



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Diseño de sistema de impermeabilización y colección para evitar filtración de solución de oro en pila de lixiviados en Junín

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero(a) Civil

AUTORES

Gutierrez Torres, Melany Brenda
ORCID: 0000-0001-8819-3238

Zeña Portal, David Jonathan
ORCID: 0000-0002-0867-2982

ASESOR

Torres Chung, César Roberto
ORCID: 0000-0002-3212-2817

Lima, Perú

2022

Metadatos Complementarios

Datos del autor(es)

Gutierrez Torres, Melany Brenda

DNI: 75350511

Zeña Portal, David Jonathan

DNI: 70005112

Datos de asesor

Torres Chung, César Roberto

DNI: 41182279

Datos del jurado

JURADO 1

Donayre Córdova, Oscar Eduardo

DNI: 06162939

ORCID: 0000-0002-4778-3789

JURADO 2

Chavarry Vallejos, Carlos Magno

DNI: 07410234

ORCID: 0000-0003-0512-8954

JURADO 3

Chavarría Reyes, Liliana Janet

DNI: 25481792

ORCID: 0000-0002-1759-2132

Datos de la investigación

Campo del conocimiento OCDE: 2.01.01

Código del Programa: 732016

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada en primer lugar a Dios por darme fortaleza y salud llegando a esta bella etapa de mi vida y en especial a mis padres Luz Marina y Pedro Pablo por su sacrificio, apoyo incondicional y confianza dándome el ejemplo de humildad, perseverancia, sacrificio y superación. A mis hermanos Brillit, Lesly y Willyams quienes me apoyaron en todo el proceso de mi carrera y por último a todas aquellas personas que creyeron en mí.

AG

RADECIMIENTO

Gutierrez Torres Melany Brenda

Esta tesis, se la dedico a Dios por darme vida, salud y sabiduría en estos largos años. A mis padres David y Rosa, por ser un pilar fundamental y un gran apoyo en mi formación académica, asimismo, en las decisiones que tomo para mi vida. A mis hermanas, Milagritos, Diana y Yaquelin, ya que con su ejemplo, respaldo y amor profundo me encaminaron e impulsaron a salir adelante. A mis sobrinos, Matias y Liam, que son mi motor y motivo para poder superarme cada día.

Zeña Portal David Jonathan

Nuestro sincero agradecimiento a nuestra alma mater, por habernos entregado valiosos conocimientos en estos años de carrera. A nuestros queridos asesores, el Ing. César Torres y el Ing. Carlos Chavarry por guiarnos en cada etapa del desarrollo de la presente tesis, también al Ing. Luduik Rosales por su disposición, otorgándonos conocimiento y apoyándonos sobre el tema tratado, por último, a nuestras familias ya que contribuyeron con su apoyo y aliento para el desarrollo de la tesis.

Gutierrez Torres, Melany y Zeña Portal, David

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	i
ABSTRACT.....	ii
INTRODUCCIÓN.....	iii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Descripción de la realidad problemática.....	1
1.1.1 Problema e importancia.....	1
1.2 Formulación del problema.....	1

1.2.1 Problema general.....	1
1.2.2 Problemas específicos.....	1
1.3 Objetivos de la investigación.....	2
1.3.1 Objetivo general.....	2
1.3.2 Objetivos específicos.....	2
1.4 Delimitación de la investigación.....	2
1.4.1 Geográfica.....	2
1.4.2 Temporal.....	2
1.4.3 Temática.....	2
1.4.4 Muestral.....	2
1.5 Justificación del estudio.....	3
1.5.1 Conveniencia.....	3
1.5.2 Relevancia social.....	3
1.5.3 Aplicaciones prácticas.....	3
1.5.4 Utilidad metodológica.....	3
1.5.5 Valor teórico.....	4
1.6 Importancia del estudio.....	4
1.6.1 Nuevos conocimientos.....	4
1.6.2 Aporte.....	4
1.7 Limitaciones del estudio.....	4
1.7.1 Falta de estudios previos de investigación.....	4
1.7.2 Metodológicos o prácticos.....	4
1.7.3 Medidas para la recolección de datos.....	4
1.7.4 Obstáculos en la investigación.....	4
1.8 Alcance.....	5
1.9 Viabilidad del estudio.....	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Marco histórico.....	6
2.2 Investigaciones relacionadas con el tema.....	7
2.2.1 Investigaciones internacionales.....	7
2.2.2 Investigaciones nacionales.....	8
2.2.3 Artículos relacionados con el tema.....	10
2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio.....	13

2.3.1 Hidrometalurgia.....	13
2.3.2 Lixiviación.....	13
2.3.2.1 Lixiviación in situ.....	13
2.3.2.2 Lixiviación en bateas.....	14
2.3.2.3 Lixiviación en pilas:.....	15
2.3.2.4 Lixiviación en botaderos:.....	16
2.3.3 Geosintéticos.....	16
2.3.3.1 Geomembranas.....	17
2.3.3.2 Geotextiles.....	20
2.3.3.3 Geomallas.....	22
2.3.3.4 Barreras de bentonita (GCL).....	23
2.3.4 Impermeabilización de la Pila de lixiviación.....	23
2.3.4.1 Suelo de baja permeabilidad.....	23
2.3.4.2 Protección de la geomembrana.....	24
2.3.4.3 Geomembrana.....	32
2.3.4.4 Punzonamiento de la geomembrana.....	37
2.3.4.5 Instalación de geomembranas.....	40
2.3.5 Tuberías HDPE.....	42
2.3.5.1 Materia prima de la tubería HDPE.....	43
2.3.5.2 Tipos de tuberías HDPE.....	43
2.3.5.3 Ventajas de la tubería HDPE.....	44
2.3.5.4 Métodos de Unión.....	44
2.3.5.5 Métodos de Aplicación.....	44
2.3.5.6 Sistema de colección de solución.....	45
2.3.5.7 Diseño de tuberías de colección de solución.....	45
2.3.6 Material de sobre revestimiento.....	48
2.3.7 American Society for Testing and Materials (ASTM).....	48
2.4 Definición de términos básicos.....	50
2.5 Fundamentos teóricos que sustenta la Hipótesis.....	51
CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS.....	52
3.1 Hipótesis.....	52
3.1.1 Hipótesis general.....	52
3.1.2 Hipótesis específicas.....	52
3.2 Sistema de variables.....	52

3.2.1 Definición conceptual y operacional.....	52
3.2.1.1 Variables independientes.....	52
3.2.1.2 Variables dependientes.....	53
3.2.2 Operacionalización de variables.....	54
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA.....	55
4.1 Método de la investigación.....	55
4.2 Tipo de la investigación.....	55
4.3 Nivel de la investigación.....	55
4.4 Diseño de la investigación.....	56
4.5 Población y muestra.....	56
4.5.1 Población.....	56
4.5.2 Muestra.....	56
4.6 Técnicas e instrumentación de recolección de datos.....	57
4.6.1 Instrumentos de recolección de datos.....	57
4.6.2. Métodos y técnicas.....	57
4.7 Descripción de procedimientos de análisis.....	57
CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA	
INVESTIGACIÓN.....	58
5.1 Ubicación de la zona de estudio.....	58
5.2 Tipo de suelo.....	58
5.2.1 Ensayos realizados para la clasificación de suelo.....	59
5.2.2 Ensayos de densidad.....	59
5.3 Suelo de baja permeabilidad.....	60
5.4 Procedimiento de cálculos de diseño de Geotextil.....	63
5.4.1 Elección del factor de seguridad global.....	63
5.4.2 Elección de factor de Modificación.....	64
5.4.3 Elección del factor de Modificación por efecto de arco en solidos.....	65
5.4.4 Elección del factor de reducción por fluencia a largo plazo.....	65
5.4.5 Elección del factor de reducción.....	66
5.4.6 Cálculo de peso requerido.....	66
5.4.7 Cálculo del peso admisible.....	66
5.4.8 Masa unitaria del geotextil de protección.....	67
5.5 Procedimiento de cálculos de diseño de Geomembrana.....	67

5.5.1 Cálculo del Esfuerzo aplicado por el material de relleno.....	67
5.5.2 Elección del Ángulo de fricción.....	68
5.5.3 Esfuerzo admisible o permisible de la geomembrana.....	68
5.5.4 Ángulo que forma el movimiento de la geomembrana con la horizontal...68	
5.5.5 Elección de distancia de movilización de la deformación de la geomembrana.....	69
5.5.6 Cálculo del espesor de la geomembrana.....	69
5.5.7 Cálculo del factor de Seguridad.....	70
5.5.8 Cálculo del factor de seguridad para la estabilidad de la cobertura.....	70
5.5.9 Cálculo de la longitud y zanja de anclaje.....	71
5.5.10 Chequeo por supervivencia.....	72
5.6 Procedimiento del sistema de colección de solución.....	73
5.6.1 Cálculos de diseño de Colección Principal.....	73
5.6.2 Cálculos de diseño de tuberías colección laterales.....	74
5.7 Sobre revestimiento.....	76
5.8 Esquema de los sistemas de impermeabilización.....	78
5.9 Contrastación de hipótesis.....	79
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	83
CONCLUSIONES.....	84
RECOMENDACIONES.....	85
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86
ANEXOS.....	90
Anexo 01: Matriz de Consistencia.....	90
Anexo 02: Plantilla Excel diseño de Geotextil No Tejido.....	92
Anexo 03: Plantilla Excel diseño de Geomembrana HDPE.....	93
Anexo 04: Plantilla Excel diseño de tubería principal de colección.....	94
Anexo 05: Plantilla Excel diseño de tuberías secundarias de colección.....	95
Anexo 06: Ficha técnica de Geotextil de 270 gr/m2.....	96
Anexo 07: Ficha técnica de Geomembrana de 2.00 mm.....	97
Anexo 08: Ficha técnica de tuberías de colección.....	98
Anexo 09: Plano general de la zona de estudio.....	99
Anexo 10: Plano del área de la zona de estudio.....	100
Anexo 11: Despliegue de Geotextil 270 gr/m2.....	101
Anexo 12: Despliegue de Geomembrana HDPE lisa 2.00 mm.....	102

Anexo 13: Proyección de tuberías de colección con curvas de nivel.....	103
Anexo 14: Proyección de tuberías de colección.....	104
Anexo 15: Permiso para uso de planos y datos.....	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades de la geomembrana HDPE de 0.50 mm a 2.50 mm.....	17
Tabla 2. Propiedades de la geomembrana LLDPE de 0.50 mm a 2.50 mm.....	18
Tabla 3. Propiedades de la geomembrana Texturizada HDPE de 0.75 mm a 2.00 mm..	19
Tabla 4. Propiedades del geotextil tejido.....	21
Tabla 5. Propiedades del geotextil no tejido.....	22
Tabla 6. Propiedades de las geomallas.....	22
Tabla 7. Factores de seguridad global para el diseño.....	27
Tabla 8. Factores de modificación por forma de la protuberancia.....	28
Tabla 9. Factores de modificación por densidad del relleno.....	28
Tabla 10. Factores de modificación por efecto de arco en sólidos.....	29

Tabla 11. Factor de reducción por fluencia.....	30
Tabla 12. Factor de reducción por degradación química y biológica a largo plazo.....	30
Tabla 13. Ángulos de fricción geomembrana-suelo y geomembrana-geotextil según norma ASTM D5321.....	33
Tabla 14. Propiedades de la tubería HDPE.....	43
Tabla 15. Operacionalización de variables.....	54
Tabla 16. Distribución de pila de lixiviación por área.....	56
Tabla 17. Ensayos realizados de las muestras extraídas de la tesis “Diseño de taludes para botadero de desmonte en mina Corihuarmi”.....	59
Tabla 18. Ensayos de densidad de las muestras extraídas de la tesis “Diseño de taludes para botadero de desmonte en mina Corihuarmi”.....	60
Tabla 19. Especificaciones de suelo de baja permeabilidad.....	60
Tabla 20. Ensayos de los límites de Atterberg y Contenido de humedad.....	61
Tabla 21. Ensayos de granulometría.....	61
Tabla 22. Ensayos de Proctor Estándar.....	62
Tabla 23. Ensayos de Cono de arena.....	62
Tabla 24. Ensayos de Densímetro Nuclear.....	63
Tabla 25. Elección del factor de seguridad global y altura efectiva para el diseño.....	64
Tabla 26. Elección del factor de modificación por forma de la protuberancia.....	64
Tabla 27. Elección del factor de modificación por densidad del relleno.....	64
Tabla 28. Elección del factor de modificación por efecto de arco en sólidos.....	65
Tabla 29. Elección del factor de reducción por fluencia a largo plazo.....	65
Tabla 30. Elección del factor de reducción por degradación química y biológica a largo plazo.....	66
Tabla 31. Elección de ángulo de fricción.....	68
Tabla 32. Elección de la distancia de movilización.....	69
Tabla 33. Elección de la longitud de inclinación.....	71
Tabla 34. Propiedades de tubería 200 mm.....	74
Tabla 35. Propiedades de tubería 100 mm.....	75
Tabla 36. Elección del espaciamiento de tuberías laterales.....	76
Tabla 37. Especificaciones del sobre revestimiento.....	77
Tabla 38. Ensayos de los límites de Atterberg y Contenido de humedad.....	77
Tabla 39. Ensayos de granulometría.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Lixiviación de superficie en terrenos in situ.....	14
Figura 2. Equipos de lixiviación en bateas.....	14
Figura 3. Operación de lixiviación en pilas.....	15
Figura 4. Lixiviación en botaderos.....	16
Figura 5. Instalación de geotextil.....	20
Figura 6. Fuerzas actuantes sobre la geomembrana.....	34
Figura 7. Sección transversal de la longitud de desarrollo de una geomembrana con zanja de anclaje y sus fuerzas actuantes.....	35
Figura 8. Equipo para ensayo de punzonamiento.....	38
Figura 9. Ensayo de punzonamiento sin daño.....	39
Figura 10. Ensayo de punzonamiento con daño severo.....	39

Figura 11. Fundamentos teóricos que sustenta la Hipótesis.....	51
Figura 12. Ubicación de la unidad minera Corihuarmi.....	58
Figura 13. Berma para instalación de geomembrana.....	72
Figura 14. Esquema del Sistema de impermeabilización y colección.....	78
Figura 15. Resistencia al punzonamiento por masa unitaria.....	80
Figura 16. Resistencia al punzonamiento por espesor de geomembrana.....	81
Figura 17. Carga máxima en función al espaciamiento.....	82

RESUMEN

La presente investigación “Diseño de sistema de impermeabilización y colección para evitar filtración de solución de oro en pila de lixiviados en Junín” el cual tuvo como objetivo realizar un diseño óptimo de capas de impermeabilización y tuberías de colección para una pila de lixiviación evitando así la filtración de solución previniendo contaminación ya que este problema ocurre en la mayoría de casos las unidades mineras debido a los procesos de extracción de metales de gran valor, para ello se recolectó información de artículos, manuales, normas, tesis nacionales e internacionales. El presente trabajo de investigación fue de método inductivo cuantitativo de tipo descriptivo ya que se realizó recolección de datos para el diseño, obteniendo resultados cuantificables para el desarrollo de la tesis, obteniéndose como resultado que para la zona del proyecto se necesita una geomembrana HDPE Lisa de 2 mm, con una geotextil de protección de 270 gr/m² y en el caso de las tuberías de colección, para la tubería principal se halló que necesita un caudal máximo de 0.035 m³/s y su diámetro debería ser de 200 mm y para las tuberías secundarias se escogió el diámetro de 100 mm que conllevó a un caudal de 0.006 m³/s usándose tuberías de HDPE con doble pared perforada concluyendo que los resultados obtenidos de cada sistema es el óptimo para la zona del proyecto cumpliendo con la función de evitar que se filtre solución debido al punzonamiento provocado por el mineral evitando pérdidas y sobre todo contaminación de la zona.

Palabras clave: geomembrana, geotextil, pilas de lixiviación, punzonamiento, tuberías de colección, HDPE.

ABSTRACT

The present investigation "Design of a waterproofing and collection system to avoid filtration of gold solution in a leachate pile in Junín" which had the objective of making an optimal design of waterproofing layers and collection pipes for a leaching pile, thus avoiding the filtration of solution preventing contamination since this problem occurs in most cases in mining units due to the extraction processes of high-value metals, for this information was collected from articles, manuals, standards, national and international theses. The present research work was of a quantitative inductive method of a descriptive type since data collection was carried out for the design, obtaining quantifiable results for the development of the thesis, obtaining as a result that a 2-gauge smooth HDPE geomembrane is needed for the project area. mm, with a protection geotextile of 270 gr/m² and in the case of the collection pipes, for the main pipe it was found that it needs a maximum flow of 0.035 m³/s and its diameter should be 200 mm and for the secondary pipes The diameter of 100 mm was chosen, which led to a flow of 0.006 m³/s, using perforated double-wall HDPE pipes, concluding that the results obtained from each system is optimal for the project area, fulfilling the function of preventing it from leaking. solution due to the punching caused by the mineral avoiding losses and above all contamination of the area.

Keywords: geomembrane, geotextile, heap leach pads, punching shear, collection pipes, HDPE.

INTRODUCCIÓN

Los estudios realizados durante el transcurso de los años han demostrado que la solución acida obtenida del proceso de lixiviación en las zonas mineras ha generado un problema de impacto ambiental, provocando contaminación en los ecosistemas, es por ello que en las minerías se vienen implementando sistemas que ayudan a impermeabilizar y coleccionar aquella solución de lixiviación transportándolas para su proceso de forma correcta evitando así la filtración y contaminación de los recursos cercanos.

El presente trabajo de investigación se propone diseñar los sistemas de impermeabilización y el sistema de solución para una pila de lixiviación ubicada en el departamento de Junín, para ello se da a conocer el cálculo de espesor de geomembrana, masa unitaria de geotextil, caudales de tuberías, diámetros y separación de tuberías para su distribución dando explicación a la comunidad ingenieril sobre un correcto diseño de geomembrana, geotextil de protección y de tuberías de colección que podrá ser implementado en proyectos mineros siendo de gran aporte para mitigar la contaminación ocasionada por filtración de solución debido a la extracción de metales de gran valor.

El objetivo principal de la presente tesis es diseñar el sistema de impermeabilización y sistema de colección más óptimo para evitar la filtración de solución de oro en la pila de lixiviación, con este fin se determina los siguientes objetivos específicos:

- a) Determinar el valor de la masa unitaria para la elección del material de protección para la pila de lixiviación.
- b) Determinar el espesor de geomembrana más óptimo para revestimiento de la pila de lixiviación.
- c) Determinar el caudal máximo del sistema de colección para el traslado de solución lixiviado.
- d) Determinar el diámetro ideal para el diseño de tubería de colección principal de la pila de lixiviación.
- e) Determinar el espaciamiento ideal para el diseño de tuberías de colección laterales de la pila de lixiviación.

La presente investigación consta de V capítulos, divididos en:

Capítulo I, se desarrolla la descripción de la realidad problemática, problema e importancia del estudio, la formulación del problema, los objetivos de la investigación, delimitación de la investigación, justificación del estudio, importancia del estudio, limitaciones del estudio y por último el alcance y la viabilidad.

Capitulo II, presenta el marco histórico, investigaciones relacionadas con el tema, estructura teórica y científica que sustenta el estudio, definición de términos básicos y el fundamento teórico que sustenta la hipótesis.

Capitulo III, define las hipótesis del estudio y el sistema de variables.

Capitulo IV, contiene la metodología de la investigación, tipo de investigación, nivel de la investigación, diseño de la investigación, población, muestra, técnicas e instrumentación de recolección de datos y la descripción de procedimiento de análisis.

Capítulo V, se expone el desarrollo de la investigación, el cual abarca la ubicación de la zona de estudio, estudios de suelos realizados en la zona, cálculo de los sistemas de impermeabilización y de los sistemas de colección presentando los resultados obtenidos en la investigación y por último la contrastación de hipótesis.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

1.1.1 Problema e importancia

Debido a la extracción de metales como el oro, cobre y níquel estos se relacionan con solución acida, la cual en el transcurso del tiempo puede ocasionar un impacto negativo deteriorando a largo plazo el agua y biodiversidad. Por otro lado, ciertos efluentes generados por el sector minero contienen cantidades grandes de sustancias contaminantes como es el cianuro y metales pesados, lo que genera gran consecuencia en la salud humana y en la ecología. La solución acida provoca directamente grave contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, causando contaminación de los suelos, es por ello que el compromiso recae en las empresas mineras ya que se deben responsabilizar del problema ocasionado, por lo tanto, las unidades mineras deben contar con conocimientos y herramientas que puedan minimizar los impactos que provocados por la solución acida (Akcil & Koldas, 2006).

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuál es el diseño del sistema de impermeabilización y sistema de colección más óptimo para evitar la filtración de solución de oro en una pila de lixiviación?

1.2.2 Problemas específicos

- a) ¿Cuál es el valor de la masa unitaria para la elección del material de protección más óptimo para la pila de lixiviación?
- b) ¿Qué espesor de geomembrana para revestimiento es la más óptima para la pila de lixiviación?
- c) ¿Cuál es el caudal máximo del sistema de colección para el traslado de solución lixiviado?
- d) ¿Cuál es el diámetro ideal para el diseño de tubería de colección principal de la pila de lixiviación?

- e) ¿Cuál es el espaciamiento ideal para el diseño de tuberías de colección laterales de la pila de lixiviación?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Diseñar el sistema de impermeabilización y sistema de colección más óptimo para evitar la filtración de solución de oro en la pila de lixiviación.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Determinar el valor de la masa unitaria para la elección del material de protección para la pila de lixiviación.
- b) Determinar el espesor de geomembrana más óptimo para revestimiento de la pila de lixiviación.
- c) Determinar el caudal máximo del sistema de colección para el traslado de solución lixiviado.
- d) Determinar el diámetro ideal para el diseño de tubería de colección principal de la pila de lixiviación.
- e) Determinar el espaciamiento ideal para el diseño de tuberías de colección laterales de la pila de lixiviación.

1.4 Delimitación de la investigación

1.4.1 Geográfica

La presente investigación se encuentra ubicada en la región de Junín, provincia de Huancayo, distrito de Chongos.

1.4.2 Temporal

La presente investigación se realizó por un periodo de seis (06) meses, desde el mes de mayo hasta el mes de noviembre del año 2022.

1.4.3 Temática

La temática de presente tesis abarca la línea de investigación de geotecnia e hidráulica.

1.4.4 Muestral

En la presente investigación se limitará a diseñar el sistema de impermeabilización y sistema de colección más óptimo de un área de la Unidad Minera Corihuarmi ubicada en el distrito de Chongos altos.

1.5 Justificación del estudio

1.5.1 Conveniencia

Debido al tratamiento realizado en las pilas de lixiviación con elementos químicos como el cianuro y ácido sulfúrico para la obtención de metales, estos provocan un impacto negativo, siendo el agua y el suelo los principales afectados, es por ello que surgió como solución ingenieril el uso de geosintéticos como revestimiento y el sistema de colección para el traslado de la solución lixiviada hacia pozas de tratamiento. La presente investigación utiliza los cálculos correspondientes y necesarios para el obtener el diseño óptimo de revestimiento y colección acorde a las normas correspondientes. De esta manera, obtendremos un diseño seguro.

1.5.2 Relevancia social

Al realizar el diseño del sistema de impermeabilización y sistema de colección de una pila de lixiviación, contribuirá de forma positiva a los diseñadores y futuros investigadores, dando conocimiento de un correcto diseño para una aplicación segura.

1.5.3 Aplicaciones prácticas

Es común notar que existen casos donde no se hace un diseño correcto implicando el fallo al momento de aplicarlo, por lo que al no cumplir con los requerimientos mínimos se tiene como consecuencia las fugas de solución provocando contaminación y pérdida de metales obtenidos en el proceso de lixiviación. La presente investigación expone como aplicación práctica demostrar que, al ejecutar un diseño de la manera correcta, se evitará una aplicación errónea en el proyecto previniendo así posibles fugas provocadas por el punzonamiento debido al mineral.

1.5.4 Utilidad metodológica

La presente tesis, utiliza herramientas de recolección de datos sobre sistemas de impermeabilización y sistemas de colección, al igual que datos obtenidos

del trabajo realizado en la unidad minera Corihuarmi, de igual forma se utiliza los programas Excel y AutoCAD 2D para el procesamiento de información.

1.5.5 Valor teórico

La presente investigación servirá como un medio más de conocimiento para futuras investigaciones, entregando mayor información sobre el diseño de los sistemas de impermeabilización y sistemas de colección.

1.6 Importancia del estudio

1.6.1 Nuevos conocimientos

La presente investigación pretende resaltar el diseño ideal de los sistemas de impermeabilización y sistemas de colección para una pila de lixiviación, incrementando el conocimiento sobre los diseños presentados.

1.6.2 Aporte

El aporte de la presente investigación es el diseño óptimo de un sistema de impermeabilización y sistema de colección para una pila de lixiviación.

1.7 Limitaciones del estudio

1.7.1 Falta de estudios previos de investigación

Existe escasa información directa de la zona minera debido a la confidencialidad que existe entre las empresas que realizan el diseño los sistemas para las pilas de lixiviación.

1.7.2 Metodológicos o prácticos

La presente investigación se sostendrá bajo las metodologías de diseño de los sistemas de impermeabilización y sistemas de colección, basándose de la igual forma en otras investigaciones encontradas.

1.7.3 Medidas para la recolección de datos

En esta investigación se está tomando información de tesis, artículos y manuales de diseño relacionados con el diseño de los sistemas de impermeabilización y colección en pilas de lixiviación.

1.7.4 Obstáculos en la investigación

La presente investigación no se pudo recopilar información directa de las mineras para obtener un estudio más preciso.

1.8 Alcance

Esta investigación buscará explicar a la comunidad ingenieril sobre un correcto diseño de los sistemas de impermeabilización y sistemas de colección teniendo el alcance para los proyectos mineros que requieran estos sistemas.

1.9 Viabilidad del estudio

La presente investigación es viable ya que contamos con artículos científicos, revistas, manuales, tesis nacionales e internacionales, las cuales serán precisas para el proceso del diseño. Así mismo, se consta del tiempo y planificación necesaria para llevar a cabo el desarrollo de la investigación.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Marco histórico

La primera aparición de la geomembrana en grandes cantidades en zonas mineras probablemente se dio en las pozas solares del norte de Chile. En los años 70, Tenneco realizó una instalación de 230 hectáreas al igual que la Sociedad Química y Minera de Chile, siendo una aplicación de gran tamaño considerando que en la mayoría de casos la geomembrana era instalada en pequeñas pozas químicas (Breitenbach & Smith, 2007).

Con el inicio de los proyectos de lixiviación de los metales oro y plata en EEUU, en los años 70, se comenzó a usar el cianuro para el proceso de lixiviación en las pilas, con ello se verificó que ya no era factible el uso de la contención natural, debido que como revestimiento se usaba solo la tierra de baja permeabilidad, debido a que la geomembrana era una buena opción a partir del año 1983 se hizo más común el uso de la geomembrana como revestimiento de pilas de lixiviación (Breitenbach & Smith, 2007).

Una de las primeras aplicaciones de geomembrana de alta densidad (HDPE) en zonas mineras auríferas en grandes cantidades se dio en el año de 1985, por otro lado, el uso del polietileno de muy baja densidad (VLDPE) se utilizó por primera vez en contención de relaves de mayor envergadura como por ejemplo la presa de relaves en Ridgeway (Breitenbach & Smith, 2007).

En el transcurso del tiempo el polietileno lineal de baja densidad (LLDPE) se comenzó a convertir en el revestimiento más usado en las pozas de lixiviación debido a que este material tiene la elongación mejorada y mejor resistencia a la fricción comparándose con la geomembrana HDPE (Breitenbach & Smith, 2007).

