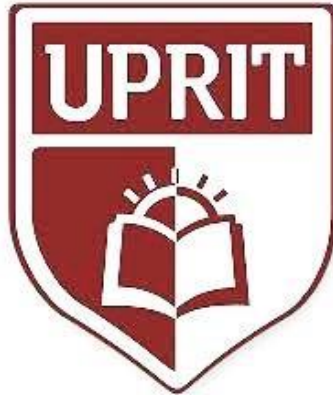


**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TRUJILLO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



**MODELO DE DISEÑO DE GEOSINTÉTICOS EN LA ESTANQUEIDAD DE
POZAS EN INFRAESTRUCTURAS MINERAS, LAS BAMBAS, 2020**

TESIS:

PARA OBTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR:

BACH. ELVER PARDO SANDOVAL

ASESOR:

ING. GUIDO ROBERT MARIN CUBAS

TRUJILLO - PERÚ

2021

HOJA DE FIRMAS

MODELO DE DISEÑO DE GEOSINTÉTICOS EN LA ESTANQUEIDAD DE POZAS EN
INFRAESTRUCTURAS MINERAS, LAS BAMBAS, 2020

Autor:

Bachiller: Elver Pardo Sandoval

Ing.....

PRESIDENTE

Ing.....

SECRETARIO

Ing.....

VOCAL

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mi madre Maura Justina Sandoval Lozada que no se encuentre con nosotros, pero forma parte de este trabajo que he venido construyendo en todos estos años, y nos da una mirada desde el cielo viendo todos mis logros.

AGRADECIMIENTO

A la universidad que me abrió sus puertas para continuar con mis estudios universitarios y seguir adelante con mi carrera.

A mis profesores por todos los conocimientos brindados y motivarme a terminar esta gran etapa universitaria.

Índice

RESUMEN	9
ABSTRACT	10
I. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. Realidad Problemática	11
1.2. Formulación del problema.....	12
1.3. Justificación.	12
1.4. Objetivos	12
1.4.1. Objetivo General.....	12
1.4.2. Objetivos Específicos.	13
1.5 Antecedentes.....	13
1.5.1. Antecedentes Internacionales.....	13
1.5.2. Antecedentes Nacionales.	14
1.6 Bases Teóricas.	15
1.6.1. Los Geosintéticos.	15
1.6.2. Control de Calidad.....	26
1.6.3. Aseguramiento CQA:.....	28
1.7. Marco Normativo.	29
1.7.1. LEGISLACIÓN DEL DECRETO SUPREMO - RESIDUOS SÓLIDOS a. Decreto Supremo N° 057-2004-PCM Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos.....	29
1.7.2. NORMAS ASTM Y ESTANDARES DE ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD	29
1.8. Metodología de diseños de Geomembrana.....	31

1.8.1. Diseño de Espesor	31
1.8.2. Estabilidad de la Cobertura del Relleno	34
1.8.3. Diseño de la Longitud y Zanja de Anclaje	35
1.8.4. Chequeo por supervivencia	37
1.9. Formulación de Hipótesis	39
1.9.1. Hipótesis general.	39
1.9.2. Hipótesis específico.	39
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	39
2.2 Materiales de estudio.	40
2.2.1. Población:.....	40
2.2.2 Muestra.	40
2.3. Técnicas procedimientos e instrumentos.....	40
2.3.1. Para recolectar datos.....	40
2.3.2. Procesamiento de análisis de datos	41
2.4. Operacionalización de las Variables.....	41
III. RESULTADOS.	43
3.1. Metodología de diseño de las geomembranas en la estanquidad de pozas en infraestructuras mineras, Las Bambas.	43
3.1.1. Ubicación del área de estudio.....	43
3.1.2. Vías de acceso.	44
3.2. Diseño de Geomembrana.	46
3.2.1. Diseño de espesor.....	46

3.2.3. Diseño de la Longitud y Zanja de Anclaje.....	48
3.2.3. Chequeo por supervivencia	49
3.3. Especificaciones técnicas de las geomembranas.....	50
3.3.1. Manejo, almacenamiento y distribución.	50
3.3.3. Instalación de la geomembrana de hdpe	51
3.3.4. Unión de geomembranas de hdpe.....	52
3.3.5. Control de calidad en terreno.....	53
3.3.6. Calidad y aceptación	56
3.3.7. Inspección	57
3.3.8. Seguridad	58
CONCLUSIONES.....	59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
ANEXOS	63

Índice de Tablas

Tabla 1. <i>Espesor de la Geomembrana</i>	23
Tabla 2. <i>Normas ASTM y Estándares De Aseguramiento y Control De Calidad</i>	29
Tabla 3. <i>Ángulos de fricción geomembrana - suelo y geomembrana - geotextil Según ensayo ASTM D 5321</i>	32
Tabla 4. <i>Valores mínimos recomendados para supervivencia de la geomembrana asociada al proceso de instalación</i>	37
Tabla 5. <i>Operacionalizacion de variables</i>	41
Tabla 6. <i>Coordenadas UTM – Las Bambas</i>	42
Tabla 7. <i>Unidades Fisiográficas</i>	44
Tabla 8. <i>Valores para la longitud de inclinación</i>	47

Índice de Figuras

<i>Figura 1. Geotextil Tejido.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 2. Geotextil no tejido.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 3. Geotextil Uniaxial.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 4. Geomalla Biaxial.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 5. Geomalla Multiaxial.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 6. Geodren Planar.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 7. Geodrén Triplanar.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 8. Geomembrana Bituminosa.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 9. Forros de arcilla geosintética (GCL).....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 10. Geoceldas.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 11: Modelo de diseño utilizado para calcular el espesor de la geomembrana.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 12. Distancia de movilización de la deformación de la geomembrana HDPE Vs Esfuerzo.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 3. Fuerzas actuantes con suelos de cobertura sobre la geomembrana de recubrimiento, con profundidad del suelo constante.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 14. Sección transversal de la longitud de desarrollo de una geomembrana con zanja de anclaje y fuerzas actuantes.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 15. Mapa de ubicación y acceso al Proyecto Las Bambas.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 16. Tabla climática del proyecto las bambas.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 17. Dimensionamiento Longitud desarrollo y Zanja de anclaje.....</i>	<i>48</i>

RESUMEN

La utilización de geosintéticos en estanquidad de pozas en infraestructuras mineras es de sumo cuidado, ya que estas se emplean para reducir el riesgo de filtración de sustancia provenientes de relaves y de diversos residuos tóxicos. Según la legislación peruana estos residuos de propiedades sólidas y líquidas deben estar aislando del suelo, impidiendo un contacto directo. En los proyectos de operaciones mineras el uso de geosintéticos es uno de los principales problemas, debido a la falta de inducción en el diseño y aplicación de este. La utilización de geosintéticos requiere de ciertos parámetros que nos permitan identificar los requerimientos mínimos para su aplicación de acuerdo al tipo de material y condiciones del área de aplicación, por ello es necesario conocer de las normas que nos ayudaran a realizar el correcto diseño e instalación de los mismos. La utilización de geosintéticos, evita la filtración de sustancias tóxicas, siendo este el método más fácil y seguro, gracias a sus propiedades de separación, refuerzo, impermeabilización, drenaje y protección.

La aplicación de geosintéticos en proyectos mineros requiere de una serie de parámetros y metodologías de diseño, en el presente trabajo se muestra un modelo de diseño de geomembrana en la estanquidad de pozas en infraestructuras mineras, de fácil entendimiento y dirigido a profesionales interesados en el tema. El presente trabajo de investigación tiene como objetivo describir las características de diseño y aplicación de geosintéticos en la estanquidad de pozas en infraestructuras mineras

Palabras clave: Geosintéticos, geomembrana, control de calidad.

ABSTRACT

The use of geosynthetics in the tightness of ponds in mining infrastructures is extremely careful since these are used to reduce the risk of leakage of substances from relationships and various toxic wastes. According to Peruvian legislation, these solid and liquid residues must be isolated from the ground, preventing direct contact. In mining operations projects, the use of geosynthetics is one of the main problems, due to the lack of induction in its design and application. The use of geosynthetics requires certain parameters that will identify the minimum requirements for its application according to the type of material and conditions of the area of application, for which it is necessary to know the standard that will help us to carry out the correct design and installation of themselves. The use of geosynthetics avoids the filtration of toxic substances, this being the easiest and safest method, thanks to its separation, reinforcement, waterproofing, drainage, and protection properties.

The application of geosynthetics in mining projects requires a series of design parameters and methodologies, in this work a geomembrane design model for the sealing of wells in mining infrastructures is shown, easily understood, and aimed at professionals interested in the topic. The present research work aims to describe the design and application characteristics of geosynthetics in the sealing of wells in mining infrastructures.

Keywords: Geosynthetics, geomembrane, quality control.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

La utilización de geosintéticos en estanquidad de pozas en infraestructuras mineras es de sumo cuidado, ya que estas se emplean para reducir el riesgo de filtración de sustancias provenientes de relaves y de diversos residuos tóxicos. Según la legislación peruana estos residuos de propiedades sólidas y líquidas deben estar aislando del suelo, impidiendo un contacto directo.

El decreto supremo D.S M° 057-2004-PCM Título II, Capítulo III afirma que “Los desechos de la actividad minera son de responsabilidad propia, indicando que las empresas mineras son las encargadas de su manejo y manipulación”. Las empresas mineras deben asegurarse de ciertas condiciones que les establecen en el decreto supremo ya mencionado, indicando que se debe realizar la impermeabilización de su área de operación, instalándose geomembrana para los relaves o lixiviados.

En los proyectos de operaciones mineras el uso de geosintéticos es uno de los principales problemas, debido a la falta de inducción en el diseño y aplicación de este. La utilización de geosintéticos requiere de ciertos parámetros que nos permitan identificar los requerimientos mínimos para su aplicación de acuerdo al tipo de material y condiciones del área de aplicación, por ello es necesario conocer de las normas que nos ayudaran a realizar el correcto diseño e instalación de los mismos.

Ante lo mencionado el presente trabajo, describe los principales tipos, propiedades y funciones de los geosintéticos, empleados como materiales de separación, refuerzo, impermeabilización, drenaje planar y protección, en operaciones mineras, especialmente pozo de estanquidad, además de definir cuáles son las normas y parámetros para el diseño y utilización de geosintéticos de acuerdo al sistema de calidad previamente establecido.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el modelo de diseño para la aplicación de geosintéticos en la estanqueidad de pozas en infraestructuras mineras?

1.3. Justificación.

La utilización de geosintéticos para la estanqueidad de pozas, evita la filtración de sustancias tóxicas, siendo este el método más fácil y seguro, gracias a sus propiedades de separación, refuerzo, impermeabilización, drenaje y protección. Actualmente en la actividad minera se requiere de la aplicación de geosintéticos para la impermeabilización de sus áreas de relave y lixiviación, ya que son de bajo costo y fácil de manipulación. Por su aporte metodológico, en el presente trabajo describiremos cual es el diseño más adecuado para la aplicación de geosintéticos en la estanqueidad de pozas en infraestructuras mineras, con el fin de evitar que las sustancias tóxicas entren en contacto con el subsuelo, agua y la composición natural del medio ambiente, afectando con la salud humana, por tal motivo es de suma importancia conocer cuáles son los parámetros y normas de diseño para aplicar los geosintéticos, manteniendo un ambiente libre de contaminación. Esta investigación puede servir para futuras investigaciones en otras aplicaciones de geosintéticos.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General.

Describir las características de diseño y aplicación de geosintéticos en la estanqueidad de pozas en infraestructuras mineras

1.4.2. Objetivos Específicos.

- Identificar los parámetros y normas para la aplicación de geosintéticos.
- Describir las características generales de los geosintéticos
- Identificar las normas y leyes que controlan el uso de geosintéticos

1.5 Antecedentes.

La utilización de geo sintéticos en obras mineras y civiles es una de las nuevas tendencias que ha venido desarrollando en los últimos años, conocer este material para su empleo en dichas obras, permite su correcta instalación, forzando a los profesionales a conocer sus características, teoría de diseño, tecnología y controles de calidad.

1.5.1. Antecedentes Internacionales.

La investigación de Chile, Caracterización de geosintéticos en virtud de su función principal en la obra vial, afirma que los geosintéticos, es un material que ayuda en la resolución de distintos problemas en el campo de la ingeniería, mencionado que estos productos son ventajosos debido a su facilidad de uso en obra, optimizando tiempos de ejecución (Botasso, Fensel, y Delbono, 2008).

La tesis titulada “La aplicación de geosintéticos a terraplenes”, en México, afirma que los geosintéticos son productos muy beneficiosos en la aplicación de obras, donde el autor tiene como objetivo difundir, promocionar y explicar las características gracias a lo sencillo, técnico y concreto que puede ser el uso de los geosintéticos. La conclusión de la investigación menciona que los geosintéticos dependerán de su tipo de diseño para su aplicación, permitiendo tener más de un uso (Soto-Islas, 2009).

La investigación “Construcción de pozas con geomembrana de polietileno de alta densidad”, en Chile, menciona que la geomembrana de alta densidad son los materiales más óptimos, para su aplicación en obras civiles, debido a su característica de resistencia al envejecimiento, humedad,

temperatura y agentes externos. Las geomembranas de alta densidad son las más eficientes ante la aplicación de contenidos químicos, residuos tóxicos y líquidos contaminados (Valencia, 2010).

1.5.2. Antecedentes Nacionales.

La tesis “Beneficios Del Uso De Geosintéticos Para El Recrecimiento De Depósitos De Relaves”, en Huancayo - Perú, describe la importancia del uso de geosintéticos para el control de filtraciones de sustancias, aplicada al recrecimiento de los depósitos de relaves. La investigación afirma que la utilización de geosintéticos como geotextiles y geomembranas, ayudan con el recrecimiento del depósito de relave, incrementando la capacidad de volumétrica del depósito y aislando las sustancias tóxicas del suelo, evitando la contaminación ambiental (Párraga-Rojas, 2015).

