macizos rocoso moderadamente fracturados o fragmentados, se producen 2 mecanismos: un incremento de la inestabilidad estructural (por caída de cuñas o bloques) para niveles tensionales bajos y un incremento de la fragmentación y fisuración por plastificación del macizo a niveles tensionales elevados. Para macizos

rocosos muy fracturados o tectonizados se produce un aumento de la fluencia al aumentar el nivel tensional.

Los tres principales modos o mecanismos de inestabilidad o rotura que se pueden producir en las excavaciones subterráneas son:

Inestabilidad por plastificación o fluencia en macizos rocosos de baja resistencia (comparada con el nivel tensional), la inestabilidad alrededor de una excavación se debe en su mayoría a plastificaciones. Se trata en general de un proceso dúctil, relativamente poco violento, que se traduce en una convergencia importante de la excavación o en un desmoronamiento según las condiciones del terreno (características de la roca intacta y grado de fracturación). Se forma una “zona plástica” alrededor de la excavación que, dependiendo de la razón entre la resistencia y el nivel tensional inducido, se puede estabilizar (a veces con la ayuda de un sostenimiento) o aumentar hasta lograr el colapso de la excavación. En general, este tipo de mecanismo de inestabilidad está asociado a grandes deformaciones de la excavación realizada.

Inestabilidad estructural o por discontinuidades en macizos rocosos de resistencia media-alta a bajos confinamientos, las inestabilidades se producen a favor de las discontinuidades, produciendo desprendimientos de cuñas o bloques debido a la gravedad. En macizos rocosos muy fracturados, los desprendimientos se definen por medio de planos de intersección producidos por las propias discontinuidades, fracturas inducidas o zonas de cizalle. El problema de estabilidad se conceptualiza como un cuerpo geométrico tridimensional sometido a la fuerza de gravedad y a las fuerzas dadas por la resistencia al corte a lo largo de las discontinuidades. No obstante, un cierto aumento del estado tensional con la profundidad ocasiona que aumente la tensión normal entre cuñas y bloques, que se sujeten, proporcionando así un mayor grado de estabilidad. El diseño

del sostenimiento ante este tipo de mecanismo se realiza mediante análisis de estabilidad de cuñas, o bien mediante modelización numérica en medios discontinuos.

Roturas frágiles en macizos rocosos de resistencia alta sometidos a niveles tensionales elevados se producen roturas frágiles que tienen un carácter súbito, incluso explosivo (p.ej. estallidos de roca, lajamiento súbito). Este tipo de rotura se inicia como resultado de la propagación de grietas de tracción a partir de microfisuras en la roca. Estas grietas se propagan a lo largo de la trayectoria de los esfuerzos principales mayores, fracturándose la roca.

Se entiende como “consecuencias geomecánicas” a los efectos referidos a la forma de comportamiento de un macizo rocoso frente a la activación de uno o más mecanismos de inestabilidad detonados por uno o más factores. Estas consecuencias condicionan la clasificación de la estabilidad física en una mina. Estos son: altos rangos de deformación, caída de bloques y cuñas, sobreexcavación, falla de estructura geológica relevante, daños en macizos de comportamiento frágil, asentamiento-Subsidencia-Colapso (SERNAGEOMIN, 2018).

En los altos rangos de deformación. Como deformación se entenderá al cambio de forma o configuración de un cuerpo, correspondiéndose con los desplazamientos que sufre la roca al soportar la carga. En el ámbito geotécnico, es necesario describir adecuadamente el nivel de deformaciones o desplazamientos para utilizar los conceptos de inestabilidad y fallamiento, reconociendo niveles de severidad según los siguientes conceptos básicos (González de Vallejo y Otros, 2002). Estas deformaciones son producidas por las tensiones o esfuerzos generados por la aplicación de las fuerzas en las rocas, además, la presencia de discontinuidades en los macizos rocosos hace que en la mayor parte de los casos no exista prácticamente resistencia alguna a la tracción.

Todo ello implica que, cuando se identifique mediante el análisis una zona del macizo sometida a tracción, esta zona se distenderá y las tensiones se redistribuirán en el entorno de la misma. Esta distensión podrá originar la inestabilidad puntual de la roca, que tendrá lugar como separación episódica o progresiva de unidades de roca del macizo (Ramírez y Alejano, 2004).

Las roturas complejas se caracterizan en que parte de la rotura se produce siguiendo juntas preexistentes y otra parte a través del macizo rocoso, siguiendo mecanismos de rotura y deformación bastante variados. Algunos de estos mecanismos de rotura más complejos incluyen roturas mixtas (en parte por discontinuidades y en parte por calidad del macizo), roturas complejas que pueden incluir fenómenos de vuelco producido por rotura circular en la parte alta (Hoek y Bray, 1974), roturas de varios bloques, rotura por deformación con formación de “kink-bands” (Preh y Poisei, 2004) y rotura por deslizamiento a lo largo de discontinuidades paralelas a la cara del talud con expulsión de bloques (Cavers, 1981).

La estabilidad física e hidrológica en todas las instalaciones mineras remanentes, depende de diferentes y en algunos casos complejas variables, que pueden presentarse a corto o largo plazo con posterioridad al cierre de la faena. Por lo tanto, es relevante que la gestión de la estabilidad física e hidrológica se desarrolle durante todas las etapas del ciclo de vida de una faena minera, con el propósito de prevenir, controlar o aminorar los efectos que genera la pérdida de estabilidad física, en cualquiera de las etapas de un proyecto, y fundamentalmente en las etapas de cierre y post cierre. La gestión de la estabilidad física facilita a las empresas mineras cumplir con los requerimientos legales vigentes y atender de mejor manera las inquietudes de la comunidad, junto con la generación, registro y análisis de información técnica relevante, que constituye una importante herramienta para determinar las acciones que se implementen en las diferentes etapas del ciclo de vida

del proyecto, que permitan asegurar la estabilidad física en las etapas de cierre y post cierre.

Las clasificaciones geomecánicas (RMR, GSI, Q) consisten en evaluar las propiedades de los macizos rocosos compuestos por roca intacta y sus discontinuidades. Estas clasificaciones se basan en criterios cuantificados cuya aplicación permite calificar el macizo rocoso, en base a ello ofrece una prognosis sobre el tipo de sostenimiento a emplear, la forma de organizar la excavación, o las propiedades geomecánicas de los macizos rocosos estudiados (Díaz, 2016).

Huayhua (2017), realizó un estudio de impermeabilización mediante inyección de resina líquida para la etapa de cierre de la unidad minera Shilla Paula en la ciudad de Arequipa, y para implementar dicho método, analizó el comportamiento geológico, geomecánica e hidrogeológico del macizo, todo esos estudios les permitió conocer la probabilidad del escape de agua ácida de las labores mineras, y con ello se propuso a utilizar tapones herméticos, para lo cual hicieron una excavación de la cimentación, y desquinche de las paredes laterales.

Chura (2013) para el sellado de una bocamina en mina Ishihuinca, Caravelí, Arequipa, propuso un diseño del tapón de concreto monolítico ciclopeado, de tipo de lado paralelo de 1,0 m (largo) * 2,6 (luz de galería) * 2,8 (alto) m³, con una resistencia de compresión del concreto de 25 Mpa, y esfuerzo permisible al corte de 830 Kpa, siendo el total de 8 m de longitud el tapón, el costo ascendió a S/ 1 294,70 de mano de obra en la zona de Angostura, es decir se considera un bajo costo, por las características de la mina, que fue de impacto leve, sin presencia de agua.

Gómez (2013) propone que el tapón de concreto de bocaminas en la zona de San Rafael, Puno tendrá adosado una tubería de drenaje y a la vez cumplirá la función de impedir el

ingreso de aire y en lo posible drenar la existencia de posibles filtraciones de agua. Y el diseño del tapón se ha realizado para no soportar la presión hidrostática estática. El tapón de mampostería sin drenaje se considera como un muro de gravedad y dependerá principalmente de su peso propio para asegurar su estabilidad; estará construido de piedras y mortero, y no llevarán ningún refuerzo de acero. El ancho de la base varía entre el 60 y el 70% de la altura total y el ancho de la corona debe ser por lo menos de 30 cm. Deza (2014), para el cierre de las labores mineras se han proyectó tapones ubicados en el portal de las bocaminas, que tienen como función impedir el ingreso de personas y animales y en lo posible drenar la existencia de filtraciones de agua durante la operación de la mina, otros tapones quedan ubicados alejados de las bocaminas, son los que van a soportar presiones altas ocasionadas por las columnas de agua a represar por detrás. De acuerdo con la carga que van a soportar se han diseñado dos tipos de tapones; simples con drenaje y especiales o permanentes. Los tapones simples son muros de bloques de concreto contruidos con albañilería armada asentados los bloques con mortero cemento arena. Los tapones permanentes son estructuras de concreto simple colocados en lugares escogidos de tal manera que la roca donde quedan ubicadas cumpla con las condiciones geomecánicas de resistencia a la compresión, al corte y de impermeabilidad.

Para la etapa de cierre de mina, es importante mantener el enfoque de recolección de información de campo, debido a que las actividades de cierre requerirán de datos geomecánicos, los mismos que podrán obtenerse sólo si se cuenta con una base de datos actualizada. Por ello es necesario que las técnicas de recolección de datos y la creación de bases de datos geotécnicos sean desarrolladas y mantenidas durante toda la vida del proyecto.

Por lo expuesto, es muy importante realizar esta investigación ya que beneficiará a la población en general de la provincia de Santillana y principalmente a las autoridades para

que puedan tomar cartas en el asunto y hacer el control adecuado de la etapa de cierre de minas.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el diseño de estabilidad física e hidrológica al realizar un análisis geomecánico de labores mineras subterráneas en Santillana, Ayacucho 2020?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Realizar un análisis geomecánico para el diseño de estabilidad física e hidrológica de labores mineras subterráneas en Santillana, Ayacucho 2020.

1.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar las formaciones geológicas de la zona de investigación.
- Calificar mediante el RMR, GSI y Q de Barton, los macizos rocos del entorno de las labores mineras BSB9 y BSB10.
- Elaborar un plano con el diseñar de estabilidad física de las Labor mineras BSB9 y BSB10.
- Elaborar un plano con el diseño de estabilidad hidrológica de las Labores mineras BSB9 y BSB10.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis General

Al realizar un análisis geomecánico se diseñará la estabilidad física e hidrológica de labores mineras subterráneas en Santillana, Ayacucho 2020.

CAPITULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

La investigación es aplicada ya que utiliza el conocimiento obtenido para solucionar un problema de estabilidad física e hidrológica de las Labor mineras. Por su alcance es correlacional, porque estudió la relación de influencia entre las dos variables, es decir de los relacionó el análisis geomecánico con la estabilidad de las Labor mineras

Por el enfoque la investigación es cuantitativa, ya que midió parámetros geomecánicos y proceso datos numéricos para diseñar la estabilidad de las Labor mineras

2.2. Población

Toda el área minera de Santillana, Ayacucho.

2.3. Muestra

Entorno geológico de 2 labores mineras en Santillana, BSB 09 y BSB 10. Se escogieron estas dos labores ya que se encontraban en plena evaluación para su cierre y sellado definitivo.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

La técnica viene a ser la observación directa, y análisis documental sobre información previa de la zona y trabajos similares.

Como instrumentos se utilizaron formatos de clasificación geomecánica RMR, GSI y Q de Barton, además se usó el software Dips para el análisis de rotura, ArcGIS y AutoCAD para elaboración de planos.

2.5. Procedimiento

Etapa de precampo

Se hizo una recopilación bibliográfica en bibliotecas virtuales, revistas indexadas, tesis doctorales, etc. Además, se confeccionaron los planos que nos ayuden a la ubicación y acceso a las labores mineras BSB9 y BSB10.

Etapa campo

Se procedió al reconocimiento de las formaciones geológicas, bocaminas y a las estructuras de estas.

Se realizó el análisis geomecánico de los macizos rocosos. Con el RMR, GSI y Q de Barton, determinando la calidad del macizo rocoso de las labores mineras.

Etapa de Procesamiento y Análisis de Datos

Los datos obtenidos en campo se procesaron y analizaron en diferentes softwares como son el DIPS para la interpretación del comportamiento de las discontinuidades y posible generación de roturas como cuñas. Se utilizó el Autocad Civil para la confección de planos de estabilidad física e hidrológica además de las secciones tipo para taponos y zanjas de coronación por encima de las labores mineras.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Ubicación

Tabla 1

Ubicación de la mina Santillana

DISTRITO	PROVINCIA	DEPARTAMENTO
Santillana	Huanta	Ayacucho

Las coordenadas de la concesión minera se muestran en la tabla 5.

Tabla 2

Coordenadas de las Labor mineras

SANTILLANA LABOR MINERAS			
DESMONTERA	COORDENADAS		ÁREA M2
	NORTE	ESTE	
BSB-09	8,584,601.00	503,207.00	44,581.87
BSB-10	8,584,476.00	503,586.00	156,419.91

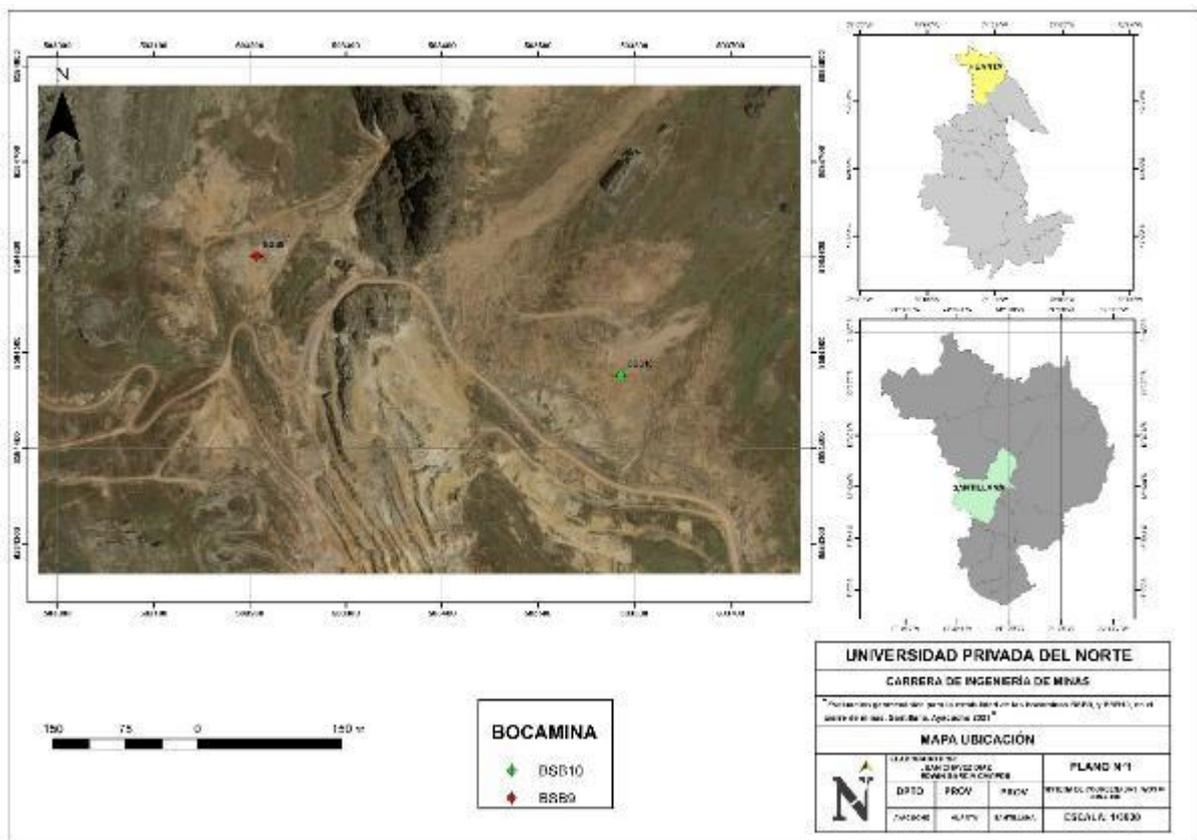


figura 1 Mapa de Ubicación de las labores minera SBS9 y SBS10

3.2. Geología de la zona Santillana

3.2.1. Geología regional

La zona de Santillana está conformada por unidades litoestratigráficas compuesta por rocas de los grupos Pucará y Goyllarisquizga y las formaciones: Chayllacatana, Chulec, Casapalca y Santa Bárbara; estas rocas se encuentran parcialmente cubiertas por diferentes depósitos del cuaternario. Las rocas ígneas ocurren en forma muy puntual como cuerpos menores en forma de diques y sills.

Grupo Pucará (JTR-p)

Está conformado por calizas indivisos consistentes en una intercalación de calizas grisáceos a gris oscuros, algunos con tonos beige, con lutitas, lutitas limolíticas e intercalación de secuencias volcánicas, que afloran con una morfología algo agreste; estas rocas yacen con estratificación de variable espesor con rumbo de NNW a SSE, plegadas; con estratos que buzanan en dirección hacia el Este.



figura 2: Rocas calizas con rumbo NW – SE, ubicadas a la izquierda de del campamento “Santillana”

Grupo Goyllarisquizga (Ki- g)

La litología corresponde a areniscas cuarzosas de grano medio a grueso, de colores gris claras a gris marrones hasta gris anaranjados con variado grado de alteración, los estratos tienen variado espesor.



figura 3 Areniscas con derrame basáltico al Oeste de la laguna Suytoccocha.

Formación Chayllacatana (Ki-cha)

Consiste en una secuencia volcánica sedimentaria de derrames basálticos de color gris verdoso, gris rojizo-olivino hasta gris violáceo, interestratificadas con areniscas amarillentas y limolitas areniscas colores rojizos hasta marrón rojizos.



figura 4 Rocas volcánicas de la formación Chayllacatana al sur de la mina Santillana.

Formación Chulec (Ki-ch)

Está constituida por lutitas calcáreas, luego grada a margas interestratificadas con horizontes de calizas de color amarillento cerca del tope de la unidad prevalece margas en estratos más gruesos e intercalación de margas calcáreas con nódulos y colores gris azulados.



figura 5 Calizas de la formación Chúlec.

Características Geológicas Labor minera BSB-09

La Labor minera BSB-09 ubicada en el sector de Santillana se encuentran excavada en una secuencia de calizas masivas (conglomerado calcáreo), que se ven en toda la matriz rocosa sobre la Labor minera. Se encuentra geológicamente en la Formación Chúlec (Ki-ch) donde ocurren las calizas conocidas como "calizas Machay" por Mc Laughlin (1925), están compuestas de calizas grises con intercalaciones de margas y lutitas arenosas. Se encuentran dispersas en diferentes sectores del área de la mina, con relieves pronunciados y muy abruptos, cubierta generalmente por depósitos cuaternarios. Estas calizas tienen una datación de 145-100 M.a (Mc KEE, E y NOBLE, D. 1982) lo que lo ubica dentro del Cretáceo Inferior.

Características Hidrogeológicas labor minera BSB09

En el sector drena principalmente por las quebradas Carnicería, Sacsamarca, Molinuyoc, Cceullacocha y sus respectivos tributarios de tercer orden. Geológicamente la labor subterránea BSB-09 presentan calizas masivas, en donde se observó un caudal de entre 0.05 – 0.1 l/s, probablemente en periodos de lluvia este caudal incrementa.

Evaluación Del RMR – Labor minera BSB09

La Labor minera BSB-09 tiene una longitud aproximada de 50 m con una orientación de E - W. Los flancos de la BSB-09 está cubiertas por depósitos cuaternarios sedimentos de constitución morrénica.



figura 6 :La Labor minera BSB-09 ubicada cerca al mirador de Ayacucho.