Los revestimientos conformados por una sola capa aún en la actualidad siguen siendo las más comunes en las pozas de lixiviación donde se procesa el cobre y el revestimiento compuesto es común en las pozas de lixiviación donde se procesa el oro y también la plata. En la industria minera las geomembranas más utilizadas son las de LLDPE y HDPE que tienen como espesor de 1.5 mm a 2.00 mm y las de PVC de espesor de 0.75 mm a 1.00 mm. (Breitenbach & Smith, 2007).

En minería es un tema fundamental coleccionar las soluciones del proceso de lixiviación logrando así minimizar los riesgos de inestabilidad tanto químicas como

físicas entre otros problemas existentes, por ello para realizar la recolección de esta solución desde hace muchos años se ha usado la técnica de evacuación por tuberías perforadas que cumplen la función de coleccionar esta solución y transportarla de manera correcta a zonas donde esta será procesada garantizando la integridad del proyecto (Muñoz, 2021).

2.2 Investigaciones relacionadas con el tema

2.2.1 Investigaciones internacionales

Godoy (2011), en su tesis “Estudio experimental de punzonamiento en geomembranas en interfaces de depósitos de minerales” propone modificar el diseño en base a las características actuales y con criterios usados en el país de Chile dándose mediante los cálculos de espesor de geomembrana para poder evitar el punzonamiento y estanqueidad que se da en la base del depósito, realizándose ensayos de punzonamiento hidrostático, relacionando presión hidrostática y la geometría de las partículas de la solución drenante, llegando a la conclusión que para depósitos mayores a los 150 metros se use como capa protectora el geotextil en la medida posible teniendo en cuenta la estabilidad aunque en los ensayos geo estáticos indiquen lo contrario debido a que este ensayo no considera las posibles deformaciones a largo plazo que sufre el HDPE, ni la disminución de la resistencia que sufre el material debido a la degradación química y biológica por la solución lixiviada.

Valencia (2011), en su investigación “Análisis global de una geomembrana de polietileno de Alta Densidad con propósitos de impermeabilización en el desarrollo de proyectos de ingeniería en Magallanes” propone el análisis de las características de la geomembrana de polietileno de alta densidad al igual que la instalación como material de impermeabilización para evitar la contaminación de aguas subterráneas, se realizó la investigación detallada de la geomembrana realizando una comparación entre las geomembranas con mayor demanda en el mercado y también el estudio del comportamiento de los geocompuestos unidos con la geomembrana estudiando las propiedades mecánicas, biológicas y fisicoquímicas, llegando a la conclusión que la geomembrana de alta densidad es la más idónea para aplicarla en trabajos de contención de líquidos, de residuos químicos o peligrosos y tiene resistencia

a la radiación ultravioleta al igual que a los agentes externos, temperatura y humedad.

López (2012), en su investigación “Estudio experimental de materiales depositados en pilas de lixiviación” propone observar las diferencias existentes en los ensayos de permeabilidad de tres unidades mineras con solución acida y con agua destilada, para ello se construyó un permeámetro con los materiales correctos que cumplan con la función de resistir el ácido sulfúrico, se realizaron ensayos a una carga constante y en pared flexible para luego realizar pruebas de análisis granulométrico y poder establecer las diferencias granulométricas entre ellas, por lo tanto al analizar los resultado obtenidos se pudo observar que hubo cambios de permeabilidad durante el proceso de la lixiviación, también mostrando que la densidad se vió afectada principalmente en dos de las tres muestras estudiadas, notando que las principales diferencias también se muestra en la saturación de las muestras.

Roca (2005), en su investigación “Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad (PEAD)” busca conocer la relación existente entre la estructura del polietileno de alta densidad y sus propiedades físico-químicas e identificar las diferente transformaciones de polietileno, teniendo como resultado que el polietileno de alta densidad es el mejor entre los plásticos debido a la estructura molecular, los procesos mayor utilizados para la transformación de este es la extrusión que es de uso para la fabricación de tuberías y laminas espumadas e inyección, se verificó que el costo de este material es bajo y no es toxico, por otro lado se encontró que tiene largas cadenas de moléculas la cuales se encuentran juntas y ordenadas por lo que resiste golpes, ataques químicos, posibles deformaciones y evita la filtración de sustancias.

2.2.2 Investigaciones nacionales

Vásquez (2016), en su investigación “Control de calidad en la impermeabilización de Pad de lixiviación mina Lagunas Norte – La Libertas,2016” propone aplicar un sistema de control de calidad de la impermeabilización realizada en el Pad de lixiviación en la unidad minera Lagunas Norte, empleando la inspección, el aseguramiento, el control y por

último la gestión total y realizando una detección de los posibles desvíos que podrían originarse en la zona impermeabilizada del Pad de 283000 m², dando este seguimiento desde la fabricación del material hasta la instalación, obteniendo como resultado 20 orificios que tuvieron una oscilación de 0.79 mm² a 200 mm², calculándose una fuga por hectárea siendo considerable a comparación de las 4 fugas por hectáreas que se dan en promedio en el Perú, determinando la importancia que es un sistema de control.

Alvarez (2020), en su tesis “Diseño y aplicación de geosintéticos en la construcción de la planta de residuos sólidos de la localidad de Jesús 2020” propone un diseño y aplicación de los geosintéticos geotextil y geomembrana correcto para la planta de residuos sólidos para poder alcanzar la duración prolongada del material y tener una construcción en un tiempo menor cumpliendo con la protección correcta del medio ambiente, desarrollando los ensayos correspondientes de las propiedades de los geosintéticos y las especificaciones técnica para el desarrollo del diseño del geotextil y la geomembrana, obteniendo un sistema de impermeabilización de pozas de lixiviación de planta de tratamiento de residuos, teniendo como resultado el diseño de los geosintéticos logrando una aplicación y procedimiento correcto en la planta de tratamiento garantizando el funcionamiento del proyecto.

Alberca (2021), en su tesis “Control de calidad en la construcción de una plataforma de lixiviación de la unidad minera Pierina” propone un sistema de control de calidad obteniendo una recopilación de toda información de la plataforma de lixiviación a estudiar e identificó los requisitos solicitados por la norma ISO 9011 sobre control de calidad, realizando una propuesta de mejora los conceptos sobre gestión de calidad para proyectos mineros, teniendo como resultado que el porcentaje de cumplimiento del sistema de gestión fue de 23%, por otro lado los trabajos que se realizaron para la instalación de tuberías no hubo inconformidades pero en el caso de movimiento de tierras ciertos materiales no cumplieron las especificaciones técnicas es por ello que al incorporar los controles de calidad mostro un efecto positivo logrando una aplicación beneficiosa para el proyecto minero.

Pardo (2021), en su tesis “Modelo de diseño de geosintéticos en la estanqueidad de pozas en infraestructuras mineras, Las Bambas, 2020” indica que al aplicar los geosintéticos en proyectos mineros estos están bajo parámetros los cuales ayudan a identificar los requerimientos necesarios para su uso de acuerdo al proyecto, es por eso que se debe conocer las normas que ayudaran a proceder con un diseño e instalación correcta, realizándose la identificación de los parámetros y las normas a usar para la aplicación de los geosintéticos al igual que la descripción de las características principales de los geosintéticos, verificando de la misma forma las normas correspondientes para la investigación, teniendo como resultado el diseño de la geomembrana que será usada como revestimiento siendo la HDPE la mejor opción según el diseño y un geotextil no tejido como protección de la geomembrana al igual que la elección de arena para relleno de zanja de anclaje, realizando un diseño correcto para el proyecto.

Rojas (2018), en su tesis “Plan de aseguramiento y control de calidad para geosintéticos aplicado al sector minero” proponer elaborar un plan de aseguramiento y control de calidad, donde incluyen procedimiento de instalación de los geosintéticos y las actividades necesarias con relación al sistema de gestión de calidad, realizando el plan bajo los estándares internacionales y lineamientos que fueron cumplidos en todo el proceso siendo adecuados para cada tipo de proyecto de acuerdo a las especificaciones técnicas y los planos con el fin de garantizar el servicio entregado y la calidad de los materiales usados por medio de actividades y sistemas implantado dentro del plan de calidad, teniendo como resultado un buen planeamiento , control y mejora de plan de calidad de los productos y servicios ofrecidos al cliente.

2.2.3 Artículos relacionados con el tema

Kerry, Morsy y Ewais (2019), en su artículo “ Representative stress crack resistance of polulufenin geomembranes used in waste management” propone examinar la disminución de la resistencia al agrietamiento por tensión de la geomembrana debido al envejecimiento físico, donde se demostró que la resistencia al agrietamiento de un polietileno de alta densidad (HDPE) de 1.5

mm sumergido en lixiviados de residuos sólidos urbanos, agua desionizada y aire se redujo a valores de equilibrio durando los primeros meses, y no cambió durante el resto de la prueba. La misma geomembrana también se sumergió en solución de lixiviación cargada y solución de minería básica, observándose una disminución de resistencia en los primeros tres meses. Para esta geomembrana la resistencia fue de aproximadamente un 50%, por otro lado, se analizó un valor de resistencia de referencia para todos los fluidos de incubación. Por el contrario, el polietileno lineal de baja densidad (LLDPE) probado no mostró tal envejecimiento físico.

Lavoie, Aparecido, Kobelnik, Lins y Lopes (2020), en su artículo “HDPE Geomembranes for Environmental Protection: Two Case Studies”, nos indican que, es de conocer que la geomembrana de polietileno de alta densidad (HDPE), ha sido utilizado en diferentes aplicaciones en el rubro ingenieril, tanto como en saneamiento, vertedero y estanques de líquidos residuales, siendo la geomembrana expuesta a diferentes problemas como el envejecimiento por la degradación térmica y química, los rayos UV y el contacto biológico, provocando la degradación del material disminuyendo su durabilidad. Por ello se presenta una evaluación experimental de dos geomembranas HDPE exhumadas, el cual uno de ellos fue usado por 2.75 años en aun estanque de tratamiento de aguas residuales y el otro fue usado por un tiempo de 5.17 años en un estanque de lixiviados, realizando el análisis físico y térmico, análisis térmico diferencial, barrido diferencial y análisis mecánico dinámico, teniendo como resultado que la primera muestra presentó bajo estrés de resistencia al agrietamiento y baja elongación a la rotura a comparación de la segunda prueba.

Lavoie, Kobelnik, Aparecido y Lins (2020), en su artículo “ Durability of HDPE geomembranes: An overview” indica que existe gran demanda de polímeros para aplicaciones geotécnicas, siendo una de ellas la geomembrana ya que es un producto sintético y es usado para proyectos con el fin del cuidado ambiental, una de los tipos de geomembrana más usado es la geomembrana HDPE ya que tiene mayor durabilidad, por otro lado se da conocimiento que si este material tiene una rotura puede provocar pérdidas

tanto humanas, ambientales y financieros, por ello se realizó un resumen de aquellos mecanismos como la degradación ultravioleta, térmica, oxidativa y efectos sinérgicos y conceptos involucrados en el envejecimiento de la geomembrana, realizando simulaciones fundamentales del campo garantizando así el uso adecuado de estos geosintéticos y aporte en los proyectos mineros, con este estudio se tuvo como conclusión que las condiciones y exposiciones de la geomembrana muestran demuestran su comportamiento.

Parra, César y Mendoza (2016), en su artículo “Diseño de geomembrana y tuberías en pilas de lixiviación de gran altura”, presenta las diferentes experiencias de diseño en pilas de lixiviación que tienen gran altura, presentando soluciones que se relacionan al comportamiento de geomembrana y las tuberías de colección de solución cuando están sometidas a cargas altas de mineral de la pila, ellos indican que para poder realizar el diseño de geomembrana se debe tener en consideración los daños por punzonamiento que se ocasionan debido a las altas cargas a las que están expuestas, por ello se recomienda usar un elemento de refuerzo como el geotextil en vez de incrementar el espesor de la geomembrana para no excederse en los costos de proyecto, por otro lado indica el poco conocimiento de resultados sobre la evaluación del comportamiento de las tuberías de colección cuando estas son sometidas a cargas mayores debido al mineral, por ello se considera colocar trincheras de grava para poder reducir el riesgo a grandes deflexiones, pandeo o el colapso de las tuberías.

Parra y Ovando (2012), en su artículo “Efecto de la velocidad de deformación en la resistencia a la tensión de geomembranas HDPE” discuten el efecto que causa la velocidad de deformación en la resistencia a la tensión en geomembranas HDPE, realizándose pruebas de tensión en muestras con espesor de 1.0 mm y 1.5 mm, en diferentes velocidades las cuales son 50 mm/min, 5 mm/min y 0.5 mm/min, obteniéndose como resultado que hubo una disminución significativa en las propiedades mecánicas de la geomembrana HDPE, mostrando una disminución en resistencia y en la elongación y módulo de elasticidad no hubo cambios significativos dándose

este efecto cuando la velocidad disminuye, por otro lado al realizar las pruebas de tensión en la geomembrana se pudo observar un comportamiento viscoso, finalmente indican que es importante tomar en cuenta los parámetros de diseño de campo para poder evitar que haya una sobre estima con el comportamiento de los geosintéticos.

2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

2.3.1 Hidrometalurgia

La hidrometalurgia es aquella rama que estudia aquellos procesos extractivos que ocurren por medio de métodos fisicoquímicos que se encuentran en fase líquida se extraen metales como el Oro, Uranio, Cobre, Plata, y otros más, esta contiene tres ramas muy importantes las cuales son: lixiviación, concentración y purificación y por último la precipitación. (USACH, 2003, p.188).

2.3.2 Lixiviación

Cárdenas (2018) indica que es aquel proceso donde se disuelve ya sea en forma parcial o total aquel sólido con un agente externo o aplicado de forma directa con la finalidad de obtener aquellos metales que se encuentran contenidos en el material, teniendo en cuenta que el mineral produce un lecho fijo de partículas el cual es bañado por una solución donde el agente usado en la lixiviación entra en contacto con el lecho mineral y mientras que este va descendiendo el material se va diluyendo donde por último la solución en el elemento se recoge en la base del lecho, teniendo 4 tipos los cuales son:

2.3.2.1 Lixiviación in situ

Este tipo de lixiviación es aquella que se da en residuos fragmentados en aquellas minas abandonadas o también a la lixiviación dada que no son explotadas de forma convencional, es por ello que se riega en el mismo lugar, así evitando aquellos costos de extracción y también de transporte, siendo caracterizado por su bajo costo de extracción y transporte. (USACH, 2003).

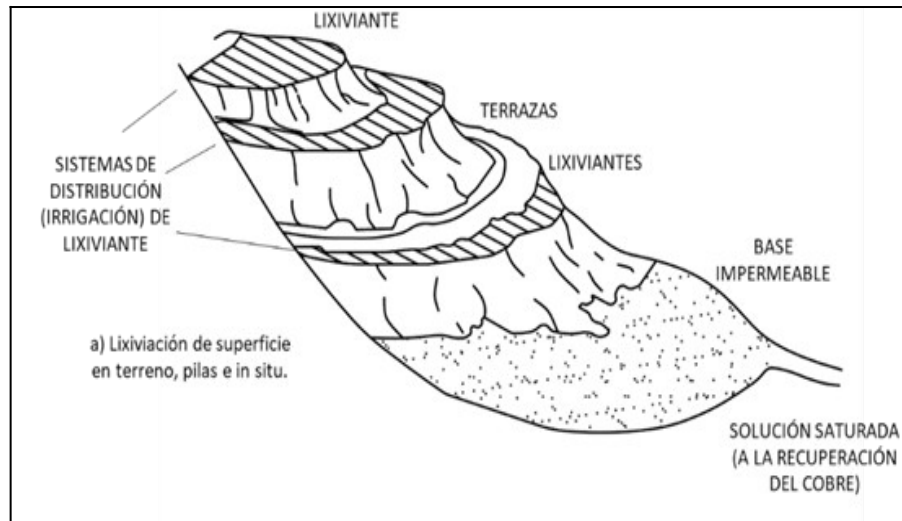


Figura 1. Lixiviación de superficie en terrenos in situ.

Fuente: USACH (2003)

2.3.2.2 Lixiviación en bateas

Este tipo de lixiviación es conocido también como lixiviación por percolación es decir está compuesto por una estructura de hecha de hormigón que tiene forma de un paralelepípedo en donde es depositado el material que es previamente chancado y así cubrirlo con una solución lixiviada hasta la mitad o las tres cuartas partes del volumen, cuando es usado este método se encuentran una serie de bateas que se encuentran ubicadas de forma continua conectadas entre sí para permitir la circulación de la disolución (Cárdenas, Diaz, Guajardo & Oliva, 2018).

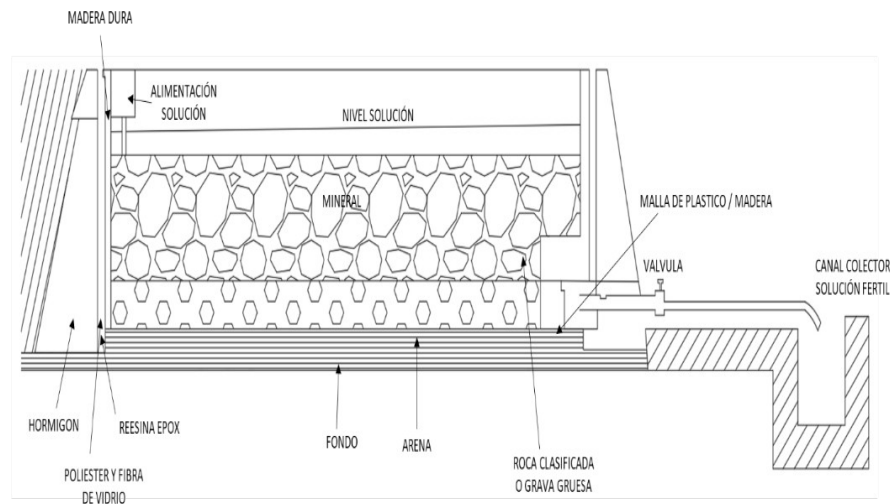
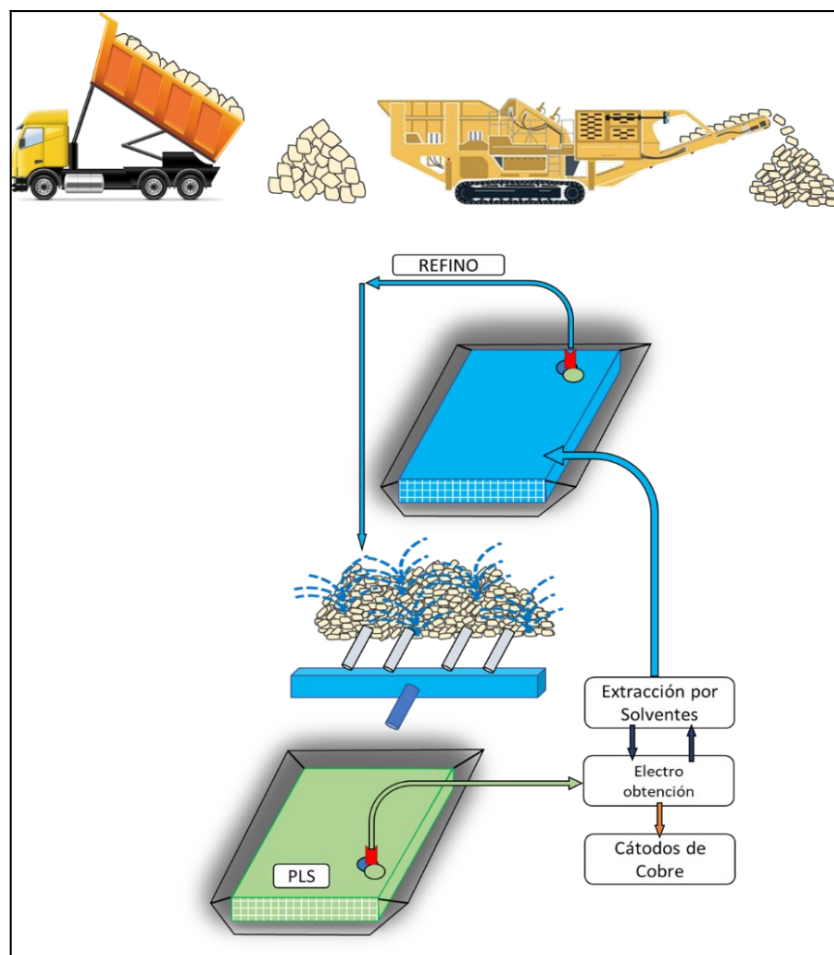


Figura 2. Equipos de lixiviación en bateas

Fuente: Cárdenas, Diaz, Guajardo & Oliva (2018)

2.3.2.3 Lixiviación en pilas:

Este método es aplicado al cobre oxidado y también a los minerales mixtos que contienen cobre de baja ley, este material es transportado hacia la zona donde se formará la pila, aquí se aplica como primera irrigación una combinación de agua y ácido sulfúrico (curado). El material que ha sido transportado es descargado de forma ordenada formando un terraplén que tiene una altura aproximada de 6 a 8



metros, siendo instalada sobre esta un sistema de riego por goteo y aspersores que cubren toda el área que se encuentra expuesta, siendo instalada bajo la pila una membrana impermeable donde se dispone un sistema de drenes que logran recoger aquellas soluciones que se infiltran por medio del material (Cárdenas, Diaz, Guajardo & Oliva, 2018, p.3).

Figura 3. Operación de lixiviación en pilas

Fuente: USACH (2003)

2.3.2.4 Lixiviación en botaderos:

Este tipo de lixiviación consiste en lixiviar aquellos desmontes y/o sobrecargas de aquellas minas que tienen tajo abierto por sus bajas leyes las cuales son menor al 0.4% estas no pueden ser tratadas por métodos convencionales. Estos desmontes han sido acumulados por medio de los años en miles de toneladas diarias, estos botaderos son construidos cerca de la mina, el proceso realizado no necesitar una exigencia económica por parte de la mina, uno de los casos donde hay recuperaciones es en el cobre donde oscila entre 40 a 60 % por un tiempo aproximado de 3 años (USACH, 2003, p.192).

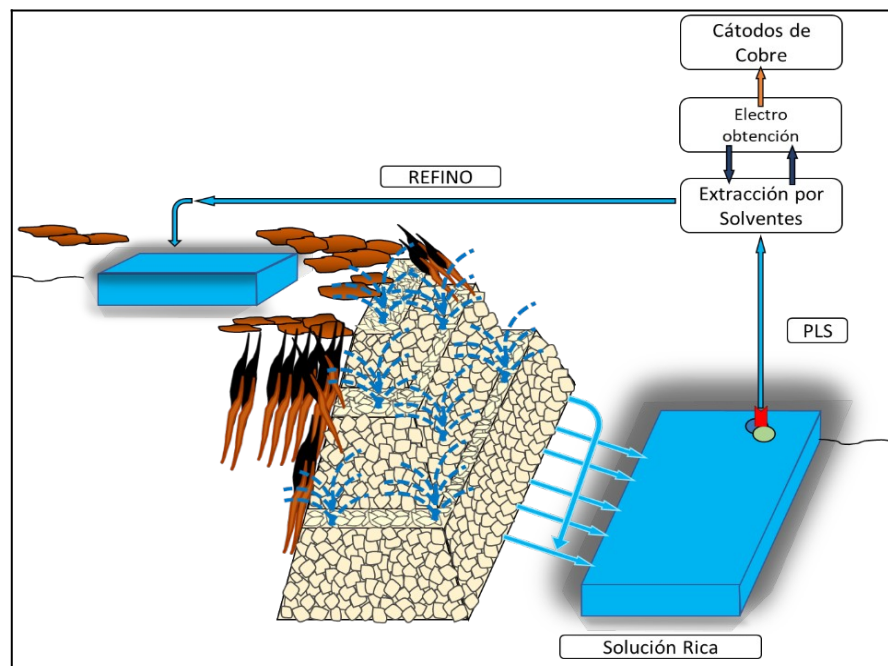


Figura 4. Lixiviación en botaderos

Fuente: USACH (2003)

2.3.3 Geosintéticos

Según la norma ASTM D4439, los geosintéticos son aquellos productos que provienen de materiales poliméricos que tienen forma planar, que son usados ya sea en suelos, rocas u distintos materiales geotécnicos como elemento complementario para una estructura o sistema. En la ingeniería aquellos geosintéticos utilizados de forma más común son: las geomembranas, geotextiles, geo redes, geomallas y también geocompuestos que son derivados obtenidos de la unión de las características de los ya mencionados anteriormente (Goñi, 2007).

2.3.3.1 Geomembranas

Según la norma ASTM D4439, la geomembrana es un revestimiento o barrera sintética que es de muy baja permeabilidad y esta es usada con materiales usados en la ingeniería geotécnica con la finalidad de controlar la filtración de fluidos ya sea en proyectos, estructuras o un sistema construido por el hombre.

a) Geomembranas de polietileno de alta densidad (HDPE)

Este tipo de geomembranas son aquellas más usadas para este tipo de impermeabilización y los espesores existentes son aquellos que van desde 0,50 a 2,50 mm. Este tipo de material es de gran resistencia a los ataques químicos que puedan ser sometidos al igual que a la radiación solar (Grupo Tridente, 2019).

Propiedad	Unidad	Norma	Valor				
Espesor	mm	DIN EN ISO 9863-1	0.5	0.75	1	1.5	2
Densidad mínima	gr/cc	ASTMD792/D1505	0.94				
Tensión Punto Fluencia	KN/m	ASTM D6693	7	11	15	22	29
Tensión Punto Ruptura	KN/m	Tipo IV	13	20	27	40	53
Punto Fluencia	%		12				
Punto Ruptura	%		700				

Resistencia al Rasgado	N	ASTM D1004	50	93	125	187	249
Punzonamiento	N	ASTM D4833	200	240	320	480	640
Agrietamiento	Hr	ASTM D5397			300		
Dispersión de Carbón		ASTM D5596			Categoría 1 o 2		
Contenido de Carbón	%	ASTM D1603/D4218			2.0 a 3.0		
Tiempo de Inducción Oxidativa (OIT)	Min	ASTM D3895			100		

Tabla 1.

Propiedades de la geomembrana HDPE de 0.50 mm a 2.50 mm

Fuente: Grupo tridente (2019)

b) Geomembranas de polietileno de baja densidad lineal (LLPDE)

La geomembrana LLPDE al tener una menor densidad a comparación del HDPE, este es de mayor flexibilidad y es por ello que permite adherirse a aquellos elementos que requieren de una mayor resistencia de alargamiento, este material al sustituir a la geomembrana HDPE logra una disminución en los costos del proyecto a realizar (Grupo Tridente, 2019).

Tabla 2.

Propiedades de la geomembrana LLDPE de 0.50 mm a 2.50 mm

Propiedad	Unidad	Norma	Valor				
Espesor	mm	DIN EN ISO 9863-1	0.5	0.75	1	1.5	2
Densidad máxima	gr/cc	ASTM D792/D1505			0.939		
Tensión Punto Ruptura	KN/m	ASTM D6693	13	20	27	40	53
Elongación Punto Ruptura	%	TIPO V			800		
Resistencia al Rasgado	N	ASTM D1004	50	70	100	150	200
Resistencia al Punzonamiento	N	ASTM D4833	120	190	250	370	500
Elongación Multiaxial	%	ASTM			30		

Punto rotura		D5617	
Dispersión de Carbón		ASTM	Categoría 1 o 2
		D5596	
Contenido de Carbón		ASTM	2.0 a 3.0
		D1603/D421	
		8	
Tiempo de Inducción	Min	ASTM	100
Oxidativa (OIT)		D3895	

Fuente: Grupo tridente (2019)

c) Geomembrana de polipropileno (PP)

Debido a la resina que se usa para preparar la geomembrana de polipropileno este tiene mayor elasticidad y también resistencia al punzonamiento logrando así una muy buena flexibilidad (Grupo Tridente, 2019).

d) Geomembrana texturada de HDPE

Es aquella geomembrana rugosa y también antideslizante, a este material se añade cierta rugosidad en una etapa continua al ser fabricada, este permite un mayor ángulo de fricción si necesidad de variar las propiedades mecánicas que tiene el HDPE, este tipo de material normalmente se usa en áreas que tienen gran pendiente como por ejemplo los taludes (Grupo Tridente, 2019).

