



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“DISEÑO DE ESTABILIDAD PARA LAS CHIMENEAS CHSB01, CHSB02, CHSB03, CHSB03-1, EN EL CIERRE DE UNA UNIDAD MINERA, HUANCVELICA, 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Walter Tafur Tafur

Edwin Rafael Rabanal Izquierdo

Asesor:

Ing. M.Sc. Daniel Alejandro Alva Huamán

Cajamarca - Perú

2021

DEDICATORIA

La presente tesis la dedicamos a nuestras familias y amigos , 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 y por ultimo agradecer a nuestros verdaderos amigos con los que compartimos todos estos años juntos.

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

DEDICATORIA.....	2.
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE FIGURAS.....	5
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
RESUMEN	7
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1. Realidad problemática	8
1.2. Formulación del problema	13
1.3. Objetivos.....	13
1.4. Hipótesis	13
CAPITULO II. METODOLOGÍA.....	14
2.1. Tipo de investigación.....	14
2.2. Población.....	14
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	14
2.4. Ubicación	17
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	19
4.1. Discusión	50
4.2. Conclusiones	51
REFERENCIAS.....	52

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Ubicación de la unidad minera	17
Tabla 2. Coordenada	19
Tabla 3. Columna Estratigráfica de la zona de investigación	28
Tabla 4. Resumen de la caracterización geomecánica de chimeneas	34
Tabla 5. Costos de estabilidad y cierre de chimeneas.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Formato de estación geomecánica.....	16
Figura 2. Ubicación de las Chimeneas dentro de la unidad minera en Huancavelica	17
Figura 3. Laderas, mesetas y lomadas	21
Figura 4. Geomorfología de la zona de investigación	22
Figura 5. Valles glaciares y cubetas lacustres.....	22
Figura 6. Rocas areniscas del grupo Goyllarizquisga.....	24
Figura 7. Formación Chulec	25
Figura 8. Formación Santa Bárbara	26
Figura 9. Depósitos glaciares.....	27
Figura 10. Mapa geológico	29
Figura 11. Vista en planta chimenea CHSB-1	35
Figura 12. Sección típica A-A	36
Figura 13. Vista en planta chimenea CHSB-2	37
Figura 14. Sección típica B-B	38
Figura 15. Vista en planta chimenea CHSB3	39
Figura 16. Sección típica C-C.....	40
Figura 17. Vista en planta chimenea CHSB-3-1.....	41
Figura 18. Sección típica D-D	42
Figura 19. Detalle típico Tipo I.....	43
Figura 20. Detalle típico - Sección A-A	44
Figura 21. Detalle típico - Sección B-B.....	45
Figura 22. Detalle típico - Sección B-B.....	46
Figura 23. Detalle típico - Sección transversal	47
Figura 24. Estabilización geoquímica.....	48

RESUMEN

Esta investigación tuvo por objetivo realizar el diseño de estabilidad para las chimeneas CHSB1, CHSB2, CHSB3, CHSB3-1, en el cierre de una unidad minera en Huancavelica. La investigación fue aplicada, descriptiva y cuantitativa; los instrumentos utilizados fueron el formato de toma de datos de campo. El entorno geológico de la zona de investigación, está conformada por unidades litoestratigráficas del Grupo Pucará (JTR-p), Grupo Goyllarisquizga (Ki- g), Formación Chayllacatana (Ki-cha), Formación Chulec (Ki-ch), Formación Casapalca (KP-c), Formación Santa Bárbara (Nm-sb), Depósitos cuaternarios (Q), además de, rocas ígneas (Nm-da-rd), compuesto por rocas riódacíticas de textura porfirítica. De la caracterización geomecánica se obtuvo para las 4 chimeneas RMR, GSI y Q de Barton, macizos rocosos de regular calidad. El cierre consistirá en colocar vigas de concreto armado de 0,20 m de espesor por 0,20 m de altura, una seguida de la otra, logrando formar una losa de concreto formada por la unión de las vigas, se colocará una cobertura impermeable de 0,20 m, seguida de material inerte de los costados para recuperar la fisiografía original y 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 pasivos ambientales.

Palabras claves: Chimeneas, estabilidad.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La etapa de cierre de Minas tiene como objetivo principal, implementar actividades que permitan garantizar a largo plazo la estabilidad física y geoquímica de las instalaciones mineras. Ello implica asegurar la rehabilitación del terreno y que los cuerpos de agua tengan una calidad adecuada, de esta forma se minimizarán los riesgos y los peligros a la salud de las personas y se protegerá la integridad de las poblaciones (MINEM, 2017).

Una chimenea es una excavación vertical realizada desde una labor inferior en cota a una superior o en superficie. Puede estar destinada a la extracción del mineral, el descenso y el ascenso de los materiales. En la chimenea pueden ir canalizados los cables eléctricos, las tuberías de conducción de agua y aire comprimido; como asimismo efectuar la ventilación de otras labores subterráneas (SERNAGEOMIN, 2018).

Los métodos de construcción de chimeneas generalmente están relacionados al sistema de minado convencional y/o mecanizado. En base a estas consideraciones se tiene:

Método convencional de construcción: Realizado con puntales de avance, plataforma de madera y máquina perforadora Stoper.

Se da esta denominación cuando la construcción se efectúa colocando puntales de línea de avance sobre el cual se tienden tablas que sirven de plataforma. En este caso se utiliza para la perforación una sola máquina neumática Stoper, barrenos integrales de 4 y 6 pies y brocas de hasta 40 mm de diámetro.

La longitud de la chimenea en promedio es de 20 a 50 m pudiéndose construir chimeneas de mayor longitud, pero deberán ser gemelas o mellizas por razones de seguridad.

Por otro lado, la sección es simple o doble, generalmente sobre estructura mineralizada y su inclinación puede ser vertical o inclinada.

El suministro de aire comprimido es con mangueras de hasta 30 m de 1" de diámetro y cuando la altura o longitud de la chimenea supera los 30 m se instala tuberías de 1".

El suministro de agua es con manguera de 1/2" de diámetro de longitud de hasta 30 m y cuando la longitud de la chimenea es mayor también se instala tuberías de 1 1/2".

Los tubos de aire y agua son protegidos con tablas contra el golpe que puedan sufrir por las rocas producto de la voladura.

La manguera de aire se deja protegida a 5,0 m del tope de la chimenea a fin de poder ventilar luego de realizado el disparo.

Cuando no se tiene agua suficiente para la perforación y/o la presión no es suficiente se utiliza botellas de agua, que son recipientes metálicos ubicados en la galería, donde se llena de agua y luego se conecta la manguera de aire comprimido para impulsar hasta la perforadora.

Método mecanizado de construcción: En este caso la construcción de una chimenea puede realizarse con: plataforma trepadora y con equipo Raise Borer.

Las actividades de cierre contemplan tres tipos de cierre: a. Cierre temporal: Cuando por decisión de la empresa se suspende temporalmente las actividades por razones operacionales o económicas. b. Cierre progresivo: Comprende el cierre de los componentes ya no útiles para la operación paralelamente al desarrollo de las actividades productivas o de exploración. c. Cierre final: Cuando todas las operaciones mineras terminan en forma definitiva.

Los objetivos de cierre de chimeneas es evitar el ingreso de aguas de escorrentía que puedan generar procesos de inestabilidad y/o favorecer la generación de drenaje ácido;

impedir el ingreso de aire para evitar la generación de drenaje ácido. Dar protección a las personas y animales que transitan por la zona. Restaurar el paisaje de la zona.

El cierre de las chimeneas depende del tamaño de estas, de su ubicación y si están comunicadas con otras labores subterráneas o superficiales. Deben ser rellenadas y taponadas para evitar accidentes de personas y/o animales que transiten por la zona. Se puede utilizar alguno de los tres métodos de cierre de chimeneas:

Las tapas de acero, se pueden emplear para un cierre temporal. Su fabricación es fácil al igual que su instalación, pero no son perdurables en el tiempo, permitiendo el ingreso de agua y aire, y pueden ser retiradas por terceros con otros fines.

El método de las losas de concreto cumple con los objetivos de cierre y es durable.

El uso de vigas prefabricadas de concreto es un método que cumple con los objetivos de cierre. Su construcción e instalación es relativamente sencilla.

Ortiz y Canchari (2016), Analizaron los diferentes factores que influyen en el espaciamiento de niveles y chimeneas. Algunos de estos factores comunes a todas las operaciones mineras que influyen en el espaciamiento de niveles son: Características del mineral y de la roca encajonante, condiciones económicas y la posibilidad de descubrir mineral en profundidad. Para el caso de chimeneas los factores de mayor influencia son las consideraciones geológicas, el método de minado y aspectos económicos. Se consideró que variables específicas cuantificables más importantes son el mantenimiento de chutes entre niveles y chimeneas, cuyo costo se incrementa con el tiempo de uso y el volumen de material que pasa por ellos o sea el espaciamiento y también la eficiencia y seguridad traducido en costo incremental con el espaciamiento.

Combinando variables se obtuvo dos gráficos que muestran el espaciamiento de niveles vs. costo incremental por tonelada de mineral en mantenimiento de chutes y espaciamiento de niveles vs. costo incremental por pérdida de eficiencia y seguridad.

Esta información más otros costos permitió obtener un gráfico que nos da el espaciamiento óptimo para el costo mínimo de desarrollo de niveles. Similarmente se generó el espaciamiento entre chimeneas vs. el costo por tonelada de mineral extraído.

El espaciamiento óptimo corresponde al costo mínimo unitario en la curva correspondiente.

Quispe (2020) Evaluó las características geomecánicas del macizo rocoso para determinar el diseño de sostenimiento a utilizar en el Proyecto Chimenea Alimak, en Ayacucho. Empleó la clasificación geomecánica RMR de Bieniawski, GSI de Hoek y el enfoque del gráfico-múltiple. el RMR para cada unidad geotécnica determinó 35% tipo de roca II-B, 39% tipo de roca III-A, 14% tipo de roca III-B, 6% tipo de roca IV-A y 4% tipo de roca IV-B, para el tramo de excavación del Proyecto Chimenea Alimak mediante el logueo geomecánico del sondaje diamantino. Llegando a la conclusión, que para el comportamiento geomecánico de la excavación de la Chimenea Alimak, se estimaron los siguientes riesgos principales: 45% generación de cuñas inestables, 30% menor desprendimiento y/o estallido de rocas, 17% hundimiento moderado asociado a roca tipo IV y 8% squeezing moderado/severo asociado a macizos rocosos tipo IV.

Flores (2018) concluye que, las rocas que constituyen el macizo rocoso, en el que se construyó la chimenea El Quinde, en Ecuador, son rocas de origen metamórfico y volcánico pertenecientes a la Cordillera Occidental, donde la inestabilidad de la chimenea es causada por la gran cantidad de familias de discontinuidades presentes en el área, mismas que generan roturas por cuña y roturas planares, además, a que los esfuerzos radican en la zona de contacto lo cual tiende a relajar sus paredes, mediante el desprendimiento de material no condicionado. recomienda la construcción de una nueva chimenea con un sostenimiento mínimo para el avance. Para controlar la inestabilidad de

la nueva chimenea se procede a la aplicación del método GIN para consolidar e impermeabilizar evitando los diferentes tipos de roturas que se puedan presentar.

Carranza y Quispe (2015) menciona que, el uso del sistema PEM (plataformas y escaleras metálicas), reduce los costos notablemente en la ejecución de chimeneas, hemos demostrado con cifras reales, que este sistema es de menor costo que el sistema convencional con madera reduciendo los costos hasta un 23% en pocos días de implementado.

Yucás (2015) diseñó el sistema de excavación de una chimenea mediante el sistema de levantamiento mecánico Alimak, para el traspaso de material mineralizado, en el área minera “Selva Alegre 1”, su metodología fue la toma de datos geotécnicos en el tramo franqueado de la chimenea, ensayos de resistencia a la compresión e interpretación de resultados. Demostró la necesidad de utilizar un sostenimiento tanto temporal (durante la excavación) como definitivo (en su funcionamiento).

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el diseño de estabilidad para las chimeneas CHSB01, CHSB02, CHSB03 CHSB03-1, en el cierre de una unidad minera en Huancavelica 2020?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Realizar el diseño de estabilidad para las chimeneas CHSB01, CHSB02, CHSB03 CHSB03-1, en el cierre de una unidad minera en Huancavelica 2020.