Resistencia De La Roca Intacta:

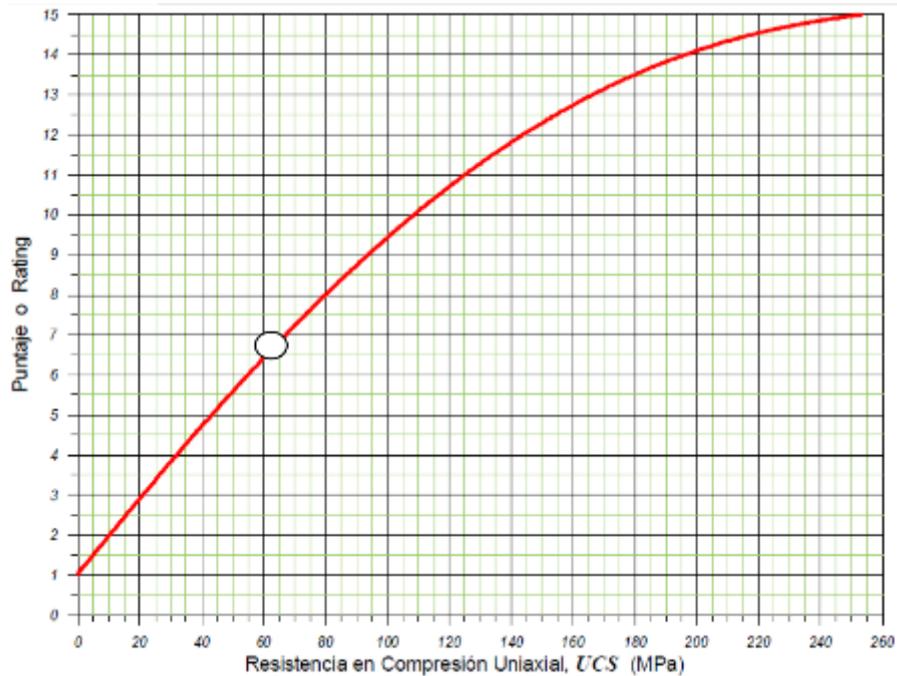


figura 7 Puntaje asociado a la resistencia a la compresión uniaxial de la roca “intacta”

Tabla 3 Puntajes asociados a la resistencia de la roca intacta.

UCS (MPa)	PLS (MPa)	Puntaje	Comentarios
< 1	En este rango no se recomienda el uso de los ensayos de carga puntual para estimar la resistencia de la roca "intacta".	0	Resistencia Muy Baja
1 a 5		1	
5 a 25		2	
25 a 50	1 a 2	4	Resistencia Baja
50 a 100	2 a 4	7	Resistencia Moderada
100 a 250	4 a 10	12	Resistencia Alta
> 250	> 10	15	Resistencia Muy Alta

Según lo obtenido la roca tiene una resistencia de entre 50 a 100 Mpa, lo que quiere decir que tiene una resistencia moderada, recibiendo un puntaje de 7.

Índice De Calidad De La Roca (RQD)

El RQD se ha estimado midiendo la cantidad de discontinuidades en 1m² del talud.



figura 8 Imagen del metro cuadrado para hallar el RQD. Fuente: Propia (2019).

Ecuación 3: Fórmula para hallar el RQD

$$RQD = 115 - 3.3(J_v)$$

$$RQD = 115 - 3.3(15)$$

$$RQD = 65.5\%$$

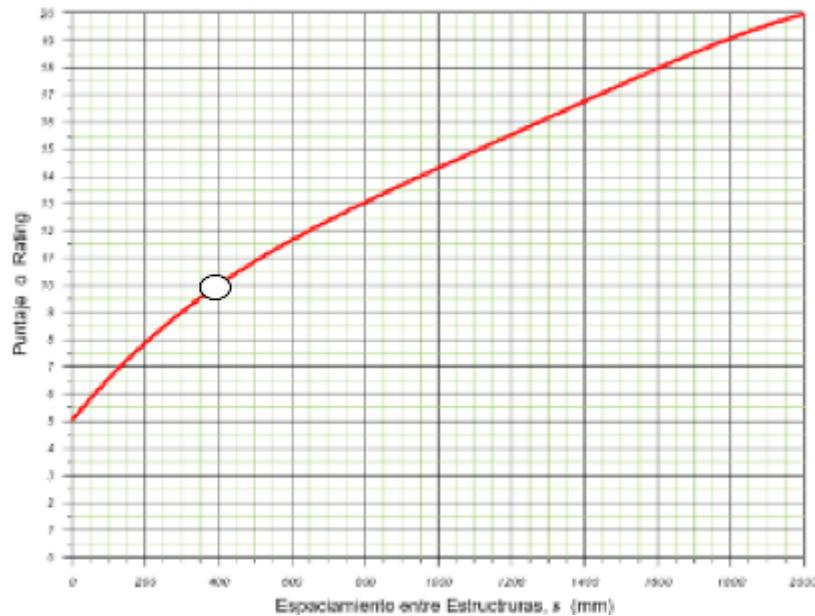
Tabla 4 Puntaje asociado al índice de calidad RQD del macizo rocoso

Calidad del Macizo	RQD (%)	Puntaje
MUY MALA Calidad Geotécnica	< 25	3
MALA Calidad Geotécnica	25 a 50	8
REGULAR Calidad Geotécnica	50 a 75	13
BUENA Calidad Geotécnica	75 a 90	17
EXCELENTE Calidad Geotécnica	90 a 100	20

Según lo obtenido con los cálculos el RQD se encuentra entre un 50 a 75 % lo que quiere decir que la calidad del macizo rocoso es de regular calidad geotécnica, recibiendo un puntaje de 13.

Espaciamiento De Las Discontinuidades

En este punto se midieron 2 sistemas de discontinuidades (denominado 1 y 2) que corresponden al estrato como estructura principal (1) y a las fracturas perpendiculares a la estratificación con orientación (2).



El rumbo y espaciamiento de las discontinuidades se resumen en el siguiente cuadro:

Tabla 5 Puntajes asociados al espaciamiento entre discontinuidades

Descripción del Espaciamiento	s (mm)	Puntaje
MUY JUNTO a EXTREMADAMENTE JUNTO	< 60	5
JUNTO	60 a 200	8
MODERADO	200 a 600	10
SEPARADO	600 a 2000	15
MUY SEPARADO	> 2000	20

La valoración del espaciamiento entre las discontinuidades es entre 200 a 600 mm los que nos un puntaje de 10 siendo estas moderadamente juntas.

Condición De Las Discontinuidades (Jc)

La condición de las estructuras se describe según lo observado en el macizo rocoso, además se puede apreciar la condición en las fotografías que acompañan a la descripción.

La persistencia de las fracturas va de 3 a 10 m, obteniendo puntuación de 2.

Las aperturas que se observan en el macizo van de 1 a 5 mm, puntuación de 1.

Las fracturas **son lisas** obteniendo una puntuación de 1.

El relleno es blando menor a 5mm obteniendo una puntuación de 1.

En cuanto a **la alteración** el macizo rocoso se consideró como moderadamente alterado, valoración 3.

CONDICIÓN DEL AGUA

El macizo rocoso se presenta húmedo, por lo tanto, su valoración es de 7, según la clasificación propuesta por Deere en 1964.

Tabla 6 Valoración del RMR al sumar los puntajes obtenidos.

Valoración del macizo rocoso RMR	
Resistencia de la roca intacta	7
RQD	13
Espaciamiento de las discontinuidades	10
Longitud de las discontinuidades	2
Apertura	1
Rugosidad	1
Relleno	1
Meteorización	3
Condición de agua	7
TOTAL (RMR)	45

La valoración total del macizo rocoso es de 45, Este valor corresponde con un macizo rocoso de categoría III, es decir de calidad Regular

Orientación De Las Discontinuidades

En el caso de Túneles al RMR se le resta 2, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 7 Ajuste de la valoración por orientación de discontinuidades

Condición por orientación de las discontinuidades	Ajuste en la valoración	RMR básico	RMR ajustado
Medianamente desfavorable	-2	45	43

De esta manera el RMR, caracterizaría un macizo rocoso de clase III, considerado un macizo de calidad Regular.

El RMR por otra parte permite la obtención de la cohesión y ángulo de fricción, parámetros resistentes del criterio de Mohr-Coulomb. En las siguientes ecuaciones se muestran las relaciones entre RMR y los parámetros resistentes. **Pérez, (2012)**.

Ecuación 3: *Cohesión.*

$$c=5RMR(KPa)$$

$$c=5*43 (KPa)$$

$$c=215 KPa$$

Ecuación 4: *Ángulo de fricción.*

$$\phi=5+RMR2(^{\circ})$$

$$\phi=5+432(^{\circ})$$

$$\phi=26.5^{\circ}$$

Evaluación GSI (Geological Strength Index):

Se puede obtener también con la fórmula:

Ecuación 5: GSI

$$GSI = RMR - 5$$

$$GSI = 43 - 5 \quad GSI = 38$$

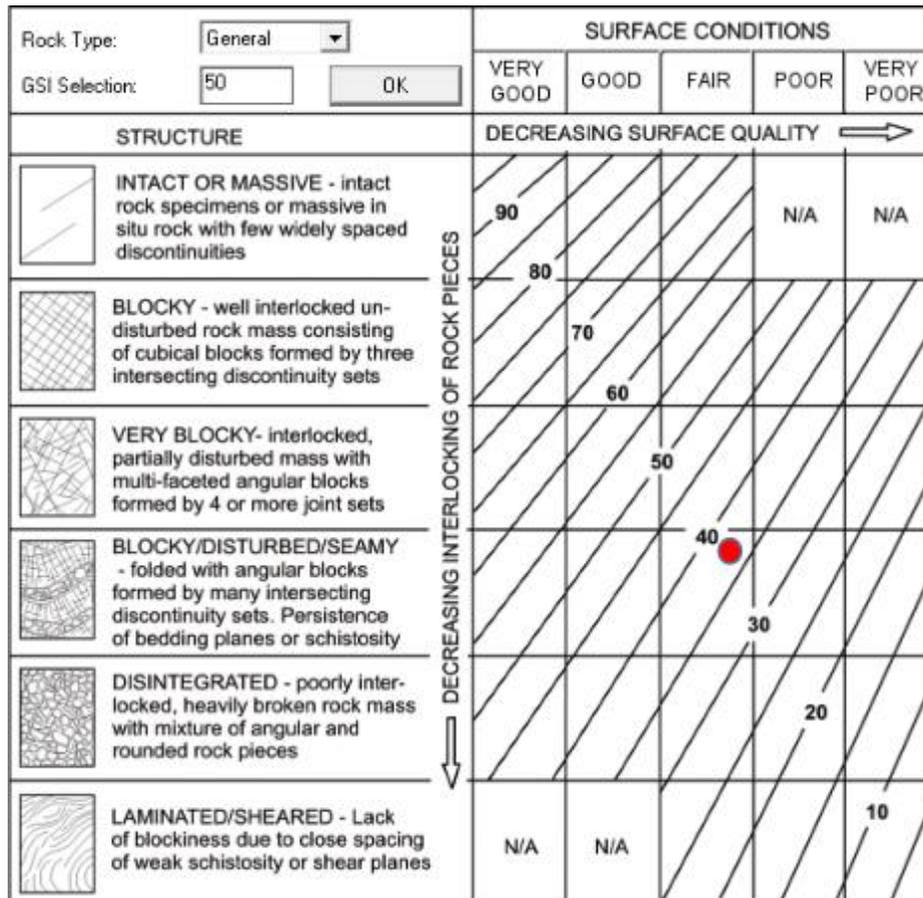


figura 9 Estimación de GSI de la labor subterránea BSB - 09. Fuente. Propia (2019).

El macizo rocoso de la BSB - 09 tiene un valor aproximado de 38 de GSI. Lo que quiere decir que tenemos una roca fractura o perturbada ya que el macizo rocoso está plegado, formado por bloques angulares que se han conformado por la intersección de varias discontinuidades. Dando como resultado una condición de superficie regular a mala siendo esta lisa, meteorizada y alterada.

Q de Barton:

Valor Jn

NUMERO DE DISCONTINUIDADES	
descripción	J n
Masiva o con muy poca discontinuidad	0.5 - 1.0
Un sistema de discontinuidad	2
Un sistema de principal y uno secundario	3
Dos sistemas de discontinuidad	4
Dos sistemas principales y uno secundario	6
Tres sistemas de discontinuidades	9
Tres sistemas principales y uno secundario	12
Cuatro sistemas de discontinuidades o mas (roca muy fracturada)	15
Roca triturada (Terrosa)	20

Valor del coeficiente Jr

FACTOR DE RUGOSIDAD DE LAS DISCONTINUIDADES	
DESCRIPCION	Jr
A Diaclasas discontinuas	4
B Rugosas e irregulares, onduladas	3
C Lisas, Onduladas	2
D Lustrosas Ondulantes	1.5
E Rugosas o irregulares, planares	1.5
F Lisas, Planares	1
G Lustrosas, Planares	0.5
H Zona conteniendo arcillas en cantidad suficiente como para impedir el contacto entre las superficies que limitan la fractura	1
J Zona de material arenoso en cantidad suficiente como para impedir el contacto entre las superficies que limitan la fractura	1

Valor Coeficiente Ja

FACTOR DE ALTERACION DE LAS DISCONTINUIDADES	
DESCRIPCION	Ja
a) Contacto entre superficies de la discontinuidad (sin relleno de mineral, solo recubrimientos)	
A Ajustadas, rellenas con material compacto	0.75
B Superficies inalteradas, ligeras manchas de oxidación	1
C Superficies ligeramente alteradas, cubiertas con material granular no arcilloso, producto de la desintegración de la roca.	2
D Capas superficiales de material limoso o arcilloso arenoso, con una pequeña fracción cohesiva.	3
E Capas superficiales de arcilla (caolinita, mica cloritas, etc.) cantidades pequeñas de arcilla expansiva en capas de 1- 2 mm de espesor	4

FACTOR DE REDUCCION POR CONTENIDO DE AGUA EN FRACTURAS	
DESCRIPCION	Jw
A Secas o flujos bajos (5 l/min)	1
B Flujos a presiones medias que ocasionen erosión del material de relleno	0.66
C Flujos o presiones altas en roca competente con diaclasas sin relleno	0.5
D Flujos a presiones altas con erosión considerable del material de relleno	0.33
E Flujos o presiones excepcionalmente altas luego de la voladura disminuyendo con el tiempo	0.2 - 0.1
F Flujos o presiones excepcionalmente altas sin que ocurra una disminución en el tiempo	0.1 - 0.05

Coeficiente SRF

FACTOR DE REDUCCION POR TENSIONES	
DESCRIPCION	SRF
A) Las zonas débiles intersectan a la excavación, pudiendo producirse desprendimientos de rocas a medida que la excavación del túnel va avanzando.	
A Muchas zonas débiles de arcilla con evidencias de desintegración química roca circundante muy suelta cualquier profundidad	10
B Zona débil aislada con arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad menor 50m)	5
C Zona débil aislada con arcilla o roca desintegrada, profundidad mayor 50m.	2.5
D Muchas zonas de falla en roca competente, roca circundante suelta. (cualquier profundidad)	7.5
E Zona de falla aislada en roca competente profundidad menor a 50 m.	5
F Zona de falla aislada en roca competente profundidad mayor a 50 m.	2.5
G Juntas abiertas y sueltas roca intensamente fracturada, en terrones, cualquier prof.	5

$$Q=(RQD/Jn)*(Jr/Ja)*(Jw/SRF)$$

$$Q=(65.5/6)*(1.5/1)*(1/2.5) \quad Q=6.55$$

El Q de Barton nos da como resultado 6.55, el cual se encuentra dentro de la escala logarítmica que varía de 4 a 10, siendo esta una roca de calidad media.

La Labor minera BSB-09 tiene como litología caliza (conglomerado calcáreo).

La calidad del macizo rocoso es de 43, correspondiendo con un macizo rocoso de categoría III, es decir de calidad Regular. No se propone ningún tipo de sostenimiento puesto que la Labor minera se encuentra cerrada y geotécnicamente tiene una estabilidad regular.

RMR (1989)	RMR AJUSTADO	Q DE BARTON (1993)	GSI (1974)	COHESIÓN	ÁNGULO DE FRICCIÓN
45	43	6.55	38	215 Kpa	26,5 deg

Características Geológicas Labor Minera BSB-10

Según el plano geológico la Labor minera BSB-10 está ubicada en el sector de Santillana y se encuentra dentro de la formación Tantará. Esta formación corresponde a una secuencia volcánica, que consiste en una secuencia de lavas y brechas gris verdosas estratificada y con buzamientos de 40° a 70° al SO. Muestra estructuras aparentemente estratificadas con superficies meteorizadas de color negro grisáceo a gris blanquecino y a veces amarillento rojizo, en estratos medianos a gruesos. En campo la BSB-10 está constituida por areniscas limoníticas, en gran parte están cubiertas por depósitos morrénicos. Tienen una datación de 66-33 M.a. (Mc KEE, E y NOBLE, D. 1982) lo que lo ubica dentro del Paleoceno. Cabe resaltar que estas rocas se encuentran en un grado de fracturamiento y de alteración avanzado.

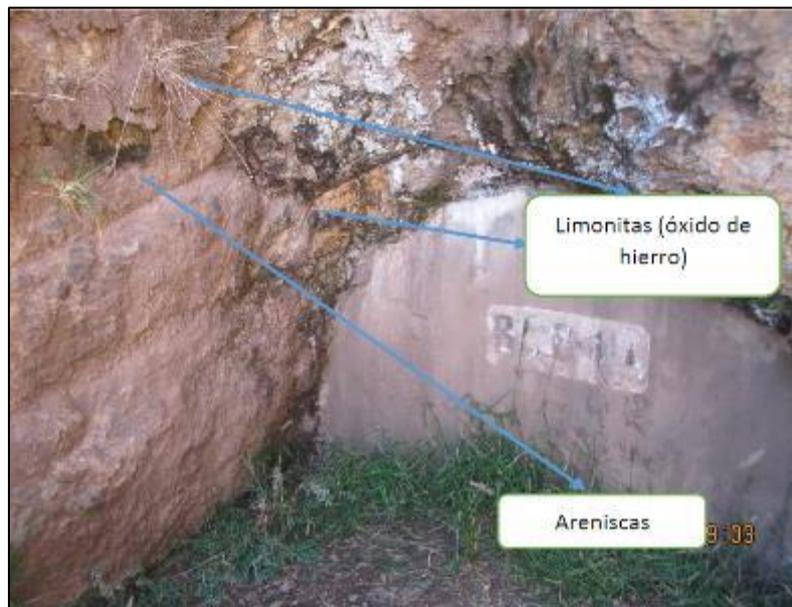


figura 10 Bocamina BSB10.

Cabe resaltar que la Labor minera BSB-10 se encuentra cerrada y por esa razón no se puede comprobar el sostenimiento; pero según los antecedentes de los estudios realizados por CESEL Ingenieros nos dicen que la BSB-10 cuenta con un sostenimiento en la entrada de la Labor minera siendo este de cuadros de madera, probablemente ya algo desgastados por el transcurrir del tiempo.

Características Hidrogeológicas

El sector de Santillana drena principalmente por las quebradas Carnicería, Sacsamarca, Molinuyoc, Cceullacocha y sus respectivos tributarios de tercer orden. Geológicamente la BSB-10 presentan areniscas, en donde la evaluación geológica se observó un caudal de entre 0.05 – 0.1 l/s, probablemente en periodos de lluvia este caudal incrementa.

Evaluación RMR 89

Resistencia De La Roca Intacta:

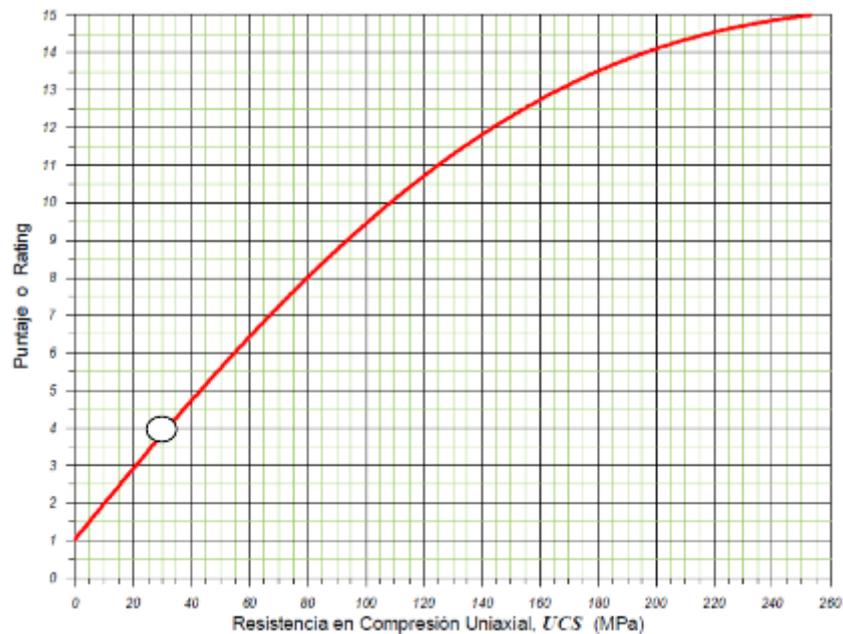


figura 11 Puntaje asociado a la resistencia a la compresión uniaxial de la roca “intacta”

UCS (MPa)	PLS (MPa)	Puntaje	Comentarios
< 1	En este rango no se recomienda el uso de los ensayos de carga puntual para estimar la resistencia de la roca "intacta".	0	Resistencia Muy Baja
1 a 5		1	
5 a 25		2	
25 a 50	1 a 2	4	Resistencia Baja
50 a 100	2 a 4	7	Resistencia Moderada
100 a 250	4 a 10	12	Resistencia Alta
> 250	> 10	15	Resistencia Muy Alta

Según lo obtenido la roca tiene una resistencia de entre 25 a 50 % lo que quiere decir que tiene una resistencia baja, recibiendo un puntaje de 4.