Tabla 3.

Propiedades de la geomembrana Texturizada HDPE de 0.75 mm a 2.00 mm

Propiedades	Unidad	Método de ensayo				Norma
Espesor	mm	0.75	1	1.5	2	
Densidad	g/cm ³	0.94	0.94	0.94	0.94	ASTM D792
Resistencia al rasgado	N/mm	93	236	187	249	ASTM D1004

Resistencia a la punción	N	200	267	400	534	ASTM D4833
Resistencia al agrietamiento por tensión	N	300	300	300	300	ASTM D5397
Contenido de negro humo	%	2.00- 3.00	2.00- 3.00	2.00- 3.00	2.00- 3.00	ASTM D1603

Fuente: Grupo tridente (2019)

e) Geomembrana PVC

Es aquella geomembrana que posee alta flexibilidad multiaxial, este material tiene poca resistencia contra los rayos UV, este es capaz de resistir a los asentamientos diferenciales acomodándose fácilmente a la superficie de terreno que se impermeabilizará, este tipo de material usualmente son usados en lagos, piscinas de tratamiento, protección de suelo, presas, etc. (Valencia, 2010).

f) Geomembrana Bituminosa

Según la GEOSAI, la geomembrana bituminosa es aquella que combina un aglomerante que es hecho a base de betún elastómero que tiene una armadura de geotextil de poliéster no tejido, este tipo de material tiene una alta resistencia mecánica y química a un largo plazo.

2.3.3.2 Geotextiles



Figura 5. Instalación de geotextil

Fuente: Geoace (2020)

a) Geotextiles Tejidos:

Estos geotextiles tienen alta resistencia y bajas deformaciones, debido a su estructura. Estos son aplicación mayormente en muros, refuerzo de vías, terraplenes y cimentaciones (Pavco, 2009).

Tabla 4.

Propiedades del geotextil tejido

Propiedades	Norma	Unidad	T1050	T1400	T1700	T2100	T2400
Espesor	ASTM D5199	mm	0.4	0.6	0.7	0.9	1.2
Permeabilidad	ASTM D4491	cm/s	0.8×10^{-2}	1.0×10^{-2}	0.6×10^{-2}	6.3×10^{-2}	12×10^{-2}
Resistencia al punzonamiento	ASTM D4833	N (lb)	390 (87)	540 (122)	600 (135)	710 (160)	780 (176)
Resistencia al rasgado	ASTM D 4533	N (lb)	300 (67)	270(61)	400(90)	460(103)	570(128)

Fuente: Pavco (2009)

b) Geotextiles no Tejidos:

Este tipo de geotextil debido a que está elaborado con fibras que se entrelazan por proceso mecánico de agujado, tiene una alta característica mecánica y se puede elongar desde un 40% hasta más de 120% antes de la rotura, otra característica es su adaptabilidad al terreno donde será instalado y posee muy buenas propiedades de protección (Pavco, 2009).

Tabla 5.
Propiedades del geotextil no tejido

Propiedades	Norma	Unidad	T1600	T1800	T2000	T2500	T3000
Espesor	ASTM D5199	mm	1.5	1.7	1.9	2	2.1
Permeabilidad	ASTM D4491	cm/s	46×10^{-2}	41×10^{-2}	42×10^{-2}	40×10^{-2}	42×10^{-2}
Resistencia al punzonamiento	ASTM D4833	N (lb)	250 (57)	310 (70)	360 (82)	400 (91)	440 (100)
Resistencia al rasgado	ASTM D 4533	N (lb)	210 (48)	260(59)	280(64)	320(73)	340(77)

Fuente: Pavco (2009)

2.3.3.3 Geomallas

Son un tipo de geosintético con estructuras de polímeros manufacturados que tienen forma de lienzo, estos pueden ser extruidos, tejidos o soldados tiene como principal uso detectar filtraciones, siendo también usados como estabilizadores de suelos blandos o taludes, disminuyendo así las sobre excavaciones o como separador de capas de materiales, estos al ser combinados con un elemento que se usa para relleno ofrece un trabajo de tensión, existiendo tres tipos de geomallas, los cuales son biaxiales, multiaxiales y uniaxiales (Grupo Tridente, 2019).

Tabla 6.

Propiedades de las geomallas

Propiedad	Unidad	Norma	Frecuencia	Valor
Espesor	mm	ASTM D5199	2.784 (M2)	5
Densidad mínima	gr/cc	ASTM D792	2.784 (M2)	0.94
Contenido negro de humo	%	ASTM D4218	2.784 (M2)	1 a 3
Resistencia a la tracción	N/mm	ASTM D5035	2.784 (M2)	7.9
Peso por unidad de área	g/m ²	ASTM D5261	2.784 (M2)	733

Fuente: Grupo tridente (2019)

2.3.3.4 Barreras de bentonita (GCL)

Según la GEOSAI, el GCL es un material que se usa como barrera hidráulica artificial que es de baja conductividad hidráulica, este es auto sellante y también autoreparante, su composición es de una capa de bentonita sódica con dos capas de geotextiles o también puede tener una capa de geomembrana que son unidos por medio del punzonamiento o algún adhesivo químico.

a) GCL reforzado

Según la GEOSAI, es aquel material donde las capas de geotextil que se conforman están entrelazadas por punzonamiento logrando con ello el aumento de su resistencia.

b) GCL no reforzado

Según la GEOSAI, es aquel material donde la bentonita está conformada por un adhesivo que sirve para unir las capas de geotextil no tejido o la geomembrana.

2.3.4 Impermeabilización de la Pila de lixiviación

El sistema de impermeabilización en una pila tiene como principal objetivo poder evitar la filtración de las solución contaminante hacia el terreno natural, siendo su composición suelo de baja permeabilidad, geomembrana y finalmente un sobre revestimiento que ayudará a la protección del sistema

para poder evitar posibles daños debido al transporte y el mineral esparcido sobre la pila y finalmente debido a las propiedades de impermeabilidad esta tendrá como función poder facilitar la colección de solución y luego a su conducción de la solución hacia las zonas bajas de la pila (Vasquez,2017).

2.3.4.1 Suelo de baja permeabilidad

Este tipo de suelo es usado para poder impermeabilizar un área, siendo la primera capa de impermeabilización, los factores más importantes que logran determinar la permeabilidad del suelo son la granulometría y la composición química de esta. (Vasquez,2017).

Los ensayos a tener en cuenta para el suelo de baja permeabilidad son:

- a) Análisis granulométrico – ASTM D6913
- b) Contenido de humedad – suelos – ASTM D2216
- c) Límites de Atterberg – ASTM D4318
- d) Máxima densidad/humedad – ASTM D1557
- e) Corrección de peso unitario y contenido de humedad para suelos que contienen partículas de sobre tamaño – ASTM D4718
- f) Densidad in situ por el método cono de arena – ASTM D1556
- g) Densidad in situ por el método nuclear – ASTM D2922
- h) Contenido de humedad – cono de arena – ASTM D2216

2.3.4.2 Protección de la geomembrana

Debido a que estos revestimientos tienen contacto directo con diferentes tipos de suelos, los cuales tienen partículas en forma angular e irregular, estos están expuestos a sufrir deterioro, por ello para que el sistema de impermeabilización tenga durabilidad se diseñará tipo de geotextil que cumpla como protección. Uno de los geosintéticos con mayor uso es el geotextil no tejido, debido a que este presenta resistencia mecánica y una elongación mayor al 50% la cual soporta contracciones y dilatación que la geomembrana experimenta debido a la exposición térmica al igual que evita que la geomembrana sufra punzonamiento (Mexichem,2009).

a) Metodología de diseño de geotextil

Mexichem (2009) indica que para realizar la mejor elección de geotextil más adecuado para ser usado como protección es basado en la resistencia de punzonamiento de la geomembrana, este método es usado para determinar la presión que será ejecutada sobre el geotextil, bajo diferentes condiciones, verificando si el geotextil seleccionado resista el punzonamiento que se pueda generar.

Respecto a la geomembrana y el material de protección, teóricamente demuestra que la resistencia a la punción de la geomembrana se mejora bajo las condiciones siguiente:

- Según Wilson-Fahmy, Narejo y Koerner muestran que cuando el espesor de la geomembrana incrementa la resistencia al punzonamiento también incrementa de forma lineal.
- El geotextil no tejido es una solución para poder mejorar la resistencia al punzonamiento de la geomembrana, existiendo casos que al usar este tipo de geosintético su resistencia al punzonamiento ha sido comparado con el espesor de la geomembrana.
- Al incrementar el espesor o masa unitaria del geosintético de protección este con lleva al aumento de la resistencia al punzonamiento de la geomembrana.

b) Factor contra el punzonamiento de la geomembrana

Este método usado está planteado por Wilson-Fahmy, Narejo y Koerner del GRI.

- Cálculo del factor de seguridad:

$$FS = \frac{P_{adm}}{P_{req}} \quad (1)$$

Donde:

FS: Factor de seguridad contra el punzonamiento de la geomembrana

Padm: Presión admisible cuando se usa diferentes tipos de geotextiles y condiciones específicas del lugar.

Preq: Presión real el cual se debe al relleno o al depósito superficial.

Debido a la gran cantidad de ensayos y pruebas realizadas por la norma ASTM D5514 (método de punzonamiento hidrostático), se ha obtenido la siguiente fórmula empírica.

$$P_{adm} = \frac{450 * M}{H^2 * FMs * FMdr * FMa * FRfl * FRdqb} \quad (2)$$

Donde:

Padm: Presión admisible

M: masa por unidad de área (g/m²)

H: Altura efectiva de la protuberancia

FMs: Factor de reducción por la forma de la protuberancia

FMdr: Factor de modificación por densidad del relleno

FMa: Factor de modificación por efecto de arco en sólidos

FRfl: Factor de reducción por fluencia del material a largo plazo

FRdqb: Factor de reducción por degradación química y biológica a largo plazo

c) Factor de seguridad global

El valor mínimo del factor de seguridad global es de 2.0, sin embargo, para otro tipo de condiciones este factor tiende a ser mayor dándose en zonas con un contenido de rocas con gran tamaño en su superficie, recalcando que este valor también es

afectado por el tipo de geomembrana instalado. (Mexichem,2009).

Este factor tiene como objetivo poder garantizar un adecuado diseño para proteger la geomembrana evitando su falla por, teniendo en cuenta que la falla de estos puede ocasionar filtración de contaminantes generando una contaminación con una detección difícil. (Mexichem,2009).

Los factores de seguridad global se muestran en la Tabla 7:

Tabla 7.

Factores de seguridad global para el diseño

Arreglo de las piedras	Altura efectiva de protuberancia (mm)	Factor de seguridad global (mínimo)
Piedras aisladas	6	3.0
Piedras aisladas	12	4.5
Piedras aisladas	25	7.0
Piedras aisladas	38	10.0
Piedras agrupadas	38 o menos	3.0

Fuente: Designing with geosynthetics (2012)

d) Factores de modificación

Según Mexichem (2009). Indica que este factor es propuesto con el fin de representar de una mejor forma las condiciones de la zona del material de protección, estos factores son igual o menor a 1, tomando en consideración lo siguiente:

- Factor de modificación por forma de la protuberancia
Estos factores fueron propuestos teniendo como base el ensayo hidrostático de presión por punzonamiento (ASTM 5514), con ello se estableció que la presión con valor más

alto es dada cuando las rocas tienen forma redonda, continuamente se encuentra la semiredondas y por último aquellas rocas con forma angular. Los factores de modificación son inversamente proporcionales a la presión admisible, eso quiere decir que mientras el factor sea menor a uno, la presión admisible a la que es sometida aumenta (Mexichem,2009).

Tabla 8.
Factores de modificación por forma de la protuberancia

Forma de la piedra	FMs
Angular	1.00
Semiredondas	0.50
Redonda	0.25

Fuente: Designing with geosynthetics (2012)

- Factor de modificación por densidad del relleno

Según Wilson-Fahmy, Narejo y Koerner, se demostró que cuando existe protuberancias concentradas la presión admisible es mucho mayor que cuando existen protuberancias aisladas. En la Tabla 9 se mostrará los factores según tamaño y ubicación.

Tabla 9.

Factores de modificación por densidad del relleno

Arreglo de la protuberancia	FMdr
Aislada	1.00
Compacta, 38 mm	0.83
Compacta, 25 mm	0.67
Compacta, 12 mm	0.50

Fuente: Designing with geosynthetics (2012)

- Factor de modificación por efecto de arco en sólidos

Este factor tiene en cuenta el tipo de material o la carga a la que es sometida la geomembrana. Cuando la resistencia al punzonamiento de la geomembrana está sometida bajo cargas estáticas esta llega a ser 6 veces mayor que cuando se encuentra sometido bajo cargas hidrostáticas (Mexichem,2009).

Tabla 10.

Factores de modificación por efecto de arco en sólidos

Efecto de arco en sólidos	FMa
Hidrostático	1.00
Geoestático, superficial	0.75
Geoestático, moderado	0.50
Geoestático, profundo	0.25

Fuente: Designing with geosynthetics (2012)

e) Factores de reducción

Los factores de reducción son aplicados para poder garantizar la integridad de la geomembrana, los dos factores de reducción son

el aquel que involucra la fluencia del material a largo plazo y el otro es aquel que considera la posible acción de degradación ya sea química y/o biológica debido a aquellos agentes a los que se encuentran sometidos (Mexichem,2009). Los valores obtenidos deben ser mayor o igual a 1, tomando en consideración lo siguiente:

- Factor de reducción por fluencia a largo plazo

Los valores obtenidos debido a la fluencia a largo plazo son menores para los geotextiles sometidos a tensión. Cuando la geomembrana y el material de protección están sometidos a punzonamiento en el transcurso del tiempo estos se verán afectados de forma positiva por el efecto de fluencia, lo que provocará que la longitud inicial sin el apoyo del material contra la superficie del suelo disminuya con el tiempo y así los esfuerzos de la geomembrana y del material elegido como protección se reducen (Mexichem,2009).

Tabla 11.

Factor de reducción por fluencia

Referencia geotextil (g/m ²)	FR _{FL}			
	Altura efectiva de la protuberancia (mm)			
	38	25	12	6
Sin geotextil	>>1.5	>>1.5	>>1.5	>>1.5
270	>>1.5	>>1.5	>1.5	1.5
550	>>1.5	>1.5	>1.5	1.2
1100	1.3	1.5	1.3	1.0
> 1100	1.3	1.2	1.1	1.0

Fuente: Designing with geosynthetics (2012)

- Factor de reducción por degradación química y biológica a largo plazo

Para la obtención del factor de reducción por degradación química y biológica se debe tener en cuenta los posibles

agentes externos que pueden afectar el sistema, debido al alto peso molecular con los que está fabricado los geosintéticos los agentes biológicos tienen un efecto mínimo, por otro lado, los agentes químicos si pueden ser una amenaza para la integridad del sistema es por ello que en la Tabla 12 se mostrara el valor del factor dependiendo del tipo de lixiviado generado en la zona (Mexichem,2009).

Tabla 12.

Factor de reducción por degradación química y biológica a largo plazo

Tipo de lixiviado	FR _{DQB}
Ligero	1.1
Moderado	1.3
Agresivo	1.5

Fuente: Designing with geosynthetics (2012)

f) Cálculo de masa unitaria del geotextil de protección

- Se debe estimar la presión que actúa sobre la geomembrana considerando la siguiente ecuación:

$$P_{req} = h * \gamma \quad (3)$$

Donde:

P_{req}: Presión actuante sobre geomembrana (Kpa)

γ: Peso unitario del material de relleno o liquido (KN/m³)

h: Altura de diseño del material de relleno o profundidad del líquido o solido (m)

- Los parámetros de la ecuación (2) se pueden asumir o especificar dependiendo de las consideraciones de la obra, en caso de no tener datos necesarios del proyecto, el valor del peso unitario de los residuos sólidos se puede considerar el

valor de 12.56 KN/m³ de la misma manera el valor a considerarse del peso unitario de los líquidos es 9.81 KN/m³.

- Para calcular el valor de la masa por unidad de área requerida, para el material de protección se debe considerar la ecuación (2) y tabla 7.
- Se debe verificar el cumplimiento de la ecuación (3) para verificar que el geotextil de protección cumple su función.
- Se debe realizar la selección del geotextil más optimo, considerando el valor de la masa unitaria (M) que sea mayor o igual al cálculo anterior.
- Se debe tener en cuenta que este método solo es para geotextiles no tejidos, los cuales están hechos con polímeros vírgenes.

1

2

2.1

2.2

2.3

2.3.1

2.3.2

2.3.3

2.3.4

2.3.4.1

2.3.4.2

2.3.4.3

2.3.4.3 Geomembrana

Esta metodología permite realizar la selección de la geomembrana más adecuada para usarla como revestimiento, evitando la filtración de contaminantes ayudando a proteger el ecosistema en cada aplicación (Mexichem,2009).

a) Diseño por función

Este diseño consiste en realizar la evaluación de la aplicación para la cual será usada la geomembrana y poder realizar el cálculo del valor requerido para la propiedad en particular. En el caso de la geomembrana se realiza la comparación de resistencia del material con el valor que se requiere en el diseño, obteniendo así un factor de seguridad global (Mexichem,2009).

- Cálculo del factor de seguridad:

$$Fsg = \frac{\text{Resistencia admisible}}{\text{Resistencia requerida}} > 1 \quad (4)$$

Donde:

Fsg: Factor de seguridad global

Resistencia admisible: Es la última resistencia del ensayo de laboratorio que simula las verdaderas condiciones del proyecto sobre los factores de reducción.

Resistencia requerida: Es el valor obtenido del calculo que simula las reales condiciones del proyecto.

b) Diseño de espesor de geomembrana

Para el diseño del espesor de la geomembrana, la agencia de protección ambiental (EPA) de EE. UU indica que el mínimo espesor requerido para un revestimiento de geomembrana que contendrá materiales nocivos, es de 0.75 mm a 1.5 mm si es de HDPE, y según regulaciones alemanas requieren como mínimo de 2.00 mm siendo el HDPE el único material usado. Este espesor va a depender del polímero con el cual esté fabricada la membrana debido a la fluencia de cada material, para realizar los cálculos del espesor se realiza un equilibrio limite considerando las posibles deformaciones que pueda haber en la geomembrana (Mexichem,2009).

- Cálculo de espesor de geomembrana:

$$T = \frac{(\sigma n)(x)(\tan\delta u + \tan\delta l)}{(\sigma_{perm})(\cos\beta - \sin\beta \tan\delta l)} \quad (5)$$

Donde:

T: Espesor de la geomembrana (mm)

σn : Esfuerzo aplicado por el material de relleno

x: Distancia de movilización de la deformación de la geomembrana

δu : Angulo de fricción entre la geomembrana y material superior (ASTM D 5321)

δl : Angulo de fricción entre la geomembrana y el material inferior (ASTM D 5321)

σ_{perm} : Esfuerzo admisible o permisible de la geomembrana.

β : Angulo que forma el movimiento de la geomembrana a tensión con la horizontal

Tabla 13.

Ángulos de fricción geomembrana-suelo y geomembrana-geotextil según norma ASTM D5321

Tipo de geomembrana	Tipo de geotextil no tejido punzonado	Tipo de suelo		
		$\varphi = 30^\circ$	$\varphi = 28^\circ$	$\varphi = 26^\circ$
HDPE				
Texturizada	32°	30° (100%)	26° (92%)	22° (83%)
Lisa	8°	18° (56%)	18° (61%)	18° (63%)

Fuente: Designing with geosynthetics (2012)

c) Estabilidad de la cobertura de relleno

Las geomembranas en lo general deben ser recubiertas, es por ello que se busca una protección adicional para evitar la oxidación, la degradación ultra violeta, la protección por las altas temperaturas

que aumenta a degradación, protección contra el punzonamiento y también el rasgado debido a material angular. En algunos casos se cubre con suelo en espesores pequeños, que en la mayoría de casos se desliza sobre los taludes es por ello que se realiza el chequeo bajo condiciones de equilibrio límite entre el subsuelo, la geomembrana y el suelo de recubrimiento indicando que estos son de espesor uniforme (Mexichem,2009).

- Cálculo del factor de seguridad para la estabilidad de la cobertura:

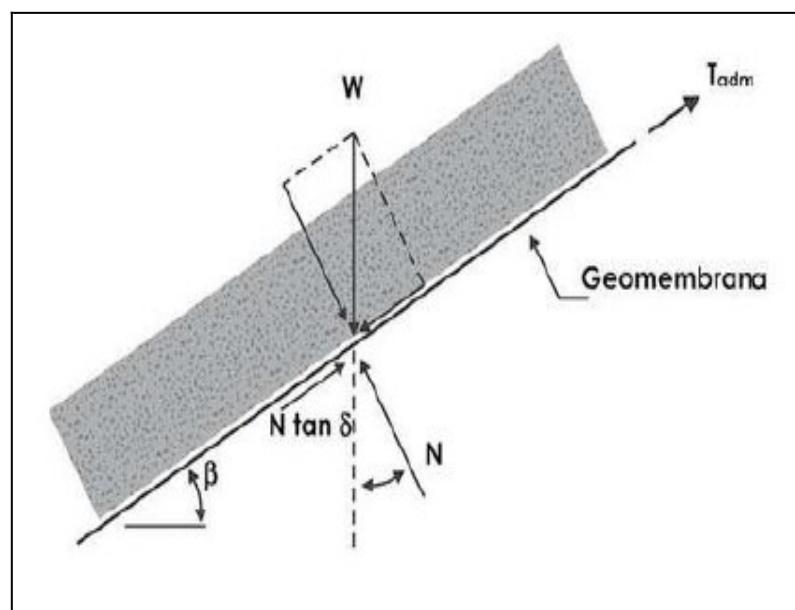


Figura 6. Fuerzas actuantes sobre la geomembrana

Fuente: Designing with geosynthetics (2012)

Los factores de seguridad varia dependen a las longitudes de inclinación, en la cual se escogerá la longitud que obtenga como factor de seguridad mínimo igual a uno, el cual garantiza que no habrá un deslizamiento de la capa de suelo (Mexichem,2009).

$$F_s = \frac{c}{\sigma} \quad (6)$$

Donde:

W: Peso del material de relleno.

β : Angulo de inclinación del talud con la horizontal.

δ : Angulo de fricción entre la geomembrana y el material superior.

L: Longitud de inclinación.

T_{adm} : $\sigma_{adm} \times t$, Fuerza de tensión en la geomembrana.

d) Diseño de la longitud y zanja de anclaje

Para este diseño se toma en cuenta los esfuerzos existentes dentro de la zanja de anclaje y el mecanismo de resistencia. En la profundidad de la zanja existen fuerzas laterales que actúan sobre la geomembrana, de forma más específica es una presión activa de tierras que tiende a desestabilizar el sistema y una presión pasiva la cual la soporta (Mexichem,2009).

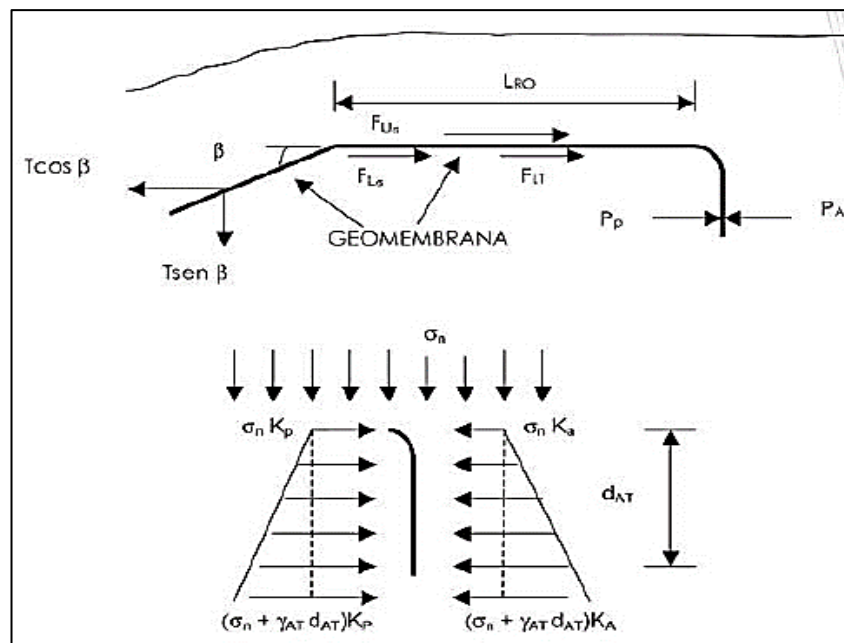


Figura 7. Sección transversal de la longitud de desarrollo de una geomembrana con zanja de anclaje y sus fuerzas actuantes.

Fuente: Designing with geosynthetics (2012)

Realizando la solución se obtienen dos incógnitas, donde se asumirá una de las dos variables realizando un proceso iterativo hasta encontrar un dato consistente que sea constructivamente viable tanto para la longitud de desarrollo (L_{ro}) al igual que para la profundidad de la zanja de anclaje (d_{at}) (Mexichem,2009).

$$\sum F_x = 0$$

$$Tadm(\cos\beta) = Fu + Fl + Flt - Pa + Pp$$

$$Tadm = \frac{\sigma_n(Lro)(\tan\delta u + \tan\delta l) - Pa + Pp}{\cos\beta - \sin\beta(\tan\delta l)} \quad (7)$$

$$Pa = (0.5(\gamma_{at}) dat + \sigma_n) Ka(dat) \quad (8)$$

$$Pp = (0.5(\gamma_{at}) dat + \sigma_n) Kp(dat) \quad (9)$$

Donde:

Lro: Longitud de desarrollo

Pa: Presión activa de tierras contra el material de relleno de la zanja de anclaje

Pp: Presión pasiva de tierras contra el suelo in-situ de la zanja de anclaje

γ_{at} : Peso específico del suelo de la zanja de anclaje

dat: Profundidad de la zanja de anclaje

σ_n : Esfuerzo normal aplicado por el suelo de cobertura

Ka: Coeficiente de presión de tierra activa = $\tan^2(45 - \phi/2)$

Kp: Coeficiente de presión de tierra pasiva = $\tan^2(45 + \phi/2)$

Φ : Ángulo de fricción del suelo

e) Chequeo por supervivencia

Una vez de haber escogido la geomembrana, debe considerarse el proceso de transporte, manejo e instalación, teniendo en cuenta que el material es vulnerable a ser rasgado, punzonado e impactado (Mexichem,2009).

El espesor de la geomembrana es la propiedad física que se relaciona con el comportamiento mecánico, es por ello que existen agencias internacionales que expresan un espesor mínimo de material, teniendo en cuenta que el espesor también debe tener una relación con las condiciones de la zona que será revestida (Mexichem,2009).

2.3.4.4 Punzonamiento de la geomembrana

En las pilas de lixiviación cuando se realiza el revestimiento con geomembrana este es sometido a punzonamiento debido a las cargas causadas por los equipos que sirven como transporte o el mineral que se encuentra sobre la geomembrana, el impacto que sufre el revestimiento por el tamaño superior según reglamento del mineral al ser apilado y las cargas sometidas en la geomembrana debido al peso del mineral que es apilado de forma continua, teniendo mayor crisis en aquellas pilas de lixiviación que tienen mayor altura.