En la investigación “Uso De Geosintéticos En La Solución De Problemas Geotécnicos”, en Lima –Perú, afirma que el uso de geosintéticos en obras civiles, complementa las carencias que presentan las materias geológicas, reforzando la construcción de taludes y sistemas de drenajes, obteniéndose ventajas económicas y técnicas, logrando que las estructuras del suelo queden reforzadas (Hurtado, 2017).

La tesis “Mejoramiento De La Productividad En El Despliegue De Geosintéticos Para La Impermeabilización De Plataformas Bajo La Filosofía Del Lean Construcción Y El Pmbok” en Arequipa –Perú, menciona que los geosintéticos permiten mejorar las propiedades del suelo, mejorando y haciendo posible la ejecución de proyectos mineros en el área de ingeniería civil y geotécnico, la aplicación de geosintéticos se centra en la impermeabilización de sustratos, dentro del sector minero el uso de geosintéticos se aplica en procesos de lixiviación, reforzamiento de taludes, drenaje de ácidos, control de erosión ,etc. (Sánchez y Margot, 2018).

1.6 Bases Teóricas.

1.6.1. Los Geosintéticos.

Los geosintéticos son productos que están hecho de polímeros, estos son un grupo de materiales fabricados mediante la transformación industrial de sustancias químicas denominadas polímeros, para luego ser convertidos mediante uno o más procesos, en láminas, fibras, perfiles, películas, tejidos, mallas, etc., o en compuestos de dos o más de ellos, existiendo también algunas combinaciones con materiales de origen vegetal (Koerner, 2005).

Los geosintéticos se pueden aplicar en sectores como, minería, transporte, geotécnica, ambiental, hidráulica, marina, y la ingeniería de desarrollo privado, incluyendo carreteras, ferrocarriles, terraplén, muros de contención, canales, control de la erosión, los rellenos de sanitarios, recuperación de tierras, rompeolas, muelles, espigones, revestimientos, acuicultura y agricultura. Sin embargo, con el desarrollo de productos, la gama aplicable de geosintéticos, puede extenderse a otras áreas además de lo mencionado anteriormente (Koerner, 2005).

1.6.1.1. Función de los geosintéticos.

Los geosintéticos tiene como función principal de separación, filtración, drenaje, refuerzo, contención de fluido/gas o control de erosión. En algunos casos los geosintéticos pueden tener doble función.

- **Separación:** Sirven para separar dos tipos de suelos con diferentes distribuciones de partículas., Los geotextiles también se usan para prevenir a los materiales de base que penetran suelos blandos de estratos subyacentes, manteniendo la espesura de diseño y la integridad de la vía (Koerner, 2005).
- **Filtración:** Actúan como filtro de arena permitiendo el transporte del agua a través del suelo, reteniendo partículas circuladas por el flujo. Los geotextiles también se usan para prevenir el desplazamiento de agregados de los suelos (Koerner, 2005).

- **Drenaje:** Suelen actuar como sistema de drenaje para conducir el flujo a través de suelos menos permeables. Los geotextiles por lo general son usados para disminuir las presiones de poro en la base de terraplenes, también han sido usados como drenes para pavimentos, drenes en taludes, y drenes de contrafuertes y muros de contención (Koerner, 2005)
- **Refuerzo:** sirven como componentes de refuerzo dentro del suelo o bien cambiando con el propio suelo produciendo un compuesto de mejora para las propiedades de resistencia y deformación. Los geotextiles y geomallas se usan para sumar una resistencia a la tracción de la masa del suelo y posibilitando paredes del suelo reforzado ya sea verticales o casi verticales (Koerner, 2005).
- **Contención de Fluido/Gas (barrera):** actúan como barrera impermeable para fluidos y gases. Las geomembranas de películas finas de geotextil, revestimientos de arcilla geosintética (GCLs), y geotextiles revestidos se usan como contenedores impermeables que impiden el flujo de líquidos o gases (Koerner, 2005).
- **Control de Erosión:** sirven para reducir la erosión del suelo provocado por agentes externos como el impacto de lluvias y escorrentía de aguas de superficie. Las mantas temporales de geosintéticos y tapetes livianos permanentes de geosintéticos se colocan sobre los taludes para evitar la exposición del suelo (Koerner, 2005).

1.6.1.2. Tipos De Geosintéticos:

a. Geotextiles:

Los geotextiles son fibras sintéticas diferentes a las naturales como algodón, lana, o seda. Es por eso que su degradación y su vida útil no es problema. Las fibras sintéticas esta elaboradas de telas porosas flexibles hechas a máquinas de tejer estándar o están enmarañados entre sí de manera aleatoria no tejida; los geotextiles tienen la característica de ser porosos al flujo de líquido por su fabricación plana y por su espesor. Actualmente existen alrededor de 100 áreas de aplicación de los geotextiles, que se han desarrollado en los últimos años (Geosistemas Pavco S.A., 2009).

Tipo de geotextiles:

- **Geotextiles Tejidos:** Tienen la característica de tener altas resistencias y bajas deformaciones, gracias a su estructura y cintas empleadas en su fabricación, su aplicación es orientada al refuerzo de vías, muros, terraplenes y cimentaciones (Geosistemas Pavco S.A., 2009).

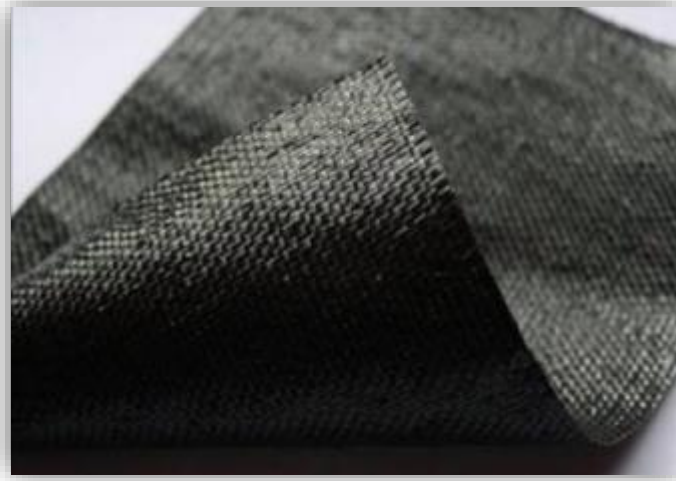


Figura 1. Geotextil Tejido.

- **Geotextiles No Tejidos:** Los geotextiles no tejidos tienen excelentes características mecánicas y de elongación se logra elongar desde un 40% hasta un 120% o más, antes de la rotura. Proporciona capacidad de adaptabilidad a las des uniformidades de los terrenos, también posee grandes propiedades para la protección (Geosistemas Pavco S.A., 2009).



Figura 2. Geotextil no tejido.

Aplicaciones:

- Sistema de protección de geomembrana.
- Sistemas de drenaje (dren francés).
- Repavimentación de avenidas.
- Separación de agregados.
- Refuerzo de suelos.
- Filtro para enrocados

Especificaciones técnicas de los Geotextiles.

Anexo 1 y 2.

b. Geomallas:

Las Geomallas son estructuras planas, confeccionadas de polímeros formadas con una configuración en forma de rejilla abierta, con aberturas grandes entre las costillas individuales en direcciones longitudinales y transversales a la máquina. Estas se forman entre varias formas: estirada en una o dos direcciones con la intención de mejorar las propiedades físicas, fabricadas en telares o máquinas de tejer por métodos estándar y bien establecidos y hecha por varillas de unión o correas juntas (Geosistemas Pavco S.A., 2009).

Tipos de Geomallas

- **Uniaxiales:** Están diseñadas para soportar el esfuerzo mayor en una dirección, se aplican en diques y muros de suelo reforzado (Geosistemas Pavco S.A., 2009).

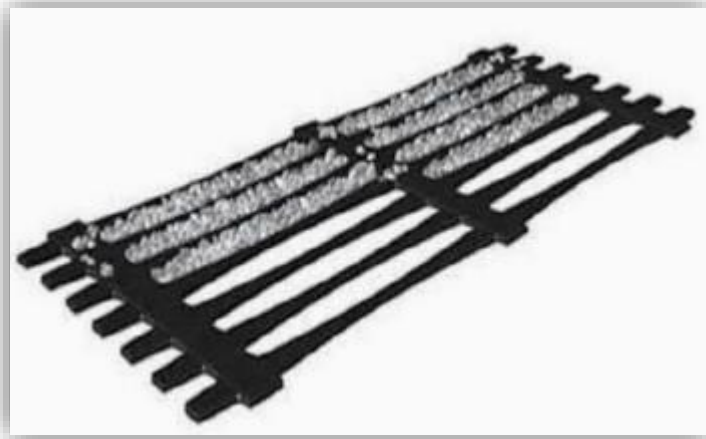


Figura 3. Geotextil Uniaxial.

- **Biaxiales:** Se utiliza mayormente para refuerzo en bases en todo tipo de suelos, las distribuciones de los esfuerzos se dan de forma igual en ambos sentidos (Geosistemas Pavco S.A., 2009).



Figura 4. Geomalla Biaxial.

- **Multiaxiales:** se fabrican con Polipropileno, su diseño permite su distribución de los esfuerzos en más de dos sentidos o direcciones, se aplican para los refuerzos del suelo (Geosistemas Pavco S.A., 2009).



Figura 5. Geomalla Multiaxial.

Aplicaciones:

- Estabilidad de taludes.
- Recrecimiento de relaves.
- Diques.
- Muros de suelo reforzado.
- Caída de piedras.
- Taludes revegetados.
- Vías pavimentadas y no pavimentadas.

Especificaciones técnicas de las Geomallas.

Anexo 3 y 4.

c. Geodrén:

Los geodrenes son geocompuestos, está compuesta por un núcleo de estructura reticular (geored), fabricada de polietileno de alta densidad, su diseño permite el flujo por su estructura, de líquidos a drenar. Su geored está integrada a uno o dos geotextiles drenantes formando el geocompuesto. Tiene la capacidad drenante y a su gran resistencia a la presión, las georedes y los geocompuestos (Geosistemas Pavco S.A., 2009).

Tipos de Geodrén:

- **Geodrén Planar:** El Geodrén Planar está conformado por Geotextiles no tejidos punzonados, agujas y Geored Biaxial de polietileno de alta densidad (HDPE), tiene la función de filtración,

reteniendo las partículas del suelo y permitiendo el paso de los fluidos (Geosistemas Pavco S.A., 2009).



Figura 6. Geodren Planar.

- **Geodrén Triplanar:** Son considerados como un avanzado sistema integral de captación, conducción y evacuación de fluidos; está compuesto por Geored triaxial única y Geotextiles No Tejidos. Su sistema es resistente a agentes químicos y biológicos siendo utilizados a altos flujos y volúmenes (Geosistemas Pavco S.A., 2009).



Figura 7. Geodrén Triplanar

Aplicaciones:

- Muros en suelo reforzado.
- Minería / Rellenos sanitarios.
- Sistema de captación de líquidos.
- Subdrenes para campos deportivos.

Especificaciones Técnicas:

Anexo 5.

d. Geomembranas:

Las geomembranas son láminas delgadas, impermeables fabricadas de material polimérico, aplicado en revestimientos y cubiertas de instalaciones para el almacenamiento de líquidos o sólidos, incluyendo todos los tipos de vertederos, embalses, canales y otras instalaciones de contención. Su función principal es de una barrera para la contención de líquido o vapor o ambos (Geosistemas Pavco S.A., 2009).

Las geomembranas que se utilizan frecuentemente son denominadas polyolefins, siendo este polietileno de alta y baja densidad (HDPE, LLDPE, LDPE y VLDPE), o de polipropileno flexible reforzado y no reforzado (VFPE), además de las de PVC. Cumple la característica de resistencia física química o flexibilidad (Geosistemas Pavco S.A., 2009).

La función principal de la geomembranas es contener materiales y/o sustancias, también sirve de recubrimiento sintético a fluidos y partículas en obras civiles, geotécnicas y ambientales. Las geomembranas se emplean para la impermeabilización tales como túneles, vertederos, depósitos o cubiertas planas de edificación (Geosistemas Pavco S.A., 2009).

Aplicaciones:

- Lagunas de lixiviación, de aireación y de tratamiento de aguas.
- Diques de contención secundaria.
- Tanques de concreto y metal.
- Rellenos Sanitarios.
- Fosas de aguas residuales.
- Tuberías.
- Lagos artificiales.
- Tanque de homogenización.
- Trincheras y canales de riego.

- Confinamiento tóxico de residuos químicos e industriales.
- Ollas de captación de aguas pluviales.
- Especificaciones técnicas.

Tipos de Geomembrana:

- High Density PolyEthylene (HDPE) o Polietileno de Alta Densidad (PEAD).28
- Very Low Density PolyEthylene (VLDPE) o Polietileno de Muy Baja Densidad.
- Very Flexible PolyEthylene (VFPE) o Polietileno Muy Flexible.
- Linear Low Density PolyEthylene (LLDPE) o Polietileno de Baja Densidad Lineal.
- Low Density PolyEthylene (LDPE) o Polietileno Lineal de Baja Densidad.
- Polyvinyl Chloride (PVC) o Policloruro de Vinilo Muy Flexible.

Tenemos espesores comerciales desde 0.5mm hasta 3mm siendo los más comunes:

Tabal 1

Espesor de la Geomembrana.

ESPESTRO (mm)	ESPESTOR (mils – Milésimas de pulgadas)
0.50 mm	20mils
0.75 mm	30 mils
1.00 mm	40 mils
1.50 mm	60 mils
2.00 mm	80 mils
2.50 mm	100 mils
3.00 mm	120 mils

Fuente: Elaboración propia.

- **Geomembrana Bituminosa:** sirve de impermeabilización y se fabrica con 5.10 m de ancho. Esta combinada con un aglomerante a base de betún elastómero con una armadura de

geotextil de poliéster no tejido, con el cual se garantiza una alta resistencia mecánica y química a largo plazo. Sus características permiten cubrir todas las necesidades en la obra civil frente a sustancias químicas, contaminantes, etc. (Geosistemas Pavco S.A., 2009).

