



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

**“INSTALACIÓN DEL PANEL TEST DE PRUEBA PARA
CIERRE PROGRESIVO DE LA UNIDAD MINERA LAGUNAS
NORTE BARRICK, TRUJILLO 2020”**

Trabajo de suficiencia profesional para optar el título
profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Albino Nevile Gomez Quinteros

Asesor:

Ing. Jorge Luis Canta Honores

Lima - Perú

2020

DEDICATORIA

Primero Agradezco al Señor por su bendición, a mis padres Nevile Gomez y mi madre Lía Quinteros por haberme forjado como la persona que soy hoy en día, a mi esposa por brindarme su apoyo y ayuda para conseguir mis objetivos, todos mis logros se los debo a ustedes.

Albino Nevile Gomez Quinteros

AGRADECIMIENTO

- Primeramente, expreso mi más grande y sincero agradecimiento a Dios, por darme la constancia y perseverancia en búsqueda de la oportunidad de seguir luchando día tras día para lograr este objetivo.
- A mi padre, por el gran amor que me brinda diariamente, su dedicación y el arduo sacrificio que su profesión demanda para sacar adelante a mi familia.
- A mi madre, por su infinito amor, preocupación y entrega, por las horas despierta ayudándome hasta en lo imposible.
- A mi esposa, por el amor que me han demostrado con el pasar del tiempo y por lo orgullosa que se sienten porque estamos cumpliendo nuestros sueños.
- Y no podría faltar a mis profesores de la carrera y compañeros, que desde la universidad estuvimos juntos y nos propusimos que al finalizar alcanzaríamos nuestros objetivos, en las buenas y en las malas apoyándonos.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	9
RESUMEN EJECUTIVO.....	10
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. Realidad Problemática.....	11
1.1.1. Información General	14
1.1.2. Información Internacional.....	16
1.1.3. Información Local.....	16
1.2. Antecedentes de la Investigación.....	19
1.3. Bases Teóricas	25
1.3.1. Tipos de Cobertura.....	25
1.3.2. Evapotranspiración.....	32
1.4. Componente de Cobertura.....	43
1.4.1 Aspecto y forma del geotextil de 270 gr.....	46
1.4.2 Propiedades Generales.....	47
1.4.3 Propiedades Mecánicas.....	47
1.5. Formulación del problema.....	47
1.6. Objetivos.....	47
1.6.1. Objetivo General.....	47
1.6.2. Objetivos Específicos.....	48
1.7. Hipótesis.....	48
1.7.1. Hipótesis General.....	49
1.7.2. Hipótesis específica.....	49
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	49
2.1. Tipo de investigación	49
2.2. Población y muestra.....	49
2.3. Materiales, Instrumentos y Métodos.....	51
2.3.1. Materiales.....	51
2.3.2. Instrumentos.....	51
2.3.3. Métodos.....	51
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos de componentes de cobertura, de acuerdo a condiciones de terreno.....	52
2.4.1. Contenido de Humedad.....	52
2.4.2. Material.....	53
2.4.3. Equipo.....	53
2.4.4. Procedimiento.....	53
2.4.5. Límites de Atterberg o Límites de Consistencia.....	54
2.4.5.1. Ensayo: Límite líquido.....	54
2.4.5.2. Ensayo: Límite plástico.....	56

2.4.5.3. Granulometría mediante tamizado por lavado.....	57
2.4.5.4. Requisitos para el diseño final de nuestra cobertura y características para ser vertidas en nuestro talud de conformación.....	59
2.4.5.5. Propiedades a evaluar en el diseño del panel test.....	61
2.4.5.6. Estructura: depósito de desmante.....	62
2.4.5.7. Parámetros de los suelos representativos en el diseño.....	62
2.5.	
Procedimiento.....	62
2	
2.5.1. Obtención de material a emplear Material (Tierra).....	63
2.5.2. Geomembrana texturada y geomembrana lisa.....	63
2.5.3. Ubicación del panel test de prueba de la unidad minera.....	63
2.5.4. Incorporación de la tierra de cultivo.....	66
2.5.5. Estudio de suelos.....	66
2.5.6. Ensayo de Granulometría.....	69
2.5.6.1. Ensayo Proctor.....	70
2.5.7. Diseño experimental.....	71
2.5.8. Zona de cobertura típica.....	72
2.6. Análisis de datos.....	74
2.6.1. Evaluación de la estabilidad de talud.....	74
2.6.1.1. Estabilidad de talud.....	74
2.6.2. Método de Spencer.....	77
CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA.....	79
CAPITULO IV. RESULTADOS.....	83
4.1. Parámetros Del Suelo Representativos.....	83
4.1.1. Coeficiente Sísmico de diseño.....	83
4.1.2. Coeficientes de Seguridad.....	84
4.1.3. Resultados de Análisis de Estabilidad de Taludes.....	84
4.1.4. Tipo de análisis estático con cobertura de 20 cm.....	85
4.1.5. Tipo de análisis pseudoestático con cobertura de top soil de 20 cm.....	85
4.3. Tipo de análisis pseudoestático con cobertura de top soil de 30cm.....	87
4.4. Cuadro resumen de estabilidad después de la cobertura.....	88
4.5. Comentarios, Problemas y Acciones.....	88
4.6. Hojas de Cálculo del Coberturado.....	89
4.7. Hojas de cálculo del coberturado de espesores de 20 cm y 30 cm geomembrana lisa.....	92
4.8. Análisis de saturación en precipitaciones máximas en cobertura top soil.....	95
4.9. Resumen de comprobación de tensores entre cobertura.....	99
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	100
5.1. Conclusiones.....	100
5.2. Recomendaciones.....	102
Referencias.....	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estación meteorológica local – ESTM-01.....	27
Tabla 2. Precipitación total mensual.....	28
Tabla 3. Temperatura media mensual (°C).....	29
Tabla 4: Humedad Relativa mensual (%).....	30
Tabla 5. Características de materiales de capas – Base HELP v3.07.....	34
Tabla 6. Parámetros físicos de los materiales de cobertura.....	35
Tabla 7. Resultados a nivel mensual del balance hídrico de la cobertura tipo I.....	38
Tabla 8. Resultados a nivel mensual del balance hídrico de la cobertura tipo II.....	40
Tabla 9. Volúmenes de tratamiento de aguas utilizando la cobertura tipo I.....	41
Tabla 10. Volúmenes de tratamiento de aguas utilizando la cobertura tipo II.....	42
Tabla 11. Cantidad de muestras para ensayo.....	50
Tabla 12. Acceso a la cantera.....	65
Tabla 13. Cálculo de cantidades para elaboración de adobes.....	73
Tabla 14. Parámetros de suelos.....	83
Tabla 15. Coeficiente sísmico.....	83
Tabla 16. Coeficiente de seguridad.....	84
Tabla 17. Coeficiente de seguridad utilizada para el diseño.....	84
Tabla 18. Análisis de estabilidad de taludes posterior a la cobertura.....	84
Tabla 19. Análisis de estabilidad de taludes posterior a la cobertura de 30cm Método de Spencer.....	86
Tabla 20. Análisis de estabilidad de taludes posterior a la cobertura.....	86
Tabla 21. Análisis de estabilidad de taludes posterior a la cobertura.....	88
Tabla 22. Resultados a nivel mensual del balance hídrico de la cobertura tipo I.....	95
Tabla 23. Comprobación de tensores.....	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Organigrama de la empresa FOMPER S.A.C.....	14
Figura 2. Organigrama de Equipo de Trabajo de la empresa FOMPER S.A.C.....	14
Figura 3. Ubicación geográfica de la Minera Lagunas Norte- Barrick.....	17
Figura 4. Revegetación en taludes plataformado de arcilla.....	18
Figura 5. Ubicación de Estación Metereológica locas ESTM-01.....	27
Figura 6. Precipitación total mensual.....	29
Figura 7. Temperatura media mensual.....	30
Figura 8: Humedad relativa mensual media.....	31
Figura 9. Porcentajes anuales medios de Escorrentía – Evapotranspiración – Percolación para la Cobertura tipo I.....	38
Figura 10. Porcentajes anuales medios de Escorrentía – Evapotranspiración – Percolación para la Cobertura tipo II.....	38
Figura 11. Resultados a nivel mensual del balance hídrico de la cobertura tipo I.....	39
Figura 12. Resultados a nivel mensual del balance hídrico de la cobertura tipo II.....	40
Figura 13. Esquema de balance de aguas en el DDE, PLA y NPL utilizando la cobertura tipo I.....	42
Figura 14. Esquema de balance de aguas en el DDE, PLA y NPL utilizando la cobertura tipo II.....	43
Figura 15. Geomembrana texturada GM13.....	45
Figura 16. Geotextil GTX 027M, fuente Geosistemas PAVCO 2020.....	47
Figura 17. Ubicación Unidad Minera Lagunas Norte.....	45
Figura 18. Unidad Minera Laguna Norte MBM.....	66
Figura 19. Ensayo límite líquido.....	68
Figura 20. Temperatura controlada de secado de muestras de Ensayos de material orgánico.....	69
Figura 21. Secado de Limites de atterberg del material orgánico.....	70
Figura 22. Ensayo de densidad Natural en stock 1 del material orgánico.....	71
Figura 23. Estabilización del talud de prueba.....	73
Figura 24. Ubicación de las canteras para coberturas.....	76
Figura 25. Paralelismo de las fuerzas entre dovelas en el método Spencer... ..	77
Figura 26. Fuerzas que actúan sobre las dovelas en el método de Spencer.....	77
Figura 27. Análisis estático software Geoslope.....	85
Figura 28. Análisis pseudoestático software Geoslope.....	86
Figura 29. Análisis estático cobertura de top soil de 30 cm.....	87
Figura 30. Análisis pseudoestático cobertura de top soil de 30 cm.....	87
Figura 31. Dovelas de capas de 20cm de coberturado.....	88
Figura 32. Análisis estático, modelo de talud finito.....	89
Figura 33. Análisis estático, cobertura de 20 cm geomembrana texturada 1mm.....	89
Figura 34. Análisis estático, cobertura de 30 cm geomembrana texturada 1mm.....	90
Figura 35. Análisis estático modelo de talud finito con sismo.....	90

Figura 36. Análisis pseudoestático, cobertura de 20cm con geomembrana texturada de 1mm.....	91
Figura 37. Análisis pseudoestático, cobertura de 30cm con geomembrana texturada de 1mm.....	91
Figura 38. Modelo de talud finito.....	92
Figura 39. Análisis estático, cobertura de 20cm con geomembrana lisa de 1mm.....	92
Figura 40. Análisis estático, cobertura de 30cm con geomembrana lisa de 1mm.....	93
Figura 41. Análisis pseudoestático, modelo del talud finito con sismo.....	93
Figura 42. Análisis pseudoestático, cobertura de 20cm con geomembrana lisa de 1mm.....	94
Figura 43. Análisis pseudoestático, cobertura de 30cm con geomembrana lisa.....	94
Figura 44. Análisis de saturación en precipitaciones máximas en cobertura.....	96
Figura 45. Modelo del Talud finito con saturación de la cobertura.....	97
Figura 46. Análisis de saturación con altura de 20 cm y geomembrana texturada.....	97
Figura 47. Análisis de saturación con altura de 30 cm y geomembrana texturada.....	98
Figura 48. Análisis de saturación con altura de 20 cm y geomembrana lisa.....	98
Figura 49. Análisis de saturación con altura de 30 cm y geomembrana lisa.....	99
Figura 50. Esquema de cobertura final.....	101
Figura 51. Ensayo de densidad Natural en stock 1 del material orgánico.....	105
Figura 52. Ensayo de densidad Natural en stock 2 del material orgánico.....	105
Figura 53. Ensayo de Limite líquido.....	106
Figura 54. Temperatura controlada de secado de muestras de ensayos de material orgánico.....	106
Figura 55. Secado de Limites de atterberg del material orgánico.....	107
Figura 56. Revegetación área Rancho Minero.....	107
Figura 57. Ubicación de canteras.....	108
Figura 58. Conformación de taludes para pruebas de panel test.....	108
Figura 59. Colocación de geomembrana.....	109
Figura 60. Sector 6 del DDE zona designada para la colocación de los panel test.....	109

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Contenido de humedad.....	66
Ecuación 2. Índice de plasticidad.....	69
Ecuación 3: Densidad húmeda.....	70
Ecuación 4: Densidad seca del espécimen compactado.....	71
Ecuación 5: Estabilidad de talud.....	75
Ecuación 6: Estabilidad de talud.....	75
Ecuación 7: Estabilidad de talud.....	75
Ecuación 8: Estabilidad de taludes.....	75
Ecuación 9: Estabilidad de taludes.....	76
Ecuación 10: Estabilidad de taludes.....	76
Ecuación 11: Estabilidad de taludes.....	76

RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación se desarrolló en Trujillo, dentro de la unidad minera Lagunas Norte de Barrick, la cual presentó su plan de cierre al ministerio de energía y minas, para realizar el cierre progresivo hasta el 2030, teniendo una carta fianza de 100 millones de dólares con el Estado Peruano. Para cumplir con el cierre de mina, se instaló los panel test de prueba con la intención de medir la estabilidad física de la cobertura, el control de la escorrentía superficial y percolación, en donde se evaluó el desempeño de cuatro tipos de cobertura utilizando geosintéticos (geomembrana de 1mm y geotextil de 270gr.). En la realización de la investigación se utilizó un diseño experimental, teniendo en cuenta el muestreo de cuatro pruebas de coberturado con geosintéticos, top soil y sembrado de acuerdo al plan de revegetación, en donde se colocaron los panel de geomembrana texturada y geomembrana lisa, en un área total de 1352 m² como ensayo para la configuración final en el plan de cierre de mina UMLGN. Con esto busco reducir al mínimo los impactos ambientales, protegiendo de esta manera la salud, la seguridad pública y el medio ambiente, logrando la estabilidad física y el control de aguas.

Palabras claves: Geosintéticos, Geomembrana lisa, Geomembrana texturada.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

Hace más de una década, se presentó la primera Guía de gestión ambiental aplicado al plan de cierre de minas y la remediación de las áreas afectados por los procesos mineros Ley N° 28090 – MEM*. Ley que regula el Cierre de Minas (2003). En la actualidad toda gestión para inicio de operaciones mineras tiene que contemplar de acuerdo a la característica propia de la unidad un EIA (estudio de impacto ambiental), aplicado a las diferentes etapas de la mina desde el inicio de exploraciones de campo hasta el cierre de la misma. Ley de Cierre de Minas aprobado por D.S. N° 033-2005-EM. (15-08-2006) (Art. 1° y 2°).

Hay un gran problema, los años de actividad minera están dejando las áreas de depósitos de desmonte muy expuestos como lo es el Depósito de Desmonte Este (DDE), esta área presenta un índice alto de acidez y no se tiene un control de aguas de contacto y no contacto de la zona, los estudios realizados presentan índices altos de percolación lo cual afecta las aguas ya que no se tiene un control de drenes de las mismas en la zona (SRK Consulting Mayo 2020).

Para Ello se realizó un panel test de prueba con la finalidad de tener un correcto control de las aguas tanto de contacto como de no contacto, y dentro del diseño se buscó que este cumpla con la estabilidad física de la cobertura ya que la configuración del talud presenta condiciones que en un principio dificultaron el diseño inicial de los panel de prueba, para el diseño de los mismos se tomaron en consideración el análisis de la altura máxima de un talud vertical en un suelo cohesivo analizado con cuña simple la estabilidad física de la cobertura (Cornforth, 2005).

Para lograr el aseguramiento de la estabilidad física y el control de agua de los panel test de prueba se realizó el procedimiento de equilibrio más completo y más sencillo para el cálculo del factor de seguridad. (Duncan y Wright, 2005).

La empresa **FOMPER S.A.C.**, una empresa homologada con la **MINERA BARRICK MISQUICHILCA**, viene participando en diferentes etapas del plan de cierre de la unidad minera, dentro de las cuales se encuentran el plan de revegetación, el aseguramiento del plan de calidad para el cierre progresivo de la unidad, incluyendo el diseño de los panel de test de prueba, tema de esta investigación el cual será presentado al ministerio de energía y minas en su tercera modificación del plan de cierre de la unidad con documento N° **021-2020/MINEM-DGAAM-DEAM-DGAM**.

Oyarzún (2008), durante el trabajo desarrollado en la presente investigación, hemos tomado como referencia para el diseño el comparativos de los trade off de coberturas desarrollados por la empresa SRK Consulting el (2019), con el objetivo de presentar un diseño de cobertura que me permita tener un control de volumen de percolación de la cobertura para realizar las pruebas piloto de tratamiento de aguas acidas para la unidad.

Para las consideraciones del cierre del Depósito de Desmonte Este, donde se colocaron los panel de prueba en la zona de Bladers, se consideró el diseño crítico del talud presentado al ministerio de Energía y Minas el cual fue un reto de ingeniería el plantear una configuración de cobertura para taludes críticos en la unidad sin el uso de geoceldas (Ministerio de Energía y Minas, 2006, p. 21)

El reto consiste en realizar una ingeniera que me permita validar la funcionalidad de los panel test en base al monitoreo anual que se tenga con informe final, en un análisis de temporalidad de dos avenidas máximas para evaluar la funcionalidad de la cobertura propuesta Ley N° 28271*. Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera (2004)

La experiencia obtenida con la instalación de los panel test, se dio en el proceso constructivo en el cual se tuvo que modificar la configuración inicial, reduciendo la distancia de 10 metros entre cada panel de prueba, con la finalidad de obtener la estabilidad física de la cobertura, la

operatividad de la excavadora de los trabajos en talud, se complicó por la configuración de la misma al tener un talud de 2:1 sin accesos directos, para ello el diseño de coberturas en remanentes con taludes críticos nos ayudó a manejar un formato de diseño para la operatividad del mismo (Guía para la Elaboración de Planes de Cierre de Mina, 2006, p. 15).

Para la colocación del estéril material propio de relleno con el fin de medir la percolación de la cobertura, se tuvo que seleccionar el material del desmote el cual fue tamizado permitiéndome seleccionar el material de relleno con características menores a una pulgada en cuanto a la composición de la grava, de acuerdo a la publicación de la (Guía Metodológica para Evaluación de la Estabilidad Física de Instalaciones Mineras Remanentes, 2018, p 29).

Ingresé a la empresa **FOMPER S.A.C.**, como coordinador del aseguramiento de la calidad en el plan de cierre progresivo de la Unidad Minera Lagunas Norte perteneciente a Minera Barrick Misquichilca, participando en otros proyectos dentro de la unidad minera, conjuntamente con el desarrollo de los panel test de prueba para la unidad minera Lagunas Norte, mi función como gerente de proyectos, consiste en la coordinación directa de todos los proyectos en los que estamos involucrados conjuntamente con la superintendencia de cierre de minas de la unidad.

La empresa **FOMPER**, cuenta con 5 áreas: ingeniería, calidad, logística, gestión de talento, seguridad y salud ocupacional y medio ambiente.

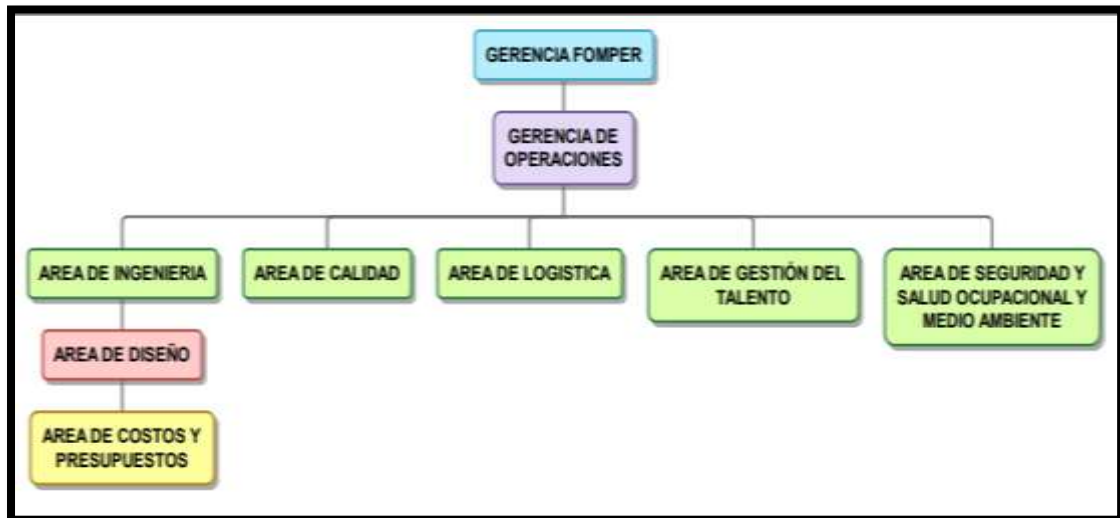


Figura 1: Organigrama de FOMPER S.A.C.



Figura 2: Organigrama de Equipo de Trabajo de la empresa FOMPER S.A.C

1.1.1. Información General

Durante estos últimos años la minería ha evolucionado en cuando al cuidado del medio ambiente aplicado tanto a la pequeña, mediana y gran minería, esto ha conllevado a que las minas al iniciar su ciclo de vida desde la exploración deben tener un IGA, IGAFOM o PAMA de acuerdo al nivel extractivo que estas presenten (Ministerio de Energía y Minas, 2006).

Alva (2016), nos indica que el plan final de cierre de minas consiste en la implementación de

un monitoreo ambiental, procesos de revegetación y control de aguas una vez que la mina deja de funcionar. También nos indica la configuración mínima a desarrollarse para cumplir con la estabilidad física de la misma y tener un adecuado balance de aguas.

En la presente investigación desarrollada con el fin de presentar la actualización del plan de cierre progresivo de la Unidad Minera Lagunas Norte perteneciente a la Minera Barrick Misquichilca en el distrito de Chicama Alto, en el norte del Perú, plan que inicio con el aseguramiento de la calidad en el cierre del Deposito de Desmonte Este a inicios de noviembre del 2019 y está proyectado a concluirse el 2030. Hay muchas formas de revegetar, ya que varias minas han desarrollado planes de revegetación de formas típicas con el uso de geoceldas, o por medio del uso de coberturas de los taludes con el uso de suelos de baja permeabilidad (arcilla) y tierra de cultivo (top soil).

Duncan y Wright (2005) nos da las pautas en el diseño de estabilidad de coberturas mediante el uso de geoceldas en configuraciones de taludes inclinadas 1:1, conformado por geosintéticos como elementos de control en el balance de aguas y el uso de geoceldas y cobertura vegetal top soil en la configuración final de cierre de minas.

Oyarzún (2008) Los panel de pruebas deben presentar una propuesta de acuerdo a las condiciones propias de la unidad minera, en cuanto a la disponibilidad de canteras para proponer el diseño final con las condiciones que se tengan en la unidad, ya que no solo busca la revegetación de los depósitos de desmonte, sino también el control de aguas de contacto y de no contacto.

Para el desarrollo de la ingeniería de cobertura inicial nos fundamentamos en los diseños de Matteis (Geología y Geotecnia aplicada a la Estabilidad de Taludes, 2003), se han desarrollado muchos controlas para aguas de contacto y no contacto en diferentes unidades mineras que ya entraron a su etapa de cierre como los son la unidad minera Pierina entre las más importantes, ellas han desarrollado dentro de la propuesta de cierre de la unidad, la configuración para

lograr la estabilidad de la cobertura y el control de aguas, en base a los trade off, con características propias de la unidad, para nuestro caso tenemos que desarrollar una propuesta diferente de acuerdo al alcance inicial entregado al Ministerio de Energía y Minas que contempla una configuración en el talud de 2:1 para el Botadero de Desmonte Oeste, cada configuración se desarrolla de acuerdo a las condiciones propias de la unidad (Guía Para El Diseño De Coberturas De Depósitos De Residuos Mineros, Ministerio De Energía Y Minas, 2007, p.47).

1.1.2. Información internacional

Dentro de los cierres que se han desarrollado en Sudamérica tenemos dentro de las más significativas, el inicio del cierre de la unidad minera Alumbreras en Catamarca Argentina desde el 2019 en la cual por la configuración de los taludes 2.7:1 se están colocando sistemas de geoceldas con gras superpuesto. El otro cierre importante que está llevando en la región es el correspondiente al plan de cierre de la Unidad Minera Joen Venture operado por Antofagasta Minerals, perteneciente a la minera Barrick, en Antofagasta Chile, en esta unidad se está manejando la misma configuración desarrollada en la minera Antapacay, con bancos pequeños de 5 a 6 metros de altura dentro de la configuración de mina.

Oyarzún (2008), Como información general con respecto a los cierres desarrollados en Latinoamérica, se presenta el compendio de cierre, bajo circunstancias diversas propias de las condiciones físico químicas propias de cada unidad.

1.1.3. Información local

Hoy en día se estarealizando el cierre y post cierre de varias unidades mineras en el país, a continuación mencionaremos algunos cierres de mina desarrollados hoy en día en el Perú dentro de los cuales tenemos los cierres de la unidad minera Pierina, Unidad Minera Chungar Volcán, Unidad Minera Antapacay, y recientemente el cierre aprobado por el Ministerio de

Energía y Minas MINEM, a través de la Dirección General de Asuntos Ambientales para el plan de cierre de minas del Complejo Metalúrgico de la Oroya (CMLO) y su respectiva actualización mediante resolución directorales **055-2010-MEM-AAM** y **300-2014-MEM-DGAAM**. Y la unidad minera Laguna Norte Barrick, donde se desarrolló esta investigación.

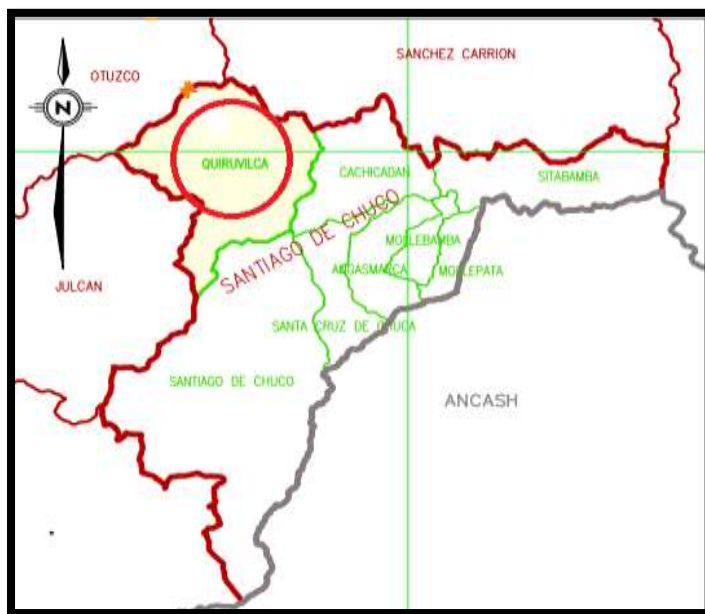


Figura 3. Ubicación geográfica de la Minera Lagunas Norte- Barrick

El modelo usado en la unidad minera Pierina estuvo compuesto por geosintéticos más el uso de geoceldas para el control de la escorrentía superficial, pero con un costo de acuerdo a los trade off desarrollados que duplica el costo de la investigación. La propuesta que se desarrolló representa una nueva concepción de ingeniería mucho más económica para el volumen final de coberturado que implica el cierre de la unidad, que por lo general están sobre las 400 Ha. de coberturado en los diferentes sectores donde estas distribuidos los botaderos, así que el factor de ahorro por metro cuadrado es muy importante para estas unidades.

Los Trade off de diseño de las coberturas fueron desarrollados cumpliendo el reglamento para el cierre de minas aprobado con **D.S. N° 033-2005-EM**. Reglamento para el cierre de minas. (Art. 12° y 13°) y sus modificatorias aprobadas mediante **D.S. N° 045-2006-EM**. Modifican artículos del Reglamento de la Ley de Cierre de Minas aprobado por **D.S. N° 033-2005-EM**.

(Art. 1° y 2°).

Una de las formas de desarrollar la cobertura de taludes en las diferentes unidades mineras es mediante el uso de la arcilla colocada en una capa de 30cm sobre los depósitos de desmonte que tienen un índice elevado de acidez, y sobre esa cobertura de 30cm de arcilla se coloca el top soil o tierra de cultivo y se prosigue con la revegetación de acuerdo a un plan de revegetación propio de cada unidad minera. (Guía para la Elaboración de Planes de Cierre de Minas Ministerio de Energía y Minas, 2006, p.21).