Se colocará un sobre revestimiento que será usado como protección, siendo el tamaño máximo del mineral 38 mm. Para elegir el espesor del sobre revestimiento este depende de la angulosidad de las partículas, pero el espesor típico usado es mayor a 500 mm. Cuando el mineral es menor a los 38 mm no es necesario colocar sobre revestimiento ya que el punzonamiento es controlado por el espesor de la capa mineral el cual es típicamente mayor a 4 m, considerando que la permeabilidad del mineral no sea baja en caso contrario si se colocaría un sobre revestimiento para poder recuperar la solución de lixiviación y poder reducir el aumento de las cargas piezométricas que se da en la geomembrana. Para el caso número 3, el punzonamiento que se da por el peso del mineral se debe verificar por ensayos de integridad o de punzonamiento (Parra, César y Mendoza, 2016).

3

3.1

3.2

3.3

3.3.1

3.3.2

3.3.3

3.3.4

3.3.4.1

3.3.4.2

3.3.4.3

3.3.4.4

a) Ensayos de integridad de la geomembrana

Para este ensayo, una vez escogido el tipo y espesor de geomembrana para el proyecto, se escoge una muestra la cual es colocada sobre el suelo de baja permeabilidad que fue colocada previamente en el equipo, el cual puede ser cilíndrico o cuadrado, a continuación, se coloca el sobre revestimiento o mineral. Una vez colocado el suelo de baja permeabilidad - la geomembrana - el sobre revestimiento se carga de forma gradual hasta poder alcanzar una presión la cual es equivalente a la altura de la pila. En la mayoría de los casos la presión usada es de hasta 4400kPa la cual equivale a una pila de 250 metros de altura. Al alcanzar la máxima carga, la muestra es sometida bajo la carga durante un tiempo de 48 horas para ser retirada y evaluada de forma visual y determinar si presentó fluencia menor, moderada o severa, y así finalmente utilizar la caja de vacío para poder determinar de forma física si hay existencia de perforaciones por motivo del punzonamiento (Parra, César y Mendoza, 2016).



Figura 8. Equipo para ensayo de punzonamiento

Fuente: (Parra, César y Mendoza, 2016)

b) Severidad de punzonamiento

Es común que, en las pilas de lixiviación, una vez colocada el suelo de baja permeabilidad existen partículas de forma angular que quedan en la superficie las cuales son retiradas de forma manual, para continuamente repararse con suelo arcilloso.

También se debe tener en cuenta evaluar la severidad del punzonamiento examinando si en las zonas de fluencia en el revestimiento de geomembrana ha arriesgado su integridad, lo cual tendría como consecuencia la reducción del espesor por lo que influiría en sus propiedades mecánicas.

En las siguientes imágenes se mostrarán dos casos diferentes, donde la Figura 9 fue sometido a una carga que equivale a los 100 metros de altura de pila y la figura 10 a 250 metros de altura de pila, que en forma visual se muestra la diferencia de daños debido al punzonamiento en cada geomembrana, siendo notoria las perforaciones formadas, teniendo como resultado que la Figura 10 no es aceptable debido a los daños mostrados (Parra, César y Mendoza, 2016).



Figura 10. Ensayo de punzonamiento con daño severo

Fuente: (Parra, César y Mendoza, 2016)

2.3.4.5 Instalación de geomembranas

3.3.4.5

a) Preparación de subrasante

El ingeniero encargado y el área de control de calidad inspeccionará que la subrasante esté preparada para poder colocar el suelo de baja permeabilidad, y así poder garantizar que esta tenga una base firme para poder instalar el sistema de impermeabilización, si en caso se observa un área blanda de forma excesiva se debe extraer y colocar el material correcto, todo ello debe estar acorde a las especificaciones técnicas del proyecto (Cidelsa, 2018).

b) Excavación y relleno de la trinchera de anclaje

La excavación del anclaje se realizará de acuerdo a los planos del proyecto, ello será supervisado por el ingeniero encargado y el control de calidad. En la etapa inicial de la excavación, el personal encargado llevara un control de las paredes laterales de la trinchera y también verificará que el borde de la entrada de la trinchera tenga forma redondeada para así poder minimizar las formas agudas en el material de impermeabilización y poder evitar que los paneles colocados estén expuestos a la fatiga (Cidelsa, 2018).

c) Despliegue de geomembrana

Este proceso de instalación consiste en desplegar los paneles de geomembrana en el terreno ya nivelado y aprobado, al realizar la instalación el equipo que se usará no debe dañar la superficie, también tener en cuenta que los técnicos que procederán con la instalación deben tener el equipamiento adecuado para este proceso y evitar provocar el daño del material de revestimiento al igual que manipular correctamente los equipos y herramientas que usarán para la instalación, por otro lado se debe considerar el traslape adecuado para el soldeo de la geomembrana y llevar un control correcto de cada panel instalado (Cidelsa, 2018).

d) Soldadura de los paneles de geomembrana:

- Soldadura por cuña caliente:

Este tipo de soldadura se realiza para unir las geomembranas por medio de termofusión sin ningún tipo de material de aporte en las zonas de traslape de los paneles, este procedimiento se lleva a cabo por una maquina autopropulsada por energía eléctrica donde el operador señala la temperatura a la cual trabajara de acuerdo al tipo de geomembrana (Grupo Tridente, 2019).

- Soldadura por extrusión:

Este tipo de soldadura tiene menor rendimiento que la cuña, en la mayoría de los casos este tipo de soldadura es usada para detalles, parches y alguna unión especial, este tipo de unión es por termofusión con material de aporte (Grupo Tridente, 2019).

e) Control de calidad

- Ensayos no destructivos

Caja de vacío:

Este ensayo es realizado sobre las uniones que son realizadas por la soldadura de extrusión. Aquí se somete totalmente el

cordón de soldadura a cada 50 cm con una presión relativa de -20 kPa. Si existiera alguna filtración en la costura será detectada (Grupo Tridente, 2019).

Prueba de chispa eléctrica (Spark test):

En el caso que no se pueda usar la caja de vacío debido a que el área es irregular se evalúa la estanqueidad con la prueba de chispa eléctrica. Esta prueba se realiza en el borde de los traslapes donde es colocado a su lardo un alambre delgado conductor, si se detecta alguna fuga el equipo emitirá un sonido alertando (Grupo Tridente, 2019).

Prueba de canal de aire:

Cuando se realiza la soldadura por fusión existen dos líneas paralelas don en medio de ellas existe un espacio libre a lo largo de la soldadura, para determinar esta estanqueidad se realiza una inserción con una válvula que tiene un manómetro y este inyecta aire a una presión aproximada de 200 kPa, se aplica agua con detergente para detectar fugas con formación de burbujas, si no existe esta formación entonces no hay fugas (Grupo Tridente, 2019).

- Ensayos destructivos

Corte:

En este ensayo se somete las uniones entre las láminas de las probetas de ensayo a un esfuerzo de corte a cierta velocidad dependiendo del tipo de geomembrana. Esta probeta es sometida a tensión para poder registrar la resistencia e indicar la falla producida fuera de la soldadura (Grupo Tridente, 2019).

Desgarre:

En este ensayo se somete a desgarre la soldadura, el cual los extremos que se ponen en el tensiómetro son

correspondientes a las láminas que están situadas al extremo de la soldadura, donde la resistencia debe ser igual o superior a las especificaciones entregadas por el proveedor (Grupo Tridente, 2019).

2.3.5 Tuberías HDPE

La tubería HDPE es el material óptimo para conducir componentes agresivos utilizadas en la minería, ya que está fabricada por normas internacionales para avalar su calidad y máximo desempeño. Teniendo como características su alta resistencia a la tracción, durabilidad, capaz de transportar y estar en contacto con soluciones químicas, ácidos y sales (Plastiforte, 2011).

2.3.5.1 Materia prima de la tubería HDPE

Esta tubería está fabricada por Polietileno de Alta Densidad, con un 2 a 3 % de color negro de humo esparcido en la masa y los compuestos químicos que conceden resistencia a los rayos ultravioletas (Plastiforte, 2011).

Tabla 14.

Propiedades de la tubería HDPE

Propiedades	Normas	Unidades	Valores
Densidad	ASTM D 792	g/cm ³	0,955
Negro de Humo	ASTM D 160	%	2.0 – 2.5
Temperatura de flexión en carga a 455 Kpa	ASTM D 648	°C	70
Tensión a ruptura	ASTM 638	MPa	34
Resistencia al impacto IZOD a 23°C	ASTM D 256	J/m	220
Elongación en el punto de ruptura	ASTM 638	%	800

Fuente: Manual técnico de tubería HDPE (2011)

2.3.5.2 Tipos de tuberías HDPE

a) Tubería HDPE lisa

Este tipo de tuberías están diseñadas para la conducción de fluidos a presión son fabricadas desde los 32 mm hasta los 2000 mm en base a las normas ISO 4427:2008 y ASTM F-714:2012, estas tienen gran alternativa de solución y es beneficioso debido a su larga duración, su menor costo, fácil instalación y mantenimiento (Cidelsa, 2016).

b) Tubería HDPE corrugada

Este tipo de tubería es corrugada en el exterior para tener mayor resistencia en su estructura y liso en su interior para poder tener una máxima capacidad del flujo hidráulico, este tipo de tubería es usada en la mayoría de casos para drenajes y conducciones en pilas de lixiviación (Cidelsa, 2016).

2.3.5.3 Ventajas de la tubería HDPE

Utilizar un sistema de tubería HDPE es muy importante ya que en costos de instalación y equipamiento se obtiene un gran ahorro económico. Además, tiene una extensa vida útil y un bajo costo en su mantenimiento (Plastiforte, 2011). Todo esto gracias a las siguientes propiedades y características que tiene la tubería:

- a) Resistencia extrema al impacto, golpes y terreno pedregoso
- b) Flexibilidad
- c) Resistencia a Substancias químicas
- d) Larga vida Útil
- e) Estabilidad a la Intemperie
- f) Bajo peso
- g) Instalación rápida
- h) Resistencia a la Abrasión

2.3.5.4 Métodos de Unión

a) Método de termofusión

Este método es usado en proyectos mineros, industria e instalaciones de gas. En este proceso, se calienta el material con

un equipo específico, hasta que llegue a su temperatura de fusión. Finalmente, se realiza una presión moderada hasta lograr la unión (Plastiforte, 2011).

b) Método de electrofusión

Para este método que se utiliza accesorios que tienen resistencias eléctricas, que generan calor y ayudan a que el accesorio y la tubería se unan. Este método se utiliza usualmente en proyectos de instalación de gas natural y GLP (Plastiforte, 2011).

2.3.5.5 Métodos de Aplicación

Según el manual técnico de tubería HDPE, este tipo de tuberías se pueden aplicar de las diferentes formas:

- a) Rociado de pilas de lixiviación
- b) Conducción de soluciones ácidas y alcalinas
- c) Conducción de concentrados
- d) Conducción de relaves
- e) Transporte de aire comprimido y ventilación
- f) Transporte de líquidos y gases a baja temperatura
- g) Protección de cables eléctricos
- h) Drenado de aguas subterráneas
- i) Sistema de combate contra incendios

1

2

2.1

2.2

2.3

2.3.1

2.3.2

2.3.3

2.3.4

2.3.5

2.3.5.1

2.3.5.2

2.3.5.3

2.3.5.4

2.3.5.5

2.3.5.6 Sistema de colección de solución

El sistema de colección tiene como propósito poder conducir la solución lixiviada de forma rápida. Esta red de tuberías se diseña con el fin de minimizar la carga de la solución en el sistema de impermeabilización de la pila de lixiviación, y también poder facilitar la captación del lixiviado. (Smith, 2015).

a) Tubería de colección principal

Esta tubería es diseñada para recibir el flujo de la solución y transportarla, por otro lado, el dimensionamiento de la tubería debe considerar la reducción de la sección transversal de la tubería debido a la carga y aplastamiento a la que estará sometida por la pila de lixiviación. (Smith, 2015).

b) Tuberías de colección lateral

Las tuberías de colección son tuberías perforadas de material de polietileno con pared doble y es corrugado en el exterior, estas tuberías son colocadas directamente encima del sobre revestimiento y es necesario la colocación de grava para el drenaje alrededor de las tuberías y poder minimizar la reducción de la sección transversal por la colocación del mineral (Smith, 2015).

2.3.5.7 Diseño de tuberías de colección de solución

Para este diseño se tomará en cuenta la red de tuberías laterales las cuales estarán conectada a una red de tubería principal, las cuales cumplirán la función de coleccionar la solución lixiviada proveniente de la pila de lixiviación.

2.3.5.6

2.3.5.7

a) Diseño de tubería principal de colección de solución

El diseño de tubería principal indicará cual es la tubería ideal, la cual tendrá la capacidad de colectar la solución proveniente de las tuberías laterales y dirigirla hacia una poza de colección para el proceso de la solución rica.

- Cálculo del caudal:

El caudal indicará la capacidad que tiene la tubería principal para colectar la solución de la pila de lixiviación.

Vector Perú indica en su “Memorias de cálculo de diseño civil” indica la fórmula de obtención del caudal en función a su tasa de riego y el área de la zona.

$$Q = Tr * Ar \quad (10)$$

Donde:

Q: Caudal (m³/s)

Tr: Tasa de riego (Lt-hr/m²)

Ar: Área de la sección (m²)

- Cálculo del diámetro para el caudal estimado:

Para la obtención del cálculo del diámetro de tubería se utilizará la fórmula de Manning o Strickler, teniendo la siguiente expresión:

$$D = \left(\frac{4^{\frac{5}{3}} * Q * n^{3/8}}{\pi S^{\frac{1}{2}}} \right) \quad (11)$$

Donde:

D: Diámetro (m)

Q: Caudal (m³/s)

S: Pendiente (m/m)

n: Coeficiente de rugosidad de Manning

b) Diseño de las tuberías laterales de colección de solución

El diseño de las tuberías laterales indicará las longitudes de separación de cada una de las tuberías al igual que la máxima longitud de tuberías, por otro lado, dará a conocer la capacidad de colección de la red de tuberías.

- Cálculo del caudal

Para la obtención del cálculo del caudal de tubería se utilizará la fórmula de Manning o Strickler, teniendo la siguiente expresión.

$$Q = \frac{D^{8/3} * \pi * S^{1/2}}{4^{5/3} * n} \quad (12)$$

Donde:

D: Diámetro (m)

Q: Caudal (m³/s)

S: Pendiente (m/m)

n: Coeficiente de rugosidad de Manning

- Cálculo de carga máxima y espaciamiento de tuberías

El valor de la carga máxima será en función al espaciamiento de las tuberías, por lo que el diseñador considerará el valor más óptimo de longitud para el diseño de las tuberías laterales. Vector Perú indica en su “Memorias de cálculo de diseño civil” indica la fórmula de obtención de carga máxima en función del espaciamiento.

$$H_{max} = \left(\frac{L^2 * r}{4K} \right)^{0.5} + D * c \quad (13)$$

Donde:

Hmax: Carga máxima (m)

L: Espaciamiento entre tuberías (m)

r: Tasa de riego (Lt-hr/m²)

K: Coeficiente de permeabilidad

D: Diámetro de tubería (m)

c: Capacidad del diseño (%)

- Cálculo de longitud máxima de tubería

Vector Perú indica en su “Memorias de cálculo de diseño civil” indica la fórmula de obtención de longitud máxima.

$$i = \frac{q}{(r * L)} \quad (14)$$

Donde:

Lt: Longitud máxima de tubería (m)

q: Caudal (m³/s)

r: Tasa de riego (Lt-hr/m²)

L: Espaciamiento entre tuberías (m)

2.3.6 Material de sobre revestimiento

Este tipo de material es usado para la protección de la geomembrana de revestimiento y las tuberías de colección de solución de daños posibles que son ocasionados ya sea por el transporte o el mineral que irá sobre las pilas, este sobre revestimiento debe ser permeable para facilitar la recolección de la solución obtenida por la lixiviación. (Alberca, 2021).

Los ensayos a tener en cuenta para el suelo de baja permeabilidad son:

- a) Análisis granulométrico – ASTM D6913
- b) Contenido de humedad – ASTM D2216
- c) Límites de Atterberg – ASTM D4318

2.3.7 American Society for Testing and Materials (ASTM)

En la presente investigación se utilizará las siguientes normas American Society for Testing and Materials (ASTM) para verificar que la geomembrana cumpla con los estándares de calidad:

- a) ASTM D638: Método de prueba estándar para propiedades de tracción.
- b) ASTM D792: Métodos de prueba estándar para densidad y gravedad específica (densidad relativa) de plásticos por desplazamiento.
- c) ASTM 1004: Método de prueba estándar para la resistencia inicial al desgarro de películas y láminas de plástico.

- d) ASTM D1505: Método de prueba estándar para densidad de plásticos por la técnica de gradiente de densidad.
- e) ASTM D1603: Método de prueba estándar para negro de carbón en plásticos.
- f) ASTM D3895: Método de prueba para el tiempo de inducción oxidativa de poliolefinas por análisis térmico.
- g) ASTM D4218: Método de prueba para la determinación del contenido de negro de humo en compuestos de polietileno mediante la técnica de horno de mufla.
- h) ASTM D4833: Método de prueba estándar para índice de resistencia a la punción de geotextiles, geomembranas y productos relacionados.
- i) ASTM D5199: Método de prueba estándar para medir el espesor nominal de geotextiles y geomembranas.
- j) ASTM D5397: Procedimiento para realizar una prueba de carga de tracción constante con muesca en un solo punto.
- k) ASTM D5596: Método de prueba para la evaluación microscópica de la dispersión de negro de carbón en geosintéticos de poliolefina
- l) ASTM D6693: Método de prueba que cubre la determinación de las propiedades de tracción de polietileno y geomembranas no reforzadas.
- m) ASTM D5617: Método de prueba estándar para la prueba de tensión multiaxial para geosintéticos.
- n) ASTM D4491: Método de prueba para determinar la conductividad hidráulica de los geotextiles.
- o) ASTM D4533: Método de prueba para medir la fuerza requerida para continuar o propagar el desgarro en geotextil tejidos y no tejidos por método trapezoidal.
- p) ASTM D5035: Método de prueba para determinar la fuerza máxima y el alargamiento máximo de las telas textiles utilizando tiras cortadas.
- q) ASTM D5261: Método de prueba para determinar la masa por unidad del área de los geotextiles.

- r) ASTM D648: Norma que describe la determinación de temperatura de deformabilidad debido al calor HDT y la temperatura de reblandecimiento Vicat VST.
- s) ASTM D256: Norma que describe el ensayo de impacto según el método Izod para la determinación de la resistencia al impacto en plástico.
- t) ASTM D6913: Método de prueba para distribuir el tamaño de las partículas de suelos mediante el análisis de tamiz.
- u) ASTM D2216: Método de prueba estándar para la determinación de laboratorio del contenido de humedad del suelo y la roca por masa.
- v) ASTM D4318: Métodos de prueba para límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.
- w) ASTM D1556: Método de prueba estándar para la densidad y el peso unitario del suelo en el lugar mediante el método del cono de arena.
- x) ASTM D2922: Método de prueba estándar para la densidad del suelo y los agregados del suelo en el lugar mediante métodos nucleares (profundidad superficial).
- y) ASTM D1557: Métodos de prueba estándar para las características de compactación de laboratorio del suelo usando esfuerzo modificado.

2.4 Definición de términos básicos

- a) American Society for testing and Materials: Organización internacional más grande del mundo que desarrolla diferentes normas con el análisis de su procedimiento. (Asociación española para la calidad, 2019).
- b) HDPE: Polietileno de alta densidad formado por unidades de etileno, siendo el material usado en envases y otros productos de plástico.
- c) Polietileno: Este material es generado por la polimerización del etileno, es un plástico muy utilizado, se creó con la finalidad de ser un aislador eléctrico, siendo luego aplicado en diferentes campos industriales (Vélez & Mosquera, 2012).
- d) Polipropileno: Es un tipo de plástico resistente a los golpes, tiene baja densidad, fácil dobles y resistente a aquellos productos corrosivos, este es generado de la polimerización del propileno (corso, López, Caleffi, Domínguez y Diaz, 2016).

- e) Punzonamiento: Es aquel esfuerzo producido por las tracciones en una pieza debido a esfuerzo tangenciales que son ocasionados por una carga.

2.5 Fundamentos teóricos que sustenta la Hipótesis

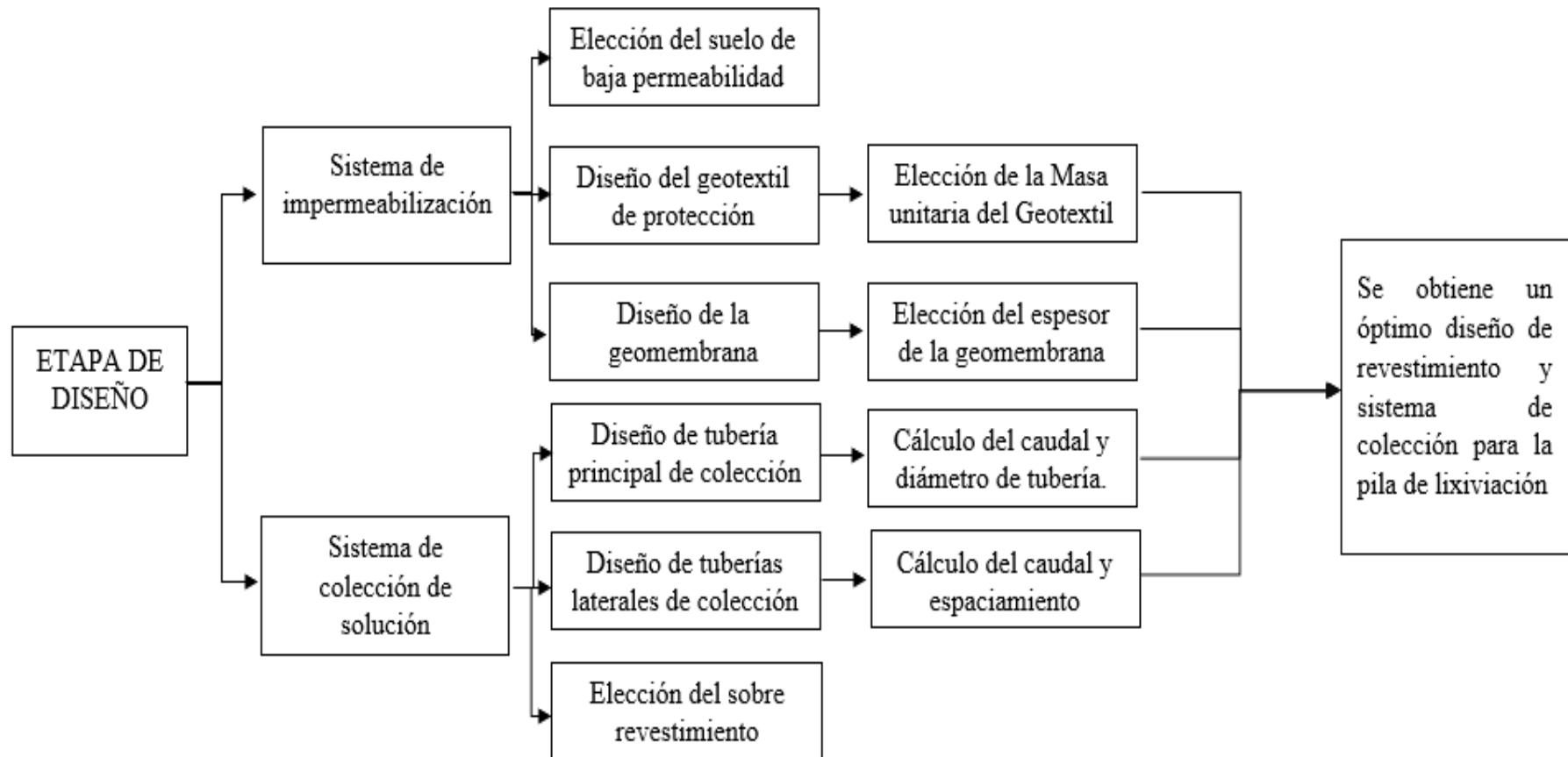


Figura 11. Fundamentos teóricos que sustentan la Hipótesis

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

El diseño del sistema de impermeabilización y del sistema de colección evita la filtración de solución de oro en la pila de lixiviación del área de estudio.

3.1.2 Hipótesis específicas

- a) La masa unitaria del geotextil de protección determinado, es el más conveniente para el área de estudio.
- b) El espesor de geomembrana determinado, es el ideal para revestir la pila de lixiviación teniendo resistencia al punzonamiento debido a la carga a la que está sometida.
- c) El caudal del sistema de colección principal determinado, es óptimo para que el sistema de colección funcione correctamente.
- d) El diámetro de la tubería principal determinado, es óptimo para soportar el volumen de solución colectada
- e) El espaciamiento de las tuberías de colección laterales distribuye correctamente la solución de toda el área de la zona de estudio.

3.2 Sistema de variables

3.2.1 Definición conceptual y operacional

3.2.1.1 Variables independientes

a) Espesor de geomembrana:

Esta variable es para la elección de la mejor opción de geomembrana de acuerdo a las condiciones de terreno.

b) Masa unitaria de geotextil:

Esta variable es para la elección de la mejor opción de geotextil como protección de geomembrana.

c) Caudal de tubería principal:

La presente variable indicará el caudal necesario para poder colectar las soluciones extraídas por las tuberías laterales hacia la poza de lixiviación.

d) Diámetro de tubería principal.

La presente variable determinará el diámetro correcto de tubería a usar para el traslado del caudal obtenido.

e) Caudal de tuberías laterales

La presente variable indicará que caudal soportará las tuberías de 100 mm para coleccionar la solución.

f) Espaciamiento de tuberías laterales.

La presente variable indicará el espaciamiento electo para la instalación de las tuberías de 100 mm.

3.2.1.2 Variables dependientes

a) Diseño de sistema de impermeabilización

Esta variable se determinará con el valor de espesor de geomembrana, masa unitaria de geotextil de protección.

b) Diseño de sistema de colección de solución.

Esta variable se determinará con el valor de caudal y diámetro para la tubería principal y caudal y espaciamiento para las tuberías laterales.

3.2.2 Operacionalización de variables

Tabla 15.

Operacionalización de variables

Tipo de variable	Variables	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
Independientes	Espesor de geomembrana	Tipo de geomembrana optimo según capacidad de mineral expuesto.	Resistencia al punzonamiento	Planos de la zona de estudio.	Normas ASTM
	Masa unitaria de geotextil	Tipo de geotextil para protección de geomembrana.			
	Caudal de tubería principal	Volumen de captación de solución de tubería principal.	Capacidad y tamaño optimo	Especificaciones técnicas del material	Tesis nacionales
	Diámetro de tubería principal	Tamaño dependiente del caudal hallado.			
	Caudal de tuberías laterales	Volumen de captación de solución de tubería lateral.	Distribución y capacidad optima	Características de la zona	Artículos
	Espaciamiento de tuberías laterales	Distribución de tuberías laterales.			
Dependientes	Diseño de sistemas de permeabilización	Consiste en escoger el tipo geotextil de protección y geomembrana.	Elección masa unitaria del geotextil de protección y espesor de geomembrana.		Libros de diseño
	Diseño de sistema de colección de solución	Consiste en escoger el tipo de tuberías de colección principal y laterales	Diámetro de tubería principal, espaciamiento de tuberías laterales.		

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA

4.1 Método de la investigación

Abreu (2014) indica que el método inductivo es aquel que plantea un razonamiento de forma ascendente que analiza desde los casos individuales hacia los generales, este tipo de método está enfocado en el fin, donde se observa y se estudia para conocer características comunes que pueden reflejar un conjunto de realidades y con ello elaborar una propuesta científica.

La presente investigación presenta un método inductivo ya que se analiza casos específicos llegando a una conclusión generala, mediante el diseño realizado.