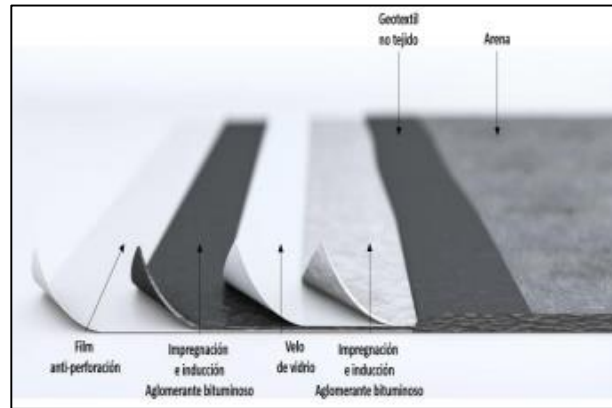


Figura 8. Geomembrana Bituminosa

Aplicaciones:

- Confinamiento de residuos sólidos/Rellenos sanitarios.
- Confinamiento de residuos líquidos.
- Barreras de biogás.
- Presas.
- Depósitos y balsas.
- Canales.
- Carreteras.
- Vías férreas.
- Lagos artificiales.
- Obras hidráulicas.
- Contención secundaria.

Especificaciones técnicas de la Geomembrana

Anexo 6.

e. Forros de arcilla geosintética (GCL):

Son materiales fabricados de poliméricos y de suelo natural, sus rollos son fabricados en capas finas de arcilla de bentonita de sodio intercaladas entre dos geotextiles o unidos a una geomembrana, su capacidad estructural del material se obtiene por punzonado con agujas, costura, o unión física. Tienen las propiedades de resistencia al corte interno y resistencia a la fluencia a largo plazo (Geosistemas Pavco S.A., 2009).



Figura 9. Forros de arcilla geosintética (GCL)

Aplicaciones:

GCL se utiliza como componente auxiliar debajo de una geomembrana, en aplicaciones ambientales, contención, transporte, geotécnico, hidráulica, pads de lixiviación y diversas aplicaciones privadas de desarrollo (Geosistemas Pavco S.A., 2009).

f. Geoceldas:

Son redes tridimensionales muy gruesas fabricadas por tiras de planchas de polímero, construidas contra la radiación ultravioleta y soldadas mediante uniones ultrasónicas, aportando alta resistencia estructural incomparable con otros sistemas, tienen una textura y perforación que ayuda a la retención del suelo mediante fricción y trabazón, permitiendo un buen drenaje. En algunos casos las geoceldas de tiras de poliolefina de 0.5 m a 1 m de ancho han sido conectadas con barras verticales de polímero para formar estratos profundos de geoceldas llamado geocolchones (Geosistemas Pavco S.A., 2009).



Figura 10. Geoceldas.

Aplicaciones:

- Control de erosión.
- Protección de taludes, canales.
- Defensas ribereñas.
- Soporte de carga en vías.
- Contención de suelos.
- Muros verdes y jardineras.

g. Geobloques:

Son fabricados por la expansión polimérico que resulta en una "espuma" compuesta por células cerradas pero llenadas de gas. El producto resultante es de forma grande, pero ligero, estando los bloques apilados de lado a lado, proporcionando relleno ligero en numerosas aplicaciones (Geosistemas Pavco S.A., 2009).

h. Geocompuestos:

Es una combinación de geotextiles, geomallas, georedes, y / o geomembranas en una unidad producida por la fábrica. Además, cualesquiera de estos cuatro materiales pueden estar combinado con otro material sintético (por ejemplo, láminas de plástico deformado o cables de acero) o con el suelo (Geosistemas Pavco S.A., 2009).

1.6.2. Control de Calidad.

La calidad es la capacidad que caracteriza un objeto para satisfacer necesidades implícitas o explícitas según un parámetro, mediante el cumplimiento de especificaciones técnicas.

1.6.2.1. Control de Calidad QC:

En el control de calidad se implantan programas, mecanismos, herramientas y/o técnicas en una empresa con el objetivo de mejorar la calidad de sus productos, servicios y productividad, esta es una estrategia para asegurar el cuidado y mejora continua en la calidad ofrecida, además estas son pruebas e inspecciones necesarias para garantizar que la obra sea realizada conforme a las especificaciones.

1.6.2.2. Tipos de Control de Calidad:

- **Ensayos no destructivos:** tiene como propósito demostrar y comprobar la estanqueidad o sello hidráulico de la junta (fugas) siendo producidas por mala limpieza en el esmerilado, humedad del aporte o exceso de polvo en el ambiente, formando cavidades o adherencia mínima del material a fusionar. El supervisor de Control de Calidad de terreno programará y controla todas las operaciones de pruebas no destructivas para asegurar la calidad de la soldadura y el progreso ordenado del proyecto (Medina-Rojas, 2018).
- **Ensayos destructivos:** este ensayo permite determinar las características mecánicas de las uniones, los ensayos destructivos se realizan de acuerdo al lugar de aplicación y marcados por el Cliente, salvo que Cliente faculte al QC de hacer esta actividad (Medina-Rojas, 2018).

1.6.2.3. Equipos para el Control de Calidad:

- Spark tester.
- Caja de vacío.
- Manómetro con aguja.
- Tensiómetro.
- Ultrasonido.
- Pirómetro, Anemómetro, Vernier

1.6.3. Aseguramiento CQA:

Consiste en la revisión e inspección de las funciones de control de calidad con el objetivo de ver si éstas han sido efectuadas de manera correcta y adecuada, de acuerdo a los parámetros del proyecto.

1.6.3.1. Etapas de Aseguramiento y Control de Calidad:

- **Calibración de Equipos:** los siguientes equipos son utilizados para la calibración de los equipos en las pruebas de control de calidad: tensiómetros, manómetros, vacuómetros; los equipos de soldadura como la cuña, extrusora y termo fusión de tubería; son garantizados por los certificados de calibración emitidos por la empresa suministradora, así también están su certificación son emitidas por las Universidades prestigiosas u otra institución reconocida (Medina-Rojas, 2018).
- **Durante el proceso de Instalación:** tiene como objetivo principal la calidad en el despliegue y soldado de los geosintéticos, se tiene que cumplir el 100%, por ello desarrollamos cuatro procedimientos de control de calidad (Medina-Rojas, 2018).
 - La soldadura siempre son realizadas por técnicos de amplia experiencia, entrenados para el uso de equipos y técnicas de soldado.
 - Todas las costuras o juntas son inspeccionadas.
 - El 100% de las pruebas no destructivas de las juntas siempre se verifican la inexistencia de defectos.
 - En coordinación con el inspector CQA, se deben tomar muestras destructivas por cada 150 m de soldaduras terminadas para asegurar que la junta cumpla con las propiedades especificadas.
- **Inspección Visual:** El Supervisor de Control de Calidad inspeccionará visualmente cada uno de los paneles, acto después de desplegado de los geosintéticos, con el fin de identificar áreas para su reparación (Medina-Rojas, 2018).

- **Puesta de Servicio del Equipo de Soldadura o Pre-Weld:** es un requisito básico y obligatorio antes de comenzar el trabajo en los terrenos, permitiendo establecer si los equipos de soldadura están trabajando adecuadamente, con el fin de minimizar el riesgo de falla en una unión en terreno (Medina-Rojas, 2018).

1.7. Marco Normativo.

1.7.1. LEGISLACIÓN DEL DECRETO SUPREMO - RESIDUOS SÓLIDOS a. Decreto Supremo N° 057-2004-PCM Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos.

El D.S. N° 057-2004-PCM Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos establece en el Título III. Manejo de Residuos Sólidos, Capítulo III. Residuos Sólidos del Ámbito de Gestión no Municipal, que los residuos generados por la actividad minera, y que son responsabilidad del generador de los mismos, deben ser dispuestos de tal forma que cuenten con sistemas de disposición de residuos compuestos por geomembranas, tuberías de drenajes, entre otros. Así mismo, el Título V. Infraestructuras de Residuos Sólidos, Capítulo IV. Infraestructura de Disposición Final señala en el artículo 86 las instalaciones mínimas y complementarias en un relleno de seguridad, especificando que la impermeabilización de la base y los taludes del relleno debe asegurar una conductividad hidráulica ($K = 1 \times 10^{-9}$ para rellenos de seguridad para residuos sólidos y de $K = 1 \times 10^{-7}$ para rellenos de seguridad para residuos no peligrosos y en ambos casos, una profundidad mínima de 0.50 m) que evite la contaminación por lixiviados, salvo que se cuente con una barrera geológica para dichos fines, lo que deberá sustentarse técnicamente. Este mismo artículo especifica que el espesor mínimo de la geomembrana no debe ser menor a 2 mm, la que deberá estar protegida con geotextil (Decreto Supremo N° 057-2004-PCM, 2004).

1.7.2. NORMAS ASTM Y ESTANDARES DE ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD

Tabla 2

Normas ASTM y Estándares De Aseguramiento y Control De Calidad

NORMA	TÍTULO
ASTM D-6365	Standard Practice for the Nondestructive Testing of Geomembrane Seams using the Spark Test.
ASTM D-6392	Standard Test Methods for Determining the Integrity of Nonreinforced Geomembrane Seams Produced Using Thermo-fusion Methods.
ASTM D-5820	Standard Practice for Pressurized Air Channel Evaluation of Dual Seamed Geomembranes.
ASTM D-5641	Standard Practice for Geomembrane Seam Evaluation by Vacuum Chamber.
GRI Standard GM14	Selecting Variable Intervals for Taking Geomembrane Destructive Seam Samples Using the Method of Attributes.
ASTM D-4437	Standard Practice for Determining the Integrity of Field Seams Used in Joining Flexible Polymeric Sheet Geomembranes
NORMA	TÍTULO
ASTM F-2620	Standard Practice for Heat Fusion Joining of Polyethylene Pipe and Fittings.
ASTM D-7056	Tensile Shear - Bituminous Geomembrane.
ASME B31.4	Inspeccion con Ultrasonico a Uniones Termofusionadas.
ASME SECCION V - ART 5	Ultrasonic Examination Methods for Materials and Fabrication.
ISO 9001	International Standarization Organization - SGC

Fuente:

*ASME: The American Society of Mechanical Engineers.

* ASTM: The American Society for Testing and Materials.

* GRI: Geosynthetics Research Institute. Fuente: Elaboración Propia.

1.8. Metodología de diseños de Geomembrana

El siguiente diseño permite seleccionar la geomembrana adecuada para ser instalada como aislador impermeable, favoreciendo a la protección del ecosistema, estos tipos de geomembranas pueden ser utilizadas en reservorios de agua, rellenos sanitarios, procesos industriales, en lagunas de oxidación, etc. En el diseño de geomembrana, se requiere analizar la resistencia del material con el valor requerido, obtenido un valor del factor de seguridad global FS_q (Mexichem, G. P., 2009)

$$FS_q = \frac{\text{Resistencia Admisible}}{\text{Resistencia Requerida}} \Rightarrow FS_q > 1$$

Donde:

- **Resistencia Admisible:** Resistencia última del ensayo de laboratorio que simula las condiciones reales del proyecto sobre los factores de reducción.
- **Resistencia Requerida:** Valor obtenido del cálculo mediante una metodología de diseño que simula las condiciones reales del proyecto.

1.8.1. Diseño de Espesor

El cálculo del espesor de la geomembrana depende de la fabricación del polímero, debido al distinto comportamiento a la fluencia de cada uno de los materiales de fabricación. El cálculo del espesor se realiza mediante un equilibrio límite teniendo en cuenta la deformación de la geomembrana (Mexichem, G. P., 2009)

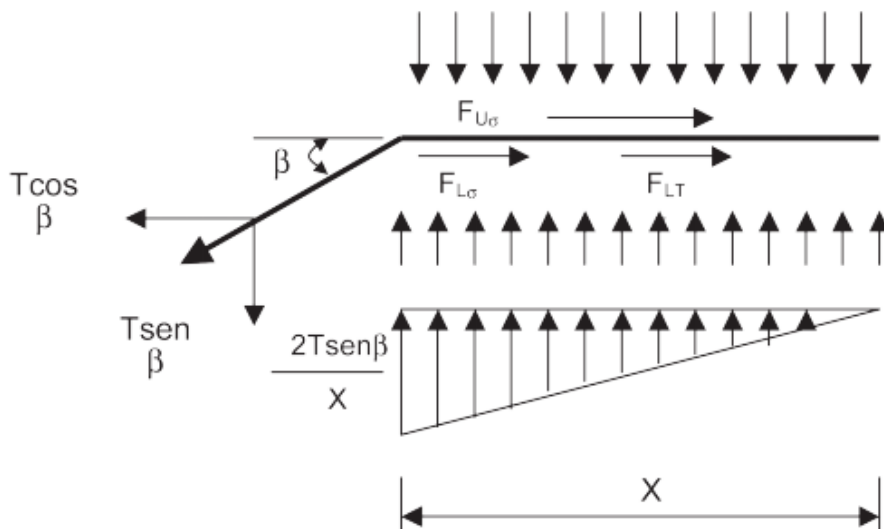


Figura 11: Modelo de diseño utilizado para calcular el espesor de la geomembrana.