Figura 4. Revegetación en taludes plataformado de arcilla

Al cierre de operaciones las unidades mineras consideradas dentro del grupo de medianas y gran minería deben desarrollar su plan de revegetación el cual es presentado al Ministerio de Energía y Minas para su posterior aprobación y de esta forma poder iniciar la remediación de las áreas afectadas por los procesos mineros, una forma usada en el cierre consiste en el tendido de una capa de suelo de baja permeabilidad (arcilla) con una permeabilidad de -2 a +4 % sobre un terreno o pila de desmonte que tenga dentro de su granulometría un 25 a 30% de gravas el cual permite estabilizar un talud entre 2:1 o 2.4:1 (GeoSystems Analysis, 2015, p.26).

Una vez estabilizado el talud lo coberturamos con una capa de arcilla para evitar el contacto de las tierras con un índice alto de acides correspondientes a nuestros desmontes, y el IP alto propio de la arcilla **CL**, me permite impermeabilizar las áreas de cobertura, pero sin embrago

se maneja un índice bajo de percolación de aguas para este tipo de coberturas, para finalmente colocar sobre ellos nuestra tierra de cultivo en una capa de 20 a 30 cm de acuerdo a diseño. El **D.S. N° 057-2004**- Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos establece en el Título III. Manejo de Residuos Sólidos, los residuos generados por la actividad minera, deben tener un área asignada a la disposición de residuos compuestos por tuberías de drenajes, geomembranas, entre otros.

La Guía para el diseño de coberturas de depósitos de residuos mineros, es una guía basada en la experiencia desarrollada en la École Polytechnique de Montréal, la Université du Québec en Abitibi-Temiscamingue (**UQAT**) y la University of British Columbia (**UBC**) y sus colaboradores, así como el resultado de investigaciones recientes e implementación práctica de los sistemas desarrollados de coberturas a nivel internacional. En esta guía tenemos los dos tipos de coberturas de materiales naturales usados en la rehabilitación de sitios mineros con **ARD**: las Coberturas de Almacenamiento, Derivación y Liberación (Storage Diversion Release - **SDR**) y las Coberturas donde se presentan los Efectos de Barrera Capilar (**CCBE**). Las coberturas estándar (denominadas coberturas de baja conductividad hidráulica saturada), elaboradas con materiales geosintéticos y/o suelo arcilloso, no se discuten en esta guía.

El diseño para el control de las aguas de no impacto para la presente investigación se desarrolló en base a la Guía del Ministerio de Energía y Minas, donde se contempla el diseño de coberturas de depósitos de residuos mineros, sub sector minería volumen XIII.

1.2. Antecedentes de la Investigación

Las normas aplicables al diseño de coberturas, listadas en las secciones de las especificaciones incluyen, pero no se están necesariamente limitadas a las siguientes normas:

- Normas Técnicas Peruanas (**NTP**).
- Sociedad Americana de Ensayos y Materiales (**ASTM**).
- National Sanitary Foundation (**NSF**).

- Geosynthetic Research Institute (**GRI**).
- Instituto Americano del Petróleo (**API**).
- Sociedad Americana de Soldadura (**AWS**).
- Asociación Americana de Manejo de Aguas (**AWWA**).

La edición de la guía metodológica nos presenta para la evaluación de la estabilidad física de instalaciones mineras remanentes una última versión presentada el 2018, abarca el campo de los aspectos generales concernientes a aspectos como la inestabilidad física presente en instalaciones remanentes mineras con lo que respecta al nivel de taludes, en donde se presentan distintas clases de roturas que no es más que el desplazamientos que generará un cambio de configuración del diseño del o los taludes, este se convierte en un mecanismo de inestabilidad más relevante en minas de tajo abierto. Las diferentes clases de roturas que suelen producirse de dan mayormente en los taludes que presentan una configuración rocosa se pueden dividir en cuatro grupos (Ramírez P. y Alejano L., 2004):

- Roturas que se dan por deslizamientos de acuerdo a uno o varios planos de discontinuidad que afloran en el talud dentro de las que tendremos las roturas planas y en cuña.
- Roturas que se dan por movimientos relativos de bloques a través de planos de discontinuidad preexistentes que no presenten afloramiento necesariamente dentro de las cuales se considerarán las roturas por vuelco, algunas roturas que siguen discontinuidades paralelas al talud y las que se presentan en la configuración de varios bloques. (Ramírez P. y Alejano L., 2004).
- Roturas que se presentan por deslizamiento a lo largo de planos de discontinuidad como puede ser la que se presenta en la rotura de la roca y donde tendremos las roturas en escalón, roturas complejas y roturas mixtas (como roturas por vuelco y deslizamiento) y otras roturas que presentan parcialmente discontinuidades paralelas al talud, como se presenta en la rotura

por pandeo. (Ramírez P. y Alejano L., 2004).

- Roturas que se dan a lo largo de superficie circular, sin presentar necesariamente una posible relación o concordancia con los planos de discontinuidades, y que conocemos y a los cuales denominamos roturas circulares.

Los mecanismos de rotura que se producen de manera más frecuente son los que se indican a continuación. (Ramírez P. y Alejano L., 2004).

- En el caso de la rotura plana, se genera en una superficie la cual está definida en parte a través del macizo rocoso de mala calidad geotécnica y en parte a estructuras mal conformadas, por lo general en la parte baja o pie del talud. Las estructuras presentan un buzamiento menor a este con una dirección aproximada o igual al talud. Discontinuidad que presenta una dirección aproximada o igual al talud pero que buza menos que éste. (Ramírez P. y Alejano L., 2004).

- En el caso de la rotura en cuña, este se da en la línea de intersección de dos estructuras o a lo largo de una estructura geológica. En ambos planos se presenta un buzamiento inferior al ángulo del talud. (Ramírez P. y Alejano L., 2004).

- Para la rotura por vuelco, se presenta un desprendimiento del macizo al darse un volcamiento de columnas de rocas que se separan del macizo el cual se encuentra delimitado por estructuras sub verticales, ya que presentan inclinaciones altas, pero que buzan contra este. (Ramírez P. y Alejano L., 2004).

- En el caso de la rotura circular donde el deslizamiento se produce según una falla circular este se presenta en los macizos rocosos meteorizados o de mala calidad, que define una masa inestable. (Ramírez P. y Alejano L., 2004).

La estabilidad física puede darse a largo o corto plazo con posterioridad al cierre de la faena en todas las instalaciones mineras remanentes, depende de diferentes variables. Es relevante que el desarrollo de la estabilidad física se dé en todas las etapas del ciclo de vida de una faena

minera, con el propósito de aminorar, prevenir o controlar los efectos que genera la pérdida de estabilidad física, en cualquiera de las etapas de cierre y post cierre, de acuerdo a lo planteado por el autor Crespo, C. (Mecánica de suelos, 2004).

En el desarrollo de la gestión concerniente a la estabilidad física, las empresas mineras deben cumplir con los requerimientos legales vigentes atendiendo las inquietudes de la comunidad, acompañado de la generación de registros y análisis de información técnica relevante, constituyendo de esta manera una herramienta para determinar las acciones que se implementen en las diferentes etapas del ciclo de vida de los remanentes mineros, que permitan asegurar la estabilidad física en las etapas de cierre y post cierre (MINEM, 2007).

La inestabilidad física se puede presentar en cualquier momento de desarrollo de los remanente mineros, por ello es importante desarrollar un Programa de Estabilidad Física (PEF), el cual me permitirá tener un registro de información técnica desarrollada durante el proceso de control de las mismas.

Actualmente las instalaciones mineras remanentes están implementando una adecuada gestión de la estabilidad física bajo El Programa de Estabilidad Física (PEF), donde deberán considerar características y condiciones del emplazamiento, teniendo en cuenta la afectación de la vida, salud, seguridad de las personas y medio ambiente, además de tener en cuenta la etapa del ciclo de vida en que se encuentre, entre otros aspectos de relevancia. Es recomendable que el Programa de Estabilidad Física, defina la planificación de cierre, con el finalidad de facilitar la gestión y eficiencia del mismo (ICMM, 2008).

En el desarrollo de los procesos se recopila información específica y se caracteriza la instalación con la idea de identificar las fases destinadas a evaluar la estabilidad física de una instalación remanente, Esto se logra con la aplicación de los criterios técnicos que permiten seleccionar el método de evaluación más adecuado a las condiciones que está presente.

Seleccionados los métodos de evaluación, para validar el cálculo de la estabilidad física de la instalación se debe constatar que la calidad de los resultados que se entreguen deben darse en base a ensayos homologados bajo criterios y estudios preestablecidos. (ICMM, 2008).

Para el desarrollo de la evaluación de estabilidad física en instalaciones mineras remanentes, se tiene en cuenta las siguientes consideraciones que son parte del Programa de Estabilidad Física (PEF), (MINEM, 2007).

- Para el desarrollo de la evaluación de estabilidad física, es importante recopilar información específica de la instalación minera remanente que podría ser afectada por potenciales inestabilidades físicas, identificando y realizando la caracterización de la instalación. Esta primera fase es una de las más relevantes dentro del Programa de Estabilidad Física (PEF), puesto que permite recopilar información técnica base para el desarrollo del resto de las fases. La recopilación incluye información general sobre la instalación remanente como identificación de la faena y ubicación de esta; para la caracterización técnica también se recogen antecedentes topográficos, geológicos, hidrogeológicos, geotécnicos, hidrológicos, y sísmicos, entre otros; junto con datos sobre la descripción y caracterización del entorno o medio físico donde se ubica cada instalación, en términos de la climatología, presencia de sitios poblados aledaños y antecedentes ambientales, entre otros.

Para desarrollar el cierre de una instalación minera remanente, se requiere el desarrollo del programa de estabilidad física de taludes dentro del desarrollo de la investigación, la cual debe contemplar las diferencias entre las diferentes estructuras que existen, por lo tanto la selección de los métodos a utilizar debe incluir las condiciones de cada faena minera y las de su entorno. El correcto desarrollo de esta etapa es fundamental, ya que partiremos en base a la información levantada para el desarrollo de las etapas posteriores de gestión de la estabilidad física, como lo menciona (Suarez B., 2016).

Para ello es importante la aplicación de la metodología que considera en un principio la fase

de identificación y caracterización de la instalación remanente para desarrollar posteriormente las fases que se mencionan a continuación:

- La magnitud de impacto potencial de la inestabilidad de una superficie se determina en base a potenciales mecanismos de inestabilidad que se presentan en los diferentes remanentes mineros.
- El posible impacto ambiental se determina en base a la potencialidad de este.
- Para la evaluación de la estabilidad física se debe determinar la categoría de los métodos, dentro de esta fase establecemos para evaluar las inestabilidades físicas la categoría del método requerido identificado y analizado, el impacto en función del potencial de impacto al ambiente determinado. El simplificado, intermedio y complejo representa las categorías asignadas a los métodos para evaluar la estabilidad física de instalaciones mineras remanentes (Suarez B., 2016).
- En el desarrollo de la selección del método para evaluar la estabilidad física, se realiza a partir de la definición de la categoría del método de evaluación y el o los métodos recomendados por categoría en esta fase se seleccionan los métodos para evaluar la estabilidad física en la mina analizada. La selección del o los procedimientos de análisis, los factores y herramientas que pueden ser utilizadas en las fases descritas, para cada uno de los depósitos masivos de residuos para calcular el o los modos de inestabilidad que pueden afectar a un área determinada de una mina.
- Para el caso de los depósitos de residuos masivos mineros, se aplica la metodología que considera inicialmente la fase de identificación y caracterización de la instalación, para desarrollar posteriormente las fases para seleccionar los métodos de evaluación de la estabilidad física en depósitos de residuos masivos mineros (Suarez B., 2016).
- Los indicativos que nos permiten determinar la categoría de los métodos para evaluar la

estabilidad física, se basa en el desarrollo de las categorías asignadas a los métodos para evaluar la propia estabilidad física de instalaciones mineras remanentes, en esta fase se establece la categoría del método requerido para evaluar la inestabilidad física, identificar y analizar esta en función del potencial de impacto al ambiente y el potencial de ocurrencia de falla del mismo (Suarez B., 2016).

El desarrollo para la evaluación de la estabilidad física permite la selección de los métodos aplicarse en los diferentes depósitos masivos de residuos. La selección del o los procedimientos de análisis, se realiza con el concepto claro de la categoría del método de evaluación (simplificado, intermedio o complejo) estos son los métodos recomendados para el cálculo de los modos de falla que pueden afectar a un depósito masivo de residuos en particular (MINEM, 2007).

1.3. Bases Teóricas

1.3.1. Tipos de Cobertura

a. **Cobertura con geoceldas y geosintéticos:** Desarrollada en base a geoceldas y geosintéticos es una forma de mantener la estabilidad física en los taludes preparados para su revegetación y también al mismo tiempo para mantener un control de las aguas de no contacto de escorrentía superficial sobre la cobertura y posterior revegetación instalada.

b. **Cobertura con Arcilla Y:** Desarrollada en base a arcilla y , sobre los depósitos de desmonte con un grado alto de acidez en su composición, me permite estabilizar el talud en base a la arcilla de debe cumplir con $ID > 12$ y con un porcentaje de gravas $> 30 \%$, este método es bueno para el desarrollo de la revegetación, pero en el caso de la implementación de este sistema en los taludes es bueno para los procesos de revegetación, mas no me permite manejar un control de la escorrentía superficial de las aguas de no contacto sobre mi talud revegetado. (Guía Para El Diseño De Coberturas De Depósitos De Residuos Mineros, Sub

- Sector Minería, Dirección General De Asuntos Ambientales Mineros, Ministerio De Energía Y Minas, 2007).

c. **Geomallas:** Son utilizadas en taludes muy inclinadas justamente para los procesos de revegetación, si estas se usan de manera sola nos ayudan al proceso de revegetación mas no nos ayudan al procesos de control de aguas superficiales o de no contacto, si se combinan con una base de geosintéticos y geotextiles si me permiten el control de la escorrentía superficial o las aguas de no contacto pero he una solución técnica usada pero de un costo comparativamente alto a la propuesta que se desarrolló en la presente investigación en la unidad minera Lagunas Norte. (Guía Para El Diseño De Coberturas De Depósitos De Residuos Mineros, Sub - Sector Minería, Dirección General De Asuntos Ambientales Mineros, Ministerio De Energía Y Minas, 2007).

d. **Información climática utilizada:** La caracterización hidrometeoro lógica tiene por objetivo aproximar el patrón de los ingresos de agua de lluvia a la micro cuenca. De acuerdo a Schroeder, P. R., Aziz, 1994).

El análisis de estos registros históricos, el conocimiento de la hidrología regional y la apreciación obtenida en la visita de campo permite estimar los flujos representativos, su variación temporal y espacial. Para lograr una caracterización climática del área de estudio se consideró la información climatológica de la estación automática **ESTM-01**, la cual posee información a nivel diario para el periodo **2002- 2018** (17 años) de precipitación, mientras que para los parámetros temperatura media, temperatura máxima, temperatura mínima, velocidad de viento, humedad relativa y radiación solar se cuenta con información del periodo 2009 – 2018 (10 años). En la Tabla 3-1 se muestra la estación considerada en este estudio, las coordenadas y el periodo de registro de la estación. En la Figura 1, se muestra la ubicación de la estación ESTM-01. De acuerdo al análisis (GSA, 2015)

Tabla 1

Estación Meteorológica local – ESTM-01

Estación	Tipo	Descripción	UTM-WGS84 Zona 17-S		Altitud (msnm)	Periodo de Registros
			Este	Norte		
ESTM -01	Automática	Estación meteorológica ubicada dentro de la U.M. Lagunas Norte	803141	9119838	4176	Ene- 2002 a Dic- 2018

Fuente: estudio propio



Figura05: *Ubicación de Estación Meteorológica local ESTM-01*

Precipitaciones Se utilizó información de una longitud de registro de diecisiete años de la estación meteorológica ESTM-01 del periodo 2002-2018. De acuerdo a (Schroeder, P. R., Aziz, N. M., Lloyd, C. M. and Zappi, 1994).

Se describen los resultados de precipitación de la estación meteorológica **ESTM-01**:

- La precipitación total anual asciende a 1400,4 mm.
- La precipitación máxima anual y mínima anual registrada para el área de estudio son

1866,2 mm y 1125,8 mm respectivamente.

- La máxima precipitación total mensual registrada fue 376,0 mm que corresponde al mes de enero.
- La mínima precipitación total mensual registrada puede llegar a ser nula en el mes de julio.

En la Tabla 2 y la Figura 6, se muestra el promedio, máximos y mínimos de la precipitación mensual para el área de estudio.

Tabla 2

Precipitación Total Mensual

Mes	Precipitación total mensual (mm)			Desv. Est.	% Anual
	Promedio	Máximo	Mínimo		
Enero	161,6	376,0	46,7	73,1	11,5%
Febrero	168,5	237,0	85,0	47,7	12,0%
Marzo	262,8	366,5	158,2	64,5	18,8%
Abril	183,1	275,6	130,6	46,0	13,1%
Mayo	88,3	169,8	28,2	45,3	6,3%
Junio	31,0	57,8	1,8	17,3	2,2%
Julio	18,2	66,4	0,0	18,0	1,3%
Agosto	20,2	78,2	1,4	20,0	1,4%
Setiembre	56,1	120,0	10,2	31,2	4,0%
Octubre	137,0	216,4	50,2	54,0	9,8%
Noviembre	123,9	219,2	17,0	59,2	8,9%
Diciembre	149,7	219,6	74,0	43,1	10,7%
Anual	1400,4	1866,2	1125,8	188,8	100,0%

Fuente: estudio propio.

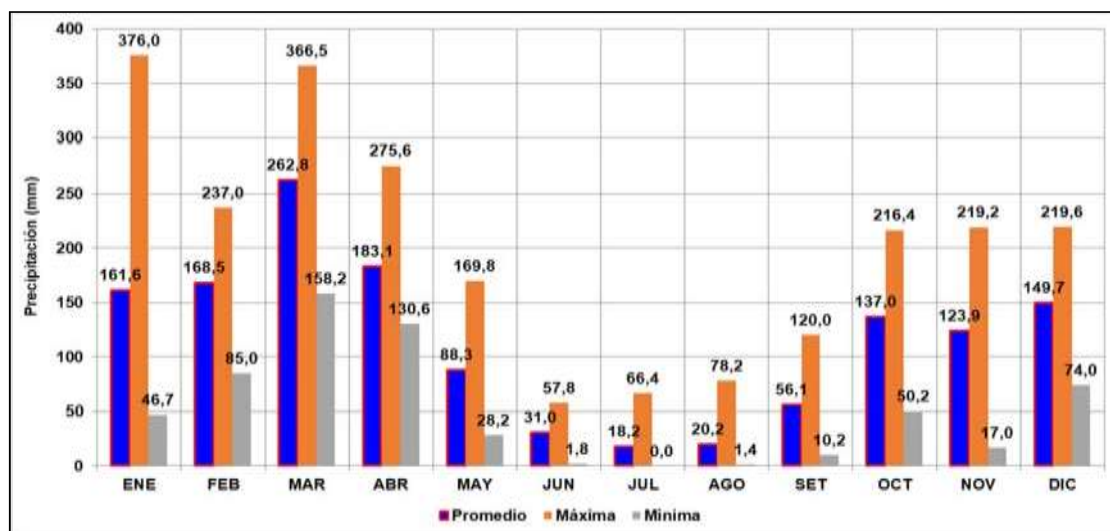


Figura 06. Precipitación total mensual

Fuente: estudio propio.

a. Temperatura media: Para describir la temperatura de la zona se consideró la información de una longitud de registro de diez años de la estación meteorológica ESTM-01 del periodo 2009-2018. Por otro lado, para las temperaturas máximas y mínimas diarias se utilizó data con una longitud de cinco años del periodo 2014 – 2018 de la misma estación.

Tabla 3.

Temperatura media mensual (°C)

Mes	Temperatura media (mm)		
	Promedio	Máximo	Mínimo
Enero	5,6	11,3	2,8
Febrero	5,7	10,4	2,4
Marzo	5,6	10,8	3
Abril	5,8	10,7	3,2
Mayo	5,9	11,2	3,3
Junio	5,4	10,4	2
Julio	5,1	10,7	1,3
Agosto	5,3	11,3	1,1
Setiembre	5,4	11,2	1,7
Octubre	5,4	10,6	2,6
Noviembre	5,7	11,7	2,6
Diciembre	5,3	10,1	2,9
Anual	5,5	11,7	1,1

Fuente: propia.

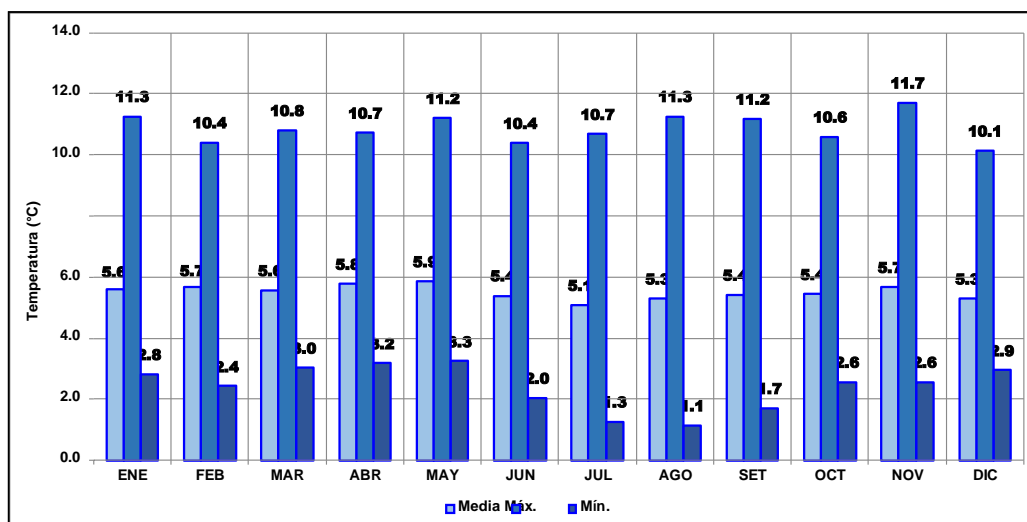


Figura 7. Temperatura media mensual

Fuente: estudio propio.

b. Humedad relativa: Se utilizó información de diez años de longitud de registro de la estación meteorológica **ESTM-01** del periodo 2009-2018. Los valores de humedad relativa varían entre 64,1% y 80,9%, siendo el promedio anual de 72,8%. A continuación, se muestran los promedios mensuales y trimestrales de la información fuente.

Tabla 4

Humedad Relativa mensual (%).

Mes	Humedad relativa (%)	
Enero	77,8	78,7
Febrero	77,4	
Marzo	80,9	
Abril	79,4	74,7
Mayo	75,5	
Junio	69,2	
Julio	64,1	66,0
Agosto	64,9	
Septiembre	69,0	
Octubre	71,4	71,8
Noviembre	66,7	
Diciembre	77,2	

Fuente: Estudio Propio

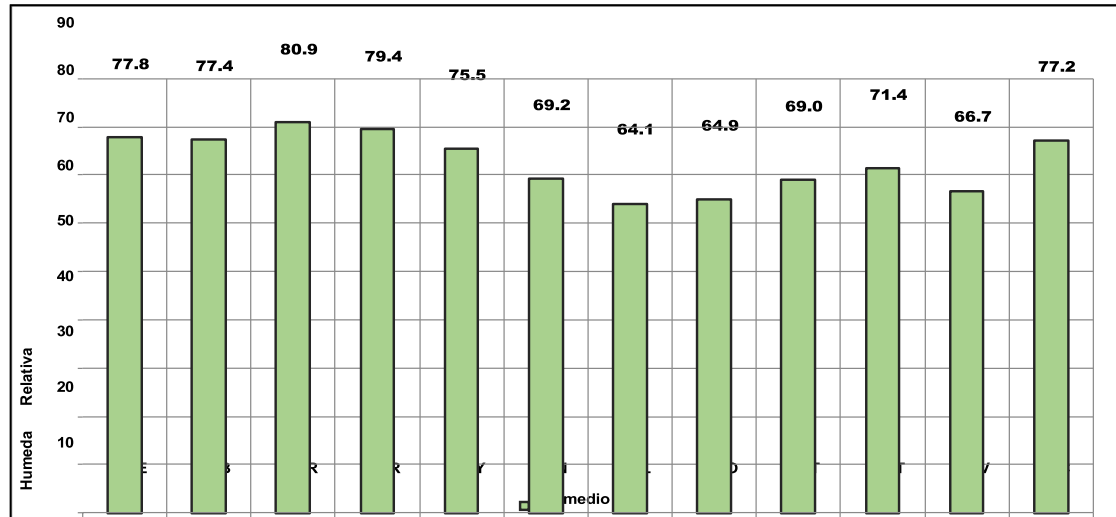


Figura 8: Humedad relativa mensual media.

Fuente: Estudio Propio.

c. Velocidad del viento: Los valores de viento utilizados corresponden a la estación local ESTM-01, registrados durante 10 años en el periodo de 2009.2018. La velocidad de viento media anual es 4,2 m/s. Además, los valores de velocidad media mensual se encuentran en el rango de 3,6 m/s a 5,4 m/s. Los valores más altos corresponden al mes de julio.

d. Descripción del modelo de simulación de coberturas – HELP v3.07: Desarrollado en 1997 para la Environmental Protection Agency (EPA) de EEUU. El propósito principal del programa es asistir en la comparación de alternativas de diseño que permitan evaluar sus respectivos balances de agua.

Procedimiento general de cálculo: Los procesos hidrológicos modelados por el programa pueden ser divididos en dos categorías:

- Procesos superficiales: Deshielo, intercepción de precipitación por vegetación, escorrentía directa, y evaporación superficial.
- Procesos subsuperficiales: Evaporación del suelo, transpiración de plantas, drenaje vertical no saturado, percolación en capas de barrera, percolación en geomembranas y drenaje lateral saturado.

1.3.2. Evapotranspiración

a. Profundidad de zona Evaporativa:

Es la profundidad máxima en el suelo de la cual se puede remover agua por evapotranspiración. Para el caso de coberturas vegetales, la profundidad de la zona evaporativa debería ser al menos igual a la profundidad media esperada de las raíces de la cobertura vegetal. Normalmente la máxima profundidad ocurre durante el pico de demanda evaporativa o cuando se presenta la mayor cantidad de cobertura vegetal durante el año. De acuerdo a la investigación, se asume el espesor de la capa de top soil como la profundidad máxima.

- Índice de área foliar (LAI):

Variable adimensional relacionada con la canopea o parte superior de plantas y árboles con ramaje. El LAI se define como la relación entre el área total cubierta de ramaje entre el área del suelo. Este índice define la interacción entre la vegetación y la radiación solar.

El índice tiene la siguiente variación en base a condición estándar de grass.

- 0: Sin cobertura vegetal
- 1: Condición pobre
- 2: Condición aceptable
- 3,5: Condición buena
- 5: Condición excelente
- >5: Áreas con mucha vegetación

Para el presente análisis se ha considerado un LAI de 5, favoreciendo las condiciones de evapotranspiración.

- Velocidad de viento:

Se utilizó el valor medio anual de la velocidad de viento que se muestran en este informe.

- Humedad relativa:

Se utilizaron los valores medios trimestrales de la humedad relativa que se muestran la Tabla 4.

b) Precipitación:

El modelo trabaja con precipitación diaria. La data puede ser ingresada directamente o generada estocásticamente. La generación sintética puede generar hasta 100 años de precipitación diaria. Las rutinas de generación sintética están diseñadas para preservar la correlación entre variables y características estacionales basadas en las medias mensuales registradas en la estación climática de localización específica. Para la investigación, se ha utilizado los registros diarios de precipitación de la estación local ESTM-01. En la Tabla 3, se muestra la temperatura media mensual de la estación en referencia.

c) Temperatura:

El modelo utiliza temperatura media diaria para la determinación de la evapotranspiración. De forma similar a la precipitación, la data de temperatura es generada sintéticamente en base a promedios mensuales de la estación de referencia o introduciendo directamente la información diaria. En la investigación se utilizó información de temperatura de la estación ESTM-01. En la Tabla 3, se muestra los descriptivos estadísticos de los promedios mensuales de la estación mencionada.

d) Radiación solar:

El modelo genera estocásticamente hasta 100 años de radiación solar diaria a la latitud de la estación de referencia y los parámetros estadísticos de esta estación base para generar la información sintética.

- La radiación solar presenta tipos de capas de acuerdo al software: (1) Percolación Vertical, (2) Drenaje Lateral, (3) Suelo de Barrera, (4) Geomembranas.

