

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



T E S I S

**Evaluación geotécnica en el plan de cierre del diseño de depósito de
desmontes - mina Shalca - Pacaraos - Huaral - región Lima - 2020**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Geólogo

Autor:

Bach. Herber Andielo HIDALGO VENTOCILLA

Asesor:

Mg. Luis Arturo LAZO PAGAN

Cerro de Pasco – Perú – 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



T E S I S

**Evaluación geotécnica en el plan de cierre del diseño de depósito de
desmontes - mina Shalca - Pacaraos - Huaral - región Lima - 2020**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Javier LOPEZ ALVARADO
PRESIDENTE

Mg. Vidal Victor CALSINA COLQUI
MIEMBRO

Mg. Eder Guido ROBLES MORALES
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión
Facultad de Ingeniería
Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N°053-2024

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión ha realizado el análisis con exclusiones en el Software Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Presentado por:

Bachiller: Herber Andielo, HIDALGO VENTOCILLA

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Geológica

Tipo de trabajo:

Tesis

“Evaluación geotécnica en el plan de cierre del diseño de depósito de desmontes - mina Shalca - Pacaraos - Huaral - región Lima - 2020”

Asesor:

Mg. Luis Arturo, LAZO PAGAN

Índice de Similitud: **23%**

Calificativo

APROBADO

Se adjunta al presente el informe y el reporte de evaluación del software similitud.

Cerro de Pasco, 12 de febrero del 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
Luis Villa Requís Carbajal
DOCTOR EN CIENCIAS - DIRECTOR

DEDICATORIA

Dedico a Dios, porque sin su bendición no soy nada, a mi madre Mariluz, mi abuela Alejandrina y mi padre Job, por su comprensión y ayuda en todo momento. Me han enseñado a dar valor a la vida y mantenerme firme y humilde ante cualquier adversidad.

Para mi novia y futura esposa Helen Colqui, a ella especialmente le dedico esta Tesis. Por su paciencia, por su comprensión, por su soporte en momentos de desequilibrio, por su amor, por ser como es, por insistir, porque la amo. Es la persona que más intervino para que este trabajo se haga realidad.

Para mi hijo que viene en camino. Tu llegada a nuestras vidas será de maravilla y felicidad. Son lo mejor que me pasa en la vida, con cada uno de ustedes. viviré siempre agradecido.

AGRADECIMIENTO

Es preciso y oportuno dar mis sinceros agradecimientos a Dios por haberme dado la oportunidad de estudiar en una institución superior.

La Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, institución que me dio la oportunidad de surgir y aprender los principios básicos de la Geología.

A la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Geológica, por hacerme parte de su alumnado y por ser competitiva entre Escuelas de Ingeniería Geológica de otras Universidades.

A todos los docentes por impartirme todos sus conocimientos adquiridos a lo largo de mi carrera profesional.

Al futuro Doctor Luis Arturo LAZO PAGÁN por apoyarme durante la ejecución del trabajo de tesis como asesor, mil gracias.

Finalmente, quiero agradecer a mis colegas y amigos que me brindaron su apoyo, tiempo de aprendizaje e información valiosa para lograr de mis objetivos.

RESUMEN

El proyecto de Minera Claudia I Mina Shalca, es explotada por La Compañía Minera Vichaycocha S.A.C., por minerales de plomo, zinc y plata, ubicado en el Distrito de Pacaraos, Provincia de Huaral, Departamento de Lima.

Para colocar los residuos de los procesos de explotación de la mina, es necesario construir un depósito de mineral en el Nivel. - 1, el propósito es colocar en ella los residuos que son el resultado de preparar la infraestructura para las actividades de exploración minera a través de laboreo minero (avance lineal de labores de sección 3.5 m x 3.5 m). El presente estudio es determinar el cierre óptimo del depósito de desmonte ubicado en el Nv. - 1, después que cumpla con el objetivo de almacenar los residuos descritos anteriormente.

Palabras clave: Evaluación geotécnica, Depósito de desmontes, Monitoreo, Estabilidad.

ABSTRACT

The Minera Claudia I Mina Shalca project is exploited by La Compañía Minera Vichaycocha S.A.C., for polymetallic minerals of lead, zinc and silver, located in the District of Pacaraos, Province of Huaral, Department of Lima. To locate the waste product of the mining exploitation processes, it is essential to build a mineral deposit at the Level. - 1, the purpose is to place in it the residues that are the result of the preparation of the infrastructure for mining exploration and exploitation activities through mining work (linear advance of section work 3.5 m x 3.5 m). The present study is to determine the optimal closure of the waste rock deposit located at Nv. - 1, after it meets the objective of storing the waste described above.

Keywords: Geotechnical evaluation, Waste disposal deposit, Monitoring, Stability.

INTRODUCCIÓN

Para determinar el óptimo cierre del depósito de desmontes son importantes la información geomecánica, relacionado a las del comportamiento mecánico del macizo rocoso y sus componentes, con la finalidad de determinar las propiedades físico-mecánicas de las rocas y suelos.

Es preciso determinar las condiciones en las cuales se debe cerrar el depósito de desmontes y tratar que los impactos ambientales que produce el depósito deben ser mínimos y mitigarlos es el objetivo de este trabajo.

El presente estudio está orientado a realizar un análisis de la evaluación geomecánica para determinar el óptimo plan de cierre del depósito de desmontes de acuerdo con la calidad del macizo rocoso.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE IMAGENES

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y determinación del problema	1
1.2.	Delimitación de la investigación	4
1.3.	Formulación del problema.....	4
1.3.1.	Problema general	4
1.3.2.	Problemas específicos	4
1.4.	Formulación de objetivos	4
1.3.1.	Objetivo general	4
1.3.2.	Objetivos específicos.....	4
1.5.	Justificación de la investigación.....	5
1.6.	Limitaciones de la investigación	5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de estudio	6
2.2.	Bases Teóricas - Científicas	19
2.2.1.	Plan de Cierre Conceptual	19
2.2.2.	Cierre Temporal.....	20
2.2.3.	Cierre Progresivo	20
2.2.4.	Cierre Final	20
2.2.5.	Desmantelamiento	21
2.2.6.	El botadero de desmonte o escombrera (Wastes Dumps)	21
2.2.7.	Construcción de un botadero	22
2.2.8.	Disposición de botaderos en laderas.....	25
2.2.9.	Disposición de botaderos en quebradas.....	26
2.2.10.	Disposición de botaderos en pilas o tortas	27
2.2.11.	Colapso en los bordes del Botadero	28
2.2.12.	Mantenimiento de botaderos	29
2.2.13.	Presión ejercida sobre el terreno por el botadero	31
2.2.14.	Operación en botaderos	32
2.2.15.	Botaderos de desmonte y pistas.....	33
2.2.16.	Estabilidad de botaderos.....	35
2.2.17.	Métodos de construcción	36
2.2.18.	Estabilidad de taludes de corte y relleno	37
2.2.19.	Secuencia del diseño de investigación y desarrollo de un botadero de desmonte.....	38
2.2.20.	Exploración.....	39

2.2.21. Prefactibilidad.....	39
2.2.22. Factibilidad y diseño preliminar	40
2.2.23. Estudios geotécnicos de detalle	41
2.2.24. Trabajos previos a la construcción de botaderos de desmonte.....	42
2.2.25. Métodos de construcción plataformas y capas	44
2.2.26. Construcción ascendente	45
2.2.27. Construcción descendente	45
2.2.28. Monitoreo de botaderos	46
2.2.29. Clases de material.....	46
2.2.30. Descargas de material.....	47
2.2.31. Agrietamiento de crestas y plataformas	47
2.2.32. Instrumentación Geotécnica	47
2.2.33. Factores que afectan la estabilidad de los botaderos	47
2.2.34. Tipos de Fundaciones:.....	48
2.3. Definición de términos básicos.	49
2.4. Formulación de Hipótesis.....	52
2.4.1. Hipótesis General	52
2.4.2. Hipótesis Específicos.....	52
2.5. Identificación de Variables.....	52
2.5.1. Variables Independientes.....	52
2.5.2. Variables Dependientes	52
2.5.3. Variables Intervinientes.....	52
2.6. Definición operacional de variables e indicadores	52

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación	54
3.2.	Nivel de investigación	54
3.3.	Métodos de la investigación	54
3.4.	Diseño de Investigación	55
3.5.	Población y muestra	55
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	55
3.7.	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.....	55
3.8.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	55
3.9.	Tratamiento estadístico.....	55
3.10.	Orientación ética, filosófica y epistémica.	56

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

4.1.	Descripción del trabajo en campo	57
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	67
4.2.1.	Interpretación de resultados.....	75
4.2.2.	Factores de seguridad mínimos	76
4.2.3.	Condiciones de análisis	77
4.2.4.	Análisis del depósito de desmonte	78
4.2.5.	Diseño de taludes.....	79
4.2.6.	Diseño para la construcción del depósito de desmonte	80
4.2.7.	Descripción de características físicas del material de desmonte	81
4.2.8.	Determinación de los Parámetros Geotécnicos del material de desmonte	82

4.2.9. Diseño del muro de contención en sistema de gaviones	83
4.2.10. Consideraciones de diseño de gaviones	84
4.2.11. Diseño de gaviones.....	84
4.2.12. Programa de monitoreo	88
4.2.13. Elementos del programa	89
4.2.14. Plan de cierre del depósito de desmonte Nivel - 1	90
4.2.15. Plan de cierre de área por etapa del proyecto	91
4.2.16. Procedimiento de instalación.....	97
4.2.17. Soldadura de los Paneles insitu	98
4.2.18. Control de calidad.....	100
4.2.19. Equipo.....	102
4.2.20. Criterio de Rechazo – Inspección de los materiales Geomembranas...	102
4.2.21. Supervisión de Uniones	103
4.2.22. Ensayos.....	104
4.2.23. Ensayos destructivos	104
4.2.24. Características del geosintético tejido	106
4.2.25. Procedimiento de instalación.....	110
4.2.26. Procedimiento de instalación.....	114
4.2.27. Reparaciones.....	115
4.2.28. Certificación e informe final de obra.....	117
4.2.29. Programa de monitoreo post cierre.....	117
4.2.30. Monitoreos propuestos	119
4.3. Prueba de hipótesis	122
4.4. Discusión de resultados	123

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Clase de materiales.</i>	37
Tabla 2 <i>Clase de materiales.</i>	38
Tabla 3 Componentes del suelo – Resultados de las calicatas.	70
Tabla 4 Resultados de los ensayos especiales de laboratorio	71
Tabla 5 Parámetros de resistencia mecánica – Ensayos de compresión triaxial.	72
Tabla 6 Parámetros geotécnicos para el análisis de estabilidad de taludes.	74
Tabla 7 Factor de seguridad mínimo para análisis de estabilidad.	76
Tabla 8 Análisis de estabilidad de taludes Sección A – A'.	79
Tabla 9 Relaciones de interpretación.....	81
Tabla 10 Puntos fijos de control geodésico fuera del depósito de desmonte.	90
Tabla 11 Puntos fijos de control topográfico dentro de depósito de desmonte.....	90
Tabla 12 Especificaciones técnicas de la geomembrana.	96
Tabla 13 Normas de control de calidad.	101
Tabla 14 Causas de la deformación de la geomembrana.....	103
Tabla 15 <i>Especificaciones técnicas para las soldaduras de las geomembranas.</i>	105
Tabla 16 Especificaciones técnicas del geotextil.	110
Tabla 17 Especificaciones técnicas del geotextil.	115
Tabla 18 Puntos fijos de control topográfico dentro depósito de desmonte.....	119
Tabla 20 Puntos fijos de control geodésico fuera de depósito de desmonte.	120

ÍNDICE DE IMAGENES

Imagen 1 <i>Ubicación Botadero Nivel -1 Mina Shalca. Fuente: Propia.</i>	22
Imagen 2 <i>Distancias entre caminos de carga.</i>	23
Imagen 3 <i>Diseño de botaderos con presencia de falla.</i>	24
Imagen 4 <i>Napas freáticas.</i>	24
Imagen 5 <i>Botadero por encima de un yacimiento.</i>	25
Imagen 6 <i>Botadero en laderas</i>	26
Imagen 7 <i>Alturas máximas de botadero</i>	26
Imagen 8 <i>Botadero en quebradas.</i>	27
Imagen 9 <i>Botadero en pilas o tortas.</i>	27
Imagen 10 <i>Colapso de botaderos.</i>	28
Imagen 11 <i>Botadero con material no compactado.</i>	29
Imagen 12 <i>Botadero con inicio de inestabilidad.</i>	29
Imagen 13 <i>Compactación de botadero.</i>	31
Imagen 14 <i>Problemas de homogeneidad.</i>	31
Imagen 15 <i>Presión ejercida sobre el terreno.</i>	32
Imagen 16 <i>Descarga de botadero.</i>	33
Imagen 17 <i>Construcción de botadero por bancos o capas.</i>	36
Imagen 18 <i>Secuencia de desarrollo de botadero.</i>	38
Imagen 19 <i>Construcción ascendente de botaderos.</i>	45
Imagen 20 <i>Construcción descendente de Botaderos.</i>	45
Imagen 21 <i>Clasificación de materiales.</i>	46
Imagen 22 <i>Mapa de ubicación.</i>	58
Imagen 23 <i>Rutas de acceso.</i>	59
Imagen 24 <i>Cerros con laderas abruptas.</i>	60

Imagen 25 <i>Mapa Metalogenético.</i>	62
Imagen 26 <i>Columna estratigráfica.</i>	65
Imagen 27 <i>Dimensiones típicas de las unidades del muro de gavión.</i>	85
Imagen 28 <i>Sección Típica 1 - Fuerzas actuantes en el diseño del muro.</i>	87
Imagen 29 <i>Sección Típica 2 - Fuerzas actuantes en el diseño del muro.</i>	88
Imagen 30 <i>Conformación de la cobertura. Cobertura Tipo I.</i>	94
Imagen 31 <i>Conformación de la cobertura. Cobertura Tipo V.</i>	94
Imagen 32 <i>Conformación de la cobertura. Cobertura Tipo IV.</i>	95
Imagen 33 <i>Resistencia a la tensión Método de la tira ancha, ASTM D4595.</i>	106
Imagen 34 <i>Resistencia a la tensión Método de la tira ancha.</i>	107

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

La geotecnia se asocia con la aplicación de los conceptos geológicos y de diseño de ingeniería respecto del comportamiento de suelos, rocas y aguas subterráneas, así como parte de la consideración de características mecánicas e hidráulicas de los materiales explotados, lo cual es pertinente para diseñar cimentaciones para estructuras, así como para la estabilización de taludes, etc., según lo propuesto por la Corporación de Desarrollo Tecnológico (2017). Además, dicha fuente menciona que la geotecnia, como disciplina, se orienta al alcance de dos aspectos de relevancia: (i) la seguridad de los trabajadores y (ii) la sustentabilidad de los procesos productivos, evidenciando que un adecuado estudio geotécnico permite alcanzar estándares de productividad, reflejado por la prevención de la ocurrencia (frecuencia) de incidentes y accidentes laborales y garantizar la continuidad de las actividades productivas (menos paradas en las jornadas de trabajo), lo cual también acota Ballesteros, citado por el portal Minería Chilena (2014), que menciona textualmente: “si no existiese un control

geotécnico y las condiciones de estabilidad no fuesen las requeridas, la ocurrencia de un derrumbe es casi inminente, además los costos asociados a la remoción del material colapsado y el retraso en el plan de producción generan un impacto negativo al disminuir los ingresos en el tiempo esperado”. En dicha perspectiva de necesidad de la geotecnia en la minería y la totalidad de sus procesos, Matthews, citado por el portal Nueva Minería y Energía (2013), sostiene que ésta es una parte fundamental del negocio minero, asumida como una herramienta adecuada para garantizar la toma de decisiones y fortalecer la necesidad de lo multidisciplinario en trabajos de alto riesgo, que se sustenten de decisiones profesionales asociadas a la geología.

De igual manera, los criterios de selección de los estudios geotécnicos parten de las propiedades geomecánicas y fisicoquímicas de los materiales sujeto de explotación, tratamiento, contención, etc., lo cual evidencia la necesidad de evaluar particularmente cada estrato geográfico de intervención, es decir, cada lugar demuestra propiedades características o una “naturaleza” específica, tal como proponen Ramírez et al. (1991) y que reafirma MAPFRE (2016) en sentido de que la importancia del conocimiento de los caracteres propios de un área específica se pone de manifiesto desde el momento de la propia ejecución de la obra por su influencia sobre la seguridad de los trabajadores, concordando con los fines de la geotecnia. En dicha perspectiva, el Organismo Supervisor de la Inversión de Energía y Minería (2017) menciona que para el desarrollo de un modelo geo mecánico es necesario considerar a, otros y específicos, modelos geológicos, estructurales, del macizo rocoso, hidrogeológico y las condiciones de esfuerzos, así como, para el cierre de operaciones y condiciones derivadas de ella, como el caso de los desmontes, la fuente citada menciona que es preciso

considerar la evaluación y diseño que garantice escenarios de estabilización considerando proposiciones de contingencia. Ventura (1981, pág. 8) precisa que “para proyectar un desmonte hay que efectuar un estudio geológico detallado de la zona, representándose en aquel todas las formaciones observadas, los rasgos estructurales que las definen, los rumbos y buzamientos, ejes anticlinales, sinclinales, fallas, etc., además de eventuales corrimientos, cursos de agua, etc.”, considerando también a la mecánica de suelos según lo propone Holtz y Kovacs (1981). También es preciso considerar que el diseño geotécnico de los depósitos de desmontes debe orientarse al aprovechamiento de los espacios sobre el cual se emplazan estas estructuras, según proponen Villanueva, Lino y Huaña (2017), de modo que se incurriese en procesos de optimización y productividad, por lo cual se sustente el hecho de investigar propiamente sobre el tema y así desarrollar alternativas de desarrollo adecuadas.

En dicho sentido, la Compañía Minera Vichaycocha S.A.C., es una empresa que tienen a su cargo la concesión Minera Claudia I, Mina Shalca, ubicado en el distrito de Pacaraos, provincia de Huaral, región Lima, y que de acuerdo con el plan de exploraciones, es necesario tener un proyecto asociado al plan de cierre del depósito de desmonte ubicado en el Nivel-1, cuyo propósito es de colocar en ella los residuos que son el resultado de las actividades de exploración y explotación de labores mineras con un avance lineal con una sección 3.5. m x 3.5 m, con el objetivo de confirmar y preservar las reservas mineralizadas acorde a lo considerado por Giráldez (2014), para así garantizar y optimizar los escenarios de productividad para la Cía. Minera.

1.2. Delimitación de la investigación

El estudio se llevará a cabo en la Compañía Minera Vichaycocha S.A.C., en dicha empresa se ubica la concesión denominada Unidad Minera Claudia Nivel - I, Mina Shalca, ubicado en el Distrito de Pacaraos, Provincia de Huaral, Departamento de Lima, donde es necesario e importante realizar el plan de cierre del desmonte que estará ubicado en el Nivel -1, con el objetivo de ubicar los desmontes producto de la exploración y explotación.

El alcance de este estudio pretende ser referencia para futuros planes de cierre en diferentes yacimientos similares.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿En qué grado la evaluación geotécnica determinará el óptimo plan de cierre del depósito de desmontes en la Mina Shalca Nivel - 1?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿De qué manera las características geotécnicas del material de desmonte conformarán los taludes proyectados del depósito?
- ¿De qué modo se presentan las condiciones de la estabilidad física y química del depósito orientado a su cierre?

1.4. Formulación de objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar el óptimo plan de cierre del depósito de desmontes en la Mina Shalca Nivel – 1, a partir de la evaluación geotécnica.

1.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar las características geotécnicas del material de desmonte que conformarán los taludes proyectados del depósito.

- Determinar la condición de la estabilidad física y química del depósito orientado a su cierre.

1.5. Justificación de la investigación

La realización del presente proyecto se justifica porque en todo proyecto de exploración, explotación y tratamiento de recursos minerales, es necesario plasmar y desarrollar iniciativas orientadas al manejo adecuado de los subproductos (residuos) acumulados y producidos por las operaciones mineras, evidenciando la necesidad de realizar un plan óptimo de cierre de estas; asimismo, es necesario una convivencia equilibrada entre la empresa minera y el medio ambiente.

1.6. Limitaciones de la investigación

Es necesario remarcar que los resultados del presente estudio solo se aplican para la zona de estudio – Concesión Claudia I Nivel -1, sirviendo como fuente de información para similares estudios.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

Oñate (2020), realizó la investigación titulada “Caracterización geológica y geotécnica para el depósito de relaves en el área hijuela 10, provincia de Huasco, región de Atacama, Chile” la finalidad fue muy contundente al levantamiento de depósitos de relaves muy acorde a las peculiaridades geotécnicas y geológicas y esta sea muy viable en un lugar adecuado para su emplazamiento.

Precisa que es necesario considerar la recopilación y revisión de antecedentes geológicos generales para delimitar la zona de estudio, de modo que también se alcance a definir la escala apropiada de trabajo de acuerdo con el nivel de detalle requerido, para que en base a ello se desarrolle el estudio geotécnico orientado al diseño del depósito de relaves a la par de la identificación de información histórica acerca de desastres a causa del colapso de dicha estructura. También consideró la confección de mapas tras emplear Sistema de Información Geográfica (SIG), así como la ponderación de parámetros y la asignación de

factores de predicción acorde a las características específicas del lugar de intervención. En forma de resultados, detalla que el mapa geotécnico elaborado, también añade las zonas de advertencia de la conducta esperada, reconocido en el ámbito del movimiento en masa, disponiendo la zona de inicio con la zona de propagación y también simplifica el reporte geológico y geotécnico fundamental lo cual es útil para los especialistas al momento de escoger la localización de nuevos depósitos de relaves, mientras que la limitación de la metodología empleada se asocia con la subjetividad al tener que calibrar en reiteradas veces los datos relacionados a las diversas condiciones geológicas y geográficas del territorio, respecto de las condiciones propias del lugar de estudio. Concluye que, pese a que el sitio evaluado presenta características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas muy positivas, el riesgo sísmico y la advertencia de removerse en masa identificados forman un peligro que, a pesar de no ser probable pronosticar, puede ser conducido con apropiados diseños de ingeniería y por otra parte no debe limitarse la actividad del área de importancia.

Flores (2019), en su tesis titulada “Propuesta metodológica de instrumentación y monitoreo para evaluar la estabilidad física de un depósito de relaves abandonado en Chile” se planteó por objetivo proponer una metodología que permita elegir la instrumentación para monitorear la estabilidad física de los depósitos de relaves abandonados en Chile. Como sustento metodológico empleo la revisión documental en materia de antecedentes normativos y buenas prácticas acerca del objeto de estudio, así como empleó el análisis de la instrumentación no invasiva (imágenes satelitales, interferometría y modelos de elevación digital (DEM)), estudios del entorno regional (riesgo sísmico, hidrológico y de estabilidad de taludes), y criterios asociados a la propuesta

(tipología de depósitos de relaves, envejecimiento de arenas, distancia a fallas geológicas, actividad sísmica, exposición a crecidas, volcanismo). Como principal resultado se detalla que la existencia de herramientas de análisis permite el monitoreo remoto de estructuras, así como aporta en el complemento de información relativa de los depósitos de relaves abandonados, tales como su método constructivo y geometría, y en contraparte la ausencia de una metodología que describiera un procedimiento para determinar el nivel de instrumentación necesaria para monitorear los depósitos de relaves abandonados comprende a una necesidad de abordar en todo proyecto. Se concluye que el rápido avance tecnológico actual permite realizar monitoreo remotos y precisos de un sinnúmero de parámetros, sin embargo, aún queda mucho espacio por cobertura, principalmente en términos de la estandarización de procedimientos y herramientas que permitan la comparación y trabajo con multiplicidad de datos y localizaciones con la finalidad de generar espacios de mejora continua y productividad considerando adecuados ideales de estabilidad física en depósitos de desmontes.

Carvajal (2018), realizó la investigación titulada “Desarrollo de una metodología para análisis de estabilidad física de depósitos de relaves”, en la que planteó por objetivo el proponer una metodología capaz de evaluar la condición de estabilidad física de los depósitos de relaves en Chile, abordando a dicho alcance a partir de tres momentos (diseño metodológico): (i) evaluación cualitativa y cotejo de antecedentes (identificación de características físicas y factores agravantes), (ii) verificación de parámetros críticos (verificación del umbral definido) y (iii) determinación del índice de estabilidad física (a través del árbol de fallas para cada mecanismo verificado). En forma de resultados que aporten a la presente investigación por cada momento se tiene: (i) es necesario

recabar cualitativamente las características de los sectores donde se desarrolla la actividad y los procesos de explotación minera, el monitoreo del procedimiento, el plan de cierre y abandono, el método del sistema de detritos mineros, las peticiones ambientales y las características de los tanques de relave .(ii) considerar como factores clave (parámetros críticos) a las condiciones de estabilidad (ficha de catastro) y los componentes ambientales que pueden ser impactados (matriz de evaluación), considerando dentro de la evaluación de las condiciones de estabilidad a la mecánica e hidrológica propiamente dicha y la erosión; (iii) se alcanza a identificar como acción de liberación de relaves al ambiente a causa de: rebalses, licuación estática, erosión interna (flujos no controlados), inestabilidad estática de taludes (falla a través de fundación débil o por la inestabilidad de talud del depósito), inestabilidad sísmica de taludes (ruptura o por la magnitud del sismo que excede la condición de diseño). La conclusión que propone, en relación de aporte a la presente, se asocia con el empleo del Árbol de Fallas, lo cual permite identificar incertidumbres significativas, constituyéndose como una herramienta preventiva.

Beltrán-Rodríguez, Larrahondo y Cobos (2018), en el artículo científico titulado “Tecnologías emergentes para disposición de relaves: oportunidades en Colombia” se describen prácticas actuales de manejo de residuos mineros constituidos principalmente por relaves, además de abordar oportunidades y limitaciones en sentido de adopción de tecnologías modernas para el tratamiento y/o contención de dichos residuos. Consideran que un estudio y proposición de diseño tecnológico que no se base en estudios de estabilidad geotécnica no garantizará efectos de contención eficientes, generando escenarios de latencia respecto de posibles efectos químicos y transporte de contaminantes,

principalmente a las aguas subterráneas (a causa de drenajes ácidos), considerándose textualmente que: “el principal reto consiste en garantizar la estabilidad geotécnica y química del relleno”, para también aportar en términos de seguridad operativa a los trabajadores. Concluyen que toda tecnología a implementarse para el desarrollo apropiado de disposición de relaves parte de un adecuado estudio geotécnico, que parte de su caracterización, evidenciándolo como una condición de viabilidad.

Valenzuela (2015), En su proyecto de investigación titulada “Sistema de medición de la estabilidad de depósitos mineros de relave frente a la acción eólica, para su recuperación como espacio urbano sostenible. El caso de la ciudad de Copiapó en Chile” se planteó el objetivo de desarrollar un sistema de medición que permite evaluar la emisión de material particulado al ambiente por efecto eólico desde depósitos de residuos mineros chilenos, para así implementar medidas de control de la emisión de partículas que permitan su recuperación como espacio sostenible. Metodológicamente, fue necesario en la investigación el recopilar información en forma de caracterización del área de estudio y de caracterización geotécnica de las arenas de relave, de modo que se constate información relevante para la evaluación eólica en términos erosivos. En forma de resultados y conclusiones se detalla que el gran volumen de relave generado en actividades de exploración y explotación minera requiere contar con instalaciones apropiadas para su almacenamiento, donde se identifiquen y garanticen condiciones que permitan minimizar los impactos a la salud de las personas, así como conservar el ambiente y permitir la continuidad del desarrollo de actividades productivas, orientando esfuerzos por el alcance de la sostenibilidad, siendo importante el evaluar geotécnicamente a los relaves

emplazados con la finalidad de generar procedimientos adecuados a la dinámica propia del lugar de intervención, lo cual favorece a mitigar la degradación de dichas áreas.

Bautista (2020), en la investigación titulada “Estudio minero para el diseño del depósito de desmonte con muro de contención en una mina subterránea, Cajabamba 2020”, Al ejecutar una investigación del área para una mina subterránea en la zona de Cajabamba se propone con la finalidad de proyectar el depósito de desmonte, con muro de contención.

Empleó el tipo de investigación aplicado de nivel descriptivo y de enfoque cuantitativo, empleando las tablas geomecánicas RMR y GSI para la determinación de la calidad del macizo rocoso, así como empleó el programa ArcGIS para la elaboración de mapas temáticos, RocData para la determinación de los parámetros geotécnicos y el método Slide para hallar el factor de seguridad.

En forma de resultados se detalla que, para establecimiento de desmontes, en situaciones estáticas son 1.5 como ejecutor de protección mínima y en situaciones pseudoestáticas, son 1.3 como ejecutor mínima de protección además se proyectaron y se determinaron tres bancos con alturas de 11, 6 y 5 m de abajo hacia arriba y con un ángulo de inclinación de 34° para conseguir una mejor solidez, así que el depósito de desmonte debe poseer tres bancos para afirmar su estabilidad, también hacer uso de un muro de contención de concreto armado en voladizo, se propone construir canales de derivación de aguas en la cabecera de la desmontera para lograr solides hidrológica.

Acuña (2020), en la tesis titulada “Análisis geotécnico para la estabilidad de las desmonteras DSB1 y DSB2, Santa Bárbara, Huancavelica, 2019” se tuvo por objetivo realizar el análisis geotécnico para diseñar la

estabilidad de las desmonteras mencionadas en el lugar de estudio citado. Se empleó el diseño no experimental de enfoque cuantitativo, inmerso en el nivel explicativo de tipo aplicado, considerando parámetros geotécnicos y la estabilidad de las mencionadas desmonteras, empleando también el ArcGIS y AutoCAD para definir planos y mapas temáticos, así como el método Slide de Rocscience para determinar el factor de seguridad. En forma de resultados se menciona que al no presentar drenajes ácidos respecto de las características del desmonte, la configuración geométrica para su depósito corresponde a un talud inter banqueta de 2H:1V y talud global de 2.5H:1V, mientras que para la estabilidad hidrológica es preciso diseñar conductos de concreto con un revestimiento de enrocado con inclinaciones o taludes laterales de 1H:1V, con divisiones transversales trapezoidales, o en “V”, así como precisar la obtención de un talud 2H:1V, considerando un factor de seguridad de 1.5 para la condición estática, concluyendo así que los depósitos de desmontes serán revegetado con la siembra y fertilización. colocándose previo a ello, una capa de material orgánico de 0.25 m de grosor por lo cual no necesitan de una consistencia geoquímica.

Jacobo y Mamani (2020), en la tesis titulada “Evaluación geotécnica del botadero número 5 para prevenir riesgos de deslizamientos en la concesión minera San Francisco 2011 de la provincia de Caravelí del Departamento de Arequipa” se planteó el objetivo de realizar una evaluación geotécnica del talud del botadero 5 de desmonte de la concesión minera mencionada.

La investigación se enmarcó dentro del paradigma positivista de enfoque cuantitativo, nivel descriptivo, tipo aplicado y de diseño no experimental transversal, considerando la observación, descripción, análisis y aplicación acerca

del talud inestable en el diseño propiamente de dicho talud en condiciones óptimas alcanzaron resultados y fallos en la condición actual, el material del talud representa una amenaza pudiendo producirse un derrumbe perjudicando las labores y estructuras aguas abajo, en relación que mediante el procedimiento de Bishop en el caso estático fue de 2.06 y pseudoestático fue de 0.81, que el factor de amparo probado por la formulación de Jambú en el caso estático fue de 1.99 y pseudoestático fue de 0.78. demostrando que estos valores no acatan la normativa legal para que un talud sea regular, por tal razón se contempló el uso de soportes para ampliar el factor de seguridad; los soportes a emplear fueron pernos split set y mallas electrosoldadas para la siguiente retomar y llevar a cabo el análisis del factor de seguridad por medio a la formulación de Jambú en el caso estático con soportes split set y mallas electrosoldadas alcanzando un valor de 2.34 y el valor en el caso pseudoestático fue de 1.23, en tanto que a través del método de Bishop en el caso estático con soportes split set y mallas electrosoldadas el valor fue de 2.64 y el valor en el caso pseudoestático fue de 1.13 concretando así la normativa vigente, logrando minimizar el peligro de derrumbe de los materiales del talud.