Fuente: Manual de diseño con geosintéticos, Octava edición, 2009.

$$\sum F_x = 0$$

$$T \cos \beta = F_{U\sigma} + F_{L\sigma} + F_{LT}$$

$$T \cos \beta = \sigma_n \tan \delta_U(x) + \sigma_n \tan \delta_L(x) + 0.5 (2T \sin \beta / x) (x) \tan \delta_L$$

$$T = \frac{\sigma_n x (\tan \delta_U + \tan \delta_L)}{\cos \beta - \sin \beta \tan \delta_L}$$

La tensión inducida en la geomembrana es igual al esfuerzo admisible por el espesor.

$$t = \sigma_{adm} t$$

Donde:

- T: Tensión movilizadora en la geomembrana.
- σ_{adm} : Esfuerzo admisible en la geomembrana
- t: Espesor de la geomembrana
- Reemplazados valores en la ecuación x se obtiene.

$$t = \frac{\sigma_n x (\tan \delta_U + \tan \delta_L)}{\sigma_{adm} (\cos \beta - \sin \beta \tan \delta_L)}$$

Donde:

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

- $F_{U\sigma}$: Fuerza de fricción sobre la geomembrana debido al suelo de cubierta (para suelos de cubierta demasiado delgados, la fracturación de este puede ocurrir por tensión, en estos casos este valor suelo despreciable)
- $F_{L\sigma}$: Fuerza de fricción debajo de la geomembrana debido al suelo de cubierta
- F_{LT} : Fuerza de fricción debajo de la geomembrana al componente vertical de T admisible
- σ_n : Esfuerzo aplicado por el material de relleno
- δ_U : Ángulo de fricción entre la geomembrana y el material superior (ASTM D 5321)
- δ_L : Ángulo de fricción entre la geomembrana y el material inferior (ASTM D 5321)
- x: Distancia de movilización de la deformación de la geomembrana

Tabla 3

Ángulos de fricción geomembrana - suelo y geomembrana - geotextil Según ensayo ASTM D 5321

Tipo de Geomembrana	Tipo De Geotextil	Tipo De Suelo - Arena		
HDPE	No tejido	$\Phi=30^\circ$	$\Phi=28^\circ$	$\Phi=26^\circ$
	Punzonado	30°		
Texturizada	32°	(100%)	26° (92%)	22° (83%)
Lisa	8°	18° (56%)	18° (61%)	17° (63%)

Fuente: Manual de diseño con Geosintéticos. Mexichem, G. P. 2008.

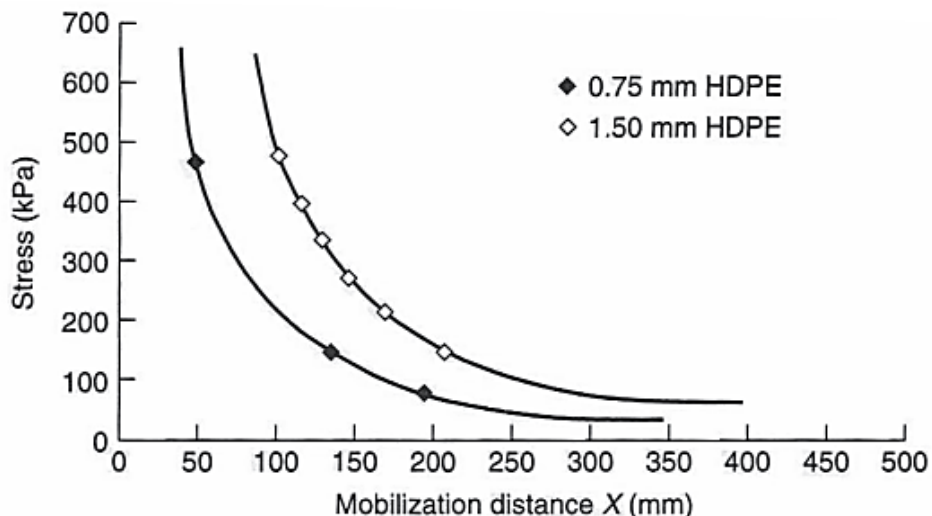


Figura 12. Distancia de movilización de la deformación de la geomembrana HDPE Vs Esfuerzo

1.8.2. Estabilidad de la Cobertura del Relleno

La geomembranas deberán estar recubiertas, buscando la protección con la oxidación, degradación ultravioleta, altas temperaturas, punzonamiento, el rasgado por materiales angulares y ante daños accidentales o intencionales. Las geomembranas por lo general se recubren de suelos pequeños, deslizándose sobre los taludes, basándose en el equilibrio entre el suelo y el subsuelo; la geomembrana y el suelo de recubrimiento tienen que tener un espesor uniforme (Mexichem, G. P., 2009).

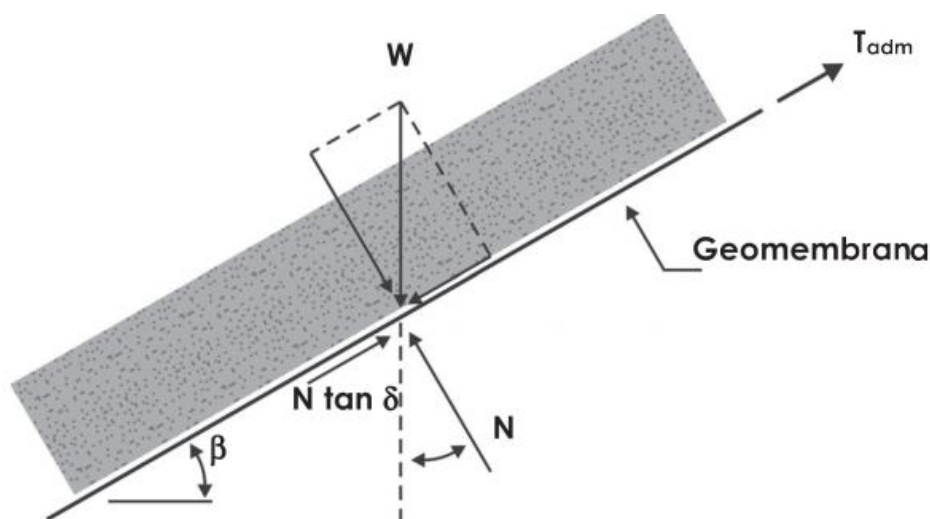


Figura 13. Fuerzas actuantes con suelos de cobertura sobre la geomembrana de recubrimiento, con profundidad del suelo constante

El cálculo de estabilidad de la cobertura requiere de un F.S por el límite de equilibrio.

$$FS = \frac{\text{Fuerzas Resistentes}}{\text{Fuerzas Actuantes}}$$

$$FS = \frac{N \tan \delta_U(L) + T_{adm}}{W \sin \beta (L)}$$

$$FS = \frac{(W \cos \beta) \tan \delta_U (L) + T_{adm}}{W \sin \beta (L)}$$

Donde:

- W: Peso del material de relleno
- β : Ángulo de inclinación del talud con la horizontal
- δ_U : Ángulo de fricción entre la geomembrana y el material superior
- L: Longitud de la inclinación
- T_{adm} : $\sigma_{adm} \cdot t$, Fuerza de tensión en la geomembrana
- Nota: se escoge la longitud con la cual se obtenga un FS mínimo de 1 para garantizar que no habrá deslizamiento de la capa de suelo.

1.8.3. Diseño de la Longitud y Zanja de Anclaje

Para el cálculo se toma en cuenta el estado de fuerza dentro de la zanja de anclaje y su resistencia, en la profundidad de la zanja actúan fuerzas laterales sobre la membrana, como la presión activa, producto de la tierra que desestabilizan el sistema, y una presión pasiva de tierra la que tiene que soportar (Mexichem, G. P., 2009).

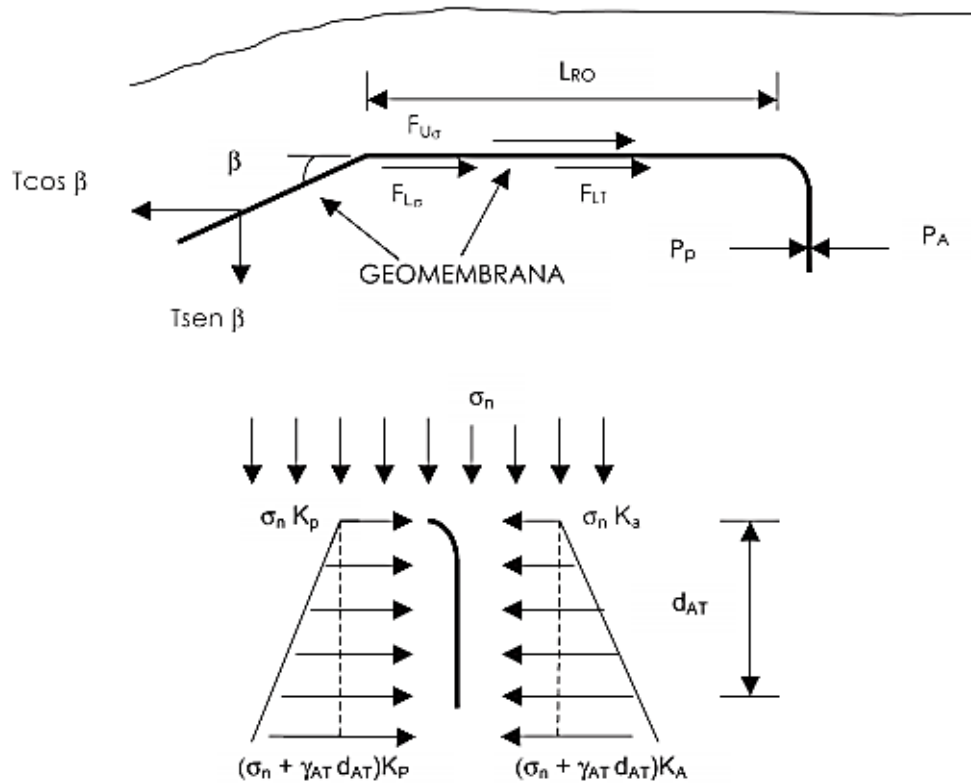


Figura 14. Sección transversal de la longitud de desarrollo de una geomembrana con zanja de anclaje y fuerzas actuantes.

$$\Sigma F_x = 0$$

$$T_{adm} \cos \beta = F_{U\sigma} + F_{L\sigma} + F_{LT} - P_A + P_P$$

$$T_{adm} \cos \beta = \sigma_n \tan \delta_U (L_{RO}) + \sigma_n \tan \delta_L (L_{RO}) + 0.5 (2T_{adm} \sin \beta / L_{RO}) (L_{RO}) \tan \delta_L - P_A + P_P$$

$$T_{adm} = \frac{\sigma_n L_{RO} (\tan \delta_U + \tan \delta_L) - P_A + P_P}{\cos \beta - \sin \beta \tan \delta_L}$$

$$P_A = (0.5 \gamma_{TA} d_{AT} + \sigma_n) K_A d_{AT}$$

$$P_P = (0.5 \gamma_{TA} d_{AT} + \sigma_n) K_P d_{AT}$$

Donde:

- L_{RO} : Longitud de desarrollo
- P_A : Presión activa de tierras contra el material de relleno de la zanja de anclaje
- P_P : Presión pasiva de tierras contra el suelo in-situ de la zanja de anclaje
- γ_{TA} : Peso Específico del suelo de la zanja de anclaje
- d_{AT} : Profundidad de la zanja de anclaje
- σ_n : Esfuerzo normal aplicado por el suelo de cobertura
- K_A : Coeficiente de presión de tierra activa = $\tan^2 (45 - \varphi/2)$
- K_P : Coeficiente de presión de tierra pasiva = $\tan^2 (45 + \varphi/2) = 1/K_A$
- φ : Ángulo de fricción del suelo respectivo

Nota: se tendrían dos incógnitas, motivo por el cual es necesario asumir una de las dos variables y calcular la otra en un proceso iterativo, hasta que se encuentre un dato consistente constructivamente viable tanto para la longitud de desarrollo (L_{RO}) como para la profundidad de la zanja de anclaje (d_{AT}).

1.8.4. Chequeo por supervivencia

Una vez escogida la geomembrana, se debe considerar el proceso de transporte, manejo e instalación. Esta se realiza únicamente con especificaciones estrictas, asegurándose la calidad de construcción, cumpliendo la especificación para su función asignada.

En la tabla 4, se relaciona algunas de las propiedades mecánicas de la geomembrana, como resistencia a la tensión, susceptibilidad al rasgado, punzonamiento y daño por impacto y su espesor. Las agencias internacionales solicitan un espesor mínimo para cualquier circunstancia, y dichas propiedades físicas deben estar relacionadas con las condiciones específicas del sitio. La siguiente tabla muestra los cuadros grados diferentes de supervivencia (Mexichem, G. P., 2009).

Tabla 4

Valores mínimos recomendados para supervivencia de la geomembrana asociada al proceso de instalación

PROPIEDADES FÍSICAS Y MÉTODOS DE LABORATORIO	GRADO DE REQUERIMIENTO DE SUPERVIVENCIA			
	BAJO(1)	MEDIO (2)	ALTO (3)	MUY ALTO (4)
Espesor (D5199), mil (mm)	20 (0.50)	30 (0.75)	40 (1.0)	60 (1.5)
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 mod), J	10	12	15	20

Fuente: Designing With Geosynthetics 5ta. Edición. Robert Koerner. – Adaptada a materiales disponibles en el mercado.

Nota:

- (1) Bajo: se refiere a una cuidadosa instalación a mano sobre un terreno bien gradado y uniforme con cargas leves de naturaleza estática. Típicos usados como barreras de vapor bajo trozos de piso.
- (2) Medio: se refiere a una instalación manual o con maquinaria sobre un terreno gradado con maquinaria de una pobre textura con cargas medianas. generalmente usados para canales.
- (3) Alto: se refiere a una instalación manual o con maquinaria sobre un terreno gradado con maquinaria de una pobre textura con cargas altas. Generalmente usados para suelos de relleno y coberturas.

- (4) Muy Alto: se refiere a una instalación manual o con maquinaria sobre un terreno gradado con maquinaria de una textura muy pobre con cargas altas. Típicamente usados para reservorios y rellenos sanitarios.

1.9. Formulación de Hipótesis

1.9.1. Hipótesis general.

La aplicación de un método correcto de diseño para los geosintéticos como la geomembrana, tomando en cuenta su función y espesor, en la estanqueidad de pozas en infraestructuras mineras, permite la impermeabilización mediante una correcta construcción.