- Espesor de capas.
- Textura de material de capa: punto de marchitez (%), porosidad (%), conductividad hidráulica saturada (cm/s), capacidad de campo (%).
- Contenido inicial de agua en capas (%)
- Ingreso de flujo subsuperficial.

De acuerdo a lo investigado, se tienen tres tipos de capas, capa de percolación vertical (top soil) y capa de suelo barrera (material de baja permeabilidad) y geomembrana.

Las características del material de capas pueden ser ingresadas directamente o tomadas de las existentes por defecto. **HELP** cuenta con características de 42 tipos de suelo/material comúnmente utilizadas en coberturas de cierre. Para este análisis se han utilizado suelos de la base del HELP.

Tabla 5.

Características de materiales de capas – Base HELP v3.07

Clasificación			Porosidad Total	Capacidad de campo	Punto de Marchitez z	Conductividad Hidráulica Saturada
HEL P	USDA	US CS	vol/vol	vol/vol	vol/vol	cm/seg
1	CoS	SP	0,417	0,045	0,018	1,00E-02
2	S	SW	0,437	0,062	0,024	5,80E-03
3	FS	SW	0,457	0,083	0,033	3,10E-03
4	LS	SM	0,437	0,105	0,047	1,70E-03
5	LFS	SM	0,457	0,131	0,058	1,00E-03
6	SL	SM	0,453	0,190	0,085	7,20E-04
7	FSL	SM	0,473	0,222	0,104	5,20E-04
8	L	ML	0,463	0,232	0,116	3,70E-04
9	SiL	ML	0,501	0,284	0,135	1,90E-04
10	SCL	SC	0,398	0,244	0,136	1,20E-04
11	CL	CL	0,465	0,310	0,187	6,40E-05
12	SiCL	CL	0,471	0,342	0,210	4,20E+05
13	SCL	SC	0,430	0,321	0,221	3,30E-05
14	SiC	CH	0,479	0,371	0,251	2,50E-05
15	C	CH	0,475	0,378	0,265	1,70E-05
16	Barrier Soil		0,427	0,418	0,367	1,00E-07
17	Bentonite Mat (0,6 cm)		0,750	0,747	0,400	3,00E-09
18	Municipal Waste (900 lb/yd3 or 312)		0,671	0,292	0,077	1,00E-03

19	Municipal Waste (channeling and dead)		0,168	0,073	0,019	1,00E-03
20	Drainage Net (0,5 cm)		0,850	0,010	0,005	1,00E+01
21	Gravel		0,397	0,032	0,013	3,00E-01
22	L*	ML	0,419	0,307	0,180	1,90E-05
23	SiL*	ML	0,461	0,360	0,203	9,00E-06
24	SCL*	SC	0,365	0,305	0,202	2,70E-06
25	CL*	CL	0,437	0,373	0,266	3,60E-06
26	SiCL*	CL	0,445	0,393	0,277	1,90E-06
27	SC*	SC	0,400	0,366	0,288	7,80E-07
28	SiC*	CH	0,452	0,411	0,311	1,20E-06
29	C*	CH	0,451	0,419	0,332	6,80E-07
30	Coal-Burning Plant	Electric	0,541	0,187	0,047	5,00E-05
31	Coal-Burning Plant	Electric	0,578	0,076	0,025	4,10E-03
32	Municipal Incinerator Fly Ash*		0,450	0,116	0,049	1,00E-02
33	Fine Copper Slag*		0,375	0,055	0,020	4,10E-02
34	Drainage Net (0,6 cm)		0,850	0,010	0,005	3,30E+01
35	High Density Polyethylene					2,00E-13
36	Low Density Polyethylene					4,00E-13
37	Polyvinyl Chloride (PVC)					2,00E-11
38	Butyl Rubber					1,00E-12
39	Chlorinated Polyethylene					4,00E-12
40	Hypalon or Chlorosulfonated					3,00E-12
41	Ethylene-Propylene Diene					2,00E-12
42	Neoprene					3,00E-12

Fuente: HELP, Engineering Documentation for Version 3.

Tabla 6.

Parámetros físicos de los materiales de cobertura

Parámetro	Capa 1	Capa 2	Capa 3
Tipo de capa	Percolación vertical	Suelo de barrera	Geomembrana
Material	Top soil	Arcilla	Geomembrana
Espesor (cm)	20	20	1
Porosidad	0.501	0.475	-
Contenido inicial de agua	0.2673	0.2673	-
Conductividad hidráulica saturada (cm/s)	7.6×10^{-5}	8.7×10^{-6}	2.0×10^{-13}
Pendiente de taludes (%)	50	50	50

Fuente: Elaborado con información del estudio “Cover System Test Panel Monitoring – Final Report”, elaborado por GeoSystems Analysis (GSA, 2015).

e) Información del Número de Curva:

Existen 3 métodos para definir el CN de condición de humedad antecedente II.

- Definido por el usuario sin modificación.
- Definido por el usuario modificado por pendiente.
- CN calculado por el HELP en base a pendiente, tipo de suelo superficial, cantidad de vegetación.

En base la revisión de los resultados sobre los paneles de prueba se ha asumido un CN igual a 93 (SCS II) para las superficies de la cobertura, de acuerdo con el estudio “Cover System Test Panel Monitoring – Final Report”, elaborado por GeoSystems Analysis (GSA, 2015).

f) Tipos de capas reconocidas en el Modelo

El programa **HELP** permite el uso de hasta 20 capas de materiales – suelo, geosintéticos, desmontes, etc. El programa reconoce 4 tipos generales de capas, en donde se ha utilizado las capas de percolación vertical (top soil), capa de suelo barrera (arcilla) y geomembrana.

g) Percolación vertical:

- Flujo vertical en medio no saturado debido a la gravedad.
- Conductividad hidráulica saturada en dirección vertical en el caso de material anisotrópico.
- Función principal es la de almacenamiento de humedad.
- Suelos con cobertura vegetal y función de almacenamiento de humedad para evaporación.
- Evapotranspiración.

h) Suelo de barrera:

- Su función es restringir el drenaje vertical.
- Conductividad hidráulica sustancialmente baja.
- Trabajan en estado de saturación.

- La percolación depende de la carga hidráulica sobre ella, el espesor de la capa y la conductividad hidráulica.
- No se produce evapotranspiración ni drenaje lateral en un suelo de barrera.

i) Geomembrana:

- Su función es restringir el drenaje vertical.
- Conductividad hidráulica bastante baja.
- No se produce evapotranspiración ni drenaje lateral en un suelo de barrera.

j) Resultados de la simulación:

Cada año se efectúa el balance utilizando el modelo **HELP** a cada una de las coberturas, mostrando como resultados los valores medios de percolación en cada capa. GeoSystems Analysis (GSA, 2015).

Se observa que la cobertura tipo I permite el paso de 11,1 mm de precipitación anual hacia el material subyacente, lo que representa el 0,8% de la precipitación media anual.

Para el caso de la cobertura tipo II la lámina de agua que atraviesa la cobertura es mayor respecto a la cobertura tipo I y equivalente a 34.6 mm, que representa el 2.5% de la precipitación anual, de acuerdo (Schroeder, P. R., Dozier, T.S., Zappi, 1994).

A continuación, se muestran los gráficos con los resultados de porcentajes de precipitación anual para ambos tipos de cobertura. En las Tabla 5 y Tabla 6 se muestran las distribuciones mensuales del análisis de los dos tipos de cobertura.



Figura 9. *Porcentajes anuales medios de Escorrentía – Evapotranspiración – Percolación para la Cobertura tipo I*

Fuente: Estudio propio.



Figura 10. *Porcentajes anuales medios de Escorrentía – Evapotranspiración – Percolación para la Cobertura tipo II.*

Fuente: Estudio propio.

Tabla 7.

Resultados a nivel mensual del balance hídrico de la cobertura tipo I

Parámetro	EN E	FE B	M AR	AB R	M A Y	J U N	J U L	A G O	S E P	OC T	NO V	DI C	Anual	% Anual
Precipitación (mm)	16 2. 4	16 8. 1	25 8. 0	19 0. 5	9 4. 7	3 2. 7	1 9. 3	19 .9	5 0. 3	13 3. 7	12 9. 4	14 1.7	140 0.5	100. 0%
Escorrentía (mm)	68 .4	83 .6	16 0.	10 8.	3 4.	1. 7	0. 4	0. 7	2. 2	33. 7	43 .5	47. 7	585 .7	41.8 %

			5	9	3									
Evapotranspiración (mm)	88.8	83.7	88.8	84.3	75.1	48.3	28.2	17.6	29.9	82.0	87.8	88.5	803.0	57.3%
Percolación a Mine Waste (mm)	1.1	1.0	1.1	1.1	1.1	0.9	0.8	0.6	0.6	0.9	1.0	1.0	11.1	0.8%

Fuente: estudio propio.

Análisis de precipitaciones, escorrentía, evapotranspiración, y percolación para el diseño de la capa estéril de la cobertura basado en el diseño de trade off generados (Schroeder, P. R., Dozier, T.S., Zappi, 1994).

Esto tiene que compatibilizarse con lo expuesto en la Guía de planes de cierre de mina como configuración a presentarse al Ministerio de Energía y Minas para el cierre progresivo de la Unidad Lagunas Norte, basándonos en la Ley N° 28271. Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera (2004). Con su respectivo reglamento aprobado mediante D.S. N° 059-2005-EM. Aprueban reglamento de pasivos ambientales de la actividad minera. (2005) (Art.36° y 37°).



Figura 11. Resultados a nivel mensual del balance hídrico de la cobertura tipo I

Fuente: estudio propio.

Tabla 8.

Resultados a nivel mensual del balance hídrico de la cobertura tipo II

Parámetro	EN E	FE B	MA R	AB R	M A Y	J U N	J U L	A G O	S E P	OC T	NO V	DI C	Anu al	% Anual
Precipitación (mm)	16 2. 4	16 8.1	25 8.0	19 0.5	94 .7	3 2. 7	1 9. 3	19 .9	5 0. 3	13 3.7	12 9.4	14 1.7	140 0.5	100.0%
Escorrentía (mm)	65 .3	80. 7	15 6.9	10 5.9	32 .5	1. 6	0. 4	0. 7	2. 1	31. 2	41. 4	44. 3	562 .9	40.2%
Evapotranspiración (mm)	88 .8	83. 8	88. 8	84. 3	75 .2	4 8. 4	2 7. 8	16 .7	3 1. 0	81. 4	87. 1	88. 9	802 .3	57.3%
Percolación a Mine Waste (mm)	3.9	3.7	4.5	4.4	3.8	2.2	1.4	0.9	0.9	2.4	3.1	3.4	34.6	2.5%

Fuente: estudio propio.

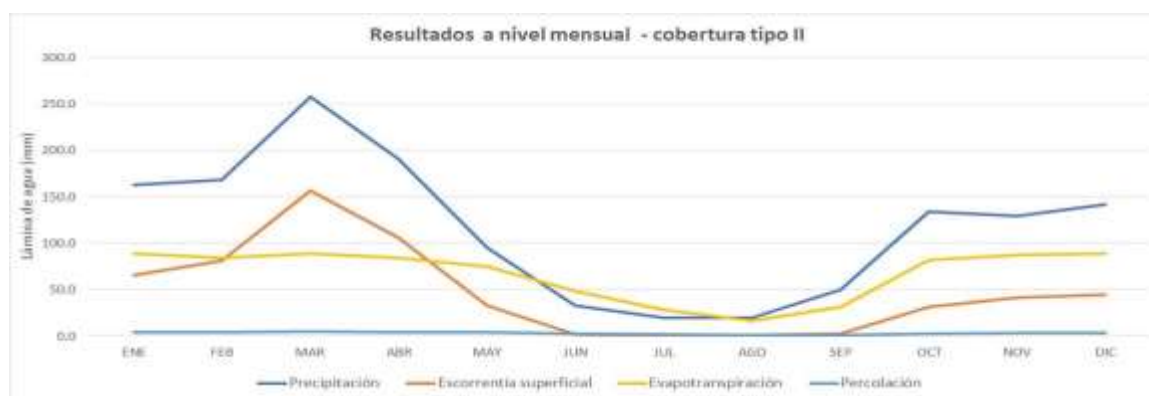


Figura 12. Resultados a nivel mensual del balance hídrico de la cobertura tipo II

Fuente: Estudio propio.

k) Volúmenes de aguas de contacto:

Utilizando los resultados del análisis de cobertura realizado, se obtuvo los posibles valores respecto al volumen de aguas de contacto para los componentes **DDE, PLA y NPL**, estos cálculos obtenidos de acuerdo a (Schroeder, P. R., Dozier, T.S., Zappi, 1994).

Para ello se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Que todo el volumen de aguas de contacto, que salen de los componentes por medio de los sistemas de subdrenaje y colección, serán tratados, es decir, no se realiza el balance en cada

una de las pozas por las que atraviesan las aguas antes de llegar a la planta de tratamiento.

- Que el sistema de captación de las aguas de infiltración en los componentes es 100% eficiente, es decir, todo el porcentaje de percolación (0.8% anual) es captado y conducido hacia su tratamiento.

En la siguiente tabla, se muestran los volúmenes mensuales de agua que percolan y entran en contacto con el material subyacente para ambos tipos de cobertura, asimismo, se muestra el total de volumen de tratamiento en el periodo de cierre (30 años).

En la Figura 6, se muestra el esquema de balance de aguas para los tres componentes, utilizando la cobertura tipo I, en donde se observa que en total el volumen de tratamiento anual sería **46 424,44** m³ correspondiente a los componentes **DDE, PLA y NPL**, mientras que utilizando la cobertura tipo II se estima que el volumen de tratamiento anual equivale a **144 248,87** m³.

Tabla 9.

Volúmenes de tratamiento de aguas utilizando la cobertura tipo I.

Mes	DDE	PLA	NPL	Total
Enero	2 080,90	1 543,33	888,72	4 512,94
Febrero	1 924,03	1 426,99	821,72	4 172,74
Marzo	2 206,46	1 636,46	942,34	4 785,27
Abril	2 134,85	1 583,35	911,76	4 629,95
Mayo	2 039,62	1 512,72	871,09	4 423,42
Junio	1 635,46	1 212,96	698,48	3 546,90
Julio	1 466,50	1 087,65	626,32	3 180,46
Agosto	1 219,39	904,38	520,78	2 644,56
Setiembre	1 145,86	849,84	489,38	2 485,08
Octubre	1 741,25	1 291,43	743,66	3 776,33
Noviembre	1 858,94	1 378,72	793,92	4 031,58
Diciembre	1 952,83	1 448,35	834,02	4 235,20
Anual	21 406,08	15 876,18	9 142,18	46 424,44
Periodo de cierre	642 182,40	476 285,28	274 265,40	1 392 733,08

Fuente: estudio propio.

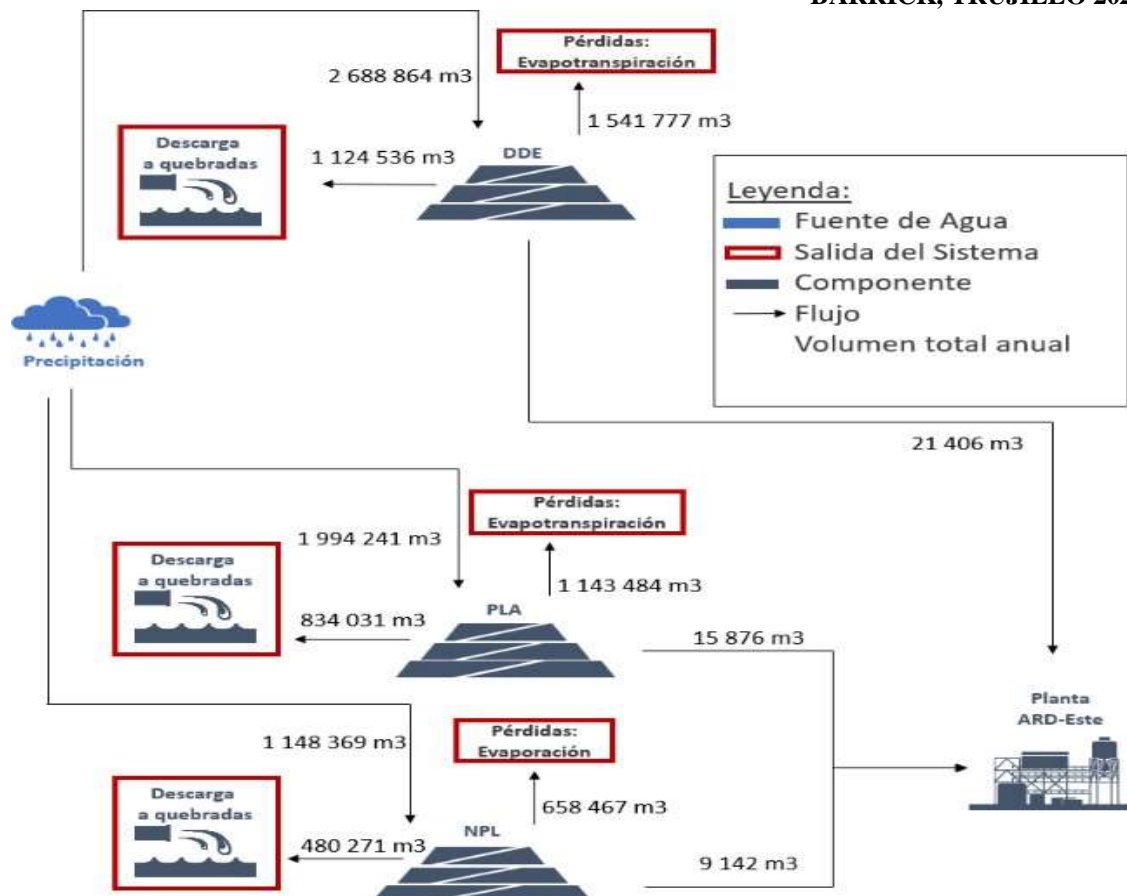


Figura 13. Esquema de balance de aguas en el DDE, PLA y NPL utilizando la cobertura tipo I

Fuente: estudio propio.

Tabla 10.

Volúmenes de tratamiento de aguas utilizando la cobertura tipo II.

Mes	DDE	PLA	NPL	Total
Enero	7 573.63	5 617.11	3 234.57	16 425.31
Febrero	7 174.46	5 321.06	3 064.09	15 559.62
Marzo	8 668.42	6 429.08	3 702.14	18 799.63
Abril	8 381.76	6 216.47	3 579.71	18 177.94
Mayo	7 270.08	5 391.98	3 104.93	15 766.99
Junio	4 250.69	3 152.59	1 815.40	9 218.68
Julio	2 664.96	1 976.51	1 138.16	5 779.63
Agosto	1 675.39	1 242.58	715.53	3 633.51
Setiembre	1 770.24	1 312.93	756.04	3 839.21
Octubre	4 637.18	3 439.24	1 980.46	10 056.89
Noviembre	5 984.83	4 438.75	2 556.02	12 979.60
Diciembre	6 460.80	4 791.76	2 759.30	14 011.86

Anual	66 512.45	49 330.07	28 406.36	144 248.87
Periodo de cierre	1 995 373.44	1 479 901.97	852 190.74	4 327 466.15

Fuente: estudio propio.

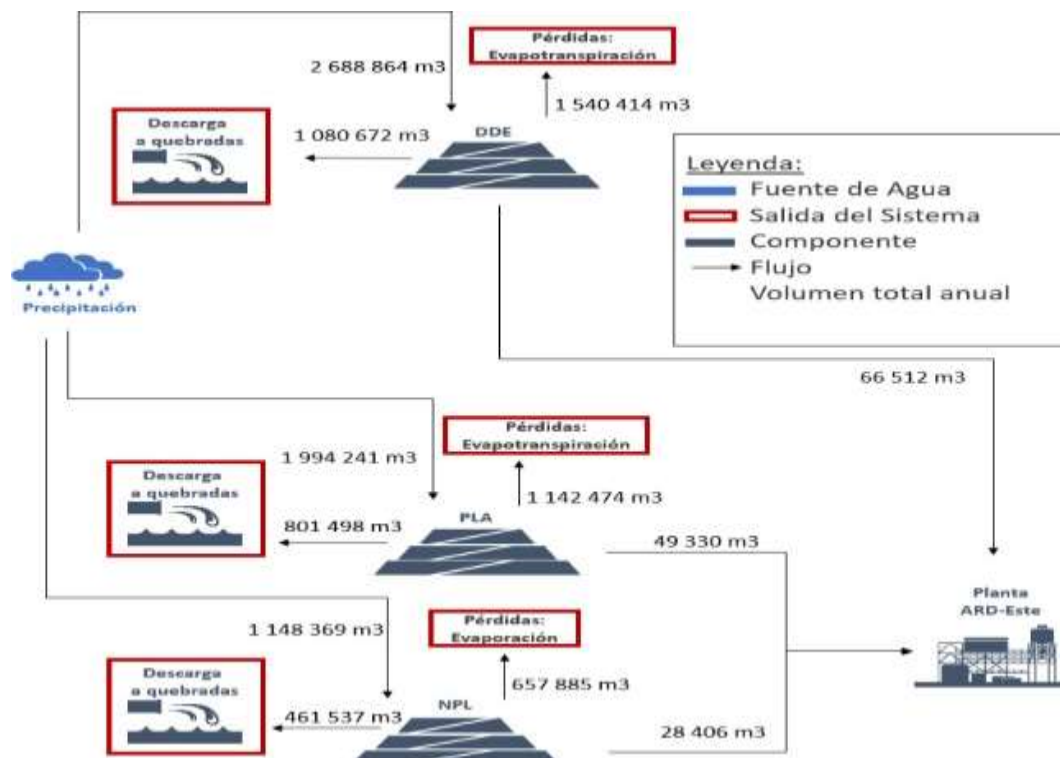


Figura 14. Esquema de balance de aguas en el DDE, PLA y NPL utilizando la cobertura tipo II

Fuente: estudio propio.

1.4. Componente de Cobertura

a) **Suelo:** recomendado en los procesos de revegetación se basa en la colocación de una capa de arcilla el cual me permite impermeabilizar y separar los suelos de depósitos de desmonte los cuales por su característica son suelos ácidos, finalmente sobre ellos se colocan los suelos de revegetación, que son suelos que presentan una forma franco arenoso en su composición, limos de media o alta permeabilidad vertidos para su revegetación final. (Schroeder, P. R., Dozier, T.S., Zappi, P. A., McEnroe, 1994).

b) **Geosintéticos:** La cobertura que se desarrolla para diferente tipo de investigación de revegetación en mina están conformados por una base de geosintéticos donde tenemos como impermeabilizante a las geomembranas de **HDPE**, tenemos dos tipos de geomembranas las

que usamos en los pats que son geomembranas lisas y las que utilizamos en los procesos de revegetación y que fue con la cual desarrollamos la ingeniería para la presente investigación que es una geomembrana texturizada a una cara, habitualmente texturizada en la cara donde colocamos el o tierra de cultivo para manejar un control de aguas para la esorrentía superficial sin necesidad de un control de aguas en base a riego para la revegetación colocada, los promedios de estas geomembranas van desde 0.68 hasta 2.25 mm, para nuestro diseño usamos la geomembrana texturizada de una cara de 1mm, que por sus características es una geomembrana con una densidad de 0.940 g/cm³, con una densidad a la rotura de 38(Kn/m), con una resistencia en el punto de fluencia de 31 kn/m, todo esto basado en los métodos de ensayos **ASTM D5994, ASTM D7466, ASTM D592, ASTM D6693 TIPO IV, ASTM D1004, ASTM D42218, ASTM D5885, ASTM D1204.**

c) Geotextil gtx027M: Es un Geotextil No Tejido de Polipropileno, conformado por un sistema de fibras, punzonado por agujas, bajo un Sistema de Gestión de Calidad. Es altamente resistente a la degradación biológica y química, que normalmente se encuentra en los suelos. Dentro de la característica de los geotextiles y sobre todo del geotextil de 270 gr empleado en el diseño para el desarrollo de la presente investigación, presenta las siguientes características:

- Método de Grab resistencia a la tensión y elongación **ASTM D4632 950 lb. > 50%**, método de tora ancha o sentido longitudinal de elongación **ASTM D4595 13Kn/m**, resistencia al punzonamiento **ASTM D4833 670 N (lb)**, resistencia al punzonamiento **CBR ASTM D6241 2.8Kn.**, Resistencia al rasgado trapezoidal **ASTM D4533 375 N 84 Lb.**, método de Mullen Burst resistencia al estallido **ASTM D3786 2760 Kpa o 400 psi.**

d) **Requisitos de la geomembrana para mi diseño final:** La geomembrana HDPE, es utilizada en el diseño para el desarrollo de la presente investigación, tiene un diseño creado específicamente para aplicaciones con condiciones de instalación expuestas, se fabrican con resinas vírgenes de polietileno y no contienen aditivos ni rellenos que con el paso del tiempo pudieran llegar a evaporarse o causar algún tipo de deterioro. La principal aplicación de este tipo de geomembranas es en la contención de líquidos; en el revestimiento de canales, en embalses, reservorios, pilas de lixiviados; y en estanques de almacenamiento, pues su alta impermeabilidad no permite la fuga de líquidos, sólidos ni gases. Sin embargo, para la presente investigación utilizamos la geomembrana texturizada a una cara, justamente para asegurar la estabilidad física de las áreas revegetadas en mis taludes en el plan de cierre de mina de la unidad Lagunas Norte, funcionen eficientemente se tienen que elegir aquellas con espesores adecuados para nuestro caso el de 1mm de espesor, según el tipo de aplicación para la que se vayan a utilizar y el proceso de instalación debe ser riguroso para garantizar la seguridad y un buen tiempo de vida de la geomembrana **HDPE**.

Todo esto basado en los métodos de ensayos **ASTM D5994, ASTM D7466, ASTM D592, ASTM D6693 TIPO IV, ASTM D1004, ASTM D42218, ASTM D5885, ASTM D1204.**

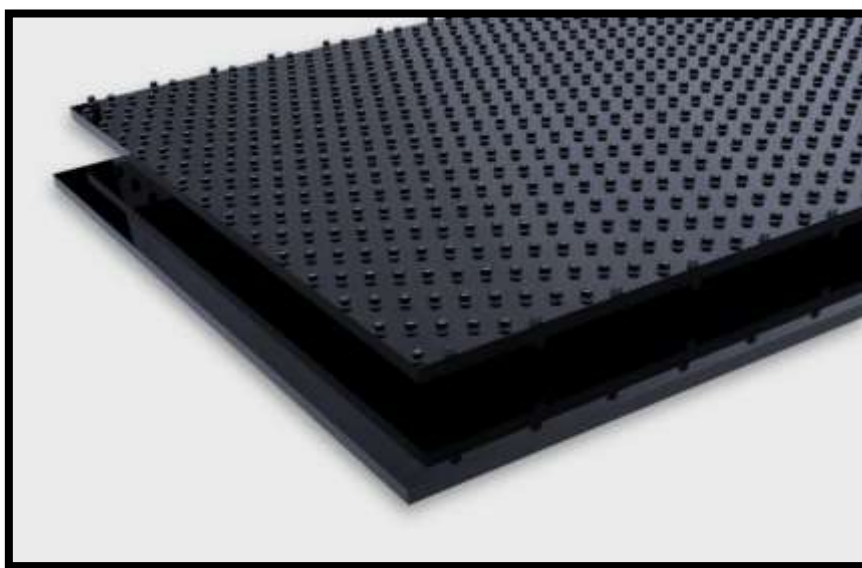


Figura 15. *Geomembrana texturada GM13, fuente pqa.com.co, 2020*

e) **Geotextil de 270 gr. Utilizado en el proceso de revegetación:** Utilizado para el diseño de cobertura en el plan de cierre de la unidad minera Lagunas Norte, se trata de un poliéster de alta tenacidad (**PET**), es un geotextil tejido con fibras del exclusivo Multifilamento **G5**, su estructura está definida por la técnica de inserción de trama, la cual le confiere la más rápida respuesta en tensión ante las deformaciones del suelo y estabilidad en el desempeño hidráulico en cualquier nivel de tensión o confinamiento. Ideal para el refuerzo de suelos de subrasante y capas granulares en pavimentos caracterizado por presentar alto desempeño hidráulico y mecánico en terraplenes y estructuras de contención en un suelo reforzado.