Mamani (2019), realizó la tesis titulada “Estudio geotécnico para el diseño y estabilidad del botadero de desmontes 3 del proyecto minero Las Águilas” con el objetivo de determinar los parámetros geotécnicos de los materiales del terreno de cimentación, además de las propiedades físicas, mecánicas y químicas del material de desmonte, para lo cual evaluó la condición de la estabilidad física, química e hidrológica del Botadero y así proyectar las obras de estabilización con el fin de diseñar las obras de drenaje de aguas superficiales y subsuperficiales. Empleó el enfoque cuantitativo de diseño no experimental, de tipo aplicado y de nivel correlacional, considerando dos

momentos de recolección de datos: (i) de campo (verificación in situ de las condiciones del área y la identificación de las características físicas y mecánicas de la cimentación y del material de desmonte) y (ii) de gabinete (diseño de obras de ingeniería para la construcción del depósito de desmonte). En forma de resultados, precisa que la geomorfología del lugar de estudio fue modelada por efectos degradadores (agentes de meteorización), así como la inclinación del talud planeado es regular para la situación proyectada con un factor de fiabilidad de 3.494 calculado en situaciones estáticas suponiendo un coeficiente sísmico de 0.00 superior a 1.5 el cual es el mínimo tolerable y un factor de seguridad de 2.394 calculado en situaciones pseudoestáticas con base a un coeficiente sísmico de 0.16 superior a 1.3 que es el mínimo. Tolerable, concluyendo así que se ha alcanzado el diseñar los métodos construcción, analizando las condiciones geotécnicas y la condición solicitada por planificación de mina, para asegurar la operación minera transcurso en la vida de la mina y siguiente a ello.

Vilca (1019), en la investigación titulada “Estudio geotécnico para la estabilidad del talud del depósito de desmonte Santa Rosa del proyecto Santa Rosa - Arequipa” se tuvo por objetivo determinar las características geotécnicas del material y lugar de emplazamiento para la construcción del depósito de desmonte del proyecto mencionado, para lo cual se consideró a los siguientes factores: condicionantes (precipitación), hidrológicos (acidez), sismológicos (coeficiente de sismicidad, altura de banco), geométricos (área, longitud y ángulo de talud) y geomecánicos (densidad, granulometría, cohesión, ángulo de fricción, resistencia de rocas y suelos), y al factor de seguridad del talud y la capacidad de depósito. Metodológicamente se empleó el enfoque cuantitativo de diseño no experimental y de nivel correlacional. En forma de resultados se

presenta que se alcanzó a diseñar el depósito de desmonte para albergar una capacidad de material aproximado de 196 511.00 m³, estimando una consistencia húmeda del material de 2.15 t/m³ para 10.2 años de vida de mina en un aproximado total de 2 Has. en el área, que se planifica para 10 años de vida de la mina. precaviendo que el depósito cumplirá la capacidad prevista de 416 400.00 t de desmonte, incluyendo con un talud e Inter banquetta de 2H:1V. global de 2. 5H:1V. Se determinó, en forma de conclusión, que los factores de seguridad estuvieron por encima de los mínimos permisibles recomendados (1.5 en condiciones estáticas y 1.3 en condiciones pseudoestáticas) en un área de fundación estable sin riesgo potencial de presentar una línea de rotura por sobre esfuerzos de carga.

Ledesma (2018) en su tesis con el título “Propuesta de tratamiento depósito de relaves de Quiulacocha - Pasco para su remediación ambiental, basada en experiencias exitosas en empresas mientras”, sustentado en vivencias satisfactorias en empresas mineras, planteó como finalidad precisar en qué grado beneficia la idea de tratamiento del depósito de relaves de Quiulacocha - Pasco para su mejora ambiental, como su entorno metodológico, empleo el tipo aplicado, de nivel descriptivo y explicativo considerando los métodos específicos histórico, analítico e inductivo inmerso en un diseño no experimental. En forma de resultados detalla dos zonas establecidas de depósito de relaves, una con un estanque de aguas ácidas con una mayor posibilidad de contaminación de los acuíferos subterráneos por penetración de aguas ácidas a través del sustrato impregnable y otra con relaves secos con cierto nivel de solidificación de un área de 89.44 ha lo cual generaría una pérdida de la laguna y la vida biológica existente, además de la contaminación de las aguas y suelos, afectando la salud

de los pobladores con el fin de auxiliar el ambiente en base a experiencias exitosas concluye que la metodología de encapsulamiento con geomembrana y cubierta vegetal ayuda favorablemente en su mejoría ambiental, trayendo consigo beneficios ambientales, de salud, sociales y económicos, pero para el tratamiento de relaves mineros no hay una única fórmula universal ya que cada depósito baldío o clausurado es una cuestión propia, por la clase de mineral depositado, por tamaño, relieve, factor climático, composición química etc.

Huamán (2018), en la tesis titulada “Análisis de estabilidad física del depósito de relave Manavale para su recrecimiento vertical con relave en pasta en la Empresa Minera Aurex S.A.” se formuló el objetivo de determinar la influencia que tiene el recrecimiento vertical con relave en pasta sobre la estabilidad física del depósito de relave Manavale de la planta de beneficio Andes, para lo cual se realizó una evaluación geotécnica para determinar el comportamiento físico y mecánico de los materiales con que ha sido construido el depósito de relaves en función del trazado de todos los taludes de la presa de relaves. En forma de resultados se menciona que por las características propias del material, el sometimiento a acciones pluviales fuertes y los ángulos de reposo del talud de presa (36 a 38°) la relavera Manavale cumple con una pendiente de talud, cuya relación H:V es de 3:1 (en promedio), lo que garantiza su estabilidad, tanto pluvial como sísmica, mientras que, para la continuidad de talud de presa de la relavera, es necesario recubrir con una geomembrana como medida preventiva frente a anomalías climáticas. Se concluye que cualquiera sea el peso de la infraestructura, aproximadamente un “triángulo rectángulo” o “cono truncado” según denomina el autor, construido con relave en pasta, sobre la relavera Manavale, no repercutirá solo en el modelo fuerza de gravedad vertical ya que

todos los esfuerzos de modelo vectorial nunca van a los lados laterales. Solo van guiados al cimiento de la relavera.

Arroyo (2017), en la investigación titulada “El consumo sostenible de desmonte mina para el recrecimiento del depósito de relave Andaychagua Volcan S.A.A.” Se tuvo por finalidad al aumento del depósito de relave Andaychagua Volcán S.A.A. y precisar el vínculo del consumo y la producción sostenible del deshecho minero y planteó como metodología el empleo de los principios científicos, considerando el nivel de investigación descriptivo, de tipo aplicado y diseño no experimental transversal considerando la producción de desmonte de mina y su granulometría. Como resultado principal considera que se realice una mezcla apropiada con la distribución del relave de planta y del desmonte de mina e incrementa estabilidad física y química a los botaderos de material improductivo, ya que los lugares libres entre partículas saturados con material alcalino incrementaran la cohesión y solidez del desmonte, y a causa de las precipitaciones pluvial impiden la circulación del aire y del agua entre partículas excluyendo contenidos de minerales de oxidación, podrían causar desequilibrio en los botaderos, obviando la generación de soluciones acidas drenaje acido de roca.

En conclusión también se estima que la máxima carga ejecutable en el suelo de cimentación pertenece a la parte central obteniendo una notable gran altura, lo mismo el volumen transportado del desmonte mina es equilibrado al incremento del depósito del relave minero, de este modo se logra examinar los lixiviados en el tiempo de lluvia que la capacidad de carga del terreno natural se realizó estimando la cimentación de la presa del relave actuando como una base flexible, homogénea e isotrópica.

Cristóbal (2017), en la tesis titulada “Relación entre método geotécnico para estabilización física del depósito de desmonte y plan de cierre de minera Santa Rosa, La Libertad 2016” se planteó por objetivo determinar la relación que existe entre el método geotécnico para estabilización física del depósito de desmonte Tentadora Sur y plan de cierre de mina de la Minera Santa Rosa. Como metodología empleada, se detalla el empleo del enfoque cuantitativo en marco del alcance de aportes científicos, así como se empleó el tipo aplicado, de nivel correlacional y de diseño no experimental causal. En forma de resultados se detalla que la evaluación de estabilidad física corresponde al sistema de banquetas es muy adecuado para la estabilización física por lo mismo tiene un elevado nivel de seguridad que se aúne directamente con la posibilidad de fallo para un seguro normado coeficiente que es > 1.0 en condiciones pseudoestáticas por lo cual fue de 1.21, el factor de seguridad, método apropiado para el equilibrio físico, según a las propiedades físicas: emplazamiento volumen, y costo de preparación, , por lo cual para su estabilización, se usa el mismo material, con movimientos de material, atenuando la carga superior y extendiendo la inclinación del talud para admitir una pendiente permanente en condiciones pseudoestáticas y estáticas implicando un tendido del talud existente que adopta un ángulo de 25° (1.8H:1V) en un primer momento, para luego pasar a un ángulo de 30° (1.75H:1V), considerando para ambos casos el talud local y el talud global, precisando el mantener un ángulo de reposo de 22° (2.5H:1V).

Cairo (2013), en su tesis titulada “Evaluación geotécnica del depósito de relaves de la Planta Concentradora de Huari - La Oroya”, planteó por objetivo determinar los tipos de amenazas que podría afectar la preservación de la estabilidad del depósito de relaves de la planta concentradora y proponer los

sistemas de contingencia para evitar los daños a la propiedad, al ambiente y personas aún del entorno social. Metodológicamente consideró el tipo aplicado con orientación tecnológica, además del nivel descriptivo considerando el método general deductivo e inductivo, y un diseño no experimental observacional descriptivo. Como resultados precisa que se solicita una valoración del depósito de relaves según al balance metalúrgico el 34 % corresponde a concentrados y el 66 % es material de relave así como el depósito de relaves se encuentra en la parte Este de la planta, que, cuando hay precipitaciones intensas, existe peligro de rebalse por lo que se impacta la relavera 3, siendo necesario intervenir con propuestas sostenibles para evitar que se empoce la relavera, de modo que se prevengan eventos significativos asociados al debilitamiento del sostenimiento de la relavera.

Concluye que ante advertencias geotécnicas el peligro reconocido perjudicaría al depósito de relaves incluyendo la filtración de soluciones de relleno en el subsuelo, el corrimiento del terreno al depósito de relave, los errores en el cimiento rocoso y el relleno estructural, requiriendo de fortalecer el planteamiento de planes de contingencia para que el talud del depósito de relaves siga manteniendo una estabilidad adecuada sustentada en el año de estudio por alcanzar un factor de seguridad de 1.15 (relavera).

2.2. Bases Teóricas - Científicas

2.2.1. Plan de Cierre Conceptual

El objetivo principal de esta sección es describir las actividades que se realizarán durante el período de cierre temporal, cierre progresivo y cierre final de los depósitos de desmontes. Las actividades de cierre a ejecutarse en

cualquiera de los escenarios tendrán la finalidad de lograr la estabilidad física, química e hidrológica del área del proyecto.

2.2.2. Cierre Temporal

Conjunto de actividades que se pueden implementar cuando por circunstancias económicas, operacionales, seguridad o ambientales las actividades mineras y/o de procesamiento son temporalmente suspendidas.

2.2.3. Cierre Progresivo

Conjunto de actividades relacionadas con el cierre, que pueden implementarse simultáneamente con las operaciones mineras y/o de procesamiento, las cuales comprenden componentes de la actividad minera o parte de ellos que dejan de ser útiles.

2.2.4. Cierre Final

Conjunto de actividades relacionadas con el cierre que se implementarán luego de concluidas las operaciones mineras y/o de procesamiento. Estas comienzan a consecuencia del agotamiento de los recursos minerales económicos, ocasionando el cierre de las operaciones en la cantera y de procesamiento.

- Durante el cierre final se ejecutarán las medidas de cierre aplicada a los componentes, dichas medidas se complementarán con el programa post cierre de mantenimiento y monitoreo, las cuales permitirán realizar el seguimiento de la recuperación de las áreas disturbadas por las actividades.
- Para garantizar la ejecución de las medidas de cierre y de acuerdo con la legislación vigente, el titular constituirá una garantía financiera.
- El titular hará los esfuerzos para garantizar que el sitio permanezca en condiciones limpias y ordenadas durante el período del cierre, ejecutando las

siguientes actividades:

1. Desmantelamiento
2. Demolición, Salvamento y disposición.
3. Estabilización Física
4. Estabilización Geoquímica
5. Estabilidad Hidrológica
6. Establecer la forma del terreno
7. Revegetación
8. Rehabilitación de hábitats acuáticos
9. Programas Sociales

Fuente: D.S. 033 – 2005 EM

2.2.5. Desmantelamiento

La actividad de desmantelamiento corresponde al retiro de elementos estructurales, coberturas de techo y laterales, estructuras de acero como pórticos, tijerales, vigas, columnas, correas, pisos metálicos, rejillas, plataformas, escaleras, tuberías, soporte de tuberías, rieles, tanques y silos.

2.2.6. El botadero de desmonte o escombrera (Wastes Dumps)

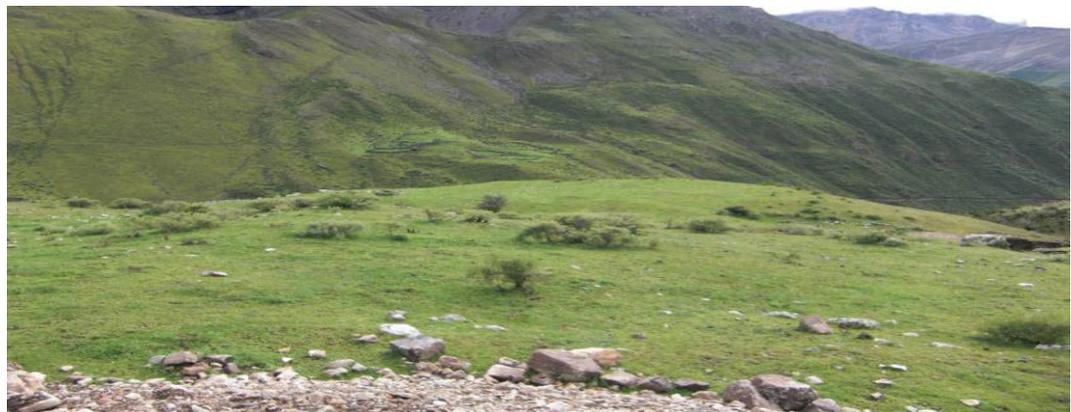
Es aquella estructura concentrada de material ganga o escaso valor económico de mineral, el cual se genera en las industrias mineras a tajo abierto o en las industrias mineras subterráneas que se acumulan paulatinamente sobre fundaciones rocosas (Ver Imagen 1).

- Una de las características de los botaderos, es la acumulación de material a manera de montones o adyacentes a taludes formados naturalmente.
- Las escombreras o botaderos se construyen por la descarga directa del material improductivo desde los equipos como camiones y/o volquetes de acarreo en los bordes de los botaderos o en otros casos también se tiene el

apoyo de tractores los cuales arrastran el material depositado en las plataformas.

- Estos grandes depósitos y sus riesgos debido a la inestabilidad han generado mayor atención y preocupación de parte de los organismos gubernamentales que han orientado sus esfuerzos a minimizar en gran medida los impactos ambientales, efectos adversos a la flora, fauna y aquellos riesgos de seguridad presentes en el personal, equipos e infraestructura asociada.
- (Roberto C. Villas-Bôas & Diego Masera – 2004) Se han registrado muchas experiencias de deslizamientos de tierra de estas estructuras, algunas de las cuales fueron el evento catastrófico que ocurrió en el depósito de carbón de Aberfan, Gales, en octubre de 1976. El depósito era de tamaño relativamente pequeño (36m) el cual colapso generando la muerte de 144 personas tras caídas y desvíos de corrientes.

Imagen 1 *Ubicación Botadero Nivel -I Mina Shalca.*



Fuente: Propia.

2.2.7. Construcción de un botadero

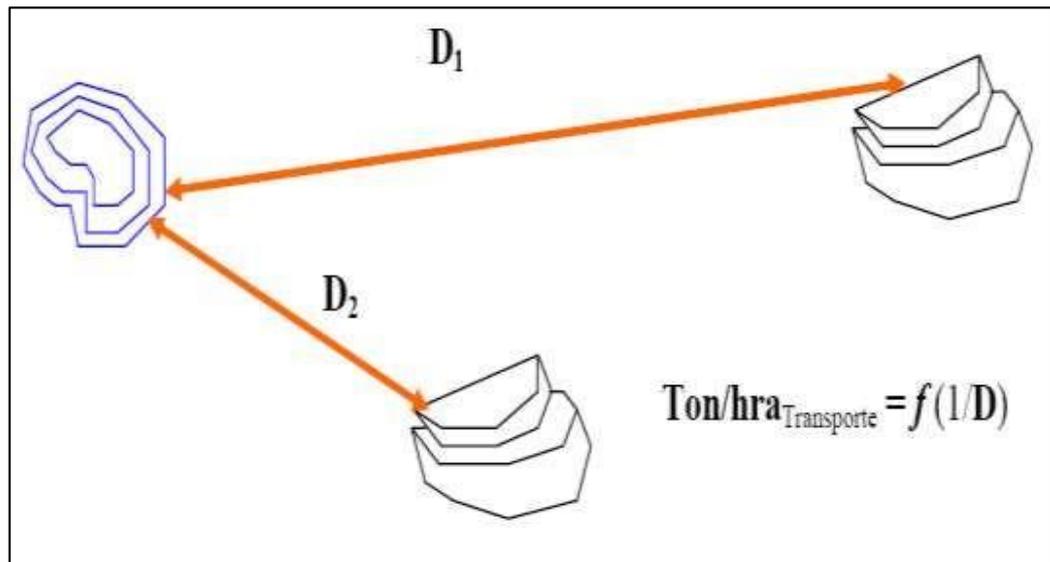
Todo el desmonte producido en mina será almacenado en áreas destinadas para este fin, a continuación, se detallan especificaciones que deben tener estas áreas.

- El área apropiada para la construcción de un botadero debe cumplir cada

exigencia para su habilitación, los estudios técnicos y económicos deben ser aceptables, de las cuales podemos mencionar las siguientes:

- La distancia de transporte del material desde mina y lugar de descarga del material debe ser la más mínima (D_2), por razones económicas, con el fin de mejorar el rendimiento de los equipos de transporte (Ver Imagen 2).

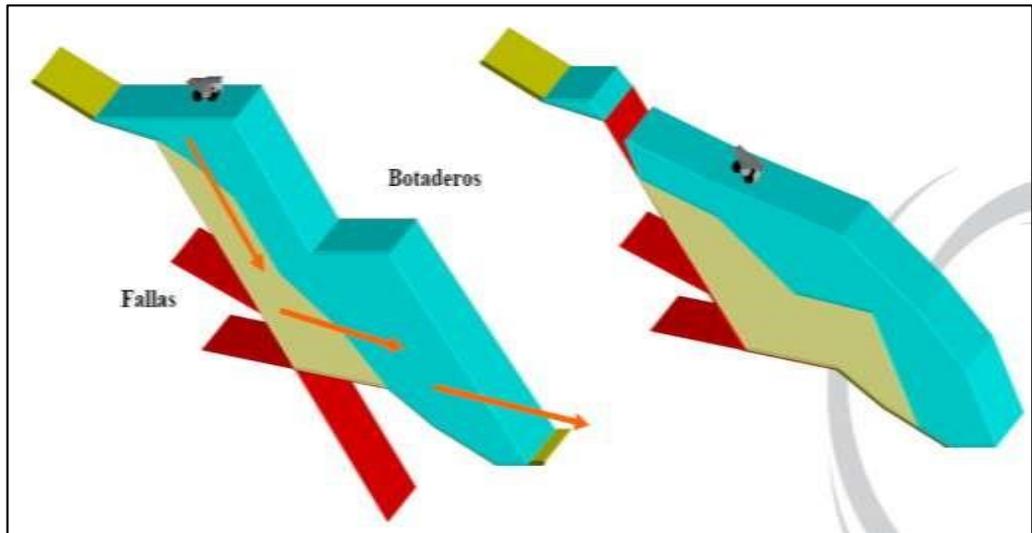
Imagen 2 Distancias entre caminos de carga.



Fuente: Universidad de Atacama Chile.

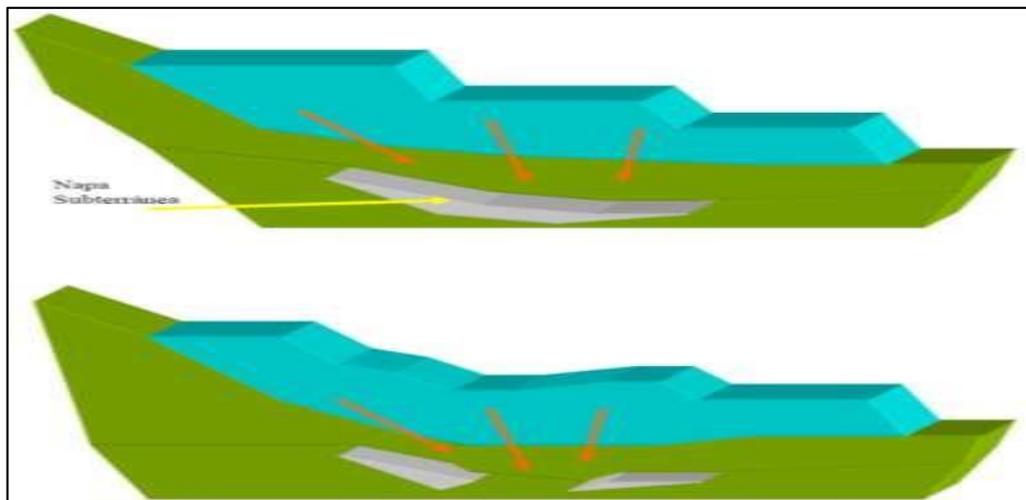
- El lugar de almacenamiento debe ser geológica y geomecánicamente adecuado para este fin. Esto se debe a que grandes cantidades de material sedimentario pueden causar efectos geomecánicos negativos como hundimientos del terreno en el propio sector o en el sector circundante (distribución de tensiones). (Ver Figuras 3 y 4)

Imagen 3 *Diseño de botaderos con presencia de falla.*



Fuente: Universidad de Atacama Chile.

Imagen 4 *Napas freáticas.*

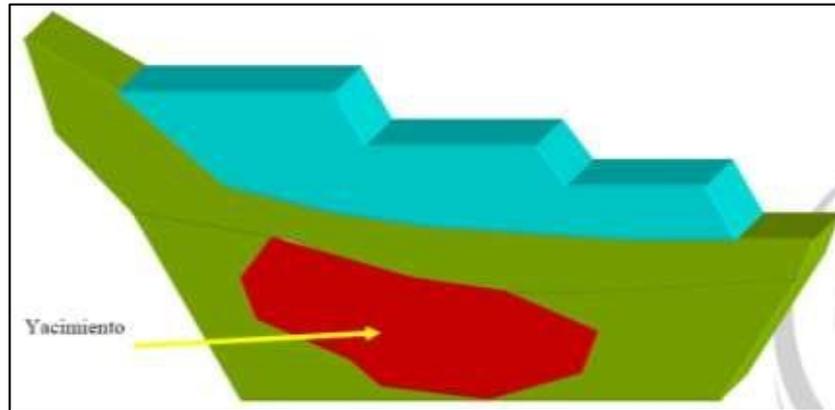


Fuente: Universidad de Atacama Chile.

- El área elegida, bajo estudios, no debe tener importancia económica en el presente y en un futuro (Ver Imagen 5), se tiene que demostrar que no existen recursos aprovechables en el área destinada para el botadero

(ejemplo, reserva importante de agua, yacimientos poco aprovechables hoy, pero de gran potencial para el futuro etc.).

Imagen 5 Botadero por encima de un yacimiento.



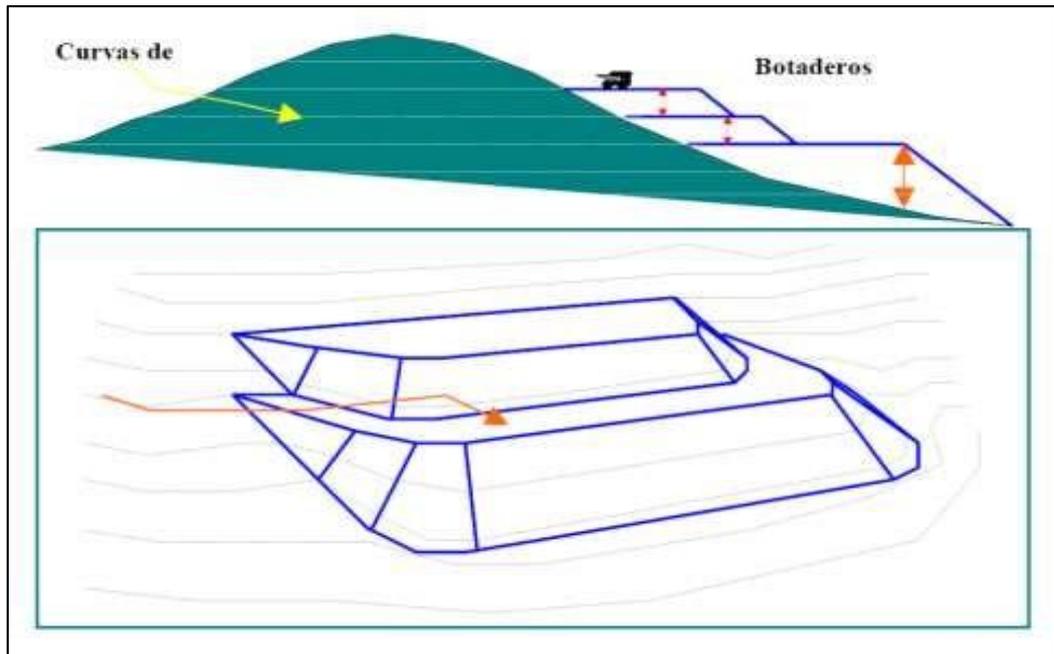
Fuente: Universidad de Atacama Chile.

- El área por utilizar del sector no debe significar un daño ambiental real o potencial, lo cuál debe ser garantizado con un adecuado estudio al respecto.

2.2.8. Disposición de botaderos en laderas

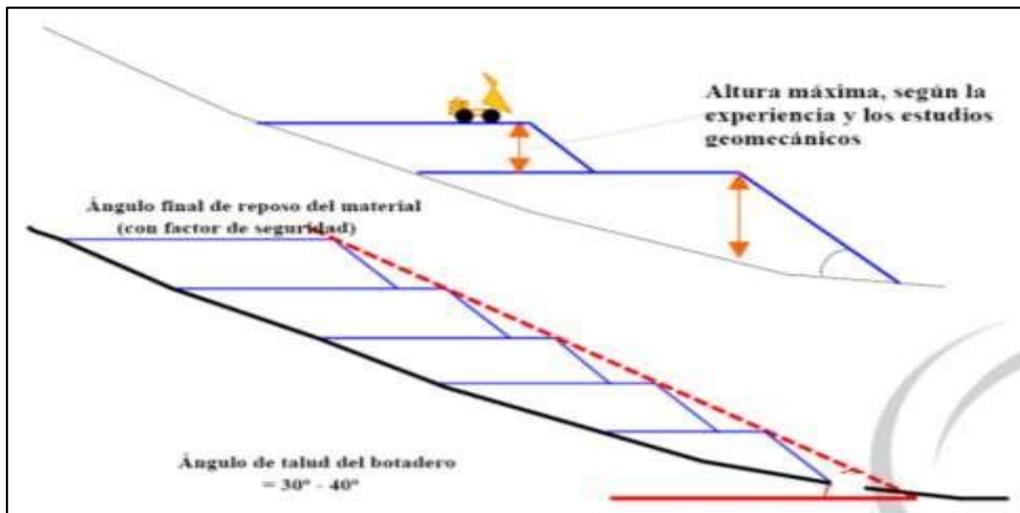
Generalmente se disponen el material estéril en las laderas de los cerros próximos a la zona de explotación, más que nada por razones de facilidad en la descarga, mantención y estabilidad, además de una mayor disponibilidad de espacio para la actividad y ésta se puede realizar de una manera más uniforme (Ver Imágenes 6 y 7).

Imagen 6 Botadero en laderas.



Fuente: Universidad de Atacama Chile.

Imagen 7 Alturas máximas de botadero.

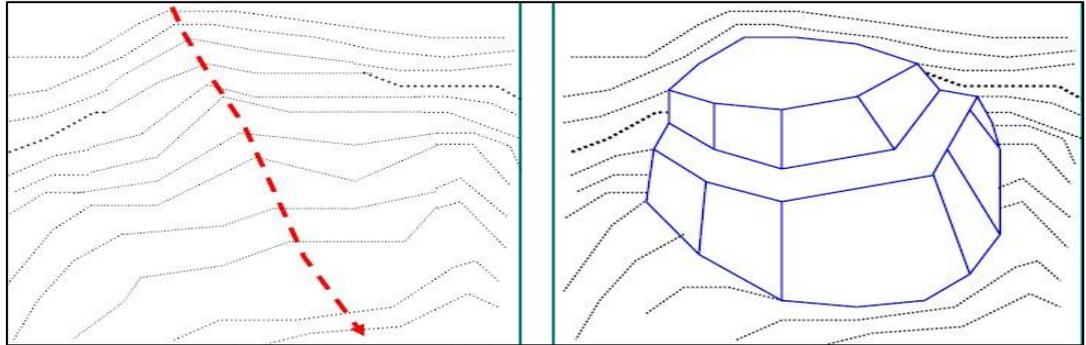


Fuente: Universidad de Atacama Chile.

2.2.9. Disposición de botaderos en quebradas

La acumulación de material estéril en quebradas solo podrá realizarse en casos que esta actividad no represente un riesgo real o potencial, lo cual se lograría con un adecuado estudio del sector, teniendo precaución con los cauces de aguas que pudiesen ser afectados (Ver Imagen 8).

Imagen 8 Botadero en quebradas.

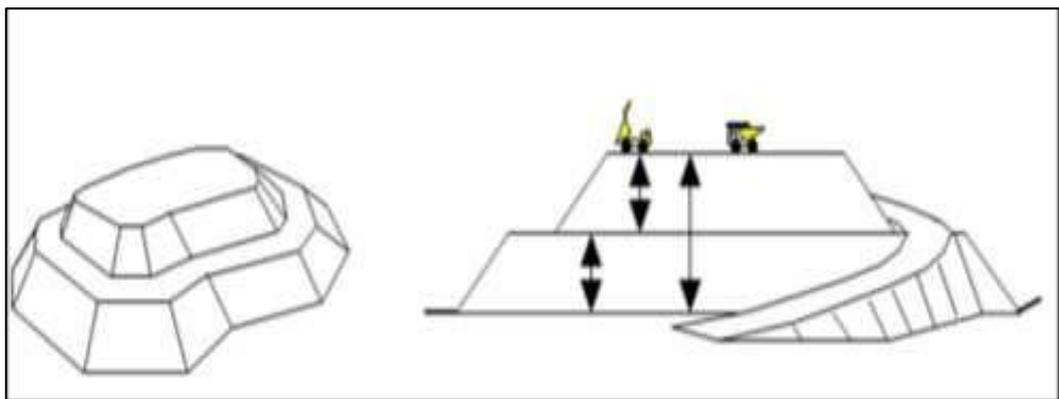


Fuente: Universidad de Atacama Chile.

2.2.10. Disposición de botaderos en pilas o tortas

Existen casos en que no se dispone de laderas cercanas en que se puedan depositar los materiales estériles, por lo que se debe recurrir a la construcción de pilas o tortas de acopio. En este caso debe considerarse la construcción o habilitación permanente de accesos sobre la pila misma, a diferencia de la disposición en laderas en que parte de los accesos se habilitan en los mismos cerros (Ver Imagen 9)

Imagen 9 Botadero en pilas o tortas.