1.9.2. Hipótesis específico.

- Mediante los geosintéticos se buscar una impermeabilización óptima en la estanqueidad de pozas en infraestructuras mineras.
- Con el diseño adecuado de los geosintéticos, se cumplirá con los parámetros del de aseguramiento de calidad.
- El sistema de pozas para la estanqueidad de residuos tóxicos será uno de los métodos viables en proyectos mineros.
- Con un correcto diseño de los geosintéticos se cumplirá con las NORMAS ASTM y estándares de aseguramiento y control de calidad

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materiales

Los siguientes materiales fueron utilizados en la investigación.

- Materiales útiles de escritorio (lapiceros, papel Bond, tinta color).
- Información bibliográfica (Normas, Artículos, Sitios Web, Tesis, Manuales Técnicos y Entrevistas).
- Laptop Core i5.
- Equipos de protección personal.

2.2 Materiales de estudio.

2.2.1. Población:

La ubicación del distrito minero Las Bambas esta 565 Km al SE de la ciudad de Lima, y al noroeste de la ciudad de Arequipa con 300km, al SO de la ciudad de cuzco con 75 km. Se encuentra ubicado entre los distritos de Challhuahuacho, Coyllurqui y Progreso en el departamento de Apurímac, Los Andes de la zona centrosur del Perú (Plano N° 1). Se encuentra a una altitud de 3700 hasta los 4650msnm, en el sector del cuadrángulo Santo Tomas (29-r) de la cartología nacional.

2.2.2 Muestra.

El Proyecto Las Bambas cuenta con un derecho minero de 33,063 ha, existiendo cuatro concesiones mineras correspondientes a Activos Mineros con una extensión total de 1,800 ha.

2.3. Técnicas procedimientos e instrumentos.

2.3.1. Para recolectar datos.

En la presente investigación se comprendió técnicas de recolección de información propias del proyecto minero Las Bambas, entendiéndose así cuales son los principales procesos, características y aplicación que se requiere para el uso de los geosintéticos en la estanqueidad de pozas en infraestructuras mineras, como son las geomembranas, verificando los estándares de calidad del producto.

2.3.2. Procesamiento de análisis de datos

Según la técnica se empleó datos de campo y gabinete, obteniéndose parámetros de diseño, en función de los datos obtenidos mediante la observación, antecedentes y muestras.

2.3.2.1. Trabajo de Campos.

Se recopiló los datos del proyecto Las Bambas, revisados con anticipación previa, obteniéndose una data que recopila la materialización del proyecto a través de entrevistas al personal que trabajan en el proyecto. Se obtuvo datos esenciales de la aplicación de los geosintéticos, abarcado desde el proceso de diseño, construcción, supervisión de índices de calidad hasta la instalación propia de los geosintéticos, como las geomembranas.

2.3.2.2. Trabajo en gabinete.

En el proceso se realizó el diseño constructivo y aplicación de geosintéticos en la estanqueidad de pozos, recopilando la información de datos experimentales para luego procesarlo y analizarla en la investigación, determinando así el correcto diseño de la geomembrana.

2.4. Operacionalización de las Variables

Variable única: Diseño de geosintéticos en la estanqueidad de pozos.

Tabla 5

Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
DISEÑO DE GEOSINTÉTICOS EN LA ESTANQUEIDAD DE POZAS.	Geosintético es un producto en el que, por lo menos, uno de sus componentes es a base de polímero sintético o natural, y se presenta en forma de filtro, manto, lámina o estructura tridimensional, usada en contacto con el suelo o con otros materiales dentro del campo de la geotecnia o de la ingeniería civil. (Mexichem, G. P., 2009).	Aplicación de diseño de geomembrana para la estanqueidad de pozas.	Diseño de geomembrana	Diseño de Espesor Estabilidad de la Cobertura del Relleno Chequeo por supervivencia
			Especificaciones técnicas de la geomembrana.	Instalación Sellado de la Geomembrana

Fuente: Elaboración propia.

III. RESULTADOS.

3.1. Metodología de diseño de las geomembranas en la estanquidad de pozas en infraestructuras mineras, Las Bambas.

La siguiente investigación plantea un diseño con geomembrana como opción para la construcción de pozas en infraestructuras mineras, logrando su impermeabilización de residuos tóxicos. El presente trabajo está basado en estudios elementales para la el diseño y aplicación de geomembranas. Con el siguiente diseño de cumplirá con los objetivos planteados, de diseñar y aplicar geosintéticos en la estanquidad de pozas en infraestructuras mineras.

3.1.1. Ubicación del área de estudio.

El distrito minero las bambas está delimitado por los siguientes vértices.

Tabla 6

Coordenadas UTM – Las Bambas

Punto	Norte	Este
P1	8 438 500	796 000
P2	8 438 500	794 000
P3	8 440 500	791 000
P4	8 441 700	790 000
P5	8 441 700	789 000
P6	8 440 500	789 000
P7	8 440 500	778 500
P8	8 446 500	778 500
P9	8 446 500	792 000
P10	8 443 000	796 000
P11	8 443 000	

Fuente: EIA – Las Bambas

3.1.2. Vías de acceso.

Vía aérea, desde Lima a Cusco, para luego continuar por carretera utilizando las siguientes rutas.

- Cusco-Cotabambas-Ñahuinlla-Pamputa-Fuerabamba Campamento Las Bambas.
- Cusco-Anta-Cotabambas-Tambobamba Challhuahuacho-Campamento Las Bambas.
- Cuzco-yaurisque-Paqareqtambo-Ccoyabamba Ccapacmarca-Sayhua-Pitiq-Mara-Pisacasa-CongotaChallhuahuacho- Campamento Las Bambas.
- Tintaya - Santo Tomás - Aquira - Challhuahuacho - Campamento Las Bambas.

Otra vía de acceso distrito minero las Bambas es usando la carretera asfaltada Lima-Nasca-Puquio-Chalhuanca, tomándose un desvío de carretera afirmada antes de Abancay, en el distrito de Lambrana (sur) para llegar a la provincia de Cotabambas.



Figura 15. Mapa de ubicación y acceso al Proyecto Las Bambas.

Fuente: EIA – Las Bambas

3.1.3. Fisiografía.

El proyecto esta presentada por pendientes abruptas al Este como al Oeste del cerro Pichacani, estas pendientes se ven más pronunciadas desde la Quebrada Huascachaca hasta el poblado de Challhuahuacho, y estando paralelas al río Fuerabamba, formando un valle en la parte baja del proyecto. Dentro del área de estudio podemos describir 5 unidades fisiográficas representativas, que se listan a continuación:

Tabla 7

Unidades Fisiográficas

Unidades Fisiográficas	Simbología
Valle Encajonado	VE
Quebradas	Q
Zona Agreste	ZA
Superficie intracordillerana	SI
Altiplanicie	A

Fuente: EIA - Las Bambas

3.1.4. Clima.

El proyecto las Bambas está contenida en un clima desértico. En la región tiene un clima variado. Según Köppen y Geiger clima se clasifica como BWk. Anualmente la temperatura se encuentra a 12.6 °C. La precipitación es de 234 mm al año.

month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
mm	35	40	52	22	8	3	2	4	9	20	18	21
°C	13.5	13.4	13.3	13.0	12.0	11.6	11.4	11.5	12.4	12.7	12.9	13.3
°C (min)	7.0	7.2	6.9	6.2	4.3	2.5	2.0	2.2	3.8	5.1	5.4	5.9
°C (max)	20.1	19.6	19.8	19.8	19.7	20.7	20.9	20.8	21.0	20.4	20.5	20.7
°F	56.3	56.1	55.9	55.4	53.6	52.9	52.5	52.7	54.3	54.9	55.2	55.9
°F (min)	44.6	45.0	44.4	43.2	39.7	36.5	35.6	36.0	38.8	41.2	41.7	42.6
°F (max)	68.2	67.3	67.6	67.6	67.5	69.3	69.6	69.4	69.8	68.7	68.9	69.3

Figura 16. Tabla climática del proyecto las bambas.

Fuente: Web Perú Davis Instruments - Estaciones Meteorológicas

3.2. Diseño de Geomembrana.

Se plantea diseñar con geomembrana texturizada HDPE que se va a instalar en un sistema en pozas de estanqueidad para la impermeabilización, donde $H=7.5$ m y con un peso específico de 11.5 kN/m^3 . El área lateral está conformada por unos taludes con pendiente 1H:1V. En la parte inferior se ha colocado un geotextil no tejido útil para proteger la geomembrana de la deterioración en la construcción. Se ha decido utilizar arena como suelo de cobertura en un espesor de 28 cm y como relleno para la zanjas de anclaje; esta arena tiene un ángulo de fricción interna de 30° y un peso específico de 18 kN/m^3

3.2.1. Diseño de espesor.

$$t = \frac{\sigma_n \times (\tan \delta_U + \tan \delta_L)}{\sigma_{adm} (\cos \beta - \sin \beta \tan \delta_L)}$$

Donde:

- β : 43.5°
- σ_n : $7.5\text{m} * 11.5 \text{ KN} / \text{m}^3 = 86.25 \text{ KN} / \text{m}^2$
- δ_U : 30° (la geomembrana es texturizada en conjunto con la arena).
- δ_L : 32° (por ser un geotextil no tejido punzonado por agujas y una geomembrana texturizada).
- x : 50mm (distancia de movilización de la deformación de la geomembrana)
- σ_{adm} : 15000 kPa, Mayor esfuerzo soportado por las geomembranas HDPE según Designing with Geosynthetic

$$t = \frac{(86.25) (0.05) (\tan (30) + \tan (32))}{15000(\cos (43.5) - \sin (43.5) \tan (32))}$$

$$t = \frac{5.16}{4518.24}$$

$$t = 1.14 * 10^{-3} = 1.14 \text{ mm}$$

Por lo tanto:

$$FS_q = \frac{t_{\text{instalado}}}{t_{\text{requerido}}} \Rightarrow FS_q > 1$$

$$FS_q = \frac{1.50 \text{ mm}}{1.14} \Rightarrow FS_q > 1$$

$$FS_q = 1.31 > 1$$

3.2.2. Estabilidad de la Cobertura del Relleno

$$FS = \frac{(W \cos \beta) \tan \delta_U (L) + T_{adm}}{W \sin \beta (L)}$$

Donde:

- $W: (18 \cdot 0.5 \cdot 1) = 9 \text{KN/m}$
- $\beta: 43.5^\circ$
- $\delta_U: 30^\circ$ (la geomembrana es texturizada en conjunto con la arena).
- L : Longitud de la inclinación
- $T_{adm}: \sigma_{adm} \cdot t = 15000 = 0.0015$

Remplazando en la ecuación:

$$FS = \frac{(9 \cos (43.5)) \tan (30)(L) + 15000 * (0.0015)}{9 \sin 43.5 (L)}$$

$$FS = \frac{4.93(L) + 22.5}{6.19 (L)}$$

Se asume diferentes valores para la longitud de inclinación para obtener diferentes resultados en el FS.

Tabla 8

Valores para la longitud de inclinación

Longitud de Inclinación	FS
4	1.70
6	1.40
8	1.25
10	1.15
20	0.97
30	0.91

Fuente: Manual de diseño con Geosintéticos. Mexichem, G. P. 2008.

La longitud de inclinación máxima debe ser 10 m con el objetivo de obtener un factor de seguridad óptimo.

3.2.3. Diseño de la Longitud y Zanja de Anclaje.

$$T_{adm} = \frac{\sigma_n L_{RO} (\tan \delta_U + \tan \delta_L) - P_A + P_P}{\cos \beta - \sin \beta \tan \delta_L}$$

$$P_A = (0.5 \gamma_{TA} d_{AT} + \sigma_n) K_A d_{AT}$$

$$P_P = (0.5 \gamma_{TA} d_{AT} + \sigma_n) K_P d_{AT}$$

Donde:

- γ_{TA} : 18 KN/m³
- σ_n : (18 KN/m³)(0.28M)=5.04 KN/m²
- K_A : Coeficiente de presión de tierra activa = $\tan^2 (45 - 30/2)=0.333$
- K_P : Coeficiente de presión de tierra pasiva = $\tan^2 (45 + 30/2) = 3$
- δ_U : 30° (la geomembrana es texturizada en conjunto con la arena)
- δ_L : 32° (por ser un geotextil no tejido punzonado por agujas y una geomembra texturizada)
- φ : 30° (Ángulo de fricción del suelo respectivo)
- β : 43.5°
- T_{adm} : $\sigma_{adm} t = 15000(0.0015)$

Reemplazando:

$$T_{adm} = \frac{(5.04)L_{RO}(\tan(30) + \tan(32)) - ((0.5)(18)d_{AT} + 5.04)(0.33)(d_{AT}) + ((0.5)(18)d_{AT} + 5.04)(3)(d_{AT})}{\cos(43.5) - \sin(43.5) \tan(32)}$$

$$22.5 = \frac{(6.05)L_{RO} - (2.97)d_{AT}^2 - (1.66)d_{AT} + (27)d_{AT}^2 + (15.12)d_{AT}}{0.29}$$

$$6.52 = (6.05)L_{RO} + (24.03)d_{AT}^2 + (13.46)d_{AT}$$

Asumimos:

$$L_{RO} = 0.3m$$

Reemplazando en la ecuación:

$$(24.03)d_{AT}^2 + (13.46)d_{AT} - 4.705 = 0$$

Resolviendo la ecuación:

$$d_{AT} = 0.24$$

Por razones constructivas $d_{AT} > 0.3m$ por lo tanto $d_{AT} = 0.3m$

3.2.3. Chequeo por supervivencia

En la Tabla 4, se observa que para el caso de manejo residuos tóxicos, se requiere condiciones más críticas, exigiendo como mínimo una geomembrana de 1.5 mm, motivo por el cual nuestra geomembrana HDPE (1.5 mm) cumpliendo con los parámetros requeridos (espesor, resistencia a la tensión, rasgado, punzonamiento e impacto).