Dentro de la característica de los geotextiles y sobre todo del geotextil de 270 gr empleado en el diseño para el desarrollo de la presente investigación, presenta las siguientes características: Método de Grab resistencia a la tensión y elongación **ASTM D4632 950 lb. > 50%**, método de tora ancha o sentido longitudinal de elongación **ASTM D4595 13 Kn/m**, resistencia al punzonamiento **ASTM D4833 670 N(lb)**, resistencia al punzonamiento **CBR ASTM D6241 2.8 Kn.**, Resistencia al rasgado trapezoidal **ASTM D4533 375 N 84 Lb.**, método de Mullen Burst resistencia al estallido **ASTM D3786 2760 Kpa o 400 psi**.

1.4.1. Aspecto y forma del geotextil de 270 gr

- Uno de los aspectos que presenta el geotextil es la alta resistencia a la tensión, donde la capacidad de aporte mecánico se encarga de estabilizar los suelos blandos compresibles.
- Otro aspecto que presente el geotextil es el alto módulo elástico, que se resume en una alta respuesta elástica inmediata que le aporta reforzamiento al suelo.
- Bajo creep, una manera de controlar las estructuras a largo plazo de las deformaciones es por medio de este sistema.
- Y por último no menos importante el aspecto del geotextil en cuanto a la estabilidad en el desempeño hidráulico, en donde la estructura de inserción de trama mantiene la permeabilidad en cualquier nivel de tensión o confinamiento.

1.4.2. Propiedades Generales

- Masa por unidad de área: ASTM D4751 270 g/m²
- Permeabilidad: 0.60 cm/s
- Tasa de flujo: 4750 L/min/m²

1.4.3. Propiedades Mecánicas

- Resistencia al punzonamiento: 650 (151) N (lb)
- Resistencia al punzonamiento CBR: 2.8 kN
- Resistencia al rasgado trapezoidal: 375 (84) N (lb)
- Método de Grab: 950 (214) N (lb) <50%
- Método de Mullen Burst: 2760(400) Kpa(psi)



Figura 16. Geotextil GTX 027M, fuente Geosistemas PAVCO 2020.

1.5. Formulación del problema

¿Cómo implementarías la instalación del panel test de prueba para cierre progresivo de la unidad Minera Lagunas Norte Barrick, Trujillo 2020?

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo General

Desarrollar la instalación del panel test de prueba para cierre progresivo de la unidad Minera Lagunas Norte Barrick, Trujillo 2020.

1.6.2. Objetivos Específicos

- Diseñar la instalación del panel test de prueba para cierre progresivo de la minera Lagunas Norte Barrick.
- Establecer un control de revegetación que no requiera un sistema de riego permanente y que solo se mantenga en base a las precipitaciones para el panel test de prueba para cierre progresivo de la minera lagunas Norte Barrick.
- Determinar la estabilidad física de mi talud para el panel test de prueba, continuar con el proceso de revegetación en el desarrollo de los cierres de mina de la unidad minera Lagunas Norte Barrick.
- Comparar la instalación del panel de prueba, en cuanto a costo productividad y tiempo de colocación del mismo, de la minera lagunas Norte Barrick.

1.7. Hipótesis

1.7.1. Hipótesis general

La instalación del panel test me determinará la configuración para el cierre progresivo de la unidad Minera Lagunas Norte Barrick, Trujillo.

1.7.2. Hipótesis específico

- Los resultados obtenidos a lo largo del monitoreo en cuanto al comportamientos del panel test de prueba, serán representativos para la presentación de la configuración final a entregarse al MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS, en el plan de cierre progresivo y post cierre.
- El panel test de prueba debe cumplir con la normativa minera **D.S. N° 033-2005 EM**, normativa vigente aplicado al plan de cierre de mina.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

Analizamos los conceptos básicos de la experiencia profesional, desarrollados en el presente proyecto de investigación, las limitaciones que se presentaron dentro de la investigación laboral ejecutada, de acuerdo a la descripción del proyecto tenemos:

2.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación desarrollado está enmarcado como cuantitativa, por que dependemos de una teoría que se da en la formulación del diseño de la cobertura, mediante ensayos de valores de pruebas y error y por formulaciones matemáticas y ensayos previos. Y es a la vez experimental, porque de acuerdo a la investigación se explica los diseños de cobertura a las pruebas de campo para validar la estabilidad de la cobertura y el balance de aguas en el diseño (Hernández, 2014., p. 129).

Esta investigación desarrollado como planteamiento de un modelo de cobertura se conoce como experimentos de estudios de intervención, porque un investigador genera una situación para tratar de explicar cómo ciertas condiciones en campo pueden favorecer o no al funcionamiento de un diseño final (Creswell 2013 y Reichardt 2004),

2.2. Población y muestra

La referencia de la población o muestra se da como el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones. Es por eso que se inicia el desarrollo de la investigación, estableciendo cuatro panel test de prueba, de coberturado con geosintéticos, y sembrado de acuerdo al plan de revegetación con espesores de 20 y 30 cm, dos panel de 650 m² de geomembrana texturada y dos panel con un área de 650 m² de geomembrana lisa, en un área total de 1300 m² para el cierre de mina para el depósito de desmonte Este y asegurar la estabilidad física del coberturado en condiciones de temporada seca y dar soluciones en precipitaciones máximas en el investigación, al efectuar el cierre definitivo del mismo, con lo cual se reducirán al mínimo los impactos ambientales, protegiendo de esta manera la salud, la

seguridad pública y el medio ambiente del área de influencia (Hernández - citado por Lepkowski, 2008b).

Se desarrolló el diseño para diseñar la estabilidad de talud posterior al coberturado (Top soil en capas de 20 y 30 cm), para indicar los alcances sobre la estabilidad de Talud después del coberturado con la propuesta de espesores “INSTALACIÓN PANEL TEST”, se seleccionó una sección final: este **803925.567**; norte **9121960.551**; ubicada en la zona de depósito de desmonte esta zona 6, **DDE6** ubicado dentro de la unidad minera Lagunas Norte en Minera Barrick Misquichilca, donde se realizaron las pruebas en campo con dichos materiales de cobertura con el que se determinó el análisis de estabilidad, este diseño se desarrolló en base a la (MINEM, 2007).

Una vez generado la estabilidad del Talud en base a la cobertura colocada, se evalúa el balance hídrico donde se considera la escorrentía superficial, y la percolación de las aguas en el depósito de desmonte (Schroeder P. R., Aziz, N. M., Lloyd, C. M. and Zappi, P. A., 1994).

Refiere que la muestra que es un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que llamamos población. En la tabla 11 se muestra los tipos de cobertura (Hernández, 2014 p. 175).

Tabla 11.

Cantidad de muestras para ensayo

TIPO DE MUESTRA
Cobertura con geotextil y geomembrana lisa por debajo del 20cm
Cobertura con geotextil y geomembrana lisa por debajo del 30 cm
Cobertura con geotextil y geomembrana texturada por debajo del 20cm
Cobertura con geotextil y geomembrana texturada por debajo del 30cm

Fuente. Estudio propio.

2.3. Materiales, Instrumentos y Métodos

Los materiales utilizados en la cobertura de acuerdo al diseño, son lo que se menciona en el punto 2.3.1, y los instrumentos utilizados en la instalación se mencionan en el punto 2.3.2.

2.3.1. Materiales

- Geotextil de 270 gr
- Geomembrana texturada a una cara de 1mm
- Geomembrana lisa de 1mm
- , tierra de cultivo

2.3.2. Instrumentos

- Extrusadaro para parches en la colocación de la geomembrana
- Cuña para las uniones por traslape mediante electrofusión de las geomembranas
- Copa de casa grande, ranurador o acanalador
- Máquina de compresión axial.
- Juego de tamices
- Vernier o pie de rey
- Balanza con aproximación de 0.01 gr
- Horno de temperatura: 100 = 10°C
- Tractor para el tendido del
- Volquete para el traslado del material al punto
- Contómetro, o caudalímetro para control del balance de aguas
- Estación total, **TOPCON ES105**

2.3.3. Métodos

Se basa en una investigación experimental; porque se busca en el diseño la estabilidad física de la cobertura con una configuración 2:1 en su diseño, y el balance de aguas para presentarse en su tercera modificación el plan de cierre progresivo del Unidad, de acuerdo Ley N° 28271. Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera (MINEM, 2005).

Con su respectivo reglamento aprobado mediante **D.S. N° 059-2005-EM. (2005) (Art.36°y 37°)**, para el diseño se contempla como parte de la configuración final de la cobertura la colocación de un estéril para el control del percolado entre las dos capas de geosintéticos por la condición propia del Botadero en la Unidad, en otras unidades minera como es el caso de Antapacay, y como es el caso de Pierina se usaron las geoceldas y geosintéticos para el balance de aguas, elevando el costo por m², a casi el doble del costo que presentamos en la configuración de cierre de Lagunas Norte, comparativamente a la nueva propuesta desarrollada y presentada en la siguiente investigación es la más rentable y factible en cuanto a costos desarrollado dentro de la innovación de los planes de cierre de mina.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos de componentes de cobertura, de acuerdo a condiciones de terreno.

El desarrollo de la investigación se realizó a través de ensayos en los laboratorios de mecánica de suelo de **ANDES GROUP**, ubicado dentro de la unidad minera Lagunas Norte, para el diseño inicial se realizó el estudio de caracterización del suelo de conformidad en este caso el suelo propio del depósito de desmonte este, se desarrolló la caracterización del y se desarrollaron los ensayos de corte directo para evaluar justamente la estabilidad del terreno bajo el diseño propuesto para esta investigación.

Técnicas:

- Observación directa Instrumental.
- Fichas de recolección de datos.
- Guías de realización de ensayos.
- Protocolos de ensayos.
- Procedimiento para la recolección de datos.

2.4.1. Contenido de Humedad

La importancia de conocer el contenido de humedad de los suelos de conformación me

permiten determinar el uso de los mismos para los ensayos de percolación utilizando estos como filtros drenantes dentro de los ensayos de coberturas, colocándolos de manera intermedia entre las capas de geomembrana, para ello según la norma **NTP 339.127** para expresar las relaciones de fase del aire, el contenido de humedad de un material se usa, agua y sólidos en un volumen de material dado. Se utiliza con frecuencia para completar los diagramas de fase que permite obtener la humedad en casi todos los tipos de muestra.

Para nuestro caso la característica del es un suelo limoso con una Textura moderadamente gruesa (arcilla arenosa y arcilla arenosa fina), textura media (arcilla arenosa muy fina, limo, franco limoso y sedimentos) y textura moderadamente fina (limo de arcilla, suelo franco de arena arcillosa y suelo franco de arena limosa). La consistencia depende de la humedad de un suelo fino (cohesivo), la humedad de un suelo, junto con sus límites líquido y plástico se usa para expresar su consistencia relativa o índices de liquidez, basándonos en la Guía del **MTC** que permite el ensayo de métodos para determinar el contenido de humedad de un suelo, lo que nos indica en la guía metodológica del Instituto de Construcción y Gerencia (MTC E 108, 2000).

2.4.2. Material

Muestra alterada extraída del estrato en estudio.

2.4.3. Equipo

- Balanza con aproximación de **0.01** gr.
- Recipiente o Tara
- Estufa con control de temperaturas.

2.4.4. Procedimiento

- Determinar el peso del suelo seco (**F**) = **D – B**
- Identificación del recipiente (**A**).

- Pesar el recipiente o tara (**B**).
- Determinar el promedio del contenido de humedad (**H**)
- Pesar la muestra húmeda en el recipiente o tara (**C**).
- Determinar el contenido de humedad ($G = (E / F) * 100$)
- Secar la muestra en la estufa durante **24** horas a **105°C**.
- Pesar la muestra seca en el recipiente o tara (**D**).
- Determinar el peso del agua ($E = C - B$).

2.4.5. Límites de Atterberg o Límites de Consistencia

Dentro de los estudios desarrollados para el análisis de los suelos de baja permeabilidad colocados por debajo de la primera capa de cobertura se desarrollaron los ensayos de Albert Atterberg que definió seis “límites de consistencia” de suelos de grano fino: el límite.

Superior de flujo viscoso, líquido, de pegajosidad, de cohesión, plástico y el de contracción.

Frecuentemente en estudios de ingeniería se usa el límite líquido y límite plástico y en algunos casos el límite de contracción. El límite de consistencia no es más que la relativa facilidad con la cual un suelo puede ser deformado. (NTP 339.129, 1999).

2.4.5.1. Ensayo: Límite líquido

a) Material:

- Suelo seco que pasa la malla **N° 40**

b) Equipo:

- Estufa con control de temperatura
- Malla **N° 40**
- Copa de Casagrande
- Ranurador o acanalador
- Taras identificadas
- Balanza con aproximación de 0.01 gr

- Espátula
- Probeta de 100 ml
- Cápsula de porcelana

c) Procedimiento:

- Se toma un envase de porcelana donde se mezcla el suelo con agua mediante una espátula ejercemos una fricción permanente hasta obtener una pasta uniforme
- Una vez obtenida la pasta uniforme se Coloca una porción de esta pasta en la copa de Casagrande, nivelando mediante el uso de una espátula se busca llegar a tener un espesor de 1 cm.
- Obtenida la capa uniforme de 1mm se hace una ranura en el centro con el acanalador de tal manera que se divide en dos partes la muestra.
- Siguiendo el procedimiento de ensayo a razón de 2 caídas por segundo al elevar y caer la copa mediante la manivela a hasta que las dos mitades de suelo se pongan en contacto en la parte inferior de la ranura y a lo largo de 1.27 cm, para ello es importante durante toda la operación registrar el número de golpes.
- Usando la cápsula se retira la porción de suelo que se ha puesto en contacto en la parte inferior de la ranura y luego debemos colocarlo en una tara para determinar el contenido de humedad.
- Como parte del estándar de procedimientos a seguir, retiramos el suelo que se encuentra en la copa de Casagrande vertiéndola en la capsula de porcelana, posteriormente debemos agregar agua si el número de golpes del ensayo anterior ha sido alto, o agregar suelo si el número de golpes ha sido bajo, (el número de golpes se encuentra en un rango de 6 y 35).
- Limpieza mediante el Lavado y secado del acanalador.
- Como parte del procedimiento repetimos el ensayo minino 2 veces.
- Continuamos con la gráfica de la curva de fluidez (la recta) en escala semilogarítmica, en

el eje de ordenadas los contenidos de humedad en escala natural y en el eje de las abscisas se registrará el número de golpes en escala logarítmica.

- La ordenada correspondiente se determina en base a los 25 golpes en la curva de fluidez, este valor obtenido será el límite líquido del suelo.

2.4.5.2. Ensayo: Límite Plástico

La norma **NTP 339.129, 1999**; nos indica que el límite plástico se define como el contenido de humedad expresado en porcentaje, dentro del cual el suelo se halla dentro de los estados semisólido y plástico. Arbitrariamente si tenemos un contenido de humedad más bajo nos permite hacer el rolado de un suelo con un hilo de 3.2mm o 1/8 de pulgada sin que este se desmorone.

a) Material:

- Espátula
- Preparación de una porción para el límite líquido
- Equipo
- Taras identificadas
- Balanza con aproximación de 0.01 gr.
- Se agrega el suelo seco a la porción de la mezcla preparada para el límite líquido de tal manera que su contenido de humedad baje en la pasta formada.
- Procedimiento
- Estufa
- Cápsula de porcelana
- Placa de vidrio
- El límite plástico se determina en base al promedio de los 2 valores de contenidos de humedad.
- Enrollando la muestra con la mano sobre una superficie o placa de vidrio obtenemos

cilindros que presenten agrietamientos de 3 mm de diámetro, determinando de esta forma su contenido de humedad.

- El ensayo debe repetirse una vez más

2.4.5.3. Granulometría mediante tamizado por lavado

La granulometría me permite determinar los tamaños de partículas de suelos de manera cuantitativa en cuanto su distribución. Para esto es importante clasificarlas en partículas mayores que $75\mu\text{m}$ (retenido en el tamiz N. ° 200) esto se efectúa mediante tamizado, en el caso de partículas menores que $75\mu\text{m}$ el proceso de sedimentación basada en la ley de Stokes con el uso de un densímetro es lo adecuado (NTP 339.129, 1999).

a) Material

Al tomar una muestra de 200 gr. de la zona de Bladers ubicado en el depósito de desmonte. Se evaluó el tipo de suelo con el que se está tratando, este suelo presenta un índice alto de acidez pero es su composición tenemos un suelo limoso, con una caracterización de un suelo franco arenoso es por ello que se usaron 500 gr. En total para determinar el número de finos.

b) Equipo

- Juego de tamices.
- Balanza con aproximación de 0.01 gr.
- Estufa con control de temperatura.
- Taras.

c) Procedimiento

- Secado de la muestra
- Pesado de muestra seca (Ws)
- Colocación de la muestra en un recipiente, cubriéndolo con agua y dejándolo durante

algunas horas dependiendo del tipo de material.

- Tamizado de la muestra por la malla **N°200** mediante chorro de agua.
- Se continua con la muestra retenida en la malla **N°200** esta es retirada en un recipiente y se deja secar.
- Paso siguiente, usando el juego de tamices pasamos la muestra seca, agitando en forma manual o mediante tamizador.
- Luego determinamos los porcentajes de los pesos retenidos en cada tamiz (**%RP**).
- Los porcentajes retenidos y acumulados serán determinados en cada tamiz **%RA**, sumando en forma progresiva los **%RP**.
- Cada tamiz presentara los porcentajes acumulados que se determinaran.
- Una vez realizado los ensayos, graficaremos la curva granulométrica en escala semilogarítmica, El eje de abscisas registrará la abertura de las mallas en milímetros, y el eje de ordenadas servirá como registro de los porcentajes acumulados que pasan en cada una de las mallas que se utilizan.

d) Proctor modificado Material

- Muestra con característica alterada seca.
- Papel filtro.

e) Equipo

- Equipo de ensayo proctor modificado (molde cilíndrico, placa de base y anillo de extensión).
- Pisón de ensayo proctor modificado
- Balanza con aproximación de precisión de 0.01 gr
- Horno con control de temperatura
- Características probeta de 1000 ml
- Recipiente con capacidad de 6 kg.

- Espátula
- Recipientes identificados

f) Procedimiento

- Obtención en campo de una muestra seca en el sector de Bladers para el ensayo utilizando alguno de los métodos (método **A, B o C**).
- Iniciamos el proceso con las Preparación de 5 muestras con una determinada cantidad de agua, buscando que el contenido de humedad varíe aproximadamente en $\frac{1}{4}$ % entre ellas.
- Luego se Ensambla el molde cilíndrico con la placa de base y el collar de extensión y el papel filtro.
- Luego se compacta cada muestra en 5 capas las cuales se definirán por el número de golpes entre 25 o 56 golpes (depende del método **A, B o C**), al finalizar la compactación de la última capa, retiramos el collar de extensión, enrasandola con la espátula y determinando la densidad húmeda (**Dh**).
- Luego determinamos el contenido de humedad de cada muestra compactada (**W %**), usando muestras representativas de la parte superior e inferior.
- Posteriormente determinamos las densidades secas de cada muestra compactada (**Ds**).
- Finalmente dibujamos la curva de compactación en escala natural, el dato de densidad seca lo ubicamos en el eje de las ordenadas y el dato del contenido de humedad se registrara en el eje de las abscisas.
- Con este procedimiento determinamos el óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca.

2.4.5.4. Requisitos para el diseño final de nuestra cobertura y características para ser vertidas en nuestro talud de conformación.

Según la guía para el diseño de coberturas de depósitos de residuos mineros del sub – Sector minería volumen XXIII, presenta los siguientes requisitos generales para la elaboración de la

conformación de talud y colocación de coberturas en base a geosintéticos y geotextiles, de acuerdo a la (Guía Para El Diseño De Coberturas De Depósitos De Residuos Mineros, Sub - Sector Minería, Dirección General De Asuntos Ambientales Mineros, Ministerio De Energía Y Minas, 2007).

- Se debe conformar el talud de los depósitos de desmonte, conformado por suelos altamente ácidos, con una presencia mayor al 30% de gravas en un talud 2 a 2.6 para el perfilado de mi talud final de diseño.
- Koerner y Soong (2003). Para lograr la estabilidad de taludes nos apoyamos en las características propias del material de cobertura datos obtenidos en los ensayos de laboratorio donde tendremos la caracterización de los suelos e importante el ensayo de corte directo para el diseño de la estabilidad en base a varias formas de diseño que lo veremos en la presenta investigación desde un diseño mediante un análisis de **DCL**, con la interacción de la fricción generada entre la geomembrana y geotextil y el de cobertura.
- El otro análisis del diseño lo evaluaremos mediante el factor de seguridad con respecto a mi talud, y nos apoyaremos en el método de elementos finitos para el diseño final y análisis final de nuestra cobertura final.
- El otro análisis que desarrollamos en la presente investigación también será el control de aguas proveniente de la escorrentía superficial de las aguas de no contacto producto de las precipitaciones de la zona
- Desarrollamos también en la investigación el comportamiento de una geomembrana lisa y su comparación ante el comportamiento de una geomembrana texturada a una cara donde la cohesión para la geomembrana lisa fue del 8%, mientras la geomembrana texturada a una cara nos dios una cohesión promedio de 32% en su comportamiento de fijación.
- La colocación de la geomembrana es importante para eso se validó los trabajos de campo

desarrollado por un CQ y validado por el CQA en la colocación final de la cobertura en la que se basó la presente investigación.

- Cada panel test de diseño tuvo un área de 280 m², en donde se colocaron los 4 paneles test de prueba cada uno con sus propias características que se detallará a lo largo de la presente investigación.
- En esta investigación que se desarrolló como una propuesta nueva para implementarlo de acá en adelante en los próximos cierres de mina en el Perú tuvo la siguiente configuración en el diseño del panel test: Largo = 12 m, Ancho = 6.5 m, Espesor = 30 cm de y 20 cm de acuerdo al panel desarrollado.

2.4.5.5. Propiedades a evaluar en el diseño del panel test

Koerner y Soong (2003). Planteo los diseños de coberturas con geosintéticos, con los cual se modelo para los ensayos de campo desarrollado en la presente investigación, donde se presentaron 4 trade off de diseños con las siguientes características:

- Diseño de cobertura configuración desarrollada en el trade off, geotextil, geomembrana geotextil una capa de 30cm del material de desmonte, nuevamente geotextil geomembrana y geotextil y una cobertura de 30 cm de o tierra de cultivo.
- Diseño de cobertura configuración desarrollada en el trade off, geotextil, geomembrana texturada a una cada geotextil una capa de 30cm del material de desmonte, nuevamente geotextil geomembrana texturada a una cara y geotextil y una cobertura de 30 cm de tierra de cultivo.
- Diseño de cobertura configuración desarrollada en el trade off, geotextil, geomembrana texturada a una cara geotextil una capa de 30cm del material de desmonte, nuevamente geotextil geomembrana texturada a una cara y geotextil y una cobertura de 20 cm de tierra de cultivo.

2.4.5.6. Estructura: Depósito de desmonte

Se describe la estabilidad después del coberturado en capa de espesores de 20 y 30 cm del material, en ambos ensayos se plantea la determinación de la estabilidad física de la cobertura en el talud de prueba para disminuir los esfuerzos y evitar posibles fallas locales, estos materiales en el diseño están descansando sobre el geotextil y geomembrana 1mm semitexturada.

Sin embargo, es importante mencionar que todos los trabajos realizados en la investigación instalación panel test, se ha verificado y aceptado teniendo en cuenta los diseños del talud y ensayos de laboratorio de suelos desarrollados en la presente investigación.

2.4.5.7. Parámetros de los suelos representativos en el diseño

Se realizó el análisis de estabilidad de taludes de acuerdo a los siguientes parámetros, nombre del material a coberturar desmontera, peso unitario en la caracterización de suelos de la desmontera 21 KN/m³, material final de cobertura, peso unitario de acuerdo a la caracterización del terreno 1.85 **KN/M³**. Análisis de fuerzas para ambos materiales Mohr Coulomb, cohesión para la desmontera **20 KN/m²**, cohesión para el top soil 0.35 Kn/m², Phi 36 valor de la desmontera y 4 phi para el top soil.

2.5. Procedimiento

Koerner y Soong (2003); Para el análisis de estabilidad de taludes en condiciones saturadas, se considera un R_o para el top soil, equivalente a los $\frac{2}{3}$ de la altura piezométrica para evaluar la estabilidad en avenidas máximas con los datos de la precipitación mensual histórica más crítica. Recomienda un dren de filtro colocado antes de la cobertura vegetal, para generar un dren que permita estabilizar el top soil.

Schroeder (2015); El diseño para el balance de aguas evalúa la percolación de estas a través de los geosintéticos, cuyas pruebas de campo acercan aun 0,02 % de posible percolación de la capa superior, para ello el diseño contempla la colocación de geonets o caso contrario, la

colocación de un material estéril que cumpla la función de filtro para la evaluación del percolado.

2.5.1. Obtención de material a emplear (Material Tierra)

Koerner y Soong (2003); Evalúa como óptimo para la compactación final en taludes con configuraciones 2.4 a 2:1, material del desmote que presente en su configuración un $IP > 4$. El material se obtuvo en la cantera “**DDO**” en la zona 1, perteneciente a la unidad minera lagunas norte, se realizó el cuarteo del material in situ para luego realizar el estudio de suelos en laboratorio.

El material extraído fue llevado al punto de colocación mediante el corte desarrollado en campo por una retro excavadora y un cargado frontal que finalmente despacharon el material para ser colocado en las zonas de prueba del **DDE**.

2.5.2. Geomembrana texturada y geomembrana lisa

Koerner y Soong (2003); en la evaluación de cobertura para el control de las aguas de no contacto recomienda el uso de geomembranas, geonets y geoceldas en diversas propuestas de configuraciones variadas presentadas para taludes críticos y semicríticos. La propuesta para el diseño se basó básicamente en el uso de geotextiles y geomembranas con características lisas y texturadas a una cara, ambos productos utilizados en las pruebas de ensayo que se desarrollaron en campo estuvieron conformados por estos dos tipos de geotextiles los cuales presentan las mismas características técnicas la diferencia es que una era geomembrana lisa y la otra texturada a una cara justamente en la parte superior para generar el ángulo de fricción con él y lograr la estabilidad física de la cobertura.

2.5.3. Ubicación del panel test de prueba de la unidad minera

La zona donde se ejecutaron las pruebas, se encuentra entre las coordenadas coordenadas inicial este **803778.91**; norte **9121931.4**; coordenada final este **803925.567**; norte

9121960.551; ubicadas en la zona de desmonte esta unidad 6 dentro de la unidad minera Lagunas Norte.

La mina Lagunas Norte es un yacimiento de oro ubicado en el distrito de Chicama Alto, en el norte de Perú.

Toda la roca de desmonte de mina que se extrae del tajo abierto se coloca actualmente en el Depósito de desmonte Este (**DDE**) al norte y este del tajo. El **DDE** se encuentra en la cabecera de varias cuencas, incluyendo la Quebrada Laguna Negra, Quebrada Quishuara Sur, Quebrada Quishuara Norte, y Quebrada Vizcachas. Estas cuencas drenan hacia el este y noreste al río Chuyugual.

La roca de desmonte de la mina Lagunas Norte son generadoras de acidez, con un alto potencial de lixiviación de sulfatos y metales. Muchos de los materiales tienen un tiempo de retardo corto para la generación de acidez. Se estableció un valor umbral del 0,1% de azufre total durante el programa para la separación de material potencialmente generador de ácido (**PAG**; por sus siglas en inglés) y de material no potencialmente generador de ácido (**No PAG**; por sus siglas en inglés). (Reglamento para cierre de minas MINEM 2004)

La expansión del **DDE** ampliará la huella actual del **DDE** hacia el norte, noreste y al este. Esta expansión incluye la disposición de roca de desmonte de mina adicional. Como es el caso de la huella **DDE** existente, la mayor parte de la expansión será dentro de las zonas de captación actuales (Quebrada Laguna Negra, Quebrada Quishuara Sur, Quebrada Quishuara Norte, y Quebrada Vizcachas).

Por tanto, esta evaluación se enfocó en caracterizar los materiales superficiales (material aluvial y top soil) en el área de la expansión del **DDE** y en las cuencas asociadas. La caracterización de los materiales superficiales tuvo como objetivo evaluar el potencial para generación de acidez y el potencial de atenuación de acidez y concentración de metales


asociados con las filtraciones del **DDE**. Dado el reducido número de muestras evaluadas, la presente evaluación se considera preliminar, pero brinda la información básica para desarrollar una evaluación de calidad de agua. (Reglamento para cierre de minas MINEM 2004).

Datos de la unidad minera:

- ✓ Provincia: Quiruvilca
- ✓ Distrito: Chicama Alto
- ✓ Nombre del Propietario: Minera Barrick Misquichilca
- ✓ Accesos:

Tabla 12.

