

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE CIENCIAS



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**“Estudio de Métodos de Ensayos Físicoquímicos para la evaluación de la calidad
de Geomembranas aplicados en la Minería”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
LICENCIADO EN QUÍMICA

Elaborado por:

STIVEN KHUPHER JULCA IZQUIERDO

 0009-0005-6361-2332

Asesor:

MG. JOSÉ LUIS CCONISLLA BELLO

 0000-0003-0563-972X

LIMA – PERÚ

2025

Citar/ How to cite	Julca Izquierdo [1]
Referencia/ Reference	[1] S. Julca Izquierdo “Estudio de Métodos de Ensayos Fisicoquímicos para la evaluación de la calidad de Geomembranas aplicados en la Minería” [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/ Style: IEE (2020)	

Citar/ How to cite	(Julca, 2025)
Referencia/ Reference	Julca, S. (2025). Estudio de Métodos de Ensayos Fisicoquímicos para la evaluación de la calidad de Geomembranas aplicados en la Minería [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UNI.
Estilo/ Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

"Dedico este trabajo a mis padres Carmen Rosa Izquierdo Murrieta y José Manuel Julca Figueroa, cuyos grandes esfuerzos y orientación han sido la continuidad del empuje de mi trabajo académico. Su constante apoyo ha sido importante para continuar con mi desarrollo como estudiante e investigador. Confío en que este estudio pueda aportar al progreso de nuestro ámbito y al beneficio de la sociedad en general"

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo el estudio de diferentes métodos fisicoquímicos aplicados a la evaluación de la calidad de geomembranas empleadas en minería. El estudio se enfocó en discutir la correlación de las variables métodos fisicoquímicos y geomembranas, donde se mostraron resultados en la evaluación de la calidad de las geomembranas aplicadas a la minería, la investigación se desarrolló desde un enfoque cualitativo, donde se emplearán datos obtenidos y registrados por la empresa SLAB Perú para discutirlos y generar resultados en las características y propiedades de la calidad de las geomembranas aplicadas en la minería.

Palabras claves: Estudio de métodos fisicoquímicos, geomembrana HDPE, geomembrana PVC.

Abstract

The objective of this research was to study different physicochemical methods applied to the evaluation of the quality of geomembranes used in mining. The study focused on discussing the correlation between the variables of physicochemical methods and geomembranes, presenting results on the evaluation of the quality of geomembranes applied in mining. The research was developed from a qualitative approach, using data obtained and recorded by the company SLAB Perú to discuss and generate results regarding the characteristics and properties of the quality of geomembranes used in mining.

Keywords: Study of physicochemical methods, HDPE geomembrane, PVC geomembrane.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen.....	iv
Abstract	v
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento y formulación del problema	4
1.2 Estado del arte.....	5
1.3 Justificación	8
1.4 Hipótesis.....	9
1.5 Objetivos	10
1.5.1 Objetivo general	10
1.5.2 Objetivos específicos	10
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	12
2.1. Definición y funciones de la geomembrana	12
2.2. Composición básica de las geomembranas.....	14
2.3. Tipos de geomembranas.....	14
2.3.1.Geomembranas de polietileno	15
2.3.2.Geomembranas de PVC (cloruro de polivinilo)	17
2.3.3.Geomembranas de EPDM (Etileno Propileno Dieno Monómero)	18
2.3.4.Geomembranas de GCL (Geosynthetic Clay Liner).....	20
2.4. Propiedades fisicoquímicas de las geomembranas.....	23
2.4.1.Propiedades mecánicas	24
2.4.2.Propiedades físicas.....	24
2.4.3.Propiedades químicas	24
2.4.4.Propiedades de permeabilidad.....	25
2.4.5.Propiedades térmicas	25
2.4.6.Propiedades de durabilidad	25
2.4.7.Propiedades de soldabilidad	25
2.4.8.Propiedades de fricción	26
2.5. Comparación de propiedades entre geomembrana PVC y HDPE.	27
2.5.1.Eschema químico de los polímeros con que se fabrican las geomembranas .	31
2.6. Importancia del análisis fisicoquímico en geomembranas	35
2.6.1.Métodos de análisis fisicoquímico para geomembranas	36
2.6.2.Economía circular	80