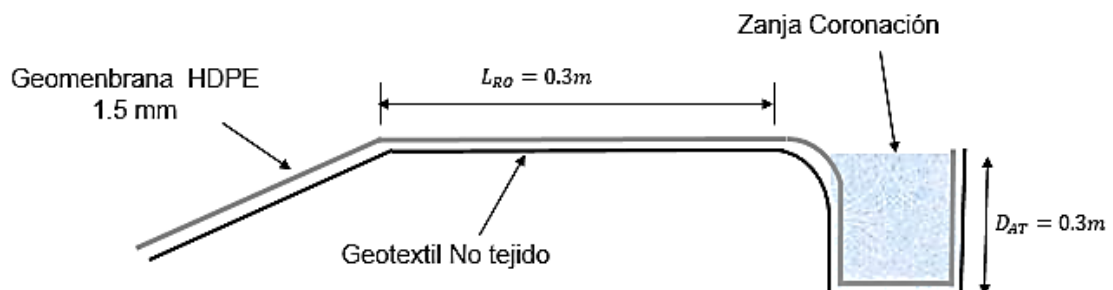


Figura 17. Dimensionamiento Longitud desarrollo y Zanja de anclaje.

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Especificaciones técnicas de las geomembranas.

3.3.1. Manejo, almacenamiento y distribución.

- **Manejo:** Los rollos de geomembranas y geomallas se empacarán de una manera que no sean dañados durante el transporte y se descargarán bajo control de la GC. Todos los rollos dañados serán apartados del material en buen estado y se reemplazarán a costo del SC.
- **Almacenamiento:** Se apilarán en altura sobre una superficie preparada. No se apilarán más de tres rollos de geomembrana. La superficie se preparará de tal modo que los rollos no se espongan a objetos filosos, rocas, agua, aceite, u otra condición nociva. Los rollos de geomembrana y geomallas no se pondrán en pallets (parihuelas).
- **Distribución:** Se deberá usar el equipo apropiado para transportar los rollos desde el área de almacenamiento al área de despliegue. Este equipo podrá incluir un separador con barras de rodillo y no deberá dañar la geomembrana o la superficie de apoyo. En caso de que el material sufra cualquier daño, éste deberá ser reparado o incluso reemplazado a costo del SC según criterio de la GC.

3.3.2. Preparación del terreno

- **Topografía:** Se deberán establecer los alineamientos e inclinaciones del terreno necesarios para el cumplimiento de los trabajos en concordancia con los planos y ET del Proyecto. Se establecerán líneas referenciales, puntos principales topográficos de referencia y puntos de control esenciales para el desempeño del trabajo.
- **Preparación:** del Terreno Antes de la instalación de la geomembrana es necesario que el terreno base cumpla por lo menos los siguientes requisitos:
 - Deberá estar debidamente preparado y compactado en tal forma que se presente libre de irregularidades, cantos filosos, vegetación y agua excesiva.

- Se retirarán las piedras u otro tipo de elementos que pudieran dañar la capa de revestimiento.

Si durante la instalación de la geomembrana, la superficie del terreno preparado se daña o sufre un grado de deterioro no aceptable, todos los trabajos relacionados deberán detenerse hasta efectuar las reparaciones pertinentes. Se mejorará el perfilado en los taludes para dejar la superficie lo más regular posible, eliminando protuberancias y principalmente piedras que sobresalgan del plano de terminación.

- **Colocación de Capa de Arena:** La geomembrana se colocará una vez que la capa de arena haya sido colocada sobre el terreno preparado. Se deberá examinar la condición de la capa de arena, verificando y certificando que la superficie sea apropiada para la colocación de la geomembrana. Cualquier área que resulte rugosa o dañada como consecuencia de la instalación deberá ser reparada a costo del SC.
- **Sistema de Detección de Filtraciones:** Será instalado de acuerdo a las indicaciones de los Planos.

3.3.3. Instalación de la geomembrana de hdpe

Se efectuará siguiendo estrictamente las instrucciones del Fabricante y conforme lo señalado en los planos y ET del Proyecto. La información de las condiciones ambientales y vientos en el área del Proyecto serán proporcionados en la ET "Technical Specification For General Site Conditions for Las Bambas Project". Deberá proveerse los elementos necesarios para la correcta colocación de la geomembrana considerando las condiciones presentes y posibles en el sitio.

- **Instalación:** Durante la instalación, se deberán usar medios apropiados para proteger la geomembrana contra subpresiones generadas por el viento. Los bordes de los paneles se cargarán con balasto continuo para disminuir la posibilidad de que el viento penetre bajo los paneles. El área central de los paneles se cargará con sacos de arena en las zonas expuestas

a ser levantadas por el viento. El material usado para afirmar el revestimiento no ocasionará daño a éste. Los daños que se pudieran ocasionar debido al viento serán de exclusiva responsabilidad del SC. Se proveerá de holgura suficiente en la geomembrana para permitir la contracción debido a bajas temperaturas. Antes de comenzar la construcción, el SC presentará una evaluación y un cuadro resultante demostrando la cantidad de material extra requerido por cada 30 metros de membrana colocada, para una temperatura determinada. Esta información será revisada por la GC. y aprobada antes de comenzar la construcción.

- **Sellado de la Geomembrana:** El SC deberá asegurar la estanquidad del sello perimetral y realizar las uniones a los insertos de HDPE de acuerdo a los Planos y ET del proyecto.

3.3.4. Unión de geomembranas de HDPE

- **Unión:** La unión entre paneles deberá materializarse mediante soldadura del HDPE por los métodos de fusión (cuña caliente) o de extrusión. Todas las uniones deberán orientarse en forma paralela a la línea de la máxima pendiente (no a través) y minimizar el número de ellas. Los paneles de geomembranas se traslaparán un mínimo de 8 cm para la soldadura de extrusión y 15 cm para la soldadura de fusión.
- **Soldadura:** No se podrá realizar ninguna unión de la geomembrana hasta que el técnico soldador y equipo que se utilice en Terreno haya pasado por una prueba de soldadura. Esta prueba consistirá en un ensayo con piezas de desecho del material de la geomembrana mayor que 100 cm de largo por 30 cm de ancho. Se unirá el material bajo las mismas condiciones que existen en el área que ha de ser revestida. Un mínimo de cuatro muestras para ensayos, de 1 pulgada de ancho, se cortarán del material soldado y se ensayarán cuantitativamente por cizalle y desgarró con un tensiómetro calibrado en Terreno. Las vías de unión dentro y fuera de una soldadura de cuña doble, se ensayarán y deberán cumplir los requerimientos de desgarró; una falla de cualquiera de las dos vías de considerará un fracaso de la soldadura en su totalidad.

Un ensayo de soldadura se acepta cuando:

- La fractura sea dúctil exhibiendo desgarramiento de la geomembrana (Film Tearing Bond, FTB).
- El ensayo de desgarro tendrá un valor de resistencia mínima de 70% (fusión) ó 60% (extrusión) de la resistencia especificada a la fluencia para la geomembrana de HDPE especificada.
- Los ensayos de cizalle alcanzarán un valor de resistencia mínima de 90% de la resistencia de fluencia especificada para geomembrana de HDPE especificada.

3.3.5. Control de calidad en terreno

Todas uniones de la geomembrana deberán ser controladas mediante ensayos no destructivos o destructivos con el fin de asegurar que el sello tenga continuidad y que cumpla con los requerimientos de esta especificación. El 100% de las uniones deberán ser inspeccionadas o en su defecto reparadas. La GC podrá solicitar un ente externo que controle la calidad de los materiales y procedimientos. El SC deberá facilitar acceso seguro y oportuno al personal dispuesto por la GC.

3.3.5.1. Ensayos no Destructivos

Todas las uniones serán inspeccionadas en un 100% por el Técnico de Control de Calidad designado por el SC, usando métodos de ensayo no destructivos según lo indicado a continuación.

- **Ensayos al Vacío:** Las cajas para pruebas de vacío se usarán para el ensayo no-destructivo de extrusión o soldaduras de fusión de cuña individual sobre toda la longitud de la unión. Antes de usar una caja para pruebas de vacío, la soldadura a ser ensayada, será humedecida con una solución de jabón. La caja para pruebas de vacío se pondrá sobre la soldadura y se generará a un vacío de 34 a 55 KPa. La longitud entera de la caja será observada por la ventanilla de observación, examinando el desarrollo de burbujas por un período de al menos 15 segundos y se ensayará con un mínimo de 8 cm de superposición con la sección previa.

Cualquier área donde aparezcan burbujas, se identificará, reparará y reensayará. Esta información será registrada por el técnico de control de calidad en un registro de ensayo no-destructivo para ser revisado por la GC. Áreas que no puedan ensayarse con una caja de vacío, deberán ser reforzadas con un trozo de lámina. Si las uniones pueden ser soldadas y ensayadas antes de la instalación, el SC deberá ejecutar esta labor. La unión y el ensayo en estas áreas será observada sobre una base de tiempo completo por la GC.

- **Ensayos de Presión de Aire:** Si se usa sistema de soldadura de cuña caliente, el ensayo de vacío podrá reemplazarse por el ensayo de presión de aire. Cada unión de longitud continua será sometida a una presión de 205 a 275 KPa y será monitoreada por un período de 5 minutos. Para aceptarla, la unión deberá estabilizarse y no deberá perder más de 14 KPa de presión. El método de ensayo deberá permitir verificar que la longitud total del canal de aire esté a presión. Si la soldadura de cuña no puede ser aprobada con aire a presión por una obstrucción en el canal de aire, la unión soldada se considerará fallada. Cualquier unión que falle se reparará y reensayará. La reparación incluirá el correr una soldadura por extrusión a lo largo del borde soldado.
- **Prueba de Chispa Eléctrica (Spark Test):** La prueba de Chispa Eléctrica se usará para el ensayo no-destructivo en cordones de extrusión y lugares donde los otros ensayos no-destructivos no son prácticos, como esquinas o costura alrededor de una tubería. Según Norma ASTM D6365 - 99(2006) Standard Practice for the Nondestructive Testing of Geomembrane Seams using the Spark Test En los cordones de soldadura por extrusión, se dejará un elemento metálico (inserto de alambre de cobre), antes de la colocación del material de aporte. Para el ensayo se utiliza un equipo tipo fuente de energía eléctrica, al cual se conecta el dispositivo metálico el cual es pasado lentamente por las uniones. Cualquier área donde el equipo emita una señal (sonido) o chispa, se identificará, reparará y reensayará. Esta información será registrada por el técnico de control de calidad en un registro de ensayo no-destructivo para ser revisado por la GC.

- **Prueba Geoeléctrica de Fuga con Lanza de Agua:** La prueba geoelectrica se usará para el ensayo no destructivo sobre geomembranas expuestas. Según Norma ASTM D7002-03 Standard Practice for Leak Location on Exposed Geomembranes Using the Water Puddle System El ensayo consiste en imponer una diferencia de potencial eléctrico entre el suelo debajo de la geomembrana y el agua impulsada por la lanza. Cualquier punto donde el detector de corriente emita una señal (sonido) y visual, se identificará, reparará y reensayará. Esta información será registrada por el técnico de control de calidad en un registro de ensayo no-destructivo para ser revisado por la GC.

3.3.5.2. Ensayos Destructivos

La ubicación de todos los ensayos destructivos será determinada por la GC y se tomará como mínimo una muestra cada 200 metros lineales de uniones. El SC reparará cualquier soldadura sospechosa a la vista, antes de aceptar la unión para muestra destructiva. Las muestras destructivas se cortarán siguiendo el desarrollo de los trabajos de instalación y no a su término.

Todas las muestras destructivas se marcarán con números consecutivos junto con el número de las uniones.

Se llevará un registro con:

- Fecha, hora
- Ubicación
- Nombre del técnico en uniones
- Equipo - Temperatura
- Criterio de aceptación o rechazo.

Todas las perforaciones de muestras destructivas se repararán inmediatamente. Las muestras destructivas serán de un mínimo de 30 cm de ancho por 100 cm de largo con la unión centrada a lo largo. La ubicación del Ensayo Destructivo deberá quedar registrada en el plano de instalación.

Para cada ensayo destructivo, se tomará como mínimo 5 muestras para desgarro y 5 muestras para cizalle. Éstas se ensayarán de acuerdo a la norma ASTM D 4437. A fin de obtener resultados de muestras, cuatro de las cinco muestras deben tener los valores especificados. Con el fin de que se considere aceptable un (1) ensayo fallado de cinco (5), la falla deberá ser de tipo dúctil, mostrar apariencia de película (FTB) y cumplir con un 80% de las especificaciones requeridas. Ambas vías, dentro y fuera de una soldadura de cuña doble se ensayarán y deberán cumplir los requerimientos de desgarro; un resultado de falla en cualquier vía será considerado como una falla total de la soldadura. Los criterios especificados son los siguientes:

- La fractura sea dúctil exhibiendo desgarramiento de la geomembrana (Film Tearing Bond, FTB).
- La resistencia a la ruptura alcanza a 70% (fusión) o 60% (extrusión) de la resistencia especificada a la fluencia para la geomembrana de HDPE especificada.
- La resistencia a la rotura alcanza 90% de la resistencia especificada a la fluencia para la geomembrana de HDPE especificada.

3.3.5.3. Ensayo de Retención de Agua a Capacidad Máxima.

Después de completar la instalación de los materiales impermeabilizantes se deberá ejecutar un ensayo de retención de agua a capacidad máxima por un mínimo de 48 horas. La prueba de agua deberá ser cumplida satisfactoriamente antes que la instalación sea aceptada. Si se detectara fuga o filtración en el sistema, el contenido deberá ser vaciado. Se deberá ubicar y reparar el o los puntos de fuga y ejecutar nuevamente el ensayo de retención de agua. Este proceso se deberá repetir hasta que no se detecten fugas de agua. Se deberá documentar y graficar las lecturas de nivel de agua durante los ensayos y serán presentados a la G.C. como parte de los procedimientos de aceptación y aprobación.