Índice De Calidad De La Roca (RQD):

El RQD se ha estimado midiendo la cantidad de discontinuidades en 1m² del talud.



$$RQD = 115 - 3.3(J_v)$$

$$RQD = 115 - 3.3(25)$$

$$RQD = 32.5\%$$

Calidad del Macizo	RQD (%)	Puntaje
MUY MALA Calidad Geotécnica	< 25	3
MALA Calidad Geotécnica	25 a 50	8
REGULAR Calidad Geotécnica	50 a 75	13
BUENA Calidad Geotécnica	75 a 90	17
EXCELENTE Calidad Geotécnica	90 a 100	20

Según lo obtenido con los cálculos el RQD se encuentra entre un 25 a 50 % lo que quiere decir que la calidad del macizo rocoso es de mala calidad geotécnica, recibiendo un puntaje de 8.

Espaciamiento de las Discontinuidades

En este punto se midieron 4 sistemas de discontinuidades (denominado 1, 2 y 3) que corresponden a los estratos como estructuras principales (1 y 3) y a las fracturas perpendiculares a la estratificación con orientación (2).

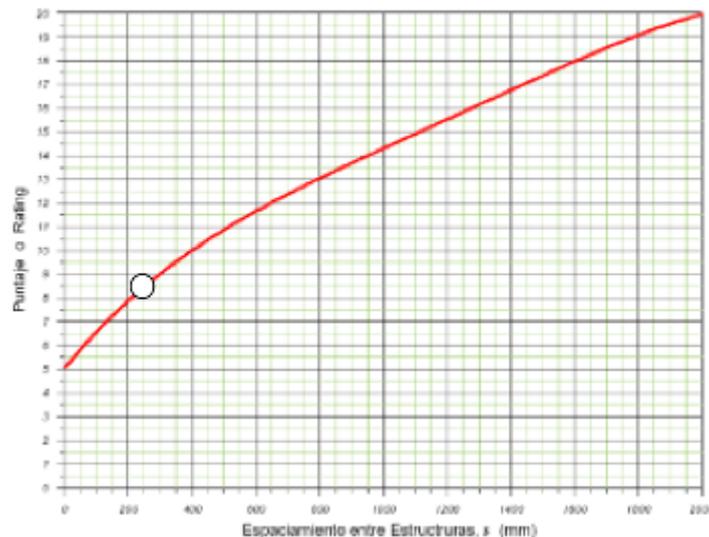


Tabla 8 Sistema de discontinuidades

Sistema	Azimuth	Dip	Dip Direction	Espaciamiento de Discontinuidades (mm)
1	S 2° E	23° SW	92°	200 600
2	S 39° E	74° SW	129°	200 600
3	S 45° W	56° SE	135°	60 200

Descripción del Espaciamiento	s (mm)	Puntaje
MUY JUNTO a EXTREMADAMENTE JUNTO	< 60	5
JUNTO	60 a 200	8
MODERADO	200 a 600	10
SEPARADO	600 a 2000	15
MUY SEPARADO	> 2000	20

La valoración del espaciamiento entre las discontinuidades es entre 200 a 600 mm los que nos un puntaje de 10 siendo estas moderadamente juntas.

Condición de las Discontinuidades (JC)

La condición de las estructuras se describe según lo observado en el macizo rocoso, además se puede apreciar la condición en las fotografías que acompañan a la descripción.

La persistencia de las fracturas va de 3 a 10 m, obteniendo puntuación de 2.

Las aperturas que se observan en el macizo son de 1-5 mm, siendo éstas abiertas obteniendo una puntuación de 1.

Las fracturas **son ligeramente rugosas** obteniendo una puntuación de 3.

El relleno es duro mayor a 5mm obteniendo una puntuación de 2.

En cuanto a **la alteración** el macizo rocoso se consideró altamente meteorizada, valoración 1.

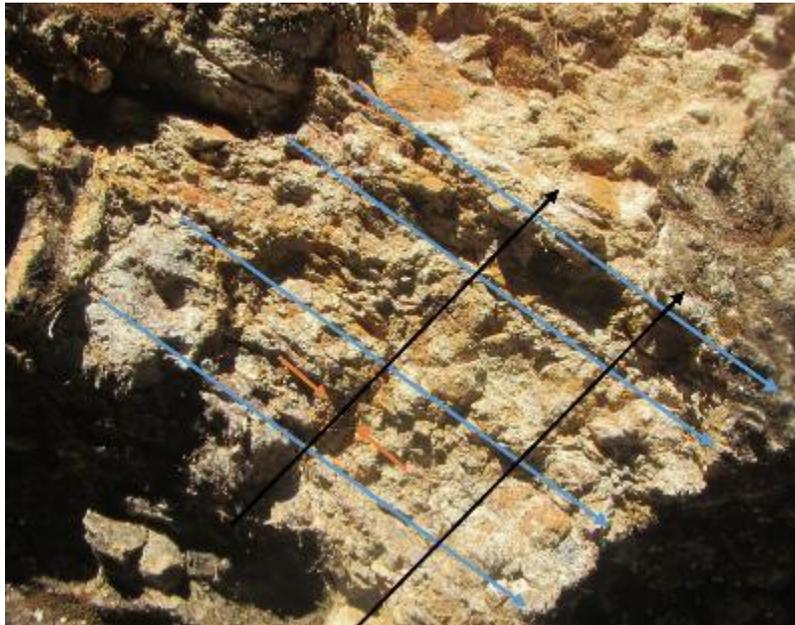


figura 12 Imagen de la condición de las discontinuidades del macizo rocoso. Fuente: Propia. (2019).

Condición Del Agua

El macizo rocoso se presenta húmedo, por lo tanto, su valoración es de 7, según la clasificación propuesta por Deere en 1964.

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO, RMR

Tabla 8: Valoración del RMR al sumar los puntajes obtenidos

Valoración del macizo rocoso RMR	
Resistencia de la roca intacta	4
RQD	8
Espaciamiento de las discontinuidades	10
Longitud de las discontinuidades	2
Apertura	1
Rugosidad	3
Relleno	2
Meteorización	1
Condición de agua	7
TOTAL (RMR)	38

La valoración total del macizo rocoso es de 38, este valor corresponde con un macizo rocoso de categoría IV, es decir de **Calidad MALA**.

Orientación de las Discontinuidades

En el caso de Túneles al RMR se le resta 2, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 9 Ajuste de la valoración por orientación de las fisuras.

Condición por orientación de las discontinuidades	Ajuste en la valoración	RMR básico	RMR ajustado
Medianamente desfavorable	-2	38	36

De esta manera el RMR, caracterizaría un macizo rocoso de **Clase IV**, considerado un macizo de **Calidad Mala**.

El RMR por otra parte permite la obtención de la cohesión y ángulo de fricción, parámetros resistentes del criterio de Mohr-Coulomb. En las siguientes ecuaciones se muestran las relaciones entre RMR y los parámetros resistentes. **Pérez, (2012)**.

Ecuación 3: *Cohesión*. $c=5RMR(KPa)$

$$c=5*36 (KPa)$$

$$c=180 KPa$$

Ecuación 4: *Ángulo de fricción*.

$$\phi=5+RMR2(deg)$$

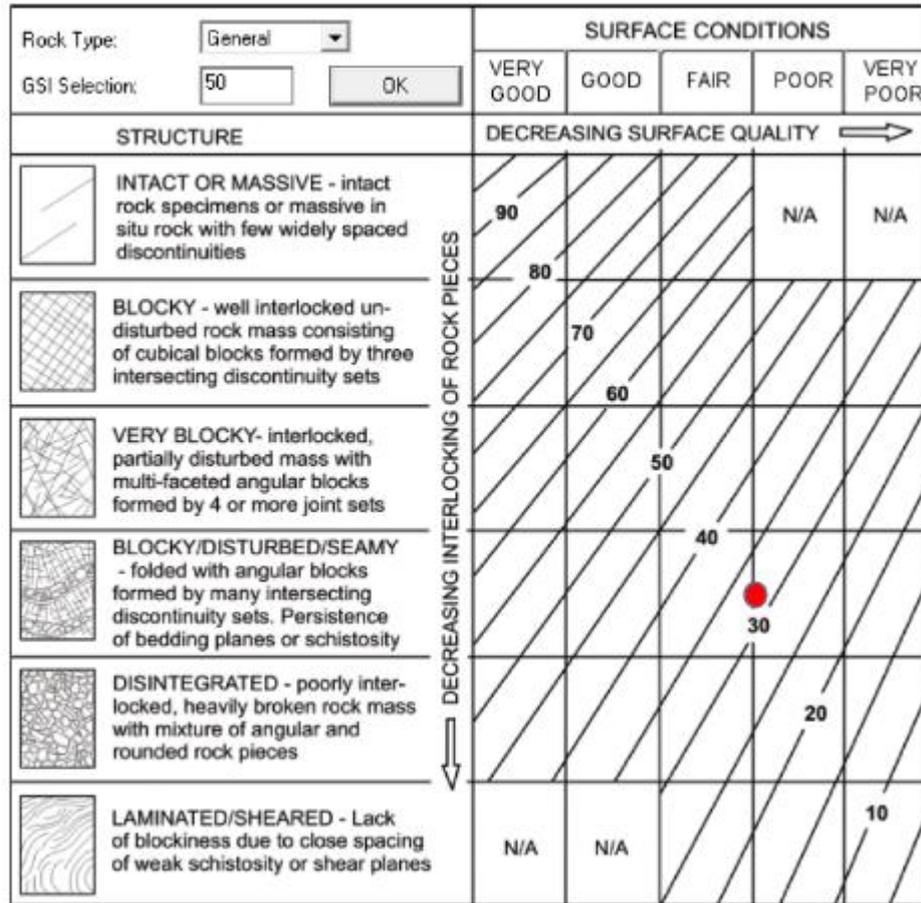
$$\phi=5+362(deg)$$

$$\phi=23 (deg)$$

Una cohesión de 180 Kpa y un ángulo de fricción 23°

Evaluación GSI (Geological Strength Index):

Ecuación 5: $GSI = 36 - 5 \cdot GSI = 31$



El macizo rocoso de la BSB-10 tiene un valor aproximado de 31 de GSI. Lo que quiere decir que tenemos una roca muy fractura o perturbada ya que el macizo rocoso está plegado, formado por bloques angulares que se han conformado por la intersección de varias discontinuidades. Dando como resultado una condición de superficie mala siendo esta lisa, meteorizada y alterada.

Q de Barton:

Valor J_n

NUMERO DE DISCONTINUIDADES	
descripción	J_n
Masiva o con muy poca discontinuidad	0.5 - 1.0
Un sistema de discontinuidad	2
Un sistema de principal y uno secundario	3
Dos sistemas de discontinuidad	4
Dos sistemas principales y uno secundario	6
Tres sistemas de discontinuidades	9
Tres sistemas principales y uno secundario	12
Cuatro sistemas de discontinuidades o mas (roca muy fracturada)	15
Roca triturada (Terrosa)	20

Valor del coeficiente J_r

FACTOR DE RUGOSIDAD DE LAS DISCONTINUIDADES	
DESCRIPCION	J_r
A Diaclasas discontinuas	4
B Rugosas e irregulares, onduladas	3
C Lisas, Onduladas	2
D Lustrosas Ondulantes	1.5
E Rugosas o irregulares, planares	1.5
F Lisas, Planares	1
G Lustrosas, Planares	0.5
H Zona conteniendo arcillas en cantidad suficiente como para impedir el contacto entre las superficies que limitan la fractura	1
J Zona de material arenoso en cantidad suficiente como para impedir el contacto entre las superficies que limitan la fractura	1

Valor Coeficiente Ja

FACTOR DE ALTERACION DE LAS DISCONTINUIDADES	
DESCRIPCION	Ja
a) Contacto entre superficies de la discontinuidad (sin relleno de mineral, solo recubrimientos)	
A Ajustadas, rellenas con material compacto	0.75
B Superficies inalteradas, ligeras manchas de oxidación	1
C Superficies ligeramente alteradas, cubiertas con material granular no arcilloso, producto de la desintegración de la roca.	2
D Capas superficiales de material limoso o arcilloso arenoso, con una pequeña fracción cohesiva.	3
E Capas superficiales de arcilla (caolinita, mica cloritas, etc.) cantidades pequeñas de arcilla expansiva en capas de 1- 2 mm de espesor	4

FACTOR DE REDUCCION POR CONTENIDO DE AGUA EN FRACTURAS	
DESCRIPCION	Jw
A Secas o flujos bajos (5 l/min)	1
B Flujos a presiones medias que ocasionen erosión del material de relleno	0.66
C Flujos o presiones altas en roca competente con diaclasas sin relleno	0.5
D Flujos a presiones altas con erosión considerable del material de relleno	0.33
E Flujos o presiones excepcionalmente altas luego de la voladura disminuyendo con el tiempo	0.2 - 0.1
F Flujos o presiones excepcionalmente altas sin que ocurra una disminución en el tiempo	0.1 - 0.05

Coeficiente SRF

FACTOR DE REDUCCION POR TENSIONES	
DESCRIPCION	SRF
A) Las zonas débiles intersectan a la excavación, pudiendo producirse desprendimientos de rocas a medida que la excavación del túnel va avanzando.	
A Muchas zonas débiles de arcilla con evidencias de desintegración química roca circundante muy suelta cualquier profundidad	10
B Zona débil aislada con arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad menor 50m)	5
C Zona débil aislada con arcilla o roca desintegrada, profundidad mayor 50m.	2.5
D Muchas zonas de falla en roca competente, roca circundante suelta. (cualquier profundidad)	7.5
E Zona de falla aislada en roca competente profundidad menor a 50 m.	5
F Zona de falla aislada en roca competente profundidad mayor a 50 m.	2.5
G Juntas abiertas y sueltas roca intensamente fracturada, en terrones, cualquier prof.	5

$$Q=(RQD/Jn)*(Jr/Ja)*(Jw/SRF)$$

$$Q=(32.5/6)*(3/3)*(1/5) \quad Q=1.08$$

El Q de Barton nos da como resultado 1.08, el cual se encuentra dentro de la escala logarítmica que varía de 1 a 4, siendo esta una roca de calidad mala.

La calidad del macizo rocoso es de 36, correspondiendo con un macizo rocoso de categoría IV, es decir de calidad Mala. La Labor minera BSB-10 La estabilidad física obtenida gracias a la evaluación geomecánica es de regular mala, se recomendaría usar el ángulo de fricción y cohesión obtenidos en el presente informe para mejorar la calidad de la estabilidad, en el caso se desee mejorar los taludes sobre la Labor minera.

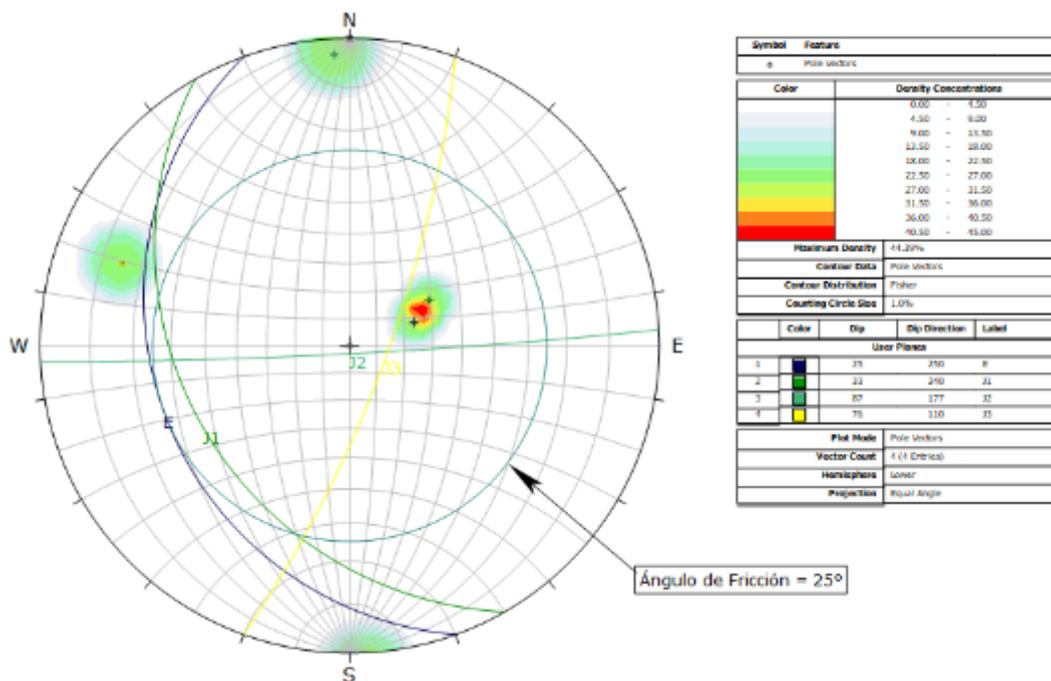
RMR (1989)	RMR AJUSTADO	Q DE BARTON (1993)	GSI (1974)	COHESIÓN	ÁNGULO DE FRICCIÓN
38	36	1.08	38	180 Kpa	23 deg

Análisis Cinemático BSB – 09

Tabla 10 orientación de las discontinuidades BSB - 09

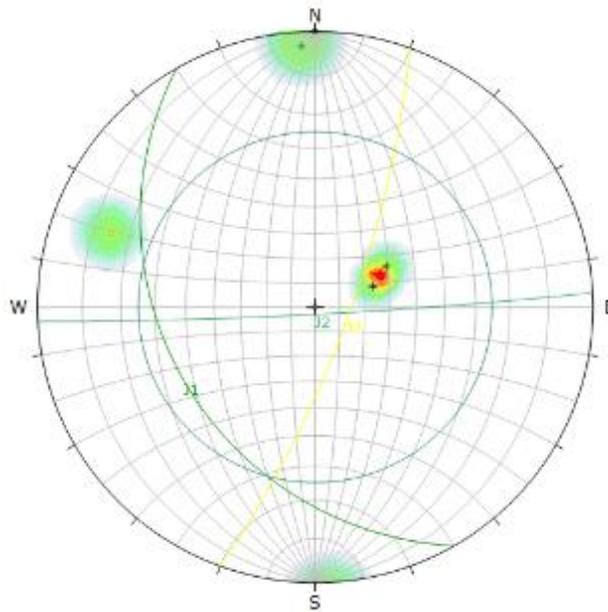
Sistema	Rumbo	Dip	Dip Direction
1	S 22° E	25° SW	250°
2	S 10° W	33° NW	240°
3	N 75° W	87° NE	177°
4	N 19° E	76° SE	110°

A partir de los datos presentados en las tablas anteriores se pudo graficar sus planos estereográficos con el software Dips 6.0, dando el siguiente resultado:

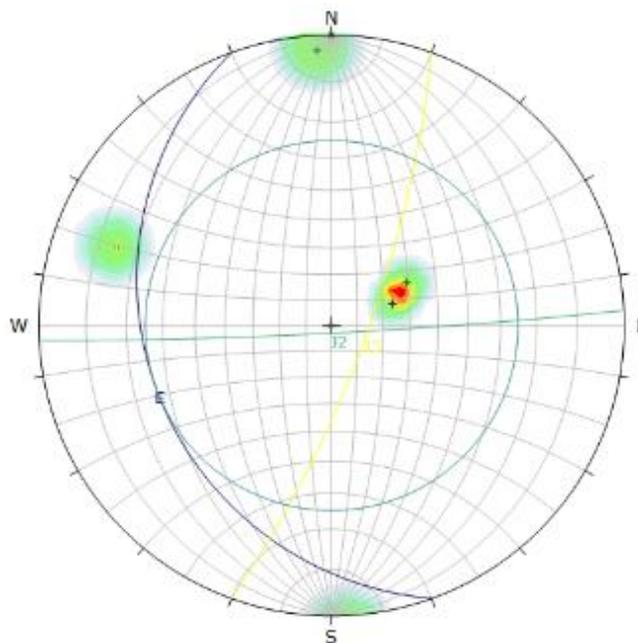

Vista general de las diferentes familias

Para la formación de una cuña es necesario que tres planos de discontinuidades de intercepten entre ella. Dando así una cuña tetrahedral. Por otro lado, la probabilidad de falla depende mucha del ángulo de fricción de la roca, por lo cual es necesario representarla en el plano estereográfico.