Alonso (2019) indica que la investigación cuantitativa tiende a utilizar datos los cuales se miden de forma sistemática, teniendo como principal característica poder determinar las muestras a estudiar, realizando tabulación de datos empíricos obtenidos y poder establecer generalizaciones propias a partir de ellos.

La presente investigación es de tipo cuantitativa dado que a través del diseño del sistema de impermeabilización y del sistema de colección de solución, se obtuvieron resultados cuantificables que dan solución al estudio realizado.

4.2 Tipo de la investigación

Guevara, Verdesoto y Castro (2020), indica que la investigación descriptiva registra, analiza e interpreta datos sobre el tema de investigación siendo estos datos tanto cuantitativos como cualitativos, describiendo también características fundamentales de conjuntos homogéneos, usando criterios sistemáticos que permiten establecer una estructura o también comportamiento de los fenómenos a estudiar.

Es por ello que la presente investigación es de tipo descriptiva ya que hemos realizado recolección de datos cuantificables, estudiando casos similares al tema de investigación.

4.3 Nivel de la investigación

La investigación aplicada es aquella que tiene como orientación conseguir nuevos conocimientos y está destinado a obtener soluciones de problemas prácticos. (Álvarez, 2020, p.3)

El nivel de la presente investigación es aplicado porque se busca realizar un diseño óptimo de impermeabilización al igual que un sistema de colección de solución

ideal para una pila de lixiviación bajo resultados que responden a nuestros objetivos.

4.4 Diseño de la investigación

La investigación no experimental es aquella donde el investigador no manipula sus variables, existiendo de tipo transversal donde se mide una sola variable y longitudinal donde hay dos o más variables a estudiar. (Álvarez, 2020, p.4)

Esta investigación presenta un diseño no experimental longitudinal ya que tenemos seis variables independientes las cuales no son manipuladas.

4.5 Población y muestra

4.5.1 Población

“Población es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas conclusiones de la investigación. Esta queda determinada por el problema y por los objetivos del estudio” (Arias, 2006, p.81).

La población de estudio se encuentra constituida por la zona minera Corihuarmi ubicado en el distrito de Chongos Alto, provincia de Huancayo, departamento de Junín.

4.5.2 Muestra

Al tener diversas incógnitas es imposible poder abarcar un total de elementos que forman una población, por ello se recurre a seleccionar una parte del total el cual es asignado como muestra (Arias, 2006, p.83).

“Un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible” (Arias, 2006, p.83).

La presente investigación tiene como muestra un área delimitada de 12,483.54 m², el cual representa el 24 % de la zona de estudio.

Tabla 16.

Distribución de pila de lixiviación por área

Zona	Área	Porcentaje equivalente
Z1	12,483.54 m ²	24 %
Z2	11,665.02 m ²	22 %

Z3	27,910.93 m ²	54 %
----	--------------------------	------

Fuente: Elaboración propia

4.6 Técnicas e instrumentación de recolección de datos

4.6.1 Instrumentos de recolección de datos

- a) Planos del área.
- b) Fichas técnicas y manuales de diseño
- c) Normas ASTM
- d) Tesis nacionales, tesis internacionales y artículos de relación al tema de investigación.

4.6.2. Métodos y técnicas

- a) Revisión de planos del área, fichas técnicas y manuales de diseño.
- b) Recolección de datos de tesis nacionales, internaciones y artículos.
- c) Cálculos en el software Excel.
- d) Modelamiento en el software AutoCAD 2D.

4.7 Descripción de procedimientos de análisis

Se realizó un diseño de geomembrana y geotextil y tuberías colección en el software Excel, donde previamente se recopiló información teórica de tesis, artículos y planos que fueron entregados por la empresa ENCOTEC GROUP S.A.C obteniendo resultados favorables, los cuales fueron plasmados Enel software AutoCAD 2D mostrando el despliegue de los sistemas de impermeabilización y la distribución de la red de tubería de colección.

CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

5.1 Ubicación de la zona de estudio

La minera Corihuarmi se encuentra ubicada entre la región Junín y Lima, localizada en las provincias de Huancayo y Yauyos y en los distritos de Chongos Alto y Huantán.



Figura 12. Ubicación de la unidad minera Corihuarmi

Fuente: Minería IRL S.A (2020)

5.2 Tipo de suelo

Según Mamani (2019) en su tesis “Diseño de taludes para botadero de desmonte en mina Corihuarmi”, clasificó el tipo de suelo en la zona minera por medio del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

GC: Grava arcillosa

GM: Grava limosa

SC: Arena Arcillosa

5.2.1 Ensayos realizados para la clasificación de suelo

Mamani (2019) indica que las muestras obtenidas en la zona de Corihuarmi fueron sometidas a los ensayos de Análisis de contenido de humedad (ASTM D2216), ensayo granulométrico por tamiz (ASTM D422) y límites de Atterberg (ASTM D4318), cuyos resultados se plasman en la Tabla 17.

Tabla 17.

Ensayos realizados de las muestras extraídas de la tesis “Diseño de taludes para botadero de desmonte en mina Corihuarmi”

Muestras	Profundidad (m)	Granulometría (%)			Límites		
		Grava	Arena	Finos	LL	LP	IP
M-1	4.5	37.4	42.2	20.4	19.0	15.0	4.0
M-2	4.2	43.3	37.2	19.5	22.0	16.0	6.0
M-3	5.0	6.7	61.0	32.3	37.0	17.0	20.0

Fuente: Mamani (2019)

5.2.2 Ensayos de densidad

Mamani (2019) indica que para poder estimar el valor de la densidad natural del material se hizo 3 ensayos de densidad en campo con el cono de arena en las muestras que se obtuvieron, el ensayo consistía en realizar un hoyo pequeño en la zona y luego llenarlo con arena con densidad conocida para luego extraer el material y el volumen y así obtener la densidad húmeda de campo, todo ello se realizó bajo la Norma Técnica Peruana (NTP 339.143.1999), obteniéndose los resultados de la Tabla 18:

Tabla 18.

Ensayos de densidad de las muestras extraídas de la tesis “Diseño de taludes para botadero de desmonte en mina Corihuarmi”

Muestras	Profundidad (m)	Densidad Húmeda (gr/cm ³)	Humedad (%)	Densidad Seca (gr/cm ³)
M-1	4.5	1.65	1.8	1.62
M-2	4.2	1.92	1.5	1.89
M-3	5.0	1.75	2.2	1.71

Fuente: Mamani (2019)

5.3 Suelo de baja permeabilidad

Según Alberca (2021), El material a elección se acondiciona y se rastrilla antes de ser instalado y compactado para poder remover los materiales con tamaño mayores a los 75 mm, este será colocado en una capa y compactado al 95% de la máxima densidad seca y teniendo un contenido de humedad que esté entre el rango de -2% a +2%.

Vásquez (2017), indica en su desarrollo que el espesor de la capa de suelo de baja impermeabilidad debe ser 30 cm como mínimo.

Tabla 19.

Especificaciones de suelo de baja permeabilidad

Tamaño de malla	Porcentaje acumulado que pasa
3 pulgadas (75 mm)	100
1.5 pulgadas (38 mm)	95-100
1 pulgada (25 mm)	90-100
½ pulgada (13 mm)	85-100
Nº4 (4.75 mm)	75-98
Nº40 (0.045 mm)	55-75
Nº200 (0.0075 mm)	45-65
Índice de plasticidad (ASTM D4318)	Mayor a 10

Fuente: Alberca (2021)

Este tipo de suelo es sometido a los ensayos de granulometría, Proctor estándar, límites de Atterberg y contenido de humedad.

Alberca (2021), da a conocer las siguientes tablas con los resultados obtenidos de los ensayos realizados a las muestras del suelo de baja permeabilidad, mostrando aquellos datos que cumplieron los intervalos del análisis granulométrico.

Tabla 20.

Ensayos de los límites de Atterberg y Contenido de humedad

N.º Prueba	Límites de Atterberg			Contenido de Humedad
	LL (%)	LP (%)	IP > 10	
1	37	21	16	9.40%
2	54	29	25	13.20%
3	47.3	29	18.3	21.00%
4	43.2	23	20.2	21.00%
5	52	31	21	24.00%

Fuente: Alberca (2021)

Tabla 21.

Ensayos de granulometría

N.º Prueba	Granulometría (Porcentaje que pasa) %							Condición
	2"	1 1/2"	1"	1/2"	Nº4	Nº40	Nº200	
1	100.00	96.40	90.40	85.50	74.80	56.50	47.30	Cumple
2	100.00	95.10	95.10	92.40	87.70	70.40	57.50	Cumple
3	100.00	96.90	93.80	88.00	82.00	66.30	55.00	Cumple
4	100.00	97.70	95.20	90.80	81.30	62.90	54.10	Cumple
5	98.70	96.30	94.90	90.90	84.50	63.80	51.00	Cumple

Fuente: Alberca (2021)

Tabla 22.

Ensayos de Proctor Estándar

N.º Prueba	Proctor estándar			
	Sin corrección		Corregida	
	D.S MAX (g/cm ³)	C.H OPT (%)	D.S MAX (g/cm ³)	C.H OPT (%)
1	1.62	14.73	-	-
2	1.63	16.55	-	-
3	1.82	15.64	-	-
4	1.65	15.91	-	-
5	1.66	20.9	1.69	19.65
6	1.67	19.8	1.93	16.83
7	1.81	16.5	2.13	13.87
8	1.64	21.5	1.81	19

Fuente: Alberca (2021)

Alberca (2021), muestra las siguientes tablas, mostrando los ensayos in situ de compactación realizados con el densímetro nuclear y de densidad con cono de arena, los cuales obedecieron un control de compactación, mostrando que el grado de compactación cumple con el 95% de la máxima densidad seca y con el contenido de humedad con rango de -2% a +2% del contenido de humedad óptimo.

Tabla 23.

Ensayos de Cono de arena

N.º Prueba	Cono de arena		
	Máxima densidad seca	Humedad	Porcentaje de compactación
I-1	1.705	19	98.7
I-2	1.705	19	98.7
I-3	1.705	19	-
I-4	1.705	19	-
I-5	1.705	19	-
I-6	1.705	19	99.1

Fuente: Alberca (2021)

Tabla 24.

Ensayos de Densímetro Nuclear

N.º Prueba	Densímetro nuclear			
	Densidad humedad	Densidad seca	Contenido de humedad	Porcentaje de compactación
I-1	2020	1672	20.8	98
I-2	2009	1669	20.4	97.9
I-4	2049	1700	20.5	99.7
I-5	2021	1678	20.5	98.4
I-6	-	-	-	-

Fuente: Alberca (2021)

Con los resultados obtenidos de la Tabla 23 y Tabla 24 se tiene como condición que todas las muestras pasan debido a que su grado de compactación es mayor al 95%, siendo el mínimo requerido.

5.4 Procedimiento de cálculos de diseño de Geotextil

Como primera capa de impermeabilización se colocará un suelo de baja permeabilidad y encima de esta irá el geotextil no tejido como protección, para ello realizaremos el diseño nuestra capa de protección tomando en cuenta las condiciones del terreno donde irá colocada.

5.4.1 Elección del factor de seguridad global

Debido a las características del terreno donde será instalado el geotextil como protección, de la Tabla 7 se ha considerado partículas aisladas indicando el valor de la altura efectiva y factor de seguridad global en función del arreglo de las piedras en la zona, siendo nuestros resultados los siguientes:

Tabla 25.

Elección del factor de seguridad global y altura efectiva para el diseño

Arreglo de las piedras	Altura efectiva de protuberancia (mm)	Factor de seguridad global
Piedras Aisladas	12	4.5

Fuente: Elaboración propia

5.4.2 Elección de factor de Modificación

Se ha considerado la geometría del material como semiredondas con ello se asume el factor de modificación. Por lo cual, según la Tabla 8 y Tabla 9, se ha considerado el siguiente resultado:

Tabla 26.

Elección del factor de modificación por forma de la protuberancia

Forma de la piedra	FMs
Semiredondas	0.50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27.

Elección del factor de modificación por densidad del relleno

Arreglo de la protuberancia	FMdr
Aislada	1.00

Fuente: Elaboración propia

5.4.3 Elección del factor de Modificación por efecto de arco en sólidos

Debido al proceso de lixiviación solo se extrae la sustancia que obtiene los metales requeridos para su proceso el cual es recolectado y transportado y por lo tanto el mineral que no ha sido procesado se queda formando grandes pilas estáticas las cuales generan una carga constante sobre la geomembrana, es por ello, que de la Tabla 10, como mejor opción de factor de modificación por efecto de arco en sólidos, se consideró el siguiente valor:

Tabla 28.

Elección del factor de modificación por efecto de arco en sólidos

Efecto de arco en sólidos	F _{Ma}
Geoestático, profundo	0.25

Fuente: Elaboración propia

5.4.4 Elección del factor de reducción por fluencia a largo plazo

Debido a que este factor involucra la deformación de los materiales a largo plazo, se ha optado un geotextil de 1100 g/m² obteniéndose el factor más conveniente para nuestro diseño.

Tabla 29.

Elección del factor de reducción por fluencia a largo plazo

FR _{fl}	
Referencia geotextil (g/m ²)	Altura efectiva de protuberancia (12 mm)
1100	1.3

Fuente: Elaboración propia

5.4.5 Elección del factor de reducción

Al conocer que el cianuro es un químico venenoso que permite extraer el oro de los demás minerales, esta produce una solución toxica y contaminante, que si se filtra en el suelo o agua genera un impacto ambiental negativo. Por ende, en los datos de la Tabla 12 se ha considerado como un lixiviado agresivo, obteniendo el siguiente factor de reducción por degradación química y biológica a largo plazo:

Tabla 30.

Elección del factor de reducción por degradación química y biológica a largo plazo

Tipo de lixiviado	FR _{DQB}
Agresivo	1.5

Fuente: Elaboración propia

5.4.6 Cálculo de peso requerido

En el manual de diseño de geosintéticos indica que al no tener datos específicos del material que irá sobre la geomembrana se recomienda usar como peso específico 12.56 kN/m³, por otro lado, consideraremos la altura de nuestra pila 60 metros, con ello hallaremos el valor de la presión requerida.

Datos:

$$\gamma = 12.56 \text{ kN/m}^3$$

$$H_{\text{pila}} = 60 \text{ m}$$

Reemplazando la ecuación (3):

$$P_{\text{req}} = 60 * 12.56 \text{ kN / m}^3$$

$$P_{\text{req}} = 753.6 \text{ kN / m}^2$$

5.4.7 Cálculo del peso admisible

Datos:

$$P_{\text{req}} = 753.6 \text{ kN/m}^2$$

$$FS = 4.5$$

Reemplazando la ecuación (1):

$$4.5 = \frac{P_{adm}}{753.6 \text{ kN/m}^2}$$

$$P_{adm} = 753.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 4.5$$

$$P_{adm} = 3391.2 \text{ kN/m}^2$$

5.4.8 Masa unitaria del geotextil de protección

Para proceder con el cálculo de la masa unitaria del geotextil, se reemplazará con los datos obtenidos en ecuación (2) obteniendo lo siguiente:

Datos:

$$P_{adm} = 3391.2 \text{ kN/m}^2$$

$$H = 12 \text{ mm}$$

$$FMs = 0.50$$

$$FM_{dr} = 1.00$$

$$FM_a = 0.25$$

$$FR_{fl} = 1.30$$

$$FR_{dqb} = 1.50$$

Reemplazando en ecuación (2):

$$3391.2 \text{ kN/m}^2 = \left(\frac{450 * M}{(12 \text{ mm})^2} \right) \left(\frac{1}{0.50 * 1.00 * 0.25} \right) \left(\frac{1}{1.30 * 1.50} \right)$$

$$M = \left(\frac{3391.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * (12 \text{ mm})^2 * 0.50 * 1.00 * 0.25 * 1.30 * 1.50}{450} \right)$$

$$M = 264.51 \text{ g/m}^2$$

Al obtener el valor de la masa unitaria del geotextil 264.51 g/m² se considerará la masa comercial siendo el geotextil de 270 g/m².

5.5 Procedimiento de cálculos de diseño de Geomembrana

5.5.1 Cálculo del Esfuerzo aplicado por el material de relleno

Recopilando información del manual de diseño de geosintéticos se ha considerado los valores del peso específico y altura del relleno.

Datos:

$$\gamma = 12.56 \text{ kN/m}^3$$

$$h_{\text{pila}} = 60 \text{ m}$$

Reemplazando en ecuación:

$$\sigma_n = 60 \text{ m} * 12.56 \text{ kN/m}^3$$

$$\sigma_n = 753.60 \text{ kN/m}^2$$

5.5.2 Elección del Ángulo de fricción

Se considerará una geomembrana HDPE lisa, siendo la más utilizada en las zonas mineras. Por ese motivo, se tomó en consideración dicha definición, para recurrir a la Tabla 13, seleccionándose los siguientes datos:

Tabla 31.

Elección de ángulo de fricción

Tipo de geomembrana	Tipo de geotextil no tejido punzonado	Tipo de suelo
HDPE		$\phi = 30^\circ$
Lisa	8°	18° (100%)

Fuente: Elaboración propia

5.5.3 Esfuerzo admisible o permisible de la geomembrana

Koerner (2012) en su libro “Designing with Geosynthetic” indica que el mayor esfuerzo admisible (σ_{perm}) que la geomembrana HDPE puede soportar es de 15000 kPa, por lo tanto, se toma en consideración ese dato para el diseño:

$$\sigma_{\text{perm}} = 15000 \text{ kPa}$$

5.5.4 Ángulo que forma el movimiento de la geomembrana con la horizontal

Se optó como mejor opción utilizar la pendiente 1H:1V que con lleva a tener un $\beta = 45^\circ$ empleada por Pardo (2021), Asimismo, esto ayudará a tener mayor estabilidad en el talud de la berma.

5.5.5 Elección de distancia de movilización de la deformación de la geomembrana

La norma ASTM D5321, indica que como valor de distancia de la deformación se considera la Tabla 32:

Tabla 32.

Elección de la distancia de movilización

Espesor de geomembrana HDPE (mm)	Distancia de movilización (mm)
0.75	30
1.50	50

Fuente: Alvarez (2020)

Se recomienda usar la mayor distancia de movilización, por ello se considerará el mayor espesor de geomembrana de la Tabla 32, por lo tanto, se obtiene que la distancia de movilización es 50 mm.

5.5.6 Cálculo del espesor de la geomembrana

Con los datos obtenidos con anterioridad se realiza el cálculo del espesor de la geomembrana.

Datos:

$$\sigma_n = 753.6 \text{ kN/m}^2$$

$$\delta_u = 18^\circ \text{ y } \delta_l = 8^\circ$$

$$\sigma_{perm} = 15000 \text{ kPa}$$

$$x = 50 \text{ mm}$$

El valor de $\beta = 45^\circ$

Reemplazando en ecuación (5)

$$T = 753.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 0.05 \text{ m} * \dots$$

$$T = 0.00192 \text{ m}$$

$$T = 1.92 \text{ mm}$$

Al obtener el valor del espesor de la geomembrana 1.92 se considerará el espesor comercial siendo esta 2.00 mm.

5.5.7 Cálculo del factor de Seguridad

Para verificar si el diseño cumplió, se realizaron las siguientes comprobaciones:

Datos:

T instalado = 2.00 mm

T requerido = 1.92 mm

Reemplazando en la ecuación (4):

$$Fsg = \frac{2.00 \text{ mm}}{1.92 \text{ mm}}$$

$$Fsg = 1.04 > 1$$

5.5.8 Cálculo del factor de seguridad para la estabilidad de la cobertura

Aliaga y Palomino (2021) indican como ángulo de fricción del suelo de baja permeabilidad este tiene un peso específico de 17 kN/m³, teniendo en cuenta ese dato lo consideraremos en nuestro diseño.

Datos:

Peso específico del suelo de baja permeabilidad = 17 kN/m³

W = 17 kN/m³ * 0.5m * 1m = 8.5 kN/m

σ_{perm} = 15000 kPa

T_{adm} = σ_{perm} * T = 15000 * 0.002 = 30

δ_u = 18° y δ_l = 8°

β = 45°

Reemplazando en la ecuación (6):

$$F_s = \dots$$

$$F_s = \frac{1.95 L + 30}{6.01 L}$$

Por lo tanto, para obtener un valor de seguridad mayor a 1 se asume el valor de la longitud de inclinación.

Tabla 33.

Elección de la longitud de inclinación

L (m)	Fs
2.00	2.82
4.00	1.57
6.00	1.16
8.00	0.95

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, se consideró la longitud de inclinación 2 metros, debido a que tiene un mayor factor de seguridad estimando que es el más óptimo.

$$F_s = \frac{1.95(2) + 30}{6.01(2)}$$

$$F_s = 2.82 > 1$$

5.5.9 Cálculo de la longitud y zanja de anclaje

Datos:

Peso específico del suelo de baja permeabilidad (zanja) = 17 kN/m³

Angulo de fricción (ϕ) = 30°

$K_a = \tan^2(45 - \phi/2) = \tan^2(45 - 30/2) = 3.33$

$K_p = \tan^2(45 + \phi/2) = \tan^2(45 + 30/2) = 3.00$

$\delta_u = 18^\circ$ y $\delta_l = 8^\circ$

$\beta = 45^\circ$

$T_{adm} = 15000 * 0.002 = 30$

$\sigma_n = \gamma_{at} * \text{espesor} = 17 \text{ kN/m}^3 * 0.3 \text{ m} = 5.10 \text{ kN/m}^2$

Reemplazando en la ecuación (8) y (9) en (7):

$$30 = \frac{2.37(Lro) - (2.81 \text{ dat}^2 + 1.68 \text{ dat}) + (25.5 \text{ dat}^2 + 15.30 \text{ dat})}{0.61}$$

$$18.3 = 2.37 Lro + 22.69 \text{ dat}^2 + 13.62 \text{ dat}$$

En el manual de diseño de geosintéticos (2007) indica que se debe asumir como longitud de desarrollo el valor de 0.30 m.

$$18.3 = 2.37(0.3) + 22.69 \text{ dat}^2 + 13.62 \text{ dat}$$

$$0 = 22.69 \text{ dat}^2 + 13.62 \text{ dat} - 17.589$$

$$\text{dat} = 0.63$$

En el manual de diseño de geosintéticos (2007) indica que por razones constructivas el valor del $\text{dat} \geq 0.3$ m, por ello nuestra profundidad de zanja es correcta.

5.5.10 Chequeo por supervivencia

Parra, César y Mendoza (2016), indican que el espesor de geomembrana recomendable para el revestimiento de una pila de lixiviación es de 1.5 y 2.00 mm por lo que nuestro diseño de geomembrana cumple por otro lado también indican que el gramaje ideal de geotextil para este tipo de pilas es de 270 gr/m², de igual forma cumpliendo con lo requerido.

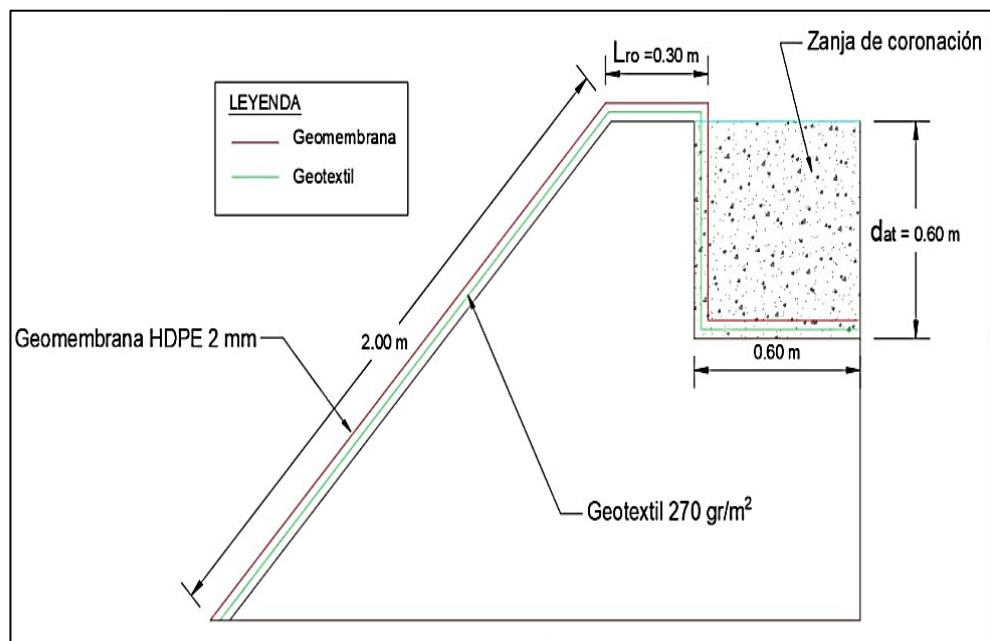


Figura 13. Berma para instalación de geomembrana

Fuente: Elaboración propia

5.6 Procedimiento del sistema de colección de solución

En nuestro diseño de sistema de colección se colocará la tubería principal y las tuberías laterales por gravedad sobre la geomembrana, siendo cubierta por un sobre revestimiento que actuará como elemento drenante.

5.6.1 Cálculos de diseño de Colección Principal

Para realizar el diseño de tubería principal optaremos por considerar los datos entregados por la empresa ENCOTEC GROUP S.A.C, teniendo lo siguiente:

- Área de zona a impermeabilizar = 12483.54 m²
- S= 1 %

Por otro lado, se considerará una tubería HDPE de pared doble corrugada ya que este tipo de tuberías es la más recomendable como tubería de colección, el coeficiente de Manning para este tipo de tuberías tiene un intervalo de 0.010 a 0.013, tomando para nuestro diseño un valor de 0.012 y considerando el 50% de capacidad.

Choque (2018), en su trabajo de investigación realizado en la mina Corihuarmi, indica los valores de tasa de riego y flujo máximo utilizado para el sistema de riego por aspersión, el cual optaremos como datos para nuestro diseño.

- Tasa de riego (Tr)=10 Lt-hr/m²
- Flujo máximo = 520 m³/h

a) Cálculo del caudal estimado para tubería principal

Realizaremos el cálculo de la capacidad que debe tener nuestra tubería para proceder con la obtención del diámetro.

Reemplazando en la ecuación (11)

$$Q = 2.77 \cdot 10^{-6} \cdot 12483.54$$

$$Q = 0.035 \text{ m}^3/\text{s}$$

b) Cálculo del diámetro para el caudal estimado

Obtenido nuestro caudal, procedemos a la obtención del diámetro.

$$D = \left(\frac{4^{\frac{5}{3}} * (0.042) * (0.012)^{3/8}}{\pi (0.01)^{\frac{1}{2}}} \right)$$

$$D = 198.18 \text{ mm}$$

Al obtener el valor del diámetro 198.18 se considerará el diámetro comercial siendo este 200 mm, mostrándose las siguientes especificaciones técnicas:

Tabla 34.

Propiedades de tubería 200 mm

Propiedades	Unidad	SP250
Diámetro interno promedio	mm	201
Diámetro externo promedio	mm	233
Espesor de la pared interna (mínimo)	mm	0.9
Rigidez mini 5% de deflexión (ASTM D2412)	kN/m ²	345
Tipo de perforación	-	Ranura
Diámetro o longitud máxima de perforación	mm	30
Ancho máximo de perforación	mm	3
Área drenante mínima norma	cm ² /m	20
Área drenante promedio	cm ² /m	65

Fuente: Elaboración propia

5.6.2 Cálculos de diseño de tuberías colección laterales

Parra, César y Mendoza (2016), indica que para el diseño de tuberías laterales se recomienda el uso de tuberías HDPE de pared doble de diámetro 100 mm debido a que en los ensayos realizaron estas tuberías mostraron menores deflexiones comparados a tuberías con mayor diámetro, siendo la distribución de esta red de tuberías laterales en la llamada “espina de pescado”, teniendo cada tubería un ángulo menor a los 45°. Dada la recomendación, optaremos por usar tubería HDPE de pared doble de 100mm de diámetro.