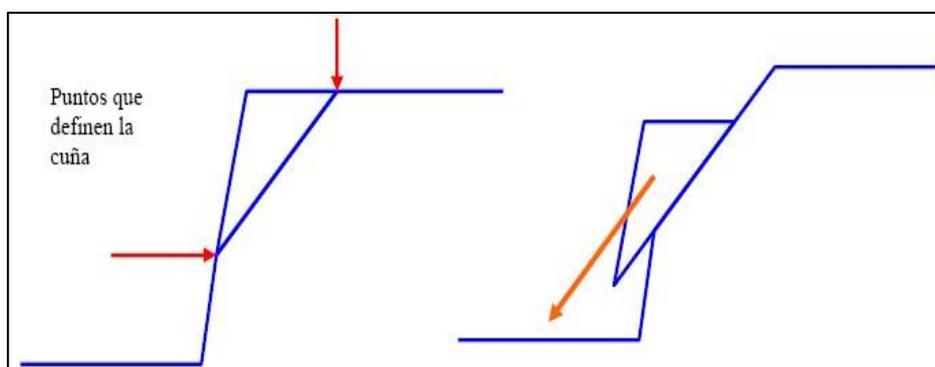


Fuente: Universidad de Atacama Chile.

2.2.11. Colapso en los bordes del Botadero

Los colapsos en las caras de material compacto, como en el caso de los bancos construidos en roca, se producen en función de las estructuras presentes y por lo general son predecibles, ya que la mayor parte de las veces dichas estructuras son debidamente mapeadas y tienen algún grado de presencia en la superficie, por lo que se puede estimar, prevenir y controlar la ocurrencia de un evento de inestabilidad (Ver Imagen 10).

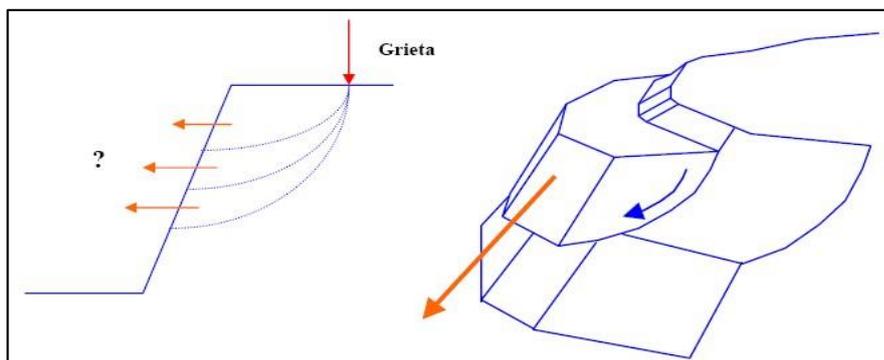
Imagen 10 Colapso de botaderos.



Fuente: Universidad de Atacama Chile.

Para el caso de los depósitos de material no compacto o suelto, se pueden apreciar ciertos indicios de inestabilidad en superficie, pero lamentablemente no siempre se puede determinar el volumen afectado por dicha inestabilidad, debido a que la cara por la cual se deslizaría el material inestable no es recta sino curva (Ver Imagen 11).

Imagen 11 Botadero con material no compactado.

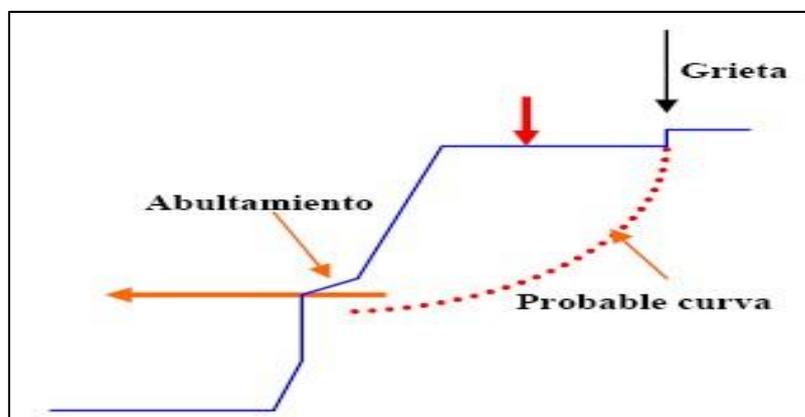


Fuente: Universidad de Atacama Chile.

En algunos casos, se pueden observar algunos signos de inestabilidad de la pendiente y, por lo tanto, la curva de deslizamiento puede evaluar y posiblemente prevenir mediante algún tipo de acción.

Esta marca suele ser similar a la pendiente (ver Imagen 12).

Imagen 12 Botadero con inicio de inestabilidad.



Fuente: Universidad de Atacama Chile.

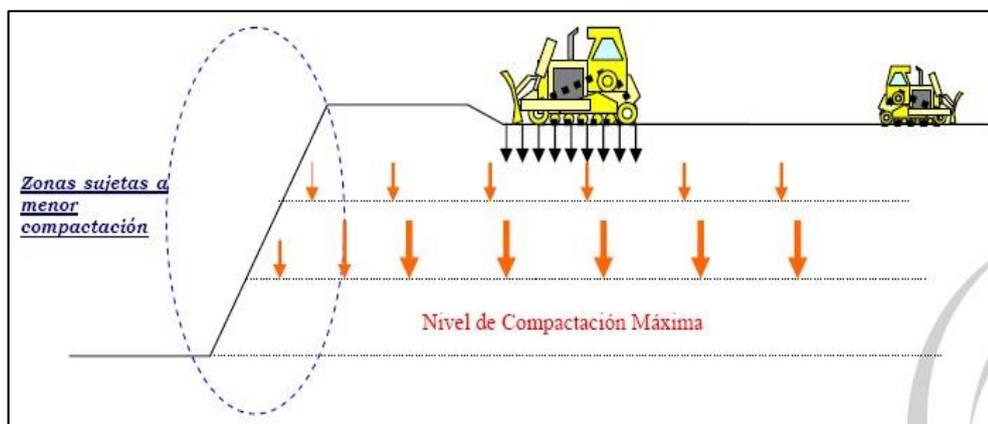
2.2.12. Mantenimiento de botaderos

Para prevenir acontecimientos mencionadas líneas arriba, se debe trabajar bastante en la compactación, de esta manera podemos lograr un cimiento bien compacto a partir del material suelto, consiguiendo una mayor estabilidad en todo el botadero. El proceso de compactación se realiza de varias maneras, va a

depender de aquellos recursos con que la empresa disponga, generalmente se ha visto el apoyo de equipos Bulldozers y wheeldozers, sin embargo, el uso de rodillos compactadores sería de gran utilidad (Ver Imagen 13).

- Es importante señalar que la densidad de entrada y deposición del material es de 1,92 t/m³ (para una densidad de suelo de 2,7 t/m³). Si el vertedero se compacta adecuadamente, se puede lograr una densidad de 2,1 toneladas/m³, lo que supone un aumento del 9 % en la densidad en comparación con la densidad del tanque o un aumento del 78 % en el valor de densidad del campo. Este valor depende del tamaño del grano, del grado de hinchamiento del material que ingresa al vertedero y de la calidad del mantenimiento del sedimento. Las densidades en las capas inferiores de sedimentos pueden ser mayores debido a la presión de las pilas de material encima de estas capas, por lo que se puede esperar una disminución de la densidad con la altura.
- También debemos considerar que, durante la compactación con equipos, esta debe ser uniforme, ya que cuando las densidades son homogéneas en niveles más inferiores del depósito la operación sobre el botadero es más seguro y genera mayor estabilidad a la pila de material depositado. Si existe lineamientos y/o discontinuidades dentro del depósito, lo más probable es que si ocurriese una falla, o un problema ese sería el punto por donde se manifestaría dicha situación, independiente de que sea o no la causa de ello.
- Citamos un ejemplo, si una determinada área no fue compactada correctamente y ocurre un movimiento telúrico de magnitud considerable, lo más probable es que si hay algún tipo de colapso o daño en la pila de material, este daño tendría relación al sector que no fue compactado correctamente sin ser este el causante del movimiento telúrico.

Imagen 13 Compactación de botadero.



Fuente: Universidad de Atacama Chile.

Imagen 14 Problemas de homogeneidad.



Fuente: Universidad de Atacama Chile.

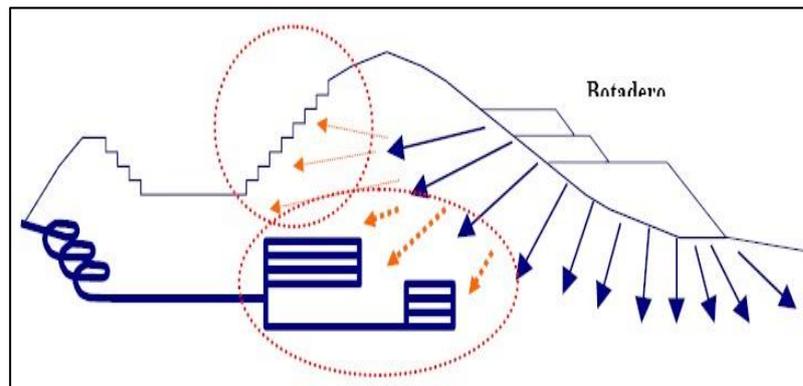
2.2.13. Presión ejercida sobre el terreno por el botadero

Uno de los efectos de tener más material donde antes no lo había es el efecto de la presión del suelo. Por lo tanto, las consideraciones de selección del sitio para la eliminación de este material deben incluir un estudio detallado de las condiciones industriales para determinar si el suelo puede soportar convenientemente la eliminación de residuos.

- Es importante destacar que ha habido casos en que, al encontrarse los

botaderos muy cercanos a la explotación de la mina, se han detectado algunas anomalías en el tajo (o en minas subterráneas) producto de la presión ejercida por los depósitos de material estéril (Ver Imagen 15).

Imagen 15 *Presión ejercida sobre el terreno.*



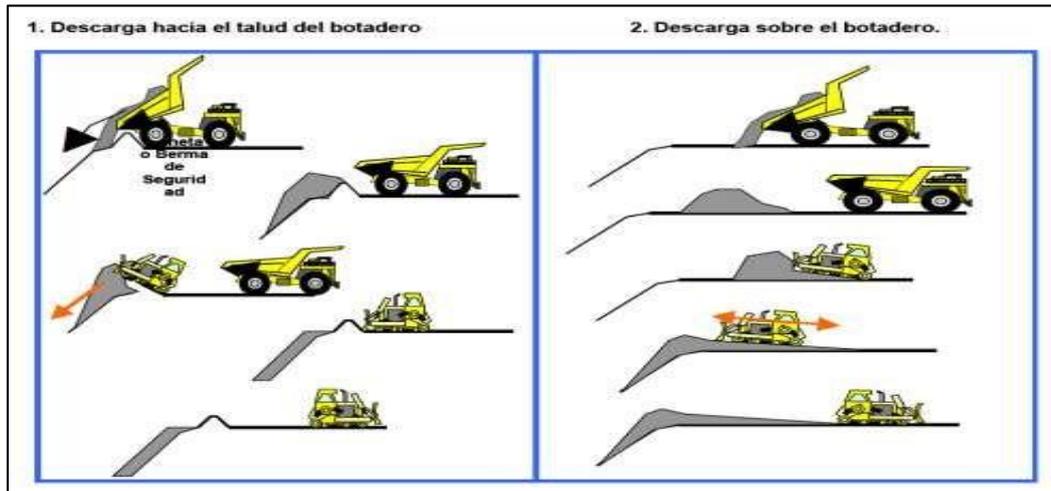
Fuente: Universidad de Atacama Chile.

2.2.14. Operación en botaderos

La acumulación de desmonte se realiza cerca del borde del botadero, teniendo siempre en cuenta la existencia de una distancia adecuada al borde del botadero para prevenir accidentes durante y después de la operación.

- Para prevenir accidentes durante la operación es necesario el apoyo de equipos compactadores como los bulldozers y/o wheeldozeres, estos equipos realizan el acomodamiento, nivelación del material y la construcción de cunetas de seguridad. (Ver Imagen 16).

Imagen 16 Descarga de botadero.



Fuente: Universidad de Atacama Chile.

2.2.15. Botaderos de desmonte y pistas

Botaderos de desmonte

Como primer paso para el diseño de un botadero será la ubicación, en base a estudios, de uno o más lugares que serán áreas destinadas para el fácil manejo de volúmenes de desmonte de roca a ser removidos durante la operación de mina.

El área para elegir depende de varios factores importantes, tales como:

- Ubicación del Pit y en función a la vida útil de la mina.
- Topografía.
- Cantidad de desmonte de roca.
- Alcance de la propiedad.
- Rutas de drenaje existente.
- Condiciones de fundación.
- Equipos, maquinaria y logística para el manejo del material.
- El objetivo de la planificación de vertederos es diseñar alternativas de eliminación de residuos que minimicen las distancias horizontales y

verticales entre el punto de carguío y el vertedero. Dado que el costo de la eliminación adecuada de residuos suele ser mayor que el costo de la minería, el diseño y mantenimiento de los sitios de eliminación de residuos juega un papel importante y decisivo que afecta directamente los costos operativos de las instalaciones mineras.

- Para maximizar el retorno de la inversión, se completaron una serie de planes de producción y minería subterránea antes del diseño del vertedero. Por lo tanto, en el proyecto están predeterminados dos parámetros importantes relacionados con el diseño del vertedero. Es decir, la ubicación de la boca mina, su tamaño y el cronograma de producción de residuos a lo largo de la vida útil de la mina. Estos parámetros le permiten determinar el inicio de la acumulación del material, su progreso durante el uso y la cantidad máxima de almacenamiento final.
- La secuencia de minado del material definirá el ratio y fuente de desmonte de roca. Generalmente, desmontes de áreas altas debe ser transportadas a los botaderos de zonas altas y viceversa. Esto es común si los costos de transporte son minimizados. Sin embargo, la topografía, límites de propiedad, rutas de drenaje, estabilidad, aspectos e impacto ambientales, y otras restricciones durante el proceso evitarían el cumplimiento del objetivo.
- Con ayuda de la topografía se contornearán áreas y se definirán el tipo o forma del botadero. Generalmente los botaderos son rellenos de valles (completo o parcial), ladera de cuña, abanico y terrazas o combinaciones de estas.
- Hay dos parámetros principales a considerar antes de construir un polígono. El coeficiente de expansión del material y el ángulo de colocación del

material, estos datos ayudarán a determinar el volumen requerido del pilote y la pendiente general. Cuando los materiales se introducen en el campo, se hinchan entre un 10 y un 60 por ciento, dependiendo del tipo de material y de la frecuencia de destrucción. Al procesar piedras duras, el coeficiente de peso es del 30 al 45%. Se debe realizar una prueba de densidad separada para determinar el crecimiento esperado.

- El siguiente parámetro por considerar es el ángulo del material suelto. La temperatura de la roca seca en la mina suele ser de 34 a 37°. Por razones de diseño y seguridad, se recomienda una pendiente conservadora de 1,5:1 (34°). Las mediciones de pendientes existentes también dan una buena indicación de la pendiente a largo plazo del vertedero.
- La ubicación de los vertederos también está influenciada por los métodos de transporte, la sostenibilidad y las cuestiones de remediación.

2.2.16. Estabilidad de botaderos

La estabilidad general del botadero depende de diferentes elementos tales como:

- Topografía del área.
- Método de construcción del botadero.
- Parámetros geotécnicos del material estéril.
- Parámetros geotécnicos del material de fundación.
- Esfuerzos externos que actúan sobre el botadero (presencia de agua y sismos).
- Ratio de avance del botadero.

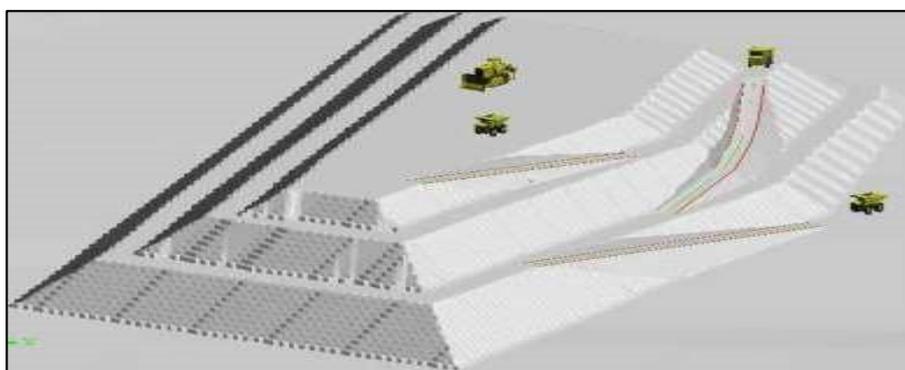
Todos estos elementos combinados en diversas formas durante la vida útil del botadero de mina contribuirán en la estabilidad o inestabilidad del botadero.

2.2.17. Métodos de construcción

Los vertederos generalmente se construyen utilizando uno de los dos métodos más comunes: disposición escalonada (ver Imagen 17) o disposición final. La descarga final se controla mediante un proceso de falla donde el material estéril se retiene y forma un chaflán para el ángulo de tope, resultando así en un factor de seguridad cercano a la unidad. Debido a que la superficie del terreno siempre avanza durante la vida útil de un vertedero, la pendiente sólo se puede estabilizar después de que el vertedero se cierre y nivele utilizando el equipo existente.

- Se recomienda una gestión proactiva de los vertederos debido a la invasión de pendientes. Los vertederos construidos con el método de drenaje final también se denominan "construcción superior", mientras que el drenaje estratificado se construye desde "abajo". Los polígonos creados de abajo hacia arriba se pueden controlar, lo que garantiza la estabilidad general. Sin embargo, esto representa una pendiente relativamente suave del terreno, lo que generalmente resulta en distancias de recorrido más largas en los primeros años de vida de la mina.

Imagen 17 *Construcción de botadero por bancos o capas.*



Fuente: Universidad de Atacama Chile.

2.2.18. Estabilidad de taludes de corte y relleno

Para estos tipos de talud, el talud se determina determinando la relación H: V del diseño (teniendo en cuenta los resultados obtenidos de ensayos y cálculos o experimentos realizados en excavaciones en el terreno y/o en rocas o geología y relativos geotécnicos).

- Capacidad de permanecer estable en suelo natural y condiciones ambientales relativas. Estos taludes dependen de la naturaleza y estabilidad del terreno (ver Tabla 1) y se pueden utilizar (como referencia) las siguientes relaciones de corte de talud adecuadas para el tipo de material (roca y suelo):

Tabla 1 Clase de materiales.

CLASE DE TERRENO	TALUD (V: H)		
	H < 5	5 < H < 10	H > 10
Roca fija	10 : 1	(*)	(**)
Roca suelta	6 : 1 - 4 : 1	(*)	(**)
Conglomerados cementados	4 : 1	(*)	(**)
Suelos consolidados compactos	4 : 1	(*)	(**)
Conglomerados comunes	3 : 1	(*)	(**)
Tierra compacta	2 : 1 - 1 : 1	(*)	(**)
Tierra suelta	1 : 1	(*)	(**)
Arenas sueltas	1 : 2	(*)	(**)
Zonas blandas con abundante arcillas o zonas humedecidas por filtraciones	1 : 2 hasta 1 : 3	(*)	(**)

(*) Requiere banqueta o análisis de estabilidad.

(**) Requiere análisis de estabilidad.

Fuente: Universidad de Atacama Chile.

Los taludes de relleno dependerán del tipo de material utilizado, pudiendo ser considerados (a modo de taludes de relleno referenciales) los taludes que son apropiados para los tipos de material (Ver Tabla 2).

Tabla 2 Clase de materiales.

MATERIALES	TALUD (V : H)		
	H < 5	5 < H < 10	H > 10
Enrocado	1 : 1	(*)	(**)
Suelos diversos compactados (mayoría de suelos)	1 : 1.5	(*)	(**)
Arena compactada	1 : 2	(*)	(**)

(*) Requiere banquetta o análisis de estabilidad.

(**) Requiere análisis de estabilidad.

Fuente: Universidad de Atacama Chile.

Para el control de las áreas con inestabilidad de taludes en este tipo de casos, es recomendable el diseño de soluciones de bajo costo previa evaluación y se brindará soluciones mediante: canales de coronación, barreras de contención, métodos de revegetación.

2.2.19. Secuencia del diseño de investigación y desarrollo de un botadero de desmonte

Para el diseño de un botadero de material estéril se debe considerar los siguiente:

Imagen 18 Secuencia de desarrollo de botadero.



Fuente: Elaboración Propia.

2.2.20. Exploración

Durante la fase de exploración de un proyecto minero la forma de almacenamiento de materiales generalmente no es contemplado. Es recomendable en esta etapa se consideren características tales como: Topografía, Geología, Hidrología, Climatología, etc. En muchos casos esta etapa sería más consciente si la persona a cargo del proyecto establecería un plan para elaborar una base de datos relativamente simple y de bajo costo.

2.2.21. Prefactibilidad

Según van realizando los trabajos exploratorios se deben disponer todos los requerimiento necesarios y básicos para el almacenamiento del material estéril.

- Cantidad y el tipo de material estéril a ser depositado.
- Ubicación del material original.
- La metodología de manejo de material a ser empleados.
- Puntos importantes para evaluar: Geología, vegetación, topografía, hidrología, climatología, arqueología y otra información que se pueda recolectar durante la fase de exploración, proyectos y publicaciones previas.
- Evaluación de ubicaciones potenciales y conocimiento previo de las ubicaciones identificadas. Evaluación preliminar del sitio de disposición de residuos, características litológicas y cantidad de material de recubrimiento.
- Propuesta inicial del tipo de botadero a ser construido probablemente.
- Detallar los factores posibles a influenciar en la construcción del botadero y así como el establecimiento de los estudios detallado a ser ejecutados en el futuro.

2.2.22. Factibilidad y diseño preliminar

Requerimientos adicionales, caracterización del lugar y de los materiales del botadero.

- Reconocimiento e investigaciones de campo, construcción de trincheras y calicatas, etc. serán orientadas para la evaluación de las condiciones del área a ser utilizada y la forma de apilamiento del material estéril.
- Disponer de lineamientos base de muestreo y monitoreo medioambiental.
- Valorar el volumen de material a ser minado, así como su composición del material a ser refinado en el caso de las pilas de lixiviación.
- Se deben realizar estudios de laboratorio de los materiales de la fundación y de los materiales del botadero con el objetivo de establecer características básicas de los materiales tales como: Resistencia al Corte, ángulo de cohesión, humedad.
- Muestreo de aguas superficiales y subterráneas para el establecimiento de una línea base.
- Valoración inicial de los sistemas de flujo de agua superficial y subterráneo y la tentativa de preparación de un balance de aguas.
- Análisis inicial de la estabilidad para disponer parámetros de diseño adecuados del talud.
- Ejecutar planes de reclamación preliminar los cuales serán requerido para establecer planes económico-ambientales y la base para futuros estudios detallados.
- Los resultados de los estudios de factibilidad y diseño preliminar deberán ser compilados en la Etapa I del reporte.
- De identificarse anomalías del proyecto durante su revisión, podría ser

rechazado o aprobado quedando a futuro estudios complementarios a ser ejecutados en la Etapa II.

- Estudios detallados del diseño serán necesarios para obtener los permisos Etapa III.

2.2.23. Estudios geotécnicos de detalle

Cada proyecto debe considerar su estudio geotécnico detallado, además de diseños, así como el alcance de estos estudios deberían ser determinados en consulta con los organismos gubernamentales.

- También se deben considerar otras investigaciones en campo con la finalidad de realizar una toma de muestras adicional para ensayos de laboratorio, estos ensayos serán requeridos para un mejor diseño geotécnico.
- Las valoraciones detalladas de la estabilidad, incluyendo el alcance máximo y la sensibilidad pueden ser precisadas.
- Así mismo las alternativas de diseño y el refinamiento de los criterios de diseño son necesarios, estos deben ser detallados.
- Se debe presentar todos los diseños bien detallados para las medidas de mitigación, comprensión y evaluación de riesgos.
- También se deben considerar, por ser necesarios, planes avanzados de planeamiento de reclamación.
- La interrelación de muchos factores determinará el diseño óptimo del botadero.
- Los resúmenes de los reportes a ser presentados a los entes gubernamentales, los cuales deben proporcionar toda la información requerida tales como el diseño, seguridad del proyecto, estarán dentro de la etapa III.

2.2.24. Trabajos previos a la construcción de botaderos de desmonte

Para preparar la fundación en un botadero será necesario:

- Para este proceso los resultados de las investigaciones de campo son indispensables, de los ensayos de materiales y de los análisis de estabilidad.
- Se pueden tomar medidas específicas para el mejoramiento de las fundaciones y los márgenes con la finalidad de asegurar que las condiciones insitu alcancen o excedan el análisis y diseño.
- En general, donde las condiciones de las fundaciones sean pobres, de suelos suaves, muy húmedas o débiles será necesario retirar estos materiales.
- Este material generado es obligatorio que lo almacenen lejos del alcance del botadero.
- En muchos casos, los procesos de desbroce pueden perturbar y debilitar la capa de suelo, y generalmente no es necesario limpiar el material vegetal existente, dado que el desbroce puede tener un impacto negativo en la estabilidad general del talud.
- La experiencia del proyecto ha demostrado que se deben eliminar todos los materiales (suelos orgánicos y áreas modificadas) que puedan desestabilizar el talud.
- Cuando existe salida de agua subterránea los suelos saturados tienden a debilitarse debido a la presencia de espesor considerable de los desmontes depositados.
- La excavación de suelos con estas características no es recomendable y es poco eficaz.
- Una medida más eficiente sería la construcción de canales subterráneos de avenamiento o drenes franceses.

- A largo o corto plazo, estas medidas suelen ser más provechosas y al mismo tiempo nos permite monitorear el funcionamiento de dichos avenamientos.
- En lugares donde la fundación es de terrenos suaves y húmedos poco aptos para el soporte de equipos, es necesario preparar y proteger la fundación levantando Pre-capas entre 5 y 15 metros de espesor con la finalidad de consolidar estos suelos.

Los botaderos de desmonte son frecuentemente extensos en minería, dado ello se debe considerar buen manejo y control de lo siguiente:

- Mediciones de precipitaciones pluviales para prevenir saturación de los taludes expuestos.
- Prevenir acumulación de agua en el subsuelo y originar nivel freático debajo del botadero.
- Protección contra la pérdida de finos que a la larga pueda producir piping.
- Evitar agrandar áreas de erosión.
- Una de las construcciones económicamente viable son los drenes rocosos a través de los botaderos.
- Esta tecnología relativamente nueva aplicada a botaderos de desmonte pero que está sufriendo cambios constantes con el tiempo.
- En la década del 70 el diseño de drenes era común para flujos de agua de aproximadamente 20m³/s, sin embargo, los estudios actuales están orientados a definir si un dren de roca puede trabajar con flujos de 30m³/s.

El análisis de flujos en un dren completo debe considerar tres condiciones:

- Capacidad de la entrada.
- Condiciones de salida del flujo.
- Programa de contingencias si el flujo llegara a sobrepasar la capacidad del

dren.

- Se encontró que los tipos de fracturas más comunes en Canadá fueron fracturas rotacionales y no rotacionales y ocurrieron durante los períodos finales de primavera y verano.
- La acumulación de hielo, nieve y material fino puede provocar estas perturbaciones. La nieve y el hielo a menudo se derriten rápidamente, creando puntos débiles.
- Lo mejor es no dejar productos de limpieza en zonas donde haya mucha nieve.
- Los desagües en los que se vierte la roca estéril deben estar libres de nieve.
- El desarrollo de vertederos debe planificarse de modo que quede expuesto al viento incluso en invierno.

2.2.25. Métodos de construcción plataformas y capas

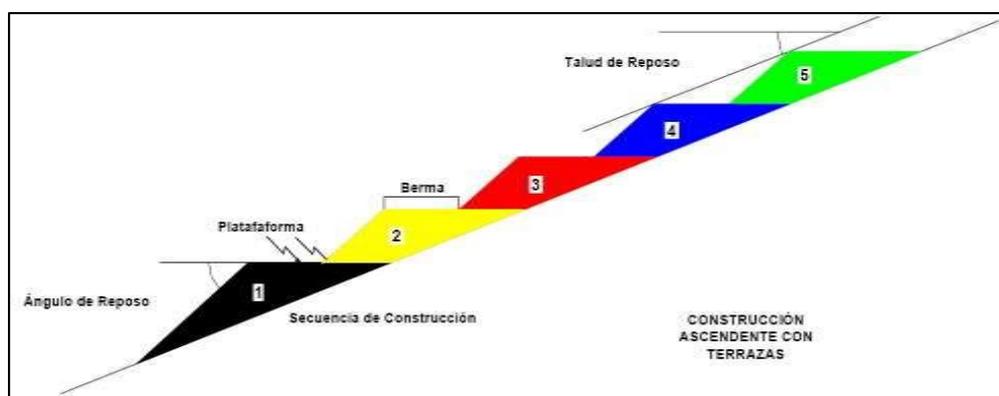
- Existen botaderos con espaciamientos verticales superiores a 10 metros contruidos en capas.
- La altura entre cada capa disminuye la distancia de transporte vertical.
- Los parámetros por considerar siempre serán; ancho, longitud de plataforma y altura entre capas, estos contribuirán en la estabilidad de un botadero.
- De existir espacios abiertos en las plataformas estos serán usados como bermas, generando menor inclinación en los ángulos del talud final.
- En otros casos, cuando existen espacios pequeños entre plataformas y el espesor de las capas, el material depositado sobre el terreno será menor en consecuencia, podríamos considerar que este factor favorezca el aumento de presiones en los suelos saturados.

2.2.26. Construcción ascendente

La construcción se realiza de la parte inferior hacia la parte superior, aquí la capa construida se apoya directamente o está soportada por una capa previa; es decir que el toe siempre descansa sobre la plataforma.

Cualquier ruptura se desarrollará a través de la capa construida previamente (ver Imagen 19).

Imagen 19 Construcción ascendente de botaderos.

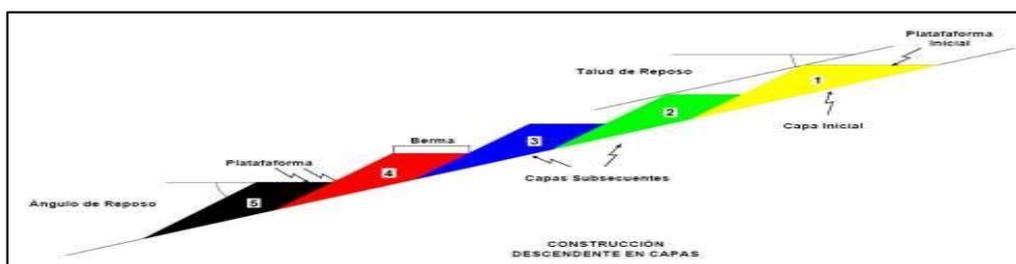


Fuente: Universidad de Atacama Chile.

2.2.27. Construcción descendente

- Esta construcción se realiza de niveles altos a inferiores.
- Económicamente este tipo de construcción es favorable.
- El control que se tiene sobre la fundación tiene que ser bien definida (Ver Imagen 20).

Imagen 20 Construcción descendente de Botaderos.



Fuente: Universidad de Atacama Chile.

2.2.28. Monitoreo de botaderos

Consiste en supervisar a diario y mantener la distribución adecuada de materiales en todos los frentes y a lo largo de toda la cresta del botadero.

- Velar por el cumplimiento de los procedimientos y estándares establecidos.
- Como consecuencia directa de la construcción de botaderos es comprensible que se produzcan movimientos en estas grandes estructuras, por lo tanto, será necesario instalar instrumentación especial y simple que controle los rangos de movimiento.
- Fracturamiento en las plataformas.
- Verificar el ángulo de reposo del botadero y abultamientos en las caras de los taludes.
- Evitar la acumulación de material en un solo frente de descarga.
- Reubicación de extensómetros.

2.2.29. Clases de material

Su composición varía entre de rocas con diámetros de 40 – 80 cm que consideramos buen material, el material mezclado que puede ser de las deposiciones geológicas recientes (cuaternario) y las de mal material que son la capa superior de la corteza terrestre (Ver Imagen 21).

Imagen 21 *Clasificación de materiales.*



Fuente: Universidad de Atacama Chile.

2.2.30. Descargas de material

- Este procedimiento es elección de cada minera.
- Una de las empresas con mayor movimiento de material, Antamina, mantiene prohibida descarga de material en los frentes de trabajo.
- Los vigías constantemente revisan si las plataformas tienen o no agrietamientos en crestas y plataformas.

2.2.31. Agrietamiento de crestas y plataformas

El crecimiento de un botadero demandará el desarrollo normal de agrietamientos a nivel de plataformas y crestas.

2.2.32. Instrumentación Geotécnica

Los instrumentos más comunes para instrumentar un botadero son los extensómetros de cable el cual permite medir los desplazamientos en la vertical y horizontal en la plataforma y crestas de un botadero.

Estos instrumentos no nos permiten medir direcciones.