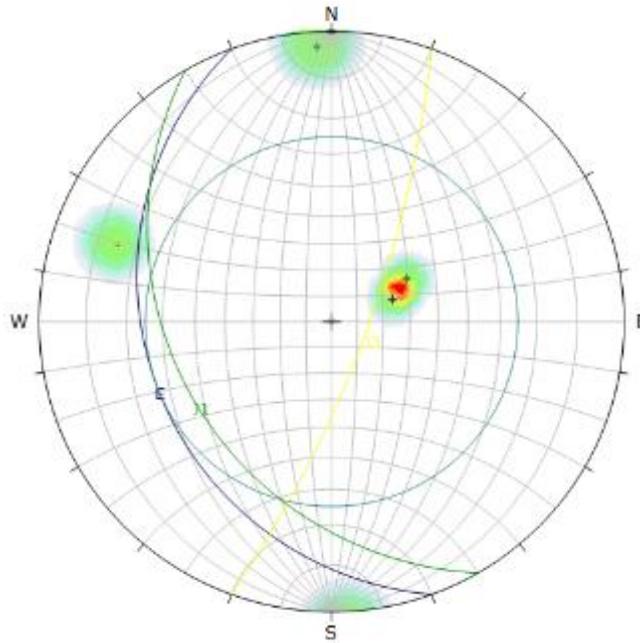
Se forma una cuña muy probable de caer con respecto a las familias 1,2 y 3. Gran parte del área de la cuña sobrepone el cono de fricción, esto puede significar una gran probabilidad de caída de cuña por deslizamiento. Se la puede visualizar en la figura



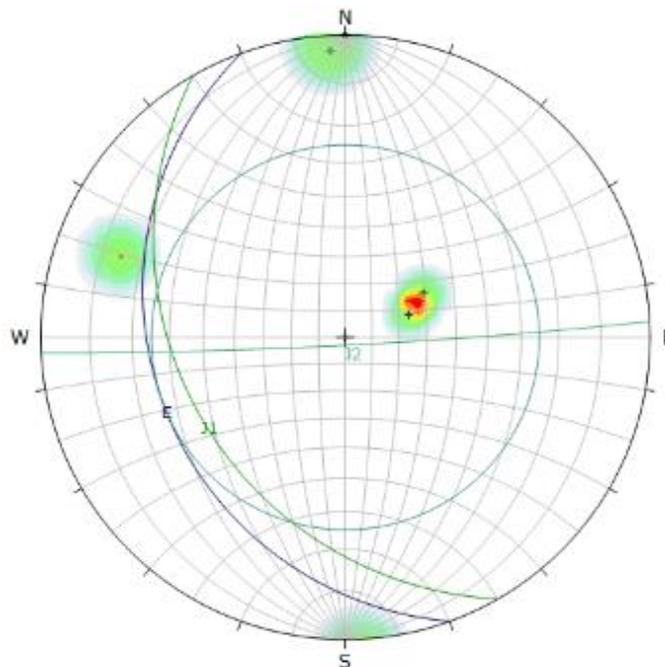
Se forma una cuña muy probable de caer con respecto a las familias 1,2 y E (estratificación). Gran parte del área de la cuña sobrepone el cono de fricción, esto puede significar una gran probabilidad de caída de la cuña.



Se forma una cuña con posible caída por deslizamiento con respecto a las familias de juntas 1, 3 y E (estratificación).



Esta cuña de menor posibilidad de caer ya que parte de su área de intersección entre las familias está fuera del cono de fricción, respecto a las familias de juntas 1, 2 y E (estratificación).

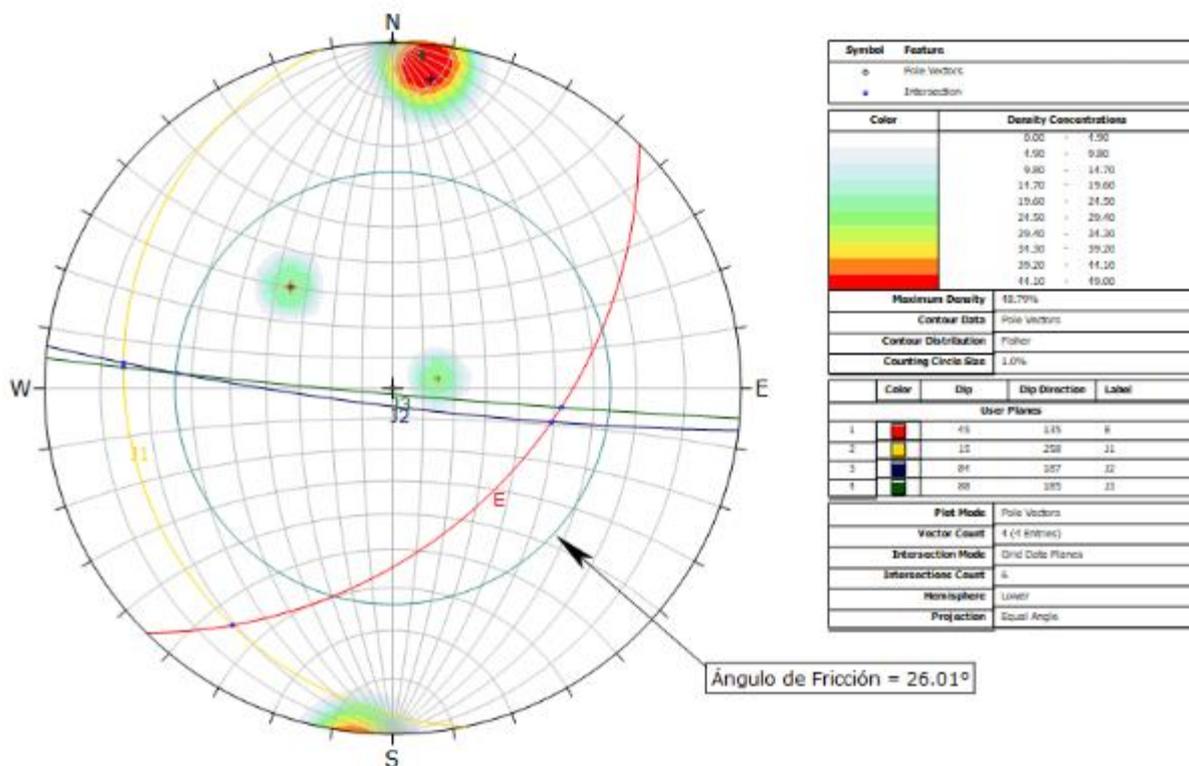


Análisis Cinemático BSB – 10

Tabla 11 orientación de las discontinuidades BSB - 10

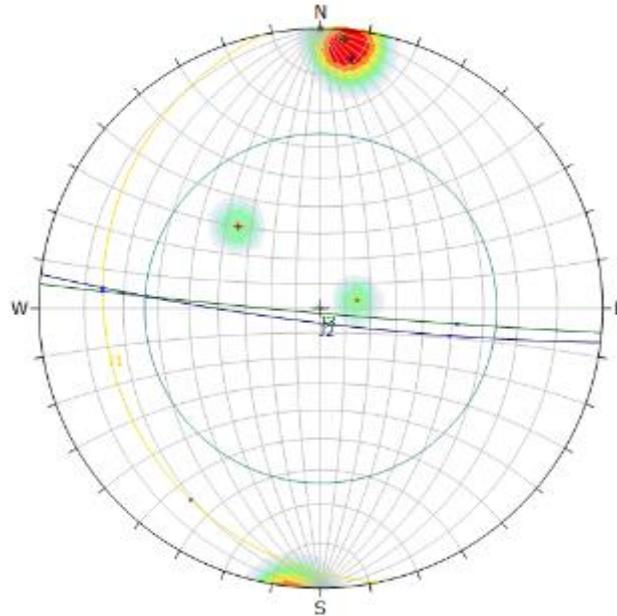
Sistema	Rumbo	Dip	Dip Direction
1	N 80° E	45° SE	135°
2	S 70° W	15° NW	258°
3	S 4° W	84° NW	187°
4	S 77° E	88° SW	185°

A partir de los datos presentados en las tablas anteriores se pudo graficar sus planos estereográficos con el software Dips 6.0, dando el siguiente resultado:

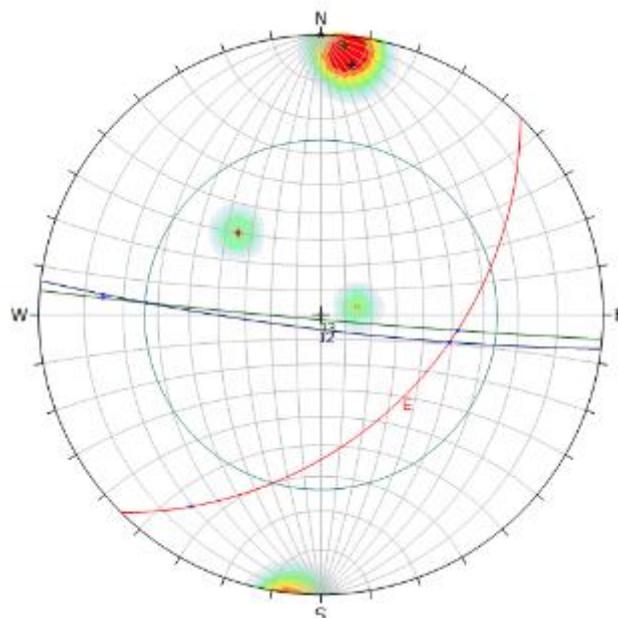


Vista general de las diferentes familias

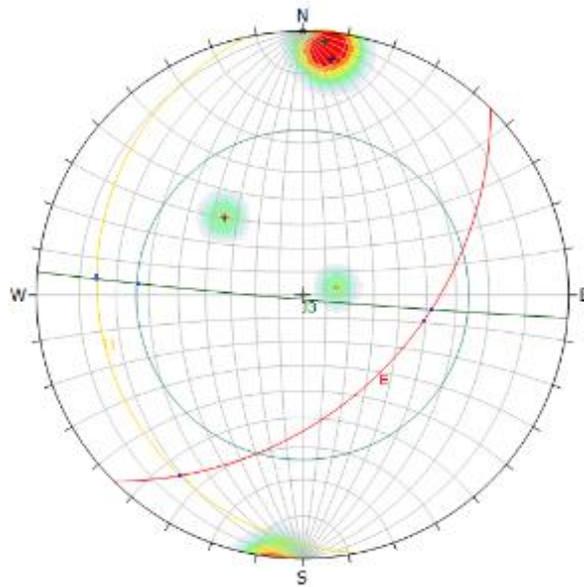
Se forma una cuña con posibilidad de caída demasiado baja ya que la mayor parte de la intersección de las familias J1, J2, J3; se encuentran fuera del cono de fricción.



Se forma una cuña muy probable de caer por deslizamiento con respecto a las familias J2, J3 y E (estratificación). Gran parte del área de la cuña sobrepone el cono de fricción, esto puede significar una gran probabilidad de caída de la cuña.



Se forma una cuña muy probable de caer con respecto a las familias J1, J3 y E (estratificación).
Gran parte del área de la cuña sobrepone el cono de fricción, esto puede significar una gran probabilidad de caída de la cuña.



Se forma una cuña muy probable de caer con respecto a las familias J1, J2 y E (estratificación).
Gran parte del área de la cuña sobrepone el cono de fricción, esto puede significar una gran probabilidad de caída de la cuña.

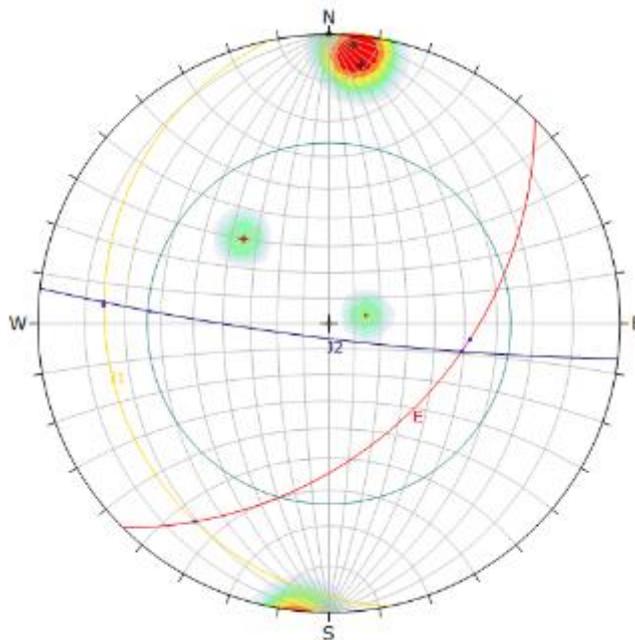


Tabla 12 Resumen de estudio del macizo rocoso de las Labor mineras BSB-09 y BSB-10

SANTILLANA LABOR MINERAS							
LABOR MINERA	TIPO ROCA	DIMENSIONES		COORDENADAS UTM		ALTITUD	RMR
		ALTURA	ANCHO	NORTE	ESTE		
BSB-09	CALIZAS MASIVAS	1,40	1,50	8,584,822.44	502,743.86	4,227	45
BSB-10	ARENISCAS	2,50	2,00	8,584,488.72	502,742.63	4,237	38

Tabla 13 Resumen de la clasificación geomecánica de los macizos rocosos de las Labores mineras BSB-09 y BSB-10

COMPONENTE	RMR (1989)	RMR AJUSTADO	Q DE BARTON (1993)	GSI (1974)	COHESIÓN	ÁNGULO DE FRICCIÓN
BSB – 09	45	43	2,2	35	200 Kpa	25 deg
BSB – 10	38	36	3.05	38	215 Kpa	26,1 deg

La calidad de las rocas encontradas en las Labor mineras evaluadas son de clase III y IV respectivamente, es decir de la BSB – 09 es de mala calidad y la BSB – 10 de regular calidad geotécnica.

Estabilidad Física BSB-09

Para lograr la estabilidad física en esta Labor minera BSB-09, se realizará la construcción de un tapón tipo I, el cual está considerado para las Labor mineras que presentan acceso y drenaje,