1.3.2. Objetivos específicos

- Describir la geología local de la zona de investigación.
- Caracterizar geomecánicamente los macizos de las chimeneas
- Elaborar las secciones de estabilidad física de chimeneas.
- Estimar los costos de estabilidad y cierre de las chimeneas.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis General

Con el estudio se podrá realizar el diseño de estabilidad para las chimeneas CHSB01, CHSB02, CHSB03 CHSB03-1, en el cierre de una unidad minera en Huancavelica 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.

EL diseño es no experimental, debido a que no se manipularán las variables y de corte transversal, ya que, los datos serán tomados en un solo momento.

2.2. Población

La población son todas las chimeneas de las unidades mineras en Huancavelica.

La muestra son las chimeneas CHSB01, CHSB02, CHSB03 y CHSB03-1, en una unidad minera en Huancavelica.

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. Ver figura de formato de estación geomecánica.

Además, se usó el software Dips para el análisis de rotura, ArcGIS y AutoCAD para elaboración de planos.

2.3. 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 chimeneas.

Etapa campo

Se procedió al reconocimiento de las formaciones geológicas, chimeneas y a las estructuras de las mismas.

Se tomaron medidas de las chimeneas.

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 además de las secciones tipo.

GPS		ESTACIÓN GEOMECÁNICA - DATOS DEL MACIZO ROCOSO																					
		Diseño de estabilidad para las chimeneas CHSB01, CHSB02, CHSB03, CHSB03-1, en el cierre de una unidad minera, Huancavelica, 2020															CLIENTE:						
		E. G. N°:			AZIMUT LINEA:			REALIZADO POR: Tafur y Rabanal			FECHA:			HOJA:.....1..... DE.....1.....									
		COORDENADAS (WGS84) E:		N:																			
TIPO	ORIENTACIÓN		FRECUENCIA POR METRO (FF/m)	ESPACIADO (m)	FORMA	LARGO (m)	RELLENO		RUGOSIDAD	ABERTURA (mm)	ALTERACIÓN PARED	AGUA	METEORIZACIÓN	RESISTENCIA Roca Matriz (IRS)	RQD (%) (115 - 3,3 * Jv)	LITOLOGÍA	PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA						
	DIP	DIP DIR					ESP. (mm)	TIPO												J.R.C.			
EG-01	E																						
	D																						
	D																						
LEYENDA																							
Tipo de Estructura				Geometría						Alteración		Agua		Tipo de Relleno		RCS	RQD	0	MASIVO f/m <1				
D	Diaclasa	C	Contacto Litológica	P	Planar	Rugosidad (Rug.)			SA	Sin Alt.	S	Seco	Duro		Espaciamiento Fracturas	Jn	6	BLOCOSO f/m 1-3					
SD	Set de Diaclasas	ES	Estratificación	S	Sinuosa	JRC	0 - 4	S	Suave	LA	Ligera	H	Húmedo	Largo Fracturas	Familias de Discontinuidades								
F	Falla zona de Cizalla	VT	Veta	D	Dentada	JRC	4 - 8	O	Ondulada	MA	Moderada	M	Mojado	Abertura	Jr	2	MUY BLOCOSO f/m 3-10						
ZC	zona de Cizalla	DX	Dique			JRC	8 - 12	LR	Lig. Rugosa	AA	Alta	G	Goteo	Rugosidad	Rugosidad de Discontinuidades								
						JRC	12 - 16	R	Rugosa	DS	Desintegrada	F	Flujo	Relleno	Ja	2	BLOCOSO PLEGADO O FALLADO f/m 10 - 33						
						JRC	16 - 20	M	Muy Rugosa					Alteración	Alteración de Discontinuidades								
														Efecto del agua	Jw	0.6	DESINTEGRADO f/m > 33						
Resistencia Roca Matriz (IRS)(Mpa)	R0	Se marca con la uña (0,25-1,0)		R2	Al golpear con la punta del martillo la roca se hacen ligeras marcas (5-25)			R4	Se requiere más de un golpe de martillo para fracturarla (50-100)		R6	Al golpear con el martillo solo saltan esquirlas (>250)		Corrección por orientación de las discontinuidades	J	Presencia de Agua							
	R1	Al golpear con la punta del martillo la roca se desmenuza (1-5)		R3	Con un golpe fuerte de martillo puede fracturarse (25-50)			R5	Se requiere más de un golpe de martillo para fracturarla (100-250)			Roca Clase	SRF - Factor Reducción por Tensiones	2.5	FOLIADO/LAMINADO/CIZALLADO f/m > 100								
														RMR 89'	Q	0.00	GSI						

Figura 1: Formato de estación geomecánica

+

2.4. Ubicación

Tabla 1. Ubicación de la unidad minera

DISTRITO	PROVINCIA	DEPARTAMENTO
Santa Bárbara	Huancavelica	Huancavelica

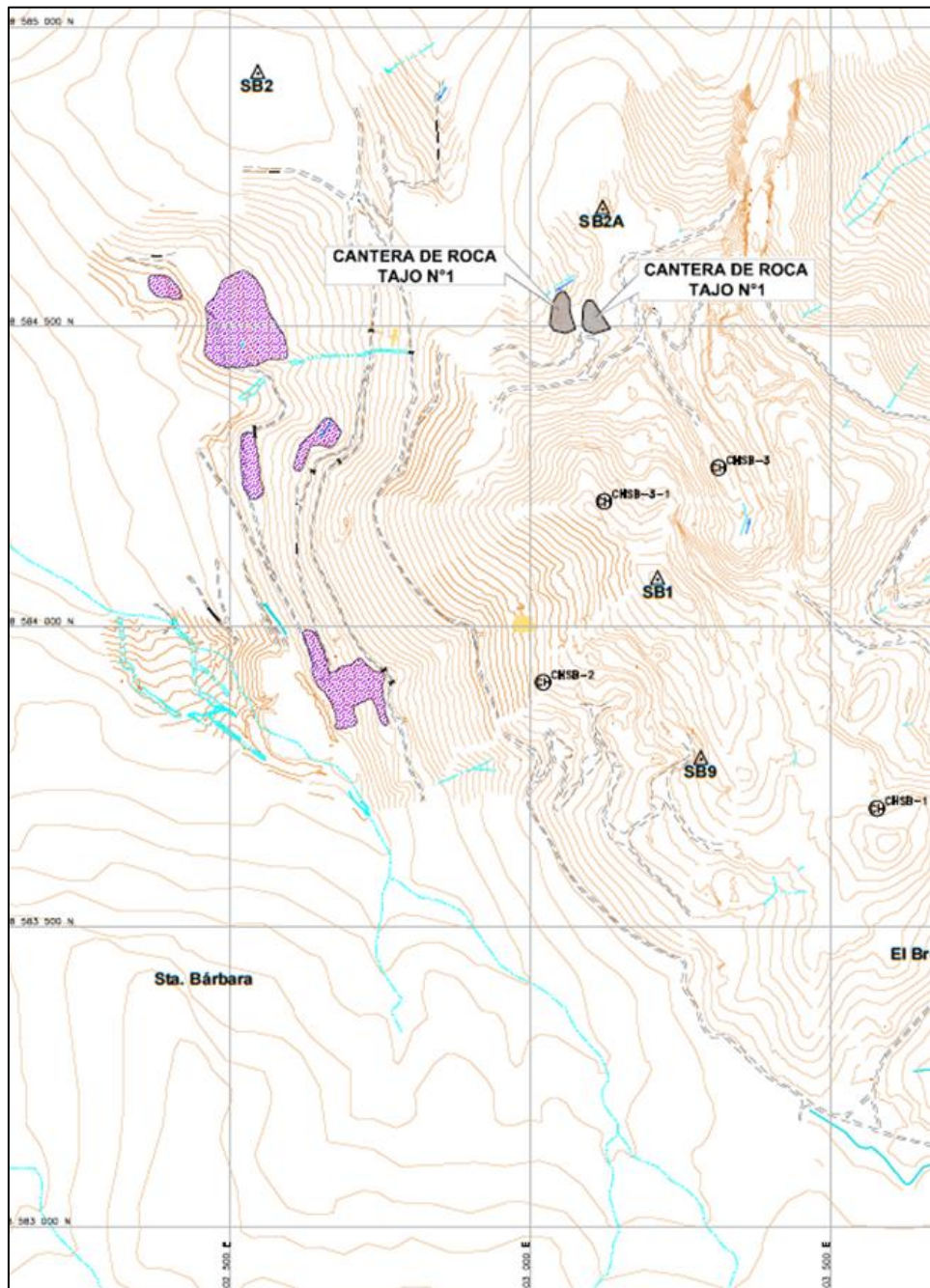


Figura 2. Ubicación de las Chimeneas dentro de la unidad minera en Huancavelica

2.5. Geología de la unidad minera en Huancavelica

2.5.1. Geología regional

La unidad minera de investigación se encuentra al sur-centro del país, al Sur de la capital de la ciudad de Huancavelica, en las estribaciones superiores de la Cordillera Occidental, esta área pertenece a la sub-cuenca del río Ichu y forma parte de la cuenca del río Mantaro.

La geomorfología es resultado de diversos procesos tectónicos, volcanismo, levantamiento de los andes y los efectos de meteorización y erosión.

La zona de investigación está conformada por unidades litoestratigráficas cuyas edades van desde el Mesozoico hasta el Reciente; la columna estratigráfica está 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.

Las deformaciones tectónicas que han afectado a las rocas en el área de la mina, están relacionadas al ciclo evolutivo de la Tectónica Andina, estas estructuras están constituidas por plegamientos, fallas y fracturas.

Este yacimiento está constituido por el mineral cinabrio y otros minerales secundarios, del cinabrio se obtiene el mercurio; los minerales se encuentran en rocas areniscas del grupo Goyllarisquizga, calizas de la formación Chulec y rocas volcánicas de Santa Bárbara.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Características generales de las chimeneas

En la unidad minera existen 4 Chimeneas.

Tabla 2. Coordenada

ZONA	NOMBRE	COORDENADAS UTM		DIMENSIONES (m)		ALTITUD msnm
		NORTE	ESTE	ANCHO	ALTO	
Santa Bárbara	CHSB-01	853696	503577	2,7	2,2	4374,9
	CHSB-02	8583906	503021	Cubierto por material suelto		4332,9
	CHSB-03	8584264	503313	-		4314,1
	CHSB-03-1	8584208	503122	-		4388,9

3.2. Geología local

a) Geomorfología

La unidad minera, se encuentra en las estribaciones superiores y orientales de la Cordillera Occidental, cuyo relieve es resultado de varias fases tectónicas, levantamiento de los andes, manifestaciones de vulcanismo, procesos de geodinámica externa y efectos degradatorios como meteorización y erosión. Las unidades geomorfológicas en el área de la mina, están conformadas por el Valle Interandino del río Ichu y el Relieve Cordillerano.

Valle Interandino del río Ichu

Esta es la unidad geomorfológica más próximo que se halla al Norte del área del proyecto, es una depresión producto de la erosión fluvial del río Ichu, tiene una sección transversal cercana a una “V” con laderas asimétricas, con el fondo de variados anchos, cubiertos por depósitos de variado origen, en algunas márgenes con terrazas. En esta unidad se encuentra la ciudad de Huancavelica.

Relieve Cordillerano

Esta unidad está constituido por múltiples geoformas en su mayoría producto del modelado glaciar a que han estado expuestos durante el Pleistoceno, en esta se encuentran las siguientes sub-unidades:

Cerros, estas geoformas delimitan las micro-cuencas, está conformada por cerros de variados alturas y formas, algunos en forma de pequeñas y discontinúas cadenas con crestas desde agrestes hasta formas regulares; la mayoría presenta huellas de la ablación y erosión glaciar a que estaban sometidos; la mina en el área de Santa Bárbara se ubica en el cerro del mismo nombre y otros importantes son los cerros Tela Orcco, Yanamina, Jatunccasa, etc.

Quebradas, constituyen depresiones de diferentes orientaciones y magnitudes con secciones transversales en forma de "V", algunas con secciones cercanas a una artesa invertida, estas depresiones en su mayoría de corto recorrido tienen origen tectónico, algunas siguen el contacto litológico con erosión diferencial, por estas geoformas drenan las aguas deluviales en su mayoría en forma temporal.

Laderas, constituyen superficies que forman parte de los cerros, delimitan las quebradas, el valle del río Ichu y otras geoformas locales; en su mayoría corresponden a superficies producto de la erosión glaciar, generalmente tienen pendientes de moderados, pronunciados localmente escarpados, en su mayoría están cubiertos de materiales inconsolidados del cuaternario. La mayoría de las labores mineros se hallan en esta subunidad.