2.2.33. Factores que afectan la estabilidad de los botaderos

a. Configuración del botadero

- Volumen: Comúnmente mencionado en metros cúbicos.
- Altura: diferencia vertical desde el suelo del terreno a la cresta del botadero.
- El índice del ángulo de reposo de los materiales en los botaderos es 37° . Ángulos superiores a 37° serían contemplados como botaderos sobre pendiente y estas se relacionan con la clase de materiales que son evacuados.

- Ángulo del Talud: Es el ángulo total calculado desde la cresta hasta el pie del botadero. Generalmente el ángulo aprobado es de 26°.
- Botaderos Grandes: Superior a 50 millones de volumen.
- Botaderos Pequeños: Menos a 1 millón de volumen.
- Botaderos Medianos: Oscilan a 1 millón y 50 millones de volumen.

b. Fundación de los taludes y grado de confinamiento

- Las dos razones alteran la solidez de los vertederos.
- Fundaciones de taludes muy en pendiente y sin espacio confinado son aspectos de grave peligro y son señaladas causas de fallas relevantes.
- Una posición positiva sería la reducción del ángulo en la base del botadero y el encierro tridimensional del mismo.
- Donde el valle es sinuoso el botadero tomará la configuración del valle.

c. Condiciones de la fundación

- Por lo general son consideradas como factores clave en la estabilidad general del botadero.

2.2.34. Tipos de Fundaciones:

Competente: Botadero construido sobre roca apropiada o suelo con igual o mejor solidez que los materiales del vertedero por lo tanto es duro y resistente la formación de tensión de poros o la disminución de resistencia por el crecimiento del lastre.

Intermedia: En este efecto el material se fortalece y lograra solidez a la larga, pero, es propenso a provocar presiones de poros y disminuye su resistencia si es rellenado sin demora.

Débil: Los materiales son frágiles y no logran proteger buenos límites de resistencia al corte, se tratan de materiales que no logran una resistencia importante con afianzamiento por la carga. Esta dificultad es muy usual en las arcillas y son materiales con altas tensiones de poros o vulnerables a licuación.

Propiedades de los materiales

Propiedades como: Gradación, resistencia al corte, durabilidad, etc. Son reconocidas como factores importantes en la estabilidad (Singhal, 1988; Golder Associates, 1987; Tassie, 1987; Robertson, 1986; Caldwell and Moss, 1981; Blight, 1981)

Es de vital importancia la consideración de los siguientes factores en la calidad de los materiales en los botaderos: Dureza, granulometría y contenido de finos. Estas cualidades de los materiales corresponden generalmente a mineras de producción metálica. Es fundamental el reconocimiento detallado de la roca en los afloramientos.

2.3. Definición de términos básicos.

- **Curvatura:** Concavidad o convexidad en sentido longitudinal y transversal que afecta directamente el equilibrio del cuerpo en sí, así como la capacidad de infiltración y de erosión por su efecto en la velocidad del agua de escorrentía.
- **Erosionabilidad:** Proceso por el cual el suelo es desgastado o desprendido de su lugar y transportado por la acción del agua. Este proceso afecta el equilibrio de los taludes.

- **Expansividad:** Materiales con características arcillosas al interactuar con el agua tienden a incrementar su volumen, esta propiedad genera movimientos de extensión dentro del suelo. En suelos sensitivos uno de los efectos es la pérdida de resistencia al corte por acción del remoldeo generado por el proceso expansivo. La magnitud de la expansividad se mide por medio de ensayos de presión, expansión libre o límite de plasticidad.
- **Meteorización:** Este proceso impacta en el suelo y/o roca, generando alteraciones debido a la descomposición física y química de los materiales, en efecto, se alteran los parámetros de resistencia y permeabilidad.
- **Pendiente:** La pendiente indica el grado de inclinación de un determinado terreno, para cada uno de ellos, según la magnitud, existe un ángulo máximo a partir del cual el talud es inestable. Existen materiales residuales ígneos que permiten ángulos mayores a 45° y lutitas meteorizadas que como máximo deben llegar a 20° y hasta valores de la mitad del ángulo de fricción.
- **Permeabilidad:** Esta característica permite la medición de la resistencia interna de los materiales al flujo del agua y puede definir el régimen de agua subterránea, así como la concentración de corrientes, etc. Los valores del coeficiente de permeabilidad varían de 100 cm/s, en roca fracturada o suelos compuestos por arenas y gravas, hasta 10 cm/s, en arcillas impermeables o en pizarras y granitos sanos.
- **Resistencia al corte:** La resistencia al corte representa la modelación física del fenómeno de deslizamiento. Los parámetros de ángulo de fricción y cohesión determinan el factor de seguridad al deslizamiento de una determinada superficie dentro del terreno.
- Los ángulos de fricción varían de cero en materiales muy blandos, a 50

grados en gravas angulosas o mantos de arenisca y las cohesiones de cero en materiales granulares limpios, a más de 10 kg/cm² en suelos muy bien cementados y valores superiores en las rocas masivas.

- **Sensibilidad:** Es aquella relación entre la resistencia pico al corte de una muestra inalterada y otra remoldeada. En algunos suelos arcillosos esta relación puede ser hasta de 4, lo que equivale a que se pierde gran parte de la resistencia al remoldearse; y en la literatura se conoce de casos catastróficos, donde por acción del cambio de esfuerzos, el suelo se remoldea in situ, pierde su resistencia y se produce el deslizamiento.
- **Disposición Final:** Conjunto de actividades disponibles para la gestión adecuada de los residuos finales de un proceso.
- **Residuo:** Residuos excedentes poco aprovechables generados en plantas de tratamiento de; residuos, tratamiento de agua, instalación de control de la contaminación del aire, y cualquier otro material que se descarte, incluidos materiales sólidos, líquidos, semi-sólidos o gaseosos confinados, provenientes de actividades industriales, comerciales, mineras, agrícolas y socioambientales.
- **Residuos Industriales:** Son aquellos residuos tales como: lodos, cenizas, escorias metálicas, vidrios, plásticos, papel, cartón, madera, fibras con contenido de sustancias alcalinas o ácidas, lubricantes, etc.
- **Evaluación de Riesgos:** Proceso generado a partir de la identificación de todos los peligros en un área específica, el cual permite valorar el nivel, grado y gravedad de materializarse alguno de estos peligros, este proceso ayuda a tomar acciones preventivas y oportunas a las empresas.
- **Gestión de Riesgos:** Proceso que permite estudiar, analizar, caracterizar un

determinado riesgo, para la elección de los controles adecuados el cual permite minimizar y/o eliminar la materialización de los peligros identificados.

2.4. Formulación de Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

La evaluación geotécnica determinará el óptimo plan de cierre del depósito de desmontes en la Mina Shalca.

2.4.2. Hipótesis Específicos

- Las características geotécnicas del material de desmonte conformarán de manera estable el depósito.
- Las condiciones físicas y químicas del depósito determinarán su estabilidad.

2.5. Identificación de Variables

Se estudian cada una de las variables, las que se correlacionarán y se comparan. Se identificaron las siguientes variables:

2.5.1. Variables Independientes

La evaluación geotécnica.

2.5.2. Variables Dependientes

Óptimo plan de cierre del depósito de desmontes en la Mina Shalca.

2.5.3. Variables Intervinientes

Geología del área de estudio

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Se determinará el estudio geotécnico dentro del área Nivel – 1, para la medición de los indicadores se realizarán los análisis geotécnicos de los suelos y

rocas, para posteriormente conocer sus características y en base a ello determinar el diseño y optimo plan de cierre del botadero de desmontes.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

El proyecto por desarrollar estará basado en tres tipos: exploratorio, descriptivo y explicativo.

3.2. Nivel de investigación

- a. Exploratorio:** Toma de datos de campo de las estructuras, para el diseño del botadero.
- b. Descriptiva:** Descripción detallada de los macizos rocosos.
- c. Explicativa:** Definiremos las causas y efectos que implican el diseño del botadero.

3.3. Métodos de la investigación

La investigación será desde un enfoque Cuantitativo, el cual permita describir y explicar las características geológicas y geotécnicas de la zona de estudio, mediante la toma de datos y análisis interpretativos. La investigación del tema propuesto se realizará en tres etapas; Recopilación de información, trabajo de campo y trabajo en gabinete.

3.4. Diseño de Investigación

El diseño de la investigación es No Experimental, debido a que no se hacen variar de forma intencional las variables independientes, para ver su efecto sobre otras variables, sino que se observaran las características geotécnicas del área en su contexto natural, para posteriormente ser analizados con el propósito de generar el diseño del depósito de desmontes.

3.5. Población y muestra

La población en el estudio son los macizos rocosos del distrito minero y las muestras son tomadas en la zona Nivel – I, donde se realizará la construcción del botadero.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Toma de datos y de muestras in situ, revisión y recopilación de estudios geológicos existentes del distrito Minero.

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

Los instrumentos para utilizar cumplen los estándares de calidad según normativa, para realizar ensayos geotécnicos de las muestras obtenidas en el suelo y rocas.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Concluidos los trabajos de campo, se ha procedido a elaborar una base de datos para posteriormente analizarlos a partir de resultados de laboratorio y la aplicación de programas de cómputo como SLIDE 5.0, GAWACWIN y HCanales.

3.9. Tratamiento estadístico

Se realizarán análisis estadísticos descriptivos y de validación de las muestras para la obtención de resultados representativos.

3.10. Orientación ética, filosófica y epistémica.

La investigación se realiza sin crear ningún proceso que afecte o que cause impacto negativo en el ambiente donde se realiza el presente proyecto. El proyecto se enmarca en el compromiso de no realizar actividades que involucren impactos negativos en el ambiente en la zona del proyecto.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Descripción del trabajo en campo

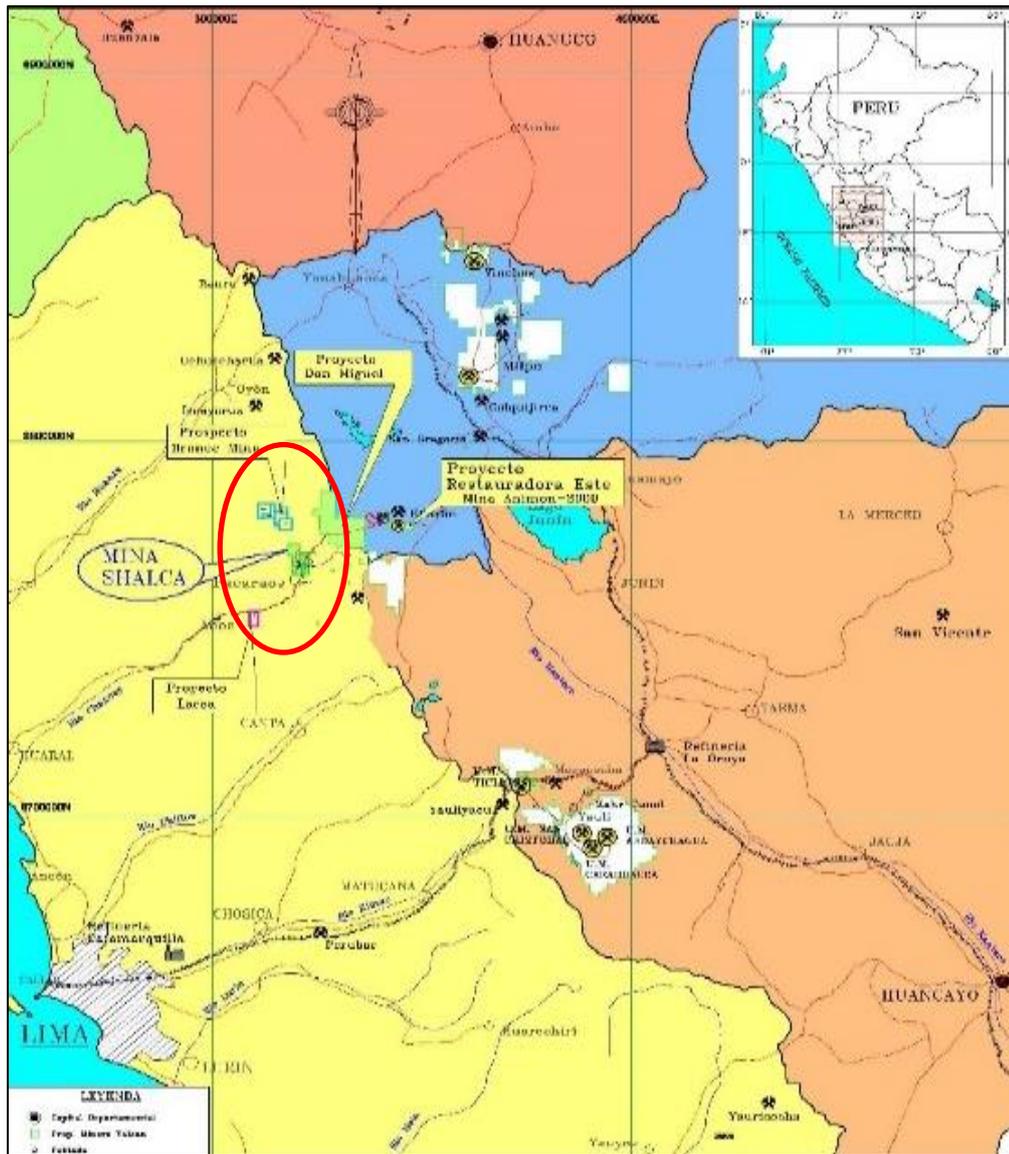
a. Ubicación

Políticamente el proyecto de exploración Shalca se encuentra ubicado en el departamento de Lima, provincia de Huaral y distrito de Pacaraos. Geográficamente se ubica en las coordenadas UTM: N 8'770,900.0 y E 320,100.0, a una altura entre los 3,900.0 y 4,800.0 msnm.

b. Accesibilidad

La ruta de acceso al proyecto es por vía terrestre. Existen tres vías desde la ciudad de Lima hasta el proyecto de exploración Shalca con los siguientes recorridos:

Imagen 22 Mapa de ubicación.



Fuente: Elaboración Propia.

Imagen 23 *Rutas de acceso.*

RUTA 1: Distancia 180 Km en 5:00 horas		
DE	A	VIA
Lima	Huaral	Carretera asfaltada
Huaral	Pacaraos	Carretera afirmada
Pacaraos	Proyecto Shalca	Trocha carrozable
RUTA 2: Distancia 259 Km en 7:00 horas		
DE	A	VIA
Lima	La Oroya	Carretera asfaltada
La Oroya	Cerro de Pasco	Carretera asfaltada
Cerro de Pasco	Animon	Carretera afirmada
Animon	Pacaraos	Trocha carrozable
Pacaraos	Proyecto Shalca	Trocha carrozable
RUTA 3: Distancia 344 Km en 9:00 horas		
DE	A	VIA
Lima	Canta	Carretera asfaltada
Canta	Animon	Carretera afirmada
Animon	Pacaraos	Trocha carrozable
Pacaraos	Proyecto Shalca	Trocha carrozable

Fuente: Elaboración Propia.

c. Reseña Histórica

La mina Shalca fue desarrollada anteriormente por la Sociedad Minera Rio Pallanga para extraer minerales polimetálicos junto con la mina Santa Rosa, que desarrolló parcialmente la parte superior de la mina hace 60 años.

El proyecto fue adquirido por Compañía Minera Volcan y comenzó con exploración superficial en el 2006 y más recientemente exploración subterránea y recuperación superior. Durante esta expedición, además de 1.900 metros de perforación diamantina, se tomaron muestras y se cartografió la capa superior.

d. Geomorfología

Geomorfológicamente, el área de estudio se ubica sobre la unidad de erosión (glaciar pleistoceno) de la Puna, una península con altitudes variables entre 4200 y 5000 m.s.n.m.

En el área de estudio, la superficie de la Puna del patrón glacial se ve afectada por etapas tardías de erosión tipo cañón intersecadas por pendientes pronunciadas de riberas >2000 m.

Imagen 24 *Cerros con laderas abruptas.*



Fuente: Elaboración Propia.

La morfología abrupta del sector está definida por la presencia de unidades competentes en el sector, tal es el caso de las formaciones Chimú y Jumasha ubicados en los núcleos de los anticlinales y sinclinales respectivamente (Imagen 24).

e. Drenaje

El drenaje local es dendrítico, se encuentra entre los ríos Huanin y Huaila, que desembocan en el río Shipra y, en última instancia, en el río Chancay en la costa del Pacífico.

f. Geología Regional

El área de estudio está comprendida por la presencia de rocas metamórficas y volcánicas que corresponden a la formación Chimú y productos efusivos del volcánico Calipuy.

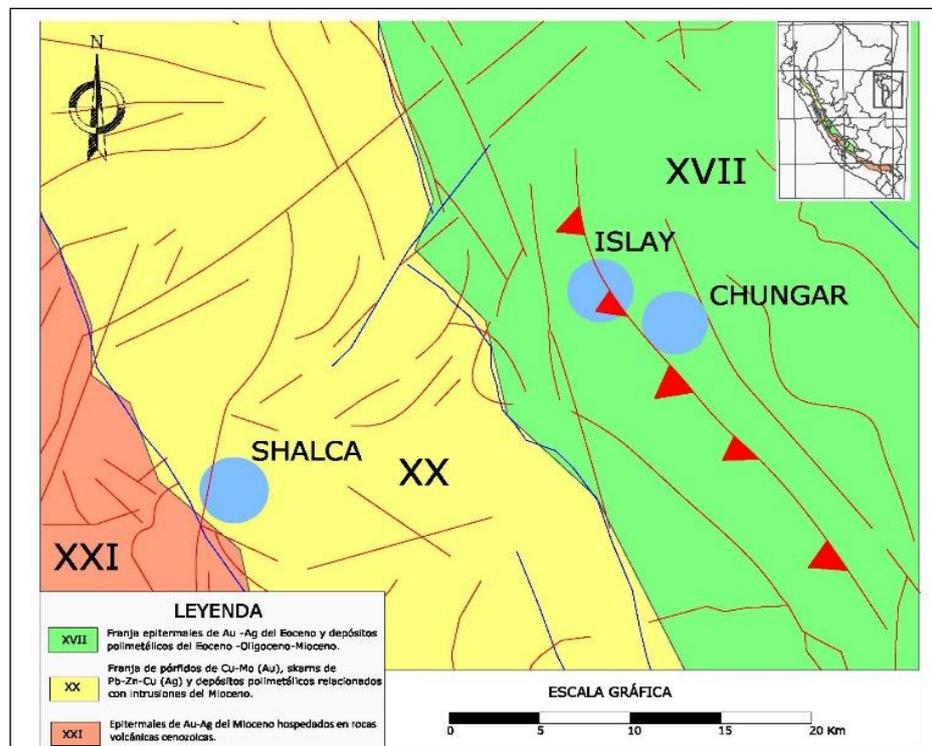
g. Formación Chimú

El espesor suele ser de 500 a 700 m, y en el área de estudio, las especies se presentan en una variedad de morfologías en anticlinales perturbados y no perturbados. Petrológicamente, esta formación está formada por rocas ortogonales de grano medio recristalizadas, generalmente similares a cuarcitas metamórficas, como se ve en especímenes manuales. La capa de chimú se presenta en un banco de unos 3 metros de espesor, está laminada cruzada y está fuertemente fracturada y endurecida. Debido a su naturaleza masiva, siempre forman secciones de colinas empinadas y, cuando se modelan completamente, estos terrenos tienen una topografía característicamente pronunciada. Esta formación pertenece al Valanginiano del Cretácico Superior.

h. Volcánico Calipuy

Esta unidad contrasta marcadamente con la secuencia de plegamiento del Cretácico. En esta zona la capa de unos 500 m no es muy fuerte, lo que significa que se ha producido una erosión importante; en comparación regional, esto lo confirman los restos más antiguos.

Imagen 25 Mapa Metalogenético.



Fuente: *Compañía Minera Volcan.*

i. Geología Local

El proyecto de exploración Shalca se ubica en la Formación Chimú, cuarcitas de la Serie Volcánica Calipuy y Cuaternaria (tobas y lavas andesíticas).

En el área de estudio, cuarcitas de grano medio y grueso y areniscas cuarzosas a gruesas se alternan con lutitas de color gris oscuro y areniscas de color gris fino y de medio a oscuro con estratificación cruzada altamente fragmentada e interconectada.

Esta serie, tiene actualmente un rumbo normal de 30°NE y buzamientos de 40° a 75° NE-SW.

El terreno consta de tramos empinados con topografía empinada, que representan aproximadamente el 35% del área total del proyecto. En la parte occidental de la región, las concreciones, tobas y lavas volcánicas de tonalidades gris verdosas, beige y marrón rojizas de composición andesítica están muy extendidas y muestran una falsa estratificación con distribución de grano fino, grano medio e intergranular. La depresión intermedia se superpone a la cuarcita de la Formación Chimú.

Generalmente, las lavas andesíticas tienen una textura desordenada, apareciendo la capa superior principalmente como un manto. No se identificaron centros volcánicos que alimenten al volcán Calipuy en el área de estudio.

Finalmente, el Cuaternario cubre la mayor parte del área, lo que dificulta la observación de la estructura superficial.

j. Litología

Generalmente, las cuarcitas, areniscas, lutitas negras y carbones de la Formación Chimú están confinados en los anticlinales asimétricos de Shalca y están invadidos por fracturas andesíticas. Además, las tobas andesíticas del Grupo Calipuy presentan pseudoestratificación.

Las cuarcitas (Ki-fch-c): Se encuentra dispersa por toda el área y es particularmente abundante en el extremo noreste y la parte sureste del área del mapa. De potencia que va entre 0,20 m a 2,00 m.

Las Lutitas negras (Ki-fch-I): Se mapean esquisto negro y carbón bituminoso rico en pirita. Ocurre principalmente a ambos lados de la línea de

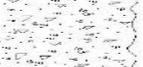
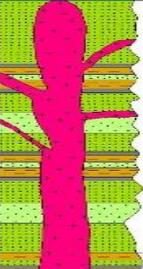
radiación asimétrica, tiene un espesor de 0,10 m a 20,0 m y es de color gris oscuro.

Las areniscas (Ki-fch-a): Esta unidad contiene capas de arenisca gris que caracterizan la mayoría de los sedimentos expuestos en el proyecto Shalca. Se trata de horizontes delgados que forman pliegues dentro de la estructura que miden entre 0,20m y 0,50 metros. La arenisca es feldespato de cuarzo de grano fino a medio.

Los tobas andesíticos (Tim-tb): Ocurre en el extremo occidental y suroeste del Proyecto Shalca y se superpone a la cuarcita de la Formación Chimú. La textura de la roca piroclástica es principalmente de ocoíta, con esporádicas rocas duras de hasta 0,50 m de largo.

El stock hipabisal andesítico (Tim-an): Pequeños depósitos de andesita son visibles a lo largo de todo el eje de la línea asimétrica, extendiéndose principalmente hacia el noroeste en el proyecto Shalca. La textura inferior de arenisca es amorfa, caracterizada por piedras semiangulares.

Imagen 26 Columna estratigráfica.

UNIDADES CRONOESTRATIGRAFICAS			UNIDADES LITO ESTRATIGRAFICAS		
EREM	SISTEM	SERIE	FORMACION	LITOLOGIA	DESCRIPCION
CENOZOICO	TERCIARIO CUATERNARIO	INFERIOR	CALIPUY		Depositos aluviales = coluviales
					Tapas andesíticas estratificadas, intercalaciones de lavas andesíticas
MESOZOICO	CRETACICO	INFERIOR	GPO. GOYLLARISQUIZA	Fm. Saba 	Colizas de color gris a gris oscuro. Los afloramientos más expuestos se ubican al este y noreste de área
				Fm. Chini 	Areniscas y areniscas, intercalaciones de areniscas, horizontes de lutitas gris oscuras con entes de carbón entrancados.
				Fm. Opa 	Lutitas gris oscuras = carbonosas, con intercalaciones de areniscas arenificadas, finitas, horizontes de areniscas y cuarcitas

Fuente: Compañía Minera Volcan.

k. Geología Estructural

En el área de estudio podemos encontrar diversos elementos estructurales tales como: orientación de estratos, pseudoestratos, discontinuidades, fallas geológicas y pliegues. Los planos de discontinuidad influyen sobre la estabilidad del macizo rocoso en las excavaciones dependiendo de su orientación, número de familias, espaciamiento y características entre sí.

Las discontinuidades y sus características son los parámetros que ejercen mayor influencia en las propiedades del macizo rocoso, por lo que, en las estaciones micro tectónicas se consideran estos aspectos de gran importancia, juntamente con la rugosidad, continuidad, separación, alteración de las cajas y propiedades del relleno.

l. Estructuras

Se tiene el anticlinal asimétrico, los sistemas de fallas, el sistema de fracturamiento y el sistema de filones hidrotermales.

m. El anticlinal asimétrico

El yacimiento se emplaza dentro de una anticlinal asimétrico con orientación del plano axial promedio 40° NW y buzamiento entre 50 a 58° SW y 62° a 70° NE. El flanco Noreste presenta una secuencia monótona de cuarcitas, areniscas, lutitas y carbón con rumbo de 40° a 45° NW y buzamiento promedio de 65° NE y ondulaciones suaves.

Por el contrario, el flanco Suroeste presenta todo el espectro litológico anteriormente descrito con rumbo de 40° a 45° NW y buzamiento promedio de 48° SW, con una cubierta de tobas andesíticas que presentan una pseudo estratificación de rumbo 35° NW y buzamiento promedio 35° SW.

n. Sistemas de fallas

Se han reconocido dos sistemas, un primer sistema posee un rumbo de 40° - 55° NW y buzamiento 58° - 80° NE concordante con el sistema andino y de mayor predominancia en el proyecto Shalca. El segundo sistema de fallamiento de rumbo 45° - 70° NE y buzamiento 78° - 86° SE, el cual disloca al anticlinal asimétrico Shalca. También se observan un fallamiento dextral en los extremos del proyecto Shalca y un fallamiento sinextral en la parte central del mismo.

o. Sistema de fracturamiento

De rumbo 60° - 80° NE y buzamiento 70° - 85° SE, el cual es transversal al rumbo de los estratos.

p. Sistema de filones hidrotermales

Se reconocieron 2 sistemas de filones hidrotermales. El primer sistema de rumbo 10°N W y buzamiento 79° SW, paralelo al eje del anticlinal asimétrico Shalca asociado a la mineralización económica en el proyecto Shalca, el segundo sistema de rumbo 70° NW y buzamiento 48° SW el que correspondería a un fallamiento tensional.

q. Mineralización

La mineralización en el proyecto Shalca es en vetas polimetálicas. Los principales minerales son la galena y la esfalerita. La esfalerita se presenta en forma de cristales, medios dispersos y aglomerados, por lo que Galena generalmente se encuentra en vetas y cristales cúbicos dispersos masivos y, a veces, pequeños. La ganga suele ser cuarzo, duro y cristalino.

Las vetas se ubican en toba angular y cuarcita.

El cambio dominante en la estructura es la argilización. La caja es de color gris medio a intenso (toba andesita) y contiene vetas de cuarzo vítreo, pirita, óxidos de Fe y Mn.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

a. Ensayos ejecutados en campo

Para determinar las características físico-mecánicas más representativas de la cimentación y del material de desmonte, un método utilizado se sustenta en la medida de la resistencia que ofrece el suelo al avance del ensayo de penetración del cono Peck, así como el ensayo de penetración estándar (SPT) y ensayos de permeabilidad.

Para la elaboración del perfil estratigráfico del suelo y la correspondiente toma de muestras de suelo y del material de desmonte, se realizaron calicatas y

trincheras, para llevar a cabo las pruebas de laboratorio y determinar los parámetros geotécnicos.

b. Ensayo de Penetración Estándar

El procedimiento de este ensayo consiste en penetrar en el terreno un barreno metálico mediante golpes, a partir del cual se procede al conteo del número de golpes necesarios para penetrar tramos de 15 cm aproximadamente, tomándose los últimos 30 cm de una serie de 45 cm como el N de campo, para la penetración el golpeo se procede con una maza de 63.5 kg con una caída libre de una altura de 76 cm sobre un bloque; en ciertos tramos de la penetración se intercambia el barreno o punta metálica por una cuchara muestreadora, el cual recoge muestras alteradas que posteriormente son analizadas en laboratorio. De los datos registrados se puede evaluar aproximadamente las propiedades del terreno dado las correlaciones y estudios que se realizado alrededor de este ensayo.

c. Ensayo de Penetración de cono Peck

El procedimiento de este ensayo es similar en constitución y procedimiento del equipo SPT, es decir penetrar en el terreno un puntazo metálico contando el número de golpes necesarios para penetrar tramos de 15 cm. El golpeo para la penetración se realiza con una masa de 63.5 kg cayendo libremente desde una altura de 76 cm. La diferencia principal con el equipo SPT viene en el puntazo la cual es más cónica a fin de que penetre más y a la secuencia de golpeo, sin pausa y sin colocamiento de cuchara muestreadora. De los datos registrados se puede evaluar aproximadamente propiedades del terreno siempre correlacionando sus números de golpes (N) con los números de golpes (N) del SPT.

d. Ensayo de Permeabilidad

Este método está contenido en los métodos para determinación de baja a moderada permeabilidad comúnmente conocidas como pruebas tipo “Slug Test”. En estas pruebas no se utiliza bombas para su operación, por lo que resultan convenientes en sitios aislados. El principio del ensayo está basado en la variación de los niveles del agua en función del tiempo de respuesta al aumento o descenso brusco del nivel de agua. El procedimiento de análisis requiere la incorporación rápida de una cantidad de agua dentro del pozo o sección entubada para elevar el nivel del agua hasta una altura. A continuación, se debe medir en forma continua el descenso de los niveles en función del tiempo.

e. Calicatas

Con el objetivo de identificar las características y condiciones geotécnicas densidad, resistencia al corte, humedad del material de desmonte y suelo de cimentación se hizo 3 calicatas hasta 1.50 m de profundidad desde allí las muestras se extrajeron para los análisis de laboratorio.

Las conclusiones de estas nos facultan precisar los parámetros geotécnicos para el diseño del botadero de desmontes y el estudio de la estabilización y determinación del talud.

f. Análisis de Laboratorio

Se identificó los componentes físico-mecánicas del material de desmonte y suelo de cimentación a través de las pruebas de laboratorio, con las muestras inalteradas y disturbadas obtenidas de las calicatas de excavación, las conclusiones definieron la gradación y por consecuente el SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).

g. Clasificación de Suelos de Cimentación

Los ensayos de laboratorio efectuados a las muestras de los estratos encontrados en las excavaciones, considerados como representativos del área del depósito de desmontes, han determinado la clasificación de suelos según SUCS permitiendo elaborar la sección de los suelos encontrados en el terreno. En general los materiales encontrados en el suelo de cimentación y el cuerpo del botadero, de acuerdo con la clasificación SUCS, están descritos como GC que representa a grava arcillosa con arena. Las características del suelo de cimentación y el material del cuerpo del depósito se detallan:

Tabla 3 Componentes del suelo – Resultados de las calicatas.

Ensayos	Calicatas		
	C - 1 / M - 1	C - 2 / M - 1	C - 3 / M - 1
Humedad	16.20%	9.70%	5.10%
L. Liquido	32.00	25.00	28.00
I. Plastico	11.00	9.00	14.00
SUCS	GC	GC	GC
Pasa #200	27.8	22.3	17.2

Fuente: Elaboración Propia.

h. Perfil del Suelo

Se ha determinado que la cobertura vegetal está compuesta de arena limosa, con grava fina subangulosa, color marrón amarillenta de 30 cm en promedio como espesor.

Subyaciendo a este material se encuentra el suelo de cimentación, compuesta de grava angulosa, arcilla color marrón amarillento húmeda de consistencia firme, coluvial, adyacente a esta capa encontramos el mismo material de grava angulosa de color marrón amarillenta húmeda fina, coluvial.

Tabla 4 Resultados de los ensayos especiales de laboratorio

Sondaje		Representativa	Representativa	Representativa
		C - 1	C - 2	C - 3 *
Muestra		M - 1	M - 2	M - 3
Clasificación (SUCS)		GC	GC	GC
Material < # 4		60,1	51,2	51,00
<i>Permeabilidad</i>				
k (cm/seg)		4 x 10-04	16.8 x10-03	
<i>Parámetros de Resistencia Mecánica</i>				
Corte	ϕ	30°	27°	29°
Triaxial	c (Kg/cm ²)	1,45	2,3	1,25

(*) Desmante

Fuente: Elaboración Propia.

i. Caracterización de los materiales de cimentación y del material de desmante

El área del depósito de desmante presenta material de grava angulosa con arena y arcillas de color marrón amarillento húmedo y de consistencia firme cuyo origen es coluvial, subyaciendo al material de grava angulosa con arena y arcillas húmedas, se encuentra el basamento rocoso intemperizado, el cual presenta un poco de humedad. Consideramos como cimentación a esta base, para fines del presente estudio.