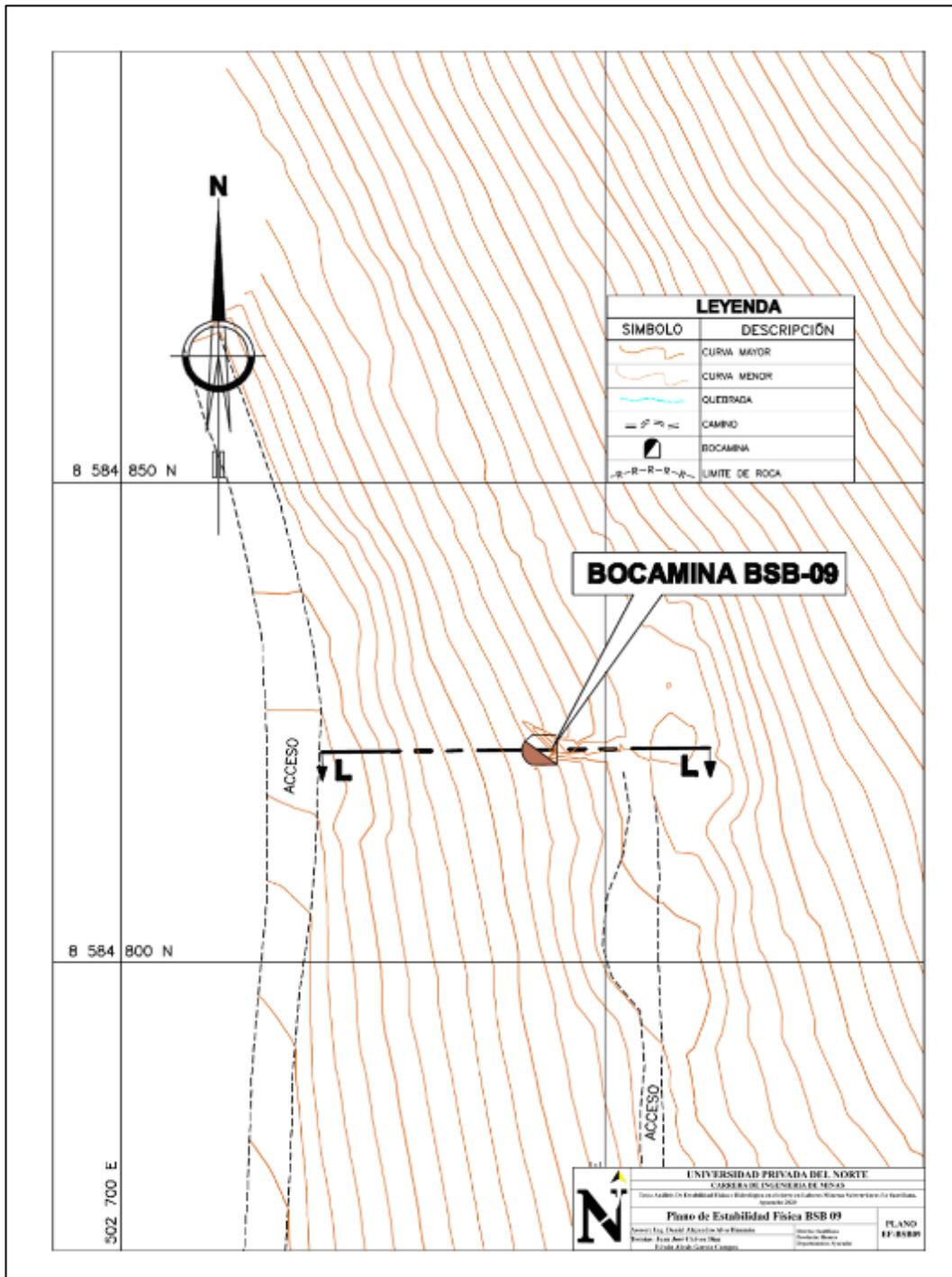


figura 13 Plano de estabilidad Física BSB10

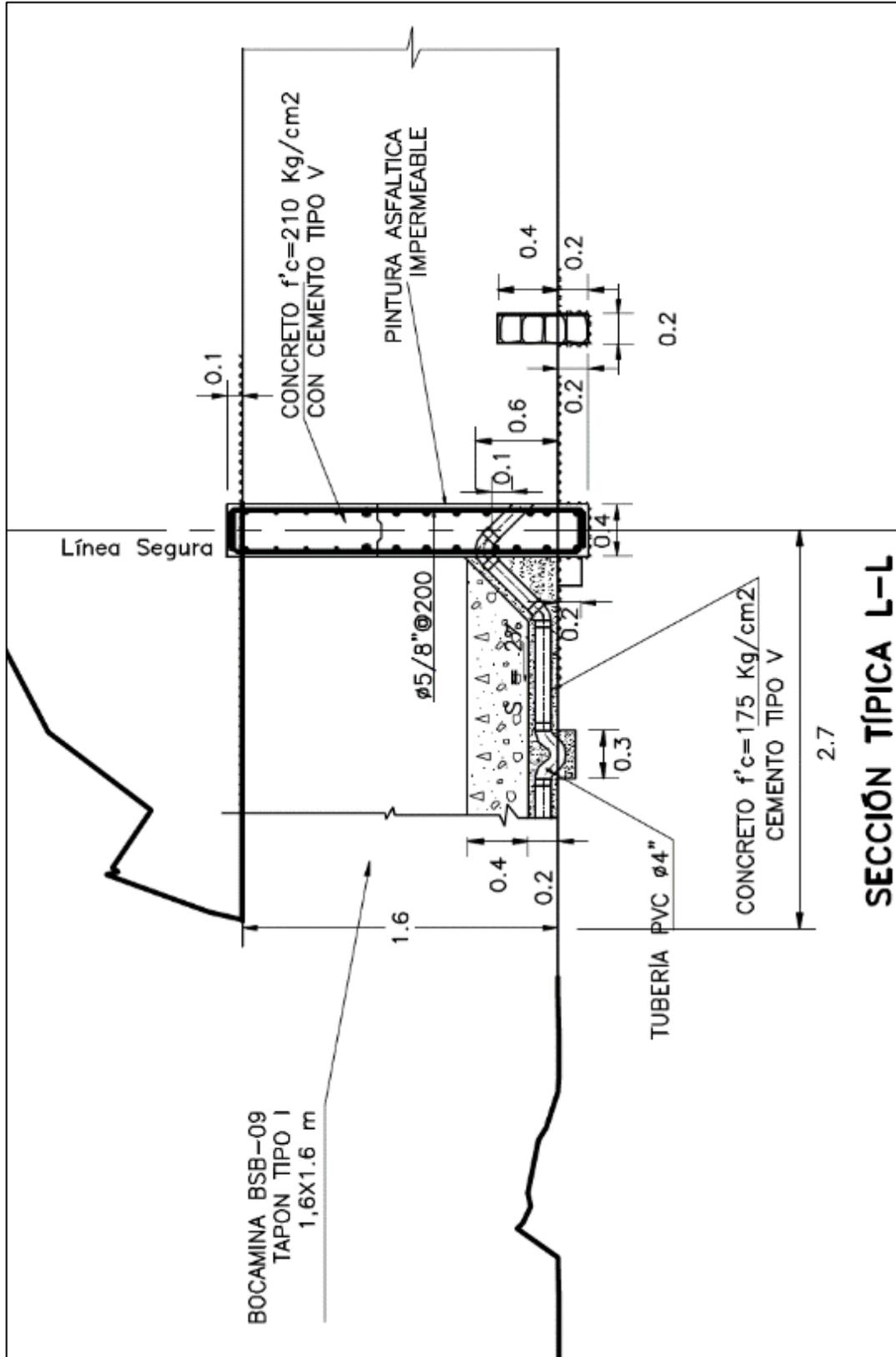
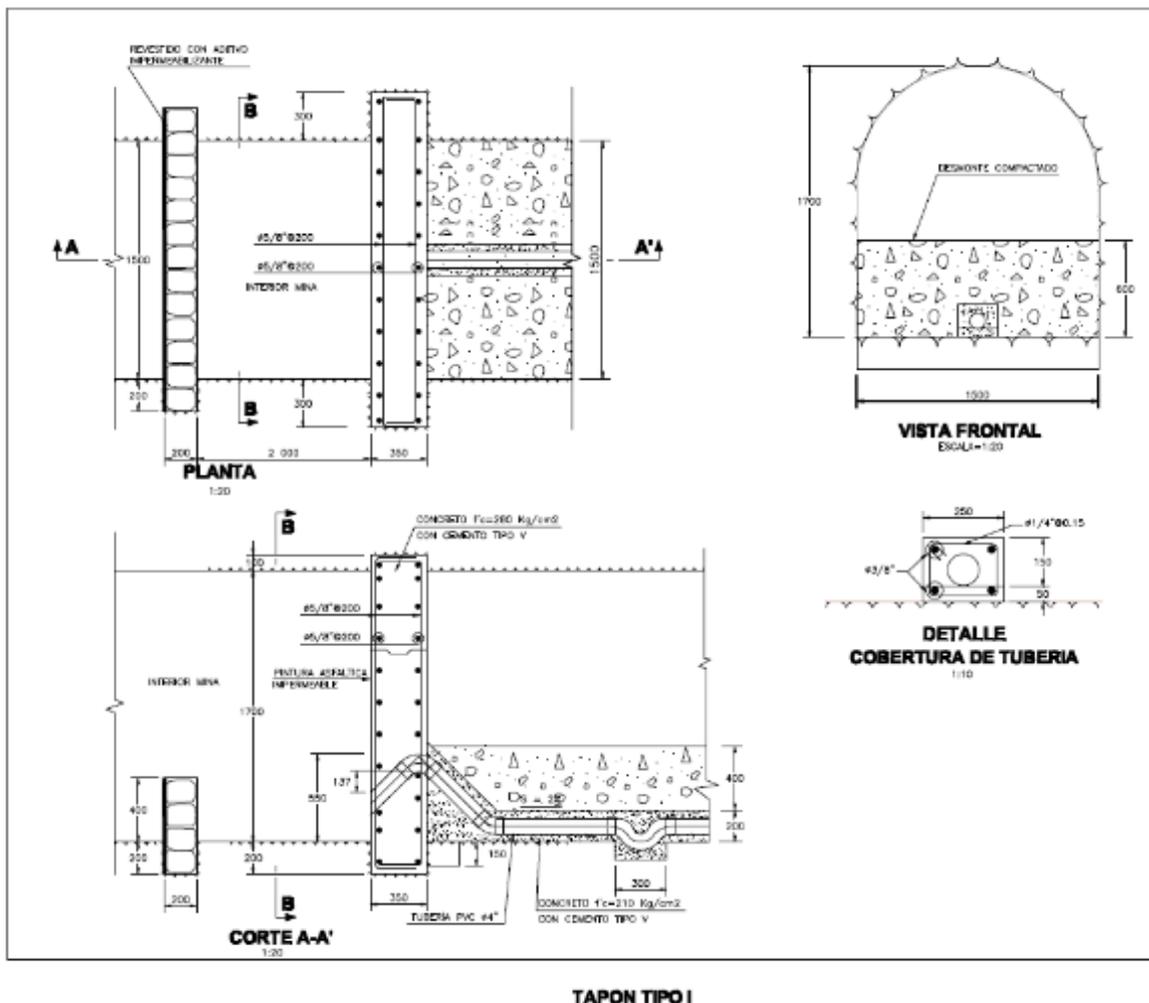


figura 14: Sección típica L-L BSB09, Escala 1:50

El tapón considera una estructura para retener los sedimentos y consiste en la construcción a 4,00m de la entrada un muro de mampostería para retener el material fino cuyas dimensiones serán de 0.6m de alto, 1.7 m de ancho, 0.2 m de ancho y a 2,7m de la entrada se colocará un muro de concreto armado cuyas dimensiones serán 1,6m de alto x 1,5m de ancho x 0,40m de ancho. Debido al drenaje que presenta la Labor minera se considera un sistema que impide el acceso del aire al interior de la galería y a su vez permite el drenaje del agua al exterior, a través de un sistema de tuberías que consiste en una tubería PVC de 4” el cual descansa en una cama de concreto $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$.



Estabilidad Hidrológica BSB-09

La estabilidad hidrológica se logra trazando la zanja trapezoidal de longitud 47,10 m excavado en terreno natural sin recubrimiento, el cual captará la escorrentía ladera arriba conduciéndola a un flujo natural.

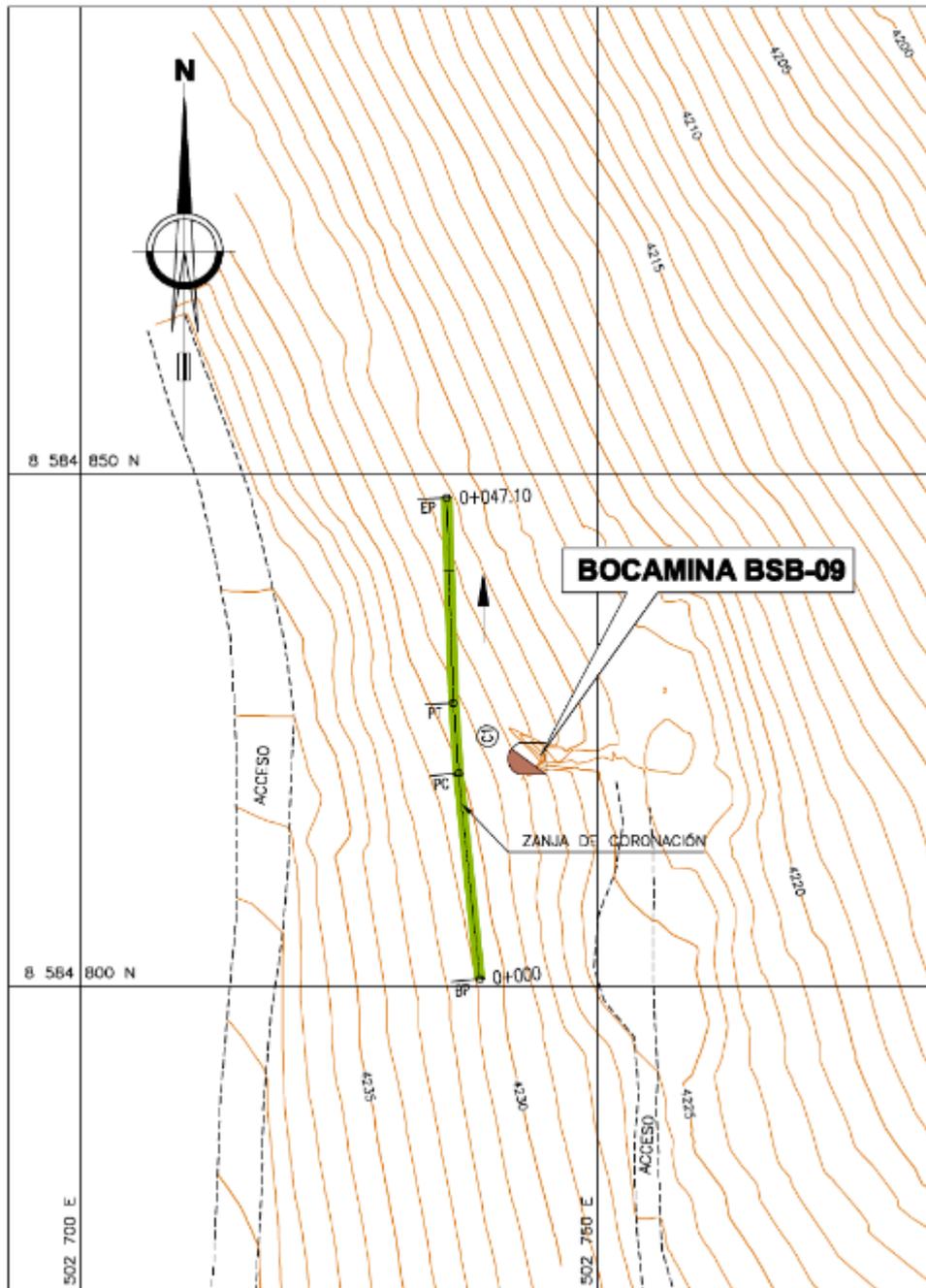


figura 15 Plano de estabilidad hidrológica BSB09

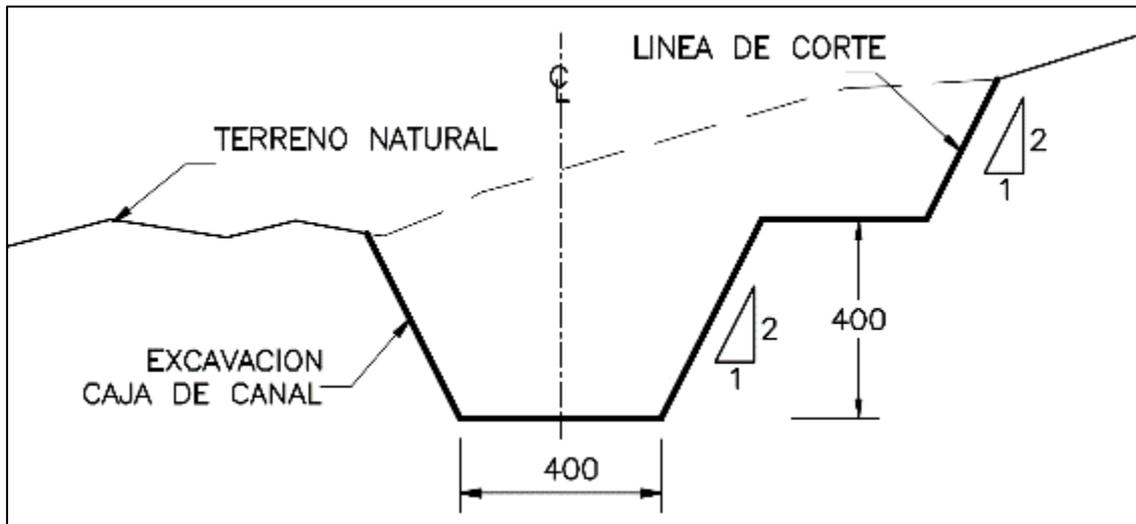


figura 16 *Sección de la zanja de coronación*

Estabilidad Geoquímica

La estabilización geoquímica de la Labor minera BSB-09 se hace mediante el método de bloqueo de aire, por lo que así se impedirá que ingrese aire al interior de la labor evitando la oxidación de los sulfuros y paralizando la generación del drenaje ácido, logrando así la recuperación de la calidad de agua.

Estabilidad Física BSB-10

Para lograr la estabilidad física en esta labor minera se realizará la construcción de un tapón tipo I, el cual está considerado para las Labor mineras que presentan acceso y drenaje.