3.3.6. Calidad y aceptación

El SC se responsabilizará de notificar a la GC conforme a las áreas de trabajo que se vayan terminando y estén listas para la inspección final. Por consiguiente, el SC otorgará tiempo para la revisión de los registros de ensayos a ser desempeñados por el personal de QC. Se hará todo

esfuerzo necesario para acelerar la revisión, no obstante, las demoras ocasionadas por la revisión de los resultados de ensayos no se considerarán como mérito para una extensión de tiempo para completar el trabajo contratado.

La geomembrana será aceptada y aprobada por la GC, cuando:

- La instalación haya finalizado de acuerdo con los planos y esta ET.
- Todas las uniones sean inspeccionadas y aceptadas.
- Todos los ensayos de laboratorio hayan finalizado y hayan sido aprobados.
- Toda la documentación proporcionada por el Fabricante y/o Proveedor haya sido recibida y aprobada.
- Todos los documentos de registro hayan sido completados y aprobados.
- Los planos As Built hayan sido entregados.
- Se haya monitoreado el ensayo de agua a capacidad máxima.

3.3.7. Inspección

Todas las obras involucradas en este proyecto, sean parciales o totales, estarán sujetas a inspección, controles de calidad y chequeos, cada vez que la GC. lo estime conveniente. La inspección cubrirá, a lo menos entre otras, los siguientes aspectos:

- Materias incluidas en las secciones 5, 6, 7 y 8 de esta especificación.
- Verificar el cumplimiento de las Normas de Seguridad.
- Supervisar la planificación, el autocontrol y la metodología de trabajo utilizada.
- Entregar la información de terreno, antecedentes topográficos, información aclaratoria o adicional relacionada con el proyecto.
- Chequear replanteos topográficos de las instalaciones y verificar su control durante la ejecución de los trabajos.
- Comunicar las eventuales modificaciones o adaptaciones del proyecto a las condiciones del terreno.
- Rechazar personal no idóneo para la ejecución de los trabajos.

3.3.8. Seguridad

Durante el desarrollo de las faenas se deberán respetar todas las normas de seguridad y salubridad de tal forma que no existan riesgos de daños a las instalaciones existentes, a terceros o al medio ambiente. Se tomarán las precauciones necesarias para evitar derrames contaminantes de cualquier tipo, se manejará adecuadamente los desechos y basura, y se adoptarán todas las medidas requeridas para evitar incendios, inundaciones, derrumbes y cualquier daño. En todas las faenas riesgosas se respetarán las normas de seguridad correspondientes y se adoptarán las medidas especiales que se requieran para cumplir con lo señalado. Se tomarán también las precauciones derivadas de las características particulares de la obra para cumplir con lo dicho. De ser necesario se deberán tomar seguros que cubran cualquier daño o perturbación grave. Durante la ejecución de las obras, el SC tomará todas las medidas necesarias con respecto a la seguridad del usuario y del personal de faena.

CONCLUSIONES

1.4.2. Objetivos Específicos.

- i. Los geosintéticos son fabricados de polímeros, las cuales aportan propiedades que sirven para fortalecer proyectos de ingeniería y geotecnia, como separación, filtración, drenaje, refuerzo, contención de fluido/gas (barrera) y control de erosión.
- ii. La aplicación de geosintéticos en proyectos mineros requiere de una serie de parámetros y metodologías de diseño, en el presente trabajo se muestra un modelo de diseño de geomembrana en la estanqueidad de pozas en infraestructuras mineras. La aplicación de geosintéticos en la estanqueidad de pozas va de la mano de un correcto modelo de diseño en el cual se consideran parámetros como las propiedades del geotextil y el espesor de la geomembrana. Se plantea diseñar con geomembrana texturizada HDPE que se va a instalar en un sistema en pozas de estanqueidad para la impermeabilización, donde $H=7.5$ m y con un peso específico de $11.5 \text{ kN}/m^3$. En la parte inferior se ha colocado un geotextil no tejido útil para proteger la geomembrana de la deterioración en la construcción. Se ha decido utilizar arena como suelo de cobertura en un espesor de 28 cm y como relleno para la zanjas de anclaje; esta arena tiene un ángulo de fricción interna de 30° y un peso específico de $18 \text{ kN}/m^3$.
- iii. La utilización de geosintéticos en proyectos mineros requiere de leyes y normas para su uso, garantizando su control y aseguramiento en su calidad, obligándonos a trabar con estándares internacionales como las normas ASTM, además se requiere de muestras de soldaduras y extrafusión, tomando en cuenta pruebas finales para su estanqueidad.

RECOMENDACIONES

- iv. Considerar los factores geográficos donde se aplicará los geosintéticos, ya que estos influyen en su soldadura y termofusión.
- v. Las empresas deben contar con el Aseguramiento de la Calidad en la Construcción (CQA), cumpliendo con la función de realizar el seguimiento de los ensayos de calidad durante su construcción. Asimismo, todo trabajo que requiera la utilización de geosintéticos cuenta con expedientes técnicos que incluya parámetros de su control de calidad.
- vi. Considera propiedades geo mecánicas y composición química en el área de trabajo donde se ejecutará el proyecto, todo esto realizado mediante un estudio de suelos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Botasso, G., Fensel, E., Delbono, L. (2008). Caracterización de Geosintéticos en virtud de su función principal en la obra vial. *Revista apuntes de Ingeniería*, (42), pp. 1- 9.

DEBITOOR. Control de Calidad. <https://debitoor.es/glosario/definicion-control-calidad>

Decreto Supremo N° 057-2004-PCM, de 24 julio, Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos. *El peruano*. Perú, 24 de julio de 2004, p. 273154. Recuperado de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/reglamento-ley-general-residuos-solidos>

GIDAHATARI. (26 de Junio de 2018). *Legislación peruana vinculada a geomembranas como barreras en depósitos de relave*. <https://gidahatari.com/ih-es/legislacion-peruana-vinculada-a-geomembranas-como-barreras-en-depositos-de-relave>

Hurtado, J. E. (2017) *Muros y taludes reforzados con geosintéticos* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Ingeniería]. <http://www.jorgealvahurtado.com/files/Muros%20y%20Taludes%20con%20Geosinteticos.pdf>

Innovación de Geosintéticos y Construcción. (2 de Mayo de 2019). Geomembranas para relaves: ¿Qué dice la ley en Perú sobre ellas? <https://igc.com.pe/geomembranas-para-relaves-ley-peru/>

Medina Rojas, J. A. (2018). *Plan de aseguramiento y control de calidad para geosintéticos aplicado al Sector Minero* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/6557/IMmeroja.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Koerner, R. M. (2005). *Designing with Geosynthetics*. Estado Unidos: Editorial Pearson. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=qZtSAAAQBAJ&printsec=frontmatter>

Mejía Flórez, L. E. (2003) *Factores condicionantes del uso de geosintéticos en pavimentación en Colombia* [Tesis de Pregrado, Universidad De Los Andes]. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/15370/u234280.pdf?sequence=1>

- Mexichem, G. P. (2009). *Manual de diseño con Geosintéticos* (8 Ed). Bogotá: Zetta Comunicadores S.A. <https://www.slideshare.net/castilloaroni/manual-de-diseo-con-geosinticos>
- Párraga- Rojas, M. (2015) *Beneficios del uso de geosintéticos para el recrecimiento de depósitos de relaves* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú].
- Sánchez, H., y Margot, C. (2018). *Mejoramiento de la Productividad en el Despliegue de Geosintéticos para la Impermeabilización de Plataformas bajo la Filosofía del Lean Construction y el PMBOK* [Tesis de Pregrado, Universidad Católica de Santa María]. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCSM_c4b176dc8a83484b1419a86223112529/Details
- Soto-Islas, Eduardo. (2009) *La aplicación de geosintéticos a terraplenes* [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de México]. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2974/sotoislas.pdf?sequence=1>
- Valencia, G. M. (2010) *Construcción de pozas con Geomembrana de Polietileno de Alta Densidad con propósitos de impermeabilización en el desarrollo de proyectos de ingeniería* [Tesis de Maestría, Universidad de Magallanes]. <http://www.umag.cl/biblioteca/tesis/2010.pdf>
- Villegas Cordova, M. D. (2016). Implementación del programa yo aseguro basado en el comportamiento humano para la reducción de accidentes-ALS Perú SA-Las Bambas.

ANEXOS

ANEXO 1: Especificaciones Técnicas Geotextil Tejido.

Para asesoría en diseño, proceso constructivo e instalación, favor contactar al Departamento Técnico de Mexichem Geosintéticos al correo electrónico: geosinteticos@mexichem.com

Geotextiles tejidos

Marzo 2011

Propiedades	Norma	UNIDAD	T 1050	T 1400	T 1700	T 2100	T 2400	TR 3000	TR 4000	TR 6000	Convenciones
Mecánicas	Método Grab Resistencia a la Tensión Elongación	N (lb) %	660 (148) 19	1000 (225) 20	1200 (270) 22	1300 (293) 20	1560 (351) 20	2050 (462) 19	2570 (579) 22	2800 (630) 22	<p>ASTM American Society for Testing and Materials</p> <p>NA No Aplica</p> <p>Mexichem Geosintéticos, se reserva el derecho de modificar las especificaciones que considere necesarias para garantizar la óptima calidad y funcionalidad de sus productos.</p> <p>Los valores enunciados corresponden a los promedios estadísticos de los lotes de producción.</p> <p>Los Geotextiles son productos fotodegradables no biodegradables, no deben ser incinerados y se deben disponer de ellos en forma adecuada.</p> <p>Estos productos han sido manufacturados bajo los controles de calidad establecidos por un sistema de gestión de calidad que cumple con los requisitos ISO 9001:2008.</p>
	Método Tira Ancha Sentido Longitudinal Elongación	kN/m %	16 16	25 24	28 17	37 22	40 22	56 29	75 28	95 19	
	Sentido Transversal Elongación	kN/m %	17 14	25 15	30 17	38 15	43 16	55 17	65 17	95 18	
	Resistencia al Punzonamiento	N/lb	390(87)	540(122)	600(135)	710(160)	780(176)	1010 (277)	1240(279)	1045 (235)	
	Método CBR Resistencia al Punzonamiento Trapezoidal	kN N/lb	2.5 300 (67)	3.8 270(61)	4.3 400(90)	5.2 460(103)	6.2 570(128)	7.7 685 (154)	10.0 810(182)	11.0 1520 (342)	
Método Mullen Burst Resistencia al estallido	KPa(psi)	2276(330)	3243(470)	3450(500)	4485(650)	5141(745)	6210 (900)	7590(1100)	7797 (1130)		
Hidráulicas	Tamaño de Abertura Aparente	mm (No. Tanzi)	0.600(30)	0.300(50)	0.300(50)	0.425(40)	0.850(20)	0.600 (30)	0.425(40)	0.425 (40)	
	Permeabilidad	cm/s	0.8 x 10 ⁻²	1.0 x 10 ⁻²	0.6 x 10 ⁻²	6.3 x 10 ⁻²	12 x 10 ⁻²	9.1 x 10 ⁻²	7.8 x 10 ⁻²	7.0 x 10 ⁻²	
	Permitividad	s-1	0.20	0.17	0.09	0.7	1.0	0.7	0.6	1.0	
Físicas	Espesor	mm	0.4	0.6	0.7	0.9	1.2	1.3	1.3	0.6	
	Resist. UV @ 500 horas	%	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>50	
	Rollo Ancho	m	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.75	
	Rollo Largo	m	200	160	120	100	100	100	100	100	
Rollo Area	m ²	770	616	462	385	385	385	385	375		
Función del Geotextil	Separación		•	•	•	•	•	•	•	•	
	Estabilización Refuerzo		•	•	•	•	•	•	•	•	

ANEXO 2: Especificaciones técnicas de los geosintéticos no tejidos.

Para asesoría en diseño, proceso constructivo e instalación, favor contactar al Departamento Técnico de Mexichem Geosintéticos al correo electrónico: geosintec/cos@mexichem.com

Marzo 2011

Geotextiles no tejidos

Propiedades	Norma	Unidad	NT 1600	NT 1800	NT 2000	NT 2500	NT 3000	NT 4000	NT 5000	NT 6000	NT 7000	REPAV-400	REPAV-450
Mecánicas	Método Grab		450(102)	530(120)	620(141)	710(161)	770(175)	1070(243)	1220(277)	1410(320)	1720(391)	530(120)	570(130)
	Resistencia a la Tensión	N/(lb)	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50
	Elongación	%											
	Resistencia al Punzonamiento	N/(lb)	250(57)	310(70)	360(82)	400(91)	440(100)	590(134)	700(159)	800(182)	910(207)	300(68)	320(73)
	Método CBR	kN	1.3	1.6	1.8	2.2	2.4	3.1	3.5	4.1	5.4	ND	ND
Mecánicas	Resistencia al Rasgado Trapezoidal	N/(lb)	210(48)	260(59)	280(64)	320(73)	340(77)	400(91)	460(105)	540(123)	600(136)	250(57)	290(66)
	Método Mullen Burst	kPa (psi)	1311(190)	1587(230)	1794(260)	2070(300)	2208(320)	2829(410)	3174(460)	3795(550)	4830(700)	1518(220)	1587(230)
	Resistencia al estallido												
	Tamaño de Abertura Aparente	mm (No. Tamiz)	0.25(0.60)	0.18(0.80)	0.180(80)	0.150(100)	0.150(100)	0.125(120)	0.106(140)	0.106(140)	0.09(170)	N/A	N/A
	Permeabilidad	cm/s	46 X 10 ⁻²	41 X 10 ⁻²	42 X 10 ⁻²	40 X 10 ⁻²	42 X 10 ⁻²	34 X 10 ⁻²	32 X 10 ⁻²	28 X 10 ⁻²	22 X 10 ⁻²	N/A	N/A
Hidráulicas	Permetividad	s ⁻¹	3.1	2.4	2.0	2.0	2.0	1.4	1.2	0.9	0.7	N/A	N/A
	Retención de Asfalto	L/m ²	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1.0	1.1
	Espeesor	mm	1.5	1.7	1.9	2.0	2.1	2.4	2.7	3.1	3.2	1.3	1.5
	Resist. UV @ 500 horas	%	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70
	Rollo Ancho	m	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Físicas	Rollo Largo	m	160	150	130	120	120	130	120	100	80	180	150
	Rollo Área	m ²	640	600	520	480	480	520	480	400	320	720	600
	Filtración		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Función del Geotextil	Drenaje		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Protección		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Separación		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Estabilización		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Repavimentación		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

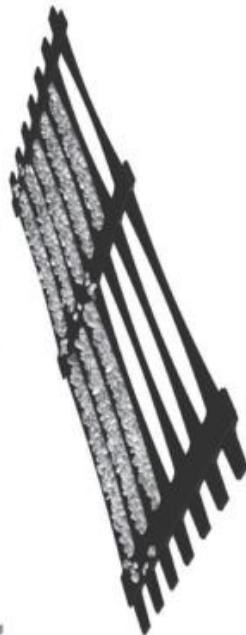
ANEXO 3. Especificaciones Técnicas Geomalla Uniaxial.