Acceso a la cantera

DESDE	HASTA	TRAMO FINAL	TRANSPORTE	TIEMPO
Trujillo	Quiruvilca Particular	Unidad Lagunas Norte		3 hr

Fuente. Estudio propio.



Figura 17. Ubicación Unidad Minera Lagunas Norte

2.5.4. Incorporación de la tierra de cultivo

Para la incorporación de la cantera en el **DDO** sector 1 para el plan de revegetación en el plan progresivo de cierre de mina de la unidad minera Lagunas Norte Proyectado hasta el 2030.



Figura 18. Unidad Minera Laguna Norte MBM

2.5.5. Estudio de suelos

Para el diseño de la cobertura se realizó el estudio de suelos tanto del material estabilizado en el depósito de desmonte este o el **DDE**, como del material propio del desmonte usado como material estéril para el control de percolado en la cobertura (Koerner y Soong, 2003).

Estos ensayos de caracterización del terreno se desarrollaron en la unidad minera en los laboratorios de la empresa **ANDES GROUP**, y el ensayo de corte directo se desarrolló en un laboratorio de Trujillo.

➤ Contenido de humedad

El contenido de humedad es la cantidad de agua presente en una muestra de suelo el cual determina como la relación volumétrica de peso de agua (W_w) contenida en la muestra y el peso en su fase solida (W_s) (**NTP 339 - 127**).

Ecuación 1: Contenido de humedad

$$\boxed{(W\%) = \frac{W_w}{W_s} * 100} \dots\dots\dots (1)$$

En el ensayo de contenido de humedad se tomó tres muestras en el área de estudio las zonas de Bladers correspondientes el depósito de desmonte aproximadamente de 500 g del material, introducimos el material en las taras que fueron previamente pesadas, posteriormente se tomaron los datos, después de secarlo al horno por el lapso de 24, se volvió a pesar el materia obteniendo así el peso de la muestra seca y determinando de esta forma el porcentaje promedio de contenido de humedad del suelo, dándonos este un contenido de humedad de 21.23%, el ensayo se realizó con los parámetros que nos da la norma **NTP 339.127, 1998**.

➤ Límites de Consistencia o Atterberg.

Mencionan que para medir la plasticidad de las arcillas se han desarrollado varios criterios, de los cuales uno solo, el debido a Atterberg hizo ver que, primero que la plasticidad es una propiedad circunstancial y dependiente de su contenido de agua, y no es una propiedad permanente de las arcillas (Juárez y Rico, 2009).

Este nos permite medir el comportamiento en todas las épocas de los suelos. Las arcillas presentan variabilidad en el grado de esta propiedad. Justamente se ensaya los límites de Atterberg para conocer la plasticidad de un suelo (Crespo, 2004).

Al realizar el ensayo de límite plástico y el ensayo de límite líquido, y por diferencia de estas hallamos el índice de plasticidad siguiendo la norma (**NTP 339.123, 1999**). Para obtener este ensayo colocamos material tamizado en la malla N.º 40, posterior a esto se agregó agua hasta que se obtuvo una consistencia pastosa en la capsula de porcelana.

Siguiendo con el procedimiento de ensayos de acuerdo a la norma introducimos la muestra en la copa de Casagrande considerando una profundidad de 1 cm aproximadamente, realizando una ranura en el centro, dividiendo de esta manera la muestra en dos partes, y de manera seguida procediendo al ensayo con los número de golpes determinados 6 a 35; registramos el número de golpes sacando una porción de la copa de Casagrande, pesamos la muestra y

dejamos que esta seque en el horno por 24 h para determinar su humedad, repetimos este ensayo 3 veces el cual nos permitió obtener la recta que determina el Limite Líquido.

Finalmente dibujamos la curva de fluidez (la recta) en escala semilogarítmica, en el eje de ordenadas el contenido de humedad en escala natural y se halla la ordenada correspondiente a los 25 golpes en la curva de fluidez, y en el eje de abscisas se registrará el número de golpes a escala logarítmica, finalmente este valor será el límite líquido del suelo.



Figura 19. Ensayo límite líquido

La norma técnica peruana (NTP 339.129, 1999), nos señala que el límite plástico detallado en el contenido de humedad esta expresado en porcentajes, el cual nos permite definir si un suelo se encuentra en un estados plástico o semisólido. Arbitrariamente se designa como el contenido de humedad más bajo el suelo que como característica pueda ser rolado en el hilo de 3 mm sin que esta se rompa en pedazos.

Ensayando el límite plástico con las muestras obtenidas en la zona de Bladers, de acuerdo al procedimiento de ensayo se generaron estos rollitos de 3mm en una placa o base de vidrio y de esta forma se colocaron en taras para su posterior secado al horno por el lapso de 24 horas, al final se recopilaron los resultados de los ensayos con el fin de saber cuál es la plasticidad del suelo; con estos ensayos y el de granulometría se clasifico el tipo de suelo, mediante la tabla

de fluidez y el cuadro de clasificación SUCS. Para así determinar el tipo de molde a usar en el método de compactación proctor, como parte del desarrollo final de la configuración del talud para el ensayo de los panel test.



Figura 20. Temperatura controlada de secado de muestras de Ensayos de material orgánico.

Finalmente, con la siguiente formula, que relaciona al límite líquido y al límite plástico, obtenemos el índice de plasticidad.

Ecuación 2: Índice de plasticidad

$$\boxed{PI = LL - LP} \dots\dots (2)$$

Dónde: LL = límite líquido (número entero).

PL = límite plástico (número entero).

2.5.6. Ensayo de Granulometría

Según la norma técnica peruana (NTP 339.128, 1999), nos indica que la granulometría es una manera cuantitativa de indicar la distribución de tamaños de partículas en los suelos. En el caso de señalar la clasificación de las partículas mayores que 75µm (retenido en el tamiz N.º 200) efectuamos el ensayo por medio del tamizado, mientras que la determinación de las partículas menores que 75 µm se dan por un proceso de sedimentación basada en la ley de

Stokes con el uso de un densímetro adecuado.

Este ensayo es utilizado cuando un material es fino o cuando contiene finos (arcillo limoso).



Figura 21. Secado de Limites de atterberg del material orgánico.

2.5.6.1. Ensayo Proctor

El ensayo proctor se define como la relación entre el contenido de humedad y el peso unitario seco compactado con una energía generada por medio de una compactación determinada, para esto determinamos el contenido de humedad para el cual el suelo dentro de sus características alcanza su máxima densidad seca. Posteriormente establecemos las características artificiales de las propiedades del suelo por medios mecánicos, el cual me permite se disminuir los vacíos, incrementar la resistencia y se logra disminuir la capacidad de deformación (NTP 339-141, 1999). Para ensayarlo se separó en 4 bolsas con 2.5 kg cada uno, en las cuales se adiciono porcentaje de agua, y luego se adiciono la piedra de cantería triturada de acuerdo a los porcentajes 5%, 10% y 15% respectivamente, para este ensayo se usó la piedra de una pequeña cantera ya que la unidad minera no cuenta con canteras suficientes de piedras para su uso en el diseño de la cobertura final.

Ecuación 3: Densidad húmeda

$$\rho_m = \frac{(M_t - M_{md})}{1000 * V} \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

ρ_m = Densidad Húmeda característica del espécimen compactado (Mg/m³)

M_t = Conformación de la masa total del espécimen húmedo y molde (kg)

M_{md} = Masa colocada en el molde de compactación (kg)

V = Volumen colocado en el molde de compactación (m³).

Ecuación 4: Densidad seca del espécimen compactado

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + \frac{w}{100}} \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

ρ_d = Densidad seca del espécimen compactado (Mg/m³) w = contenido de agua (%)



Figura 22. Ensayo de densidad Natural en stock 1 del material orgánico

2.5.7. Diseño experimental

Una vez obtenidos los resultados de laboratorio y teniendo clasificado el suelo se puede realizar la comparación de cohesión por medio del ensayo de corte directo del material para el diseño final y el aseguramiento de la estabilidad física de la cobertura que se desarrolló en la presente investigación.

2.5.8. Zona de cobertura típica

Para esta zona donde se desarrolló las pruebas del panel test con el cual se fundamenta la presente investigación comprende el área ubicado en la desmontera de la Unidad Minera Barrick donde se desarrollará la excavación de trincheras que servirán como anclaje de los geosintéticos.

Entre los trabajos de movimiento de tierras se tiene:

- ✓ Excavación con equipo liviano para la construcción de la trinchera de anclaje (0.70 m x 0.70 m).
- ✓ El control de la compactación de materiales cohesivos se efectuará en base al 95% de la densidad seca máxima obtenida por el método Proctor Modificado.
- ✓ Relleno compactado con material propio, hasta una altura de 0.20 y 0.30 m de acuerdo a cada panel test diseñado en la trinchera de anclaje.
- ✓ Relleno compactado con material de propio de la desmontera hasta una altura de 0.70 m en la trinchera de anclaje y sobre el relleno preliminar.

Para el desarrollo de los ensayos en la cual se fundamenta la presente investigación, fue de suma importancia contar con herramientas que facilitaron la instalación en campo del panel test, al ser pequeñas las áreas a coberturar el trabajo se desarrolló de manera manuela desde el tendido de la geomembrana y el coberturado final del panel test de pruebas. (Reglamento para cierre de minas MINEM 2004).



Figura 23. Estabilización del talud de prueba

Se diseñó un talud de 2.2:1 para el diseño del panel test, finalmente este terreno fue conformado con la siguiente caracterización para el diseño de la cobertura final.

Tabla 13.

Cálculo de cantidades para elaboración de adobes

%	ANÁLISIS COBERTURAS (cm).	TOPTO TOP	GEOTEXTIL	GEOSINTÉTICO
25	30	20	1 mm	0.75
25	30	20	1 mm	0.75
25	30	30	1 mm	0.75
25	30	30	1 mm	0.75

Fuente. Estudio propio.

Koerner y Soong (2003); Se ha realizado el diseño para esta investigación de geomembrana semitexturada de 1mm, teniendo los ángulos de fricción geomembrana, suelo geomembrana y geotextil, según el ensayo **ASTM D 5321**, en el diseño observamos que la geomembrana texturizada presenta un factor de punzonado del 32° mientras que la lisa presenta un factor de punzonado de 8° el cual me da una cohesión por el tipo de suelo en el caso de arena con un $\Phi=30^\circ$ la texturizada me da una cohesión del 100%, mientras que la lisa me da una cohesión del 56%, y esto mismo los vemos con un Φ de 28° y de 26° donde la cohesión es del 92% y

83% para la geomembrana texturizada y en el caso de la lisa para los mismos valores obtenemos una cohesión del 61 y 63% respectivamente.

2.6. Análisis de datos

Koerner y Soong (2003); Menciona que el análisis de la cobertura, utilizamos el método de Spencer, y el método de talud finito para condiciones de saturación máxima, con el fin de asegurar mediante el diseño la estabilidad de la cobertura para temporadas secas y temporadas máximas de precipitación.

2.6.1. Evaluación de la estabilidad de talud

Koerner y Soong (2003); En el desarrollo de la evaluación de la cobertura, se analizó las fuerzas actuantes y las fuerzas resistentes sobre ella, de donde se obtuvo factores de seguridad para condiciones de análisis estático, pseudostático y saturado.

2.6.1.1. Estabilidad de talud

Para el análisis de estabilidad se ha considerado el sección típica proyectado del Plano, se utilizó el programa de cómputo Slide 06, el cual ha sido desarrollado entre otros en base al método de Spencer, aplicable especialmente para el caso del análisis de superficies potenciales de falla de forma circular y no circular; este programa permite determinar, mediante la evaluación de múltiples interacciones, la superficie para la cual la relación entre los esfuerzos resistentes y los esfuerzos actuantes es mínima (Duncan y Wright, 2005).

Este método está basado en la teoría de equilibrio límite, pero de un nivel intermedio 1 de precisión en el cálculo del factor de seguridad (F). Además, las superficies de falla son asumidas circulares (Koerner y Soong, 2003)

Supone que las fuerzas X_1 y E_1 son iguales y se anulan en el cálculo. Una superficie de falla estará definida por un arco circular a través del talud y el diagrama de cuerpo libre de la iésima dovela (Koerner y Soong, 2003)

El factor de seguridad es definido como la relación entre la sumatoria de los momentos de las fuerzas resistentes y sumatoria de los momentos de las fuerzas motoras alrededor del centro O, de la sección circular de falla (Koerner y Soong, 2003).

Ecuación 5: *Estabilidad de talud*

$$F = \frac{\sum \text{momentos de las fuerzas resistentes}}{\sum \text{momentos de las fuerzas motoras}}$$

El momento de la fuerza resistente al corte tangente a la superficie de falla en la iésima dovela será:

Ecuación 6: *Estabilidad de talud*

$$M_{r_i} = (C'.b.\text{Sec}.\alpha + N'\text{TAN}\varphi)*R$$

El momento de las fuerzas de corte motoras serán generadas por el W_1 y la fuerza sísmica inducida KW_1 será:

Ecuación 7: *Estabilidad de talud*

$$M_{m_i} = W_1.R.\text{Sen}\alpha + kW_1(R.\text{Cos}\alpha - D/2)$$

Reemplazando las ecuaciones (7) y (6) en la ecuación (5).

Ecuación 8: *Estabilidad de talud*

$$F = \frac{\sum((C'.b.\text{Sec}\alpha + N'\text{TAN}\varphi) * R)}{\sum(W_1.R.\text{Sen}\alpha + KW_1.(R.\text{Cos}\alpha - D/2))}$$

Dónde:

- C' es la cohesión del suelo (Kg/m m).
- F es el factor de seguridad.
- b es el ancho de la dovela.
- α es el ángulo que hace la tangente de la superficie de falla en el centro de la dovela con la horizontal.
- N' fuerza normal efectiva.
- φ ángulo de fricción.

- W_i peso de la dovela i .
- K es el coeficiente sísmico.

Por equilibrio de fuerzas verticales en la i ésima dovela tenemos:

Ecuación 9: *Estabilidad de taludes*

$$N'_i = W_i - u.b.\text{Sec}\alpha - (N'_i + C'b.\text{Sec}) * \text{Sen}\alpha / F$$

Despejando obtenemos:

Ecuación 10: *Estabilidad de taludes*

$$N_T = \frac{W_1 - b.\text{Sec}\alpha.(\mu.\text{Cos}\alpha + C'.\text{Sen}\alpha/F)}{\text{Cos}\alpha + (\text{Tan}\phi.\text{Sen}\alpha)/F}$$

Reemplazando la ecuación (10) en la ecuación (8) y simplificando:

Ecuación 11: *Estabilidad de taludes*

$$F = \frac{\sum((C'.b + (W_i - u.b).\text{Tan}\phi))(\text{Sec}\alpha/(1 + \text{Tan}\alpha.\text{Tan}\phi)/F))}{\sum(W_i.\text{Sen}\alpha + kW_i(\text{Cos}\alpha - D/(2 * R)))}$$



Figura 24. *Ubicación de las canteras para coberturas*

2.6.2. Método de Spencer

El método de Spencer satisface totalmente el equilibrio tanto de esfuerzos como de momentos.

El procedimiento que nos señala Spencer (1967) se basa en el paralelismo en cuanto a la suposición de las fuerzas entre dovelas al ser paralelas las unas con las otras, de acuerdo a Spencer estas presentan el mismo ángulo de inclinación (figura 25).

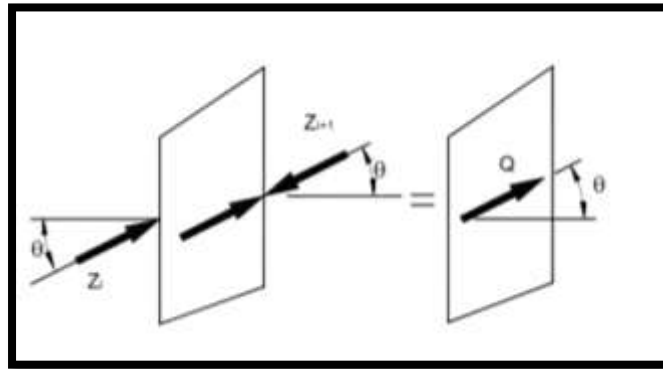


Figura 25. Paralelismo de las fuerzas entre dovelas en el método Spencer

Al ser desconocida la inclinación específica de estas fuerzas entre partículas se calcula como una de las incógnitas en la solución de las ecuaciones de equilibrio. Inicialmente el método Spencer propone una serie de superficies circulares pero este procedimiento también se puede extender a superficies no circulares.

El método de Spencer plantea dos ecuaciones una de de equilibrio de momentos y otra de equilibrio de fuerza, las cuales se resuelven para calcular los ángulos de inclinación factores de seguridad F y las fuerzas entre dovelas θ (Figura 26).

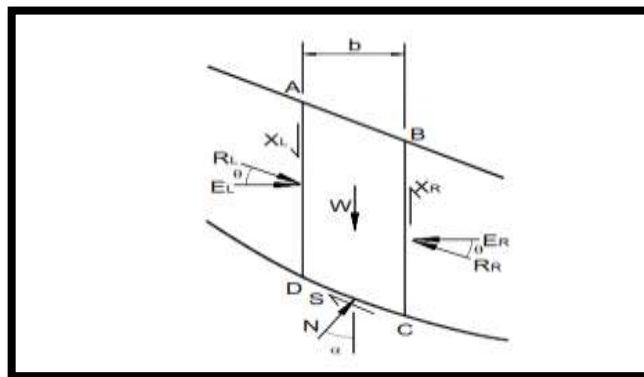


Figura 26. Fuerzas que actúan sobre las dovelas en el método de Spencer

Para la resolución las ecuaciones con el método de Spencer F y θ , usamos un sistema de ensayo y error donde se asumen los diferentes valores de estos factores (de manera repetitiva) hasta que se alcanza un nivel de error aceptable.

Una vez se obtenidos los valores de F y θ por este método calculamos las demás fuerzas sobre las dovelas individuales. Spencer es considerado un método aplicable y muy preciso para casi todo tipo de perfiles de suelo y geometrías variadas de talud y es el procedimiento de equilibrio más sencillo y completo para el cálculo del factor de seguridad. (Duncan y Wright, 2005).

CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

Como ingeniero Industrial y Bachiller de la carrera de Ingeniería Civil desde el 2016, habiendo desarrollado las maestrías en Gestión y Gerencia de la Construcción; y Gestión Ambiental y Minera, me he desempeñado como coordinador de proyectos mineros en diferentes unidades tanto en la etapa de planeamiento, ampliación de operaciones y ahora en planes de cierre de mina. A lo largo de mi trayectoria profesional he participado en proyectos donde puedo mencionar la ampliación de la planta **ANIMÓN** para aumentar la producción de 12000 TMD A 35000 TMD, perteneciente a la empresa **VOLCÁN**, participe en la ampliación de operaciones instalación de los sistemas de filtro prensa, construcción de la fajas mixtas 2 y 3 de la planta **ANIMÓN**, instalación de la subestación eléctrica **ANIMÓN**, instalación de la relavera continua de **CHUNGAR**, desarrollo de la ingeniería piping para alimentación de los holding tanks, tanques de fluctuación. Participo en la ampliación con el diseño de tanques, carpintería metálica en el área de la chancadora primaria, hoald Road y Truck Shop en la minera **CHINALCO**. También he realizado proyectos parecidos para gran minería dentro las unidades **GOLD FIELDS**, **ANTAMINA**, **MINERA RAURA**, **ANTAPACAY** y **MINERA LAS BAMBAS**.

Ingresa a la empresa en la que me encuentro por medio de una convocatoria que se llevó a cabo el año pasado (**2019**), con el fin de la realización del cierre de mina de la unidad Lagunas Norte perteneciente a la Minera Barrick Misquichilca, a partir de ahí he tenido competencia como coordinador de proyectos y gerente de operaciones en los diferentes procesos de cierre, proyecto desarrollado bajo el formato **EPC** y **EPCM** por parte de la empresa **FOMPER S.A.C.** conjuntamente con **MBM**, dentro del trabajo desempeñado como coordinador directo del proyecto, incluye la gestión **CQA** para el aseguramiento de la calidad con respecto al cierre del Botadero de Desmonte Oeste, participación en el proyecto de estudio de revegetación, y revegetación de las áreas correspondientes a la piscigranja y el rancho minero,

desarrollo de los panel test de prueba para la configuración a presentarse al Ministerio de Energía y Minas, para el cierre del botadero Oeste, revegetación y cierre del Botadero Este, cierre de los PAD's de lixiviación, desmantelamiento y obras de demolición de la chancadora primaria, revegetación de la zona de Bladers, sistema de drenaje de las relaveras del **DDO** y **DDE**, cabe indicar que la etapa de cierre y postcierre está proyectado para ejecutarse hasta el año 2030. Como gerente de operaciones de la empresa **FOMPER. S.A.C.** estamos viendo otros proyectos en los cuales tenemos participación, como el proyecto de ampliación de la planta El Mantaro en la concesión de Quichuas perteneciente a **ELECTROPERU**, estudios para el plan de cierre de la unidad minera **PIERINA**, desarrollo de la configuración para el plan de cierre de la unidad minera **ANTAPACAY**.

Mi función como gerente de operaciones y coordinador directo de todos los proyectos de cierre con la unidad Minera Lagunas Norte, van desde la coordinación y el monitoreo de los **CQA** encargados del aseguramiento de la calidad en el plan de cierre progresivo de la unidad minera Lagunas Norte, gestión de tiempo y recursos en los proyectos que se están ejecutando dentro del Depósito de Desmonte Este, control integral y seguimiento de los proyectos como Project Managment, control de proyecto en los **PADS**, con el formato BIM, como BIM managment dentro del proyecto.

Coordinación directa con los stakeholders del proyecto, gestión del valor ganado, aplicación de la filosofía link constriction, and the last planner, para los proyectos que se ejecutan dentro de la unidad, coordinación directa kick off metheng diarios con superintendencia de cierre de minas.

La investigación que se desarrolló en la Unidad minera lagunas Norte perteneciente a la minera Barrick, significa un reto al presentar una nueva propuesta en cuanto a la configuración para la instalación de la cobertura vegetal, con un formato diferente no antes desarrollado en el tema de cobertura de cierres de mina no solo en el sentido de revegetar un área sino también

en el control hídrico que se presenta por las altas precipitaciones de la zona que en sus puntos de mayor escorrentía llegamos a tener un promedio anual de 1875 mm de aguas pluviales lo que significa un riesgo para la estabilidad de la conformación de mis taludes sino que también significa un riesgo a evaluar para evitar que se junten las aguas de contacto con las aguas de no contacto dentro de la unidad minera.

La investigación se desarrolló en base a una trade off desarrollado por el área de hidrología de la unidad minera, se tenía la configuración de diseño mas no el diseño propiamente dicho, esta configuración inicial significo un reto ya que habitualmente la configuración para el diseño de coberturas como se desarrolló con Antapacay o en los planes de cierre de la unidad minera Raura, y en los planes de cierre de la unidad minera Chungar de Volcán presentaban una configuración en base a geotextiles y geoceldas lo que representa un costo alto de coberturado final, la propuesta y la ingeniería que se desarrolló para el plan de cierre de Lagunas Norte implica la mitad del costo utilizado en los planes de cierre de las unidades mineras antes mencionadas.

La configuración finalmente se presentó en 4 panel test de prueba conformados de la siguiente manera, sobre el depósito del desmonte se coloca una cobertura conformada por un geotextil de 270 gr, una geomembrana texturada para un caso y lisa para otro caso de 1mm, luego nuevamente el geotextil de 270 gr, y finalmente capas de 20 y 30 cm de top soil de acuerdo a la configuración de diseño de cada panel de prueba.

Esta experiencia significo un reto, porque no solo se evaluaba el diseño de las coberturas y se desarrollaba el monitoreo de los mismos y su comportamiento, sino teníamos que luchar contra las inclemencias del clima de la sierra de Quiruvilca, una zona de lluvias torrenciales granizos y muchas inclemencias climáticas contra la que tuvimos que salir adelante y se logró el desarrollo de esta investigación que hoy en día representa una nueva ingeniería aplicable a los planes de cierres de mina.

Lo complicado de este proyecto se dio durante la instalación ya que por factores que se dieron como el terreno de entrega que no se encontraba listo para la fecha programada en el cronograma para el inicio de actividades, y las varias modificaciones que se hicieron a la ingeniería inicial retrasaron mas de lo esperado el inicio de actividades para la instalación del panel test, haciendo que estos se construyan cerca a los meses de inicio de precipitaciones en la zona. Esto generaba un problema porque teníamos que controlar el tendido del top soil antes que este se sature, por que en esas condiciones era muy inestable.

El otro gran problema lo tuvimos con la propuesta de operatividad del diseño de cobertura por la complicación en la colocación del material estéril se tuvo que realizar un cambio de última hora a las configuraciones ya colocadas en los panel 1 y 2 formados de acuerdo a su trade off por geotextil geosintéticos y una capa de material estéril el cual se tuvo que cambiar por geonets antes de la colocación de la cobertura final.

De acuerdo al diseño nuestro talud conformado por geosintéticos lisos era el mas critico por lo cual fueron los primeros en tenderse y los primeros en revegetarse, el resultado fue más óptimo de lo esperado por que el crecimiento reticular para la estabilidad de la cobertura vegetal se dio en 3 semana una vez realizada la siembra.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1 Parámetros Del Suelo Representativos

Se realizó el análisis de estabilidad de taludes de acuerdo a los siguientes parámetros:

Tabla 14.

Parámetros de Suelos

Material	color	Peso (Kn/m3)	Tipo análisis	Cohesión (KN/M2)	Phi	Ru
Desmontera		21	Mohr- Coulomb	20	36	0
Top soil		1.85	Mohr- Coulomb	0.35	4	0

Fuente. Estudio propio.

4.1.1 Coeficiente Sísmico de Diseño

Se ha tomado como referencia los datos realizados de los estudios de Peligro Sísmico realizado por el CISMID y del expediente técnico que ha realizado Golder informe de estabilidad física, donde nos da a conocer el coeficiente sísmico para analizar el método pseudo estático de diseño, obtenido en base al registro histórico e instrumental existente.

La elección del coeficiente sísmico de diseño considerando es de una aceleración horizontal de diseño es 0.16g que es equivalente al 50% de la aceleración horizontal pico esperada de 0.32g debido a un evento sísmico de 1:475 periodo de retorno (Golder 2015).

Tabla 15.

Coeficiente Sísmico

kh	Fuerza Sísmica	0.16
----	----------------	------

Fuente. SRK consulting

4.1.2. Coeficientes de Seguridad

Tabla 16.

Coeficiente de seguridad

Coeficientes de seguridad a emplear en el análisis de estabilidad de taludes				
Normativa	Talud temporal		Talud permanente	
	Estática	Sísmica	Estática	Sísmica
AASHTO LRFD	1.30 – 1.53	1.1	1.33 – 1.53	1.0
NAVFAC- DM7	1.3 – 1.25	1.1 – 1.15	1.5	1.2 – 1.15
FHWA-NHI- 11-032	---	1.1	--	1.0
CE 020	---	---	1.5	1.25

Fuente. M. Koerner, diseño de cobertura

La estabilidad se define cuando los valores de seguridad son mayores a los mostrados en el siguiente cuadro.

Tabla 17.

Coeficiente de seguridad utilizada para el diseño

	Coeficiente de Seguridad mínimo
Estabilidad Estática	1.30
Estabilidad Sísmica	1.00

Fuente. M. Koerner, diseño de cobertura

4.1.3. Resultados de Análisis de Estabilidad de Taludes

(Duncan 2005). De acuerdo al Análisis de Estabilidad de Taludes realizado por el Método de Spencer dovelas y parámetros de laboratorio, se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 18.

Análisis de estabilidad de taludes posterior a la cobertura

Análisis de Estabilidad de Taludes posterior a la cobertura espesor 20cm Método de Spencer					
Tipo de análisis	Tipo de suelo	Cohesión kPa	ϕ	γ_{suelo} (kN/m ³)	FS

Estático y Pseudo Estático (Kh=0.16)	0.35	4	15.2	7.01 (Posterior a la cobertura)
---	------	---	------	------------------------------------

Fuente. Estudio propio.

4.1.4. Tipo de análisis estático con cobertura de 20 cm.

Se desarrollo el análisis de cobertura por el Método de Espenscer, aplicado a la íesima dovola para un talud de 12 metros con una cobertura de 20cm en estado estático, no se considera saturación para el análisis de estabilidad de la cobertura. (Duncan y Wright, 2005).