Las rocas del basamento de la zona del depósito de desmante del proyecto en la zona llamada nivel - 1, podemos identificar la presencia de material cuarcita y arenisca cuarcítica a ortocuarcita de grano medio a grueso, con estratificación cruzada poco fracturada y diaclasada, alternadas con lutitas gris oscuras y areniscas gris a gris oscuras de grano fino y medio poco permeables.

Dentro del área de estudio y definida para el botadero se ha identificado que el material de desmonte es granular, compuesto por gravas y material anguloso en menor porcentaje, presenta una matriz grava arcillosa con arena (GC), y con regular humedad.

El material de desmonte proveniente de la mina está compuesto por rocas cuarcitas y volcanso clásticas, areniscas y lutitas.

j. Parámetros de resistencia del material de desmonte

A través de las muestras alteradas extraídas de desmonte existente en el área, se han realizado ensayos de clasificación y de compactación, con el objetivo de calcular los grados de compactación estándar y modificado; cabe recalcar que las muestras de botadero son tomadas como representativas del material de desmonte del botadero debido a su cercanía a las labores de exploración.

Tabla 5 *Parámetros de resistencia mecánica – Ensayos de compresión triaxial.*

		Desmonte
Angulo de fricción	ϕ	29.0°
Cohesión	C(Kg/cm ²)	1.25
Densidad Seca	γ_t (gr/cm ³)	2.05
Humedad de Composición Optima (O.C.H.)	(%)	6.2
Densidad especifica máxima (M.D.S.)	(gr/cm ³)	2.281

Fuente: Elaboración Propia.

Las propiedades de las rocas se evalúan utilizando métodos empíricos que relacionan las propiedades de la roca en bruto con las propiedades de las rocas intactas y fracturadas que se miden más fácilmente.

La resistencia al corte de la roca, necesaria para el análisis de equilibrio límite y otros análisis de estabilidad cuantitativa, evalúa la falla a través del macizo

rocoso en lugar de las estructuras individuales. La resistencia uniaxial a la compresión, al corte y a la tracción se puede medir en muestras de núcleos de roca intactas en el laboratorio. Sin embargo, las propiedades obtenidas de pruebas de núcleos a pequeña escala en el laboratorio sólo son representativas de roca intacta y no reflejan los efectos a gran escala de las grietas y fisuras presentes en la roca. Se pueden obtener estimaciones empíricas de las propiedades de las rocas utilizando un sistema de clasificación del macizo rocoso que incluye estimaciones de las propiedades de las rocas intactas, las propiedades de fractura y la resistencia de la fractura. Para este estudio, las propiedades de las rocas se evalúan utilizando métodos desarrollados por el CNI hace más de 15 años (Cicchini, 1994 y 2000). Esta técnica estima la resistencia del macizo rocoso combinando la resistencia a la fractura y al corte de la roca intacta en función del grado de destrucción del macizo rocoso.

Para determinar el grado de deterioro de la roca, se utilizan designaciones de calidad de roca (Deere RQD) para cada tipo de roca de ingeniería incluida en el análisis. A medida que aumenta el grado de falla (menor RQD), la resistencia y el módulo de la roca disminuyen, lo que resulta en propiedades de roca más débiles y mayor deformable.

Las características de la masa de la roca indican parámetros críticos para el análisis de todas las pendientes. A partir de las correlaciones empíricas de CNI (Cicchini, 1994 & 2000) las resistencias al corte de la roca para el tipo de roca dominante en cada zona han sido calculadas utilizando los valores promedios de RQD. Para calcular la resistencia al corte de la masa de la roca, las correlaciones empíricas de CNI se basan en parte en la relación propuesta

de Bieniawski (1978) para la correlación entre RQD y la relación de la masa de la roca con los módulos de roca intacta. El enfoque de CNI relaciona directamente la resistencia de la masa de roca con el grado de fracturamiento presente, mediante una combinación de la resistencia de la roca intacta y la resistencia de la fractura natural como función del RQD.

La Tabla siguiente muestra los resultados de los parámetros geotécnicos de estabilidad de taludes para determinar el ángulo de fricción de la masa de la roca y la cohesión para RQD menor de 40 a 50 por ciento, del depósito de desmontes.

Tabla 6 *Parámetros geotécnicos para el análisis de estabilidad de taludes.*

Suelo o Material	γ_t KN/m ³	γ_{sat} Km ³	C KN/m ²	ϕ (°)
1: Cimentación	19.35	20.36	18.39	28
2: Desmonte	20.14	22.38	12.26	29
3: Macizo rocoso fracturada	24	24	90	38
4: Macizo Rocosos firme	26	26	100	45

Fuente: Elaboración Propia.

Analizando los datos de la resistencia de roca intacta, podemos considerar a el grado de fracturamiento conservadora a los parámetros de resistencia indicados en la tabla anterior.

Es importante resaltar que los valores de los parámetros mecánicos en la Tabla son valores por debajo de los resultados del informe de laboratorio,

con la finalidad de obtener resultados de análisis de estabilidad más conservadores.

Desde un punto de vista geotécnico, los materiales que componen el suelo de cimentación son similares a los materiales que componen la capa superior debido a su proximidad, lo que significa que los parámetros físicos y de resistencia de los materiales de cimentación son físicamente válidos.

De los ensayos se han obtenido los valores indicados entre ellos las muestras inalteradas, los pesos volumétricos o para la densidad de campo, el cono de arena, y con menores valores del pico se han logrado de las pruebas triaxiales parámetros del modelo Mohr Coulomb, desarrollándose este para el diseño del depósito de desmonte.

4.2.1. Interpretación de resultados

Para determinar la estabilidad de los taludes proyectados, se ha utilizado secciones transversales de la topografía del botadero de desmontes y el Software de análisis de estabilidad de taludes, SLIDE (Versión 5.0). El Slide permite hacer el análisis de estabilidad de taludes utilizando métodos de equilibrio límite para el cálculo del Factor de Seguridad. El Slide es un Software integrado, el cual permite desarrollar la geometría del talud interactivamente y realiza el análisis de estabilidad de taludes de deslizamiento circular y no circular en suelos o rocas con diferentes métodos, tales como:

- Método de Bishop Simplificado, Jambu, Spencer, GLE/Morgenstern-Price y otros.
 - El cálculo del factor de seguridad se realiza de forma bidimensional utilizando el concepto de equilibrio límite y el método de Bishop modificado.
- Este programa se puede utilizar para determinar las superficies de falla

potencial más significativas correspondientes al factor de seguridad más bajo en el análisis. Este programa maneja los siguientes entornos de solución:

- Sistemas homogéneos o heterogéneos del suelo.
- Propiedades anisotrópicas de resistencia de suelos.
- Reforzamiento de taludes.
- Envolvente de resistencia Mohr-Coulomb no lineal.
- Presiones de poros del agua para análisis de esfuerzos efectivos, usando superficies freáticas, presión de poros como fracción de la presión vertical total del terreno dentro del talud y Presión de poros del agua constante.
- Carga pseudoestático
- Sobrecargas actuantes sobre taludes.
- Generación automática y análisis de un número limitado de superficies de falla circulares, no circulares y en forma de bloques.
- Unidades tanto en el sistema internacional, como el sistema inglés.

4.2.2. Factores de seguridad mínimos

Para el caso de presas de tierra el U.S. Corp of Enginners propone que los factores de seguridad mínimos requeridos para considerar un talud estable, son aquellos propuestos en la tabla siguiente:

Tabla 7 *Factor de seguridad mínimo para análisis de estabilidad.*

CONDICIÓN	Talud	Talud
	Agua	Agua
	Arriba	Abajo
• Al final de la construcción para presas mayor a 15 m.	1.3	1.3
• Estado de infiltración constante	--	1.5
• Desembalzo rápido	1.5	--
• Sismo - Solo condiciones I y II	1.0	1.0

Fuente: U.M. Vichaycocha.

Si consideramos el embalse de Mina Shalca como una estructura muy similar a una presa de tierra para el almacenamiento de agua, se puede concluir que el factor de seguridad mencionado anteriormente puede servir como variable de comparación durante la "construcción final". Evaluación del comportamiento estático y pseudoestático de taludes.

4.2.3. Condiciones de análisis

Para llevar a efecto el análisis de estabilidad se consideraron las siguientes condiciones de análisis:

- Consideramos la sección de análisis, sección A-A'. Esta sección es considerada como crítica.
- Se ha analizado las condiciones proyectadas del botadero, para las secciones A-A', con la máxima capacidad de carga y almacenamiento.
- El talud crítico presenta una altura máxima de 15 metros en cada banco.
- En la sección establecida, se ha proyectado al botadero verticalmente hasta la cresta máxima de alcance, y evaluados en proyección tridimensional según su disposición de almacenamiento y proyección en el campo, este análisis ha sido desarrollada interactivamente para alcanzar el máximo volumen de almacenamiento, la optimización del transporte del material y el talud que asegure la estabilidad de los desmontes.
- Consideramos cuatro tipos de materiales para el perfil analizado: el suelo de la cimentación, el material de desmonte, el basamento de roca fracturada y el basamento rocoso firme. Consideramos como homogéneos e isotrópicos las propiedades de los materiales que conforman el perfil del talud y que su ruptura se produciría como resultado de fallas simultáneas y progresivas a lo largo de la superficie de deslizamiento.

- Las propiedades de resistencia cortante del material de desmonte y suelo de cimentación son las presentadas en la Tabla de caracterización de suelos
- Se considera un solo tipo de falla, superficie circular, que es características en taludes falladas en la zona. El método de análisis de falla circular adoptado es el de Bishop Modificado que se encuentra implementado en el programa de cómputo SLIDE 5.0.
- Los resultados del análisis se presentan en términos de superficie potenciales de falla. La superficie crítica de deslizamiento es aquella que proporciona el menor factor de seguridad. Se ha tratado de representar las condiciones reales de campo, es decir, se incluyen el efecto gravitatorio de los diferentes materiales y el efecto sísmico a través del análisis seudo estático. En este sentido, el coeficiente sísmico de diseño adoptado es de 0.13 g, a partir del análisis de los parámetros sismológicos presentados en el presente estudio.

4.2.4. Análisis del depósito de desmonte

Se han realizado los análisis de estabilidad de los taludes para determinar el Factor de Seguridad en condiciones estáticas y seudo estáticas teniendo en cuenta las condiciones proyectadas del talud botadero de desmonte. En tal sentido se consideraron dos secciones críticas de análisis. La Tabla muestra los resultados del análisis de estabilidad considerando la condición proyectada para la sección A-A'.

Tabla 8 *Análisis de estabilidad de taludes Sección A – A’.*

Sección A – A’	Condición de Análisis	Factor de Seguridad en Condición Final	Factor de Seguridad Mínimo Aceptable
Talud del Depósito	Estática	1.526	1.4
	Seudo - Estática	1.232	1.0

Fuente: Elaboración Propia.

De acuerdo con los resultados de los análisis de estabilidad mostrados en la Tabla 9, la condición de los taludes es estable, donde los Factores de Seguridad son mayores que los mínimos recomendados.

4.2.5. Diseño de taludes

- El diseño de los taludes del depósito se basa en el análisis de la estabilidad efectuada en los numerales anteriores y en la práctica usual de construcción de depósitos de desmonte.
- Los análisis de estabilidad han sido efectuados considerando la forma como el depósito será construido en función de los resultados de laboratorio, el cual registra para dos muestras ángulos de fricción de 29° y 31°, sin embargo, se eligió 29° como ángulo de fricción conservador para realizar todos los análisis de estabilidad correspondientes. De esta manera, el talud del depósito de desmonte está conformado por cinco bancos con inclinaciones iguales en todos los casos con una relación de 1.8:1 (H: V), el cual corresponde a 29° de inclinación y un ángulo de talud final de 2:1(H: V) correspondiente a 26.56° de inclinación.

- La compactación de los taludes se basará principalmente en la compactación de la plataforma correspondiente a cada banco, es decir el tránsito constante del equipo de acarreo del desmonte y las maniobras para la descarga del desmonte, permitirán alcanzar una mayor estabilidad física requerida, puesto que los análisis de estabilidad toman en consideración la densidad del material suelto calculado en laboratorio.
- El talud resultante final, según el diseño propuesto tiene una inclinación de 1.8:1 (H: V), presenta una condición de estabilidad; esta condición de estabilidad es generada con una conformación geométrica de cinco bancos con una altura promedio de 15 m cada uno, con cotas y puntos de control, para el replanteo y monitoreo geotécnico a partir de estaciones de control fuera del depósito de desmonte.

4.2.6. Diseño para la construcción del depósito de desmonte

Teniendo en cuenta las condiciones geotécnicas, y la construcción de cinco (5) bancos de desmonte almacenados uno sobre otro en forma secuencial, la proyección de la configuración topográfica final tiene las características que se muestran en la Tabla, la cual muestra las características de un sólo banco de desmonte, siendo la misma configuración para general para los cinco bancos de desmonte.

Tabla 9 Relaciones de interpretación.

Área de botadero de desmontes	3,337.51 m ²
Capacidad de Almacenamiento máximo	40,179.60 m ³
Angulo de talud de cada banco de desmonte	1.8:1 (H:V)(29°)
Angulo de talud final del depósito de desmonte	2:1 (H:V)(26.56°)
Altura de bancos	15.0 m.
Gradiente de plataformas	1%
Altura final proyectada del depósito de desmonte	76.0 m.
Canal de coronación	340.0 m

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.7. Descripción de características físicas del material de desmonte

- El material residual es principalmente material granular con baja proporción de gravas angulares, representando una matriz de arcilla de gradiente homogéneo (CW) y grava arenosa con bajo contenido de humedad.
- Los materiales que salen de mina consisten en cuarcita, esquisto y pequeños porcentajes de arenisca, así como escombros clásticos y volcánicos. El residuo tiene una distribución de partículas inferior a 1,5" y superior a 1,5" definida por la matriz. La inspección visual muestra que el 5% son bloques o partículas mayores a 12", el 30% son bolas y el resto son partículas menores a 2". Este desperdicio tiene una proporción pequeña, lo que afecta la resistencia al corte.
- La muestra anteriormente descrita, se presenta mayormente como material granular con algo de incidencia del material fino, según el arreglo del diseño del material de desmonte; de acuerdo con los resultados de laboratorio, el tamaño máximo nominal de la muestra corresponde a 1½", este estará sujeto a una carga máxima de 2.0

kg/cm², en la zona límite con el suelo natural, esta carga densificará al suelo en la zona más baja disminuyendo conforme se acerca hacia la superficie.

- Según la experiencia, se sabe que en materiales granulares, materiales con finos menores de 5%, la densidad relativa es un parámetro importante que influye en el ángulo de fricción interna, el material de desmonte presentado contiene material fino encima de este valor, estableciendo de manera similar también que la densidad influirá en el valor del ángulo de fricción, bajo cierto rango de humedad. Otro factor importante es la clasificación del material. Por tanto, los resultados de laboratorio utilizan valores de gradiente entre 49,0% y 37,6% para grava, 35,7% a 33,9% para arena y 26,7% a 17,2% para finos. La alta proporción de grava en los residuos tiene un efecto positivo sobre la estabilidad dimensional de las partículas y la resistencia a la compresión de las rocas intactas, mientras que el contenido de humedad promedio del 8,45% afecta el momento de formación de las partículas. En este caso, el residuo presenta un alto grado de intemperie y baja resistencia a la presión debido al número medio de fisuras, por lo que estas características reducen el ángulo de fricción interna del residuo.

4.2.8. Determinación de los Parámetros Geotécnicos del material de desmonte

- Con los resultados de las investigaciones geotécnicas de campo, la evaluación de la literatura técnica y los ensayos de laboratorio, se determinó los parámetros físicos y de resistencia para el material de

desmante.

- Partiendo del hecho de que el depósito de desmante es nuevo y que los materiales de desmante analizados se han extraído de los tajeos, según la experiencia con diseños en depósitos de operación, los materiales granulares se conforman y distribuyen según el método de disposición, de esta manera la disposición será mediante vertido directo, este método genera degradación del material de desmante, es decir los materiales tales como boleos y bloques se disponen en el pie del botadero conformándose un dren natural y los materiales de menor gradación se acumulan en el talud del depósito, en este caso se ha evaluado el material que se acumulará en la zona de ladera del depósito de desmante y con esta característica se ha evaluado la estabilidad, en consecuencia no se está considerando la variación del tipo de material de desmante en el depósito, esto conlleva a considerar diferentes valores de resistencia, para el presente estudio se está considerando los parámetros de resistencia de la fracción fina, como valor conservador para el análisis por el método de equilibrio límite.

4.2.9. Diseño del muro de contención en sistema de gaviones

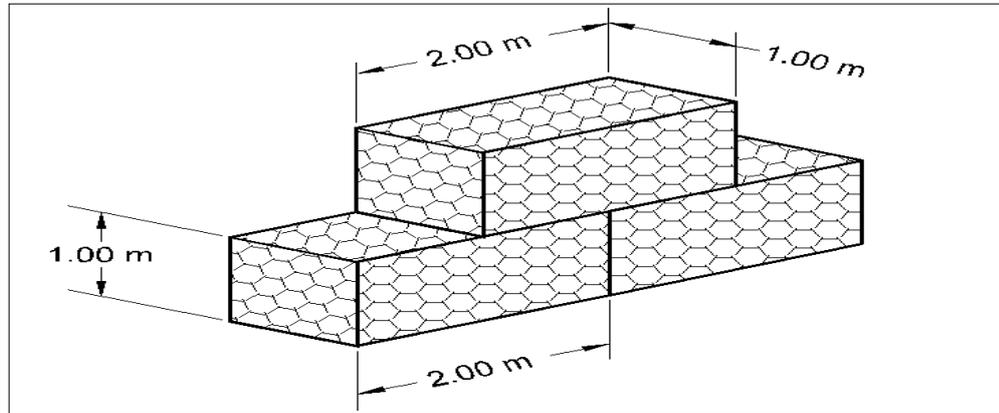
La selección del muro de contención con el sistema de gaviones tiene como antecedente la evaluación de los muros desde la perspectiva de seguridad principalmente, seguido del costo de construcción y la disponibilidad de materiales en la zona del proyecto. De esta manera, el análisis de estabilidad adjunto en el presente informe determinó que el sistema de gaviones es suficiente para la estabilidad correspondiente.

4.2.10. Consideraciones de diseño de gaviones

- Se recomienda su uso hasta 5 metros de altura.
- El control del dimensionamiento se basa en no producir esfuerzos de tracción, es decir la excentricidad debe ser menor o igual a $B/6$.
- La estabilidad del muro se verifica en función a factores de seguridad por deslizamiento y por volteo, es decir los factores de seguridad deben cumplir lo siguiente:
 - FS por deslizamiento ≥ 1.50
 - FS por volteo ≥ 1.75
- Eliminar la posibilidad de generar esfuerzos de presión en la cara y subpresión en la base producidos por el agua.
- La presión máxima debe ser menor o igual a la capacidad admisible del terreno de fundación.
- Considerar el menor ángulo de reposo del material, para generar una mayor dimensión de las dimensiones del muro.**Diseño de gaviones**
- Los muros construidos con gaviones (rocas en forma de celosía) se estabilizan por gravedad y los primeros bloques pueden hundirse un poco más en el suelo, hasta una altura mínima de 50 cm. En este caso la profundidad es de 1 metro, porque a esta profundidad el suelo base es arena y grava arcillosa y tiene buena capacidad de carga. En este diseño, las dimensiones de los gaviones se consideran en una relación ancho/alto/largo de 1/1/2, lo que permite una buena superposición y anclaje entre los gaviones cuando se encuentran de extremo a extremo. ambiente. tejado.
- Las características físicas de los componentes suelo y roca son $\gamma_{roca} =$

2000 kg/m³, $\sigma_{\text{suelo}} = 1.87 \text{ kg/cm}^2$, $\gamma_{\text{suelo}} = 1972 \text{ kg/m}^3$ y $\theta = 29^\circ$.

Imagen 27 Dimensiones típicas de las unidades del muro de gavión.



Fuente: Elaboración Propia.

- La estabilidad de este tipo de muro es analizada principalmente por volcamiento y deslizamiento. Estas dos de las interacciones, la longitud transversal de tres metros en la base es suficiente para analizarlo por volcamiento y deslizamiento.

Empuje activo

$$Ea = \frac{1}{2} * \gamma_{\text{suelo}} H^2 * Ka \dots\dots\dots(Ecuación.1.)$$

Donde:

- Ka = Coeficiente de empuje activo.
- β = Angulo de inclinación del talud.
- Θ = Coeficiente de fricción del suelo. (Del estudio de suelo)

Cuando $\beta=0$

$$1 \quad Ka = \left(\tan 45^\circ - \frac{\theta}{2} \right)$$

.....(Ecuación.2.)

Cuando $\beta \neq 0$

$$2 \quad Ka = \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \theta}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \theta}}$$

.....(Ecuación.3.)

Momento por volcamiento

$$3 \quad Mv = Ea * h \dots\dots\dots(Ecuación .4)$$

Momento estabilizante

Se estabiliza gracias a la fuerza de la gravedad, generando impacto en el peso de los bloques y el peso de cada cuña de suelo sobre cada bloque.

Para el cálculo del peso total de los bloques, se multiplica por el 80% de $\gamma_{roca} = 2.80 \text{ kg/m}^3$. Como existe una relación de vacíos del 20% entre roca y roca, el cual se rellena con material granular.

Entonces:

$$WT = \sum_{i=1}^n wi \dots\dots\dots(Ecuación .5.)$$

$$ME = WT * d \dots\dots\dots(Ecuación .6.)$$

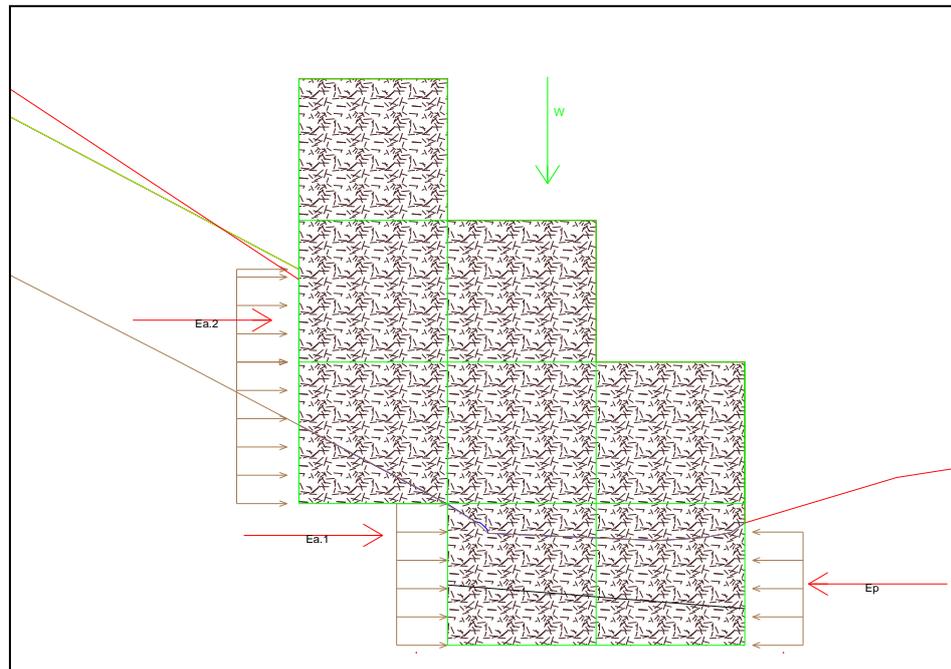
Factor de seguridad al volteo.

$$FS_v = \frac{ME}{Mv} \dots\dots\dots(Ecuación .7.)$$

v. Factor de seguridad al deslizamiento

$$FS_d = \frac{\mu \cdot N}{Ea} \dots\dots\dots(Ecuación 8.)$$

Imagen 28 Sección Típica 1 - Fuerzas actuantes en el diseño del muro.



Fuente: Elaboración Propia.

Cálculo de las fuerzas de empuje y los momentos de volteo y momento resistente, así como el factor de seguridad para el diseño del muro de gavión.

$$Ea.1 = 0.593 \text{ ton/m}$$

$$Ea.2 = 1.54 \text{ ton/m}$$

$$M_v = 3.11 \text{ ton*m}$$

$$M_p = 0.191 \text{ ton*m}$$

$$M_w = 26 \text{ ton*m}$$

$$M_r = 26.19 \text{ ton*m}$$

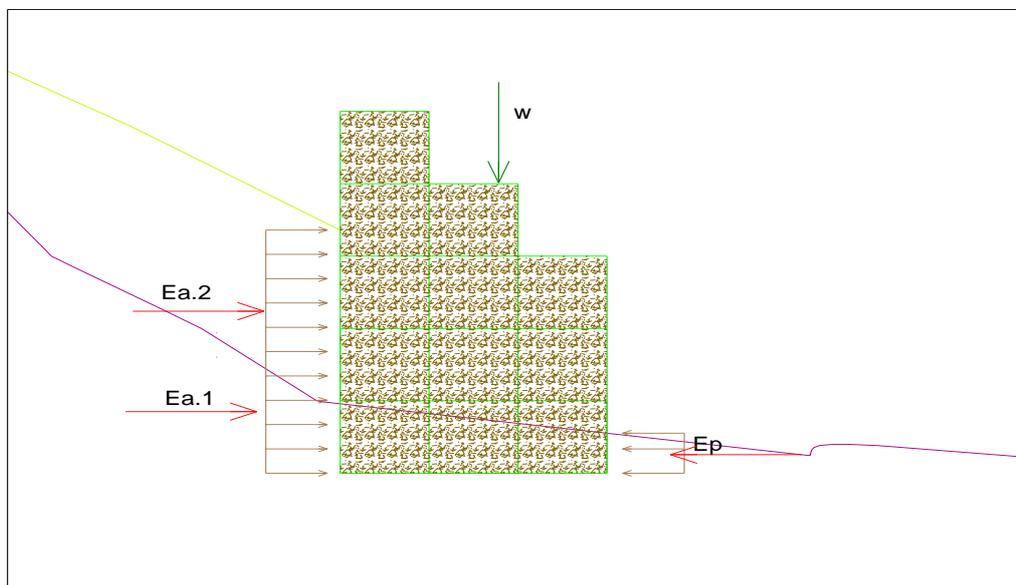
$$FS_v = 8.42$$

$$FS_d = 7.50$$

Los resultados del muro de contención con sección típica 1, registra factores de seguridad por encima del mínimo aceptable.

Imagen 29

Sección Típica 2 - Fuerzas actuantes en el diseño del muro.



Fuente: Elaboración Propia.

$Ea.$	=	6.33 ton/m
M_V	=	10.63 ton*m
M_p	=	0.163 ton*m
M_w	=	40 ton*m
M_r	=	40.163 ton*m
FS_v	=	3.78
FS_d	=	1.90

Los resultados del muro de contención con sección típica 2, registra factores de seguridad por encima del mínimo aceptable.

4.2.12. Programa de monitoreo

Todo programa de monitoreo de taludes de desmontes tiene por objetivo los siguientes:

- Mantener los procedimientos operacionales de seguridad con el fin de proteger al personal y los equipos.
- Proporcionar información geotécnica para analizar los mecanismos de desplazamiento de la pendiente, para designar medidas correctivas.
- Proporcionar aviso anticipado de posibles inestabilidades.
- Establecer medidas de prevención contra deslizamientos, colapsos de estructuras frente a potenciales fallas por acción dinámica.

4.2.13. Elementos del programa

En la etapa de construcción del depósito de desmontes también serán considerados la instalación de inclinómetros, piezómetros, puntos de control geodésico y puntos de control topográfico, estos puntos de monitoreo serán instaladas estratégicamente según decisión de la empresa ejecutora.

➤ **Eclímetros**

Este equipo ayuda a determinar el desplazamiento de taludes de vertedero y el asentamiento de materiales a diferentes profundidades, siendo estos desplazamientos de gran utilidad para evaluar el grado de estabilidad. El monitoreo del viento se basa en la deformación que puede experimentar un material bajo carga lateral o por gravedad, que se determina mediante el monitoreo.

➤ **Controles topográficos**

Para monitorear la topografía del montón de residuos, se colocan puntos de control topográfico específicos en la superficie del terreno y en puntos estratégicos en áreas potencialmente peligrosas, para lo cual se establece un sistema de medición para cada etapa con base en una línea base asociada al primer punto geodésico. Se midieron distancias horizontales y verticales

desde este punto hasta hitos monumentales. El cálculo de medidas topográficas determina las desviaciones horizontales y verticales y permite realizar mediciones precisas.

Tabla 10 *Puntos fijos de control geodésico fuera del depósito de desmonte.*

Punto	Coordenada UTM			Descripción
	Norte	Este	Cota	
PC. 01	8770890.91	320177.93	4274.00	Parte baja Izquierda
PC. 02	8770901.88	320040.66	4342.88	Parte Superior derecha

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 11 *Puntos fijos de control topográfico dentro de depósito de desmonte.*

Punto	Coordenada UTM			Descripción
	Norte	Este	Cota	
PCI. 01	8770869.18	320146.17	4293.00	Plataforma lado izquierdo
PCI. 02	8770901.10	320097.39	4313.00	Plataforma lado derecho
PCI. 03	8770883.30	320067.25	4331.00	Plataforma lado derecho
PCI. 04	8770794.51	320056.12	4350.00	Plataforma lado izquierdo

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.14. Plan de cierre del depósito de desmonte Nivel - 1

La concepción de los planes de cierre en forma general de los componentes generados como producto necesario para desarrollar la actividad minera (depósitos de desmonte, depósitos de relave, canchas de lixiviación, etc.), tiene como objetivo que en el tiempo estas permanezcan estables desde la perspectiva de estabilidad física y química.

- Los cálculos de estabilidad física, basado en la caracterización del suelo de

fundación y del material de desmonte, conforman el sustento de lograr una estabilidad física en función a la geometría final del depósito de desmonte. Además de ello, debido a que el material de desmonte será generador de drenaje ácido, se vuelve primordial el aseguramiento en el manejo y tratamiento del agua superficial y subterránea en las áreas rehabilitadas, de tal manera devolver al ecosistema las características iniciales de la calidad del agua, el cual corresponde a un adecuado control de la estabilidad química del depósito de desmontes para nuestro caso.

- Una vez rehabilitada el área del componente, el monitoreo de la rehabilitación es fundamental hasta que se logre integrar al componente progresivamente en el ecosistema del lugar. Esto involucra retornar a las áreas utilizadas en la operación un aspecto similar al paisaje original antes de iniciado la construcción del depósito de desmonte, cumpliendo con la legislación vigente nacional e internacional.

4.2.15. Plan de cierre de área por etapa del proyecto

- Etapas de construcción y operación

Durante estas etapas sólo se considera la eventualidad de que ocurra un cierre temporal o un cierre progresivo de aquellas áreas que fueron perturbadas y no volverán a ser utilizadas.

- Etapa del cierre temporal

Dentro del plan de trabajo, Shalca Nivel – 1, no se contempla cierre temporal de mina durante la etapa de operación, sin embargo, como consecuencia de inestabilidad económica y/o laboral podría considerarse la suspensión temporal de las actividades.

- Etapa del cierre progresivo

Esta fase se considera prioritaria en el plan de trabajo porque su implementación en la fase de construcción y operación podría traer importantes beneficios ambientales y económicos.

Estas medidas benefician al medio ambiente, permiten la restauración oportuna de la tierra cuando sea posible y ayudan a prevenir y/o gestionar posibles impactos ambientales. Por lo tanto, se considera la replantación de pendientes y superficies utilizadas durante la construcción. También se incluyen los elementos agregados durante la fase de construcción y no utilizados durante la fase de operación.

➤ Etapa de cierre y post – cierre

Una vez finalizada la fase operativa del proyecto, se iniciará la fase de cierre y postcierre, para lo cual se implementarán medidas de cierre permanente de las áreas perturbadas durante la fase operativa.