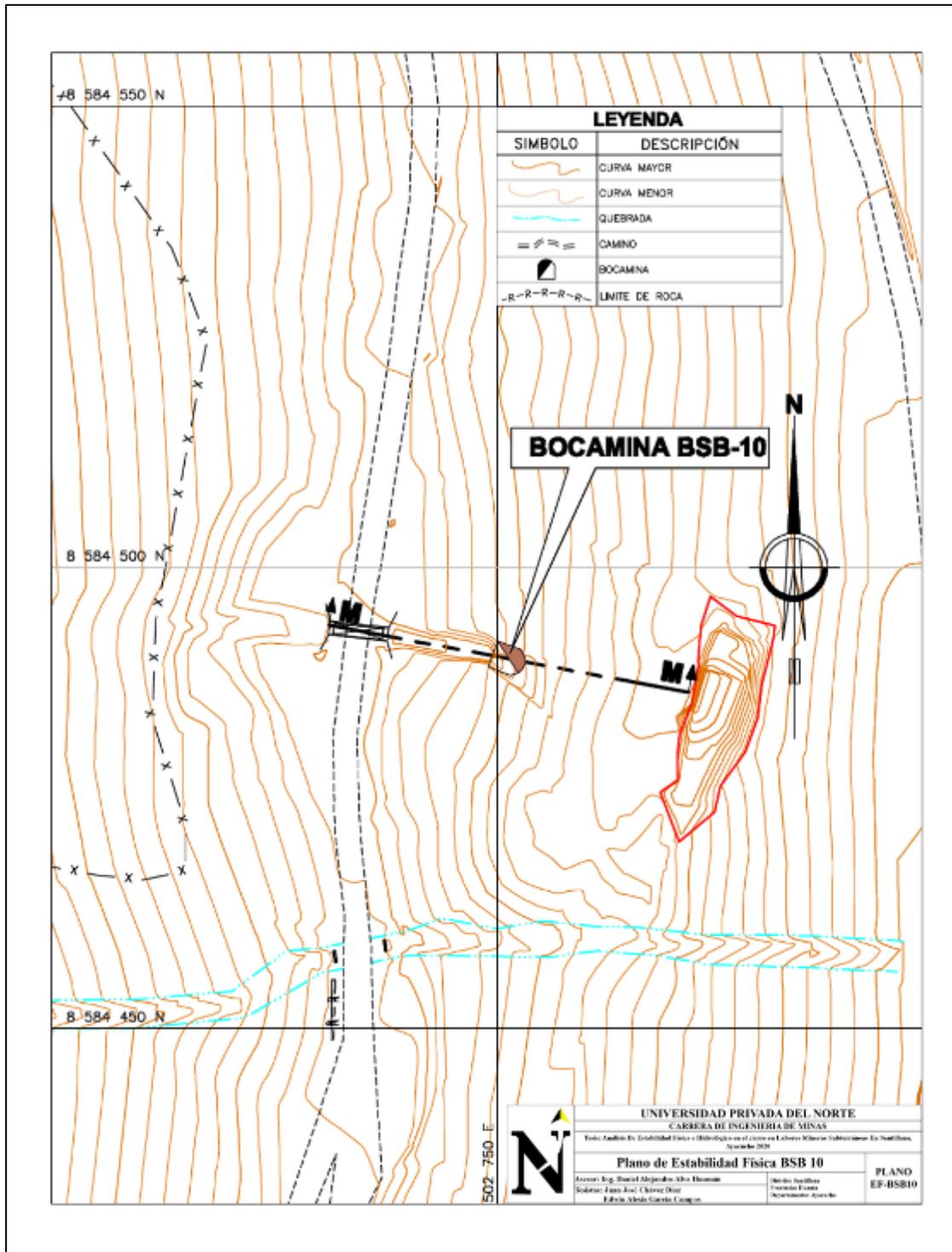


figura 17 plano de estabilidad física BSB 10

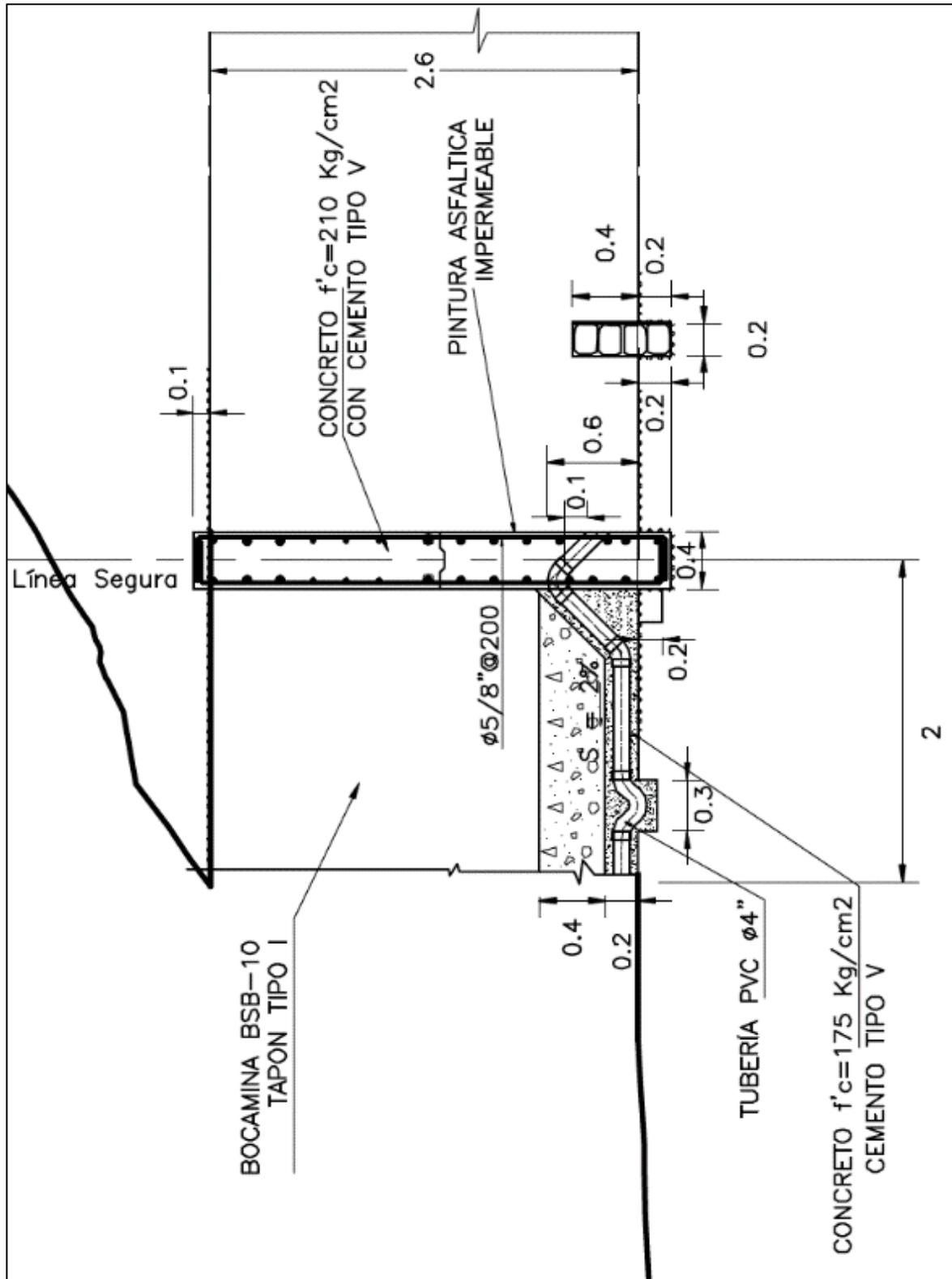
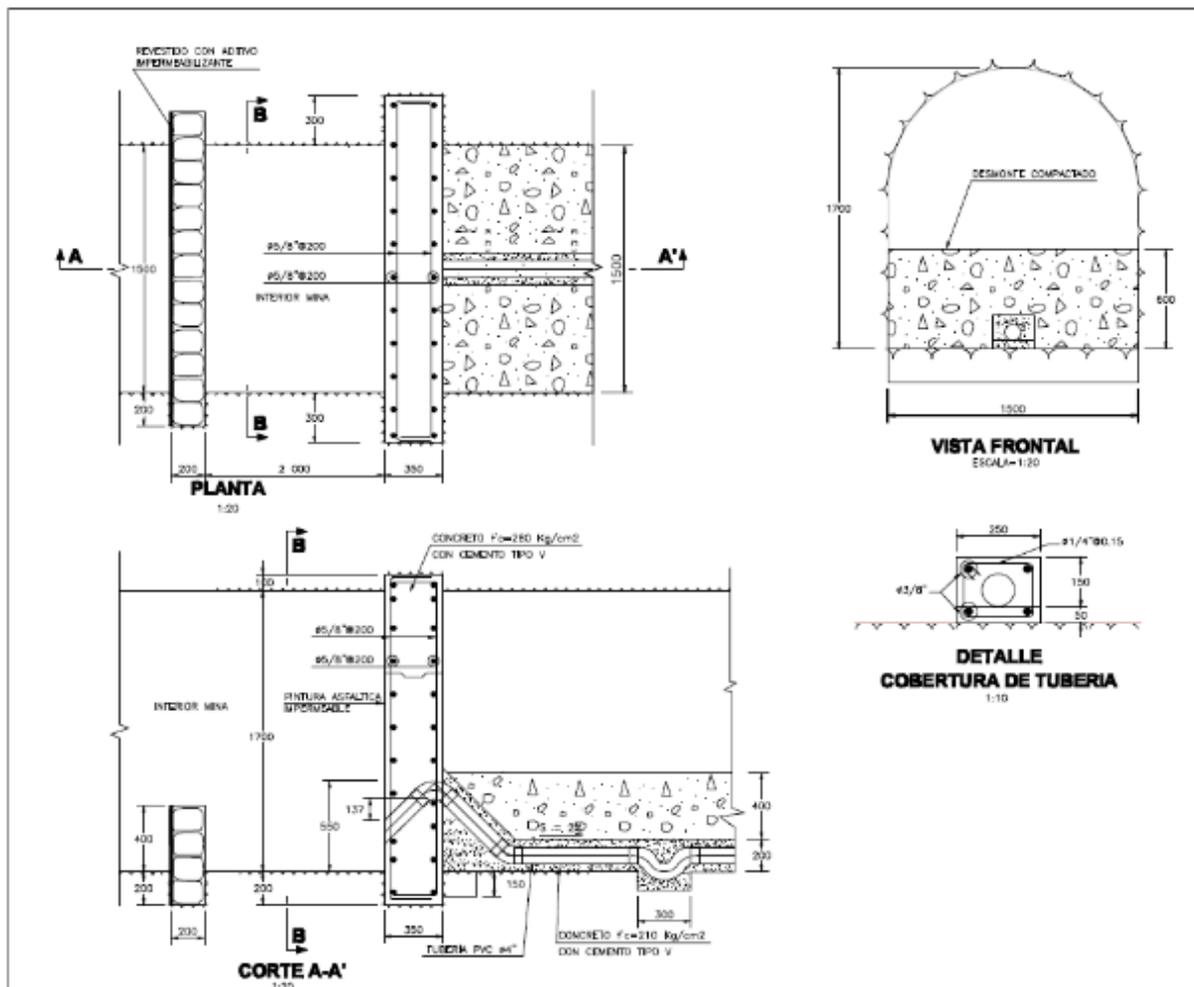


figura 18 Sección típica M-M BSB10, Escala 1:50

El Tapón tipo 1 considera una estructura para retener los sedimentos y consiste en la construcción a 4,00m de la entrada un muro de mampostería para retener el material fino cuyas dimensiones serán de 0.6m de alto, 2,0 m de ancho, 0.2 m de ancho y a 2,0m de la entrada se colocará un muro de concreto armado cuyas dimensiones serán 2,50m de alto x 2,0m de ancho x 0,40m de ancho. Debido al drenaje que presenta la Labor minera se considera un sistema que impide el acceso del aire al interior de la galería y a su vez permite el drenaje del agua al exterior, a través de un sistema que consiste en una tubería PVC de 4” el cual descansa en una cama de concreto $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$.



TAPÓN TIPO I

Estabilidad Hidrológica BSB-10

La estabilidad hidrológica se logra trazando un canal trapezoidal de 44,30m excavado en terreno natural sin recubrimiento, el cual captará la escorrentía ladera arriba conduciéndola a un flujo natural.

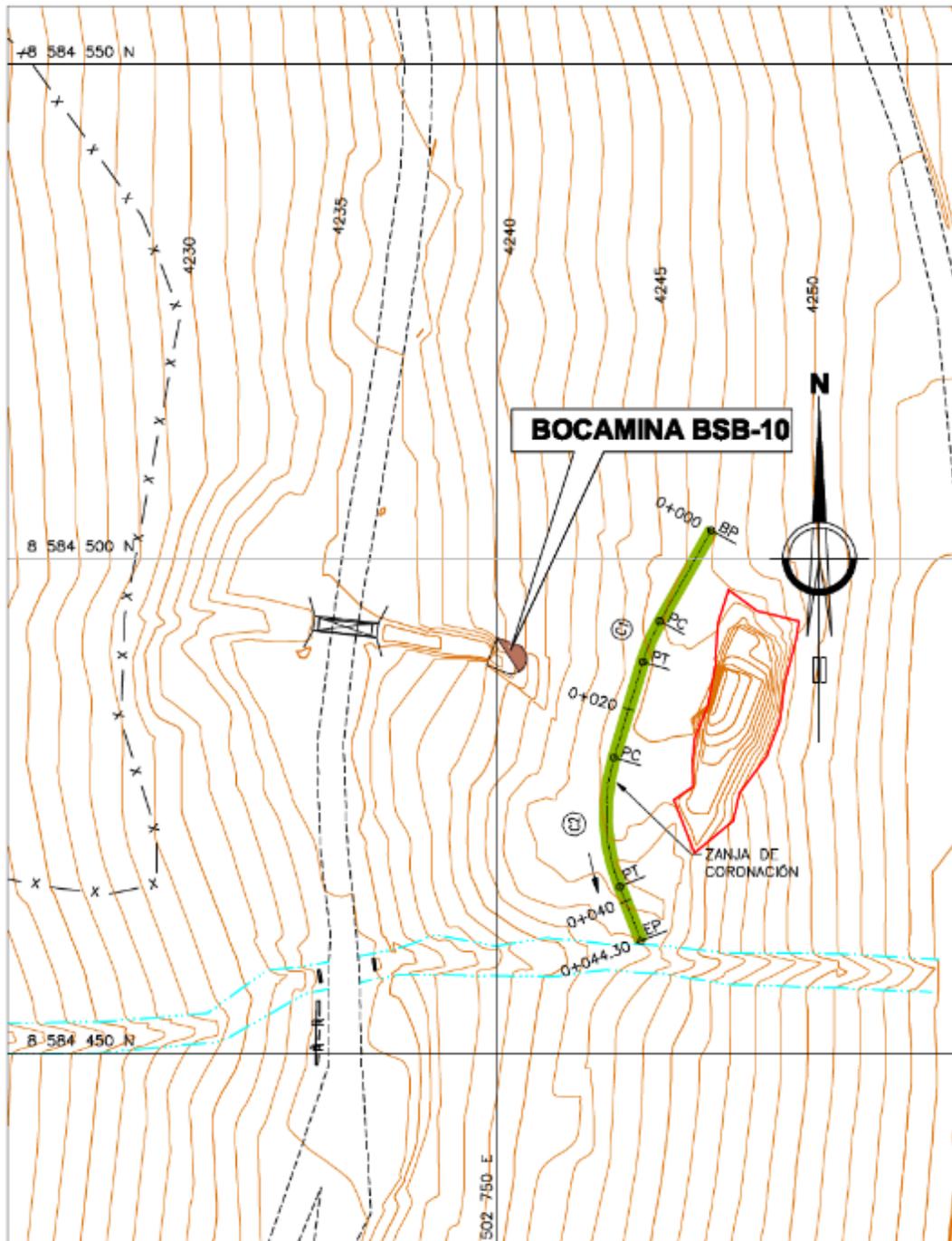


figura 19 plano de estabilidad hidrológica BSB 10

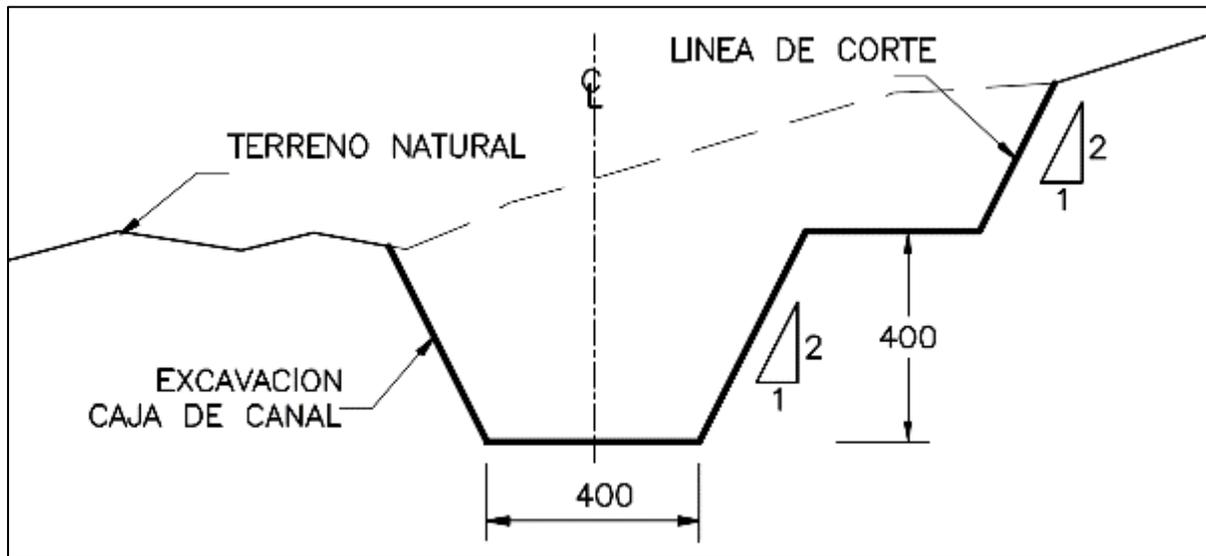


figura 20 Sección de la zanja de coronación

Estabilidad Geoquímica

La estabilización geoquímica de la Labor minera BSB-10 se hace mediante el método de bloqueo de aire, por lo que así se impedirá que ingrese aire al interior de la labor evitando la oxidación de los sulfuros y paralizando la generación del drenaje ácido, logrando así la recuperación de la calidad de agua.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

A partir del empleo de los diferentes parámetros geomecánicas como el RMR 89, RMR Ajustado, Q de Barton, GSI, y las propiedades físicas de cohesión y ángulo de fricción, se acepta la hipótesis general comprobando que lo mencionado permitió diseñar la estabilidad de las Labor mineras BSB9 y BSB10, en el cierre de mina Santillana, Ayacucho 2019, mediante el estabilidad física, hidrológica, geoquímica, de las Labor mineras BSB9 y BSB10.

Muchos proyectos de ingeniería se ven afectados al producir modificaciones en las condiciones iniciales del medio rocoso, y se evidencia en deslizamiento en túneles que se debe principalmente a factores que dominan el comportamiento y las propiedades mecánicas de los macizos rocosos (Matteis, 2003; Valiente Sanz, Sobrecases Martí, & Díaz Orrego, 2015). En el presente estudio el macizo rocoso donde se construyó las Labor mineras BSB9 y 10, han sufrido diferentes cambios mecánicos debido a la voladura que se empleó para construir las rampas, piques y otros accesos. Asimismo, se ha visto efectuada por efectos naturales como las intensas lluvias en épocas de invierno, y el tiempo en la que las Labor mineras no han estado en mantenimiento desde que se dejó de extraer el material para la planta de beneficio ha generado que éstas tengan constantes derrumbes.

Las clasificaciones geomecánicas (RMR, RQD, GSI, Q de Barton), consisten en evaluar las propiedades de los macizos rocosos compuestos por roca intacta y sus discontinuidades. Estas clasificaciones se basan en criterios cuantificados cuya aplicación permite calificar el macizo rocoso. Las clasificaciones mencionadas se emplearon para las Labor mineras, y nos permitió conocer el RMR y de acuerdo con la orientación y buzamiento de las discontinuidades el RMR ajustado obteniendo así el valor de para la BSB9 y de para la BSB10, concluyendo que la BSB9 ha sufrido mayores cambios generados por la infiltración de aguas, en cuanto, a

los valores de Q de Barton se tuvo para los dos una roca mala, y el GSI, superficie regular a mala y lisa correspondientemente.

El tipo de rotura está condicionada por las características de fracturación del macizo rocoso, es decir, la orientación, tipo y características de las discontinuidades, y el grado de rotura y disgregación del mismo (Mira, Alcántara, & Gutiérrez, 2013; Valiente Sanz, Sobrecases Martí, & Díaz Orrego., 2015). En las Labor mineras estudiadas, se hizo un análisis cinemático, con los datos recogidos en campo, considerando la orientación, inclinación y ángulo de fricción de la roca, para conocer el tipo de rotura que se pueda generar, por ende, se conoció que en la BSB9 hay una probabilidad de que se genere una rotura en cuña de las familias 1,2 y 3, y para la BSB10 una probabilidad alta entre las familias J1, J2, y J3.

En la Mina Shilla Paula en Arequipa, se analizó el comportamiento geológico, geomecánico e hidrogeológico del macizo, todo ese estudio les permitió conocer la probabilidad del escape de agua ácida de las Labores mineras, y con ello se propuso a utilizar tapones herméticos, para lo cual hicieron una excavación de la cimentación, y desquinche de las paredes laterales (Huayhua Huamaní, 2017). Para este estudio se siguió la misma secuencia mencionada, y se complementó con un análisis cinemático usando el software Dips V. 6, de tal manera, se hizo el diseño para la estabilidad de las Labor mineras mediante tapones herméticos, y se consideró la estabilidad hidrológica empleando una zanja trapezoidal y una estabilidad geoquímica usando bloqueo de aire para que no se genere la oxidación de los sulfuros que hay en las paredes.

La metodología empleada para obtener la estabilidad de las Labor mineras en una etapa de cierre de mina fue conocer los parámetros geomecánicos en base al RMR, GSI y Q de Bartón del macizo rocoso donde están ubicados las Labor mineras, complementado con análisis cinemático, y conocer los métodos adecuado a emplear para una óptima estabilidad física, hidrológica y geoquímica. Dicha metodología, refuerza las investigaciones realizadas para

hacer diseño de impermeabilización para la no filtración de aguas ácidas de las Labor mineras en el Perú.

Las limitaciones identificadas en el estudio se basan principalmente en las pocas visitas a la zona de estudio por tiempos de pandemia y por la falta de consentimiento para la accesibilidad por parte de los pobladores, que generó que no se haga un cartografiado detallado para así darle una mejor interpretación y trazado a los tapones tipo 1.

La estabilidad física obtenida es de regular calidad, pero se recomendaría usar el ángulo de fricción y cohesión obtenidos en el presente informe para mejorar la calidad de la estabilidad, en el caso se desee mejorar los taludes sobre la Labor minera.

4.2. Conclusiones

Del análisis geomecánico para el diseño de la estabilidad física e hidrológica de labores mineras subterráneas en Santillana, Ayacucho se concluye que:

- La geología de la zona Santillana, Ayacucho está compuesta por las formaciones Pucara, Chúlec, Santa Barbara, Casapalca, que han influenciado en el comportamiento geomecánico del macizo rocoso donde están ubicados las Labor mineras BSB9 y BSB10 principalmente de calizas y lavas andesíticas respectivamente, dichas formaciones han sido afectadas por la tectónica andina, y por esa razón es que sus propiedades mecánicas del macizo rocoso se han visto afectadas.
- Los parámetros geomecánicos, el número de familias de las diaclasas y conocer las fallas, permitieron conocer el comportamiento mecánico del macizo rocoso, y tomar la decisión de usar el tapón tipo 1 que fue el óptimo para macizos rocos de calidad regular a mala. También se conoció las condiciones hidrológicas del sitio que se vieron efectuadas por las intensas lluvias y que su percolación genera aguas ácidas por ella, las zanjas del tipo trapezoidal permiten que las Labor mineras no sean inundadas. Asimismo, para la obtener una estabilidad geoquímica se diseñó un bloqueo de aire principalmente para neutralizar la oxidación de los minerales sulfurosos.
- Se recomienda complementar a los tapones tipo I, una impermeabilización de la roca, inyectando resina en las zonas donde haya fracturamiento y fallas presentes en las Labor mineras BSB9 y BSB10.

REFERENCIAS

Aduvire, O., López Jimeno, C., & Aduvire, H. (2000). *Guía de Abandono y Clausura de Minas Subterráneas*. Madrid: ETSI Minas de Madrid.

Brady B. y Brown E. (2004) Rock Mechanics for underground mining: Third edition. DOI: 10.1007/978-1-4020-2116-9.

Cavers D., 1981, Simple methods to analyze buckling of rock slopes. Rock Mechanics and Rock Engineering 14(2):87-104. DOI: 10.1007/BF01239857.

Chura, L. (2013). Diseño Del Cierre En Pasivos Ambientales De Labores Mineras A Menor Costo y Minimización de Impactos De Mina Ishihuinca Caravelí, Arequipa Perú

Deza, A. (2014) Diseño De Tapones Herméticos De Bocaminas De La Ampliación Ancoyo II- UNIDAD MINERA PAULA - E.C. SERMINAS E.I.R.L.

Díaz, E. (abril de 2016). Clasificaciones Geomecánicas. Obtenido de <https://es.slideshare.net/EdwinDiaz40/clasificaciones-geomecnicas>

Gómez P. (2013). Cierre De Bocaminas y Chimeneas de la zona De San Rafael – Puno. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO.

Huayhua Huamaní , J. (2017). *Impermeabilización mediante inyección de resina líquida poliuretano y construcción de un tapón de cierre NV.5000 U.E.A Shila Paula- Cia Minera Buenaventura*. Universidad Nacional San Agustín.

Laboratorio Oficial J. M. Madariaga (LOM) (2015). Guía sobre Control Geotécnico en Minería Subterránea. Convenio de Colaboración entre la Secretaría de Estado de Energía del Ministerio

de Industria, Energía y Turismo, de España, y la Universidad Politécnica de Madrid (Laboratorio Oficial J. M. Madariaga), España.

Lorig, L. J. (2009). Aplicación de Modelos Numéricos Continuos y Discontinuos al Análisis de Excavaciones Subterráneas en Macizos Rocosos. Jornada Técnica de Cálculo de Túneles. Madrid: Sociedad Española de Mecánica de Rocas (SEMR).

Servicio nacional de geología y minería (2018). Guía Metodológica para Evaluación de la Estabilidad Física de Instalaciones Mineras Remanentes. Chile.

González de Vallejo, L.; Ferrer, M.; Ortuño, L.; Oteo, C. (2002), Ingeniería Geológica. Pearson Educación, Madrid.