CAPITULO III: PARTE EXPERIMENTAL.....	82
3.1. Método de ensayo para medir el espesor nominal de geomembrana ASTM D5199.....	83
3.1.1.Procedimiento para la medición de espesor nominal de geomembrana	83
3.2. Método de ensayo para determinar las propiedades de tracción de geomembranas de polietileno no reforzado y polietileno flexible no reforzado ASTM D6693	84
3.2.1.Procedimiento para la medición de rotura y elongación de geomembrana	84
3.3. Método de ensayo para el deterioro de geotextiles por exposición a la luz, la humedad y el calor en un aparato de tipo arco de xenón ASTM D4355	86
3.3.1.Procedimiento para la medición de exposición a la luz de geomembrana	86
3.4. Método de ensayo para determinar la resistencia a la punción de geomembranas y productos relacionados ASTM D4833.....	87
3.4.1.Procedimiento para la medición de resistencia a la punción de geomembrana	87
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	89
4.1. Resultados y discusiones de medición de espesor nominal, ASTM D5199	89
4.2. Resultados y discusiones de medición de rotura y elongación, ASTM D6693	90
4.3. Resultados y discusiones de medición de rotura después de exposición a la luz UV, ASTM D4355	93
4.4. Resultados y discusiones de medición de resistencia a la punción, ASTM D4833.....	95
Consluciones	98
Referencias Bibliográficas	99
Lista de Anexos	101

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1 Tipos de ensayos que brinda como servicio SLab Perú</i>	<i>3</i>
<i>Tabla 2 Revisión bibliográfica de estudios realizados en geomembranas</i>	<i>8</i>
<i>Tabla 3 Matriz de consistencia para el análisis de la calidad de las geomembranas ...</i>	<i>11</i>
<i>Tabla 4 Comparación de propiedades entre las geomembranas de PVC y HDPE</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 5 Comparación de propiedades entre la geomembrana de (PVC) y el polietileno de alta densidad (HDPE).....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 6 Geomembrana lisa - polietileno de alta densidad</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 7 Geomembrana texturizada - polietileno de alta densidad.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 8 Especificaciones técnicas de membranas de PVC referencia: tipo</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 9 Método de ensayo según la norma ASTM D</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 10 Ensayos para control de la calidad en la geomembrana</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 11 Resultados obtenidos de espesor.....</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 12 Resultados de resistencia a la rotura.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 13 Resultados de elongación en la rotura</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 14 Resultados de resistencia a la fluencia.....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 15 Resultados de elongación en la fluencia.....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 16 Resultados de resistencia a la rotura después de exposición a la luz UV a 500 horas.....</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 17 Resultados de resistencia UV, después de 500 horas.....</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 18 Resultados obtenidos de resistencia a la punción.....</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 19 Resumen de la comparación de resultados obtenidos con los valores mínimos aceptables por normas</i>	<i>97</i>

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 Geomembrana HDPE y PVC.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 2 Diagrama de procedimiento del ensayo ASTM D 5199</i>	<i>83</i>
<i>Figura 3 Diagrama de procedimiento del ensayo ASTM D 6693</i>	<i>85</i>
<i>Figura 4 Dimensiones del espécimen (probeta) de la muestra.....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 5 Diagrama del procedimiento del ensayo ASTM D 4355</i>	<i>86</i>
<i>Figura 6 Diagrama de procedimiento del ensayo ASTM D 4833</i>	<i>87</i>
<i>Figura 7 Accesorio para ensayos de punción en ATM D4833</i>	<i>88</i>
<i>Figura 8 Dimensiones de la probeta de muestra que se coloca en el aro concéntrico..</i>	<i>88</i>
<i>Figura 9 Medidor de espesores.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 10 Grafica de elongación en la fluencia.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 11 Imágenes de la resistencia a la rotura y tensión.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 12 Gráfica de resistencia al punzonamiento</i>	<i>96</i>
<i>Figura 13 Resistencia al punzonamiento</i>	<i>97</i>