Datos:

Capacidad de diseño = 50%

Manning = 0.012

Diámetro de tubería = 100 mm

Permeabilidad = 1.0×10^{-2}

a) Cálculo del caudal:

Se mostrará las propiedades de la tubería seleccionada en la Tabla 35:

Tabla 35.

Propiedades de tubería 100 mm

Propiedades	Unidad	SP100
Diámetro interno promedio	mm	99
Diámetro externo promedio	mm	116
Espesor de la pared interna (mínimo)	mm	0.6
Rigidez mini 5% de deflexión (ASTM D2412)	kN/m ²	345
Tipo de perforación	-	Ranura
Diámetro o longitud máxima de perforación	mm	25
Ancho máximo de perforación	mm	3
Área drenante mínima norma	cm ² /m	20
Área drenante promedio	cm ² /m	88

Fuente: Elaboración propia

Con el valor de diámetro se procederá al cálculo del caudal.

Reemplazando en la ecuación (13)

$$Q = \frac{0.1^{8/3} * \pi * 0.01^{1/2}}{4^{5/3} * 0.012}$$

$$Q = 0.006 \text{ m}^3/\text{s}$$

b) Cálculo de carga máxima y espaciamiento de tuberías.

Vector Perú indica que, para la elección del espaciamiento correcto, la carga máxima debe ser mayor a 1.

Reemplazando en la ecuación (14)

$$H_{max} = \left(\frac{L^2 * 2.78 * 10^{-6}}{4 * 0.0001} \right)^{0.5} + 0.100 * 0.5$$

$$H_{max} = (0.006944 L^2)^{0.5} + 0.05$$

Por lo tanto, para obtener un valor de Hmax mayor a 1 se asume el valor del espaciamiento.

Tabla 36.

Elección del espaciamiento de tuberías laterales

Espaciamiento (m)	Hmax (m)
7	0.633
8	0.717
9	0.800
10	0.883
11	0.967
12	1.050

Fuente: Elaboración propia

Se asume que el mejor valor de espaciamiento 12 metros

$$H_{max} = (0.006944 * 12^2)^{0.5} + 0.05$$

$$H_{max} = 1.050 \text{ m}$$

c) Cálculo de longitud máxima de tubería

Con la obtención del espaciamiento de las tuberías se procederá al cálculo de la longitud máxima de tubería.

Reemplazando en la ecuación (15)

$$L = \frac{0.006}{(2.7778 * 10^{-6} * 12)}$$

$$L = 168.88 \text{ m}$$

5.7 Sobre revestimiento

Este material cumplirá la función de proteger el sistema de impermeabilización y el sistema de colección de solución del daño que podría provocar el sistema de transporte y el mineral que será colocado encima de la pila de lixiviación, este tendrá la facilidad de drenaje para que la solución se colecciona y se conduzca de forma correcta, para ello debe cumplir las siguientes especificaciones:

Tabla 37.

Especificaciones del sobre revestimiento

Tamaño de malla	Porcentaje acumulado que pasa
1.5 pulgadas (38 mm)	100
1 pulgada (25 mm)	65-100
½ pulgada (13 mm)	45-75
N°4 (4.75 mm)	30-60
N°40 (0.045 mm)	10-30
N°200 (0.0075 mm)	0-10
Índice de plasticidad (ASTM D4318)	No plástico
Permeabilidad	1.0x10 ⁻²

Fuente: Alberca (2021)

Este material es sometido a los ensayos límites de Atterberg, contenido de humedad y granulometría.

Alberca (2021), da a conocer las siguientes tablas con los resultados obtenidos de los ensayos realizados a las muestras del material de sobre revestimiento.

Tabla 38.

Ensayos de los límites de Atterberg y Contenido de humedad

N.º Prueba	Límites de Atterberg			Contenido de Humedad
	LL (%)	LP (%)	IP no plástico	
1	19	17	2	4.3%
2	22	19	3	5.4%

Fuente: Alberca (2021)

Tabla 39.

Ensayos de granulometría

N.º Prueba	Granulometría (Porcentaje que pasa) %						Condición
	1 ½"	1"	1/2"	Nº4	Nº40	Nº200	
	1	100.00	80.1	52.3	32.10	16.30	
2	100.00	66.20	57.30	34.60	12.60	8.20	Cumple

Fuente: Alberca (2021)

5.8 Esquema de los sistemas de impermeabilización

Se plasmó el orden de las capas de impermeabilización que se utilizarán para el revestimiento que serán usados en la pila de lixiviación al igual que las tuberías de colección, mostrándose en la Figura 14.

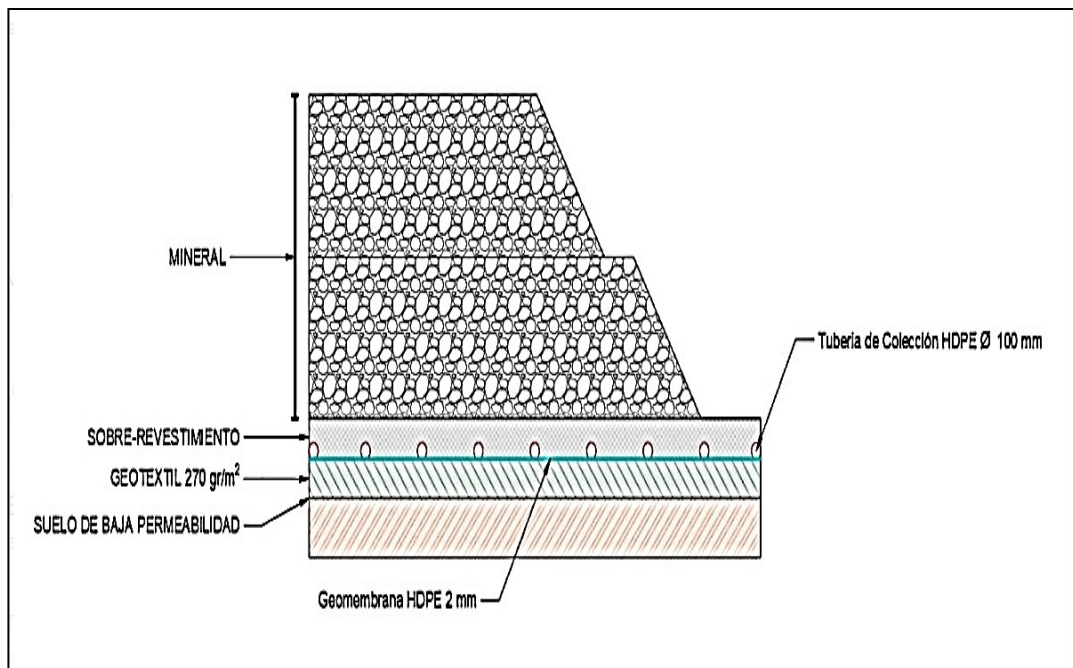


Figura 14. Esquema del Sistema de impermeabilización y colección

Fuente: Elaboración propia

5.9 Contrastación de hipótesis

El presente trabajo de investigación contiene una hipótesis general y cinco hipótesis específicas, a las cuales se les dio respuesta con el desarrollo de la investigación.

5.9.1 Contrastación de hipótesis general

- a) El diseño del sistema de impermeabilización y del sistema de colección evita la filtración de solución de oro en la pila de lixiviación del área de estudio.

Basándonos en los resultados obtenidos por medio de los cálculos realizados, el diseño de los sistemas de impermeabilización y del sistema de colección es óptimo ya que al utilizar la metodología correspondiente para el diseño se obtuvo como resultados las propiedades físicas necesarias para el material con el que será revestida la pila, al igual que la tubería y distribución ideal para que el sistema de conducción funcione correctamente, por lo que se concluye que al implementar este diseño en el área de trabajo evitará problemas de filtración y posible contaminación.

5.9.2 Contrastación de hipótesis específicas

- a) La masa unitaria del geotextil de protección calculado es el más conveniente para el área de estudio.

De acuerdo a los agentes a los que estará expuesta el material se obtuvo mediante cálculos que la masa unitaria del geotextil de protección será 270 gr/m² el cual cumple con la función de complementar a la resistencia al punzonamiento que será sometida la geomembrana a la altura de una pila 60 metros.

Godoy (2011) señala la relación existente entre el gramaje del geotextil de protección y la resistencia al punzonamiento, la cual se muestra en la Figura 15, donde se indica que a mayor gramaje mayor es la resistencia, por lo que el geotextil obtenido es el ideal para la zona de trabajo debido a que el gramaje es directamente proporcional a la altura de la pila.

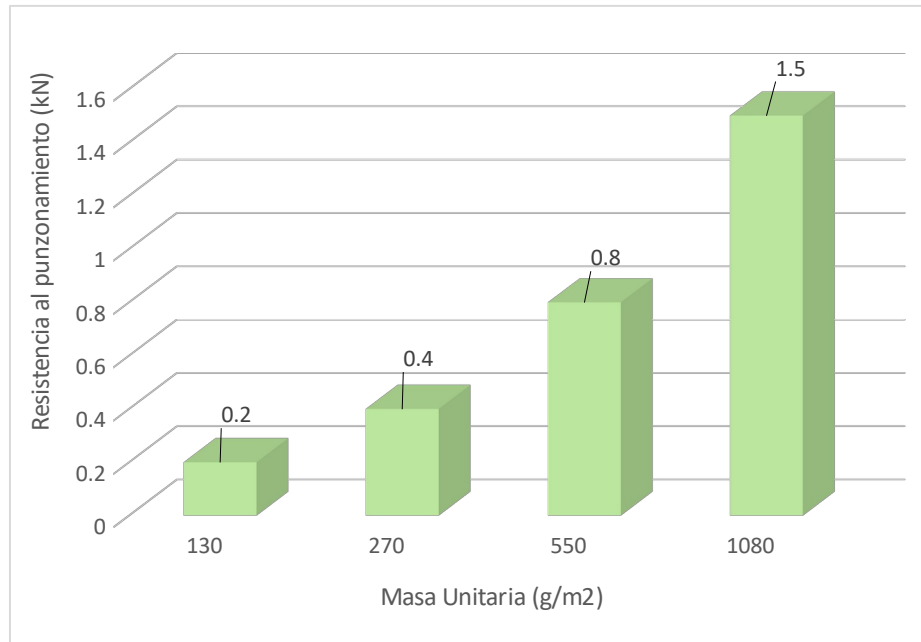


Figura 15. Resistencia al punzonamiento por masa unitaria

Fuente: Elaboración propia

- b) El espesor de geomembrana es el ideal para revestir la pila de lixiviación teniendo resistencia al punzonamiento debido a la carga a la que está sometida.

En base a los cálculos realizados se obtuvo mediante que el espesor de geomembrana ideal para una pila de 60 metros es de 2.00 mm, teniendo como garantía la protección de la filtración de solución resistiendo al punzonamiento sometido por el mineral apilado.

Godoy (2011) señala la relación existente entre el espesor de la geomembrana HDPE y la resistencia al punzonamiento, la cual se muestra en la Figura 16, donde se indica que a mayor espesor mayor es la resistencia, por lo que la geomembrana obtenida es la ideal para la zona de trabajo ya que según la comparación tiene la mayor resistencia, garantizando así la función del diseño realizado.

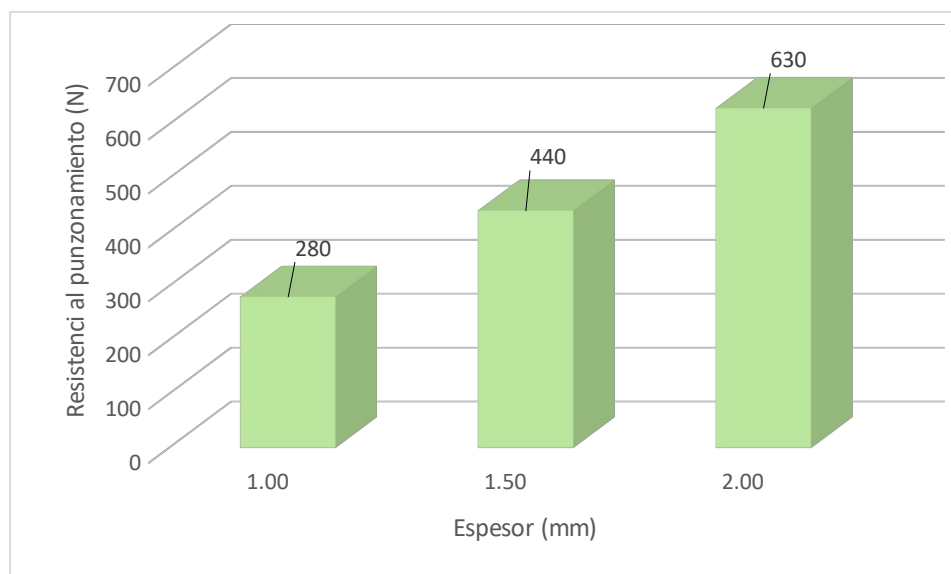


Figura 16. Resistencia al punzonamiento por espesor de geomembrana

Fuente: Elaboración propia

- c) El caudal del sistema de colección principal es la ideal para que el sistema de colección funcione correctamente.

Acorde los datos de área y pendiente proporcionados por la Empresa ENCOTEC GROUP, se obtuvo un caudal máximo de la tubería principal de colección siendo este 0.0035 m³/s para un área de 12,483.54 m², por lo que el caudal hallado es el óptimo ya que siendo directamente proporcional al área del proyecto cumplirá la función de colección y conducción de forma correcta para nuestro diseño.

- d) El diámetro de la tubería principal es el ideal para el soportar el volumen de solución colectada.

Basándonos en los resultados obtenidos a través del caudal que se necesita para una correcta fluidez de solución se halló el diámetro ideal para la tubería principal siendo el resultado 200 mm escogiendo como tipo de tubería HDPE de doble pared perforado, el cual soportará el volumen colectado y transportado de la pila de lixiviación.

- e) El espaciamiento de tuberías de colección laterales cumple con la distribución correcta para la recolección de solución de toda el área de la zona de estudio.

Al utilizar una tubería de diámetro 100 mm se calculó el caudal que soporta esta tubería al 50% de su capacidad obteniendo un valor de 0.006 m³/s, con ello hallamos la separación ideal para la distribución de tuberías en la zona del proyecto.

En la Figura 17 se muestra como al aumentamos el espaciamiento la medida de la carga máxima también es mayor por lo que para nuestro diseño consideramos que la longitud de espaciamiento ideal es de 12 metros ya que se muestra una carga máxima la cual es mayor a uno siendo la ideal para nuestro diseño considerando el porcentaje de capacidad que deseamos para el diseño de las tuberías laterales.

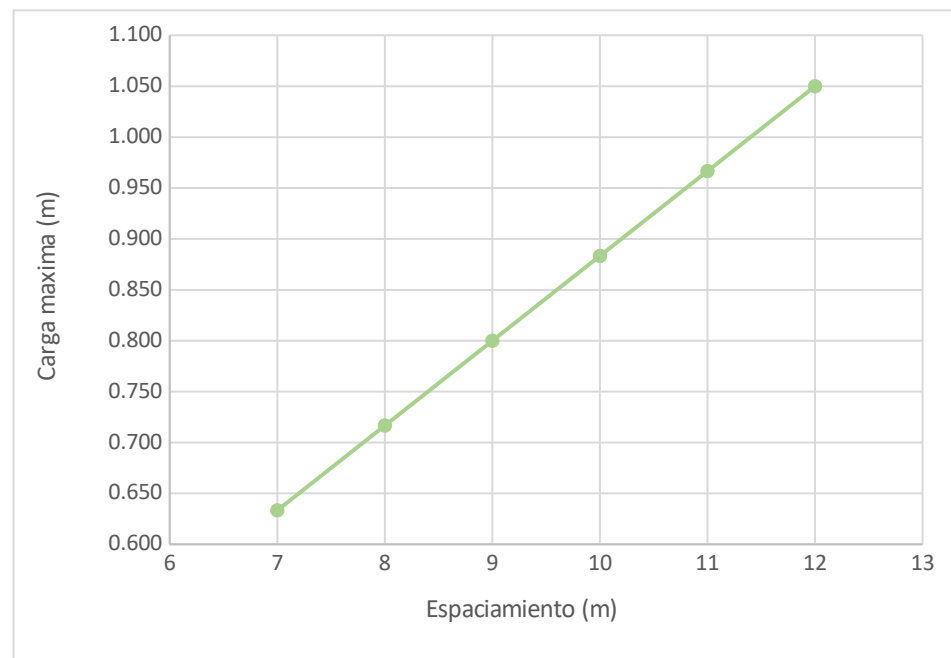


Figura 17. Carga máxima en función al espaciamiento

Fuente: Elaboración propia

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Según la metodología propuesta por Koerner (2012) se obtuvo como resultados los valores de espesor de geomembrana de 2.00 mm y gramaje de geotextil siendo 270 gr/m² es óptimo dado que se encuentra dentro de los parámetros establecidos por Parra, Cesar y Mendoza (2016) en su resumen su diseño de geomembranas y geotextil de protección donde se indica que para pilas de gran altura lo más recomendable es usar los geomembrana con espesor de 2.00 mm y geotextil de protección mayores a 270 gr/m² para que este no sea afectado por el punzonamiento debido a las cargas provocadas por los equipos de transporte y el mineral que se encontrará apilado encima de este, y así el sistema de impermeabilización cumpla con su función de evitar la filtración de solución contaminando las aguas y suelos.

Según la metodología propuesta por Vector Perú (2012) se obtuvieron como resultados las características necesarias que debe tener todo el sistema de colección, dado que siguiendo la recomendación de Parra, Cesar y Mendoza (2016) para el sistema de colección de tuberías laterales se escogió como tubería ideal la tubería HDPE con doble pared perforada de diámetro 100 mm y con ello se obtuvo el caudal y separación ideal para su correcta distribución logrando así un resultado óptimo para nuestro diseño, por otro lado siguiendo la misma metodología de diseño indicada por vector, para el sistema de colección principal se obtuvieron datos dependiendo al área y sistema de riego de la pila obteniendo un caudal ideal por lo que se determinó la tubería ideal para el diseño, concluyéndose en general que el sistema de colección es óptimo para la pila de lixiviación.

CONCLUSIONES

1. Para el diseño de los sistemas de impermeabilización y de colección de solución de una pila de lixiviación de 60 metros de alto, y con un área de 12,483.54 m², se concluye que los resultados obtenidos de la geomembrana, geotextil y tuberías de colección, es óptimo ya que si procedemos a la instalación de este diseño evitará que se infiltre solución debido al punzonamiento provocado por el material evitando pérdidas y sobre todo contaminación de la zona.
2. Según los resultados obtenidos, la masa por unidad de área calculada para nuestra zona de trabajo es de 270 gr/m² siendo óptimo para nuestro diseño ya que es asociado a la presión que actúa sobre la geomembrana y a la altura que tendrá el material que será vertido sobre el área del proyecto.
3. Al colocar un geotextil de protección para la resistencia al punzonamiento, hallamos que el espesor ideal de geomembrana para la zona de estudio es de 2.00 mm concluyendo que este es óptimo ya que al ser instalado este tipo de geomembrana en la zona del proyecto tendrá un comportamiento adecuado al impacto de las cargas de los equipos que se transportan sobre ella y al mineral que será apilado.
4. El caudal máximo obtenido para la tubería principal de colección es de 0.035 m³/s, por lo que se concluye que esta capacidad de colección de solución por la red de tuberías laterales es óptima para nuestro diseño considerando que está asociada a la tasa de riego y el área de nuestra zona de estudio.
5. Al conocer el caudal máximo que solicitamos para la colección de solución se obtiene el diámetro de tubería necesario, siendo esta de 200 mm, donde se concluye que este es el diámetro ideal para nuestro sistema ya que garantizará que se transporte la solución de la manera deseada.
6. Al seleccionar el diámetro ideal para usarse como tuberías de colección lateral, hemos hallado que la separación para la distribución de estas tuberías es 12 metros, concluyendo que es la longitud ideal de separación para nuestro diseño considerando el área donde serán instaladas y así se pueda coleccionar toda la solución de cada sector de la zona de estudio.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar adecuadamente los cálculos con la data de la zona de estudio para que no haya inconveniente alguno con la elección de los materiales a utilizar, ya que es de mucha importancia datos específicos de la zona para lograr un óptimo sistema de impermeabilización y colección para una pila de lixiviación.
2. Se recomienda tener un adecuado reconocimiento de la zona de trabajo, al igual que la altura de la pila para la cual será el diseño, ya que con esto podremos seleccionar las características correspondientes en las tablas de factor seguridad y modificación descritos en el “Manual de diseño con geosintéticos”, que son necesarios para el cálculo de masa unitaria del geotextil de protección.
3. Se tiene que tener presente que la Geomembrana es una las capas más importantes en el diseño de impermeabilización, ya que controlara las filtraciones de las soluciones del proceso de lixiviación, asimismo, otorga resistencia a la pila. Por ello, al realizar los cálculos del espesor de la geomembrana se debe tener en cuenta la presión que soportará debido al material al que estará sometido.
4. Al realizar el diseño de colección principal hay que tener en cuenta la tasa de riego específica del área del proyecto la solución lixiviada, ya que dicho dato es importante para realizar el cálculo del caudal máximo que será conducido por la red de tubería principal.
5. Para el diseño de colección principal se tiene que considerar la zona donde se colocará la red que transportará la solución de lixiviación, para elegir el tipo y clase de tubería se va a trabajar de acuerdo a sus características físicas y mecánicas, es por ello, se recomienda para estos diseños la Tubería HDPE de pared doble corrugada ya que se adecua al terreno por su flexibilidad y soporta grandes cargas
6. Se recomienda trabajar en un rango de 50% a 75% de la capacidad de la tubería, asimismo, se debe tener en cuenta que la carga máxima debe ser mayor a 1, es por ello que el valor del espaciamiento de las tuberías se debe elegir correctamente, con el fin de poder obtener una mejor distribución de estas para la colección de sustancia en toda el área.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, J.L. (2014) *El Método de la investigación*. Recuperado de [http://www.spentamexico.org/v9-n3/A17.9\(3\)195-204.pdf](http://www.spentamexico.org/v9-n3/A17.9(3)195-204.pdf)
- Akcil, A., y Koldas, S. (2006). *Acid Mine Drainage (AMD): causes, treatment and case studies*. doi: 10.1016/j.jclepro.2004.09.006
- Alberca, J. (2021). *Control de calidad en la construcción de una plataforma de lixiviación de la unidad minera Pierina*. Universidad de Piura, Piura, Perú.
- Aliaga, E., Y Palomino, G. (2021). *Análisis comparativo entre métodos de estabilización física en el área de ampliación del PAD de lixiviación a- Distrito de Chaviña- Departamento de Ayacucho*. Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.
- Alonso, M. (2019). *Guía para la elaboración del trabajo de grado*. Biblioteca de la universidad de Sevilla.
- Alvarez, A. (2020). *Clasificación de las investigaciones*. Recuperado de <https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/10818/Nota%20Académica%202020%2818.04.2021%29%20-%20Clasificación%20de%20Investigaciones.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Álvarez, W. (2020). *Diseño y aplicación de geosintéticos en la construcción de la planta de residuos sólidos de la localidad de Jesús*. Universidad Privada de Trujillo, Trujillo, Perú.
- Arias, F. (2006). *Proyectos Educativos*. Recuperado de <https://proyecteducativoscr.wordpress.com/elaboracion-del-ante-proyecto/capitulo-iii-marco-metodologico-de-la-investigacion/3-3-poblacion-y-muestra/>
- Asociación española para calidad (2019). *American Society for Testing and Materials*. Recuperado de <https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/normas-astm>
- Barchini, G. (20016). *Métodos “I+D” de la informática*. Recuperado de <https://docplayer.es/68295086-Metodos-i-d-de-la-informatica.html>
- Breitenbach, A., y Smith, M. (2007). *La historia de las Geomembranas en la Industria Minera, 1-2*. Recuperado de <https://docplayer.es/12403165-La-historia-de-las-geomembranas-en-la-industria-minera.htmlp>

- Cárdenas, F., Díaz, M., Guajardo, C., Oliva, M. (2018) *Lixiviación de minerales mediante pilas y bateas*. Recuperado de https://www.academia.edu/41669036/LIXIVIACION_DE_MINERALES_MEDIANTE_PILAS_Y_BATEAS
- Cidelsa (2016). *Tuberías lisas HDPE, 2-5*. Recuperado de https://www.cidelsa.com/media/prod_brochure_2/Tuberia_Lisa_de_HDPE.pdf
- Cidelsa (2018). *Procedimiento de instalación y soldadura de geomembrana*, 1-30. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/310446217/Procedimiento-de-Instalacion-y-Soldadura-de-Geomembranas>
- Corso, P., Lopéz, A., Caleffi, C., Dominguez, N., y Diaz, G. (2016). *Polipropileno*. Recuperado de <https://ppqujap.files.wordpress.com/2016/05/proceso-de-polipropileno.pdf>
- Del Canto, E. y Silva, A. (2013). *Metodología cuantitativa: Abordaje desde la complemetariedad en ciencias*. Recuperada de <https://www.redalyc.org/pdf/153/15329875002.pdf>
- Geosai (2016). *Soluciones ambientales con geosintéticos*. Recuperado de <https://www.geosai.com/>
- Godoy, C. (2011). *Estudio experimental de punzonamiento en geomembranas en interfaces de depósitos de minerales*. Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Goñi, P. (2007). *Depósitos de relaves con aplicación de geosintéticos*. Universidad Nacional de ingeniería, Lima, Perú.
- Guerrero, M (2016). *La investigación cualitativa*. Recuperado de <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/3645/3/document.pdf>
- Guevara, G., Verdesoto, A. y Castro, N. (2020). *Metodologías de investigación educativa (descriptivas, participativas y de investigación – acción)*. Recuperado de: <http://recimundo.com/index.php/es/article/view/860>
- Kerry, R., Morsy, M., y Ewais, A. (2019). *Representative stress crack resitance of polylefín geomembranes used in waste management*. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.08.028>
- Koerner, R. (2012). *Designing with geosynthetics*. New Jersey. Estados Unidos: Fifth Edition
- Lavoie, F., Aparecido, C., Kobelnik, M., Lins, J., y Lopes, M. (2020). *HDPE Geomembranes for Environmental Protection: Two Case Studies*. <https://doi.org/10.3390/su12208682>

- Lavoie, F., Aparecido, C., Kobelnik, M., y Lins, J. (2020). *Durability of HDPE geomembranes: An overview*. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170540>
- López, E. (2012). Estudio experimental de la permeabilidad de materiales depositados en las pilas de lixiviación. Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Medina, J. (2018). Plan de aseguramiento y control de calidad para geosintéticos aplicado al sector minero. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.
- Mexichem, G. (2009). *Manual de diseño con Geosintéticos*. Recuperado de <https://www.slideshare.net/castilloaroni/manual-de-diseo-con-geosintticos>
- Minera IRL S.A (2009). *Ubicación de minería Corihuarmi*. Recuperado de <https://es.scribd.com/presentation/411375043/corihuarmi-ubicacion>
- Muñoz (2021). Evaluación experimental de la capacidad de drenaje de tuberías perforadas colectoras utilizando botaderos de ripios lixiviados. Universidad de Talca, Curicó, Chile.
- Otero, A. (2018). *Enfoques de investigación*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/326905435_ENFOQUES_DE_INVESTIGACION
- Pardo, E. (2021). Modelo de diseño de geosintéticos en la estanqueidad de pozas en infraestructuras mineras, las bombas, 2020. Universidad privada de Trujillo, Trujillo, Perú.
- Parra, D., César, C., y Mendoza, J. (2016). *Diseño de geomembrana y tuberías en pilas de lixiviación de gran altura*, 1-10. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/334571811/Diseno-de-Geomembrana-y-Tuberias-de-HDPE-en-Pilas-de-Lixiviacion-de-Gran-Altura>
- Parra, N. y Ovando, E. (2012). *Efecto de la velocidad de deformación en la resistencia a la tensión de la geomembrana HDPE*. Recuperado de https://www.smig.org.mx/admArticulos/eventos/1_Reunion_Cancun/2_XXVI_Reunion_Nacional/15_Geotecnia_ambiental_y_depositos_mineros/I14PAPN_1.pdf
- Plastiforte (2011). *Manual técnico Tubería HDPE Minería e Industria*, 1-27. Recuperado de https://www.academia.edu/31054586/Manual_T%C3%A9cnico_Tuber%C3%ADa_HDPE_Miner%C3%ADa_e_Industria_Rev