Hoek E. y Bray J., 1974, Rock Slope Engineering. Institution of Mining and Metallurgy, ISBN 0900488212, 9780900488214, 2 Park Square, Milton Park, Abingdon, Oxon, OX14 4RN, Simultaneously published in the USA and Canada by Spon Press 270 Madison Avenue, New York, NY 10016, 309 p.

Preh A. y Poisel R., 2004, A UDEC model for “Kink Band Slumping” type failures of rock slopes. Conference: 1st UDEC/3DEC Symposium, Bochum, Germany. Konietzky (ed.), Volume: Numerical Modeling of Discrete Materials, ISBN: 9058096351. London: Taylor & Francis Group.

Ramírez P. y Alejano L., 2004, Mecánica de roca: Fundamentos e Ingeniería de taludes. Publicación Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de <http://oa.upm.es/14183/>

Rodríguez E. y Sánchez M., 2013, “Análisis de Respuesta Dinámica Tridimensional para Excavaciones Profundas”. III Seminario Internacional de Ingeniería Sísmica y Geotecnia. Boyacá, Colombia.

Sociedad Nacional de Minas, Petróleo y Energía. 2004. Manual de Geomecánica Aplicada a la Prevención de Accidentes por Caídas de Rocas en Minería Subterránea. Lima: SNMPE. Perú

Torrealba N. (2008). “Análisis Numérico del Comportamiento Dinámico de Túneles ante Eventos Sísmicos, Caso de Estallidos de Roca en El Teniente”. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería, PUC.

Anexos

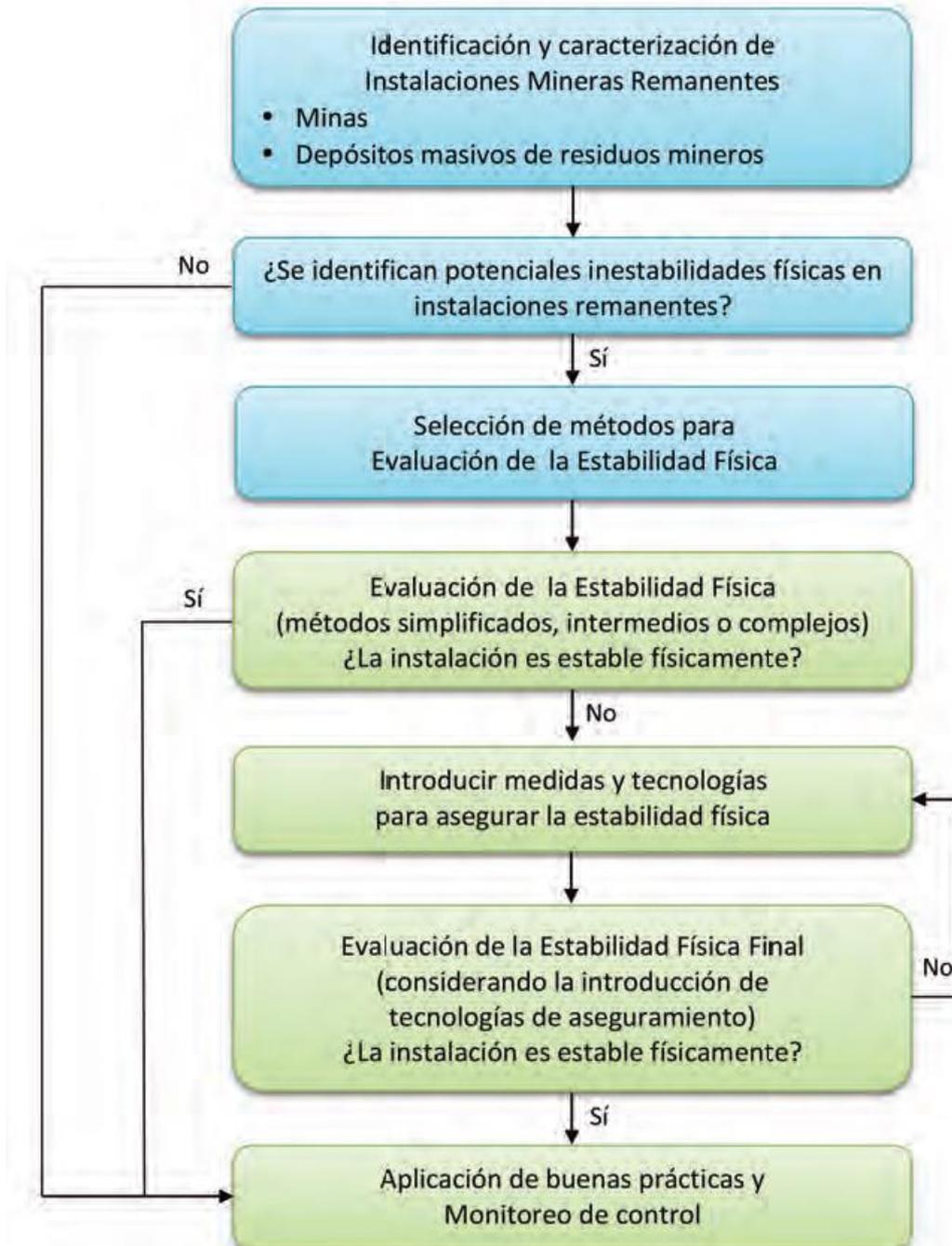
1. Cálculo RMR – BSB 09

Tipo de Roca : Caliza Masiva		Ubicación : BSB-09																									
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE																											
MATRIZ ROCOSA	Valor de resistencia a la compresión simple : 85 Mpa		PUNTAJE																								
	Este valor se ha determinado usando:		7																								
	Ensayo de laboratorio (compresión simple)																										
	Ensayo de laboratorio (carga puntual)																										
	Martillo Schmidt sobre testigo																										
Martillo Schmidt sobre afloramiento rocoso																											
Tablas (*)	X																										
Referencia (ISRM, 1978)		<table border="1"> <thead> <tr> <th>RESISTENCIA</th> <th>CALIDAD</th> <th>PUNTAJE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>> 250 Mpa</td> <td>Muy alta</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>250 - 100</td> <td>Alta</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>100 - 50</td> <td>Medio</td> <td>X 7</td> </tr> <tr> <td>50 - 25</td> <td>Baja</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>25 - 5</td> <td></td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>5 - 1</td> <td>Muy baja</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>< 1 Mpa</td> <td></td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>		RESISTENCIA	CALIDAD	PUNTAJE	> 250 Mpa	Muy alta	15	250 - 100	Alta	12	100 - 50	Medio	X 7	50 - 25	Baja	4	25 - 5		2	5 - 1	Muy baja	1	< 1 Mpa		0
RESISTENCIA	CALIDAD	PUNTAJE																									
> 250 Mpa	Muy alta	15																									
250 - 100	Alta	12																									
100 - 50	Medio	X 7																									
50 - 25	Baja	4																									
25 - 5		2																									
5 - 1	Muy baja	1																									
< 1 Mpa		0																									
VALORIZACIÓN DE PARÁMETROS Q (según Barton, Lien y Lunden)																											
ROD	DESCRIPCIÓN	VALOR	PUNTAJE	Observación Cuando ROD se reporta o es medido como menor a 10, se le otorga un valor no menor de 10	PUNTAJE																						
	Muy mala	0 a 25	3			13																					
	Mala	25 a 50	6																								
	Regular	50 a 75	X 13																								
	Buena	75 a 90	17																								
	Excelente	90 a 100	20																								
VALORIZACIÓN DE PARÁMETROS (LF)																											
SEPARACIÓN DE DIACLASAS	DESCRIPCIÓN	VALOR (m)	PUNTAJE	PUNTAJE																							
	Muy separadas	> 2.00	20		10																						
	Separadas	2.00 - 0.60	15																								
	Mediamente separadas	0.60 - 0.20	X 10																								
	Próximas	0.20 - 0.06	5																								
Muy próximas	< 0.06	5																									
VALORIZACIÓN DE PARÁMETROS																											
ESTADO DE LAS DISCONTINUIDADES	Longitud de la discontinuidad	Abertura (mm)		Rugosidad	Relleno		Alteración		PUNTAJE																		
	< 1 m	6	Nada	6	Muy rugosa	6	Ninguno	6		Inalterada	6																
	1 - 3 m	4	< 0.10	5	Rugosa	5	Duro (< 5 mm)	4		Ligeramente alterada	5																
	3 - 10 m	X 2	0.10 - 1	4	Ligeramente rugosa	3	Duro (> 5 mm)	2		Moderadamente alterada	X 3																
	10 - 20 m	1	1 - 5	X 1	Ondulada	X 1	Blando (< 5mm)	X 1		Muy alterada	1																
	> 20 m	0	> 5	0	Suave	0	Blando (> 5mm)	0		Descompuesta	0																
		2		1		1		1			3																
	VALORIZACIÓN DE PARÁMETROS																										
	FLUJO DE AGUA	DESCRIPCIÓN	RELACIÓN: PRESIÓN DE AGUA/TENSIÓN PRINCIPAL MAYOR	CAUDAL POR 10 m DE TÚNEL	ESTADO GENERAL	PUNTAJE		PUNTAJE																			
		SECO	0	Nulo	SECO	15																					
LIGERAMENTE HÚMEDO		0 - 0.1	< 10 l/min	LIGERAMENTE HÚMEDO	10																						
HÚMEDO		0.1 - 0.2	10-25 l/min	HÚMEDO	X 7																						
GOTEANDO		0.2 - 0.5	25-125 l/min	GOTEANDO	4																						
FLUYENDO	> 0.5	> 125 l/min	AGUA FLUYENDO	0																							
CORRECCIÓN POR LA ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES (F)																											
DIRECCIÓN Y BUZAMIENTO	<input checked="" type="checkbox"/> Túneles/Casi	<input type="checkbox"/> Orientaciones	<input type="checkbox"/> Taludes	PUNTAJE																							
Muy favorables	0	0	0	-2																							
Favorables	X -2	-2	-2																								
Medias	-5	-7	-25																								
Desfavorables	-10	-15	-50																								
Muy desfavorables	-12	-25	-60																								
	-2																										
CLASIFICACIÓN RMR OBTENIDA EN CAMPO																											
CLASE	I	II	III	IV	V	Valor del RMR 43																					
CALIDAD	MUY BUENA	BUENA	MEDIA	MALA	MUY MALA	Correlaciones del RMR																					
PUNTAJACIÓN	100-81	80-61	60-41	40-21	< 20	Cohesión (C)	2.1 Kg/cm ²																				
COHESIÓN (Kg/cm ²)	> 4	3 - 4	2 - 3	1 - 2	< 1	Ángulo de fricción	26.1 °																				
FRICCIÓN (φ)	> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15	(Valores propuestos por Bieniawski)																					

Anexo 2. Cálculo RMR – BSB 10

Tipo de Roca : Areniscas		Ubicación : BSB-10											
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE													
MATRIZ ROCOSA	Valor de resistencia a la compresión simple : 35 Mpa		PUNTAJE										
	Este valor se ha determinado usando:		4										
	Ensayo de laboratorio (compresión simple)	<input type="checkbox"/>											
	Ensayo de laboratorio (carga puntual)	<input type="checkbox"/>											
	Martillo Schmidt sobre testigo	<input type="checkbox"/>											
Martillo Schmidt sobre afloramiento rocoso	<input type="checkbox"/>												
Tablas (*)	<input checked="" type="checkbox"/>												
Referencia (ISRM, 1978)													
IS	NO	INDICE MANUAL (martillo del geólogo)	Resistencia a la compresión simple (Mpa)										
Más información y datos en hojas adjuntas	<input type="checkbox"/>	No rompe, solo saltan astillas	>250.0										
	<input type="checkbox"/>	Rompe con muchos golpes	100.0-250.0										
	<input type="checkbox"/>	Rompe con más de un golpe	50.0-100.0										
	<input checked="" type="checkbox"/>	Rompe con un golpe	25.0-50.0										
	<input type="checkbox"/>	Se incrusta la punta	5.0-25.0										
	<input type="checkbox"/>	Se machaca con un golpe	1.0-5.0										
	<input type="checkbox"/>	Idem y se raya con la uña	0.25-1.0										
VALORIZACIÓN DE PARÁMETROS Q (según Barton, Lien y Lundin)													
ROD	DESCRIPCIÓN	VALOR	PUNTAJE	Observación Cuando ROD se reporta o es medido como menor a 10, se le otorga un valor nominal de 10	PUNTAJE								
	Muy mala	0 a 25	<input type="checkbox"/>			3							
	Mala	25 a 50	<input checked="" type="checkbox"/>			5	6						
	Regular	50 a 75	<input type="checkbox"/>			13							
	Buena	75 a 90	<input type="checkbox"/>			17							
Excelente	90 a 100	<input type="checkbox"/>	20										
VALORIZACIÓN DE PARÁMETROS (LF)													
SEPARACIÓN DE DISCONTINUIDADES	DESCRIPCIÓN	VALOR (m)	PUNTAJE	PUNTAJE									
	Muy separadas	> 2.00	<input type="checkbox"/>		20								
	Separadas	2.00 - 0.60	<input type="checkbox"/>		15								
	Medianamente separadas	0.60 - 0.20	<input checked="" type="checkbox"/>		10								
	Próximas	0.20 - 0.06	<input type="checkbox"/>		8								
Muy próximas	< 0.06	<input type="checkbox"/>	5										
VALORIZACIÓN DE PARÁMETROS													
ESTADO DE LAS DISCONTINUIDADES	Longitud de la discontinuidad	Apertura (mm)	Rugosidad	Relleno	Alteración	PUNTAJE							
	< 1 m	6	Nada	6	Muy rugosa		6	Ninguno	6	Inalterada	6		
	1 - 3 m	4	< 0.10	5	Rugosa		5	Duro (< 5 mm)	4	Ligeramente alterada	5		
	3 - 10 m	<input checked="" type="checkbox"/>	0.10 - 1	3	Ligeramente rugosa		<input checked="" type="checkbox"/>	3	Duro (> 5 mm)	2	Modestamente alterada	3	
	10 - 20 m	1	1 - 5	<input checked="" type="checkbox"/>	1		Ondulada	1	Blando (<5mm)	1	Muy alterada	<input checked="" type="checkbox"/>	1
	> 20 m	0	> 5	0	Suave		0	Blando (>5mm)	0	Descompuesta	0		
		2		1			3		2		1		
VALORIZACIÓN DE PARÁMETROS													
FLUJO DE AGUA	DESCRIPCIÓN	RELACIÓN PRESIÓN DE AGUA/TENSIÓN PRINCIPAL MAYOR	CAUDAL POR 10 m DE TÚNEL	ESTADO GENERAL	PUNTAJE	PUNTAJE							
	SECO	0	Nulo	SECO	<input type="checkbox"/>		15						
	LIGERAMENTE HÚMEDO	0 - 0.1	< 10 l/min	LIGERAMENTE HÚMEDO	<input type="checkbox"/>		10						
	HÚMEDO	0.1 - 0.2	10-25 l/min	HÚMEDO	<input checked="" type="checkbox"/>		7						
	GOTEANDO	0.2 - 0.5	25-125 l/min	GOTEANDO	<input type="checkbox"/>		4						
FLUYENDO	> 0.5	>125 l/min	AGUA FLUYENDO	<input type="checkbox"/>	0								
CORRECCIÓN POR LA ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES (F)													
DIRECCIÓN Y BUZAMIENTO	<input checked="" type="checkbox"/> Túneles/Casi	<input type="checkbox"/> Orientaciones	<input type="checkbox"/> Taludes	PUNTAJE									
Muy favorables	<input type="checkbox"/>	0	0		0								
Favorables	<input checked="" type="checkbox"/>	-2	-2		-2								
Medias	<input type="checkbox"/>	-5	-7		-25								
Desfavorables	<input type="checkbox"/>	-10	-15		-50								
Muy desfavorables	<input type="checkbox"/>	-12	-25		-80								
		-2											
CLASIFICACIÓN RMR OBTENIDA EN CAMPO													
CLASE	I	II	III	IV	V								
CALIDAD	MUY BUENA	BUENA	MEDIA	MALA	MUY MALA								
PUNTAJE	100-81	80-61	60-41	<input checked="" type="checkbox"/> 40-21	< 20								
COHESIÓN (Kg/cm ²)	> 4	3 - 4	2 - 3	1 - 2	< 1								
FRICCIÓN (i)	> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15								
Valor del RMR		36											
Correlaciones del RMR													
Cohesión (C)	1.6	Kg/cm ²											
Ángulo de fricción	22.9	°											
(Valores propuestos por Bienlawski)													

Anexo 3. Programa de Estabilidad Física aplicable a un proyecto de cierre de una instalación minera remanente.



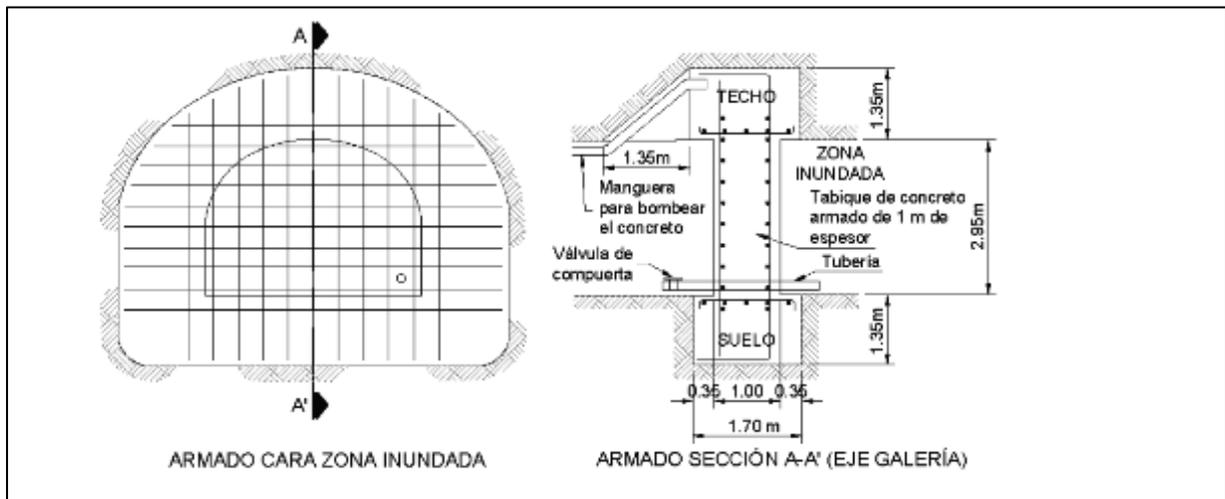
Programa de Estabilidad Física aplicable a un proyecto de cierre de una instalación minera remanente.

Anexo 4. Mecanismos de rotura en un túnel en función de la profundidad y estado del macizo.