➤ Fases del plan de cierre final

Las etapas necesarias en un plan de cierre para el depósito de desmontes del Proyecto Shalca Nv. – 1, corresponden a:

➤ La demolición o desmantelamiento

Esta etapa no aplica, debido a que el depósito en su totalidad no será reutilizado ni devuelto a interior mina.

➤ Nivelación del terreno.

➤ Revegetación.

➤ Estabilización física y química durante y después de la operación de almacenamiento de desmonte.

➤ Rehabilitación de hábitats terrestres.

➤ Monitoreo en la etapa de post cierre.

➤ Reconfiguración final del terreno

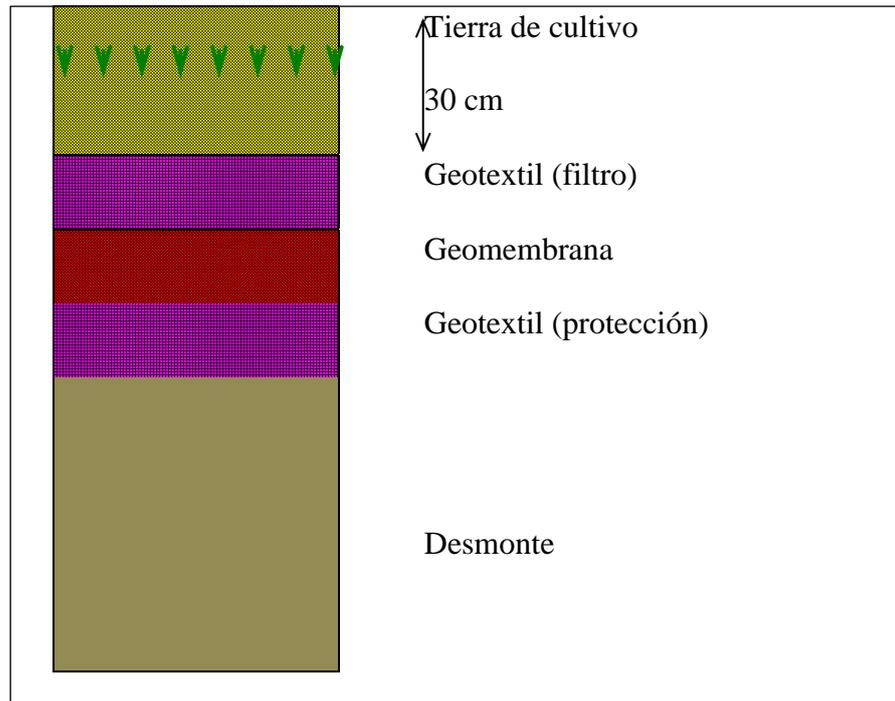
El 90% de desmonte almacenado en el depósito no será devuelto o reutilizado, de esta manera la primera etapa de reconfiguración final del depósito corresponde a perfilar las crestas de los cinco taludes, hasta lograr un talud natural con pendiente suave y estable en donde las esquinas o crestas de los bancos desaparezcan hasta lograr un terreno parecido a la topografía original. Con este procedimiento, el ángulo final de reposo del depósito corresponderá aproximadamente a 26.56°.

Debido a que el desmonte es generador de drenaje ácido, antes de colocar suelo orgánico sobre el desmonte, es necesario encapsular el depósito para evitar la infiltración de las aguas de precipitación y/o escorrentía.

➤ Cobertura y revegetación

Para plataformas y taludes del depósito de desmonte, se aplicará el siguiente sistema de cobertura: geotextil de protección, geomembrana, geotextil de filtro y 30 cm de tierra de cultivo o agrícola. La cobertura y revegetación utilizada es del Tipo I.

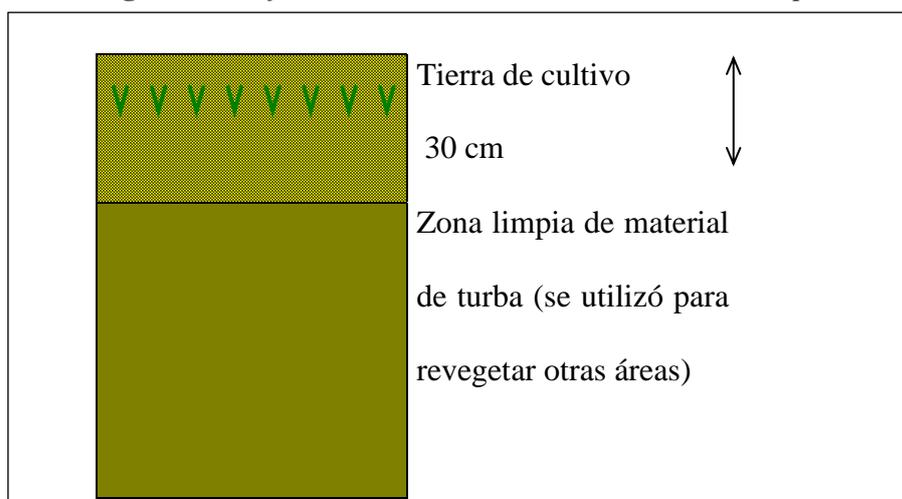
Imagen 30 Conformación de la cobertura. Cobertura Tipo I.



Fuente: Elaboración Propia.

Si se elimina el mantillo (turba), se debe reemplazar con el mismo material antes de realizar la jardinería. El mantillo y las plantas utilizadas deben tener conformación con cobertura Tipo V.

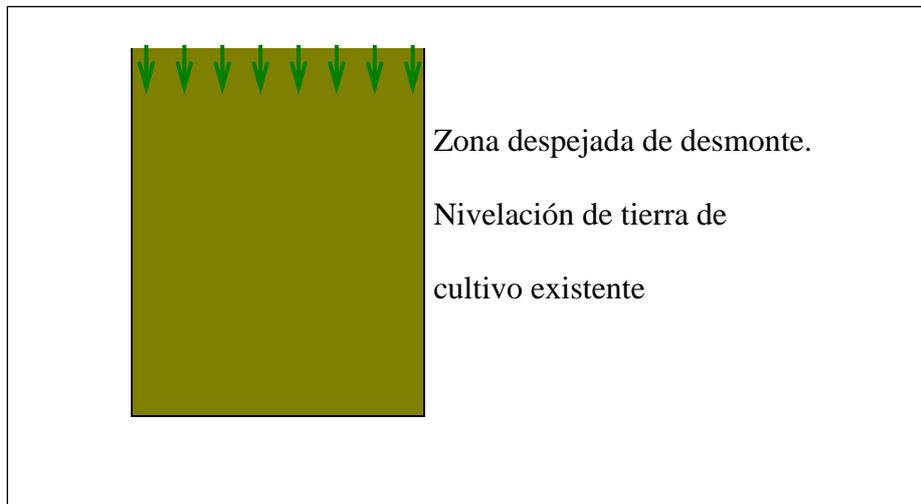
Imagen 31 Conformación de la cobertura. Cobertura Tipo V.



Fuente: Elaboración Propia.

La especie escogida para revegetar es el “césped de puna”, cuya siembra será por golpes, mediante esquejes. En las áreas limpiadas, donde se encontraban material de desmonte, serán perfiladas y se colocará “césped de puna” en forma idéntica a lo nombrado anteriormente. Se utilizará una cobertura y revegetación de Tipo IV.

Imagen 32 Conformación de la cobertura. Cobertura Tipo IV.



Fuente: Elaboración Propia.

➤ Geomembranas HDPE

Estos materiales están fabricados con una alta calidad de polietileno de alta densidad que contiene aproximadamente 97,5% de Polímero y 2,5% de Negro Humo, Antioxidante y Estabilizadores de Calor que evita la acción de los rayos UV sobre ellas. Estos materiales, son resistentes en el largo plazo a una amplia gama de productos químicos, incluyendo ácidos, sales, alcoholes, aceites e hidrocarburos. Las geomembranas, presentan inmejorables propiedades mecánicas, de esta manera su aplicación en la cobertura del depósito de desmonte del Proyecto Shalca representa la mejor

solución operativa y económica, debido a que, frente a las alternativas de otro tipo de materiales, la geomembrana se acomoda al relieve.

Las geomembranas HDPE, se presentan en rollos de 7.00 m de ancho, calibres 0,5 y 2,0 mm y longitudes entre 381 y 156 m lineales respectivamente. Para el proyecto Shalca se ha recomendado un calibre de 1.5 mm de espesor para garantizar una adecuada estabilidad física y química.

➤ Especificaciones técnicas

Tabla 12 Especificaciones técnicas de la geomembrana.

Propiedades Físicas		Unidades	Método	Valor
Calibre		Micras	Calibrador	500
Peso		g/cm ²	ASTM E252	655
Propiedades Mecánicas				
Resistencia a la Tensión	L	N/mm ²	ASTM D882	15 (min.)
Resistencia a la Tensión	T	N/mm ²		15 (min.)
Elongación a Rotura	L	%	ASTM D882	300 (min.)
Elongación a Rotura	T	%		300 (min.)
Resistencia al inicio del rasgado	L	Lb	ASTM D1004	3 (min.)
Resistencia al inicio del rasgado	T	Lb		3 (min.)
Resistencia a la propagación del rasgado	L	g/fuerza	ASTM D1972	2500 (min.)
Resistencia a la propagación del rasgado	T	g/fuerza		2500 (min.)
Propiedades Ambientales				
Estabilidad Dimensional		%	ASTM D1204	4.0 (máx.)
Resistencia a la rotura a bajas temperaturas		°C	ASTM D1790	-26
Temperatura máxima de trabajo sugerido		°C		50
Perdida de volátiles		%	ASTM D1203 Método A	1.0 (máx.)
Extracción de agua		%	ASTM D1239	0.2 (max.)
Propiedades de Sellado				
Resistencia al corte		N/mm ²	ASTM D882	11 (min.)
Adherencia en 25 mm de ancho		N	ASTM D882	60 (min.)

L= Longitud, T= Transversal

Fuente: ASTM.

4.2.16. Procedimiento de instalación

- Comprende el suministro de la mano de obra, material y equipo para la ejecución de las obras necesarias para la instalación de la geomembrana. Se considerarán ubicación y dimensión especificadas en los planos y el proceso de instalación, procesos de soldadura, reparaciones y control de calidad serán las que se especifiquen.
- La colocación de la geomembrana de llevará a cabo mediante maniobras adecuadas para el despliegue de los rollos cuando las condiciones del terreno sean favorables y se tenga la aprobación del Ingeniero Supervisor. En caso existiera presencia de condiciones climáticas adversas tales como; lluvia, humedad excesiva, vientos fuertes o cualquier otra situación que pone en riesgo su instalación, en estos casos no se instalara la geomembrana.
- Se colocará paneles de geomembrana estratégicamente con el fin de obtener elementos con la menor cantidad de soldaduras. Durante la instalación de las geomembranas se considera también la colocación de sacos de arena (u otro material disponible en la zona) a lo largo y de forma continua según el alcance de la instalación, con el fin de evitar el levantamiento de la geomembrana por la acción del viento. Estos sacos tendrán un peso aproximado de 1.5 Kg. Y serán colocados a una distancia entre ellos no mayor de 2 m.
- La colocación de la geomembrana será realizada de forma que todas las soldaduras puedan ser orientadas en el sentido del talud de excavación o relleno. Las geomembranas instaladas en campo deben asegurar y garantizar un solape nominal de 150 mm (15 cm) y en

ningún caso será menor a 75 mm. (0.7 cm).

4.2.17. Soldadura de los Paneles insitu

Existen diversas alternativas de unión para los paneles de geomembranas, de tal forma que el resultado final será una unión fuerte y químicamente resistente, reuniendo los siguientes requisitos:

- La unión es en lo posible, con el componente de la geomembrana.
- La resistencia de la junta es similar a la geomembrana y dura la vida útil de ésta.
- El método de unión no debilita la geomembrana.
- La unión es continua a todo lo largo de la junta.
- Solvente Integral (THF)
- Utilizado para materiales termoplásticos amorfos (CPE, CSPE, PVC).
- Esto se hace aplicando solvente polimérico fundido entre los paneles y manteniendo las superficies a presión constante.
- Debes evitar ampollas y arrugas en tus articulaciones. El vínculo se fortalece entre 5 minutos y 1 hora.
- Después de que el disolvente se haya evaporado (aproximadamente 1 hora), se alcanzó la mayor resistencia.
- El solvente es compatible con el polímero porque disuelve rápidamente la superficie de la geomembrana (10% del espesor), pero no afecta el espesor total.
- A altas temperaturas, el disolvente se evapora rápidamente, llenando huecos y defectos.
- Este método es sensible a la temperatura, la humedad y el viento.
- Aire caliente

- Este método se utiliza tanto en fábricas de termoplásticos como en el campo.
- Esta técnica consiste en fundir la superficie aplicando una corriente de aire caliente o nitrógeno directamente entre dos tejidos, aplicando presión hasta que la superficie se enfríe y endurezca.
- Este método requiere habilidad y experiencia por parte del operador de la pistola de aire, ya que el aire caliente oxida la geomembrana y provoca corrosión en la superficie.
- La superficie debe estar limpia para este trabajo y el clima afectará el avance del trabajo.
- Con la ayuda de equipos automáticos se pueden alcanzar velocidades de 1 m/min en el campo.
- Trincheras de anclaje
- Al instalar geomembranas en zanjas de anclaje, se prefiere el método Solvente Integral de acuerdo con todos los requisitos de diseño, el programa de garantía de calidad y el programa de control de calidad.
- Para zanjas de anclaje, se debe tener especial cuidado al colocar y compactar el relleno para evitar daños a la geomembrana y garantizar que el relleno de la zanja cumpla con las especificaciones de compactación especificadas.
- Reparaciones
- Si no se cumplen los criterios de diseño y los procedimientos de control de calidad descritos para las operaciones de soldadura en campo, siga las opciones de reparación:
- Se toman muestras adicionales a distancias progresivamente crecientes en cada lado de la muestra original hasta que se analizan dos muestras consecutivas en cada lado de la muestra original.

- En este punto el área de la falla es visible y puede considerarse aislada.
- El procedimiento de reparación consiste en cubrir y soldar la zona de la probeta.
- Estas soldaduras se prueban nuevamente.
- Durante la instalación pueden aparecer rayones, agujeros, grietas, burbujas, agujeros, etc.
- Si se descubren otras desviaciones y/o defectos, se registrarán, identificarán, repararán, volverán a probar y documentarán en consecuencia.
- La reparación de los orificios de la geomembrana se logra cubriendo el área con un parche de geomembrana (parche) y continuando o derritiendo (si corresponde) un sello químico sobre el parche.

Todas las reparaciones realizadas se procesarán, documentarán e informarán adecuadamente al ingeniero jefe de acuerdo con los procedimientos de control de calidad con la siguiente información:

- Día, mes, año y hora.
- Nombre del proyecto.
- Identificación de la soldadura.
- Identificación y lugar del ensayo destructivo.
- Identificación de la reparación.
- Datos exactos del técnico.
- Ensayos realizados nuevamente.

4.2.18. Control de calidad

El recubrimiento sintético y los anclajes deben cumplir con los requisitos de la siguiente lista de normas y códigos. Se exceptúan aquellas normas y códigos

que difieran con lo expuesto en esta sección en cuyo caso prevalecerán los requisitos expuestos en esta sección.

Tabla 13 Normas de control de calidad.

American Society for Testing and Materials (ASTM)	
ASTM E 252	Peso
ASTM D 882	Resistencia a la Tensión
ASTM D 882	Elongación
A STM D1004	Resistencia al inicio del Rasgado.
ASTM D1972	Resistencia a la propagación del Rasgado
ASTM D1204	Estabilidad Dimensional
ASTM D1790	Resistencia a Temperatura bajas.
ASTM D1203	Perdida de Volátiles
ASTM D1239	Extracción de agua
Requerimiento de Sellado	
ASTM D882	Resistencia al corte.
ASTM D882	Resistencia a la adherencia

Fuente: ASTM.

4.2.19. Equipo

Se deberá mantener en condiciones óptimas de trabajo el equipo completo que permita llevar a cabo la instalación y las inspecciones de la soldadura en campo.

- Con respecto a la calibración de equipos, el contratista encargado de la ejecución de la obra no dará comienzo a los trabajos de soldadura, sin antes haber evidenciado la calibración adecuada de los equipos de soldaduras. La calibración debe ser evidenciada antes de comenzar un trabajo con un determinado equipo o siempre que ocurran cambios drásticos en las condiciones de trabajo.
- Se debe realizar al menos una calibración cada 4 horas (dos veces al día). La soldadura de prueba se realiza en muestras de 2 m. Consiste en una geomembrana y se evalúa mediante ensayos destructivos, incluidos ensayos de corte y pelado. Estos ensayos permiten la cuantificación y validación de los equipos de soldadura (sellado por alta frecuencia) utilizados en la instalación final de la geomembrana.

4.2.20. Criterio de Rechazo – Inspección de los materiales Geomembranas

El Ingeniero Supervisor solo aceptará materiales de geomembrana plana para instalación en campo si el proceso de control de calidad de fabricación se ha completado satisfactoriamente.

- Antes de la instalación, cada rollo y panel se inspecciona visualmente para detectar e identificar posibles defectos de fabricación o daños durante el envío.
- Sólo se aceptarán rollos y paneles que estén correctamente embalados y libres de defectos visibles. A menos que el daño esté fuera del embalaje o supere

los 2,50 m² al momento del daño. Además, antes de instalar cada rollo, el ingeniero supervisor sólo aceptará rollos correctamente identificados: número de rollo, tipo y espesor de producto, dimensiones de rollo (ancho y largo), producción de rollo (fecha, identificación de materia prima), etc.

4.2.21. Supervisión de Uniones

La principal característica de una junta es que debe asegurar un sello continuo y permanente que evite la fuga del líquido a través del sistema impermeable. En consecuencia, no deben existir discontinuidades, zonas sin unir o falta de adhesión entre los lienzos. Las uniones deben resistir esfuerzos y deformaciones impuestas a la geomembrana. Los criterios de deformación se muestran en la Tabla.

Tabla 14 *Causas de la deformación de la geomembrana.*

INSTALACIÓN	Desenrollado o desdoblado de la membrana.	
	Viento.	
	Mampostería.	
	Soporte débil del terreno.	
SERVICIO	Deformaciones	Presión de agua sobre apoyos débiles.
	impuestas	Peso del material.
	por:	
	Esfuerzos ocasionados	Viento.
	por:	Flujo de agua.
	Esfuerzos inducidos	Contracción térmica.
por:	Envejecimiento del polímero.	

Fuente: ASTM.

4.2.22. Ensayos

- Ensayo de presión: Este ensayo se realiza en muestras de geomembranas formadas por franjas selladas, la metodología consiste en lanzar un chorro de aire de 40 PSI a la junta sellada uniformemente distribuida sobre los dos bordes opuestos. El desprendimiento de una membrana indicará un mal sellado.
- Observación. Las zonas sin unir pueden ser detectadas por observación, así como las partes de la geomembrana que fueron sobrecalentadas.
- Cámara de vacío. La succión o vacío se aplica por medio de una bomba a la cámara y se observa la posible formación de burbujas a través de un vidrio en la cara superior. La parte inferior de la caja está abierta y se dispone de un empaque perimetral. La cámara se va desplazando a lo largo de la junta y se prueban tramos del orden de un metro de longitud.
- El vacío aplicado es entre 122 y 244 mm de columna de mercurio (2.5 lb/in²). Es una técnica muy utilizada y se obtienen velocidades de inspección de 1.5 a 3.0 m/min.
- Manual mecánico. Las partes sin unir se detectan por medio de una herramienta con punta roma que se desliza a lo largo del borde de la junta. La punta puede levantar fácilmente la geomembrana superior si la calidad de la unión es baja o no existe buena adhesión; no es posible registrar zonas sin unir en el interior de la junta.

4.2.23. Ensayos destructivos

- **Ensayo de corte de corte y pelaje.** Estos ensayos serán aplicados a

las juntas de sellado por alta frecuencia (soldadura ultrasónica) realizadas en fabrica.

- Según la norma ASTM D 882, estos ensayos consisten en la ejecución de un sellado de muestra en una longitud de 1000 mm para someter a cuatro o más especímenes (donde la soldadura se encuentre centrada) de 1” (25 mm.) de ancho y 8” (200 mm) de largo, a una tasa de esfuerzo constante descrito en la tabla adjunta. Además de ello es necesario la verificación minuciosa del tipo de rotura, la cual debe ocurrir al exterior del área soldada y debe ser de tipo FTB (Film Tear Bond) como lo define la norma National Sanitation Foundation (NSF) Standard 54.

Tabla 15 *Especificaciones técnicas para las soldaduras de las geomembranas.*

Propiedades	Norma	Criterio
Soldaduras		
Esfuerzo al corte	ASTM D 882	11 N/mm² - FTB
Esfuerzo al pelaje	ASTM D 882	65 - FTB

Fuente: ASTM 882.

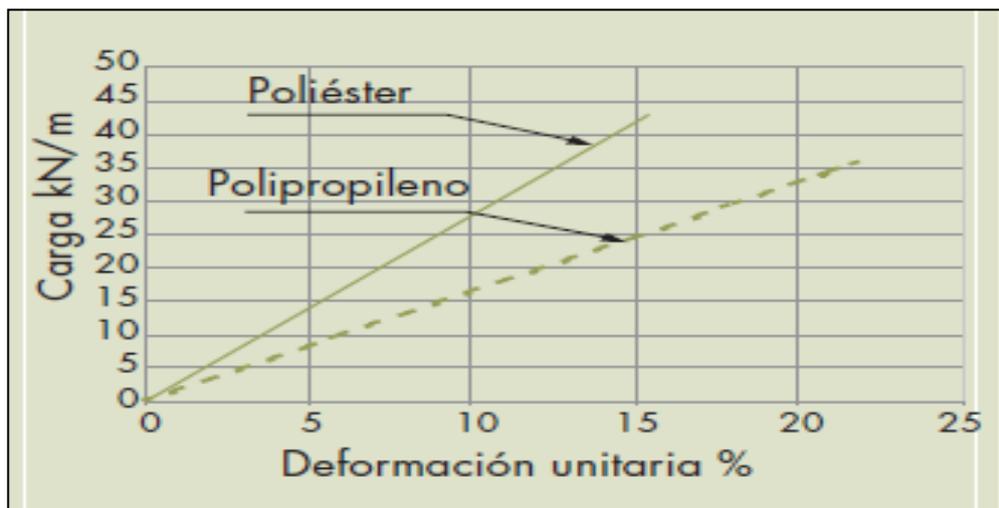
- Al culminar con todos los trabajos programados de instalación de las geomembranas. La empresa ejecutora de obra presentará el informe final de obra en el cual deberá certificar todos los resultados obtenidos y trabajos realizados según los requerimientos técnicos de diseño y el presente procedimiento de control de calidad. El informe será presentado al Ingeniero Supervisor y tendrá la siguiente información:
 - Dia, mes, año y hora.
 - Nombre del proyecto.
 - Identificación de los ensayos de calibración.

- Número del ensayo de calibración (cronológico).
- Identificación del equipo de soldadura.
- Temperatura ambiente.
- Temperatura de precalentamiento (si aplica).
- Temperatura de extrusión (si aplica).
- Temperatura de soldadura.
- Velocidad de soldadura.
- Nombre exacto del técnico soldador.
- Certificación e informe final de obra
- Geotextil de protección

4.2.24. Características del geosintético tejido

- Los geotextiles de alta elasticidad y las geomallas flexibles son fibras geosintéticas compuestas de poliéster (tereftalato de polietileno), fibras múltiples de alto peso molecular (más de 25.000 g/mol y menos de 30 grupos carboxilo terminales), lo que da como resultado una relación resistencia-resistencia mejorada.

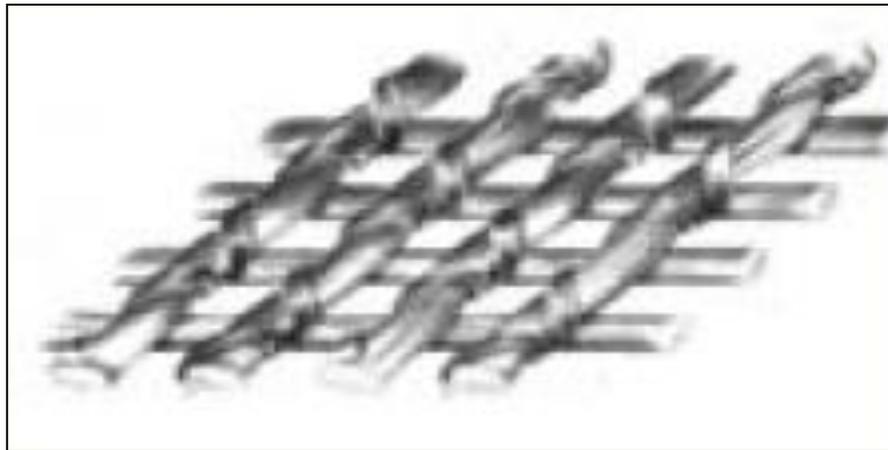
Imagen 33 Resistencia a la tensión Método de la tira ancha, ASTM D4595.



Fuente: ASTM D4595.

- Este geotextil se elabora mediante el método de trenzado como se muestra en la imagen, donde las fibras horizontales y verticales se disponen de forma independiente entre sí y los nudos se ajustan para entrelazarse con las fibras. De esta manera, las fibras primarias quedan rectas durante la ejecución, aportando propiedades que proporcionan refuerzo para tensiones muy bajas y aseguran la estabilidad de las propiedades hidráulicas en presencia de contención o estiramiento.

Imagen 34 Resistencia a la tensión Método de la tira ancha.



Fuente: ASTM D4594 – 17.

- Por lo tanto, los geotextiles altamente elásticos y las geomallas flexibles pueden desarrollar rápidamente resistencia a la tracción, propiedades que los hacen adecuados para aplicaciones tales como refuerzo de paredes y taludes, estabilización de subsuelo, refuerzo estructural, pavimentos y pavimentos asfálticos.
- Los taludes de suelo reforzado son sistemas mecánicamente con pendientes inferiores a 70° . Dado que la mayoría de los taludes y taludes naturales, incluso si son mecánicamente accesibles, pueden presentar fenómenos de falla masiva, estas estructuras representan

una alternativa atractiva para situaciones donde los taludes son grandes y se requieren terraplenes de altura significativa.

- El objetivo principal de la colocación de geotextiles en estos casos es aumentar la estabilidad del talud, especialmente si el talud es más alto que el suelo natural, y mejorar la estabilidad del material colocado en el borde del talud.
- Los geosintéticos proporcionan aislamiento lateral, permitiendo una compactación eficiente del material. Los usos principales de los taludes de suelo reforzado están en el mismo grupo que los de estructuras de soporte, como evitar que el material en forma de cuña se separe del talud debido a la alta humedad o sequedad y la construcción de taludes de suelo fino.
- Considerando que el desempeño de los geosintéticos es afectado por condiciones ambientales, para efectos de diseño, la resistencia disponible se debe degradar mediante la aplicación de factores de reducción que cuantifique cada uno de los agentes de degradación, como: a) Daños durante la instalación RFID, b) Envejecimiento (Degradación química y Degradación Biológica RFD y c) Resistencia a la fluencia RFCR.
- La resistencia disponible para diseño (T_{dis}) a largo plazo puede ser calculada por reducción de la resistencia última obtenida por el método de la tira ancha, (T_{ult}), como se indica:

$$T_{dis} = \frac{T_{ult}}{RF_{ID} \times RF_D \times \dots \times RF_{CR}} \dots\dots\dots (Ecuación 11.1)$$

- El valor para utilizar en el diseño de las aplicaciones propuestas será la T_{dis} , afectada por un factor de seguridad que dependerá de las incertidumbres en las cargas externas aplicadas, la geometría de la estructura, características del material de relleno, entre otras. Este valor usualmente está entre 1.0 y 1.5.
- Las características técnicas de Este tipo de Geotextil No Tejido tendrá un granaje de 270 g/m² (norma ASTM D-526) y debe estar compuesto de fibras de polipropileno, agujado y estabilizado frente a los rayos UV. Cumplirán las siguientes funciones: Separación (anticontaminante), Drenaje (el fluido pasa a través, sin ninguna dificultad), filtro (abertura de poros controlada), refuerzo (redistribuye las cargas) y principalmente protección de la geomembrana (colchón protector). Debe tener excelentes propiedades mecánicas tales como: resistencia a la tensión y punzonamiento.

Tabla 16 Especificaciones técnicas del geotextil.

<i>PROPIEDADES</i>	<i>NORMA</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>VALOR / MARV</i>
MÉCANICAS			
Método grab.			
resistencia a la tensión	ASTM D-4632	N (lb)	970 (221)
Elongación		%	>50
Resistencia al punzonamiento	ASTM D-4833	N (lb)	530 (121)
Resistencia al rasgado			
Trapezoidal	ASTM D-4533	N (lb)	350 (80)
Método mullen burst			
resistencia al estallido	ASTM D-3786	kPa (psi)	2553 (370)
HIDRÁULICAS			
Tamaño de abertura aparente	ASTM D-4751	mm (No. Tamiz)	0.106 (140)
Permeabilidad	ASTM D-4491	cm/s	$38 * 10^{-2}$
Permitividad	ASTM D-4491	s ⁻¹	1.64
Espesor	ASTM D-5199	mm	2.30

Valor Mínimo Promedio por rollo, calculado a partir de los valores obtenidos de los datos de ensayos.

- **Certificación ISO.** El geotextil suministrado a la obra debe contar con el Certificado ISO 9001:2000 y el laboratorio de control de calidad del fabricante debe tener una certificación nacional o internacional que garantice la frecuencia de ensayos.

4.2.25. Procedimiento de instalación

- El sentido de su instalación debe tomar en cuenta el sentido de la Geomembrana de PVC. El siguiente panel debe ser colocado sobre el panel anterior instalado con un traslape mínimo de 0.30 m. Con la colocación de varios paneles, las uniones y sobre posiciones deben estar alternadas.

- En los tramos curvos, los geotextiles se colocan en posición central, formando solapamientos no paralelos.
- La colocación del geotextil se realiza con bastante holgura sobre la superficie, evitando fuerza excesiva. Se colocan o superponen tiras de geotextil adicionales en los bordes afilados. Se debe tener cuidado para evitar que entren partículas u objetos punzantes entre ellos.
- En pendientes, el panel debe girarse hacia la pendiente y fijarse firmemente en la parte superior. La unión horizontal de geotextiles se realiza mediante simple superposición, costura o sellado por fusión.
- Antes de la cobertura, el geotextil debe ser inspeccionado por un inspector certificado o por el Ingeniero para asegurar que el geotextil no haya sido dañado durante la instalación (p.e., agujeros, rasgaduras, uniones, descosidas, etc.). Los geotextiles muy dañados (1.00m de rotura), como lo haya identificado el Ingeniero, deben ser eliminados.
- Para garantizar que no se mueva el sistema de geosintéticos estos deben ser anclados en forma conjunta. Para colocar la geomembrana sobre el geotextil asegurarse de que el anclaje preliminar sea efectuado. Este anclaje será mediante bolsas de arena o material del lugar de 2 kg aprox. Distanciados 1.00 m entre ellos.
- Trincheras de Anclaje En lo que refiere las trincheras de anclaje, se tendrá especial cuidado en la colocación y compactación del relleno, de forma tal que; ésta no ocasione ningún daño al geotextil y que el relleno de las zanjas se ajuste a las especificaciones dadas para la compactación.
- Reparaciones Tenga en cuenta que pueden aparecer perforaciones,

grietas y agujeros durante la instalación. Los defectos, al igual que otros defectos, deben identificarse, repararse y documentarse adecuadamente. El agujero se repara cubriendo la zona con un trozo ovalado de geotextil (un parche 30 cm más grande que el defecto) y sellándolo con fusión o costura continua.

- Todas las reparaciones serán documentadas y reportadas al Ingeniero Supervisor como parte integral del procedimiento de control de calidad, con la siguiente información:
 - Día, mes, año y hora
 - Identificación del proyecto
 - Identificación de la reparación
 - Identificación del técnico.
 - Control de Calidad
 - El etiquetado, envío y almacenaje deben seguir la norma ASTM D 4873. Las etiquetas de los productos deben mostrar claramente el nombre del fabricante o del proveedor, nombre del estilo y el número del rollo. Cada documento de envío debe incluir una nota certificando que el material cumple con el certificado del fabricante.
 - Para garantizar el buen desempeño del geotextil, es necesario un control de ejecución tomando en cuenta.
 - Antes de la instalación del geotextil: Verificar si las condiciones de preparación del terreno corresponden a las especificaciones del proyecto y a aquellas que condujeron a la elección del geotextil.
 - Durante la instalación del geotextil:
 - La orientación y distribución de los paneles.