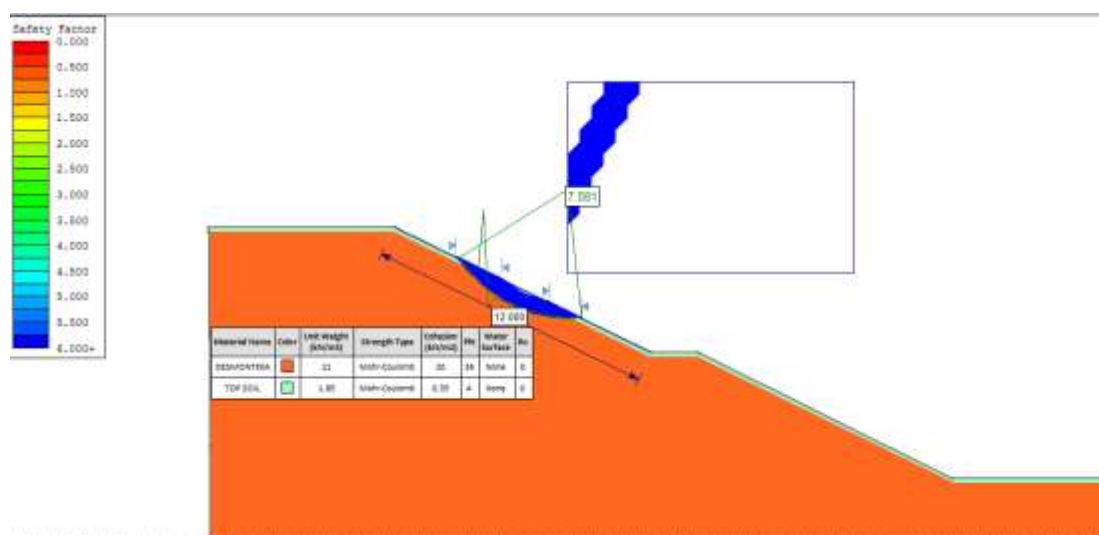


Figura 27. Análisis estático software Geoslope

4.1.5. Tipo de análisis pseudoestático con cobertura de top soil de 20 cm

Se desarrollo el análisis de cobertura por el Método de Espenscer, aplicado a la íesima dovola para un talud de 12 metros con una cobertura de 20 cm en estado pseudoestático, no se considera saturación para el análisis de estabilidad de la cobertura. (Duncan y Wright, 2005).

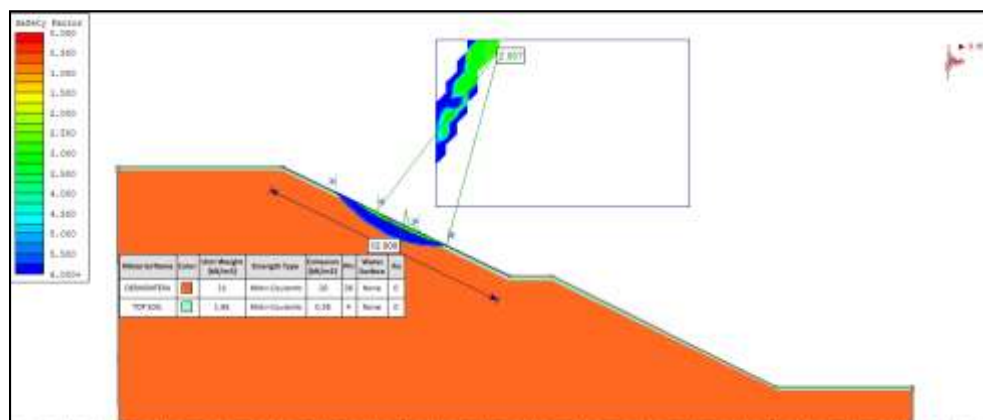


Figura 28. Análisis pseudoestático software Geoslope

Tabla 19.

Análisis de estabilidad de taludes posterior a la cobertura de 30cm Método de Spencer

Análisis de Estabilidad de Taludes posterior a la cobertura espesor 30cm Método de Spencer					
Tipo de análisis	Tipo de suelo	Cohesión kPa	φ	γ suelo (kN/m ³)	FS
Estático y Pseudo					2.857
Estático (Kh=0.16)	Top soil	0.3 5	4	15.2	(Posterior a la cobertura)

Fuente: estudio propio

Tabla 20.

Análisis de estabilidad de taludes posterior a la cobertura

Cuadro 1: Método de Spencer				
Capas del coberturado cm	Coficiente de seguridad análisis estático	de	Coficiente de seguridad análisis Seudo-estático	Factor de seguridad
20	2.23		1.6	Acceptables

Fuente: estudio propio

4.2. Tipo de análisis estático con cobertura de top soil de 30 cm.

Se desarrollo el análisis de cobertura por el Método de Espenscer, aplicado a la íesima dovela para un talud de 12 metros con una cobertura de 30 cm en estado estático, no se considera saturación para el análisis de estabilidad de la cobertura. (Duncan y Wright, 2005).

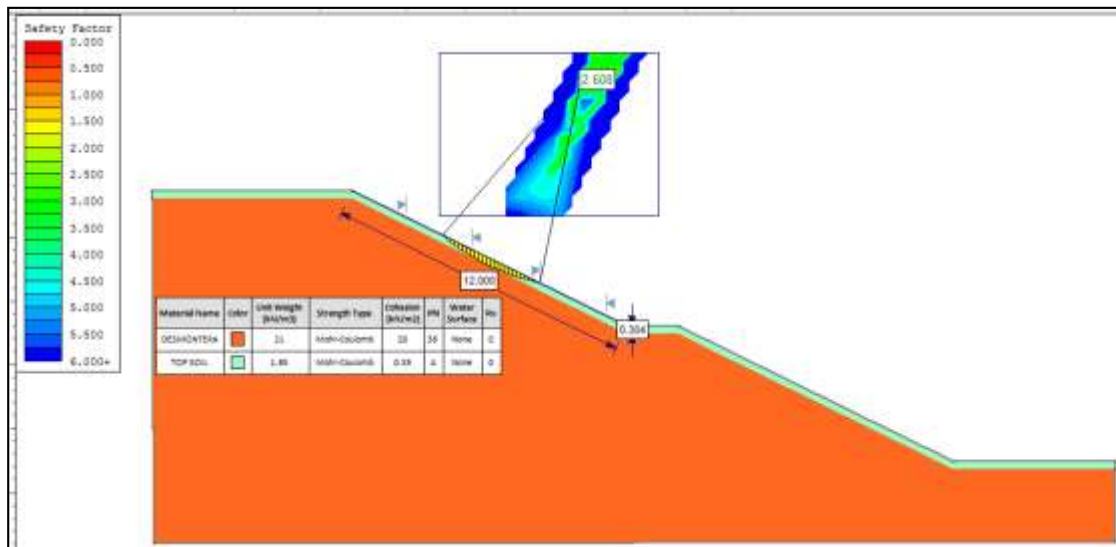


Figura 29. Análisis estático cobertura de top soil de 30 cm.

4.3. Tipo de análisis pseudoestático con cobertura de top soil de 30cm.

Se desarrollo el análisis de cobertura por el Método de Espenscer, aplicado a la íesima dovela para un talud de 12 metros con una cobertura de 20cm en estado estático, no se considera saturación para el análisis de estabilidad de la cobertura. (Duncan y Wright, 2005).

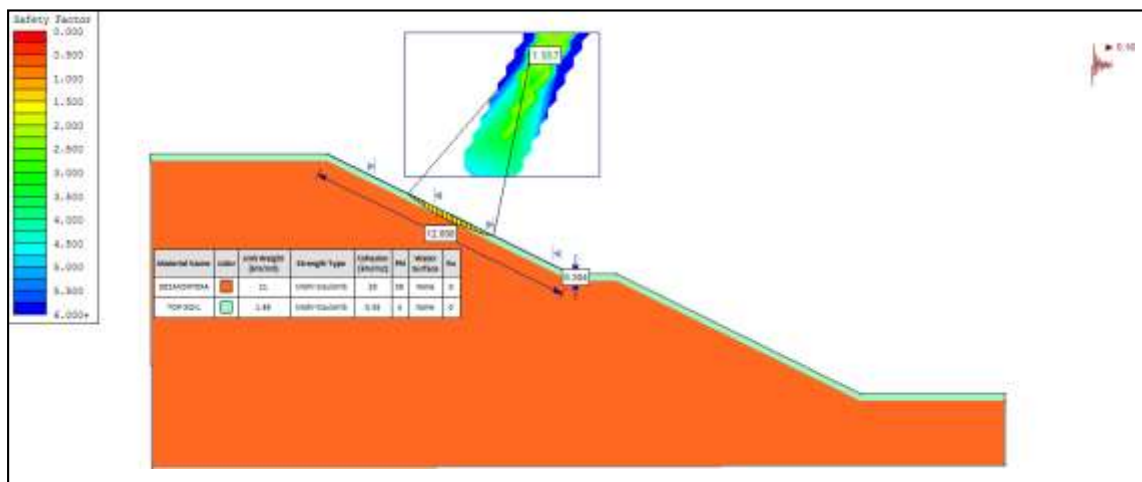


Figura 30. Análisis pseudoestático cobertura de top soil de 30 cm.

4.4. Cuadro resumen de estabilidad después de la cobertura.

Tabla 21.

Análisis de estabilidad de taludes posterior a la cobertura

cuadro 1: Método de Spencer			
capas del coberturado cm	coeficiente de seguridad en el análisis estático	coeficiente de seguridad análisis Pseudo-estático	Factor de seguridad
20	1.3	1	Aceptable
30	1.3	1	Aceptable

Fuente: Estudio propio.

4.5. Comentarios, Problemas y Acciones

(Duncan y Wright, 2005). En la estabilidad posterior al coberturado se presentan las fuerzas que actúan sobre las dovelas Obteniendo los valores de F y θ , se calculan las demás fuerzas sobre las dovelas individuales. El método de Spencer es considerado es muy preciso y aplicable para casi todo tipo de geometría de talud.

Por lo que se observa que fuerzas en las capas de coberturado de 30 cm para la prueba.

Se adjunta los detalles de las dovelas con sus respectivos esfuerzos por cada 60cm de largo.

Dovelas de capas de 30 cm de top soil del coberturado.

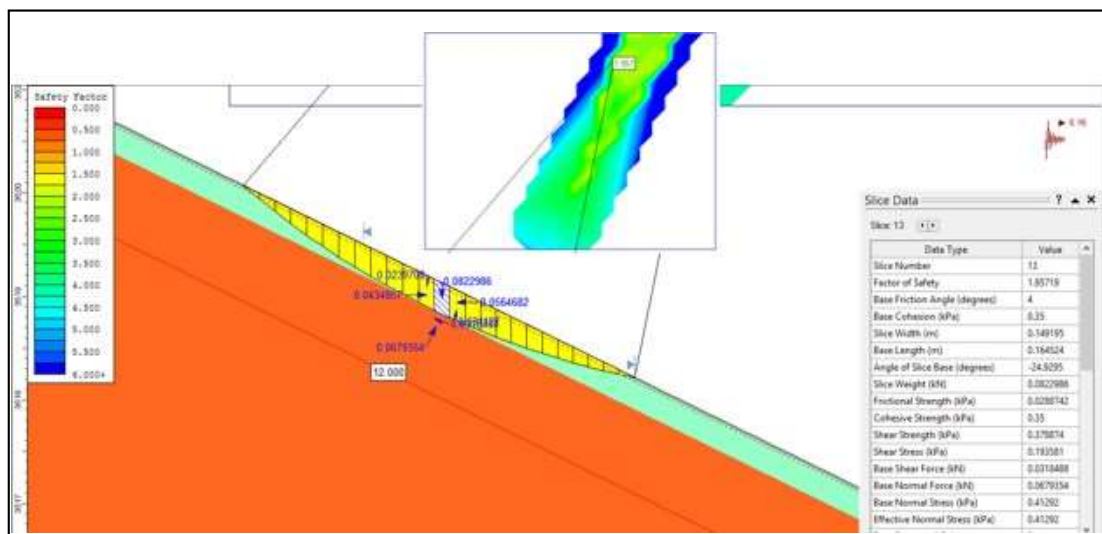


Figura 31. Dovelas de capas de 20cm de coberturado.

4.6. Hojas de Cálculo del Coberturado

Se han realizado las corridas de estabilidad de la cobertura, las corridas de estabilidad de cobertura consisten en el análisis estáticos y análisis pseudoestáticos en una longitud talud $L = 12\text{m}$ con un talud de 2:1.

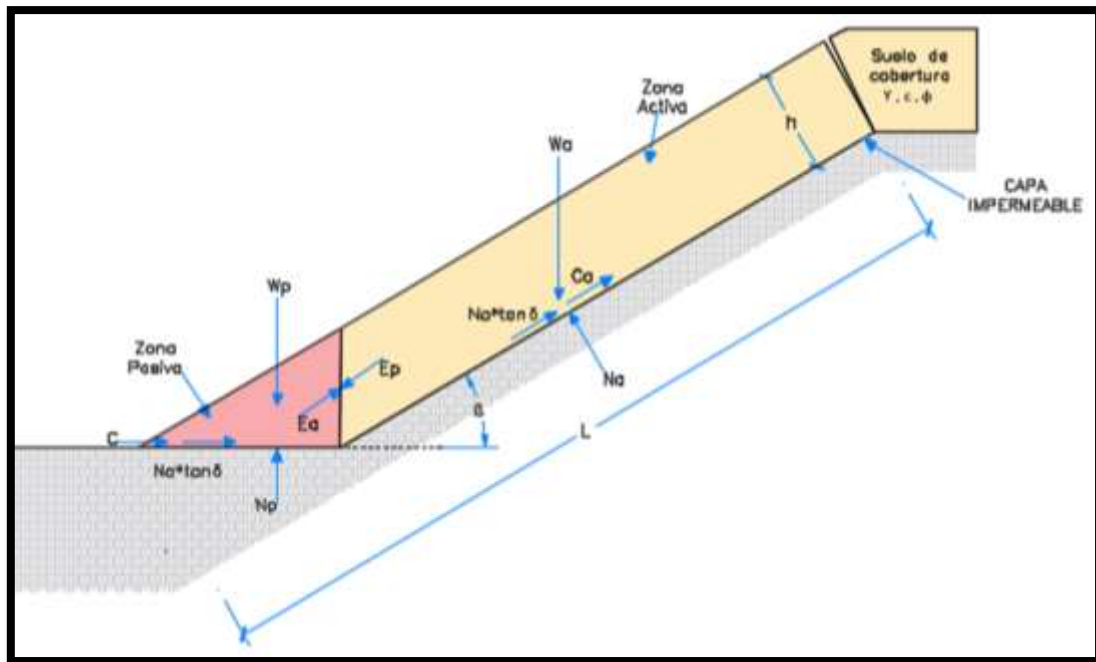


Figura 32. Análisis estático, modelo de talud finito

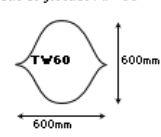
FOMPER S.A.C. Siempre a tu servicio		ANÁLISIS Y DISEÑO DE COBERTURA PARA CIERRE DE MINA CON GEOTEXTIL, GEOMEMBRANA	
CASO I ANÁLISIS ESTÁTICO		FECHA 12/09/2020	
PROYEC "INSTALACION PANEL TEST"			
GEOMETRÍA DEL TALUD			
Longitud inclinada del talud (L)	12.00 m	Altura de talud (H)	5.35 m
Ángulo de talud (°)	26.50	Talud (X:H:V)	2.01 :1
COBERTURA			
Altura de la cobertura (h)	0.20 m		
Altura de la geocelda	0.00 m		
PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL SUELO PARA COBERTURA			
Peso específico natural del relleno	15.2 kN/m ³	Modelo de geocelda TW 60	
Peso específico saturado del relleno	19.2 kN/m ³		
Ángulo de fricción del relleno (phi)	4		
Cohesión del relleno	0.35 kN/m ²		
CARACTERÍSTICAS DE LA INTERFASE			
Adhesión en la interfase (ca)	0.25 kN/m ²		
ANÁLISIS SIN REFUERZO (GEOTEXTIL, GEOMEMBRANA Y GEOTEXTIL)			
Fricción en la interfase (geomembrana y geotextil) 25			
Peso de la cobertura en la zona activa (Wa)	1.44 kN/m	Fuerza de adhesión en la interfase (Ca)	0 kN/m
Fuerza normal en la zona activa (Na)	0.29 kN/m	Cohesión en el plano de falla de la zona activa (C)	0.1 kN/m
Peso de la cobertura en la zona pasiva (Wp)	1.536 kN/m		
Empuje activo	1.45 kN/m		
Empuje pasivo	1.98 kN/m		
FS 1.68		#DIV/0!	

Figura 33. Análisis estático, cobertura de 20 cm geomembrana texturada 1mm

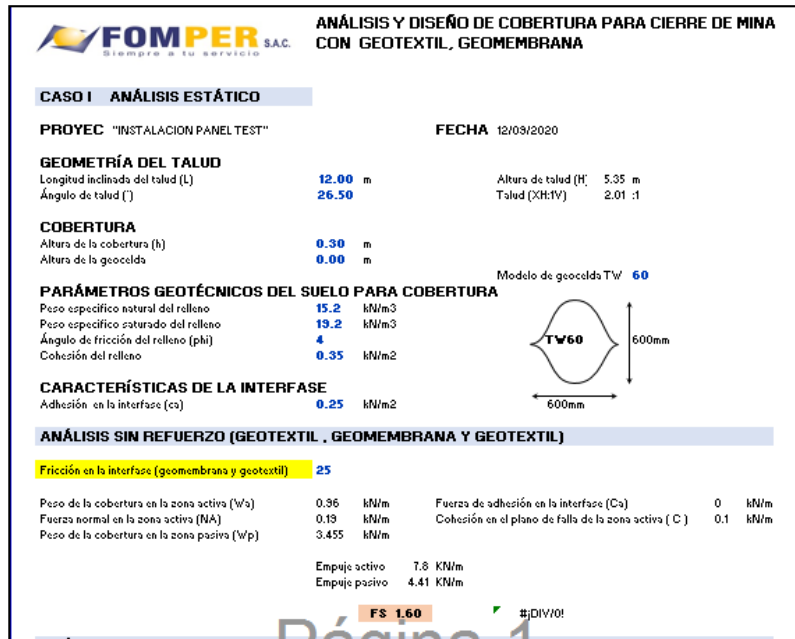


Figura 34. Análisis estático, cobertura de 30 cm geomembrana texturada 1mm.

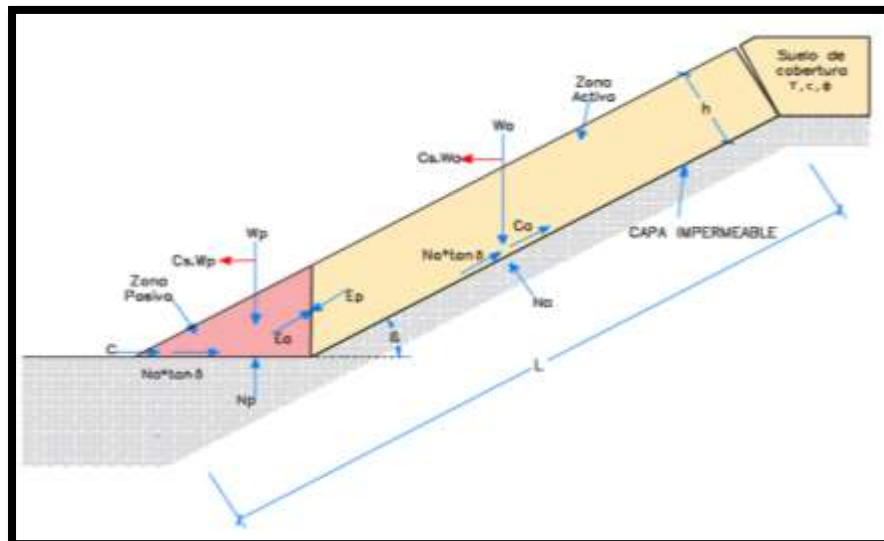


Figura 35. Análisis estático modelo de talud finito con sismo.

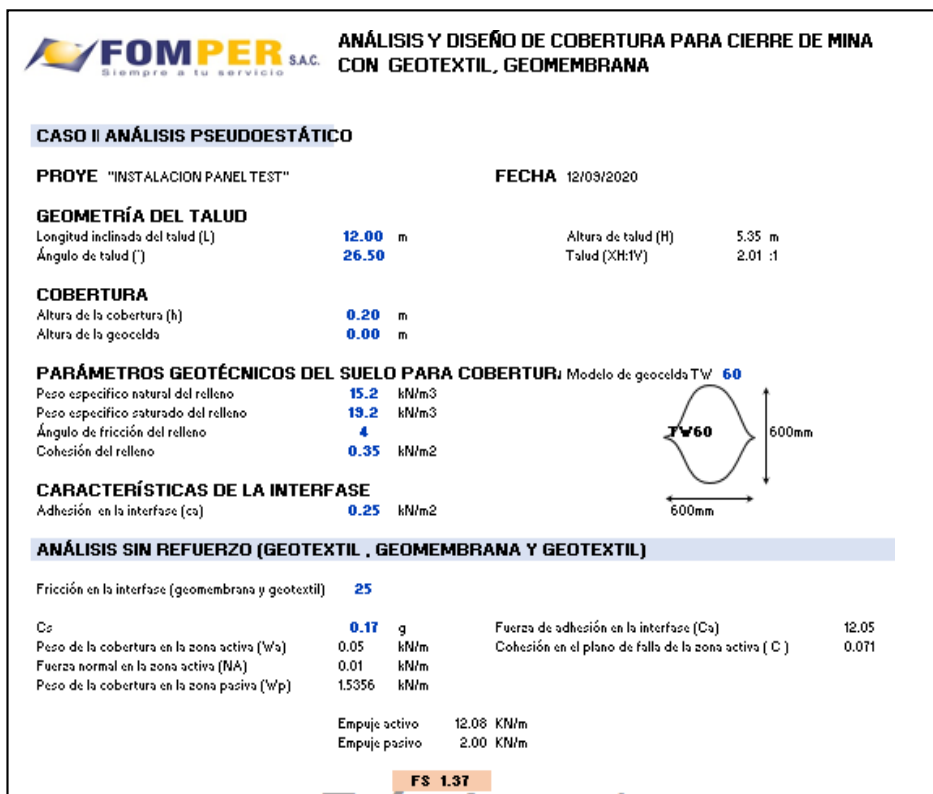


Figura 36. Análisis pseudoestático, cobertura de 20cm con geomembrana texturada de 1mm.

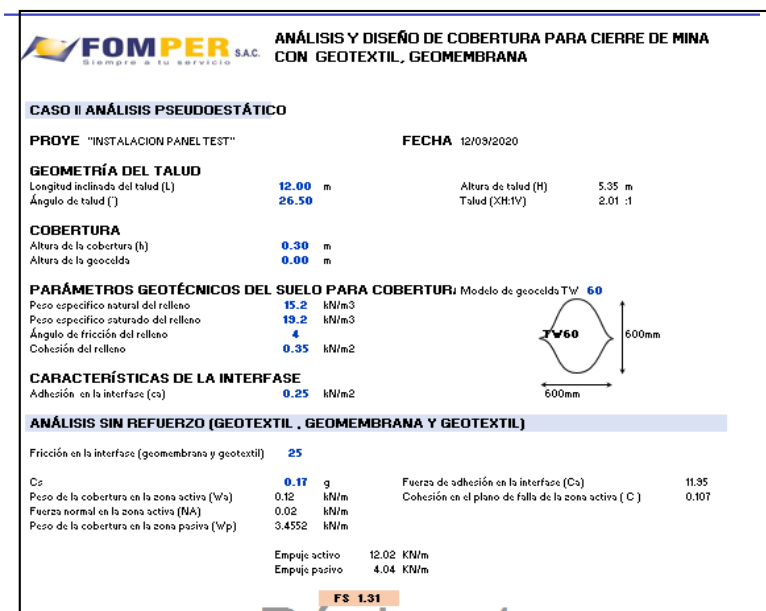


Figura 37. Análisis pseudoestático, cobertura de 30cm con geomembrana texturada de 1mm

4.7. Hojas de cálculo del coberturado de espesores de 20 cm y 30 cm geomembrana lisa

Se ha realizado solo en condiciones de temporada seca, las corridas de estabilidad de cobertura consisten en el análisis estáticos y análisis seudoestáticos en una longitud talud $L = 12$ m, con un talud 2:1, con geomembrana HDPE lisa 1 mm.

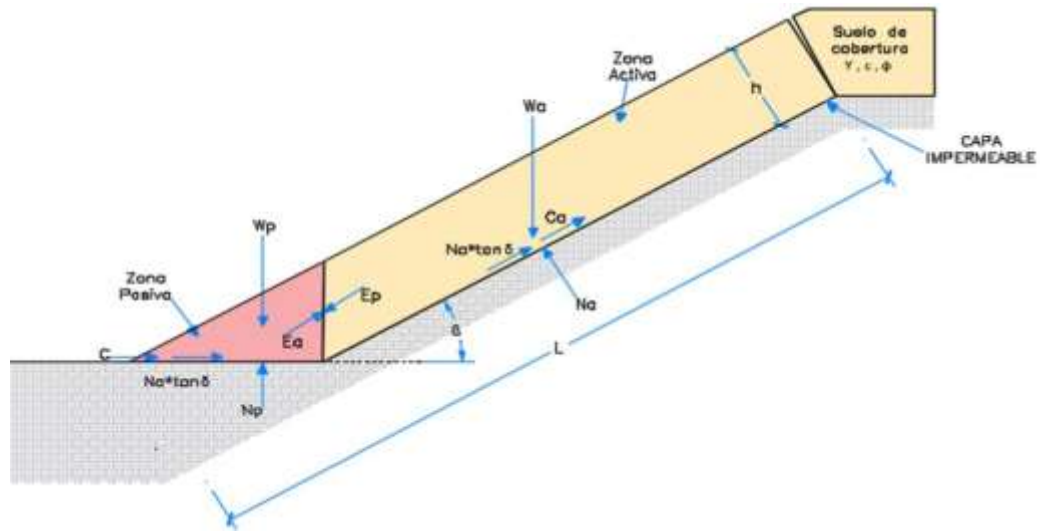


Figura 38. Modelo de talud finito.

FOMPER S.A.C. Siempre a tu servicio		ANÁLISIS Y DISEÑO DE COBERTURA PARA CIERRE DE MINA CON GEOTEXTIL, GEOMEMBRANA EN CONDICIONES DE TEMPORADA SECA	
CASO I ANÁLISIS ESTÁTICO		FECHA 12/03/2020	
PROYEC "INSTALACION PANEL TEST"			
GEOMETRÍA DEL TALUD			
Longitud inclinada del talud (L)	12.00 m	Altura de talud (H)	5.35 m
Ángulo de talud (°)	26.50	Talud (X:Y)	2.01 :1
COBERTURA			
Altura de la cobertura (h)	0.20 m		
Altura de la geocelda	0.00 m		
PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL SUELO PARA COBERTURA			
Modelo de geocelda TW 60			
Peso específico natural del relleno	15.2 kN/m ³		
Peso específico saturado del relleno	19.2 kN/m ³		
Ángulo de fricción del relleno (phi)	4		
Cohesión del relleno	0.35 kN/m ²		
CARACTERÍSTICAS DE LA INTERFASE			
Adhesión en la interfase (ca)	0 kN/m ²		
ANÁLISIS SIN REFUERZO (GEOTEXTIL, GEOMEMBRANA Y GEOTEXTIL)			
Fricción en la interfase (geomembrana y geotextil)		25	
Peso de la cobertura en la zona activa (Wa)	34.88 kN/m	Fuerzas de adhesión en la interfase (Ca)	12 kN/m
Fuerza normal en la zona activa (NA)	7.05 kN/m	Cohesión en el plano de falla de la zona activa (C)	0.1 kN/m
Peso de la cobertura en la zona pasiva (Wp)	1.536 kN/m		
Empuje activo	11.8 KN/m		
Empuje pasivo	1.98 KN/m		
FS 1.58		#DIV/0!	

Figura 39. Análisis estático, cobertura de 20cm con geomembrana lisa de 1mm.