- Roca, I. (2005). Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad (PEAD). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, Guatemala.
- Smith. (2015). *Propuesta de diseño para la construcción de PAD de lixiviación número 3 de la unidad minera Tucari- Aruntani*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.
- Universidad de Santiago de Chile (2003). *Ingeniería introducción a la metalurgia*. Recuperado de <https://metalurgia.usach.cl/sites/metalurgia/files/documentos/capitulo14.pdf>
- Valencia, M. (2010). *Análisis global de una geomembrana de Polietileno de Alta Densidad con propósitos de impermeabilización en el desarrollo de proyectos de Ingeniería en Magallanes*. Universidad de Magallanes, Magallanes, Chile.
- Valencia, M. (2011). *Análisis Global de una Geomembrana de Polietileno de Alta Densidad con propósitos de impermeabilización en el desarrollo de proyectos de ingeniería en Magallanes*. Universidad de Magallanes, Magallanes, Chile.
- Vásquez, J. (2017). *Control de calidad en la impermeabilización de Pad de lixiviación mina Lagunas Norte- La Libertad, 2016*. Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú.
- Vector Perú (2012). *Memoria de cálculo de diseño civil*. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/318032075/Anexo-D-Memoria-de-Calculo-del-Disenio-Civil-pdf>
- Vélez, V., y Mosquera, B. (2012). *Reciclaje de plástico*. Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de Consistencia

Título: “Diseño de Sistemas de impermeabilización y Sistema de Colección de una Pila de Lixiviación en el departamento de Junín”

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE	INDICADORES	MÉTODO	
¿Cuál es el valor de la masa unitaria para la elección del material de protección más óptimo para la pila de lixiviación?	Diseñar el sistema de impermeabilización y sistema de colección más óptimo para evitar la filtración de solución de oro en la pila de lixiviación.	El diseño del sistema de impermeabilización y del sistema de colección evita la filtración de solución de oro en la pila de lixiviación del área de estudio.	<p style="text-align: center;">V.I.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Espesor de geomembrana - Masa unitaria de geotextil - Caudal de tubería principal - Diámetro de tubería principal - Caudal de tuberías laterales - Espaciamiento de tuberías laterales 	Planos de la zona de estudio. Especificaciones del material. Características de la zona donde será expuesto el material.	<ul style="list-style-type: none"> - Método de la investigación: Método cuantitativo e inductivo. - Tipo de investigación: Tipo descriptiva. 	
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS				
¿Cuál es el valor de la masa unitaria para la elección del material de protección más óptimo para la pila de lixiviación?	Determinar el valor de la masa unitaria para la elección del material de protección para la pila de lixiviación.	La masa unitaria del geotextil de protección determinado es el más conveniente para el área de estudio.				
¿Qué espesor de geomembrana para	Determinar el espesor de geomembrana más óptimo	El espesor de geomembrana determinado es el ideal para	<p style="text-align: center;">V.D.</p> <ul style="list-style-type: none"> -Diseño de sistema 		<ul style="list-style-type: none"> - Nivel de investigación: 	

revestimiento es la más óptima para la pila de lixiviación?	para revestimiento de la pila de lixiviación.	revestir la pila de lixiviación teniendo resistencia al punzonamiento debido a la carga a la que está sometida.	de impermeabilización. -Diseño de sistema de colección de solución		Nivel aplicativo. - Diseño de la investigación no experimental.
¿Cuál es el caudal máximo del sistema de colección para el traslado de solución lixiviado?	Determinar el caudal máximo del sistema de colección para el traslado de solución lixiviado.	El caudal del sistema de colección principal es óptimo para que el sistema de colección funcione correctamente.			
¿Cuál es el diámetro ideal para el diseño de tubería de colección principal de la pila de lixiviación?	Determinar el diámetro ideal para el diseño de tubería de colección principal de la pila de lixiviación.	El diámetro de la tubería principal determinado es óptimo para soportar el volumen de solución colectada.			
¿Cuál es el espaciamiento ideal para el diseño de tuberías de colección laterales de la pila de lixiviación?	Determinar el espaciamiento ideal para el diseño de tuberías de colección laterales de la pila de lixiviación.	El espaciamiento de las tuberías de colección laterales distribuye correctamente la solución de toda el área de la zona de			

		estudio.			
--	--	----------	--	--	--

Fuente: Elaboración propia

Anexo 02: Plantilla Excel diseño de Geotextil No Tejido

METODOLOGÍA DE DISEÑO DE GEOTEXTIL				
1 Factor contra el punzonamiento de la geomembrana (método usado está planteado por Wilson-Fahmy, Narejo y Koerner del GRI)				
1.1 Cálculo del factor de seguridad:				
$FS = \frac{Padm}{Preq}$	FS=		(Factor de seguridad contra el punzonamiento de la geomembrana)	
	Padm=		(Presión admisible cuando se usa diferentes tipos de geotextiles y condiciones específicas del lugar)	
	Preq=		(Presión real el cual se debe al relleno o al depósito superficial)	
1.1.1 Presión Admisible				
$Padm = (450 \frac{M}{H^2}) (\frac{1}{FMs(FMdr)FMa}) (\frac{1}{FRfl(FRdqb)})$				
Padm =			(Presión admisible)	
M =		g/m ²	(Masa por unidad de área)	
H =		mm	(Altura efectiva de la protuberancia)	
FMs =			(Factor de reducción por la forma de la protuberancia)	
FMdr =			(Factor de modificación por densidad del relleno)	
FMa =			(Factor de modificación por efecto de arco en sólidos)	
FRfl =			(Factor de reducción por fluencia del material a largo plazo)	
FRdqb =			(Factor de reducción por degradación química y biológica a largo plazo)	
Condición:				
$Padm = \frac{450 * M}{H^2} \geq 50 \text{ kPa}$		Padm=		Siendo 50 kPa la resistencia al punzonamiento de una geomembrana de espesor 1.5 mm cuando esta no tiene geotextil como protección.
2 Factor de seguridad global				
TABLA				
ARREGLO DE LAS PIEDRAS		ALTURA EFECTIVA DE PROTUBERANCIA (mm)		FACTOR DE SEGURIDAD GLOBAL (MINIMO)
Piedras Aisladas		6		2
		12		3
		25		5
		38		7
Piedras Agrupadas		38 o menos		3
Fuente: Manual y software de diseño Geosoft Pavco (2012)				
3 Factor de Modificación				
3.1 Factor de modificación por forma de la protuberancia				
TABLA				
FORMA DE LA PIEDRA			FMs	
Angular			1.00	
Semiredondas			0.50	
Redonda			0.25	
Fuente: Manual y software de diseño Geosoft Pavco (2012)				
3.2 Factor de modificación por densidad del relleno				
TABLA				
ARREGLO DE LA PROTUBERANCIA			FMdr	
Aislada			1	
Compacta, 38 mm			0.83	
Compacta, 25 mm			0.67	
Compacta, 12 mm			0.5	
Fuente: Manual y software de diseño Geosoft Pavco (2012)				
3.3 Factor de modificación por efecto de arco en sólidos				
TABLA				
EFECTO DE ARCO EN SOLIDOS			Fma	
Hidrostático			1	
Geoestático, superficial			0.75	
Geoestático, moderado			0.50	
Geoestático, profundo			0.25	
Fuente: Manual y software de diseño Geosoft Pavco (2012)				
4 Factores de reducción				
4.1 Factor de reducción por fluencia a largo plazo				
TABLA				
REFERENCIA GEOTEXTIL (g/m2)	FRFL			
	ALTURA EFECTIVA DE LA PROTUBERANCIA (mm)			
	38	35	12	6
Sin Geotextil	>> 1.5	>> 1.5	>> 1.5	>> 1.5
NT 4000	>> 1.5	>> 1.5	> 1.5	1.5
NT 7000	>> 1.5	1.5	1.3	1.2
1100	1.3	1.2	1.1	1
> 1100	1.2	1.1	1.0	1.0
Fuente: Manual y software de diseño Geosoft Pavco (2012)				
4.2 Factor de reducción por degradación química y biológica a largo plazo				
TABLA				
TIPO DE LIXIVIADO			FR _{dba}	
Ligero			1.1	
Moderado			1.30	
Agresivo			1.50	
Fuente: Manual y software de diseño Geosoft Pavco (2012)				
5 Cálculo de masa unitaria del geotextil de protección				
H de piedras aisladas = Altura real de protuberancia				
H de piedras compactadas = Mitad del tamaño máximo de piedras				
5.1 Presión actuante sobre geomembrana				
$FS = \frac{Padm}{Preq}$	Preq =	Kpa	(Presión actuante sobre geomembrana)	
	γ =	KN/m ³	(Peso unitario del material de relleno o liquido (KN/m3))	
	H =	m		

Anexo 03: Plantilla Excel diseño de Geomembrana HDPE

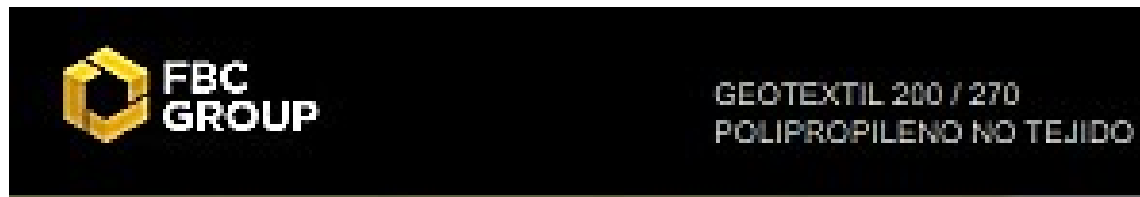
METODOLOGÍA DE DISEÑO GEOMEMBRANA					
1 Diseño por función					
1.1 Cálculo del factor de seguridad					
$Fsg = \frac{T_{instalado}}{T_{requerido}} > 1$		Fsg = Tinstalado = Trequerido =	Entonces Fsg > 1 =		
1.2 Diseño de espesor de geomembrana					
$T = \frac{(\sigma_n)(x)(\tan\delta u + \tan\delta l)}{(\sigma_{perm})(\cos\beta - \sin\beta \tan\delta l)}$		T = σn = X = δu = δl = σperm = β =	(Espesor de la geomembrana) (Esfuerzo aplicado por el material de relleno) (Distancia de movilización de la deformación de la geomembrana) (Angulo de fricción entre la geomembrana y el material superior (ASTM D 5321)) (Angulo de fricción entre la geomembrana y el material inferior (ASTM D 5321)) (Esfuerzo admisible o permisible de la geomembrana) (Angulo que forma el movimiento de la geomembrana a tensión con la horizontal)		
TABLA					
TIPO DE GEOMEMBRANA	TIPO DE GEOTEXTIL NO TEJIDO PUNZONADO	TIPO DE SUELO			
HDPE		φ=30°	φ=28°	φ=26°	
Texturizada	32°	30° (100%)	26° (92%)	22° (83%)	
Lisa	8°	18° (56%)	18° (61%)	18° (63%)	
Fuente: Manual y software de diseño Geosoft Pavco (2012)					
1.3 Cálculo del factor de seguridad para la estabilidad de la cobertura:					
$Fs = \frac{(W \cos \beta) \tan \delta u (L) + Tadm}{W \sin \beta (L)}$		Fs = W = β = δu = L = Tadm =	(Factor de seguridad para la estabilidad de la cobertura) (Peso del material de relleno) KN/m (Angulo de inclinación del talud con la horizontal) (Angulo de fricción entre la geomembrana y el material superior) (Longitud de inclinación) (gadm x t, Fuerza de tensión en la geomembrana.)		
1.4 Diseño de la longitud y zanja de anclaje					
$Tadm = \frac{\sigma_n(Lro)(\tan\delta u + \tan\delta l) - Pa + Pp}{\cos\beta - \sin\beta \tan\delta l}$		$Pa = (0.5(\gamma_{at})dat + \sigma_n)Ka(dat)$		$Pp = (0.5(\gamma_{at})dat + \sigma_n)Kp(dat)$	
Tadm =		Pa =		Pp =	
Lro =	m	Longitud de desarrollo			
Pa =	Presión activa de tierras contra el material de relleno de la zanja de anclaje				
Pp =	Presión pasiva de tierras contra el suelo in-situ de la zanja de anclaje				
γat =	Peso específico del suelo de la zanja de anclaje				
dat =	Profundidad de la zanja de anclaje				
σn =	kn/m2	Esfuerzo normal aplicado por el suelo de cobertura			
Ka =	Coeficiente de presión de tierra activa = $\tan^2(45-\phi/2)$				
Kp =	Coeficiente de presión de tierra pasiva = $\tan^2(45+\phi/2) = 1/Ka$				
φ =	Angulo de fricción del suelo				
1.5 Chequeo por Supervivencia					
TABLA					
PROPIEDAD FISICA Y METODO DE LABORATORIO	UNIDADES	GRADO REQUERIDO DE SUPERVIVENCIA			
		BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO
Espesor (D5199)	mm	20(0.50)	30(0.75)	40(1.0)	60(1.50)
Tensión (D6693)	Lb/pulg-KN/m	46(8.0)	69(12)	91(16)	137(24)
Rasgado (D1004)	Lb (N)	15(67)	22.7(101)	30.3(135)	45.6(203)
Punzonamiento (D4833)	Lb (N)	36(160)	60(268)	80(357)	120(536)
Impacto (D3998)	J	10	12	15	20
Fuente: Manual y software de diseño Geosoft Pavco (2012)					

Anexo 04: Plantilla Excel diseño de tubería principal de colección

DATOS DE PROYECTO PARA DRENAJE				
Area de zona a impermeabilizar =	12483.54			m2
Tasa de riego =	10	Lt-hr/m2	2.77778E-06	m3/s/m2
Flujo maximo =	520	m3/h	0.1444444444	m3/s
Tipo de riego=	Aspersión			
Capacidad del diseño=	50%			
Manning =	0.012			
METODOLOGIA DE DISENO SISTEMA DE COLECCION				
1	Diseño de tubería principal			
1.1	Cálculo del caudal estimado (m3/s)			
	Q =			m3/s
	Tr =			m3/s/m2
	Ar =			m2
1.2	Cálculo del diametro para el caudal estimado (m)			
	d=			m
	n=			
	S=			
	pi=			
	Q =			m3/s
	$d = \left(\frac{5}{\pi} * \frac{Q * n}{S^2} \right)^{3/8}$			

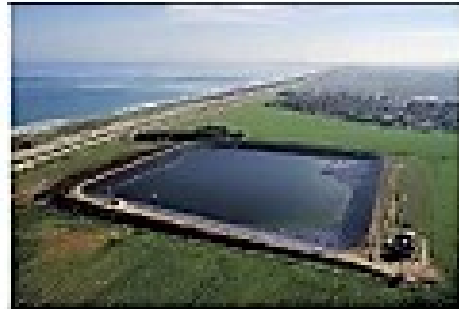
Anexo 05: Plantilla Excel diseño de tuberías secundarias de colección

DATOS DE PROYECTO PARA DRENAJE						
Area de zona a impermeabilizar =		12483.54		m2		
Tasa de riego =		10	Lt-hr/m2	2.77778E-06	m3/s/m2	
Capacidad del diseño=		50%				
Manning =		0.012				
Diametro de tubería =		100		mm		
Constante de permeabilidad=		0.01	cm/s	GRAVA		
		0.0001	m/s			
ESPACIAMIENTO (L)						
7	8	9	10	11	12	13
CARGA MAXIMA (Hmax)						
METODOLOGIA DE DISENO SISTEMA DE COLECCION						
1	Diseño de tubería lateral					
1.1	Cálculo Carga maxima (m3/s)					
$h_{max} = ((L^2 * r) / 4K)^{0.5} + D * c$						
1.2	Cálculo del caudal (m3/s)					
$d = \left(\frac{4^{\frac{5}{3}}}{\pi} * \frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} \right)^{3/8}$		d=				m
		n=				
		S=				
		pi=				
		Q =				m3/s
						lt/s
				m3/hr		
1.3	Longitud Maxima de tubería					
$L_t = \frac{q}{(r * L)}$		Lt =				m
		L =				
		r =				
		q =				



Geotextil 200 y 270 no tejido es fabricado con polipropileno estabilizado a los rayos UV de alta calidad. Las fibras se unen mecánicamente a través del proceso de punzonado con agujas y también se une físicamente para formar una estructura de tela fuerte, flexible y dimensionalmente estable, con tamaños de poro óptimos y alta permeabilidad.

Es resistente a los productos químicos y a la degradación biológica que normalmente se encuentra en los suelos y es estable contra la degradación debido a una exposición más corta a la radiación ultravioleta.



Propiedades	Standard	Unit	GEOTEXTIL 200	GEOTEXTIL 270
Mechanical properties				
Tensile strength	ASTM D 4595	kN / m	9.0	12
Elongation at break	ASTM D 4595	%	> 50	> 50
Grab Tensile Strength Grab Tensile Elongation	ASTM D 4595	N %	800 > 50	800 > 50
Puncture Strength (CBR)	ASTM D 6241	N	1500	2300
Physical properties				
Mass/unit Area	ASTM D 5261	G/m ²	200	270
Thickness	ASTM D 5199	mm	1.70	2.10
Hydraulic properties				
Flow Water Rate- 5cm head	ASTM D 4491	l/m ² /sec	50	50
ADS	ASTM D 4751	microns	80	80
UV Resistance @ 150 hrs	ASTM D 4355	% Strength Retained	80	85
Roll dimensions				
Roll Width X length	-	m	3.9 X 200	3.9 X 200

El uso de la información sobre productos y aplicaciones para otros casos es responsabilidad del cliente. FBC GROUP no asumen ninguna responsabilidad en relación con el uso inadecuado de esta información.



Anexo 07: Ficha técnica de Geomembrana de 2.00 mm



GEOMEMBRANA TecLiner® HDPE - NOMINAL - 2.00 mm

Las geomembranas TecLiner® se utilizan en una amplia gama de sectores de la industria, como elemento fundamental de estanqueidad.

Las geomembranas TecLiner® son fabricadas con resinas vírgenes de polietileno, especialmente formuladas y certificadas.

Nuestro proceso de fabricación utiliza la moderna tecnología de co-extrusión-soplado,

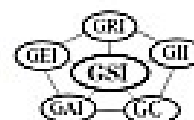
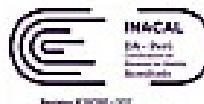
Geomembrana de Polietileno Alta Densidad: TecLiner® NOMINAL 2.00 mm, Densidad mínima de 0,940 [g/cm³].

Se caracteriza por su baja permeabilidad, alta resistencia a los procesos de lixiviación, alta resistencia a la tensión, inercia química. Excelente comportamiento a baja temperatura para almacenamiento de líquidos y sólidos. Resistente a la radiación UV., por su contenido de negro de humo.



PROPIEDADES	NORMA	UND	FRECUENCIA	VALOR
Espesor Promedio	ASTM D 5199	[mm]	Por Rollo	1.800
Densidad	ASTM D 792	[g/cc]	18,000 kg	0.940
Propiedades Tensiles:	ASTM D 6693		9,000 kg	
Tensión de Fluencia	Tipo IV	[KN/m]		29
Tensión de Rotura		[KN/m]		53
Elongación de Fluencia		[%]		12
Elongación de Rotura		[%]		700
Resistencia al Rasgado	ASTM D 1004	[N]	18,000 kg	249
Resistencia al Puncionado	ASTM D 4833	[N]	18,000 kg	640
Resistencia al Agrietamiento	ASTM D 5397	[hr]	Por GRI GM10	500
Contenido de Carbón	ASTM D 4218	[%]	9,000 kg	2.0 - 3.0
Dispersión de Carbón	ASTM D 5596	Categoría	18,000 kg	1.0 ó 2.0
Tiempo de Inducción Oxidativa (OIT)				
a) OIT Estandar	ASTM D 3895	[min]	90,000 kg	≥100
b) Alta presión OIT	ASTM D 5885	[min]	90,000 kg	400
Envejecimiento en Horno a 85°C	ASTM D-5721			
a) Retención 90 días OIT estandar	ASTM D-3895	[%]	Por cada	55
b) Retención 90 días Alta presión	ASTM D5885	[%]	Formulación	80
Resistencia UV	ASTM D-7238		Por cada	
Retención 1920 hr. OIT-HP.	ASTM D-5885	[%]	Formulación	50

Para la revisión de las normas mencionadas, visitar: <http://www.astm.org> <http://www.techwebeta-icc.org>



Alameda Los Horizontes 505- Huertos de Villa - Chorrillos - Lima Peru
Teléfono: (+51 1) 617-4700 | Fax: (+51 1) 617-4701 | E-mail: contactenos@tdm.com.pe
www.grupotdm.com

Revisión: Mayo 2017



Hoja Técnica MacPipe Tipo SP Diámetros Menores.

Esta especificación cubre los requerimientos de la tubería corrugada de polietileno (CPT) perforada, Tipo "SP". La tubería MacPipe SP es fabricada con polietileno de alta densidad (PEAD) y su sección transversal circular esta compuesta por una pared doble (DW), donde la pared interna lisa esta asociada a una pared externa con corrugaciones anulares. Esta tubería es utilizada en aplicaciones de drenaje urbano, industrial y agrícola. La tubería MacPipe SP cumple con las normas AASHTO M252 para diámetro de 3" a 10" y AASHTO M294 para diámetros de 12".

Materiales

Los materiales de esta especificación cubren los requerimientos de la tubería corrugada de polietileno de alta densidad de doble pared, con exterior corrugado anular e interior liso, la cual es elaborada de compuestos de polietileno de alta densidad de clasificación de Ceida, según se define en la norma ASTM D3350:

- 424420C: Para tubos de 4" a 10" y Estabilizador UV 2% - 5% (Negro Humo).
- 435400C: Para tubos de 12" y Estabilizador UV 2% - 4% (Negro Humo).

Los accesorios no reducen la capacidad hidráulica de la tubería. Las conexiones deben incluir juntas en serie como: acoples, reductores, ramales o accesorios de montaje complementario (tees, yees y tapas).

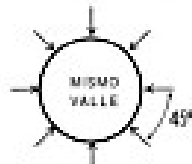
Las especificaciones AASHTO para tubos de HDPE, indica dos tipos de perforaciones: Clase I y Clase II. En la presente hoja técnica se presenta los patrones de fabricación para tuberías Clase II (para subdrenaje y sistemas de retención/detención).

Las propiedades técnicas de la tubería MacPipe SP son:

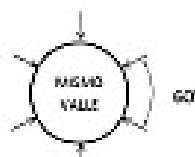
Propiedades	100 (4")	150 (6")	200 (8")	250 (10")	300 (12")
Diámetro interno promedio (mm)	99	152	201	250	308
Diámetro externo promedio (mm)	116	177	233	290	356
Espesor pared interna promedio (mm)	0.6	0.7	0.9	0.9	1.2
Rigidez del tubo mínima al 5% de Deflexión (kN/m ²) ^a	345	345	345	345	345
Tipo de perforación	Ranura	Ranura	Ranura	Ranura	Circular
Diámetro o longitud máxima de perforación (mm) ^b	25	25	30	30	8
Ancho máximo de perforación (mm) ^c	3	3	3	3	N/A
Área drenante mínima norma (cm ² /m) ^d	20	20	20	20	30
Área drenante promedio (cm ² /m) ^{e,f}	88.0	136.0	65.0	50.0	59.4

^a Valores según Normas AASHTO M252 y M294.

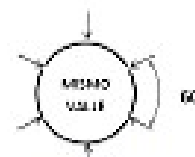
^{b,c} Información de referencia solamente. No constituye especificación. Valores promedio. Lotes específicos de producción pueden estar por sobre o debajo de los valores señalados.