- La buena ejecución de las uniones, en particular, el sentido y tamaño de las sobre posiciones de los paneles.
- El cuidado en relación con el levantamiento de los paneles por la acción del viento
- El impedimento de la circulación de vehículos y equipos sobre el geotextil.
- Tamaño de anclajes.
- El estado del geotextil (rasgos agujeros, etc.).
- Durante la colocación de la Geomembrana de PVC:

Verificar que las partículas de piedra u otro material corto punzante no vaya a intercalarse entre ellos.

- Certificación e informe final de obra se debe presentar al culminar con todos los trabajos programados de instalación de las geomembranas. La empresa ejecutora de obra presentará el informe final de obra en el cual deberá certificar todos los resultados obtenidos y trabajos realizados según los requerimientos técnicos de diseño y el presente procedimiento de control de calidad. El informe será presentado al Ingeniero Supervisor y tendrá la siguiente información:
 - Lista de todos los documentos concernientes al proyecto.
 - Lista de todo el personal que participó a la ejecución del proyecto.
 - Descripción de todos los trabajos ejecutados.
 - Descripción de los métodos de instalación utilizados.
 - Certificación completa del trabajo.
 - Plano a escala donde se indicará la posición de paneles de geotextiles y su numeración.

- Los Geotextiles de filtro no tejido debe tener un granaje de 175g/m² (norma ASTM D-526) debe estar compuesto de fibras de polipropileno, agujado y estabilizado frente a los rayos UV.
- Cumplirán las siguientes funciones: separación (anticontaminante), refuerzo (redistribuye las cargas), protección de la geomembrana (colchón protector), drenaje (el fluido pasa a través, sin ninguna dificultad), y principalmente de filtro (abertura de poros controlada). Debe tener excelentes propiedades mecánicas tales como: resistencia a la tensión y punzonamiento.
- Certificación ISO El geotextil suministrado a la obra debe contar con el Certificado ISO 9001:2000 y el laboratorio de control de calidad del fabricante debe tener una certificación nacional o internacional que garantice la frecuencia de ensayos.

4.2.26. Procedimiento de instalación

- El sentido de su instalación debe tomar en cuenta el sentido longitudinal de la tubería o canal de drenaje. El siguiente panel debe ser colocado sobre el panel anterior instalado con un traslape mínimo de 30cm. Con la colocación de varios paneles, las uniones y sobreposiciones deben estar alternadas. La colocación del geotextil quedará lo suficientemente suelto sobre la superficie, evitando así el exceso de esfuerzos.
- Antes de cubrir, el geotextil debe ser inspeccionado por un inspector o ingeniero certificado para garantizar que no haya sufrido daños durante la instalación (por ejemplo, agujeros, desgarros, costuras, aflojamiento, etc.). Se retirarán los geotextiles severamente dañados

(1m dañado).

Tabla 17 Especificaciones técnicas del geotextil.

<i>PROPIEDADES</i>	NORMA	UNIDAD	VALOR/MARV
MECANICAS			
Método resistencia a la tensión	ASTMD-4632	N (lb)	700 (158)
Elongación		%	>50
Resistencia al punzonamiento	ASTMD-4833	N (lb)	400 (90)
Resistencia al rasgado Trapezoidal	ASTMD-4533	N (lb)	280 (63)
Resistencia al estallido	ASTMD-3786	kPa (psi)	2070 (300)
HIDRAULICAS			
Tamaño de abertura aparente	ASTMD-4751	mm (No. Tamiz)	0.125 (120)
Permeabilidad	ASTMD-4491	cm/s	$26 * 10^{-2}$
Permitividad	ASTMD-4491	s ⁻¹	1.60
Espesor	ASTMD-5199	mm	1.60

Valor Mínimo Promedio por Rollo, calculado a partir de los valores obtenidos de los datos de ensayos.

4.2.27. Reparaciones

- Durante los trabajos de instalación pueden aparecer perforaciones, grietas, agujeros, etc. Una vez identificados los defectos y/o deficiencias, se identifican, reparan y documentan completamente.
- Las reparaciones de agujeros serán mediante el recubrimiento del área afectada, con un pedazo ovalado de geotextil (parche con 30cm mayor que el defecto) y sellado por fusión o costura continua. Todas las reparaciones serán documentadas y reportadas al Ingeniero supervisor y deben cumplir el procedimiento de control de calidad,

con la siguiente información:

- Día, mes, año y hora.
- Nombre del proyecto.
- Identificación de la reparación.
- Datos exactos del técnico.
- Control de Calidad
- El etiquetado, envío y almacenaje deben seguir la norma ASTM D 4873. Las etiquetas de los productos deben mostrar claramente el nombre del fabricante o del proveedor, nombre del estilo y el número del rollo. Cada documento de envío debe incluir una nota certificando que el material cumple con el certificado del fabricante.
- Para garantizar el buen desempeño del geotextil, es necesario un control de ejecución tomando en cuenta:
 - Antes de la instalación del geotextil: Verificar si las condiciones de preparación del terreno corresponden a las especificaciones del proyecto y a aquellas que condujeron a la elección del geotextil.
 - Durante la instalación del geotextil:
 - La buena ejecución de las uniones, en particular, el sentido y tamaño de las sobre posiciones de los paneles.
 - El cuidado en relación con el levantamiento de los paneles por la acción del viento.
 - El impedimento de la circulación de vehículos y equipos sobre el geotextil.
 - Tamaño de anclajes.
 - El estado del geotextil (rasgos agujeros, etc.)

- Durante la colocación de la Geomembrana de PVC: Verificar que las partículas de piedra u otro material corto punzante no vaya a intercalarse entre ellos.

4.2.28. Certificación e informe final de obra

Al culminar con todos los trabajos programados de instalación del geotextil. La empresa ejecutora de obra presentará el informe final de obra en el cual deberá certificar todos los resultados obtenidos y trabajos realizados según los requerimientos técnicos de diseño y el presente procedimiento de control de calidad. El informe será presentado al Ingeniero Supervisor y tendrá la siguiente información:

- Lista de todos los documentos concernientes al proyecto.
- Lista de todo el personal que participó a la ejecución del proyecto.
- Descripción de todos los trabajos ejecutados.
- Descripción de los métodos de instalación utilizados.
- Certificación completa del trabajo.
- Plano a escala, donde se indicará la posición de paneles de geotextiles y su numeración.

4.2.29. Programa de monitoreo post cierre

El seguimiento permite evaluar la eficacia de las operaciones en curso y la rehabilitación progresiva, así como determinar las medidas de cierre y rehabilitación final. Este seguimiento también proporciona un sistema de alerta de riesgos y recomienda acciones correctivas o alternativas para garantizar que se cumplan las expectativas.

- Los datos de un programa de monitoreo pueden determinar valores amplios aceptables para una ubicación de monitoreo particular.

- El monitoreo puede direccionarse en estabilidad física que incluye los efectos de las condiciones estáticas y dinámicas, estabilidad química que incluye la prevención, migración, tratamiento y medidas de control de los lixiviados. Los impactos medioambientales y la respuesta biológica también requieren monitoreo aguas abajo y en áreas adyacentes del área de influencia del depósito de desmontes.
- Un eficiente programa de monitoreo puede envolver uno o todos estos tres tipos, como son inspecciones visuales, de muestreo o topográficos y de instrumentación.
- Monitoreo de estabilidad física puede arriesgar la población o la estructura del cuerpo. La implementación de un determinado monitoreo depende del nivel de seguridad, usuarios, distorsiones, presión porosa, y otros esfuerzos.
- Los objetivos de un programa de monitoreo de estabilidad física del talud de depósito de desmonte son:
 - Proporcionar información geotécnica para analizar los mecanismos de desplazamiento de la pendiente, designar medidas correctivas apropiadas, y realizar futuros rediseños de la pendiente.
 - Proporcionar un aviso anticipado de la inestabilidad de tal manera que los planos de la mina puedan ser modificados y así minimizar el impacto del desplazamiento de la pendiente.
- En el caso de este estudio se plantea un plan de monitoreo el cual se realizará de manera instrumental y visual.
- Durante el monitoreo de post cierre se propone una evaluación de monitoreo anual que será realizado por un Ing. Especialista con experiencia en Geotecnia, el cual consistirá en una evaluación de los datos obtenidos durante

este periodo, tal como la deformación del depósito de desmonte y desplazamiento de los taludes.

- Del análisis geotécnico, no se ha encontrado ninguna evidencia de nivel freático, por lo tanto, el plan no considera a los piezómetros como control de estabilidad.

4.2.30. Monitoreos propuestos

- **Monitoreo visual**, se ejecutará realizando un recorrido a lo largo de todo el depósito de desmonte observando el pie y la cresta, en el pie se observará el grado de humedecimiento, de toda el área, así como la verificación de los flujos y estados de los canales y drenes, en la zona de cresta se observará la formación de grietas de tensión que indiquen principios de deslizamientos.
- **Monitoreo topográfico**, se realizará con equipo de estación total sobre los diecisiete puntos de control topográficos, así mismo estos puntos se deberán replantear con respecto de los puntos de control geodésico de primer orden a monumentarse, estos puntos se presentan en la Tabla.

Tabla 18 Puntos fijos de control topográfico dentro depósito de desmonte.

ITEM	NOMBRE	COORDENADAS UTM			DESCRIPCIÓN
		ESTE	NORTE	COTA	
1	PR.2	320041.17	8770931.2	4343	PUNTO EXTERNO
2	PR.6	320029.62	8770849.6	4350	BANCO 01
3	PR.7	320044.6	8770902	4343	BANCO 01
4	PR.65	320060.2	8770815	4350	BANCO 05
5	PR.68	320036.5	8770849	4350	BANCO 05
6	PR.70	320049.3	8770901	4343	BANCO 05
7	PR.51	320090.7	8770839	4331	BANCO 04
8	PR.52	320077.5	8770852	4331	BANCO 04
9	PR.54	320070.9	8770883	4331	BANCO 04
10	PR.37	320105.9	8770874	4313	BANCO 03
11	PR.38	320102.8	8770885	4313	BANCO 03
12	PR.41	320100	8770900	4313	BANCO 03
13	PR.21	320150.6	8770873	4295	BANCO 02
14	PR.24	320141.5	8770894	4295	BANCO 02
15	PR.28	320139	8770911	4295	BANCO 02
16	PR.16	320179	8770872	4278	MURO
17	PR.17	320164.5	8770909	4278	MURO

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 19 Puntos fijos de control geodésico fuera de depósito de desmonte.

PUNTOS	COORDENADA UTM		COTA	SITUACIÓN
	ESTE	NORTE		
HITO 1	320057.157	8'770921.42	4341.78	Monumentado
PC.01	320177.93	8'770890.91	4274.00	Por monumentar
PC.02	320040.66	8'770901.88	4342.88	Por munumentar

Fuente: Elaboración Propia.

- **Monitoreo de estabilidad química,** El monitoreo de estabilidad química consiste en dos partes, monitoreo para generación de flujos y monitoreo para control de migración de lixiviados. En casos de tratamiento de generación de flujos el monitoreo es progresivo para un eficiente tratamiento de control de efluentes.

El monitoreo para estabilidad química envuelve la colección de muestras, datos y análisis en aguas superficiales y en las muestras de agua subterránea, la calidad y cantidad de agua medida debe ser en cada estación de monitoreo.

El monitoreo post cierre comprende la revisión de los muestreos trimestrales, mediante inspección visual y anuales mediante la toma de muestras en los piezómetros y afloramiento de flujo en el pie de depósito.

En los monitoreos se evaluará la generación de acidez o migración de flujos de solución de metales, estos monitoreos se tomarán en muestras de agua superficial, muestra de desmonte y muestras de filtraciones del depósito de desmonte o suelo natural.

Se propone muestrear el material de desmonte y determinar su

composición mineralógica mediante microscopía polarizante y difracción de rayos X, para evaluar los compuestos geoquímicos presentes, y realizar pruebas SPLP para evaluar el potencial de lixiviación de los metales contenidos en el desmonte.

Los parámetros en extracciones a monitorear serán los siguientes: PH, conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Potencial Redox (Mb), sulfatos (mg/L), Cu (mg/L), Pb (mg/L), Zn (mg/L), Fe (mg/L), Mn (mg/L), Cd (mg/L), As (mg/L) y Hg (mg/L).

➤ **Monitoreo de impacto del medio físico**, El monitoreo de la rehabilitación del impacto medioambiental y respuesta biológica, mediante la inspección visual y adecuación de las acciones del plan de cierre al ecosistema local requiere de un programa de monitoreo ordenado para garantizar las condiciones de recuperación y adecuación al medio ecológico, dentro de estos se mencionan la cobertura vegetal y los impactos generados de la alteración de la forma terrestre y al ecosistema mediante la implementación de las obras de cierre del depósito de desmonte.

➤ **Monitoreos propuestos**, El monitoreo de este ítem se realizará en forma visual y mediante el levantamiento topográfico, del sistema de la cobertura y de los taludes revegetados.

Esta cobertura no presentará rasgos de erosión, siendo la más importante en esta zona la erosión pluvial y en poca medida la erosión eólica.

4.3. Prueba de hipótesis

La investigación es descriptiva, por lo que las pruebas de Hipótesis se plantean por el cumplimiento de objetivos.

a. Objetivo general

Determinar el óptimo plan de cierre del depósito de desmontes en la Mina Shalca Nivel – 1, a partir de la evaluación geotécnica.

Se logro el objetivo general al realizar las evaluaciones geotécnicas de los materiales de cimentación y desmonte en el área de estudio, se determinó el tipo de botadero, ángulo de reposo de los materiales, el factor de seguridad para el botadero proyectado verticalmente en función a la capacidad máxima de almacenamiento de materiales producto a las operaciones mineras. En base a estos análisis geotécnicos se pudo determinar la estabilidad física de los materiales y la estabilidad química del botadero implementando el diseño de muro de gaviones y el encapsulamiento de los materiales de desmonte para prevenir filtración de aguas acidas respectivamente.

Las etapas del plan de cierre están distribuidas en construcción y operación del botadero, etapa de cierre temporal el cual no está contemplado debido a que no se prevé paralización de operaciones, etapa de cierre progresivo consideramos prioritaria ya que se realizara paralelo a las operaciones mineras, etapas de cierre y postcierre se realizara una vez culminada el proceso productivo en el cual consideramos ciertas fases tales como: reconformación del terreno, estabilización física y química, rehabilitación de hábitat terrestre y monitoreo del depósito.

4.4. Discusión de resultados

Este trabajo de investigación tiene como propósito la evaluación geotécnica en el plan de cierre del diseño de depósito de desmontes mina Shalca – Pacaraos – Huaral – Región Lima – 2020. Todo esto en base a la recopilación de datos producto a las exploraciones en campo, toma de muestras, clasificación granulométrica de los materiales que conformarán el cimientado del botadero de desmontes y de los materiales que se conformarán en el botadero, cálculo de ángulos de cohesión y fricción de estos materiales, así como el uso del Software Geotecnico especializado para determinar valores de estabilidad de los taludes, el planteamiento de etapas durante el cierre del botadero de desmontes considerando como prioritaria la etapa de cierre progresivo.

De los resultados obtenidos en esta investigación, se puede deducir que los parámetros geotécnicos son competentes para el diseño del botadero y su estabilidad.

Así mismo se considera conformar un talud al final de la etapa de producción de la mina, construyendo gaviones en las partes bajas, encapsulando todo el material de desmonte y revegetando toda el área.

CONCLUSIONES

1. El plan de cierre del botadero se realizará en diversas etapas de acuerdo con lo siguiente:
 - En las etapas de construcción y operación solo consideramos la posibilidad de ocurrencia de cierre temporal o cierre progresivo de aquellas áreas que fueron utilizadas y no volverán a ser perturbadas por el Proyecto.
 - El Proyecto no contempla cierre temporal de mina durante la etapa de operación, sin embargo, como consecuencia de inestabilidad económica y/o laboral podría considerarse la suspensión temporal de las actividades.
 - El cierre progresivo es considerada prioritaria, ya que su implementación durante las etapas de construcción y operación puede generar beneficios tanto ambientales como económicos de carácter significativo
2. En la etapa de cierre progresivo se considera la revegetación de los taludes y áreas utilizadas durante la construcción. Asimismo, se incluyen aquellos accesos habilitados para la etapa de construcción y que no se utilicen durante la etapa de operación.
3. En la etapa de cierre y postcierre, se pondrán en práctica las medidas de cierre final en las áreas disturbadas durante la fase de operación.
4. En las fases del plan de cierre final se realizarán las siguientes fases:
 - La demolición o desmantelamiento. Esta etapa NO APLICA, debido a que el depósito en su totalidad no será reutilizado ni devuelto a interior mina.
 - Reconformación del terreno.
 - Nivelación del terreno.
 - Revegetación.
 - Estabilización física y química. durante y después de la operación de

almacenamiento de desmonte.

- Rehabilitación de hábitats terrestres.
- Monitoreos en la etapa de post cierre.

RECOMENDACIONES

1. Después del cierre del botadero debe elaborarse y ejecutarse un programa de monitoreo topográfico de todo el depósito de desmontes mediante sistemas de mediciones de hitos topográficos construidos en puntos estratégicos del depósito a partir de un punto geodésico de primer orden, a los hitos de control topográfico ubicado en el botadero de desmontes.
2. Se recomienda seguir las fases recomendadas para no afectar los sectores adyacentes a la zona del proyecto.
3. Los materiales que se acumulen en el botadero no deben tener los elementos químicos que provoquen aguas acidas, para ello se deben monitorear constantemente los elementos químicos que conforman los materiales de desmonte.

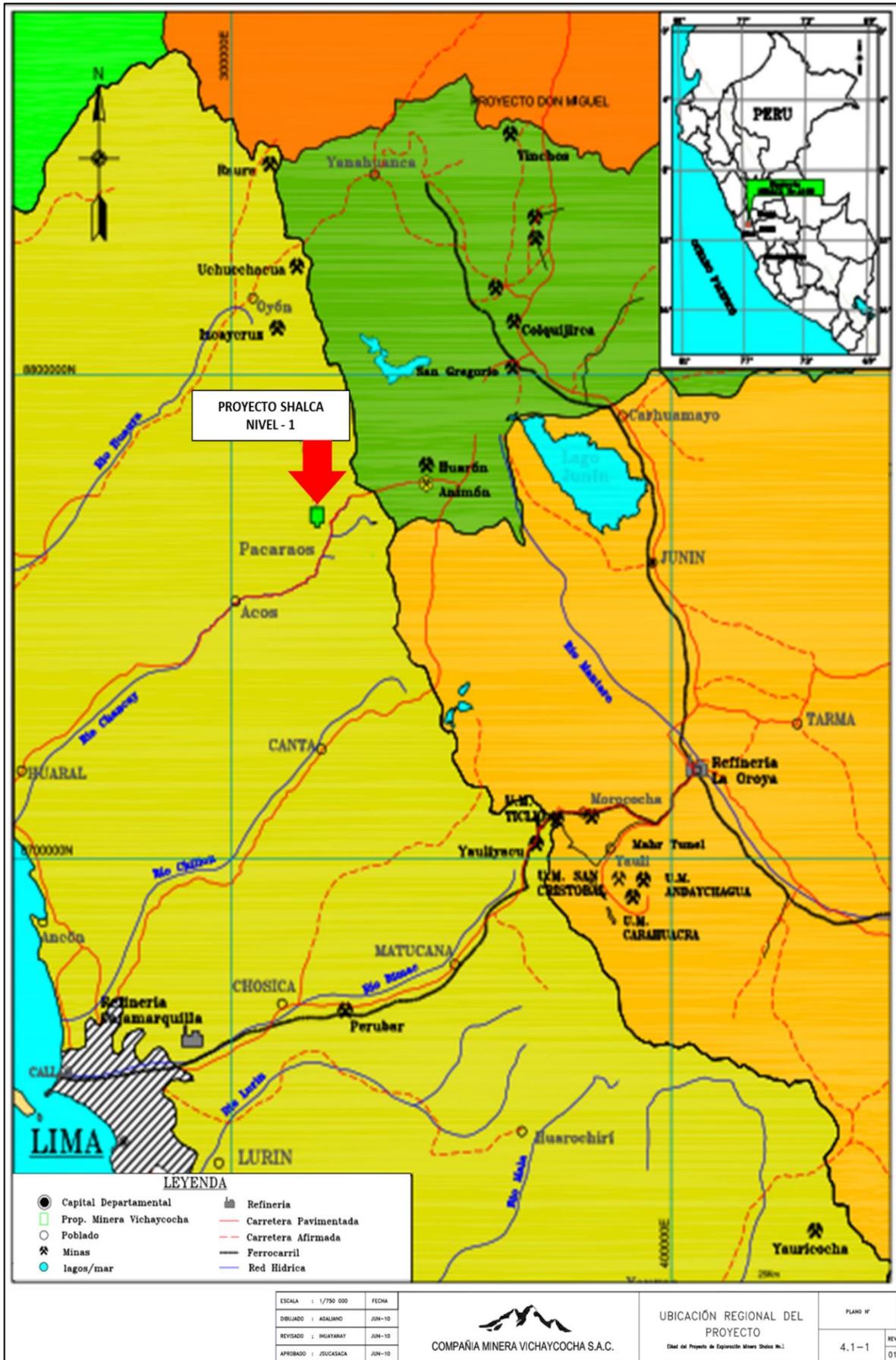
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

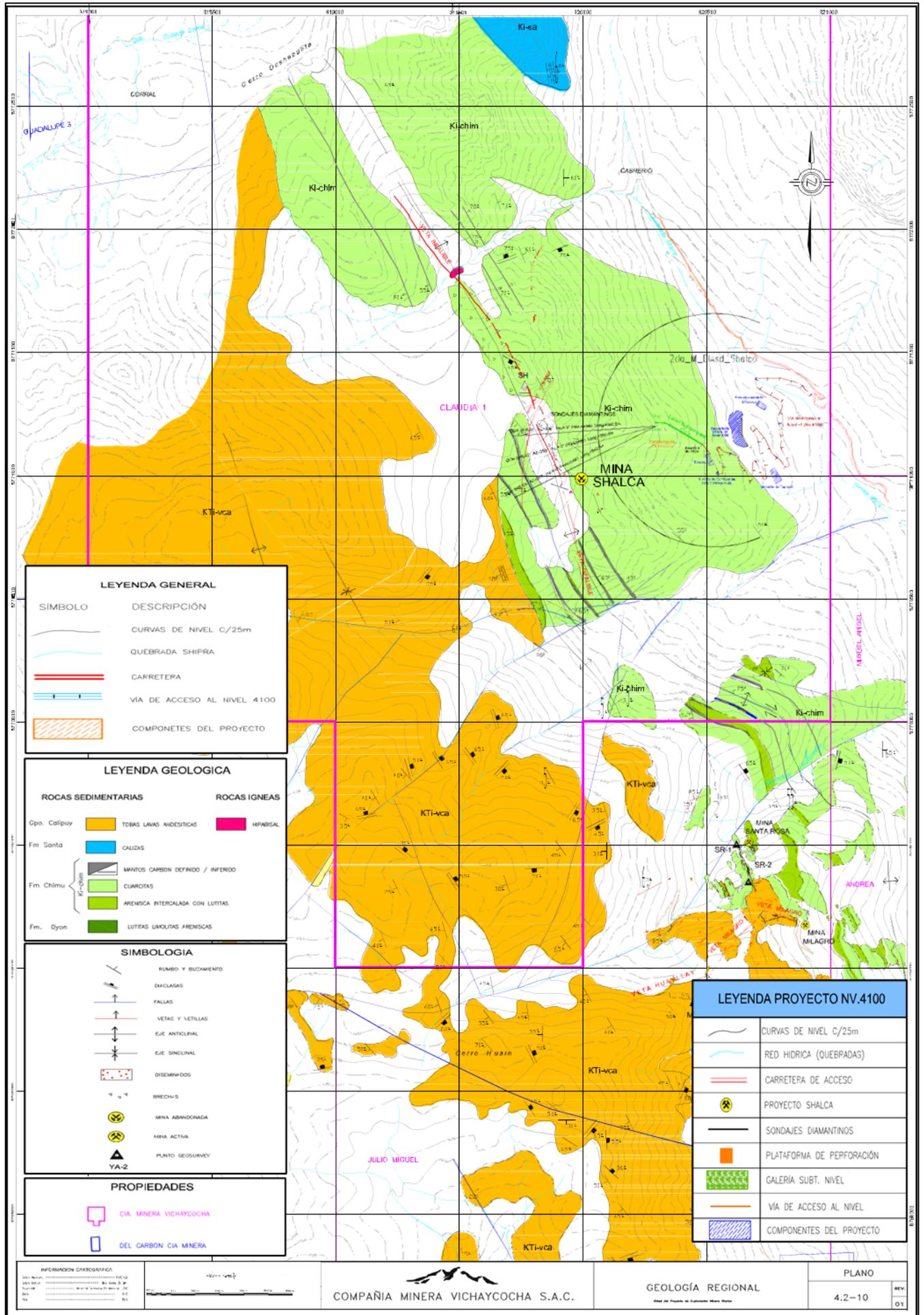
- Bolton Seed Memorial Symp., J. M. Duncan (Ed.), University of California, Berkeley, California, Vol. 2, pp 351-376.
- MEM-DGAA (1998). “Estabilidad de Taludes de Depósitos de Residuos Sólidos Provenientes de Actividades Mineras”. Guía Ambiental de Minería – Volumen XVI.
- MEM-DGAA. (1997). “Manejo de Relaves Mineros”. Guía Ambiental de Minería – Volumen VII.
- Parra D. y Alva J. (1990). Evaluación del Potencial de Licuación de Suelos en Chimbote. Memorias del VIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil. Piura. Perú.
- Ponce, V. M. Engineering Hydrology, Principles, and practices; Prentice Hall, New Jersey, 1989.
- Seed, H.B. and Harder, L. F. (1990). SPT-Based Analysis of Cyclic Pore Pressure Generation and Undrained Residual Strength, Proc., H.
- Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1971). Simplified Procedures for Evaluating Soil Liquefaction Potential, Journal of the Soil Mechanics, and Foundation Division, ASCE, Vol. 97, No. SM9, pp.1249-1273.
- Seed, H.B., Tokimatsu, K., Harder L. F., and Chung, R. M. (1984). The Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluations, Report No. EERC 84-15, University of California, Berkeley.
- Stark, T.D. and Mesri. G. (1992). Undrained Shear Strength of Liquefied Sands for Stability Analysis, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 118(11), 1727-1747.

Stark, T.D. and Olson. S.M. (1995). Liquefaction Resistance Using CPT and Field Case Histories, *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 121(12), 856-869.

ANEXO

Instrumentos de recolección de datos.





LEYENDA GENERAL

SIMBOLO	DESCRIPCIÓN
	CURVAS DE NIVEL C/25m
	QUEBRADA SHIPRA
	CARRETERA
	VIA DE ACCESO AL NIVEL 4100
	COMPONETES DEL PROYECTO

LEYENDA GEOLOGICA

ROCAS SEDIMENTARIAS		ROCAS IGNEAS
Gps. Callipuy	TOBAS LAVAS ANDESITICAS	HPBASAL
Fm Sorita	CALIZAS	
Fm Chimu	MANTOS CARBON DEFINIDO / INFERIDO	
	CUARCITAS	
	ARENSICA INTERCALADA CON LUTITAS	
Fm. Dyon	LUTITAS LIMOLITAS ARENSICAS	

SIMBOLOGIA

	RUMBO Y BUZAMIENTO
	DIACLASAS
	FALDAS
	VETAS Y VETILLAS
	EJE ANTICLINAL
	EJE SINGULAR
	DISEMBROS
	BRECHUS
	MINA ABANDONADA
	MINA ACTIVA
	PUNTO GEOSURVEY
	YA-2

PROPIEDADES

	CIA. MINERA VICHAYCOCHA
	DEL CARBON CIA MINERA

LEYENDA PROYECTO NV.4100

	CURVAS DE NIVEL C/25m
	RED HIDRICA (QUEBRADAS)
	CARRETERA DE ACCESO
	PROYECTO SHALCA
	SONDAJES DIAMANTINOS
	PLATAFORMA DE PERFORACION
	GALERIA SUBT. NIVEL
	VIA DE ACCESO AL NIVEL
	COMPONETES DEL PROYECTO

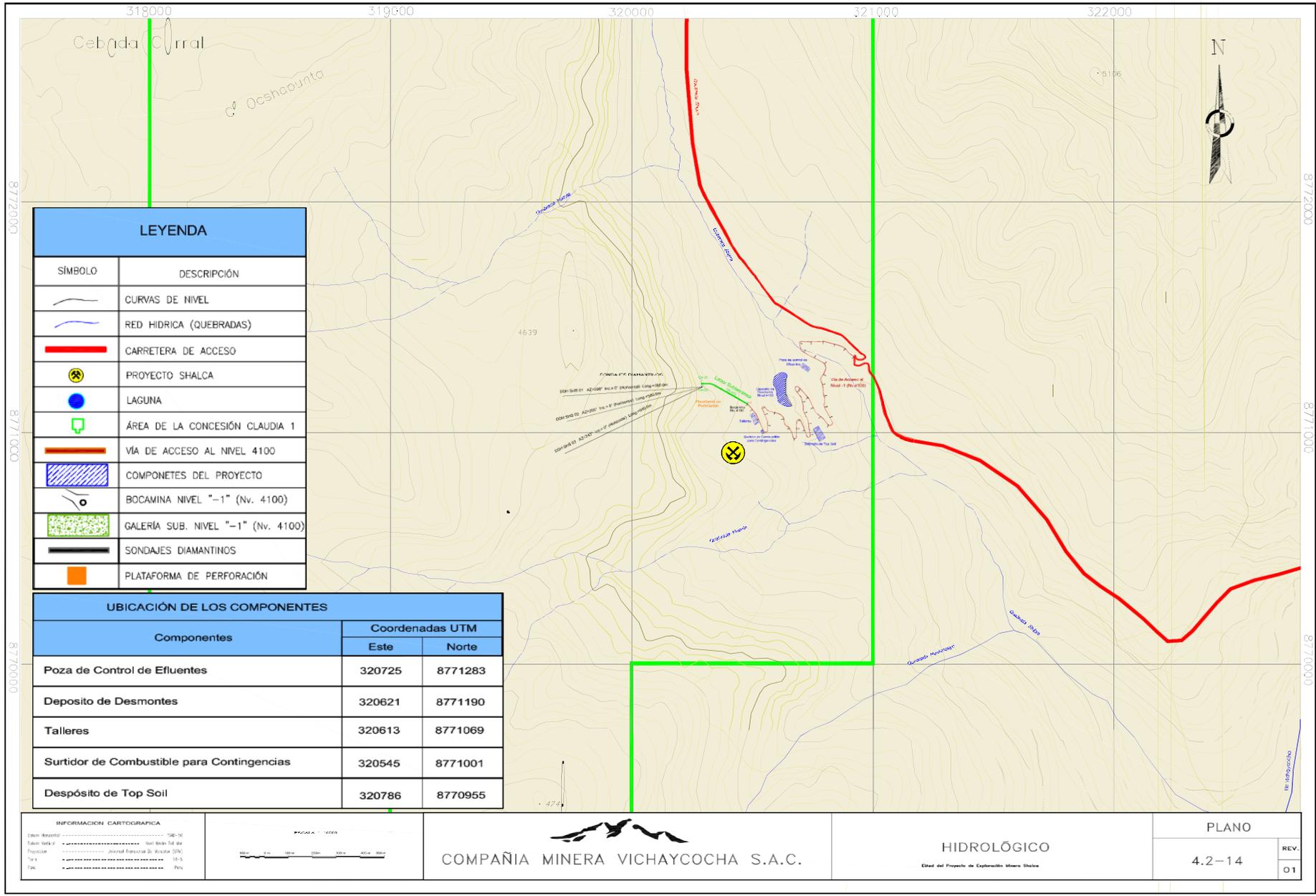
INFORMACION CARTOGRAFICA
 Escala: 1:50,000
 Datum: WGS 84
 Proyección: UTM
 Zona: 18 S
 Fuente: Mapa Geológico Regional de la zona de estudio



COMPANIA MINERA VICHAYCOCHA S.A.C.