Profundidad y estado del Macizo rocoso	Potenciales mecanismos de inestabilidad
Túneles superficiales en suelos o macizos rocosos alterados	<ul style="list-style-type: none"> - Plastificación del terreno en frente y apoyos del sostenimiento - Riesgo de inestabilidad y corto tiempo de estabilidad
Macizo rocoso fracturado parcialmente alterado	<ul style="list-style-type: none"> - Nivel tensional medio-bajo - Inestabilidad asociada a caídas de bloques de clave y/o hastiales
Macizo rocoso masivo, afectado por pocas familias de juntas sanas	<ul style="list-style-type: none"> - Pocos problemas de estabilidad
Macizo rocoso masivo a gran profundidad	<ul style="list-style-type: none"> - Roturas tensionales frágiles: lajeo y posibles estallidos de roca

Fuente: Tomado de Laboratorio Oficial J.M. Madariaga (LOM), 2015

Anexo 5 Tapón de concreto reforzado en labor horizontal para altas presiones de agua (Aduvire, 2000)



Tapón de concreto reforzado en labor horizontal para altas presiones de agua (Aduvire, 2000)

CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA RMR - SMR - GSI - Q

Dirección de la BSB-09: N 275°										LITOLÓGICA: CALIZAS HACIVAS																			
ELABORADO POR:										CONDICIÓN: Fresca () Fracturada (X) Descompuesta () Desintegrada ()																			
ID	COORDENADAS			DIRECCIÓN INCLINACIÓN	FAMILIA	TIPO	RESISTENCIA A LA TRACSIÓN SUPLE (MPa)	RQD	CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES					AGUA	RMR BASICO			Q de Barton											
	ESTE	NORTE	COTA						PERISTENCIA	APERTURA	ROSGOSIDAD	RELLENO	ALTERACION		Tu	Ca	Ta	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q	ESR	LUZ				
Escala: 1:200 MPa 1 - > 200 MPa 2 - 100-200 MPa 3 - 50-100 MPa 4 - 25-50 MPa 5 - < 25 MPa										Escala: 1:20 m 1 - > 20 m 2 - 10-20 m 3 - 5-10 m 4 - 2-5 m 5 - < 2 m										Escala: 1:20 m 1 - > 20 m 2 - 10-20 m 3 - 5-10 m 4 - 2-5 m 5 - < 2 m									
1	502149	858492	4227	126	4	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	45	43	38	6	1,5	1	1	2,5	6,55				
2	502146	858498	4225	145	51	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	45	43	38	6	1,5	1	1	2,5	6,55				
3	502146	858498	4225	145	51	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	45	43	38	6	1,5	1	1	2,5	6,55				
4	502149	858498	4227	126	4	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	45	43	38	6	1,5	1	1	2,5	6,55				
5	502149	858498	4227	126	4	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	45	43	38	6	1,5	1	1	2,5	6,55				
6	502149	858498	4227	126	4	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	45	43	38	6	1,5	1	1	2,5	6,55				
7	502149	858498	4227	126	4	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	45	43	38	6	1,5	1	1	2,5	6,55				
8	502149	858498	4227	126	4	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	45	43	38	6	1,5	1	1	2,5	6,55				
9	502149	858498	4227	126	4	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	45	43	38	6	1,5	1	1	2,5	6,55				
10	502149	858498	4227	126	4	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	45	43	38	6	1,5	1	1	2,5	6,55				
11	502149	858498	4227	126	4	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	45	43	38	6	1,5	1	1	2,5	6,55				
12	502149	858498	4227	126	4	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	45	43	38	6	1,5	1	1	2,5	6,55				
13	502149	858498	4227	126	4	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	45	43	38	6	1,5	1	1	2,5	6,55				
14	502149	858498	4227	126	4	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	45	43	38	6	1,5	1	1	2,5	6,55				
15	502149	858498	4227	126	4	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	45	43	38	6	1,5	1	1	2,5	6,55				
16	502149	858498	4227	126	4	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	45	43	38	6	1,5	1	1	2,5	6,55				

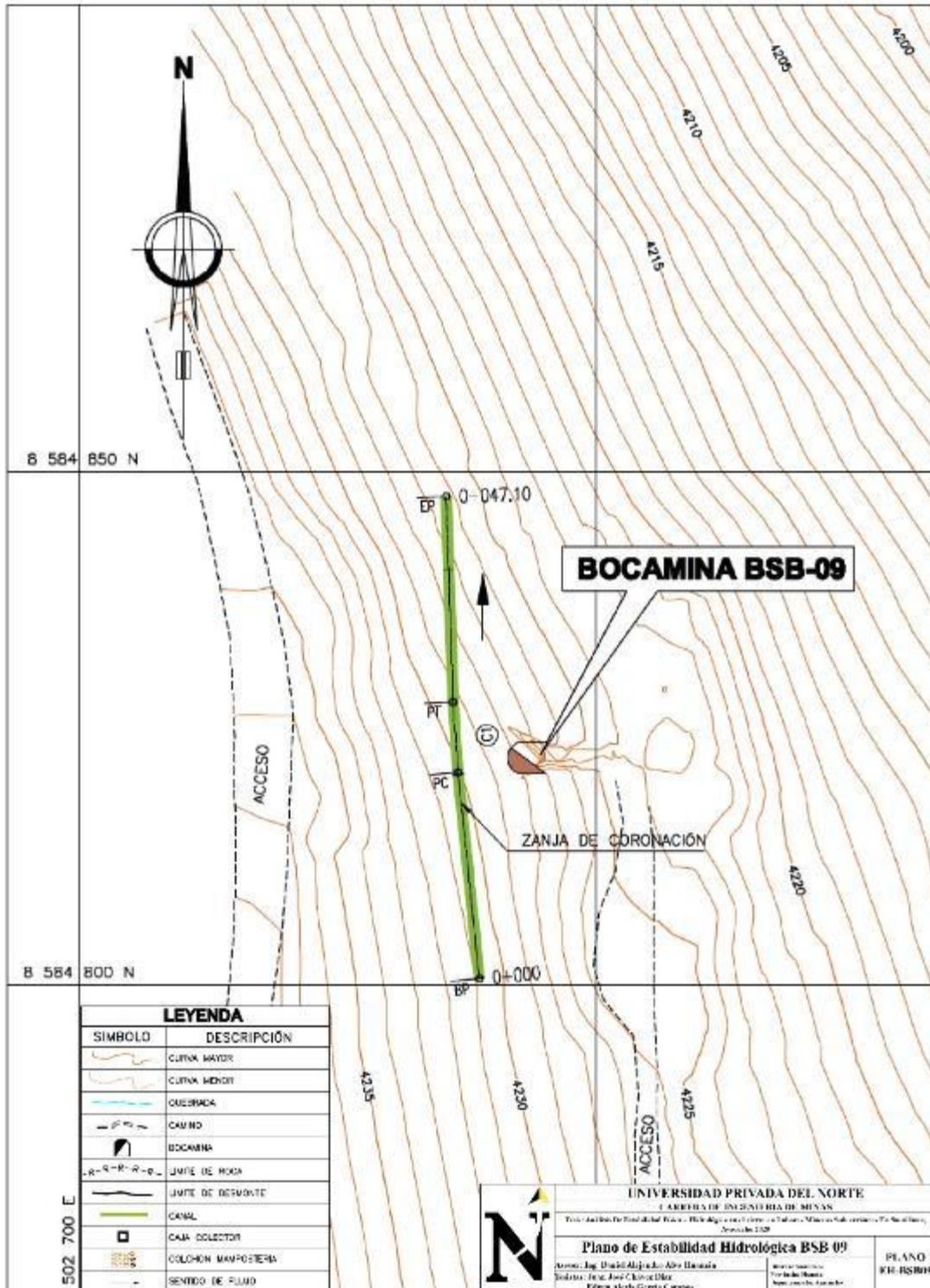
3, 3 * JV

CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA RMR - SMR - GSI - Q

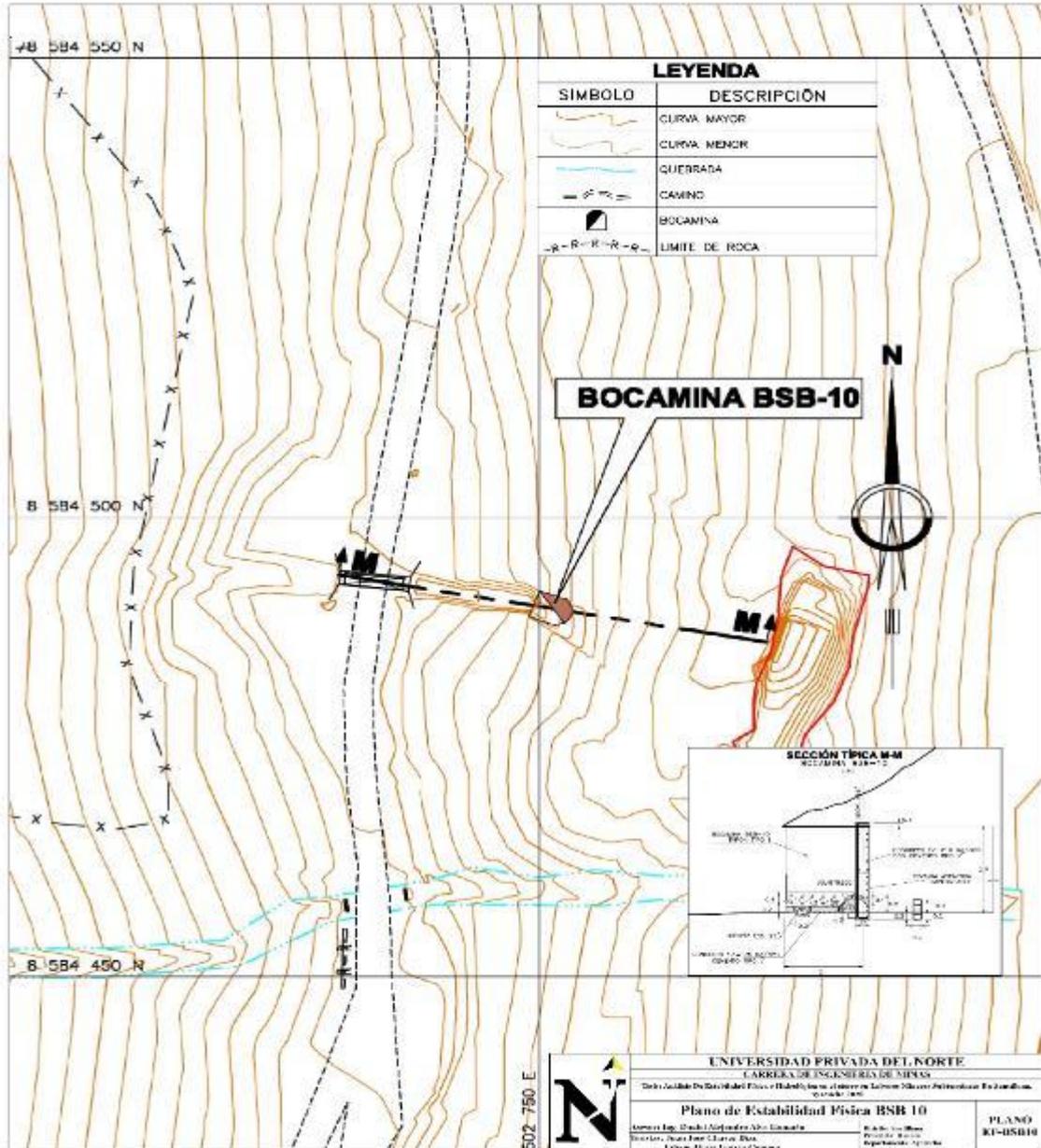
Dirección de la BSB-10: N 110°										LITOLÓGICA: Areniscas																			
ELABORADO POR:										CONDICIÓN: Fresca () Fracturada (X) Descompuesta () Desintegrada ()																			
ID	COORDENADAS			DIRECCIÓN INCLINACIÓN	FAMILIA	TIPO	RESISTENCIA A LA TRACSIÓN SUPLE (MPa)	RQD	CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES					AGUA	RMR BASICO			Q de Barton					SMR						
	ESTE	NORTE	COTA						PERISTENCIA	APERTURA	ROSGOSIDAD	RELLENO	ALTERACION		Tu	Ca	Ta	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q	ESR	LUZ	Dimension equivalente (Dij)	F1	F2	F3
Escala: 1:200 MPa 1 - > 200 MPa 2 - 100-200 MPa 3 - 50-100 MPa 4 - 25-50 MPa 5 - < 25 MPa										Escala: 1:20 m 1 - > 20 m 2 - 10-20 m 3 - 5-10 m 4 - 2-5 m 5 - < 2 m										Escala: 1:20 m 1 - > 20 m 2 - 10-20 m 3 - 5-10 m 4 - 2-5 m 5 - < 2 m									
1	502142	858498	4237	135	20	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	36	32	31	6	3	3	3	5	1,08				
2	502142	858498	4237	135	20	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	36	32	31	6	3	3	3	5	1,08				
3	502142	858498	4237	135	20	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	36	32	31	6	3	3	3	5	1,08				
4	502142	858498	4237	135	20	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	36	32	31	6	3	3	3	5	1,08				
5	502142	858498	4237	135	20	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	36	32	31	6	3	3	3	5	1,08				
6	502141	858498	4237	167	12	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	36	32	31	6	3	3	3	5	1,08				
7	502141	858498	4237	167	12	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	36	32	31	6	3	3	3	5	1,08				
8	502140	858498	4237	138	35	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	36	32	31	6	3	3	3	5	1,08				
9	502140	858498	4237	138	35	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	36	32	31	6	3	3	3	5	1,08				
10	502140	858498	4237	138	35	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	36	32	31	6	3	3	3	5	1,08				
11	502140	858498	4237	138	35	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	36	32	31	6	3	3	3	5	1,08				
12	502140	858498	4237	138	35	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	36	32	31	6	3	3	3	5	1,08				
13	502140	858498	4237	138	35	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	36	32	31	6	3	3	3	5	1,08				
14	502140	858498	4237	138	35	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	36	32	31	6	3	3	3	5	1,08				
15	502140	858498	4237	138	35	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	36	32	31	6	3	3	3	5	1,08				
16	502140	858498	4237	138	35	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	36	32	31	6	3	3	3	5	1,08				

3, 3 * JV

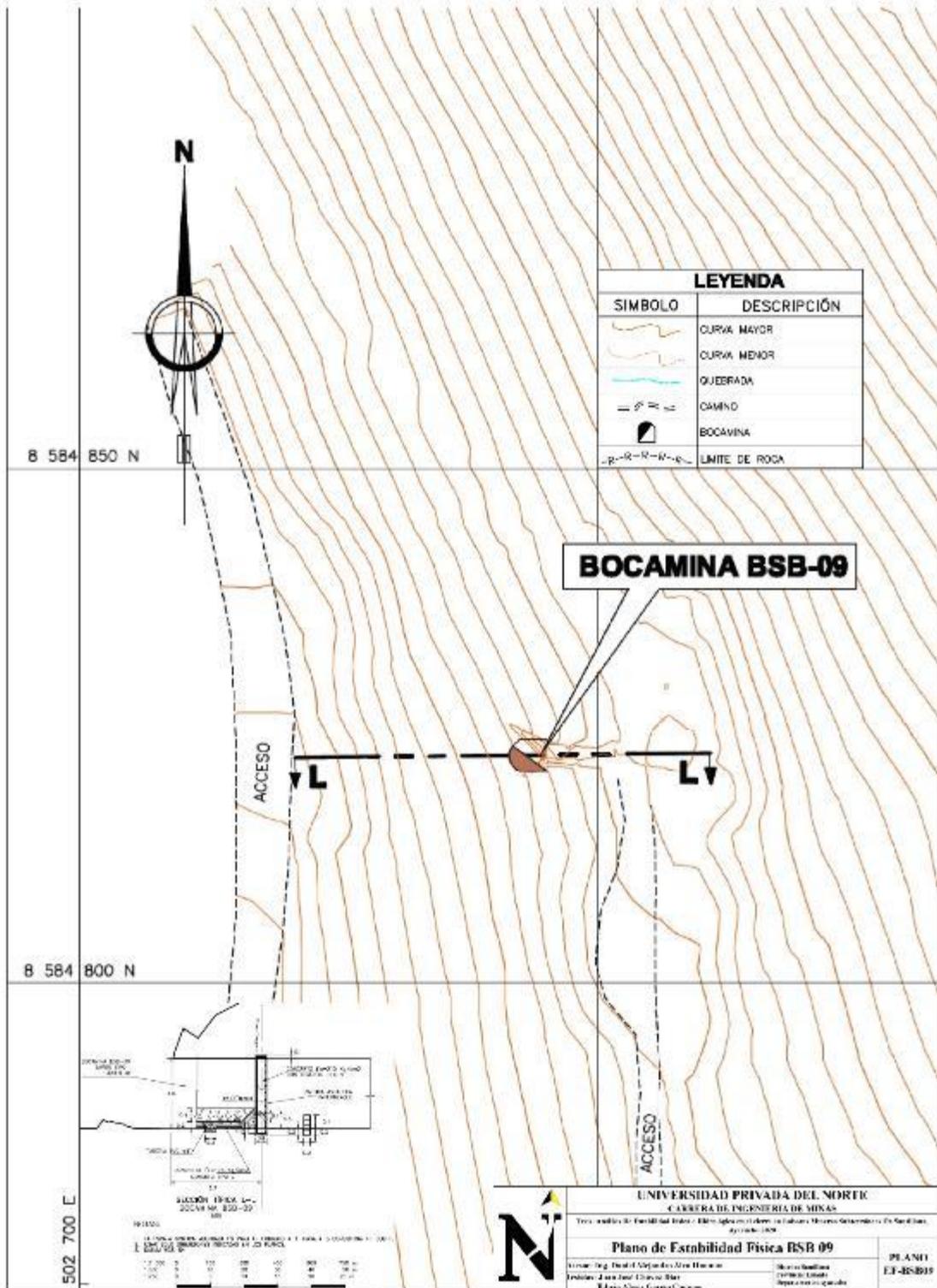
Plano De Estabilidad Hidrológica Bsb 09



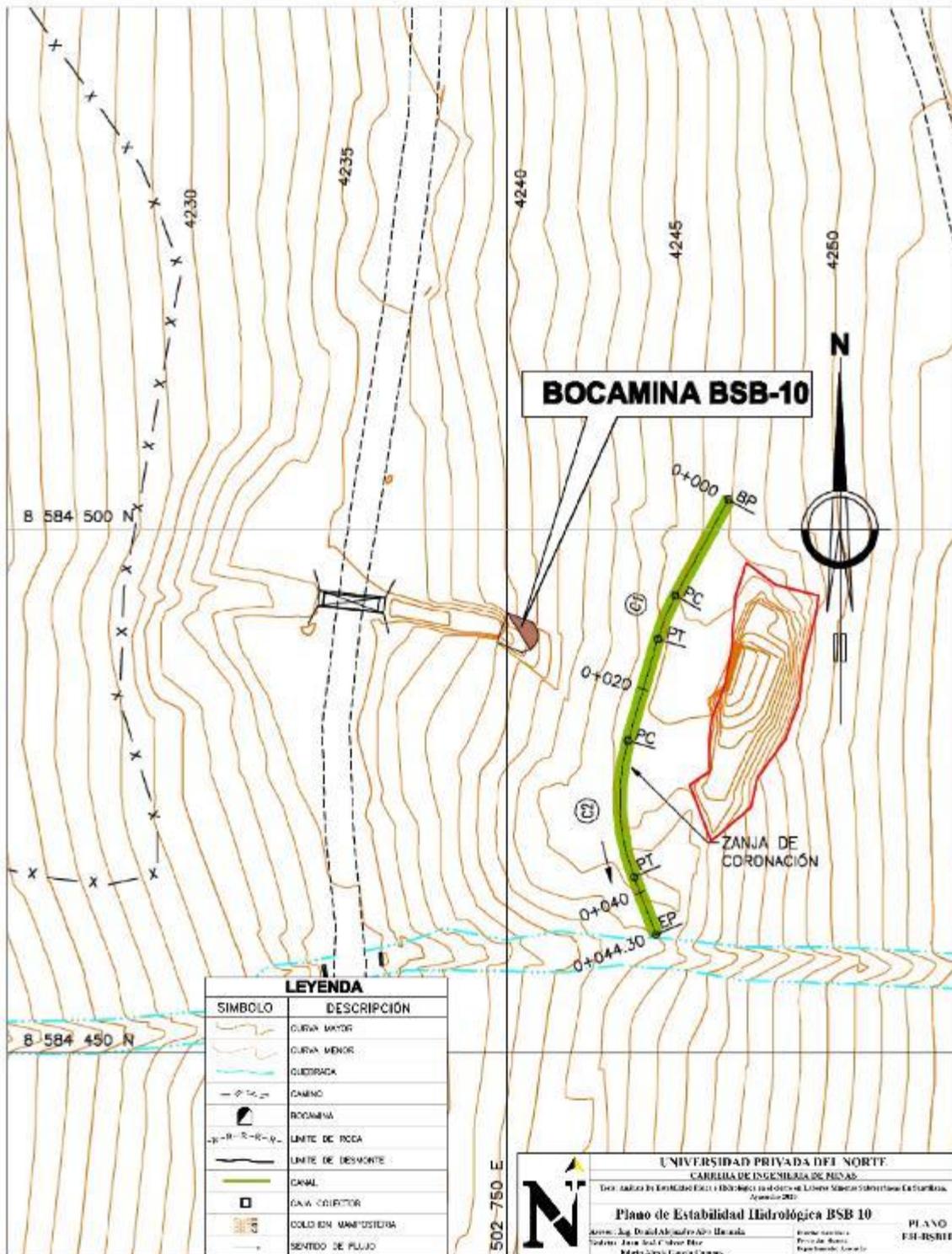
Plano De Estabilidad Física Bsb 10



Plano De Estabilidad Física Bsb 09



Plano Hidrológico



Fotos de campo