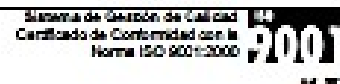
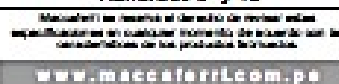
Ranurado 4" y 6"



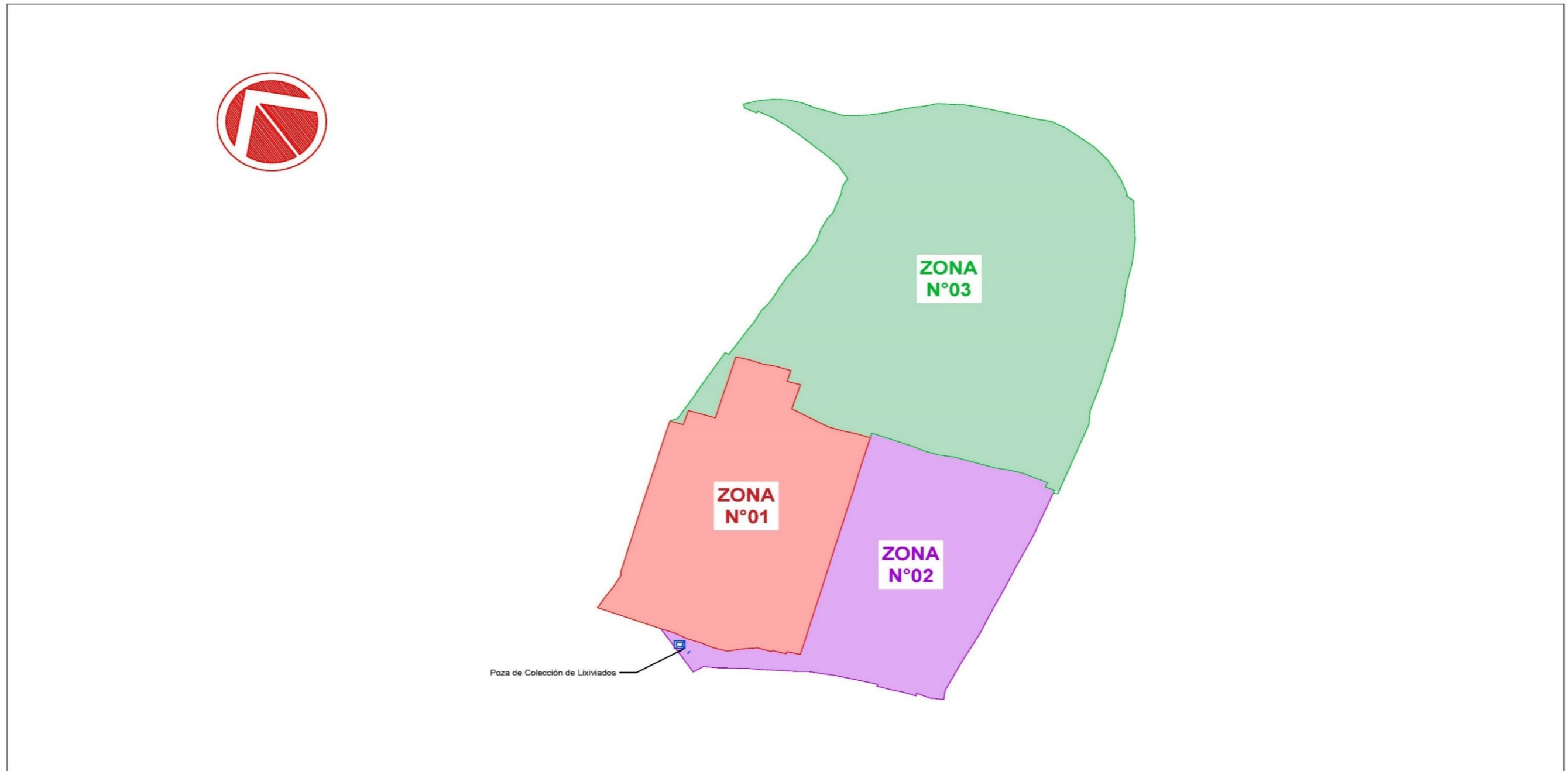
Ranurado 8" y 10"



Perforado 12"

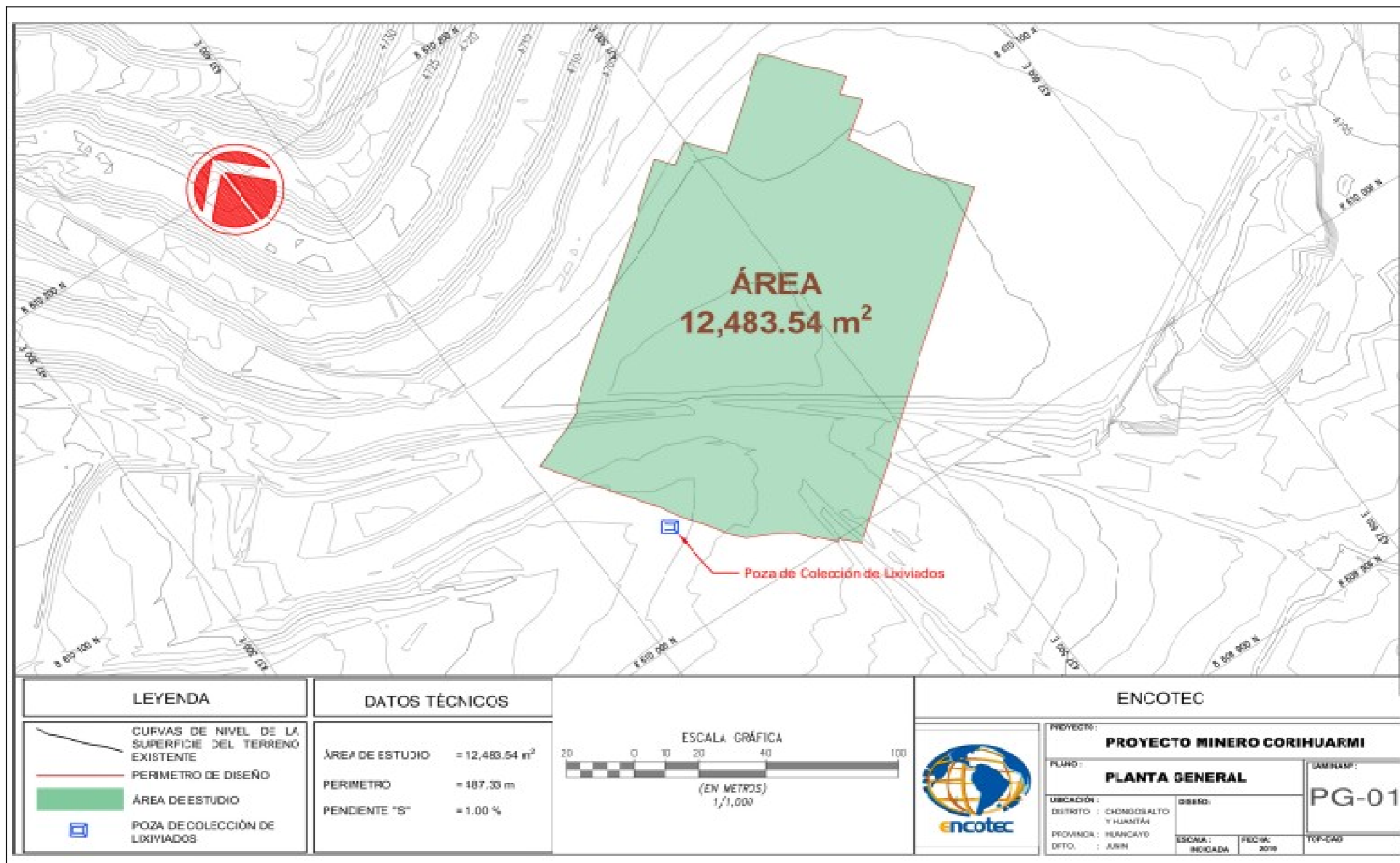


Anexo 09: Plano general de la zona de estudio

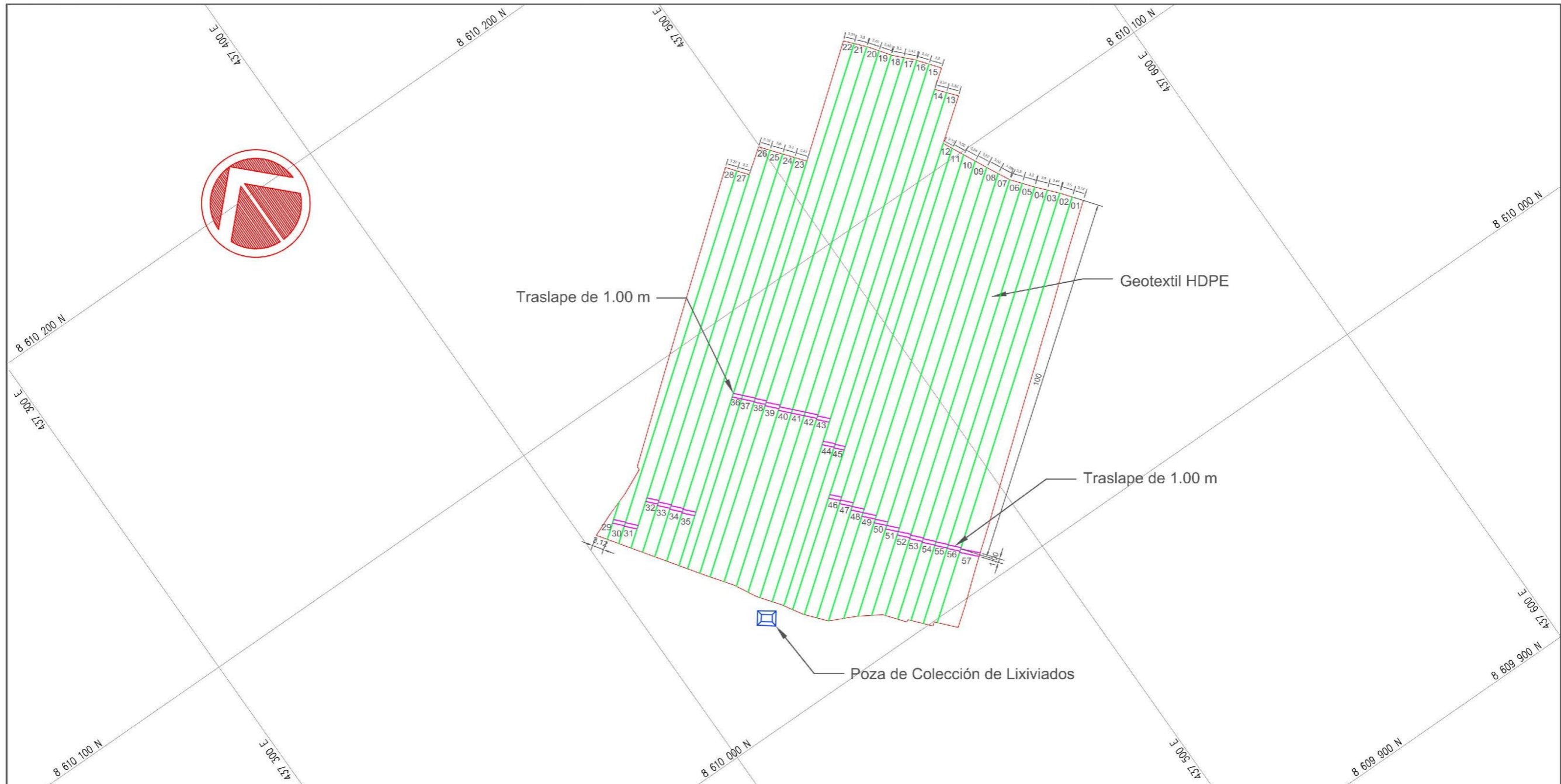




LEYENDA		DATOS TÉCNICOS		ENCOTEC				
	ZONA N° 01	ZONA N° 01	= 12,483.54 m ²	<p>ESCALA GRÁFICA (EN METROS) 1/1,000</p>		PROYECTO : PROYECTO MINERO CORIHUARMÍ		LAMINA N° : PZ-01
	ZONA N° 02	ZONA N° 02	= 11,665.02 m ²			PLANO : DISTRIBUCIÓN DE ZONAS		
	ZONA N° 03	ZONA N° 03	= 27,910.93 m ²			UBICACIÓN : DISTRITO : CHONGOS ALTO Y HUANTÁN PROVINCIA : HUANCAYO DPTO. : JUNIN	DISEÑO : ESCALA : INDICADA FECHA : 2019	

Anexo 10: Plano del área de la zona de estudio

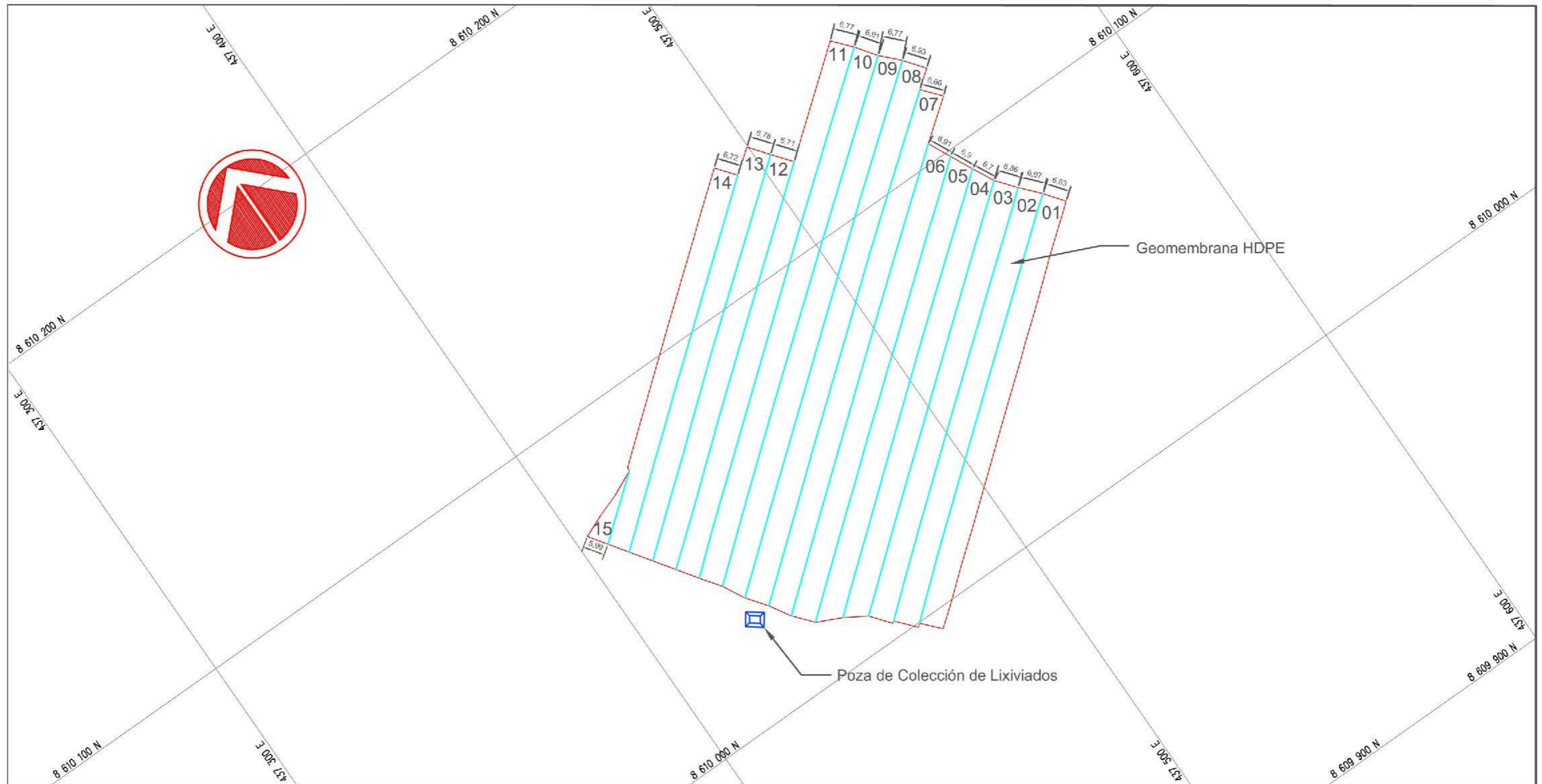


Anexo 11: Despliegue de Geotextil 270 gr/m2



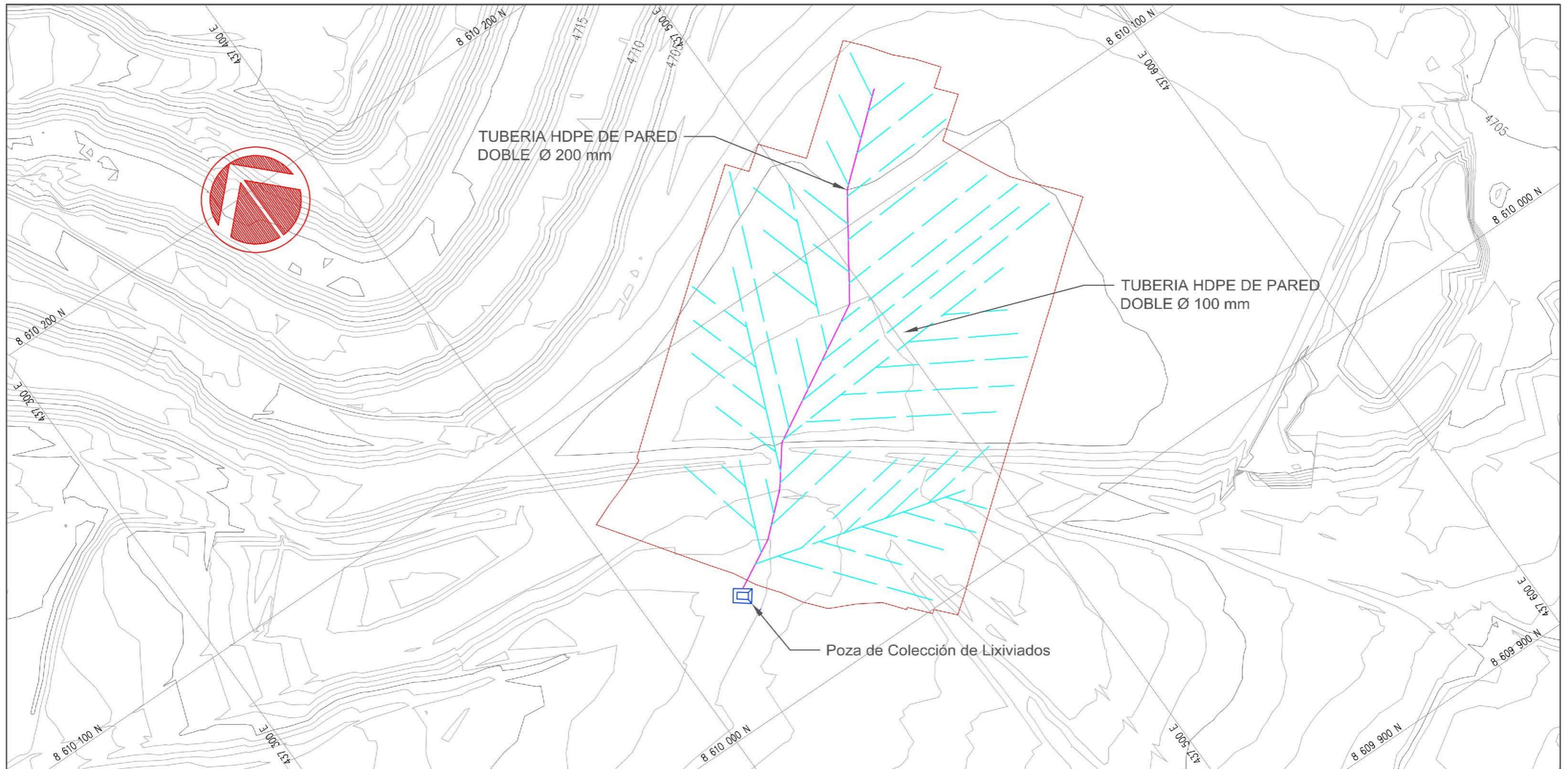
LEYENDA	DATOS TÉCNICOS	<p style="text-align: center;">ESCALA GRÁFICA</p>  <p style="text-align: center;">(EN METROS) 1/1,000</p>	PROYECTO : PROYECTO MINERO CORIHUARMÍ	
 <p>POZA DE COLECCIÓN DE LIXIVIADOS</p> <p>PERIMETRO DE DISEÑO</p> <p>GEOTEXTIL NO TEJIDO</p> <p>TRASLAPE DE 1.00 M</p>	<p>ÁREA DE ESTUDIO = 12,483.54 m²</p> <p>PERIMETRO = 487.33 m</p> <p>PENDIENTE "S" = 1.00 %</p> <p>TIPO DE GEOTEXTIL = NO TEJIDO</p> <p>GRAMAJE DEL GEOTEXTIL = 270 gr / m</p> <p>TRASLAPE = 1.00 m</p>		<p>PLANO : DESPLIEGUE DE GEOTEXTIL</p> <p>UBICACIÓN : DISTRITO : CHONGOS ALTO Y HUANTÁN PROVINIA : HUANCAYO DPTO. : JUNIN</p> <p>DISEÑADORES: Bach. Gutiérrez Torres, Melany B. Bach. Zefia Portal, David J.</p> <p>ESCALA : INDICADA</p> <p>FECHA: 2022</p>	<p>LAMINA Nº : PG-01</p> <p>TOP-CAD</p>






Anexo 12: Despliegue de Geomembrana HDPE lisa 2.00 mm



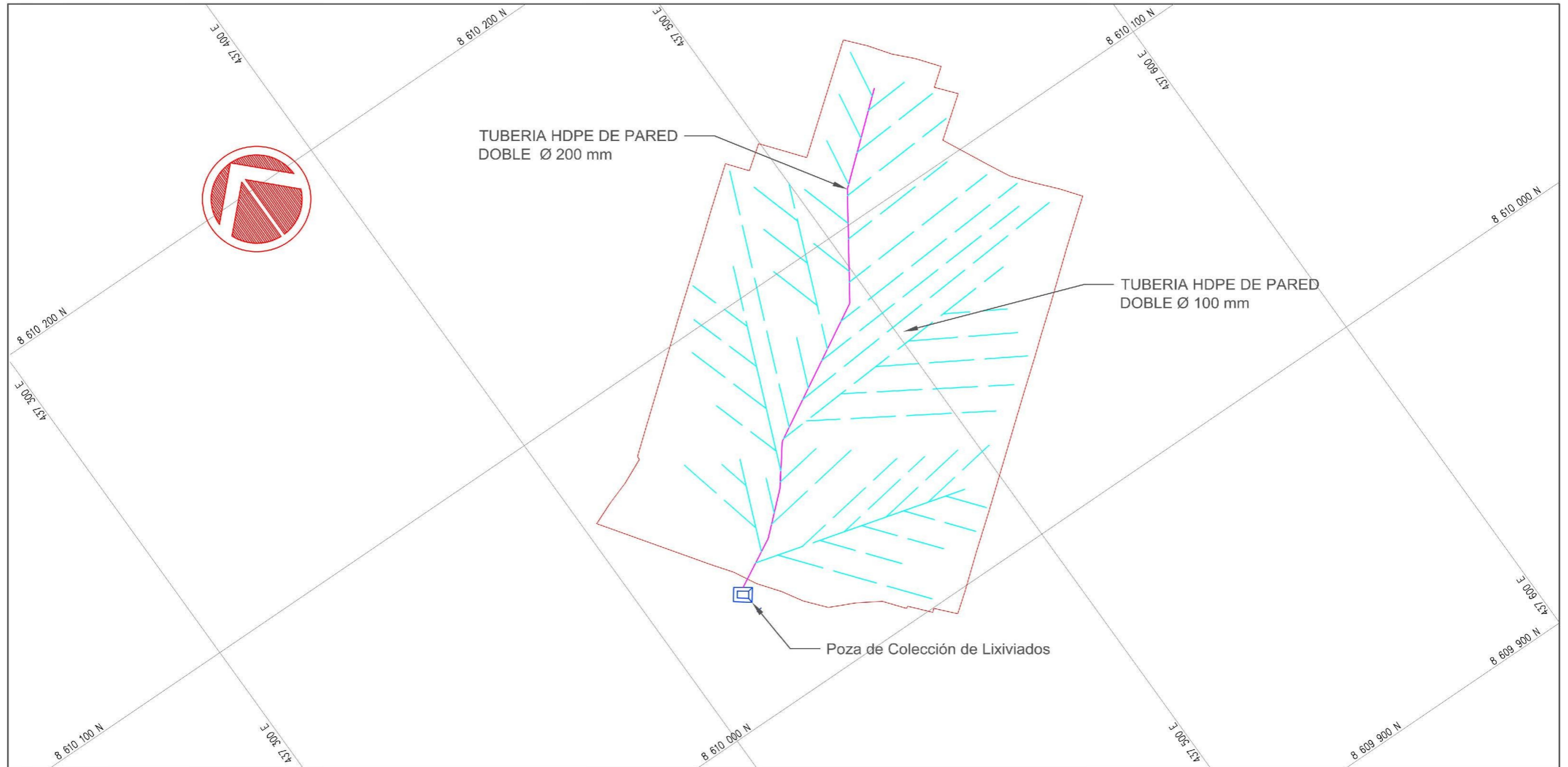
LEYENDA	DATOS TÉCNICOS	ESCALA GRÁFICA	PROYECTO :						
	<p>ÁREA DE ESTUDIO = 12,483.54 m²</p> <p>PERIMETRO = 487.33 m</p> <p>PENDIENTE "S" = 1.00 %</p> <p>TIPO DE GEOMEMBRANA = HDPE LISA</p> <p>ESPESOR DE LA GEOMEMBRANA = 2.00 mm</p>	<p>(EN METROS)</p> <p>1/1,000</p>	<p>PROYECTO MINERO CORIHUARMI</p>						
			PLANO :						
			DESPLIEGUE DE GEOMEMBRANA						
			LAMINA Nº :						
			PG-01						
			UBICACIÓN :						
			<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">DISTRITO : CHONGOS ALTO Y HUANTÁN</td> <td style="width: 50%;">DISEÑADORES: Bach. Gutierrez Torres, Melany B. Bach. Zeña Portal, David J.</td> </tr> <tr> <td>PROVINCIA : HUANCAYO</td> <td>ESCALA : INDICADA</td> </tr> <tr> <td>DPTO. : JUNIN</td> <td>FECHA: 2022</td> </tr> </table>	DISTRITO : CHONGOS ALTO Y HUANTÁN	DISEÑADORES: Bach. Gutierrez Torres, Melany B. Bach. Zeña Portal, David J.	PROVINCIA : HUANCAYO	ESCALA : INDICADA	DPTO. : JUNIN	FECHA: 2022
DISTRITO : CHONGOS ALTO Y HUANTÁN	DISEÑADORES: Bach. Gutierrez Torres, Melany B. Bach. Zeña Portal, David J.								
PROVINCIA : HUANCAYO	ESCALA : INDICADA								
DPTO. : JUNIN	FECHA: 2022								
			TOP-CAD						







Anexo 13: Proyección de tuberías de colección con curvas de nivel



LEYENDA	DATOS TÉCNICOS	ESCALA GRÁFICA 20 0 10 20 40 100 (EN METROS) 1/1,000		PROYECTO : PROYECTO MINERO CORIHUARMI	
 CURVAS DE NIVEL DE LA SUPERFICIE DEL TERRENO EXISTENTE  POZA DE COLECCIÓN DE LIXIVIADOS  PERIMETRO DE DISEÑO  TUBERIA HDPE - COLECCIÓN PRINCIPAL  TUBERIA HDPE - COLECCIÓN LATERAL	ÁREA DE ESTUDIO = 12,483.54 m ² PERIMETRO = 487.33 m PENDIENTE "S" = 1.00 % TUBERIA DE COLECCIÓN PRINCIPAL CAUDAL ESTIMADO = 0.042 m ³ /s DIAMETRO = 200 mm TUBERIA DE COLECCIÓN LATERAL CAUDAL ESTIMADO = 0.006 m ³ /s DIAMETRO = 100 mm ESPACIAMIENTO = 12 m			PLANO : SISTEMA DE COLECCIÓN	LAMINA Nº : PG-01
				UBICACIÓN : DISTRITO : CHONGOS ALTO Y HUANTÁN PROVINCIA : HUANCAYO DPTO. : JUNIN	DISEÑADORES: Bach. Gutierrez Torres, Melany B. Bach. Zeña Portal, David J. ESCALA : INDICADA FECHA : 2022 TOP-CAD

Anexo 14: Proyección de tuberías de colección



LEYENDA		DATOS TÉCNICOS		PROYECTO : PROYECTO MINERO CORIHUARMI	
	CURVAS DE NIVEL DE LA SUPERFICIE DEL TERRENO EXISTENTE	ÁREA DE ESTUDIO = 12,483.54 m ²	<p>ESCALA GRÁFICA</p>  <p>(EN METROS) 1/1,000</p>	PLANO : SISTEMA DE COLECCIÓN	
	POZA DE COLECCIÓN DE LIXIVIADOS	PENDIENTE "S" = 1.00 %		LAMINA Nº : PG-01	
	PERIMETRO DE DISEÑO	<u>TUBERIA DE COLECCIÓN PRINCIPAL</u>	CAUDAL ESTIMADO = 0.042 m ³ /s	UBICACIÓN : DISTRITO : CHONGOS ALTO Y HUANTÁN	
	TUBERIA HDPE - COLECCIÓN PRINCIPAL	DIAMETRO = 200 mm	DIAMETRO = 100 mm	DISEÑADORES: Bach. Gutierrez Torres, Melany B. Bach. Zeña Portal, David J.	
	TUBERIA HDPE - COLECCIÓN LATERAL	ESPACIAMIENTO = 12 m	CAUDAL ESTIMADO = 0.006 m ³ /s	ESCALA : INDICADA	FECHA: 2022
			PROVINCIA : HUANCAYO	TOP-CAD	
			DPTO. : JUNIN		

Anexo 15: Permiso para uso de planos y datos



ENCOTEC GROUP SAC

"AÑO DEL FORTALECIMIENTO DE LA SOBERANÍA NACIONAL"

Lima, 03 de Junio de 2022

Por la presente, autorizamos a la Srta. Melany Brenda Gutiérrez Torres identificada con DNI N° 75350511 y al Sr. David Jonathan Zeña Portal identificado con DNI N° 70005112, a fin de que pueda utilizar los datos, figuras, planos o fotografías de la empresa para la elaboración de su tesis.

Sin otro particular, me despido

Asentamente,

 encotec grupo sac

REGISTRADO EN EL REGISTRO
LIBRO DE COMERCIO
INSTRUMENTOS


Gerente General