Mesetas y lomadas, son pequeñas geoformas locales que se hallan en la intersección de algunas cadenas de cerros y en la cabecera de las quebradas; las lomadas de apariencias sub-redondeadas, parcialmente tapizadas por los depósitos cuaternarios.



Figura 3. Laderas, mesetas y lomadas

Valles glaciares, se encuentran aguas debajo de las quebradas principales, donde las geoformas son pronunciadas y presentan secciones transversales en forma de “U”, algunas con laderas asimétricas, en su mayoría cubiertas por depósitos glaciares, fluvioglaciares y paluviales; por estas geoformas el drenaje se manifiesta en forma permanente.

Cubetas lacustres, constituyen depresiones de variados formas y extensiones donde en periodos pasados se encontraban las lagunas producto de la glaciación en la actualidad parte de estas cubetas contienen lagunas que en la mayoría de casos drenan sus aguas por las quebradas; en el área del proyecto la laguna cercana a las labores es la laguna Suytoccocha, en este mismo sector se hallas de cubetas que almacenaban agua en periodos pasados.



Figura 4. Geomorfología de la zona de investigación

En el área también existen pequeños circos glaciares, estas geoformas antiguas corresponden a la glaciación Pleistocénica, se hallan en forma muy localizada cerca de la cadena de cerros, parcialmente tapizados por depósitos glaciares.



Figura 5. Valles glaciares y cubetas lacustres

b) Lito-estratigrafía y rocas ígneas

Las áreas de las minas Santa Bárbara y Yanamina, están conformadas por unidades litoestratigráficas cuyas edades van desde el Mesozoico hasta el Reciente; la columna estratigráfica está compuesta por las siguientes unidades:

Grupo Pucará (JTR-p)

Este grupo ocurre en forma discontinua al Norte del área de estudio y en ambas márgenes del valle del río Ichu, cerca de la ciudad de Huancavelica, en estos lugares sobreyace a las unidades del Cretáceo y está cubierto parcialmente por las rocas volcánicas y depósitos cuartarios; 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 buzan en dirección hacia el Este.

Grupo Goyllarisquizga (Ki- g)

Este grupo ocurre en forma discontinua al Norte y Noreste de la mina, así como al Sureste del área de la mina, en contacto con las rocas del grupo Pucará y rocas de la formaciones Chayllacatana, Chulec y parcialmente cubiertos por los depósitos cuartarios, localmente forman relieves pronunciados consecuencia de la erosión diferencial. La litología corresponde a areniscas cuarzosas de grano medio a grueso, de colores gris claras a gris marrones hasta gris anaranjados en algunas áreas como Yanamina con variado grado de alteración, los estratos tiene variado espesor, se alternan en forma muy localizado con estratos de lutitas y limo arcillitas de pequeño espesor y estratos carboníferos; las areniscas presentan estratificación cruzada.



Figura 6. Rocas areniscas del grupo Goyllarizquisga

Formación Chayllacatana (Ki-cha)

Esta unidad ocurre al Norte y Este del área de la mina, con cierta continuidad en el cerro Tela Orcco, 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, muy susceptibles a la meteorización y erosión.

Estas rocas son muy susceptibles al intemperismo y erosión generando suelos descompuestos de colores semejantes. Sobreyace concordantemente a las rocas del Goyllarizquisga y subyace a las rocas de la formación Chulec.

Formación Chulec (Ki-ch)

Las rocas de esta unidad ocurren en forma dispersa en la mina, así como en diferentes sectores del área de la mina; presentan relieves muy pronunciados y abruptos; sobreyace probablemente a las rocas del grupo Goyllarizquisga y volcánicos Chayllacatana, se halla

parcialmente en contacto con las rocas de la formación Santa Bárbara y está cubierto localizadamente por los depósitos cuartarlos.

Está constituida por lutitas calcáreas, luego grada a margas interestratificadas con horizontes de calizas de color amarillento y espesores menores a 0,50m cerca del tope de la unidad prevalece margas en estratos más gruesos e intercalación de margas calcáreas con nódulos y colores gris azulados.



Figura 7. Formación Chulec

Formación Caspalca (KP-c)

Esta unidad aflora en forma dispersa en el área de la mina, está constituida por lutitas rojas con intercalaciones de conglomerados y areniscas rojas; contiene arcillas, yeso y carbonatos.

Las areniscas se encuentran intercaladas con limo-arcillitas en capas gruesas y horizontes delgados de lodolitas; también ocurren niveles delgados de calizas con intercalación de lodolitas; en conjunto tienen color rojizo.

Sobreyace discordantemente a las calizas de Chulec y está cubierto discordantemente por los volcánicos de Santa Bárbara y depósitos cuaternarios.

Formación Santa Bárbara (Nm-sb)

Constituye un complejo de centros volcánicos, con un ciclo inicial eruptivo que ha depositado una secuencia de tobas piroclásticas brechoides, seguido por un ciclo efusivo que ha depositado grandes volúmenes de derrame de brechas y lavas.

En el área de la mina está constituido por tobas lapillíticas masivas (ignimbritas) de color rosado amarillento a blanquecino, que constituye una sucesión de flujos piroclásticos litológicamente monótonos, de composición riodacítica y espesor 80m.

Yace discordantemente sobre las calizas Pucará y está parcialmente cubierta por los depósitos cuaternarios.



Figura 8. Formación Santa Bárbara

Depósitos cuaternarios (Q)

Estos depósitos se encuentran tapizando a las rocas anteriormente descritas; su origen, composición, propagación y espesor varía de un lugar a otro, los principales depósitos que ocurren en el área son los siguientes:

Depósitos glaciares (Q-gl)

Se encuentran tapizando a las formaciones rocosas, con variado grado de propagación, espesor, provienen de los procesos de ablación y erosión glaciaria que han estado afectando las rocas durante el Pleistoceno; inicialmente se han acumulado en forma de morrenas, que contienen una mezcla de gravas, arenas con variable porcentaje de finos; contiene como inclusión fragmentos de roca de diferentes dimensiones desde el tamaño de cantos hasta bloques, en su mayoría de naturaleza volcánica y formas subangulosos.



Figura 9. Depósitos glaciares

Depósitos fluvio-glaciares (Q-fg):

Constituyen los materiales de origen glaciario que han sido transportados por las aguas meteóricas en forma local y que se hallan en áreas o lugares de suave pendiente y/o en las áreas de las cubetas, fondo de algunas depresiones y quebradas; en su composición predominan suelos granulares con regular porcentaje de finos en forma de mezclas de gravas con arenas con finos e inclusión en variable porcentaje de fracciones grandes; los granos y partículas tienen formas subangulosas hasta subredondeadas.

Depósitos tecnógenos (Q-te):

Constituyen los materiales acarreados por la actividad del hombre; en el área de la mina está conformado por los Botaderos de desmonte, materiales de relleno, etc. Estos depósitos están conformados por suelos de diferente naturaleza y en el área de la mina en los botaderos las partículas y granos de roca contienen diferentes minerales y en porcentajes muy variables. Los depósitos tecnógenos se hallan acumulados cerca de las labores y en áreas preestablecidos como en el caso de los Depósitos de Relaves, Botaderos de desmonte, etc.

Rocas ígneas (Nm-da-rd):

Estas rocas intruyen a las rocas de la formación Chulec, en forma de un pequeño stock subvolcánico, que origina una aureola de metamorfismo de contacto en las rocas adyacentes y está compuesto por rocas riodacíticas de textura porfirítica, ocurre localmente en la ladera inferior de la margen derecha del valle del río Ichu próximo a Huancavelica.

Tabla 3. Columna Estratigráfica de la zona de investigación

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITO- ESTRATIGRÁFICAS	ROCAS ÍGNEAS
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Depósito tecnógeno (Q-te)	
			Depósito deluvial (Q-de)	
	NEOGENO	PELISTOCENO	Depósito palustre (Q-pa)	
			Depósito fluvio-glaciar (Q-fg)	
			Depósito glaciar (Q-gl)	Stock
MESOZOICO	CRETÁCICO	SUPERIOR	Formación Santa Bárbara (Nm-sb)	intrusivo
			Formación Casapalca (KP-c)	(Nm-dar/d)
			Formación Chulec (Ki-ch)	
	JURÁSICO	INFERIOR	Formación Chayllacatana (Ki-cha)	
			Grupo Goyllarisquizga (Ki-g)	
TRIÁSICO	SUPERIOR	Grupo Pucará (JRT-p)		

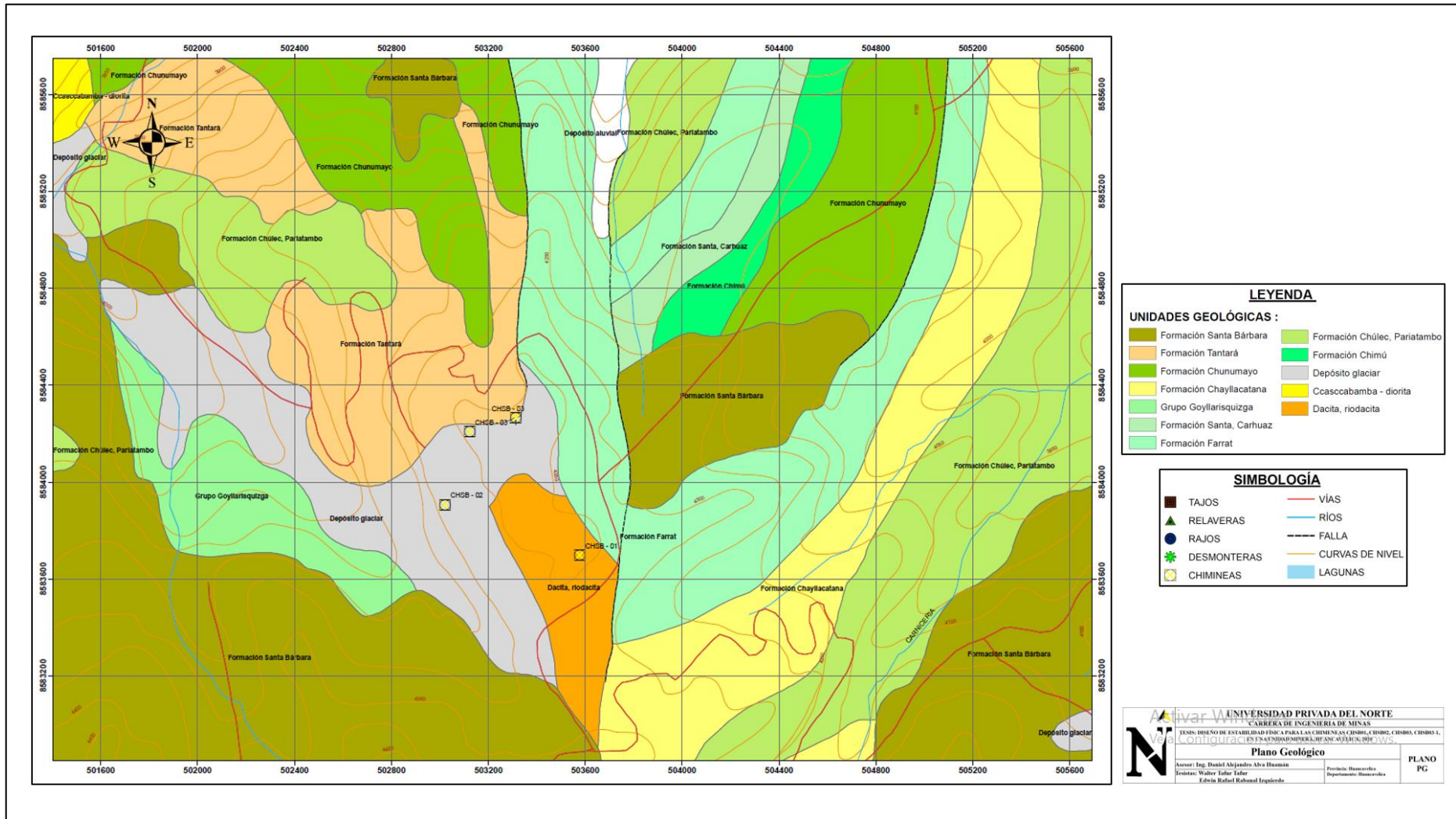
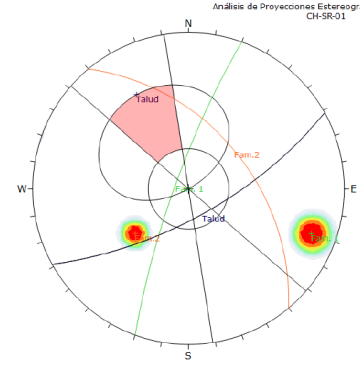