GEOLOGIA REGIONAL
 Plano del Proyecto de Exploración Minería Carbon

PLANO
 4.2-10
 REV. 01



LEYENDA

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	CURVAS DE NIVEL
	RED HIDRICA (QUEBRADAS)
	CARRETERA DE ACCESO
	PROYECTO SHALCA
	LAGUNA
	ÁREA DE LA CONCESIÓN CLAUDIA 1
	VÍA DE ACCESO AL NIVEL 4100
	COMPONENTES DEL PROYECTO
	BOCAMINA NIVEL "-1" (Nv. 4100)
	GALERÍA SUB. NIVEL "-1" (Nv. 4100)
	SONDAJES DIAMANTINOS
	PLATAFORMA DE PERFORACIÓN

UBICACIÓN DE LOS COMPONENTES

Componentes	Coordenadas UTM	
	Este	Norte
Poza de Control de Efluentes	320725	8771283
Deposito de Desmontes	320621	8771190
Talleres	320613	8771069
Surtidor de Combustible para Contingencias	320545	8771001
Despósito de Top Soil	320786	8770955

INFORMACIÓN CARTOGRAFICA
 Datum Horizontal: WGS 84
 Datum Vertical: Nivel Medio del Mar
 Proyección: Internacional Horizontal de Mercator (SHG)
 Escala: 1:50,000
 Fecha: 2010
 Tipo: Plano

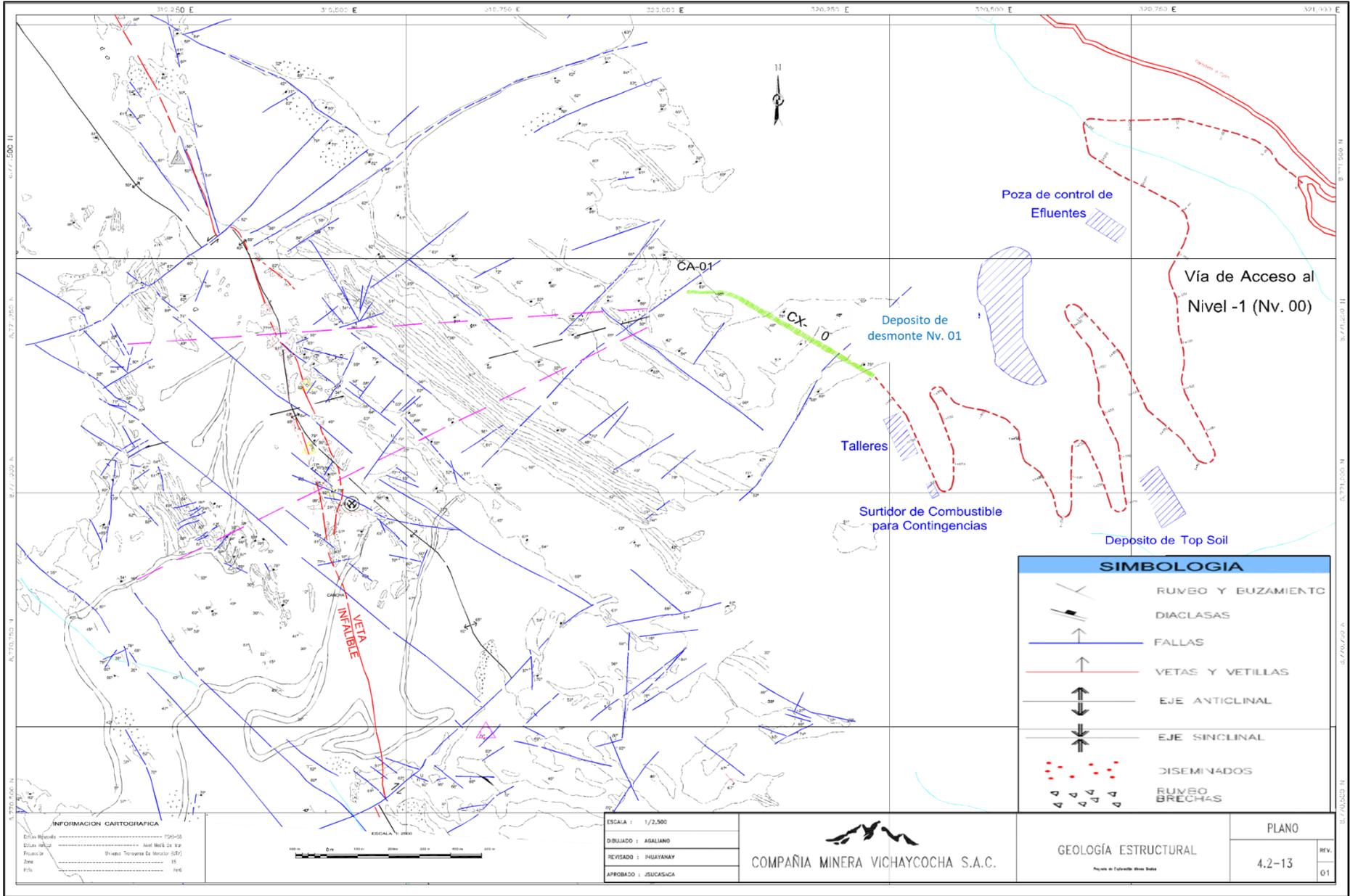


COMPAÑIA MINERA VICHAYCOCHA S.A.C.

HIDROLÓGICO
 Etapa del Proyecto de Exploración Minera Shalca

PLANO
 4.2 - 14

REV.
01



INFORMACION CARTOGRAFICA
 Escala Original: 1:50000
 Escala Actual: 1:2500
 Proyección: UTM
 Zona: 18S
 Datum: WGS 84



ESCALA: 1/2.500
 DIBUJADO: AGUIRRE
 REVISADO: PUGAYANAY
 APROBADO: JUSCASICA

COMPANIA MINERA VICHAYCOCHA S.A.C.

SIMBOLOGIA	
	FUERO Y EUBZAMIENTO
	DIACLASAS
	FALLAS
	VETAS Y VETILLAS
	EJE ANTICLINAL
	EJE SINCLINAL
	DISEMINADOS
	FUERO BRECHAS

GEOLOGIA ESTRUCTURAL
 Proyecto de Evaluación de Recursos

PLANO
 4.2-13
 REV. 01

Se realizaron calicatas en diferentes puntos para conocer el perfil del suelo, clasificación del suelo y llevar a laboratorio las muestras para obtener parámetros geotécnicos.

<u>REGISTRO DE CALICATAS</u>				
SOLICITANTE: HERBER HIDALGO VENTOCILLA			CALICATA : 1	
PROYECTO : U.M. Shalca, Nivel - I			PROF. (m) : 1.50	
UBICACION : Pacaraos - U.M. Shalca			N.F. (m) : N.P.	
FECHA : Ene-20				
POTENCIA DEL ESTRATO (m)	MUESTRA	CLASIFICACIÓN SUCS	SIMBOLOGÍA GRÁFICA	DESCRIPCION
0.5	S/M	.		Cobertura vegetal compuesta de arena limosa, con grava fina subangulosa, color marrón amarillenta de 27 cm de espesor
1.0	M-1	GC		Material compuesto de grava angulosa, arcilla color marrón amarillento húmeda de consistencia firme, coluvial. Clasificada según SUCS como a grava arcillosa con arena (GC).
1.50				

REGISTRO DE CALICATAS

SOLICITANTE: HERBER HIDALGO VENTOCILLA
PROYECTO : U.M. Shalca, Nivel - I
UBICACION : Pacaraos - U.M. Shalca
FECHA : Ene-20

CALICATA : 2
PROF. (m) : 1.50
N.F. (m) : N.P.

POTENCIA DEL ESTRATO (m)	MUESTRA	CLASIFICACIÓN SUCS	SIMBOLOGÍA GRÁFICA	DESCRIPCIÓN
0.5	S/M	-		Top Soil compuesta de arena limosa, con grava fina subangulosa, color marrón amarillenta de 35 cm de espesor
1.0	M-2	GC		Material compuesto de grava angulosa, arcilla color marrón amarillento húmeda de consistencia firme, coluvial. Clasificada según SUCS como a grava arcillosa con arena (GC).
1.50				

REGISTRO DE CALICATAS

SOLICITANTE: HERBER HIDALGO VENTOCILLA	CALICATA : 3
PROYECTO : U.M. Shalca, Nivel - I	PROF. (m) : 1.50
UBICACION : Pacaraos - U.M. Shalca	N.F. (m) : N.P.
FECHA : Ene-20	

POTENCIA DEL ESTRATO (m)	MUESTRA	CLASIFICACIÓN SUCS	SIMBOLOGÍA GRÁFICA	DESCRIPCIÓN
0.5	S/M	-		Top Soil compuesta de arena limosa, con grava fina subangulosa, color marrón amarillenta de 29 cm de espesor
1.0	M-3	GC		Material compuesto de grava angulosa, arcilla color marrón amarillento húmeda de consistencia firme, coluvial. Clasificada según SUCS como a grava arcillosa con arena (GC).
1.50				

Ensayo de compactación

Proyecto	NIVEL 1 - PROYECTO SHALCA		
Tesista	Bach. Hidalgo Ventocilla Herber		
Ubicación	U.M. Shalca - Pacaraos		
Material	Desmonte	Fecha	Feb-20

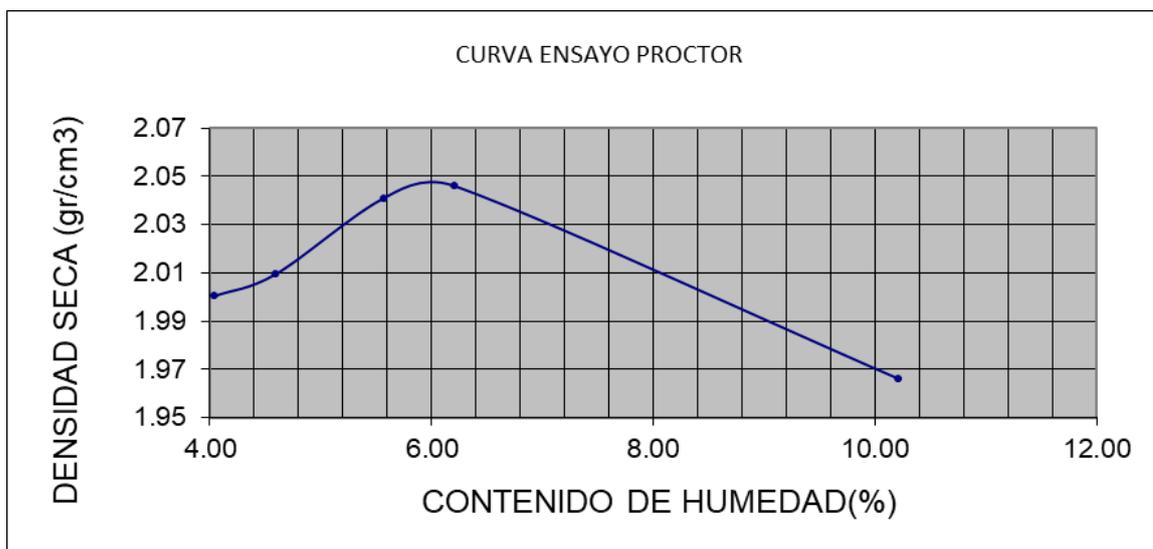
ENSAYO N°	1	2	3	4	5
Peso molde+Muestra Húmeda(gr)	10748.00	10815.00	10985.00	11045.00	11025.00
Peso del Molde (gr)	4026.00	4026.00	4026.00	4026.00	4026.00
Peso Muestra Húmeda (gr)	6722.00	6789.00	6959.00	7019.00	6999.00
Volúmen del molde (cc)	3229.96	3229.96	3229.96	3229.96	3229.96
Densidad húmeda (gr/cc)	2.08	2.10	2.15	2.17	2.17

Peso húmedo + Tara (gr)	126.00	98.30	114.23	113.90	117.60
Peso Seco + Tara (gr)	121.55	94.55	108.90	107.90	107.90
Peso Agua (gr)	4.45	3.75	5.33	6.00	9.70
Peso Tara (gr)	11.45	13.00	13.20	11.20	12.90
Peso Muestra Seca (gr)	110.10	81.55	95.70	96.70	95.00
Contenido de Humedad %	4.04	4.60	5.57	6.20	10.21
Densidad Seca (gr/cc)	2.00	2.01	2.04	2.05	1.97

DENSIDAD SECA MAXIMA	2.05
-----------------------------	------

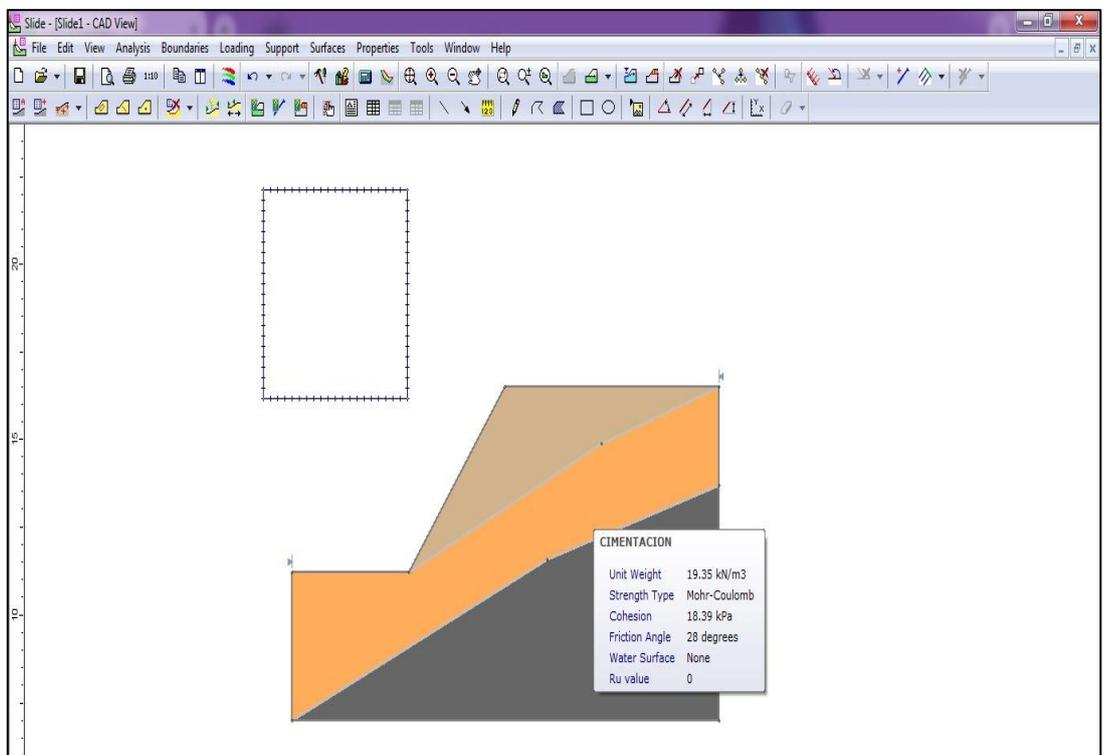
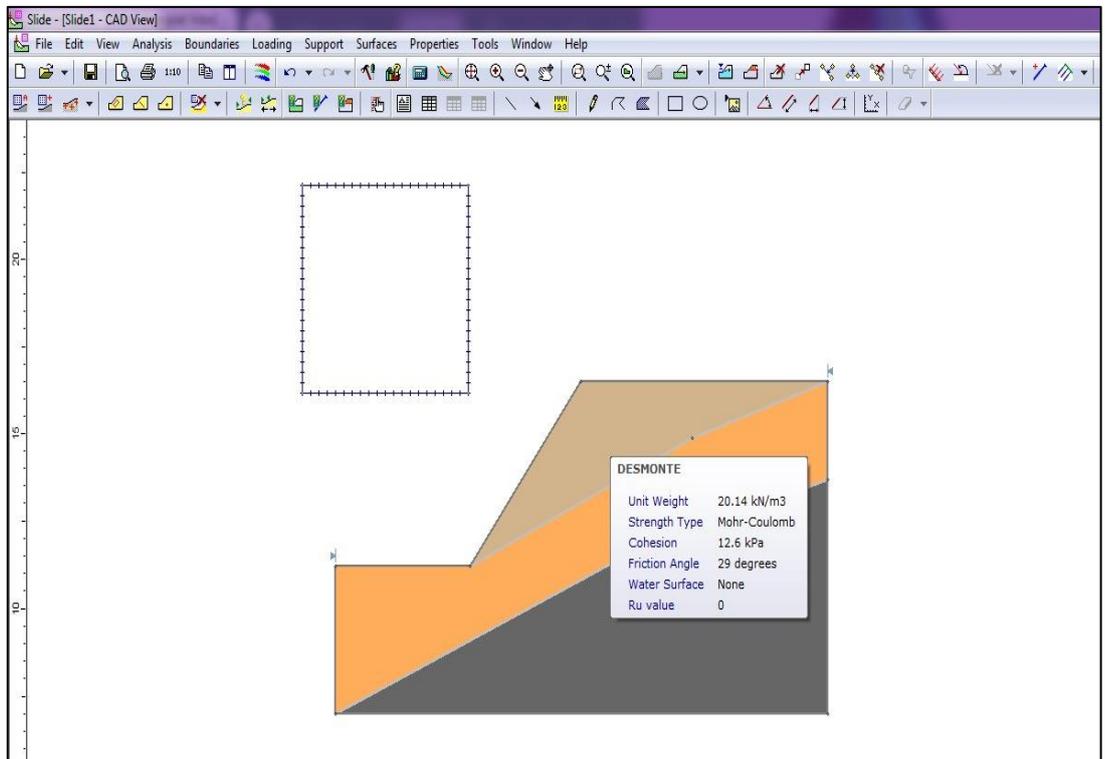
HUMEDAD OPTIMA	6.2
-----------------------	-----

Curva de compactación

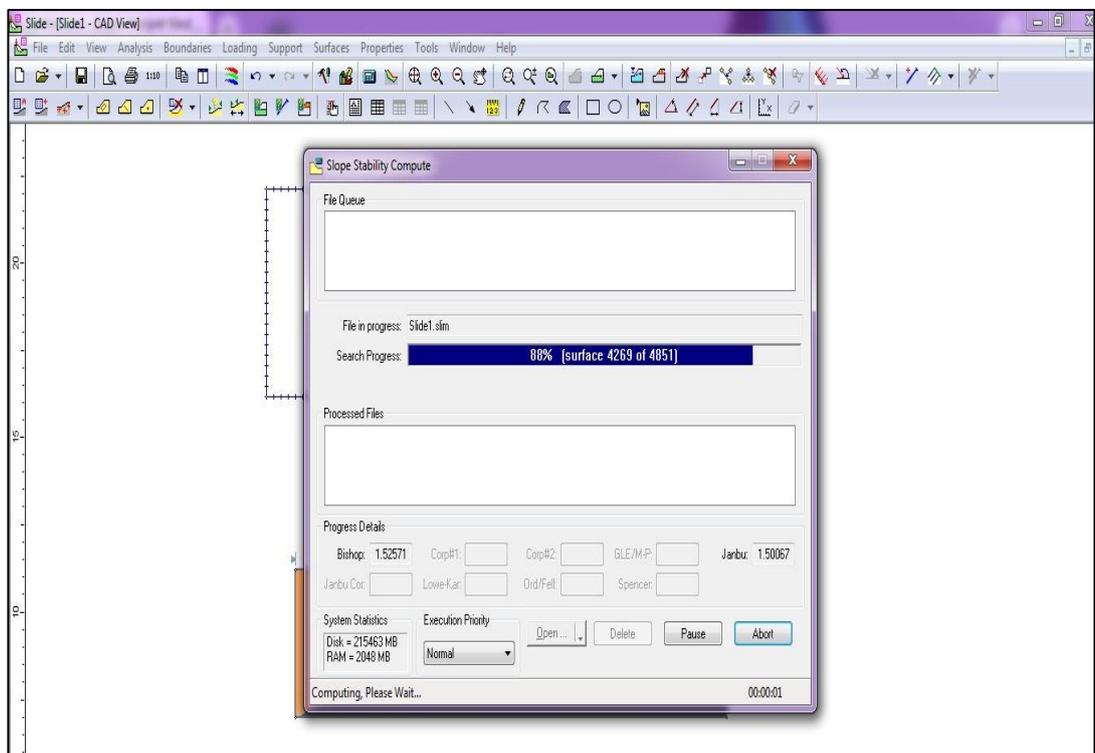
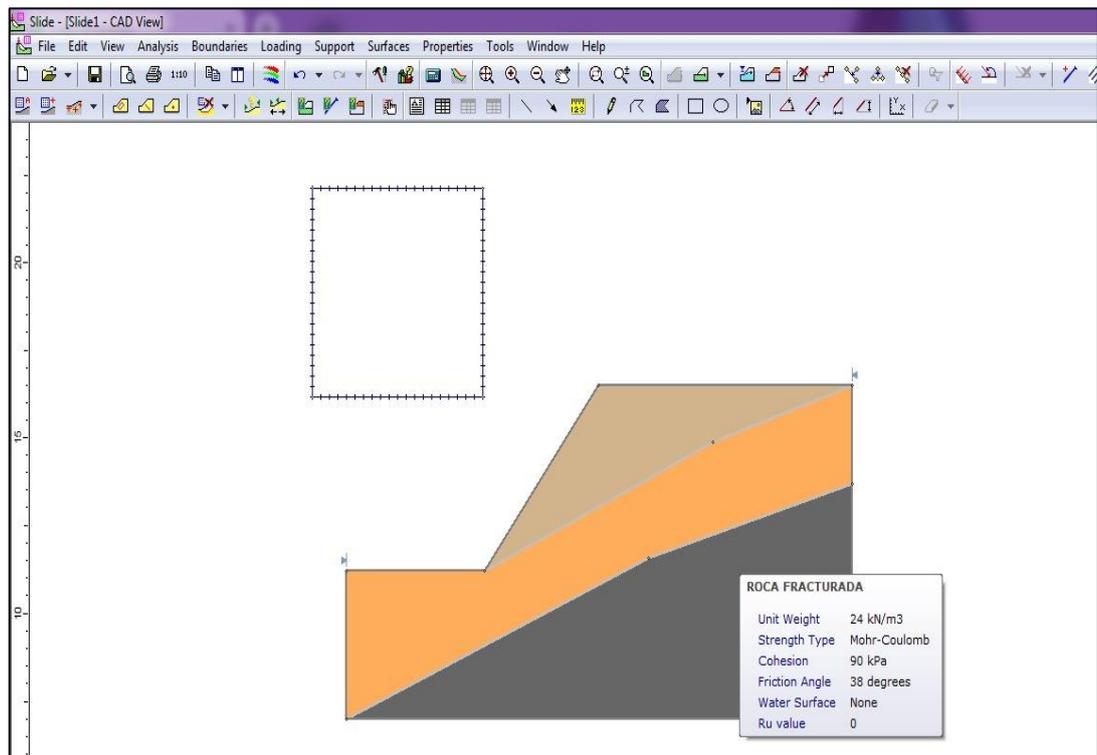


Uso de Software Slide 5.0

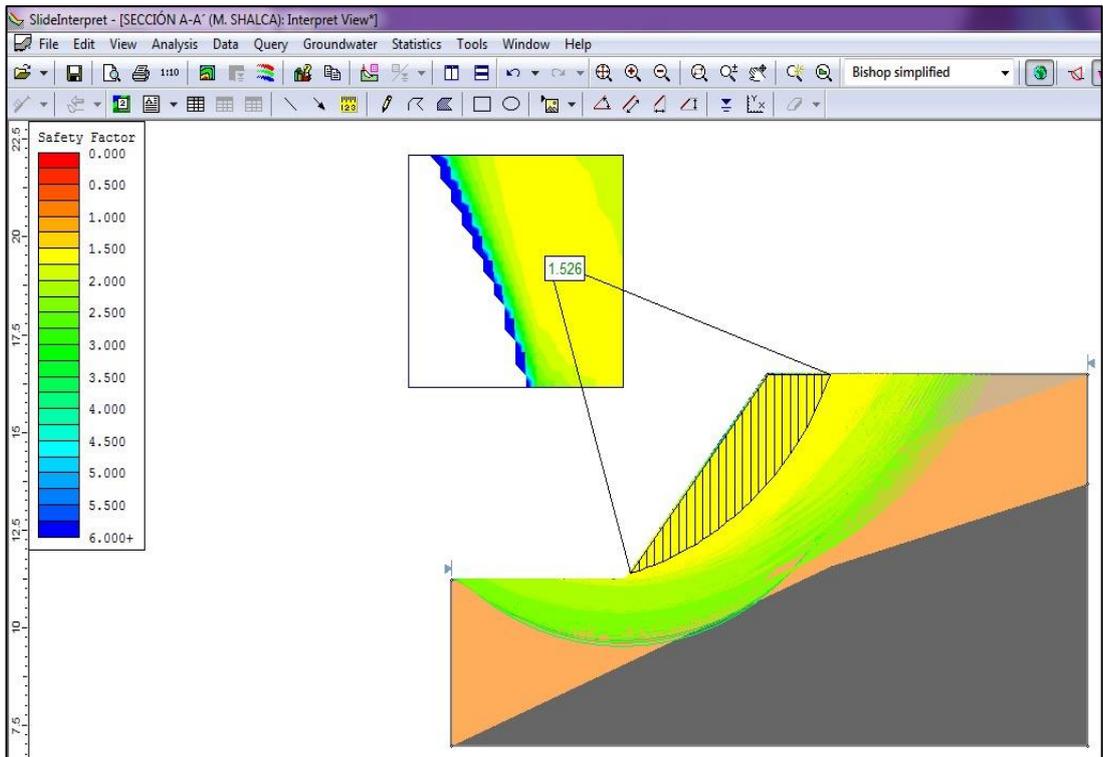
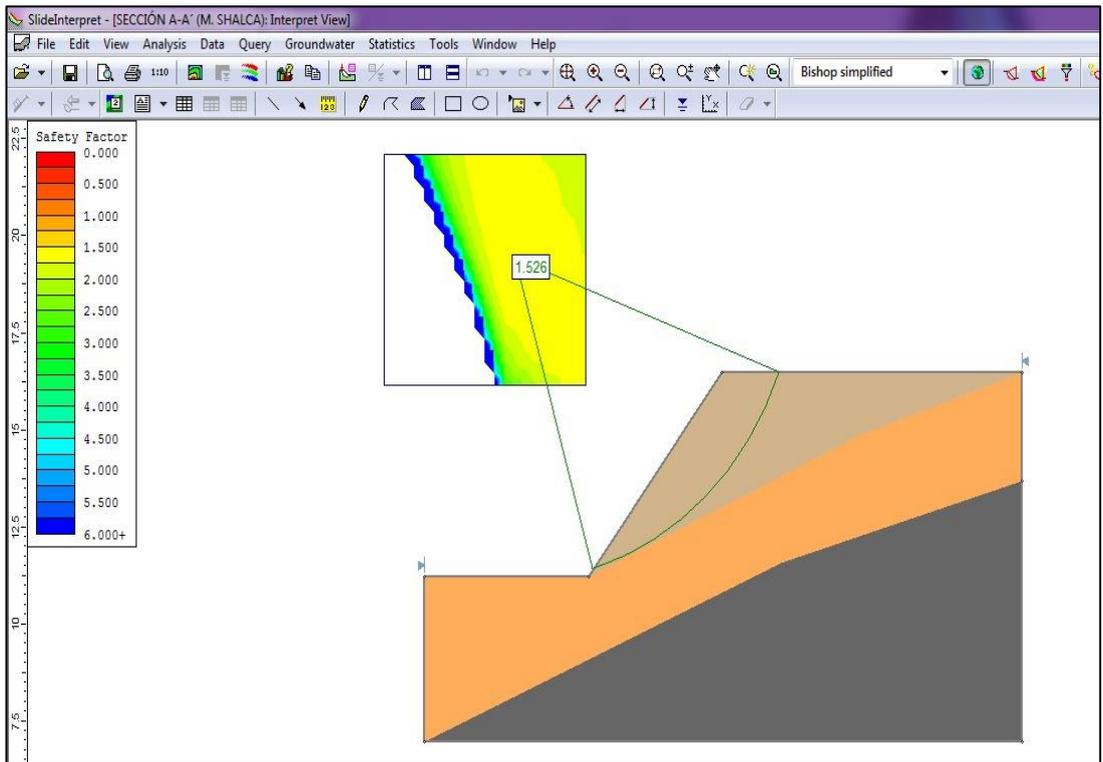
Se inserta las propiedades de los materiales



Análisis de datos



Cálculo del Factor de Seguridad



Se muestra todas las superficies de deslizamiento generado por el análisis.

Coordenadas UTM para monitoreo de estabilidad de talud.

ITEM	NOMBRE	COORDENADAS UTM			DESCRIPCIÓN
		ESTE	NORTE	COTA	
1	PR.2	320041.17	8770931.2	4343	PUNTO EXTERNO
2	PR.6	320029.62	8770849.6	4350	BANCO 01
3	PR.7	320044.6	8770902	4343	BANCO 01
4	PR.65	320060.2	8770815	4350	BANCO 05
5	PR.68	320036.5	8770849	4350	BANCO 05
6	PR.70	320049.3	8770901	4343	BANCO 05
7	PR.51	320090.7	8770839	4331	BANCO 04
8	PR.52	320077.5	8770852	4331	BANCO 04
9	PR.54	320070.9	8770883	4331	BANCO 04
10	PR.37	320105.9	8770874	4313	BANCO 03
11	PR.38	320102.8	8770885	4313	BANCO 03
12	PR.41	320100	8770900	4313	BANCO 03
13	PR.21	320150.6	8770873	4295	BANCO 02
14	PR.24	320141.5	8770894	4295	BANCO 02
15	PR.28	320139	8770911	4295	BANCO 02
16	PR.16	320179	8770872	4278	MURO
17	PR.17	320164.5	8770909	4278	MURO

Matriz de consistencia

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Marco teórico	VARIABLES	Metodología
Problema general: ¿En qué grado la evaluación geotécnica determinará el óptimo plan de cierre del depósito de desmontes en la Mina Shalca?	Objetivo general: Determinar el óptimo plan de cierre del depósito de desmontes en la Mina Shalca a partir de la evaluación geotécnica.	Hipótesis de investigación: H1: La evaluación geotécnica determinará el óptimo plan de cierre del depósito de desmontes en la Mina Shalca.	Antecedentes: Toda tecnología para implementarse para el desarrollo apropiado de disposición de relaves parte de un adecuado estudio geotécnico, que parte de su caracterización, evidenciándolo como una condición de viabilidad (Beltrán-Rodríguez, Larrahondo y Cobos, 2018).	Independiente: La evaluación geotécnica.	Tipo de investigación: Exploratorio, descriptivo y explicativo.
			Los factores de seguridad (FS) deben estar por encima de los mínimos permisibles recomendados (1.5 en condiciones estáticas y 1.3 en condiciones pseudoestáticas) en un área de fundación estable sin riesgo potencial de presentar una línea de rotura por sobre esfuerzos de carga (Vilca, 2019).	Dependiente: Óptimo plan de cierre del depósito de desmontes de la Mina Shalca.	
Problemas específicos: ¿De qué manera las características geotécnicas del material de desmonte conformarán los taludes proyectados del depósito?	Objetivos específicos: Evaluar las características geotécnicas del material de desmonte que conformarán los taludes proyectados del depósito.	Las características geotécnicas del material de desmonte conformarán de manera estable el depósito. Las condiciones físicas y químicas del depósito determinarán su estabilidad.	El método de encapsulamiento con geomembrana y cubierta vegetal (con el fin de remediar el ambiente) en base a experiencias exitosas, favorece positivamente en su recuperación ambiental, mejorando y trayendo consigo beneficios al ecosistema, además de aportes en la salud, en la sociedad y en la economía (Ledesma, 2018).	Interviniente: Alteración del macizo rocoso	Métodos de investigación: En marco del enfoque cuantitativo, se irá describiendo y explicando la caracterización geológica y geotécnica de la zona de estudio, mediante la toma de datos y análisis interpretativos, considerando tres etapas: recopilación de información, trabajo de campo y trabajo analítico
¿De qué modo se presentan las condiciones de la estabilidad física y química del depósito orientado a su cierre?			Determinar la condición de la estabilidad física y química del depósito orientado a su cierre.		Población y muestra: Macizos rocosos y muestra donde se realizará la construcción del depósito de desmonte.