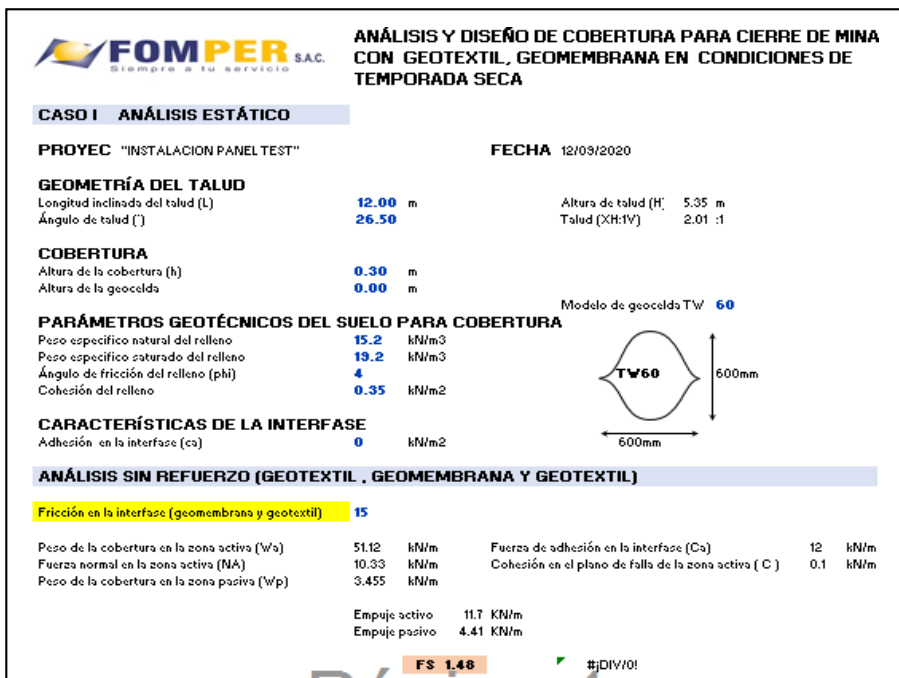


Figura 40. Análisis estático, cobertura de 30cm con geomembrana lisa de 1mm

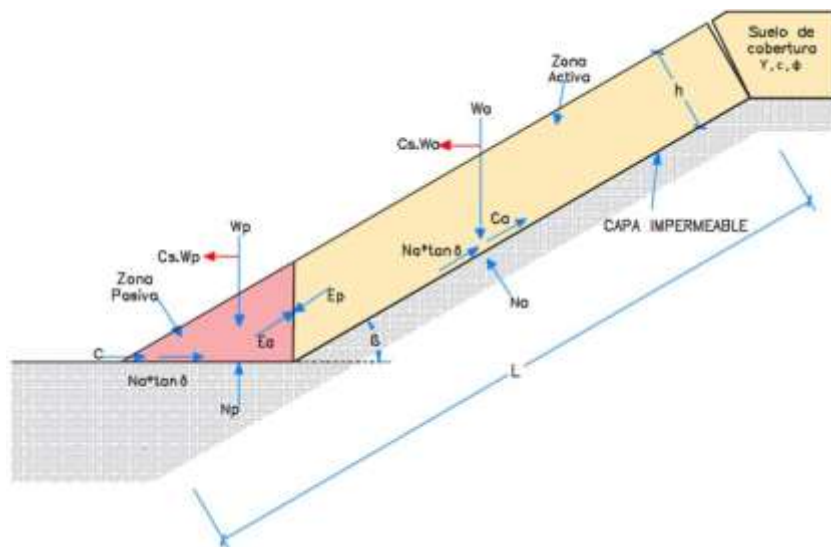


Figura 41. Análisis pseudoestático, modelo del talud finito con sismo.

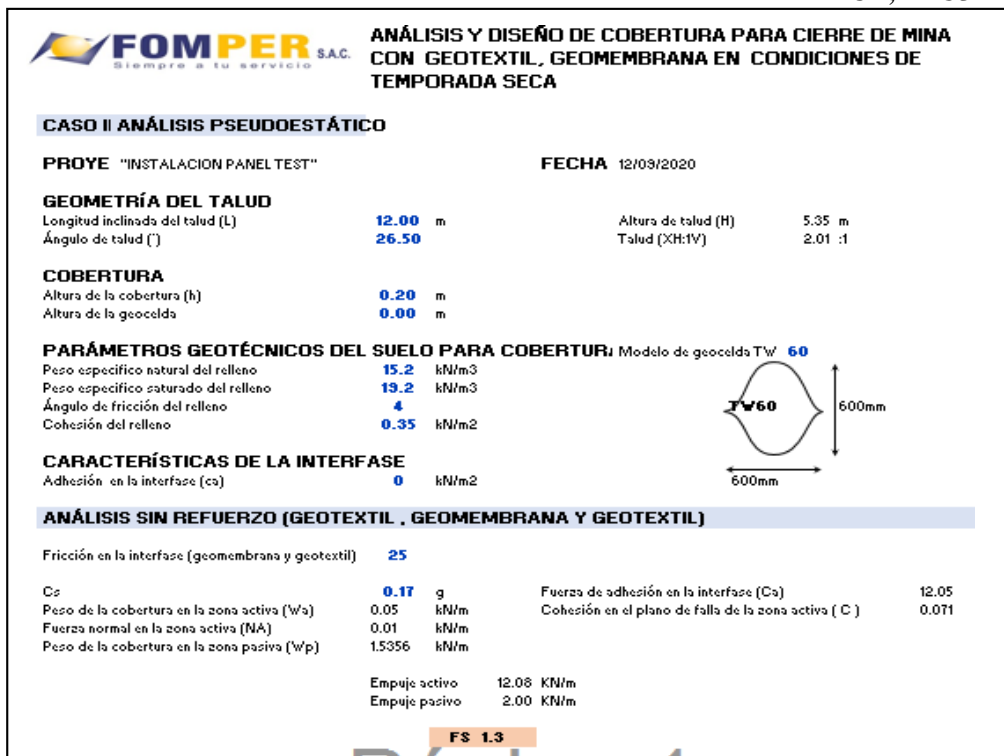


Figura 42. Análisis pseudoestático, cobertura de 20cm con geomembrana lisa de 1mm.

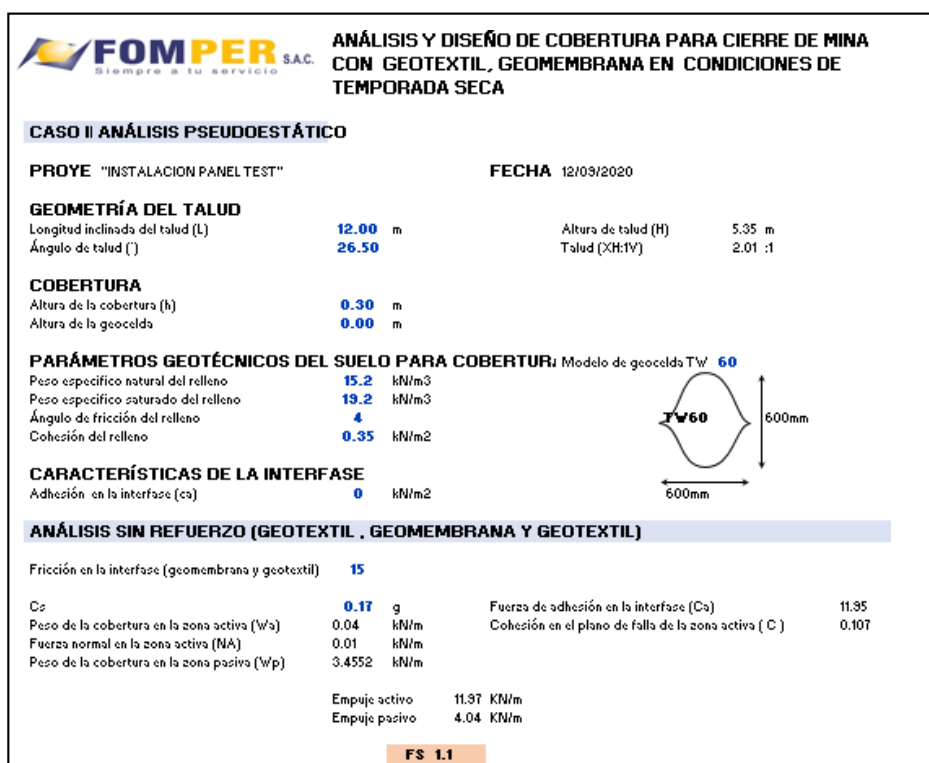


Figura 43. Análisis pseudoestático, cobertura de 30cm con geomembrana lisa de 1m

4.8. Análisis de saturación en precipitaciones máximas en cobertura top soil.

La caracterización hidrometeorológica tiene por objetivo aproximar el patrón de los ingresos de agua de lluvia a la microcuenca. El análisis de estos registros históricos, el conocimiento de la hidrología regional y la apreciación obtenida en la visita de campo permite estimar los flujos representativos, su variación temporal y espacial. Para lograr una caracterización climática del área de estudio se consideró la información climatológica de la estación automática ESTM-01, la cual posee información a nivel diario para el periodo 2002- 2018 (17 años) de precipitación, mientras que para los parámetros temperatura media, temperatura máxima, temperatura mínima, velocidad de viento, humedad relativa y radiación solar se cuenta con información del periodo 2009 – 2018 (10 años). (Fuente SRK Consulting)

Tabla 22.

Resultados a nivel mensual del balance hídrico de la cobertura tipo I.

Parámetro	EN E	FE B	MA R	AB R	M A Y	J U N	J U L	A G O	S E P	OC T	NO V	DI C	Anu al	% Anu al
Precipitación (mm)	16 2.4	16 8.1	25 8.0	19 0.5	94 .7	3 2. 7	1 9. 3	19 .9	5 0. 3	13 3.7	12 9.4	14 1.7	140 0.5	100. 0%
Escurrentía (mm)	68. 4	83. 6	16 0.5	10 8.9	34 .3	1. 7	0. 4	0. 7	2. 2	33. 7	43. 5	47. 7	585 .7	41.8 %
Evapotrans piración (mm)	88. 8	83. 7	88. 8	84. 3	75 .1	4 8. 3	2 8. 2	17 .6	2 9. 9	82. 0	87. 8	88. 5	803 .0	57.3 %
Percolación a Mine Waste (mm)	1.1	1.0	1.1	1.1	1. 1	0. 9	0. 8	0. 6	0. 6	0.9	1.0	1.0	11. 1	0.8 %

Por tal motivo se tomará referencia promedio de $hw=0.020m$ la altura de agua en precipitaciones máximas entre Noviembre y Abril, de la investigación. (SRK Consulting Mayo 2020).

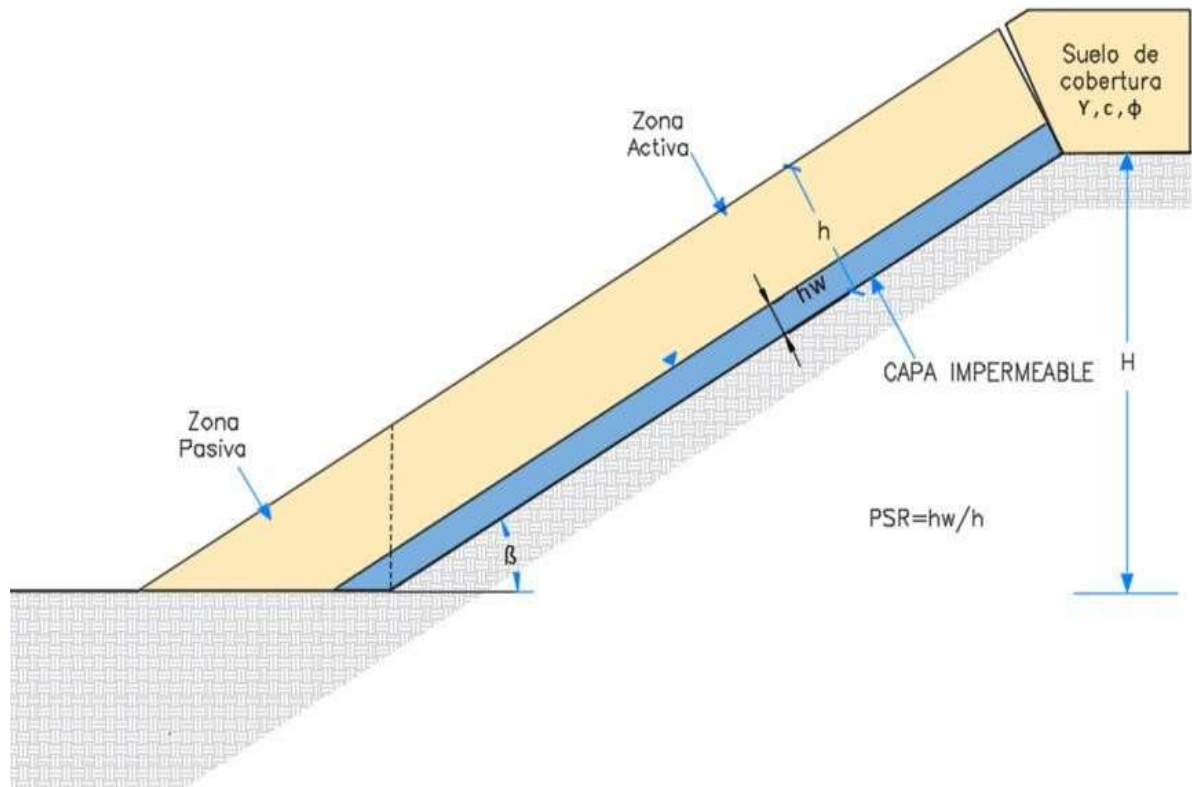


Figura 44. Análisis de saturación en precipitaciones máximas en cobertura de top soil.

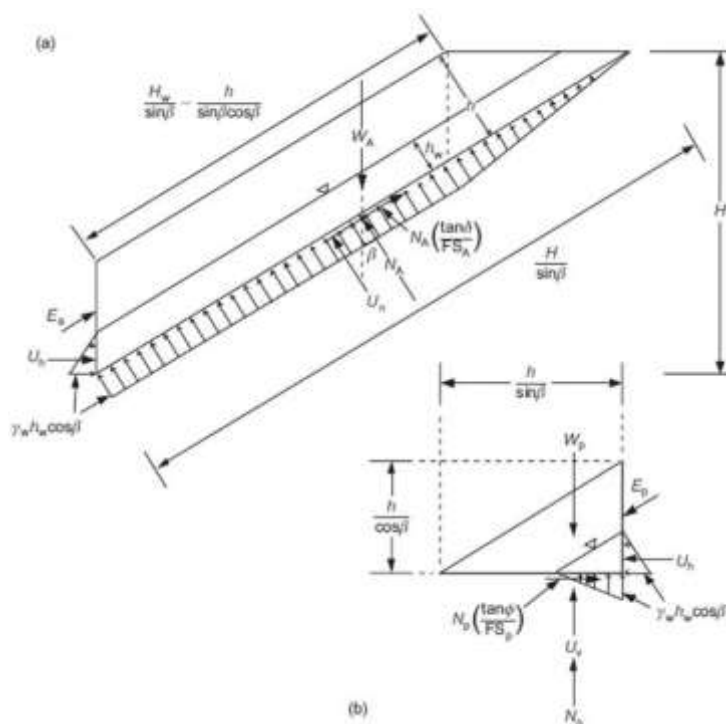


Figura 45. Modelo del Talud finito con saturación de la cobertura.


FOMPER S.A.C. Siempre a tu servicio		ANÁLISIS Y DISEÑO DE COBERTURA PARA CIERRE DE MINA CON GEOTEXTIL, GEOMEMBRANA	
CASO III ANÁLISIS POR FILTRACIÓN PARALELO		FECHA 12/03/2020	
PROYEC "INSTALACION PANEL TEST"		Altura de talud (H) 5.35 m	
GEOMETRÍA DEL TALUD		Talud (X:H:V) 2.01 :1	
Longitud inclinada del talud (L)	12.00 m		
Ángulo de talud (°)	26.50		
COBERTURA			
Altura de la cobertura (h)	0.20 m		
Altura de la geocelda	0.00 m		
PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL SUELO PARA COBERTURA		Modelo de geocelda TW 60	
Peso específico natural del relleno	15.2 kN/m ³		
Peso específico saturado del relleno	19.2 kN/m ³		
Ángulo de fricción del relleno	4		
Cohesión del relleno	0.35 kN/m ²		
CARACTERÍSTICAS DE LA INTERFASE			
Adhesión en la interfase (ca)	0.25 kN/m ²		
ANÁLISIS SIN REFUERZO (GEOTEXTIL, GEOMEMBRANA Y GEOTEXTIL)			
Fricción en la interfase (geomembrana y geotextil)		25	
Peso específico del agua	9.81 kN/m ³		
Altura del agua (hw)	0.02 m	PSR	0.10
Peso de la cobertura en la zona activa (W'a)	325.2 kN/m	Fuerza normal en la zona activa (NA)	16.99 kN/m
Resultante de la presión de poro perpendicular al talud (Un)	239.60 kN/m	Peso de la cobertura en la zona pasiva (W'p)	1.0006 kN/m
Resultante de la presión de poro en la superficie de interfase (Uv)	0.05 kN/m	Resultante de la presión vertical de poro en la zona pasiva (Uv)	0.01 kN/m
Empuje activo	2.26 kN/m		
Empuje pasivo	27.3 kN/m		

Figura 46. Análisis de saturación con altura de 20 cm y geomembrana texturada.

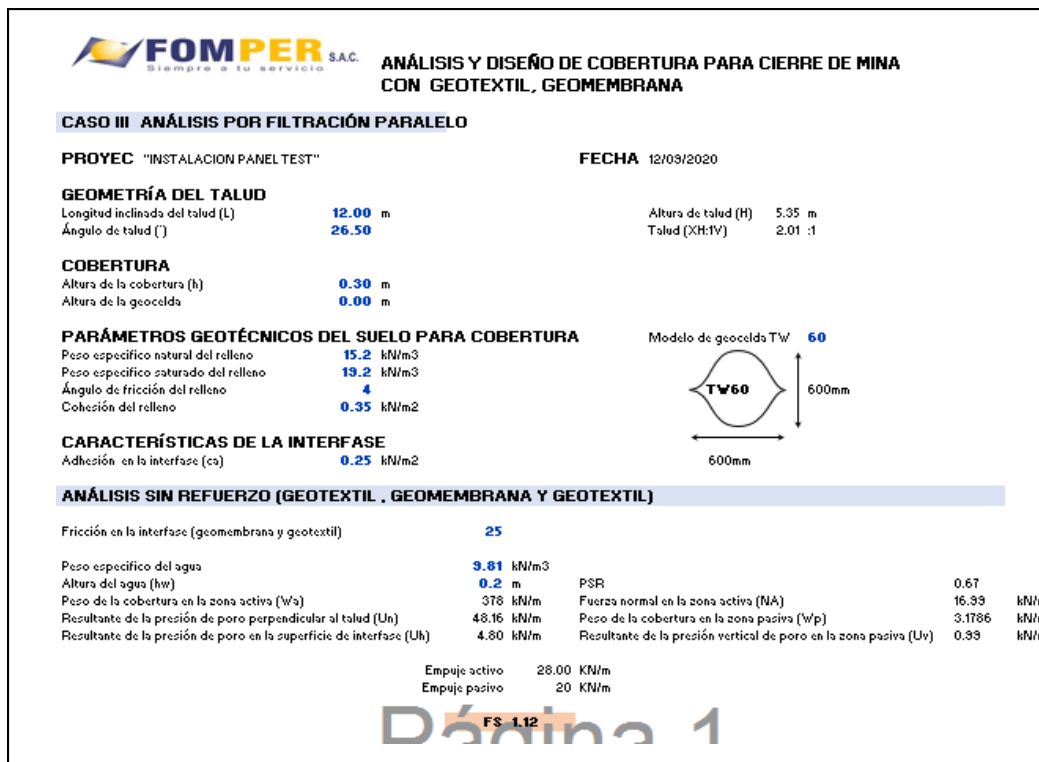


Figura 47. Análisis de saturación con altura de 30 cm y geomembrana texturada

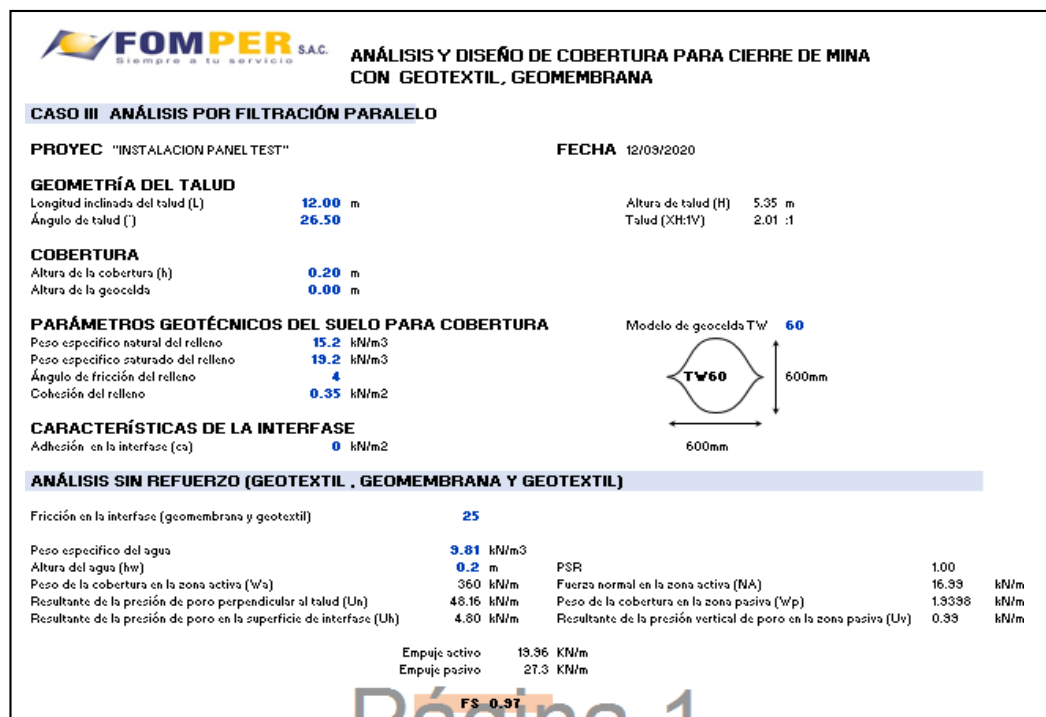


Figura 48. Análisis de saturación con altura de 20 cm y geomembrana lisa.

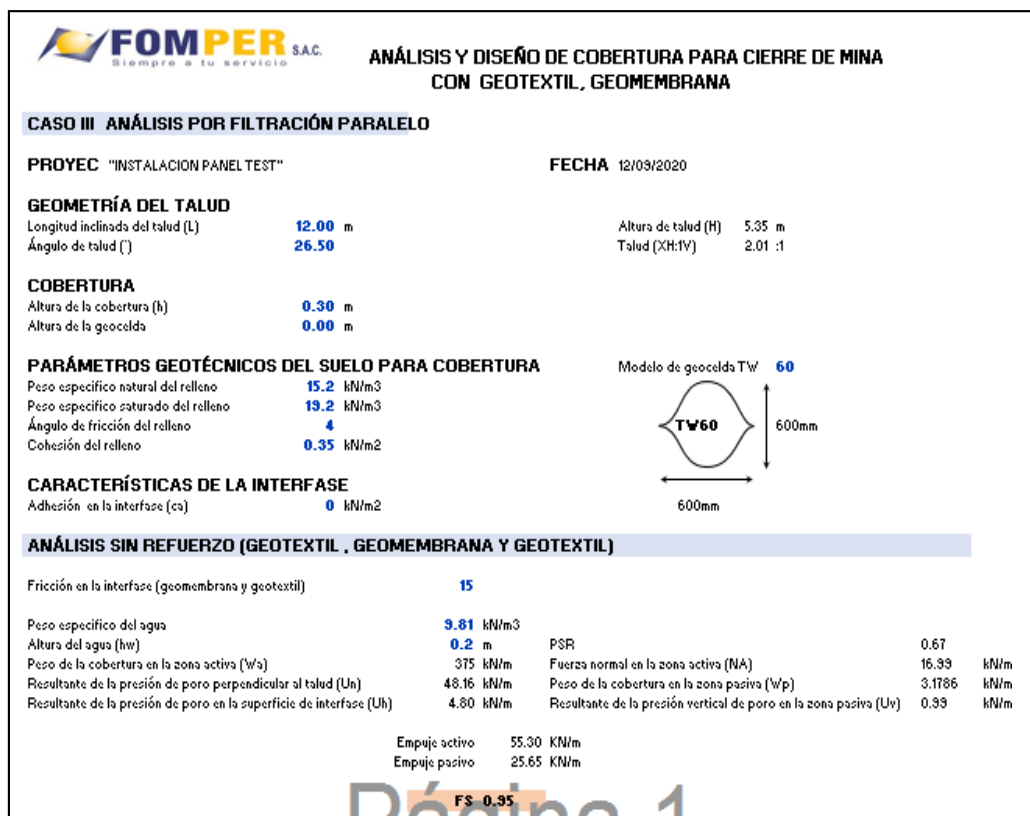


Figura 49. Análisis de saturación con altura de 30 cm y geomembrana lisa.

4.9. Resumen de comprobación de tensores entre cobertura (top soil espesores de 20 y 30 cm) vs geomembrana (texturada o lisa) y geotextil.

Tabla 23.

Comprobación de tensores.

TIPO DE GEOMEMBRANA	ESPESOR DE COBERTURA	Sin Sistema Tec Web Factor			
		ANÁLISIS	Factor Seguridad mínimo	Seguridad	Sin sistema Tec Web
	20 cm	Análisis estático	1.34	1.41	ACEPTABLE
		Análisis pseudoestático	1.2	1.3	ACEPTABLE
		Análisis de saturación	1	1.1	ACEPTABLE
TEXTURADA		Análisis estático	1.34	1.39	ACEPTABLE

Fuente: Estudio propio.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

De acuerdo a la investigación realizada, concluyo con las siguientes conclusiones:

- El material de cobertura top soil con espesor 0.20 m, con el método Spencer (Análisis bloque deslizante) con el programa Slide 06; nos representa en el análisis estático con FS = 1.735, en caso de sismos presenta un factor de FS = 1.317; los cuales son aceptables; por consiguiente el coberturado en el talud es estable en condiciones saturadas de topsoil con espesor 0.20m.
- El material de cobertura top soil con espesor 30 cm, con el método Spencer (Análisis bloque deslizante) en condiciones saturadas de topsoil con el programa Slide 06; nos representa en el análisis estático con FS = 1.003, en caso de sismos presenta un factor de FS = 0.748; los cuales No son aceptables; por consiguiente, el coberturado en el talud es estable en condiciones saturadas de topsoil.
- El material de cobertura top soil con espesores de top soil de 20 y 30 cm en temporadas de lluvias; se realizó el análisis de saturación en precipitaciones máximas con geomembrana texturada presenta un factor de seguridad de 1.78 el cual es aceptable, en temporadas de lluvias se realizó el análisis saturación en precipitaciones máximas con geomembrana.
- Los valores de factores de seguridad en la estabilidad de cobertura en cada caso para geomembrana texturada y lisa, nos representa la resistencia a la tensión de la geomembrana en el Diseño Geotécnico de top soil con espesor de 20 cm y 30 cm de espesor, los cuales nos representan que la geomembrana texturada es la más ideal para el despliegue en taludes su factores de seguridad varían en un rango FS=1.78.
- De acuerdo al diseño manual desarrollado por el método del talud finito en la cobertura

de geomembrana lisa tanto de 20 cm, como de 30 cm, la cobertura se estabiliza con el factor de seguridad mínimo que es para el caso crítico de saturación de 20 cm con un $FS=1$.

- En el sector de la cobertura, existen zonas de transición entre el material de top soil y el geotextil, que se encuentra confinado por la sobrecarga de esfuerzo de los materiales, el cual podría existir fallas locales cuando la segunda capa de geotextil se rasgue o pierda resistencia a causa de la filtraciones de aguas y la fricción de las rocas o estar expuesto a la intemperie a largo plazo.
- La siembra o trasplante de las plantas nativas estabilizan la capa superficial revegetada la altura apropiada de top soil es de 0.20cm, por ende se pretende evaluar el crecimiento radicular (raíces activas, longitud y peso por cada muestra tomada) a los 3, 6 y 12 mes después de la instalación en campo. Si el caso fuera lenta reacción de la planta después del trasplante o siembran se sugiere aumentar dosis proporcionalmente de NPK y mantener el suelo en capacidad de campo para el adecuado crecimiento en caso se observe sequía.