Figura 10. Mapa geológico

3.3. Caracterización geomecánica de la chimenea CHSB1

ESTACIÓN GEOTÉCNICA - DATOS DEL MACIZO ROCOSO																								
Diseño de estabilidad para las chimeneas CHSB01, CHSB02, CHSB03, CHSB03-1, en el cierre de una unidad minera, Huancavelica, 2020										CLIENTE: Nexa Resource														
E. G. N°: 01			AZIMUT LINEA: 185°			REALIZADO POR: W. Tafur/ E. Rabanal					HOJA:.....1..... DE.....1.....													
										COORDENADAS (WGS84) E: 503,577 N: 853,696														
GPS	ESTRUCTURA				GEOMETRÍA					ALTERACIÓN PARED	AGUA	METEORIZACIÓN	RESISTENCIA ROCA MATRIZ (IRS)	RQD (%) (15 - 33 - Jv)	LITOLOGÍA	PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA								
	TIPO	ORIENTACIÓN		FRECUENCIA POR METRO (ff/m)	ESPACIADO (m)	FORMA	LARGO (m)	RELLENO									RUGOSIDAD	ABERTURA (mm)						
		DIP	DIP DIR				ESP. (mm)	TIPO	J.R.C.															
EG-01	E	69	127	3	0.30	D	18	5	B	LR	5	MA	H	W3	R4	79	Caliza margosa del grupo Copacabana con contenido de óxidos de limonitas. La chimenea se encuentra sin acceso definido.							
		73	160																					
		67	154																					
		71	155																					
	D	70	135	4	0.25	D	15	5	B	LR	5	MA	H											
		68	141																					
		73	126																					
	D	75	162	4	0.25	D	12	5	B	LR	5	MA	H											
		46	045																					
		30	012																					
		38	028																					
			43	036																				

LEYENDA														
Tipo de Estructura				Geometría				Alteración		Agua		Tipo de Relleno		
D	Diaclasa	C	Contacto Litológico	P	Planar	Rugosidad (Rug.)			SA	Sin Alt.	S	Seco	Duro	
SD	Set de Diaclasas	ES	Estratificación	S	Sinuosa	JRC	0 - 4	S	Suave	LA	Ligera	H	Húmedo	Blando
F	Falla	VT	Veta	D	Dentada	JRC	4 - 8	O	Ondulada	M A	Moderada	M	Mojado	Sin Relleno (N.A.)
ZC	Zona de Cizalle	DX	Dique			JRC	8 - 12	LR	Lig. Rugosa	AA	Alta	G	Goteo	
						JRC	12 - 16	R	Rugosa	DS	Desintegrada	F	Flujo	
						JRC	16 - 20	M R	Muy Rugosa					

RCS	7	RQD	79	MASIVO	ff/m <1
RQD	17				
Espaciamiento Fracturas	10	Jn	6	BLOCOSO	ff/m 1-3
Largo Fracturas	1	Familias de Discontinuidades			
Abertura	0	Jr	2	MUY BLOCOSO	ff/m 3-10
Rugosidad	3	Rugosidad de Discontinuidades			
Relleno	0	Ja	2	BLOCOSO PLEGADO O FALLADO	ff/m 10 - 33
Alteración	3	Alteración de Discontinuidades			
Efecto del agua	10	Jw	0.6	DESINTEGRADO	ff/m > 33
Corrección por orientación de las discontinuidades	-	Presencia de Agua			
Roca Clase	III - MEDIA	SRF - Factor Reducción por Tensiones	2.5	FOLIADO/LAMINADO/CIZALLADO	ff/m > 100
RMR 89'	51	Q	3.15	GSI	46

Tabla 4. Resumen de la caracterización geomecánica de chimeneas

CHIMENEA	RMR 89'	Q DE BARTON	GSI
CHSB-1	51	3.15	46
CHSB-2	49	3.13	44
CHSB-3	48	3.10	43
CHSB-3-1	50	3.00	55

3.3. Estabilidad Física, de las Chimeneas

Estabilidad Física CHSB-01

La Chimenea CHSB-01, se ubica en una ladera de pendiente moderada con cobertura glaciaria y afloramientos de rocas calizas. Para lograr la estabilidad física de la chimenea CHSB-01 se realizará el acondicionamiento del terreno mediante un perfilado en el perímetro de la chimenea y la construcción de 11 vigas de concreto armado de una longitud 3.5m, ubicado una al lado de la otra, formando así una losa de concreto. EF-CHSB 01

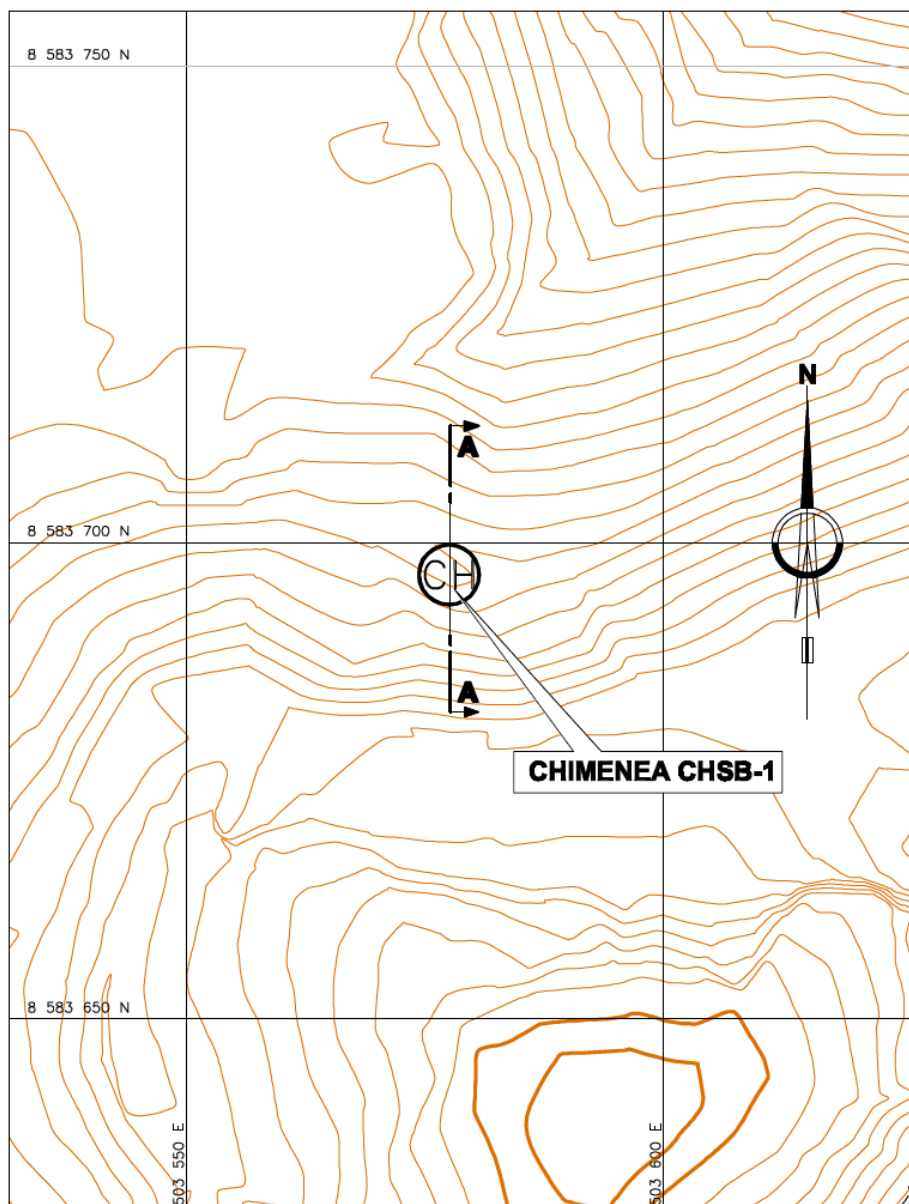


Figura 11. Vista en planta chimenea CHSB-1

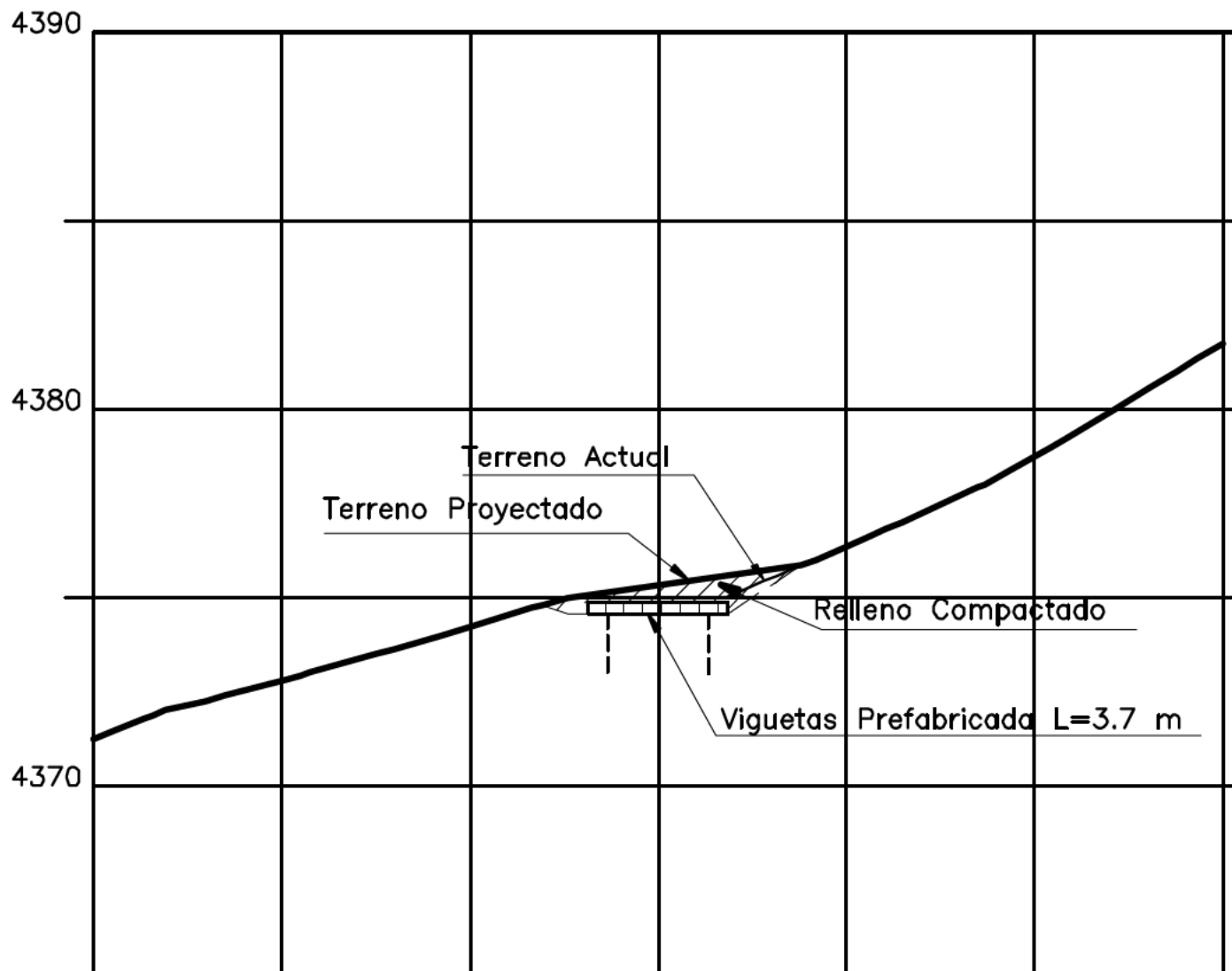


Figura 12. Sección típica A-A

Estabilidad Física CHSB-02

La Chimenea CHSB-02, se ubica en la ladera Nor-occidental del cerro Santa Bárbara, cerca de tajos cuya pendiente es mayor a 20° y está cubierta por depósitos glaciares.

Previo se debe ubicar el ingreso removiendo el material suelto.

Para lograr la estabilidad física de la chimenea CHSB-02 se realizará se realizará el acondicionamiento del terreno mediante un perfilado en el perímetro de la chimenea y la construcción aproximadamente de 40 vigas de concreto armado de una longitud aproximada de 3.5m, una al lado de la otra, formando así una losa de concreto.