Geomalla Uniaxial Coextruída

TT 050/070/090/120/160
Marzo 2011

Diseñadas especialmente para el refuerzo de suelos en muros y taludes

Para asesoría en diseño, proceso constructivo e instalación, favor contactar al Departamento Técnico de Mexichem Geosintéticos al correo electrónico: geosinteticos@mexichem.com



Campos de aplicación

- Refuerzo de muros y taludes.
- Refuerzo y ampliación de terraplenes en vías.
- Rampas de acceso a puentes.
- Terrazas residenciales en laderas.
- Obras donde se requiera un talud con pendientes mayores a las que permite el ángulo de reposo natural del suelo.
- Elaboración de Geocolchones para protección de riberas de ríos.

Las Geomallas Uniaxiales fabricadas en polietileno de alta densidad (HDPE), poseen alta resistencia a la tensión y son completamente inertes a las condiciones químicas y biológicas del suelo. Presentan una distribución uniforme de largas aberturas que provee un sistema de trabazón óptimo con el suelo.

Propiedades mecánicas		TT 050	TT 070	TT 090	TT 120	TT 160
Resistencia a la Tensión 2% Deformación ¹	Norma ASTM D 6637	15 kN/m	20 kN/m	29 kN/m	38.5 kN/m	45 kN/m
Resistencia a la Tensión 5% Deformación ¹	Norma ASTM D 6637	29 kN/m	38 kN/m	55 kN/m	74 kN/m	90 kN/m
Resistencia a la Tensión Pico ¹	Norma ASTM D 6637	51.5 kN/m	70 kN/m	93.5 kN/m	121.5 kN/m	160 kN/m
Deformación en el Punto de Fluencia	Norma ASTM D 6637	10%	11%	11%	11%	13%

Propiedades físicas		TT 050	TT 070	TT 090	TT 120	TT 160
Tamaño de Abertura SL	Norma Medido	300 mm	300 mm	300 mm	300 mm	220 mm
Tamaño de Abertura ST	Medido	(13 / 20) mm	(13 / 20) mm	(13 / 20) mm	(13 / 20) mm	(13 / 20) mm

Presentación		TT 050	TT 070	TT 090	TT 120	TT 160
Ancho del Rollo	Medido	1.0 m	1.0 m	1.0 m	1.0 m	1.0 m
Longitud del Rollo	Medido	100 m	50 m	50 m	30 m	30 m
Área del Rollo	Medido	100 m ²	50 m ²	50 m ²	30 m ²	30 m ²

1. Valores VMPR SL: Sentido Longitudinal ST: Sentido Transversal

ANEXO 4. Especificaciones Técnicas Geomalla Biaxial.

Para asesoría en diseño, proceso constructivo e instalación, favor contactar al Departamento Técnico de Mexichem Geosintéticos al correo electrónico: geosinteticos@mexichem.com



Geomalla Biaxial Coextruida

LBO 202 / LBO 302

Marzo 2011

Diseñadas especialmente para estabilización de suelos y aplicaciones de refuerzo

Las Geomallas Biaxiales son estructuras bidimensionales de polipropileno, químicamente inertes, producidas mediante un proceso de extrusión, garantizando alta resistencia a la tensión y un alto módulo de elasticidad. Proporciona excelente resistencia frente a posibles daños de instalación y exposición ambiental.

Propiedades mecánicas	Norma	LBO 202	LBO 302
Resistencia a la Tensión 2% Deformación (SL / ST) ¹	ASTM D 6637	(4.1 / 6.6) kN/m	(6.5 / 10.5) kN/m
Resistencia a la Tensión 5% Deformación (SL / ST) ¹	ASTM D 6637	(8.5 / 13.5) kN/m	(13 / 21) kN/m
Resistencia a la Tensión Pico (SL / ST) ¹	ASTM D 6637	(13 / 20.5) kN/m	(17.5 / 31.5) kN/m
Resistencia en los Nodos	GRI GG2	93%	93%

Propiedades físicas	Norma	LBO 202	LBO 302
Tamaño de Abertura (SL / ST)	Medido	(27 / 37) mm	(28 / 38) mm
Espesor en las Juntas	ASTM D 1777	3 mm	3.5 mm
Tamaño de Costillas (SL / ST)	ASTM D 1777	(1.0 / 1.0) mm	(1.2 / 1.2) mm
Área Abierta	CW 02215	75%	70%
Resistencia a los Daños de Instalación	ASTM D 5818	(>90) %SC/%SW/%GP	(>90) %SC/%SW/%GP

Presentación	Norma	LBO 202	LBO 302
Ancho del Rollo	Medido	4 m	4 m
Longitud del Rollo	Medido	100 m	75 m
Área del Rollo	Medido	400 m ²	300 m ²

1. Valores VMPP - SL: Sentido Longitudinal ST: Sentido Transversal

Campos de aplicación

- Refuerzo de suelos blandos.
- Refuerzo de materiales granulares en vías y terraplenes.
- Refuerzo secundario en muros de contención.
- Refuerzo de terraplenes en vías férreas y pistas aéreas.

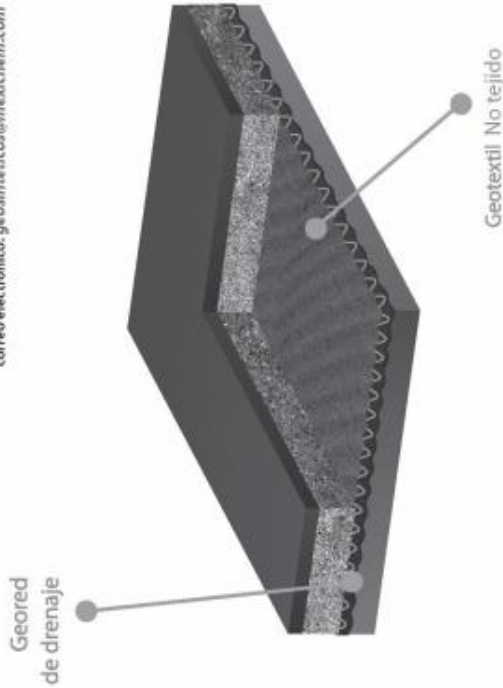
Ventajas

- Aumenta la vida útil de la estructura inicial al utilizarla en los granulares.
- Genera menor impacto ambiental en la explotación de pétreos al reemplazar los granulares.
- Disminuye espesores de granulares al emplearla como refuerzo.

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

ANEXO 5: Especificaciones Técnicas Geodrén Planar.

Para asesoría en diseño, proceso constructivo e instalación, favor contactar al Departamento Técnico de Mexichem Geosintéticos al correo electrónico: geosinteticos@mexichem.com



PRESENTACIÓN	
Longitud (m)	50
Altura (m)	0.5
	1.0
	2.0

El agua es la principal causa de los problemas en la Ingeniería Geotécnica y una de las causas más relevantes del deterioro prematuro de las obras civiles. El exceso de agua en los suelos afecta sus propiedades geomecánicas, los mecanismos de transferencia de carga, incrementa presiones de poros, subpresiones de flujo, presiones hidrostáticas y aumenta la susceptibilidad a los cambios volumétricos.

Geodrén Planar

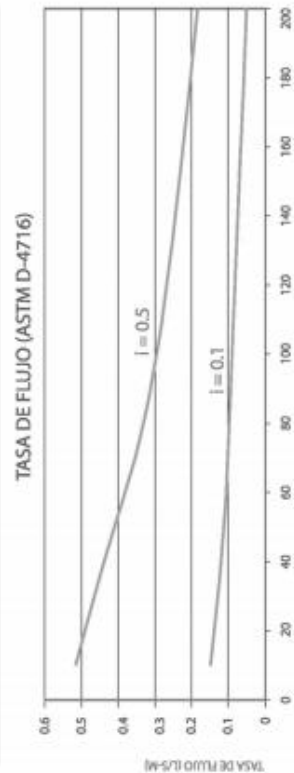
Marzo 2011

Especializado para el drenaje en su plano

El geodrén planar es un sistema conformado por geotextiles no tejidos punzonados por agujas y geotextil de polipropileno. El geotextil cumple la función de filtración, reteniendo las partículas del suelo y permitiendo el paso de los fluidos. La geotextil por su parte, es el medio drenante encargado de transportar el agua que pasa a través del filtro. El geodrén planar es el sistema más adecuado para captar y conducir los fluidos en su plano hacia un sistema de evacuación.

Propiedad	Norma	Unidad	Valor
TAA	ASTM D-4751	mm (No. Tamiz)	0.250 (60)
Permitividad	ASTM D-4491	s ⁻¹	3.1
Permeabilidad	ASTM D-4491	cm/s	46 x 10 ⁻²
Tasa de Flujo	ASTM D-4491	L/min/m ²	8910

Propiedad	Norma	Unidad	Valor
Espesor	ASTM D-1777	mm	7.5
Peso	ASTM D-5261	g/m ²	649 +/- 32
Resistencia a la Compresión	ASTM D-1621	kPa	1250
Resistencia a la Tensión	ASTM D-4595	kN/m	4.8



ANEXO 6: Especificaciones técnicas de la Geomembrana

Para asesoría en diseño, proceso constructivo e instalación, favor contactar al Departamento Técnico de Mexichem Geosintéticos al correo electrónico: geosinteticos@mexichem.com

Geomembrana Lisa

Marzo 2011

Polietileno ultraflexible de densidad lineal LLDPE

PROPIEDADES MECÁNICAS	NORMA	UNIDAD	40 mil	60 mil	80 mil	100 mil
Resistencia a la Rotura	ASTM D 6693 Tipo IV	kN/m	29	42	56	66
Elongación a la Rotura	ASTM D 6693 Tipo IV	%	800	800	800	800
Resistencia al Rasgado	ASTM D 1004	N	97	146	195	244
Resistencia al Punzamiento	ASTM D 4833	N	311	444	578	689

PROPIEDADES FÍSICAS	NORMA	UNIDAD	40 mil	60 mil	80 mil	100 mil
Espesor Promedio	ASTM D 5199	mm	1.0	1.5	2.0	2.5
Densidad	ASTM D 1505	g/cm ³	0.92	0.92	0.92	0.92
Contenido Negro de Humo	ASTM D 1603	%	2.0 - 3.0	2.0 - 3.0	2.0 - 3.0	2.0 - 3.0
Tiempo de Inducción a la Oxidación	ASTM D 3895, 200°C	Minutos	>140	>140	>140	>140

PRESENTACIÓN	NORMA	UNIDAD	40 mil	60 mil	80 mil	100 mil
Longitud de Rollo (aprox.)	Medido	m	265.1	170.6	131	104
Ancho del Rollo	Medido	m	6.86	6.86	6.86	6.86
Área del Rollo	Calculado	m ²	1818.6	1170.3	898.7	713.4

Geomembrana Lisa

Marzo 2011

Polietileno de alta densidad HDPE

Para asesoría en diseño, proceso constructivo e instalación, favor contactar al Departamento Técnico de Mexichem Geosintéticos al correo electrónico: geosinteticos@mexichem.com

PROPIEDADES MECÁNICAS	NORMA	UNIDAD	30 mil	40 mil	60 mil	80 mil	100 mil
Resistencia a la Rotura	ASTM D 6693 Tipo IV	N/mm	20	27	40	53	67
Elongación a la Rotura	ASTM D 6693 Tipo IV	%	700	700	700	700	700
Resistencia a la Fluencia	ASTM D 6693 Tipo IV	N/mm	11	15	22	29	37
Elongación a la Fluencia	ASTM D 6693 Tipo IV	%	12	12	12	12	12
Resistencia al Rasgado	ASTM D 1004	N	93	125	187	249	311
Resistencia al Punzonamiento	ASTM D 4833	N	240	320	480	640	800

PROPIEDADES FÍSICAS	NORMA	UNIDAD	30 mil	40 mil	60 mil	80 mil	100 mil
Espesor Nominal	ASTM D 5199	mm	0.75	1.0	1.5	2.0	2.5
Densidad	ASTM D 1505	g/cm ³	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
Contenido Negro de Humo	ASTM D 1603	%	2.0-3.0	2.0-3.0	2.0-3.0	2.0-3.0	2.0-3.0
Tiempo de Inducción a la Oxidación	ASTM D 3895, 200°C	Minutos	>100	>100	>100	>100	>100

PRESENTACIÓN	NORMA	UNIDAD	30 mil	40 mil	60 mil	80 mil	100 mil
Longitud de Rollo	Medido	m	341.25	265.1	170.6	131	104
Ancho del Rollo	Medido	m	6.86	6.86	6.86	6.86	6.86
Área del Rollo	Calculado	m ²	2341	1818.6	1170.3	898.7	713.4