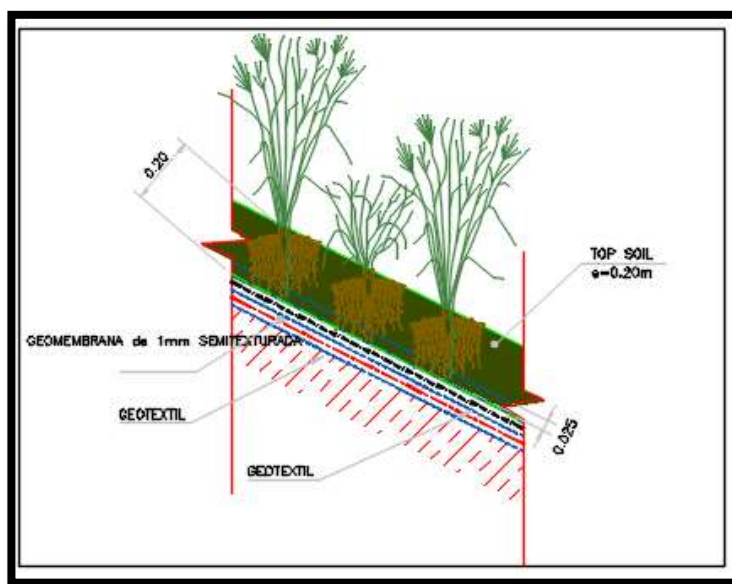


Figura 50. Esquema de cobertura final

5.2. Recomendaciones

Se recomienda lo siguiente:

- El uso de geonets se presentó en campo como una solución más práctica para el control de la percolación, la evaluación desarrollada en el monitoreo aproxima más los resultados de campo a los entregados por la consultora SRK a los paneles donde se ensayaron la cobertura con la consideración del geonets.
- Una manera de generar la estabilidad de taludes y el control de las aguas superficiales, asegurando el correcto balance hídrico y la estabilidad de la cobertura se da con la colocación de una capa de 5 a 7 cm aprox. De piedra lo cual estabiliza mi talud, haciendo que el top soil no se sature y permitiendo que la grava cumpla la función de filtro de la escorrentía superficial.
- Una configuración aceptable para presentarla en el cierre del DDO, puede considerar ante la falta de canteras de arcilla y grava la colocación simplemente del geonet entre cobertura y cobertura para poder tener un control y desarrollar un manejo de las aguas de contacto de la superficie de los depósitos de desmonte en la unidad minera.

REFERENCIAS

- Crespo, C. (2004). Mecánica de suelos y cimentaciones (5° Ed.). México: Limusa.
- Estimación del potencial minero metálico del Perú y su contribución económica al Estado, acumulado al 2050. (2018): Instituto geológico, minero y metalúrgico INGEMMET. Lima- Perú: 1° Edición.
- Evaluation of Landfill Performance (HELP) Model: User's Guide for Version 3," EPA/600/R-94/168a, September 1994, U.S. Environmental Protection Agency Office of Research and Development, Washington, DC.
- Guía Para El Diseño De Coberturas De Depósitos De Residuos Mineros, Sub - Sector Minería, Dirección General De Asuntos Ambientales Mineros, Ministerio De Energía Y Minas, 2007.
- GeoSystems Analysis (GSA), 2015, Cover System Test Panel Monitoring - Final Report
- Schroeder, P. R., Aziz, N. M., Lloyd, C. M. and Zappi, P. A. (1994). "The Hydrologic
- Hernández (2014). Metodología de la investigación (6° Ed.). México.
- Koerner and Soong (2003) Designning with geosynthetics.4 edition
- *http://www.minem.gob.pe/_legislacionM.php?idSector=1&idLegislacion=4844
- **http://www.minem.gob.pe/_legislacionM.php?idSector=1&idLegislacion=4724
- ***http://www.minem.gob.pe/_legislacionM.php?idSector=1&idLegislacion=4712
- *http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dgm/legislacion/LEY%20N_28271.pdf
- **<http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dgm/legislacion/2009%2008.PDF>
- Juárez, E., & Rico, A. (2009). Mecánica de Suelos- Fundamentos de la Mecánica de Suelos. México.

MTC E 108 (2000). Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. Perú: Instituto de Construcción y Gerencia. Perú

NTP 339.129. (1999). Método de ensayo para determinar el Límite Líquido, Límite Plástico E Índice De Plasticidad De Suelos. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales. Lima-Perú: 1° Edición.

Ley N° 28090 – MEM*. Ley que regula el Cierre de Minas (14-10-2003), con su respectivo reglamento aprobado mediante D.S. N° 033-2005-EM**. Reglamento para el cierre de minas. (15-08-2005) (Art. 12° y 13°) y sus modificatorias aprobadas mediante D.S. N° 045-2006-EM. Modifican artículos del Reglamento de la Ley de Cierre de Minas aprobado por D.S. N° 033-2005-EM. (15-08-2006) (Art. 1° y 2°).

Ley N° 26834. Ley de áreas naturales protegidas (04-07-97). <http://www.leyes.congreso.gob.pe/Documentos/Leyes/26834.pdf>

Ley N° 28271*. Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera (06-07-2004). con su respectivo reglamento aprobado mediante D.S. N° 059-2005-EM*. Aprueban reglamento de pasivos ambientales de la actividad minera. (08-12-2005) (Art.36° y 37°).

L. (1994). "The Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) Model: Engineering Documentation for Version 3,"EPA/600/R-94/168b, September 1994, U.S. Environmental Protection Agency Office of Research and Development, Washington, DC.

Schroeder, P. R., Dozier, T.S., Zappi, P. A., McEnroe, B. M., Sjostrom, J.W., and Peyton, R.

ANEXOS

Anexo 01. Panel fotográfico



Figura 51. Ensayo de densidad Natural en stock 1 del material orgánico



Figura 52. Ensayo de densidad Natural en stock 2 del material orgánico



Figura 53. Ensayo de Limite líquido.



Figura 54. Temperatura controlada de secado de muestras de ensayos de material orgánico.



Figura 55. Secado de Limites de atterberg del material orgánico



Figura 56. Revegetación área Rancho Minero.



Figura 57. Ubicación de canteras.



Figura 58. Conformación de taludes para pruebas de panel test.




Figura 59. Colocación de geomembrana.




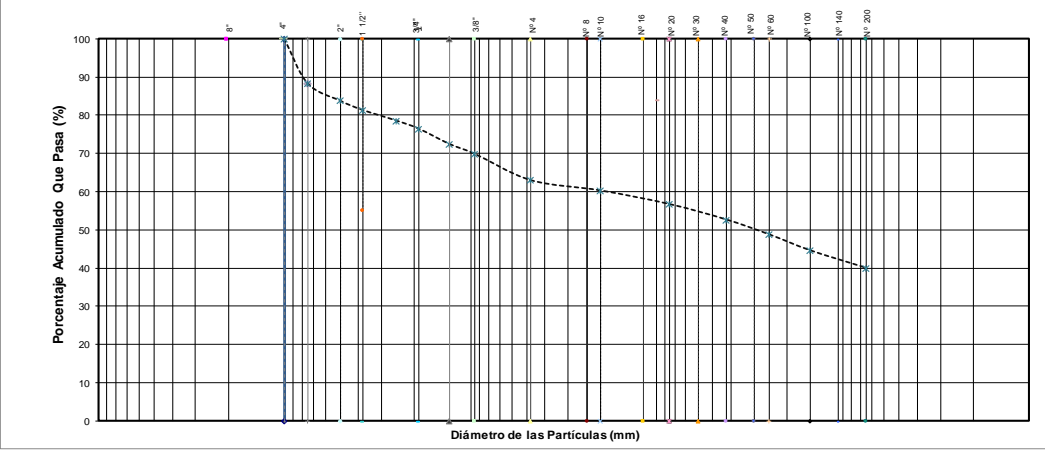
Figura 60. Sector 6 del DDE zona designada para la colocación de los panel test.

ANEXO

Anexo 02. Protocolo de ensayos


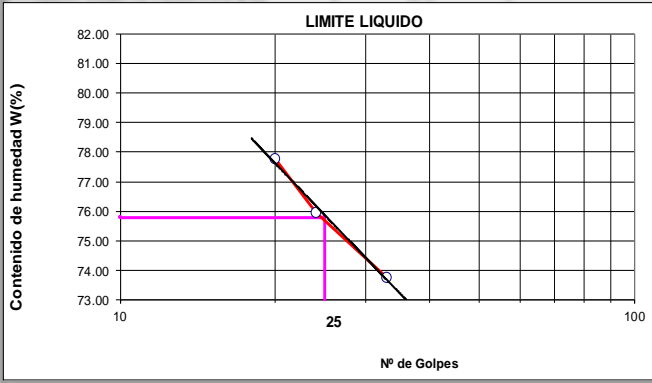
		CONTROL DE CALIDAD			
Título: CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D 4643 / D 2216		Código de control Nro. MRC-LAB-01			
Nro de Revisión: 0	Fecha de Revisión: 13-ene-20	Página 1 de 3			
Obra: "CIERRE PROGRESIVO DEPÓSITO DESMONTE ESTE - ETAPA 2"		Muestra No. DDE-STOCK 2			
Localización: X = 805023.05 Y = 9121210.23 Cota = 4097.00	Fecha de muestreo: 31/07/2020				
Descripción: Matereial Orgánico muestreado en el Stock 2 Sector 3 del DDE		Fecha de ensayo: 31/07/2020			
Muestreado por: Elias Salazar T.		<input checked="" type="checkbox"/> Ensayado Por: Elias Salazar T.			
Ubicación	X	Y	C		
	-	-	-		
Profundidad					
Muestra o ensayo	1	2	3	4	
RECIPIENTE No	A-I				
Peso recipiente + Peso humedo A	5222.0				
Pr + Ps B	4401.0				
Pr C	1264.0				
P. AGUA D = A - B	821.0				
Ps E = B - C	3137.0				
% DE HUMEDAD (D/E) * 100	26.2				
CLASIFICACION SUCS	OH				
OBSERVACIONES Material orgánico con grava de 28.8 %, con un promedio aprox de entre 4 a 6 % entre boloneria y bloques El material ha sido secado a una temperatura controlada de 60°C					
Muestra No.	1	2	3	4	
Ubicación	X	Y	C		
	-	-	-		
Profundidad					
Muestra o ensayo	5	6	7	8	
RECIPIENTE No					
Pr + Ph A					
Pr + Ps B					
Pr C					
P. AGUA D = A - B					
Ps E = B - C					
% DE HUMEDAD (D/E) * 100					
CLASIFICACION SUCS	OH				


		CONTROL DE CALIDAD					
Título: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ASTM D 6913			Código de control Nro. MRC-LAB-02				
Nro de Revisión: 0		Fecha de Revisión: 13-ene-20		Página 2 de 3			
Obra: “CIERRE PROGRESIVO DEPÓSITO DESMONTE ESTE - ETAPA 2”			Muestra No. DDE-STOCK 2				
Localización: X = 805023.05 Y = 9121210.23		Cota = 4097.00		Fecha de muestreo: 31/07/2020			
Descripción: Material Orgánico muestreado en el Stock 2 Sector 3 del DDE			Fecha de ensayo: 02/08/2020				
Muestreado por: Elías Salazar T.			Ensayado Por: Elías Salazar T.				
Solicitante: FOM PER S.A.C.							
Tamaño Tamiz mm	Peso Ret. Acum. (gr)	% Ret. Acum. (%)	% Que Pasa (%)	Especificaciones		Condiciones de Secado del Suelo Retenido en la Malla N° 4:	
				Mín. (%)	Máx. (%)	Temperatura: 60°C. <input type="checkbox"/>	110°C. <input checked="" type="checkbox"/>
8"	203.2					Condiciones de Lavado y Secado del Suelo Que Pasa la Malla N°4:	
6"	150.0					Lavado con agua potable y secado a 110°C. <input checked="" type="checkbox"/>	
4"	100.0	0.0	0.0	100.0		Peso Suelo Húmedo Que Pasa N° 4 (g)	
3"	75.0	3274.0	11.7	88.3		17611.0 (g)	
2"	50.00	4551.0	16.3	83.7		Peso Suelo Seco Que Pasa N° 4 (g)	
1 1/2"	37.5	5230.0	18.7	81.3		10389.0 (g)	
1"	25.00	6030.0	21.5	78.5		Peso Suelo Seco Retenido N° 4 (g)	
3/4"	19.00	6595.0	23.6	76.4		28000.0 (g)	
1/2"	12.5	7739.0	27.6	72.4			
3/8"	9.5	8455.0	30.2	69.8			
No 4	4.75	10389.0	37.1	62.9			
No 8	2.36					w % < N° 4	
No 10	2.0	8.6	39.8	60.2		% de Suelo que pasa la Malla N° 200	
No 16	1.18					No Tara	T-2
No 20	0.85	20.1	43.4	56.6		Tara+Suelo Húmedo (gr)	307.1
No 30	0.6					Tara+Suelo Seco (gr)	307.1
No 40	0.425	32.6	47.4	52.6		Tara	107.1
No 50	0.3					Agua (gr)	0.0
No 60	0.25	45.2	51.3	48.7		Fración Fina Seca (gr)	200.0
No 100	0.15	58.4	55.5	44.5		Contenido Humedad (%)	0.0
No 140	0.106					Suelo Seco -(No 200) (gr)	
No 200	0.075	73.0	60.1	39.9		Suelo Seco -(N° 200) (%)	
Platillo	127.0					75.3	
CLASIFICACION SUCS. ASTMD 2487						OH	
NOMBRE DE GRUPO						Arcilla orgánica con grava	
Límite Líquido: 76						PARA CLASIFICAR	
Límite Plástico: 65						Bolonería >3" Ø < 5" (%)	
Índice de Plasticidad: 11						12.0	
D ₆₀ Cu = D ₆₀ /D ₁₀						Gravas > N° 4 Ø < 3" (%)	
D ₃₀						25.4 GRAVAS	
D ₁₀ Cc = D ₃₀ ² /(D ₁₀ *D ₆₀)						Arenas > N° 200 Ø < N° 4 (%)	
						23.0 ARENAS	
						Finos Ø < N° 200 (%)	
						39.9 MATERIAL ORGÁNICO	
						Total (%)	
						100.3	
						100.0	





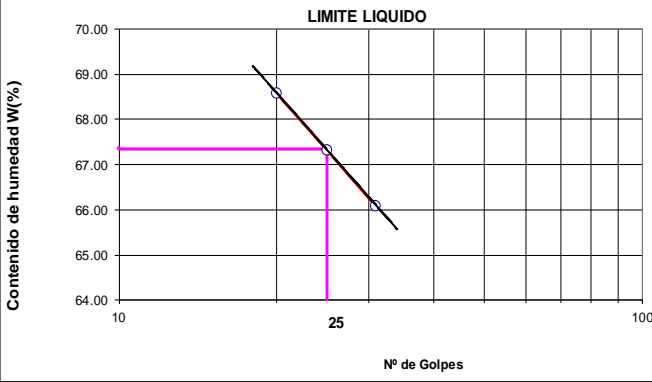
Diámetro de las Partículas (mm)

COMENTARIOS	Material orgánico con grava de 28.8% y, con un promedio aprox de entre 4 a 6% entre bolonería y bloques
	COLOR: Negro oscuro

		CONTROL DE CALIDAD	
Título		LIMITES DE ATTERBERG ASTM D 4318	
Nro de Revisión: 0		Fecha de Revisión: 13-ene-20	Codigo de Control N° MRC-LAB-03
Pagina 3		de 3	
Obra:		Muestra No.	
"CIERRE PROGRESIVO DEPÓSITO DESMONTE ESTE - ETAPA 2"		DDE-STOCK 2	
Localización: X = 805023.05 Y = 9121210.23 Cota = 4097.00		Fecha de muestreo: 31/07/2020	
Descripción: Material Orgánico muestreado en el Stock 2 Sector 3 del DDE		Fecha de ensayo: 02/08/2020	
Muestreado Por: Elías Salazar T.		Ensayado Por: Elías Salazar T.	
Solicitante: FOM.PER S.A.C.			
LÍMITE LÍQUIDO			
Muestra o ensayo	1	2	3
No DE GOLPES	33	24	20
RECIPIENTE No	E-191	E-088	E-164
Pr + Ph g	34.59	27.18	31.57
Pr + Ps g	25.90	21.30	23.80
P. AGUA g	8.69	5.88	7.77
Pr g	14.12	13.56	13.81
Ps g	11.78	7.74	9.99
% DE HUMEDAD	73.77	75.97	77.78
LÍMITE PLÁSTICO			
RECIPIENTE No	E-126	E-159	
Pr + Ph g	23.96	25.51	
Pr + Ps g	20.01	21.09	
P. AGUA g	3.95	4.42	
Pr g	13.91	14.22	
Ps g	6.10	6.87	
% DE HUMEDAD	64.75	64.34	
PROMEDIO LÍMITE PLÁSTICO (PL)	65.0		
		RESULTADOS HUMEDAD NATURAL %: 26,2 LÍMITE LÍQUIDO %: 76 LÍMITE PLÁSTICO %: 65 ÍNDICE DE PLASTICIDAD %: 11	
		OBSERVACIONES Color: Marrón gris Material orgánico con grava de 28,8 %, con un promedio aprox de entre 4 a 6 % entre bolonería y bloques	
		PR= PESO DEL RECIPIENTE PH= PESO HÚMEDO PS= PESO SECO	AGUA USADA DESTILADA POTABLE X
		TEMPERATURA DE SECADO 60° C	
OBSERVACIONES Material orgánico con grava de 28,8 % y, con un promedio aprox de entre 4 a 6 % entre bolonería y bloques COLOR: Negro oscuro			

		CONTROL DE CALIDAD				
Título: <i>Densidad In Situ Método Cono de Arena (ASTM D-1556)</i>			Código de control Nro. MRC-FCA-002			
Nro de revisión:	0	Fecha de revisión:	13-ene-20	Página	1 de 1	
Obra:	"CIERRE PROGRESIVO DEPÓSITO DESMONTE ESTE - ETAPA 2"			N° de Ensayo:	DDE-STOCK 1 y 2	
Localización:	X = 804938.26	Y = 9121216.63	Cota =	4099.76	Fecha de ensayo: 31/07/2020	
Descripción:	Material Orgánico acopiado en Plataforma del DDE Sector 3			Stock 1 y 2	Material orgánico	
Solicitante.:	FOM PERS.A.C.			Ensayado Por:	Elias Salazar T	
PRUEBA No.		1	2			
Peso Inicial de Arena + Frasco (gr)		7559.0	7508			
Peso Final de Arena + Frasco (gr)		1339.0	1736			
Peso de Arena Usada (gr)		6220.0	5772.0			
Peso de Arena en el Cono y la Plancha (gr)		1876.0	1876.0			
Peso de Arena para llenar el Hueco (gr)		4344.0	3896.0			
Densidad de Arena (gr/cm3)		1.516	1.516			
Volumen del Hueco (cm3)		2865.4	2569.9			
Peso de la Muestra extraída + Depósito (gr)		4588.0	3993			
Peso de Depósito "Tara" (gr)		35.0	35			
Peso de la Muestra Humeda (gr)		4553.0	3958.0			
Densidad Humeda (gr/cm3)		1.589	1.540			
Densidad Seca (gr/cm3)						
CONTENIDO DE HUMEDAD						
No. De Tara						
Peso Humedo + Tara (gr)						
Peso Seco + Tara (gr)						
Tara (gr)						
Peso de Agua (gr)						
Peso Suelo Seco (gr)						
Contenido de Humedad (%)						
CONTROL DE COMPACTACIÓN (PROCTOR)						
No. De la Curva de Compactación						
Densidad Seca Máxima (gr/cm3)						
Contenido de Humedad Óptimo (%)						
% Compactación						
PASA / FALLA						
Datos con Densímetro Nuclear						
Densidad Seca (gr/cm3)		-	-	-		
Contenido de Humedad (%)		-	-	-		
No. De Ensayo	No. CONO	No. JARRÓN	No. FRASCO	Y	X	COTA
DDE-STOCK-1	1	1	1	9121216.630	804938.26	4,099.76
DDE-STOCK-2	2	1	1	9121210.230	805023.05	4,097.00
OBSERVACIONES						
EJECUTÓ		REVISÓ		APROBÓ		
LABORATORISTA NOMBRE Y FIRMA		SUPERVISOR CQC NOMBRE Y FIRMA		SUPERVISIÓN CQA NOMBRE Y FIRMA		
FECHA		FECHA		FECHA		

		CONTROL DE CALIDAD			
Título: CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D 4643 / D 2216		Código de control Nro. MRC-LAB-01			
Nro de Revisión:	0	Fecha de Revisión:	13-ene-20	Página	1 de 3
Obra: "CIERRE PROGRESIVO DEPÓSITO DESMONTE ESTE - ETAPA 2"		Muestra No.	DDE-STOCK 1		
Localización:	X = 804938.26 Y = 9121216.65 Cota = 4099.76	Fecha de muestreo:	31/07/2020		
Descripción	Materia Orgánico muestreado en Stock 1 Sector 3 del DDE		Fecha de ensayo:	31/07/2020	
Muestreado por:	Eliás Salazar T.		X Ensayado Por:	Eliás Salazar T.	
Ubicación	X	Y	C		
Profundidad	-	-	-		
Muestra o ensayo	1	2	3	4	
RECIPIENTE No.	C-2				
Peso recipiente + Peso humedo A	5114.1				
Pr + Ps B	4224.0				
Pr C	561.1				
P. AGUA D = A - B	890.1				
Ps E = B - C	3662.9				
% DE HUMEDAD (D/E) * 100	24.3		24.3		
CLASIFICACION SUCS	OH				
OBSERVACIONES	Material orgánico con grava de 35.7 % y, con un promedio aprox de entre 4 a 6 % entre bolonería y bloques. El material ha sido secado a una temperatura controla de 60°C.				
Muestra No.	1	2	3	4	
Ubicación	-	-	-		
Profundidad					
Muestra o ensayo	5	6	7	8	
RECIPIENTE No.					
Pr + Ph A					
Pr + Ps B					
Pr C					
P. AGUA D = A - B					
Ps E = B - C					
% DE HUMEDAD (D/E) * 100					
CLASIFICACION SUCS	OH				
OBSERVACIONES					
PR= PESO DEL RECIPIENTE					
PH= PESO HUMEDO					
PS= PESO SECO					
EJECUTÓ	REVISÓ	APROBÓ			
LABORATORISTA NOMBRE Y FIRMA	SUPERVISOR CQC NOMBRE Y FIRMA	SUPERVISIÓN CQA NOMBRE Y FIRMA			
FECHA	FECHA	FECHA			

		CONTROL DE CALIDAD	
Título LIMITES DE ATTERBERG ASTM D 4318		Codigo de Control N° MRC-LAB-03	
Nro de Revisión:	0	Fecha de Revisión:	13-ene-20
		Pagina	3 de 3
Obra:	"CIERRE PROGRESIVO DEPÓSITO DESMONTE ESTE - ETAPA 2"		Muestra No. DDE-STOCK 1
Localización: X =	804938.26	Y =	9121216.65 Cota = 4099.76
Descripción:	Materiel Orgánico muestreado en Stock 1 Sector 3 del DDE		Fecha de muestreo: 31/07/2020
Muestreado Por:	Eliás Salazar T.		Fecha de ensayo: 02/08/2020
Solicitante:	FOM.PER S.A.C.		Ensayado Por: Eliás Salazar T.
LÍMITE LÍQUIDO			
Muestra o ensayo	1	2	3
No DE GOLPES	31	25	20
RECIPIENTE No	E-184	E-182	E-172
Pr + Ph g	32.05	30.80	32.72
Pr + Ps g	24.70	24.00	25.10
P. AGUA g	7.35	6.80	7.62
Pr g	13.58	13.90	13.99
Ps g	11.12	10.10	11.11
% DE HUMEDAD	66.10	67.33	68.59
LÍMITE PLÁSTICO			
RECIPIENTE No	E-89	E-149	
Pr + Ph g	22.38	23.78	
Pr + Ps g	19.09	20.08	
P. AGUA g	3.29	3.70	
Pr g	13.57	13.81	
Ps g	5.52	6.27	
% DE HUMEDAD	59.60	59.01	
PROMEDIO LÍMITE PLÁSTICO (PL)	59.0		
		RESULTADOS	
		HUMEDAD NATURAL %: 24.3 LÍMITE LÍQUIDO %: 67 LÍMITE PLÁSTICO %: 59 ÍNDICE DE PLASTICIDAD %: 8	
		OBSERVACIONES Color: Marrón gris	
		Material orgánico con grava de 35.7 % y, con un promedio aprox de entre 4 a 6 % entre bolonería y bloques	
		PR= PESO DEL RECIPIENTE	AGUA USADA OTRA
		PH= PESO HÚMEDO	DESTILADA
		PS= PESO SECO	POTABLE X
		TEMPERATURA DE SECADO 60° C	
OBSERVACIONES			
Material orgánico con grava de 35.7 % y, con un promedio aprox de entre 4 a 6 % entre bolonería y bloques			
COLOR: Negro oscuro			

ANEXO

Anexo 03. Característica de materiales.

GEOTEXILES NO TEJIDOS



**ESPECIFICACIÓN INTERNACIONAL
GEOTEXTIL PAVCO GTX027M**

Es un Geotextil No Tejido de Polipropileno, conformado por un sistema de fibras, punzonado por agujas. Este Geotextil se produce en una de las plantas de Geosistemas PAVCO S.A., bajo un Sistema de Gestión de Calidad. Es altamente resistente a la degradación biológica y química, que normalmente se encuentra en los suelos. Los valores de las propiedades que aparecen en esta especificación¹ son obtenidos en el Laboratorio de Control de Calidad de Geotextiles de Geosistemas PAVCO S.A..

	PROPIEDADES	NORMA	UNIDAD	VALOR TÍPICO ²
MECÁNICAS	Método Grab Resistencia a la Tensión	ASTM D 4632	N (lb)	950 (214)
	Elongación		%	>50
	Método Tira Ancha Sentido Longitudinal Elongación	ASTM D 4595	kN/m %	13 >50
	Sentido Transversal Elongación	ASTM D 4595	kN/m %	11 >50
	Resistencia al Punzonamiento	ASTM D 4833	N (lb)	670 (151)
	Resistencia al Punzonamiento CBR	ASTM D 6241	kN	2.8
	Resistencia al Rasgado Trapezoidal	ASTM D 4533	N (lb)	375 (84)
HIDRÁULICAS	Método Mullen Burst Resistencia al Estallido	ASTM D 3786	Kpa (psi)	2260 (400)
	Tamaño de Abertura Aparente	ASTM D 4751	mm (No Tamiz)	0.150 (100)
	Permeabilidad	ASTM D 4491	cm/s	0.60
	Permitividad	ASTM D 4491	s ⁻¹	1.7
FÍSICAS	Tasa de flujo	ASTM D 4491	L/min/m ²	4750
	Masa por Unidad de Área	ASTM D 5261	g/m ²	270
	Espesor	ASTM D 5199	mm	3.6
	Resistencia UV (% retenido @ 500 hr)	ASTM D 4355	%	> 70
	Rollo Ancho	Medido	m	4.0 - 6.0
	Rollo Largo	Medido	m	100
Rollo Área	Calculado	m ²	400 - 600	

NOTAS

- Los valores de las propiedades de esta especificación son vigentes a partir de Abril 2013 y están sujetas a modificaciones sin previo aviso.
- Los valores publicados corresponden al sentido más desfavorable del Geotextil. Los Valores Típicos corresponden al promedio de todos los datos históricos.

Geosistemas PAVCO se reserva el derecho de introducir las modificaciones de especificaciones que considere necesarias para garantizar la óptima calidad y funcionalidad de sus productos. La información aquí contenida se ofrece gratis y es, a nuestro loal saber y entender, cierta y exacta; no obstante, todas las recomendaciones y sugerencias están hechas sin garantía, puesto que las condiciones de uso están fuera de nuestro control.



Planta Perú: Av. Separadora Industrial 2557, Ate - Lima, Perú. Tels: (51-1) 627 6036 Fax: (51-1) 627 6039
E-mail: geoperu@mexichem.com - Web site: www.pavco.com.co
Planta Colombia: Autopista Sur No. 71 - 75 Bogotá D.C., Colombia. Tels: (57-1) 782 5100 Fax: (57-1) 782 5013
Servicio al Cliente Bogotá: (57-1) 782 5000 Ext. 3305

Mexichem
SOLUCIONES INTEGRALES