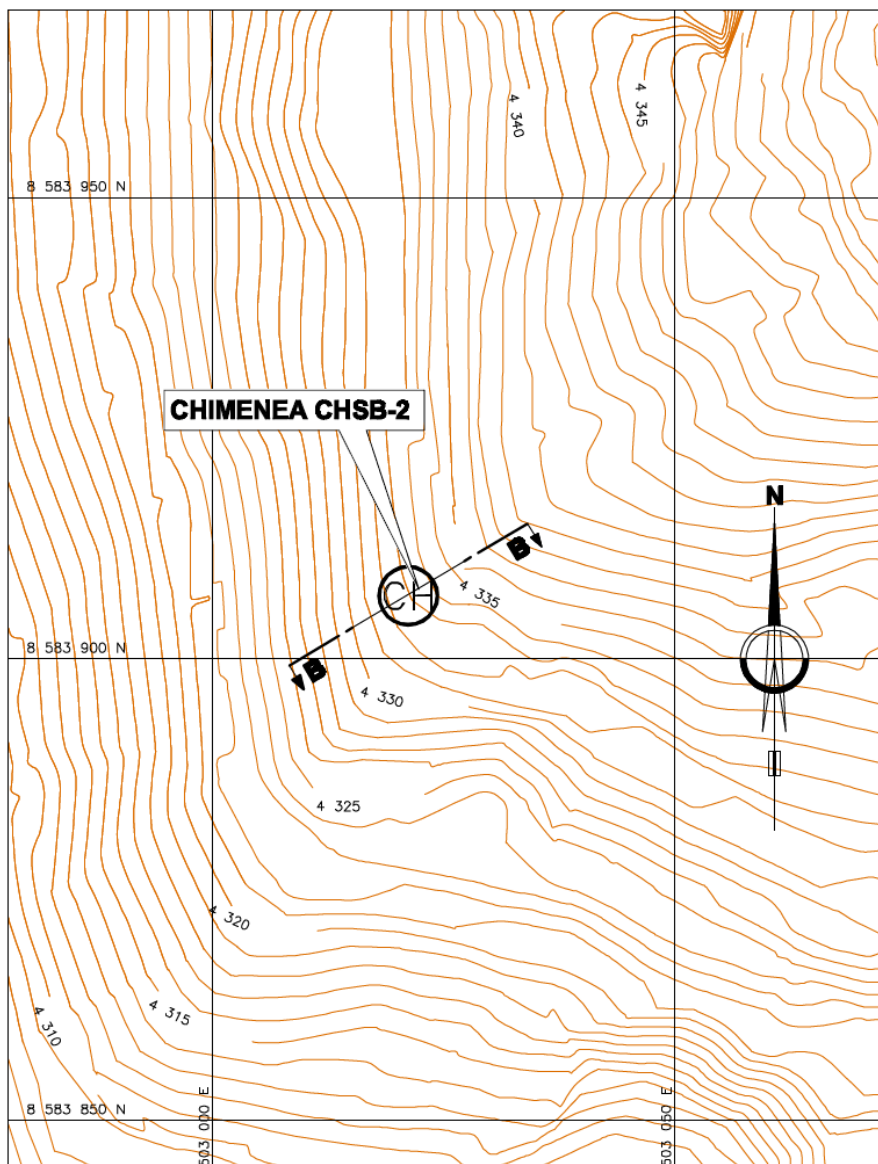


Figura 13. Vista en planta chimenea CHSB-2

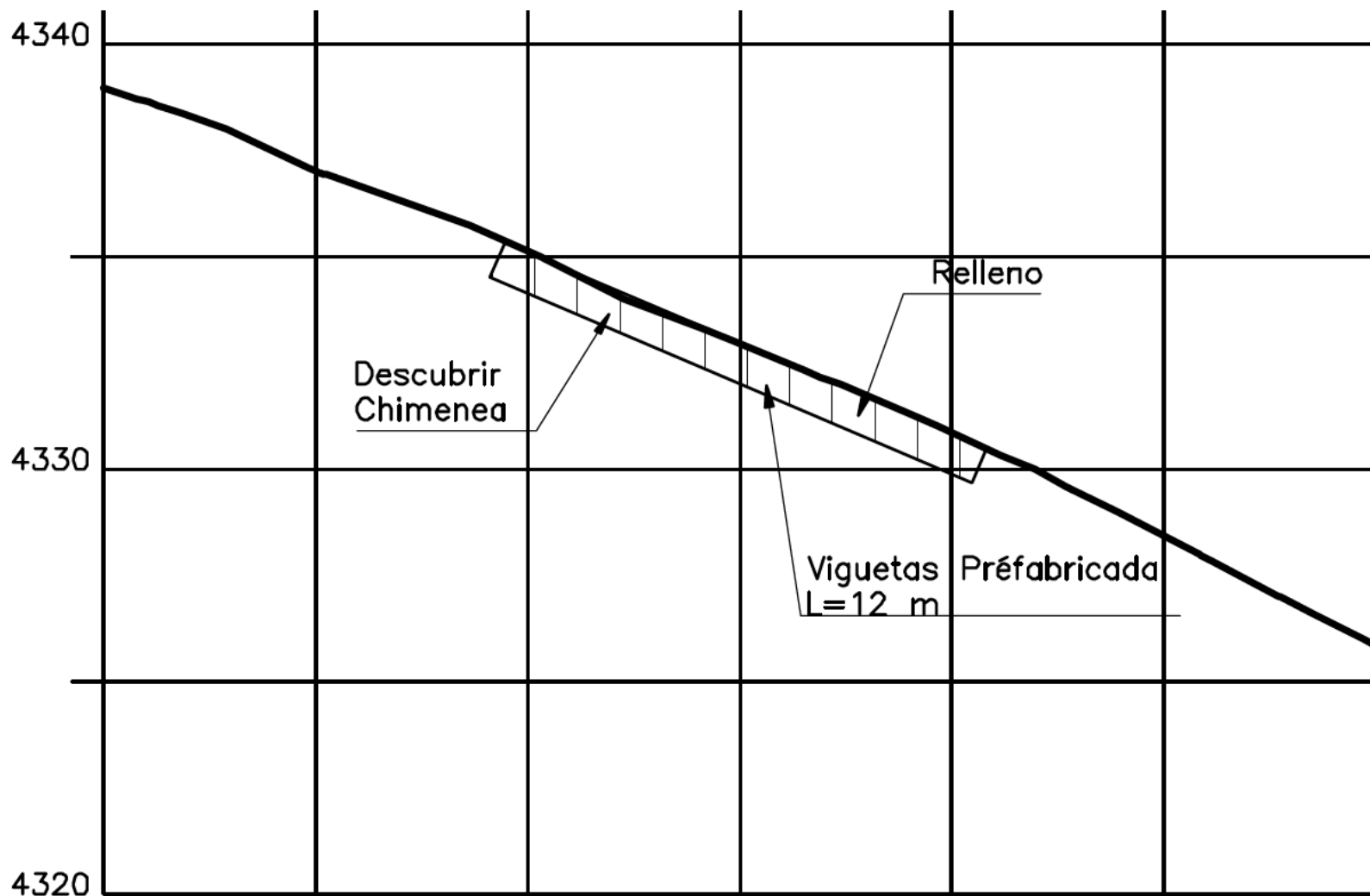


Figura 14. Sección típica B-B

Estabilidad Física de la CHSB-03

La Chimenea CHSB-03, se encuentra en el interior de un Tajo, en la parte inferior, adyacente a un pequeño promontorio rocoso con rocas areniscas cuarzosas que se hallan muy' alteradas y con una coloración gris a gris clara. Previo se debe ubicar el ingreso removiendo el material suelto. Para lograr la estabilidad física de la chimenea CHSB-03 se realizará la construcción de 33 vigas de concreto armado de 0,20m de espesor, 20m de altura y 3,00m de largo, una al lado de la otra, formando así una losa de concreto. Ver plano

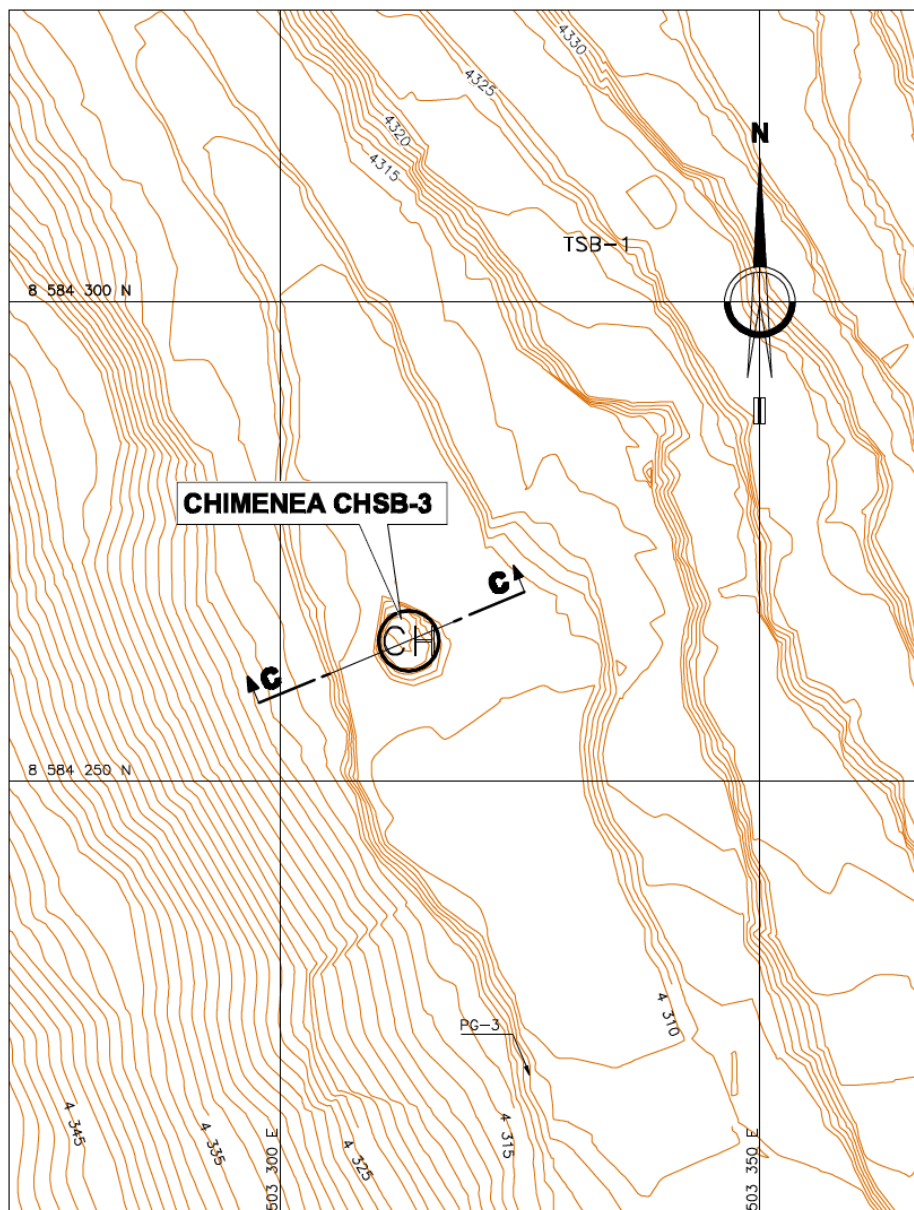


Figura 15. Vista en planta chimenea CHSB3

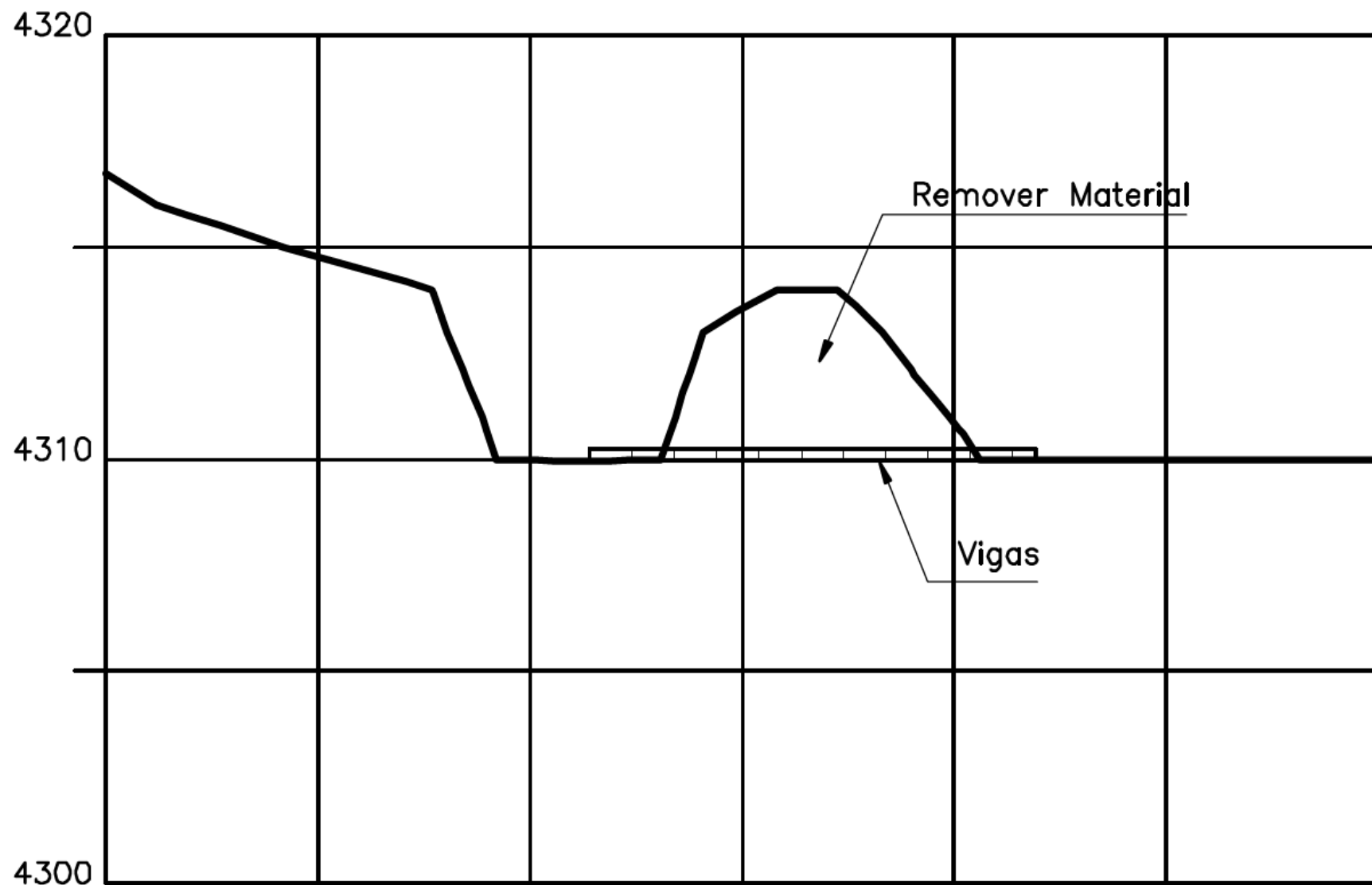


Figura 16. Sección típica C-C

Estabilidad Física CHSB-03-1

La Chimenea CHSB- 03- 1, se encuentra excavada en rocas calizas que se hallan muy alteradas y fracturadas con una coloración gris clara.

Se instaló un cilindro metálico y sobre este y la limpieza del entorno se instalarán las vigas prefabricadas.

Para lograr la estabilidad física de la chimenea CHSB-03-1 se realizará la construcción de 18 vigas de concreto armado, una al lado de la otra, formando así una losa de concreto.

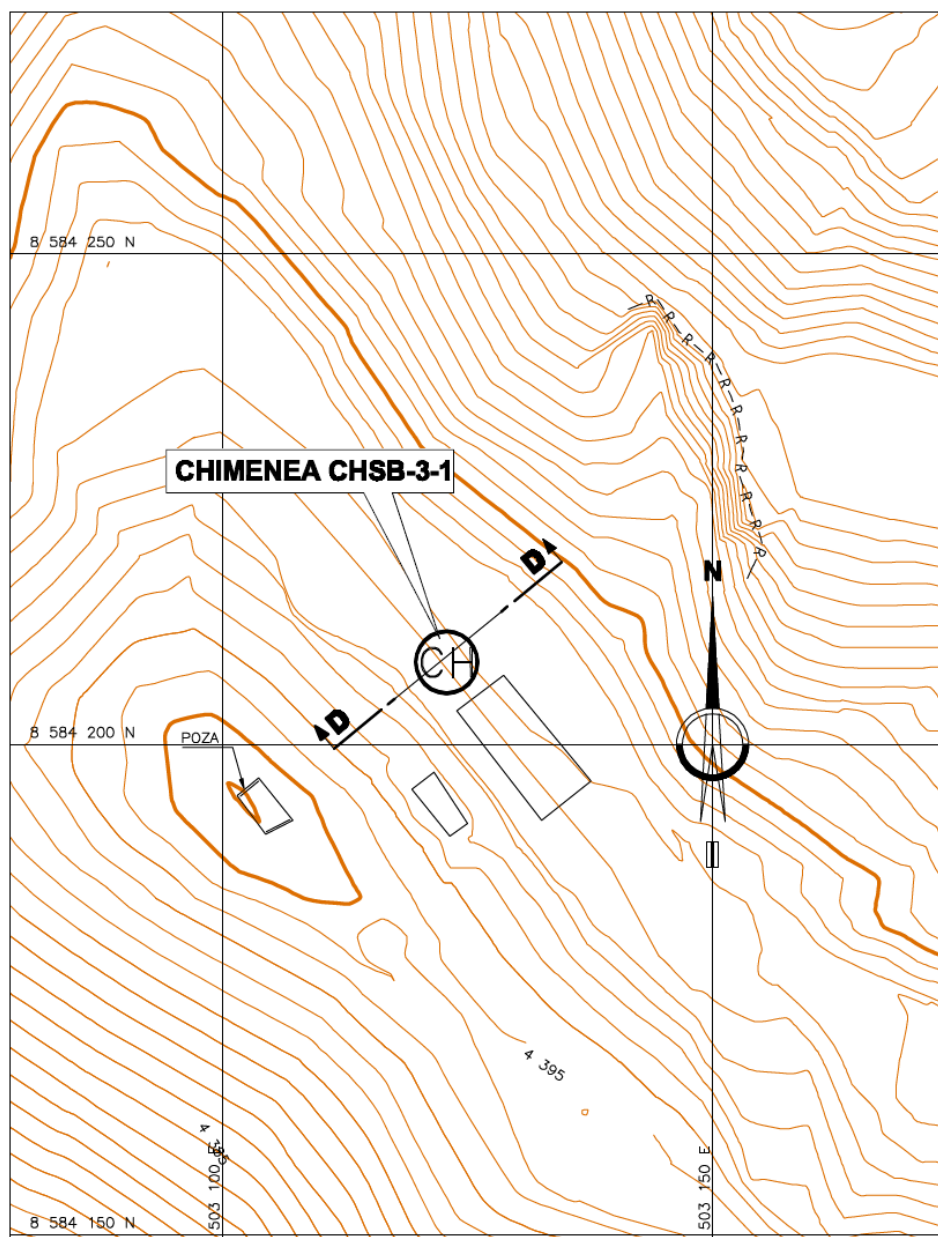


Figura 17. Vista en planta chimenea CHSB-3-1

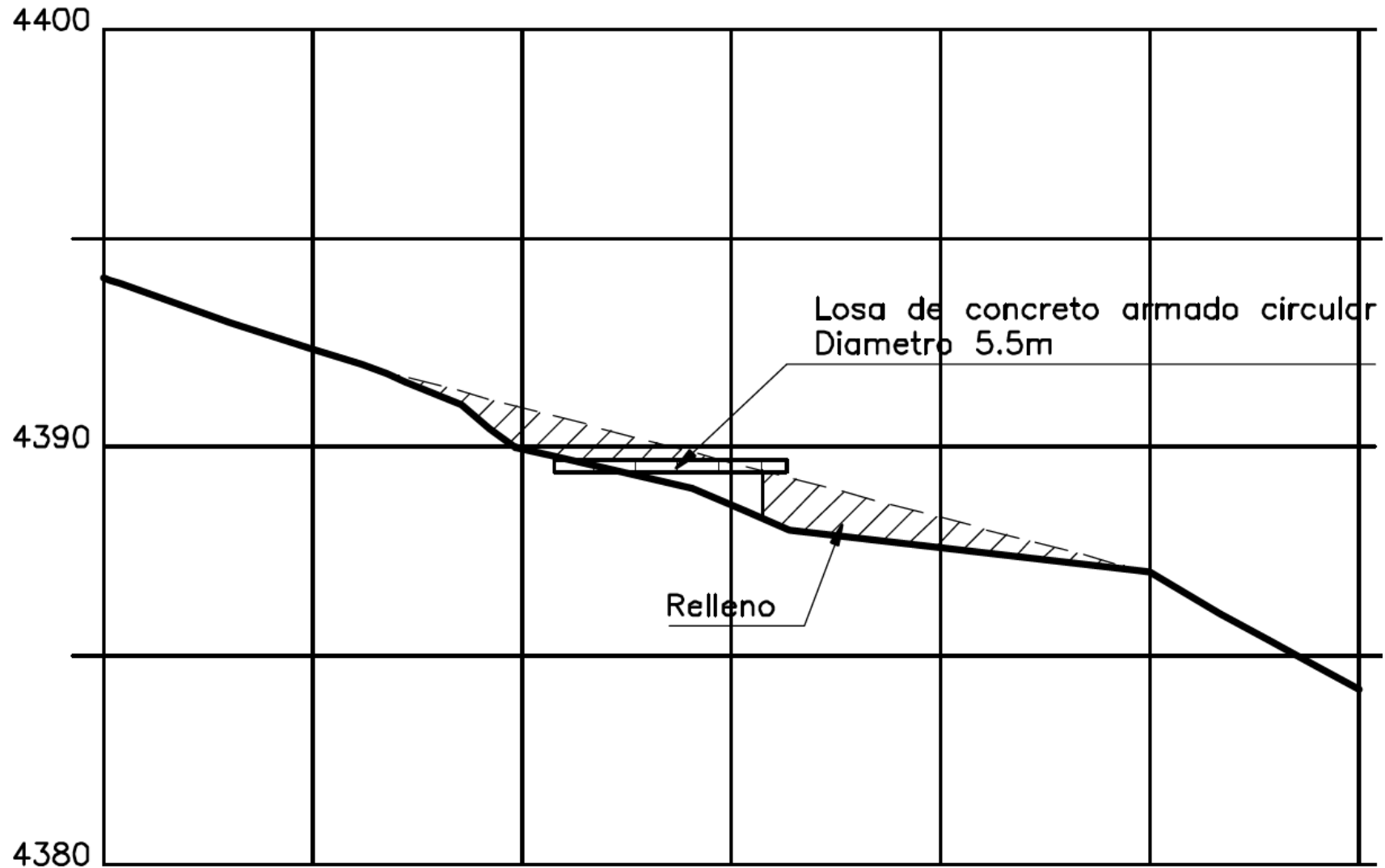


Figura 18. Sección típica D-D

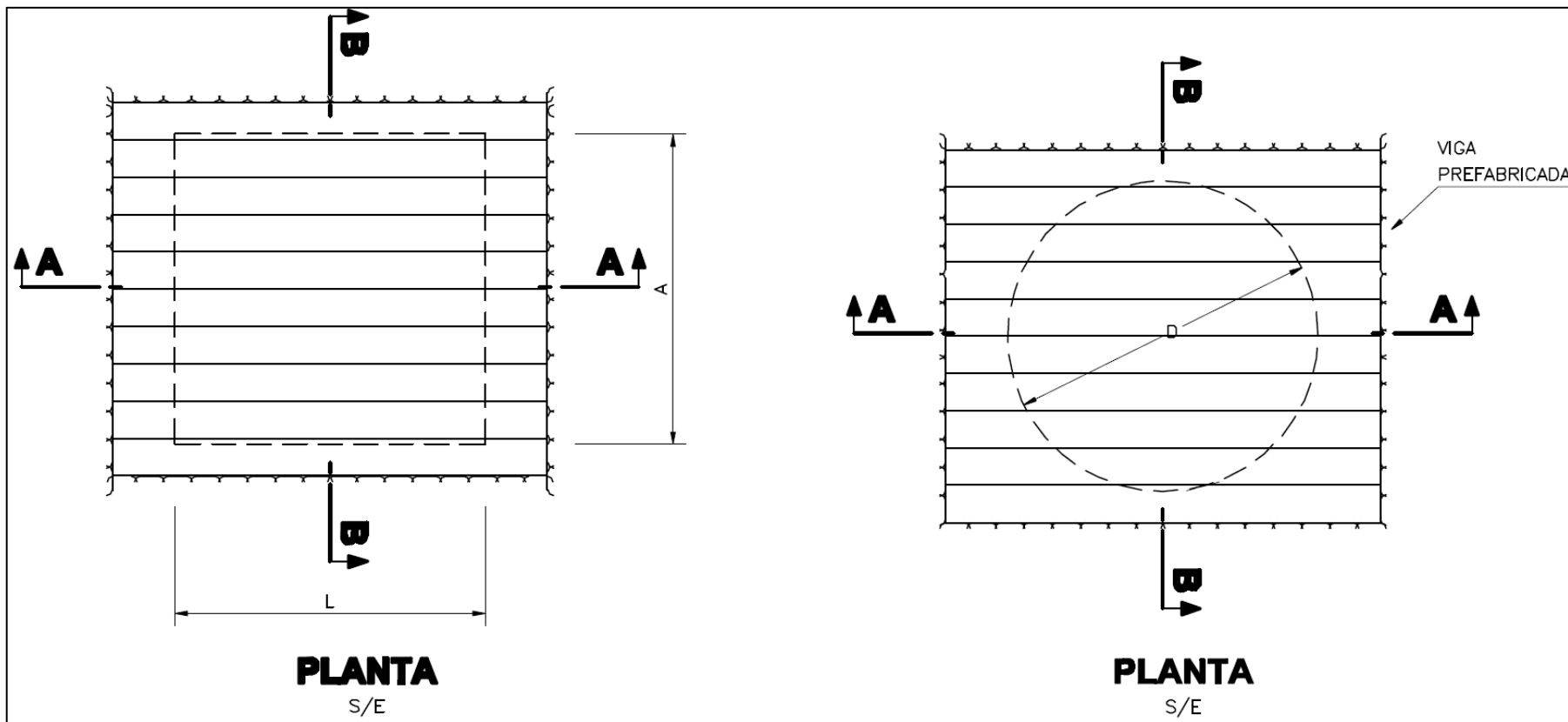


Figura 19. Detalle típico Tipo I

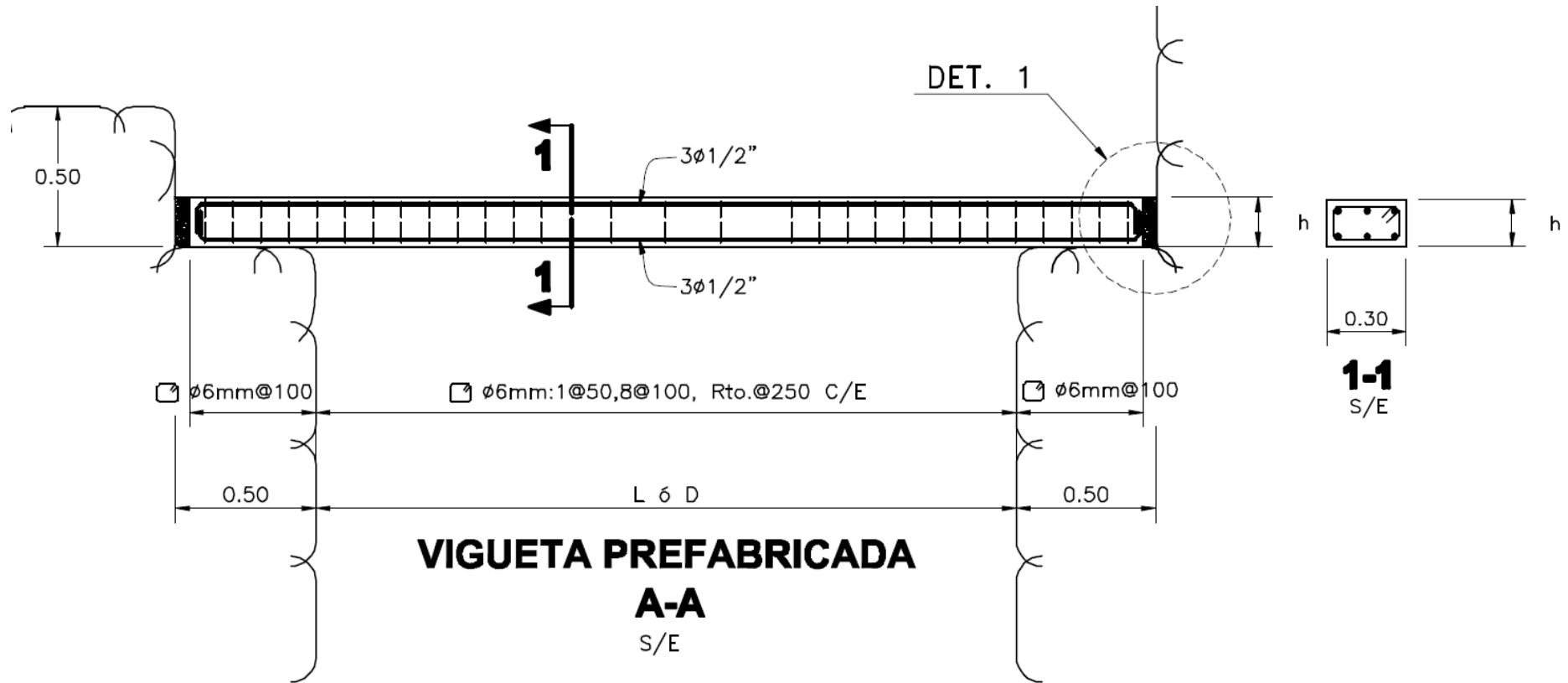


Figura 20. Detalle típico - Sección A-A

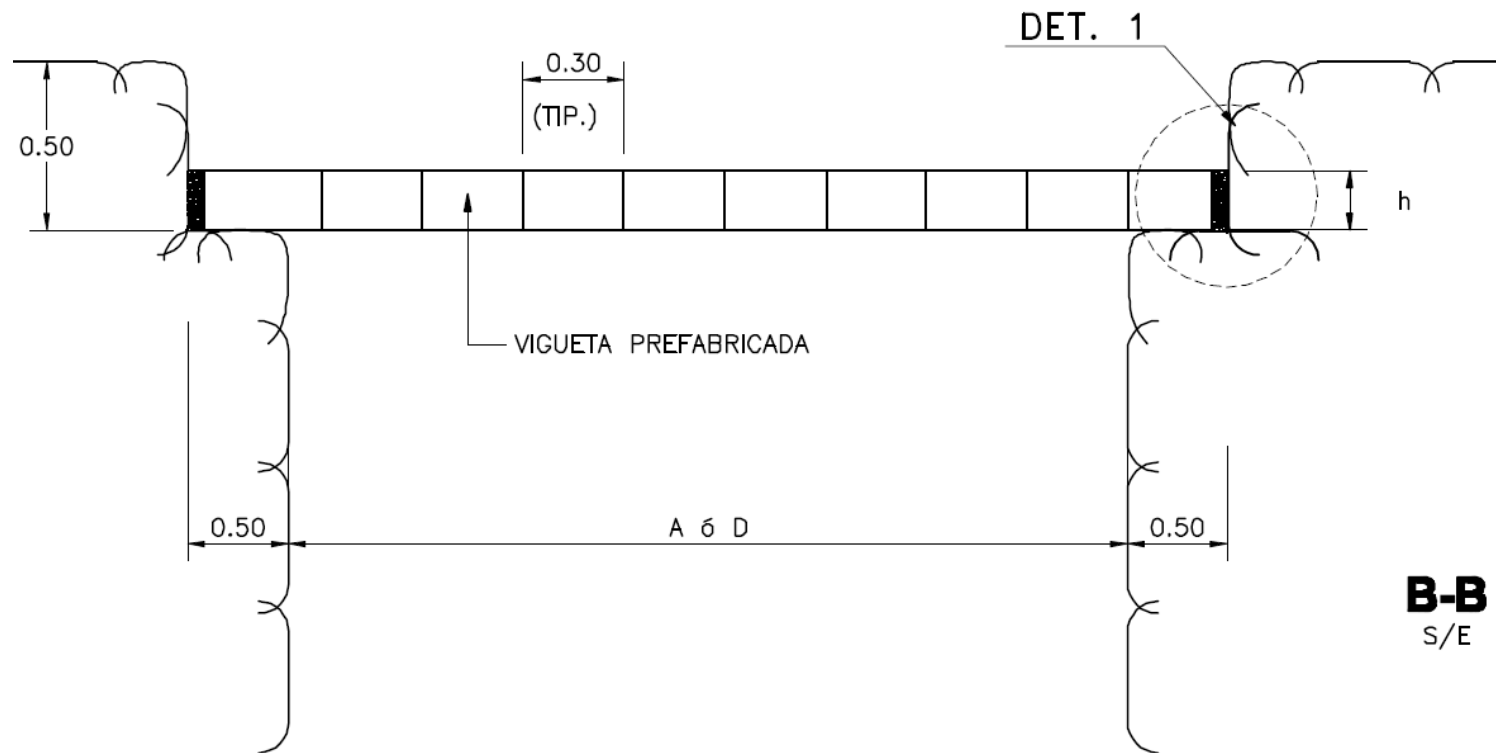


Figura 21. Detalle típico - Sección B-B

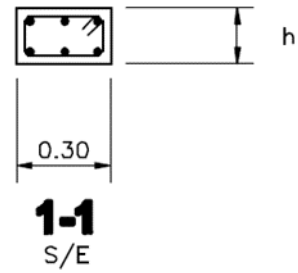


Figura 22. Detalle típico - Sección B-B

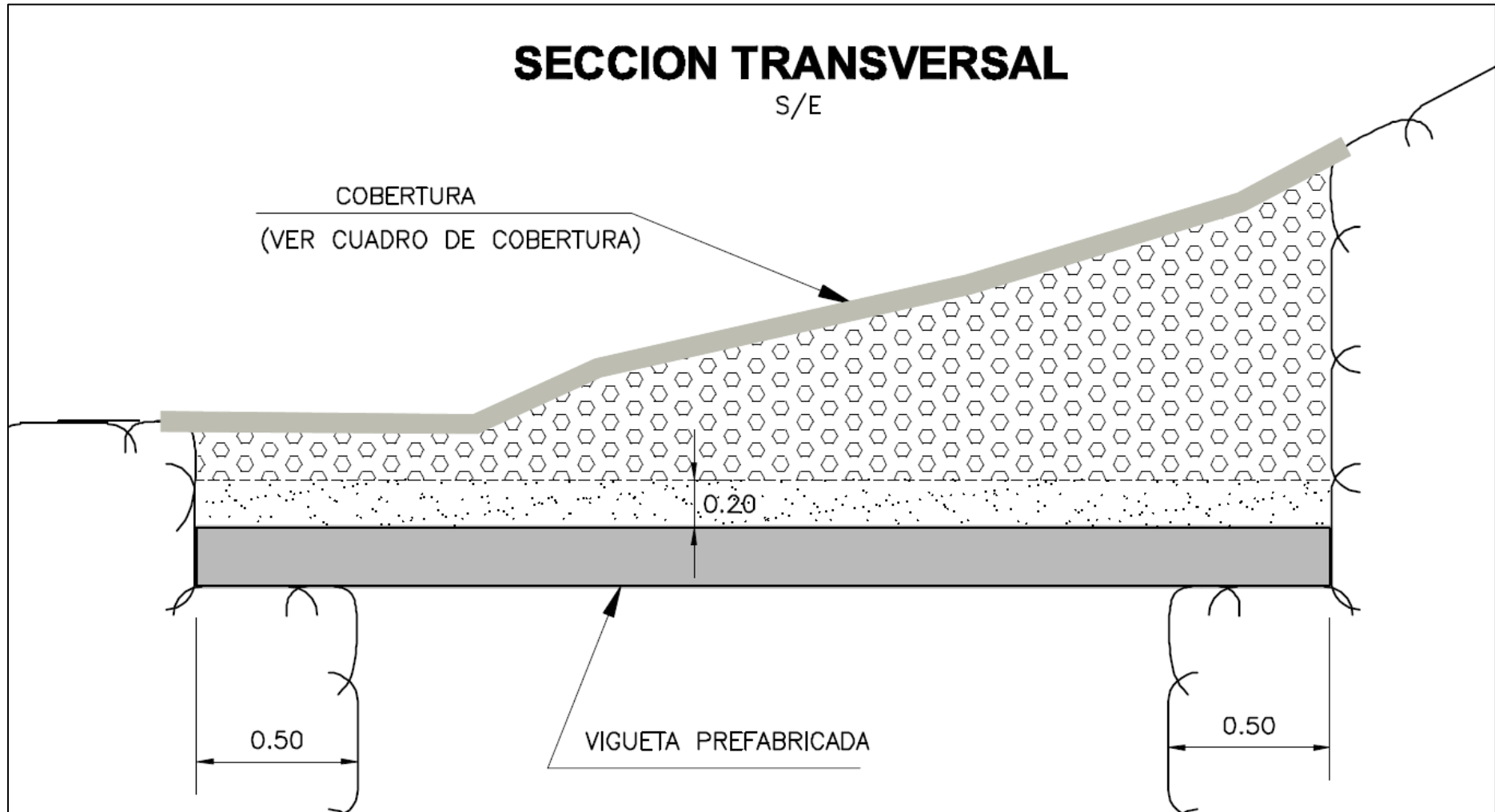


Figura 23. Detalle típico - Sección transversal

Estabilización geoquímica

La estabilización geoquímica de las chimeneas, se hará impidiendo el ingreso de aire a la labor minera, con la finalidad de mejorar la calidad del drenaje subterráneo, esto se logrará colocando una capa de material impermeable (arcilla) de 0,20 m, sobre la losa formada por la unión de las vigas de concreto armado prefabricadas.

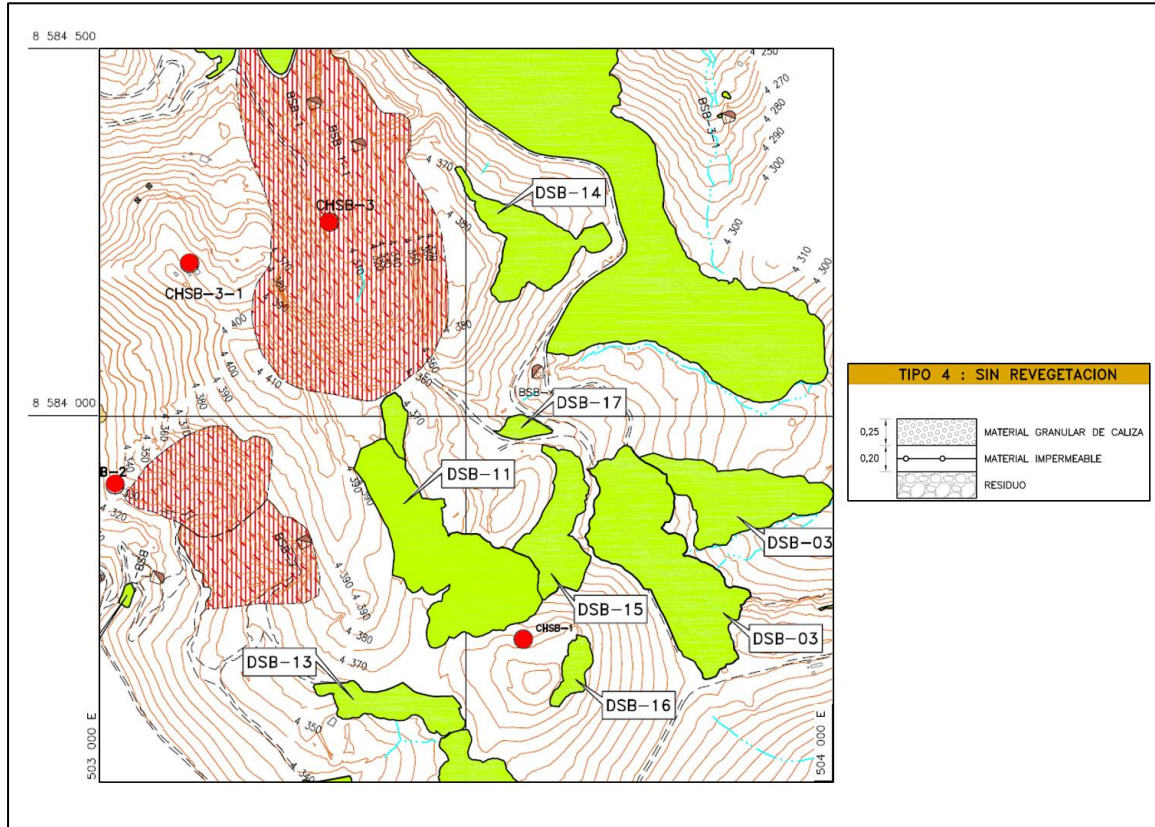


Figura 24. Estabilización geoquímica

3. 5. Estimación de costos de estabilidad y cierre de chimeneas

Tabla 5. Costos de estabilidad y cierre de chimeneas

Estimación de costos de estabilidad y cierre de chimeneas					
DESCRIPCION	Unid	Metrado	Precio (US \$)	Parcial (US \$)	Total (US \$)
CHIMENEAS					12,025.98
CHSB-01					1,224.32
Estabilidad física					
Excavación manual de plataforma en material suelto	m3	3.00	12.00	36.00	
Relleno compactado con material de desmonte	m3	7.20	9.46	68.11	
Acarreo manual de material d=100m	m3	7.20	13.55	97.56	
Vigas prefabricadas concreto f'c=210 kg/cm2	und	11.00	57.94	637.34	
Transporte y colocación vigas prefabricadas	und	11.00	22.60	248.60	
Estabilidad geoquímica					
Cobertura tipo I manual	m2	9.00	15.19	136.71	
CHSB-02					4,086.24
Estabilidad física					
Excavación manual de plataforma en material suelto	m3	7.50	12.00	90.00	
Relleno compactado con material de desmonte	m3	9.90	9.46	93.65	
Acarreo manual de material d=100m	m3	9.90	13.55	134.15	
Vigas prefabricadas concreto f'c=210 kg/cm2	und	40.00	57.94	2,317.60	
Transporte y colocación vigas prefabricadas	und	40.00	22.60	904.00	
Estabilidad geoquímica					
Cobertura tipo I manual	m2	36.00	15.19	546.84	
CHSB-03					3,992.50
Estabilidad física					
Excavación manual de plataforma en material suelto	m3	6.50	12.00	78.00	
Relleno compactado con material de desmonte	m3	115.50	9.46	1,092.63	
Vigas prefabricadas concreto f'c=210 kg/cm2	und	33.00	57.94	1,912.02	
Transporte y colocación vigas prefabricadas	und	33.00	22.60	745.80	
Estabilidad geoquímica					
Cobertura tipo I manual	m2	10.80	15.19	164.05	
CHSB-03-1					2,722.92
Estabilidad física					
Excavación manual de plataforma en material suelto	m3	5.50	12.00	66.00	
Relleno compactado con material de desmonte	m3	16.70	9.46	157.98	
Acarreo manual de material d=300m	m3	16.70	35.54	593.52	
Vigas prefabricadas concreto f'c=210 kg/cm2	und	18.00	57.94	1,042.92	
Transporte y colocación vigas prefabricadas	und	18.00	22.60	406.80	
Estabilidad geoquímica					
Cobertura tipo I manual	m2	30.00	15.19	455.70	

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Al realizar la investigación se corrobora la hipótesis de que se pudo diseñar la estabilidad física para las chimeneas CHSB01, CHSB02, CHSB03, CHSB03-1, en el cierre de una unidad minera en Huancavelica.

La etapa de cierre de Minas tiene como objetivo principal, implementar actividades que permitan garantizar a largo plazo la estabilidad física y geoquímica de las instalaciones mineras. Ello implica asegurar la rehabilitación del terreno y que los cuerpos de agua tengan una calidad adecuada, de esta forma se minimizarán los riesgos y los peligros a la salud de las personas y se protegerá la integridad de las poblaciones (MINEM, 2017).

Flores (2018) Para controlar la inestabilidad de una nueva chimenea procede a la aplicación del método GIN para consolidar e impermeabilizar evitando los diferentes tipos de roturas que se puedan presentar.

Al igual que Quispe (2020). Empleamos la clasificación geomecánica RMR de Bieniawski, GSI de Hoek, pero además se evaluó utilizando el Q de Barton, donde la los macizos rocos en las chimeneas presentan una calidad regular – III - B

Carranza y Quispe (2015) menciona que, el uso del sistema PEM (plataformas y escaleras metálicas), reduce los costos notablemente en la ejecución de chimeneas, hemos demostrado con cifras reales, que esté sistema es de menor costo que el sistema convencional con madera reduciendo los costos hasta un 23% en pocos días de implementado.

4.2. Conclusiones

El entorno geológico de la zona de investigación, está conformada por unidades litoestratigráficas del Grupo Pucará (JTR-p), Grupo Goyllarisquizga (Ki- g), Formación Chayllacatana (Ki-cha), Formación Chulec (Ki-ch), Formación Casapalca (KP-c), Formación Santa Bárbara (Nm-sb), Depósitos cuaternarios (Q), además de, rocas ígneas (Nm-da-rd), compuesto por rocas riodacíticas de textura porfirítica.

De la caracterización geomecánica se obtuvo para las 4 chimeneas RMR, GSI y Q de Barton, macizos rocosos de regular calidad.

El cierre consistirá en colocar vigas de concreto armado de 0,20 m de espesor por 0,20 m de altura, una seguida de la otra, logrando formar una losa de concreto formada por la unión de las vigas, se colocará una cobertura impermeable de 0,20 m, seguida de material inerte de los costados para recuperar la fisiografía original.

La estabilización geoquímica de las chimeneas, se hará impidiendo el ingreso de aire a la labor minera, con la finalidad de mejorar la calidad del drenaje subterráneo, esto se logrará colocando una capa de material impermeable (arcilla) de 0,20 m, sobre la losa formada por la unión de las vigas de concreto armado prefabricadas.

El costo aproximado de estabilidad y cierre de las chimeneas es de 12,025.98 dólares.

REFERENCIAS

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

Flores, J. (2018). *Propuestas de estabilidad de la chimenea “El Quinde de la concesión minera Selva Alegre”, ubicada en la provincia de Imbabura, Cantón Otavalo parroquia Selva Alegre*. Universidad Central del Ecuador.

Carranza y Quispe (2015). *Mejoramiento en el diseño de chimeneas en minería subterránea con el uso del sistema PEM en la unidad de producción Minera Troy SAC*. Universidad Privada del Norte.

Nieves, H. A. y Domínguez, S. F.C.(2012). *Métodos numéricos aplicados a la Ingeniería*. Grupo Editorial Patria, México. pp: 373-377.

SERNAGEOMIN (2018) *Guía Metodológica para Evaluación de la Estabilidad Física de Instalaciones Mineras Remanentes*.

Quispe (2020). *Evaluación geomecánica para el diseño de sostenimiento del proyecto chimenea Alimak en la Unidad minera aallancata – Región de Ayacucho*. Universidad Nacional del Altiplano, Perú.

Yucás, V. H. (2015). *Análisis geomecánico del macizo rocoso para la construcción de la Chimenea Glory Hole mediante el Sistema Alimak*. In Repositorio digital de la Universidad Central del Ecuador

Fundación Chile, 2015, *Guía metodológica para la estabilidad física de faenas e instalaciones mineras*.

Quispe, K. A. (2018). *Evaluación geomecánica para la elección del sostenimiento en el túnel Yauricocha del Nv.720, Sociedad Minera Corona S.A.* In Repositorio Institucional Continental.

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

Ministerio de Energía y Minas, Perú; 2002, Guía para la Elaboración y Revisión de Planes de Cierre de Minas. Versión digital 17-03-2016 en: <http://biblioteca.unmsm.edu.pe/redlieds/Recursos/archivos/MineriaDesarrolloSostenible/CierreMinas/CierreMinas.pdf>

Ministerio de Energía y Minas, Perú; 2005, Reglamento para el Cierre De Minas, Decreto Supremo N° 033-2005-EM. Versión digital 17-03-2016 en: http://www.fonamperu.org/general/pasivos/documentos/reglamento_cierredeminas.pdf

Ministerio de Energía y Minas, Perú, 2006, Guía para la Elaboración de Planes de Cierre de Minas. Primera Edición. Sub-Sector Minería, Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros. Versión digital 17-03-2016 en: <http://www.sernageomin.cl/pdf/mineria/cierrefaena/DocumentosRelacionados/Guia-cierre-de-minasperu.pdf>

Sandoval Bonilla, F. J. M. (2018). Estudio geomecánico para un óptimo diseño de la excavación y sostenimiento - Mina Yauricocha S.A. Región Lima. In Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

Zhang, L. (2016). Engineering Properties of Rocks. Butterworth-Heinemann.

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.