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

La minería es una de las actividades extractivas más relevantes y de mayor impacto en la economía. Los revestimientos de geomembrana se han utilizado en la industria minera desde 1970 en respuesta a las necesidades de revestimiento en pozas de evaporación, presas de relaves y pozas de lixiviación en pilas. El primer uso de geomembranas a gran escala en la minería se dio probablemente en las pozas solares de Tenneco Minerals en Utah, EE. UU., o en las de la Sociedad Química y Minera de Chile S.A. en el Norte de Chile. las instalaciones de SQM se completaron aproximadamente en el mismo tiempo y tamaño. El Perú es un sustancial actor mundial en la producción de metales preciosos y metales básicos, lo que le permite ocupar el segundo lugar de la producción de cobre, plata y zinc a nivel mundial, el tercer lugar en cobre a nivel global y en su territorio alberga las reservas más grandes de plata. El sector minero contribuye con el 61,9 % de las exportaciones totales, 60,5 % corresponde a los minerales metálicos y el 1,3 % a los no metálicos (Chappuis, 2019).

Las geomembranas pueden proporcionar soluciones rentables en situaciones de emergencia. Un ejemplo de esto es el impacto en los diques de contención de relaves debido a un aumento en la capacidad que supera el diseño original. En caso de emergencia y riesgo de ruptura, las geomembranas pueden sellar y contener los efluentes, lo que permite disponer de tiempo para establecer criterios, realizar inspecciones y tomar decisiones.

Una geomembrana debe tener propiedades sellantes y ser ubicada en un área con un sistema de drenaje de lixiviados adecuado. Es crucial que proporcione impermeabilidad y no interfiera con los sistemas hídricos en su entorno. Asimismo, debe resistir las condiciones de exposición (radiación ultravioleta, ambientes químicos) sin degradarse, actuando como una barrera de aislamiento. Es importante que sea compatible con otros productos presentes en el área minera. El potencial de envejecimiento dependerá del tipo y cantidad de estabilizadores añadidos al plástico en su forma original.

En la actualidad, las geomembranas se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones debido a sus propiedades físicas, como su resistencia a los esfuerzos mecánicos y a los agentes químicos, así como a su facilidad de fabricación. En la industria minera, las geomembranas se colocan bajo el suelo o en la superficie para prevenir

derrames de soluciones lixiviantes que podrían dañar el medio ambiente. Con la creciente demanda de minerales tecnológicos como el cobre, el litio y el germanio, la capacidad de producción de soluciones lixiviantes necesarias para su extracción se encuentra considerablemente superada por la demanda, lo que convierte el problema de la contención de soluciones en un factor crítico para la viabilidad de los yacimientos.

Al respecto, la empresa Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. (SLAB PERÚ) es una empresa MYPE que fue constituida en el año 2017 en el rubro de ensayos y análisis técnicos, se encuentra ubicada en el distrito de San Martín de Porres es así con el pasar de los años ha ido mejorando sus procesos e incrementando sus clientes, Por otro lado, en el mes de julio del año 2023 logro certificar 9 ensayos por la institución , en la actualidad cuenta con más de 20 colaboradores, Además SLAB PERÚ brinda la oportunidad a instituciones públicas y privadas para que sus jóvenes talento cuenten con la oportunidad de realizar sus prácticas de esta manera aumentar sus conocimientos.

En la actualidad SLAB PERÚ ofrece servicios completos de muestreo y análisis en muestras ambientales, agrícolas, materiales plásticos, minería, materia prima y geosintéticas, etc. En el año 2023 se realizó en promedio 1790 ensayos en 55 productos que brindaron el servicio de análisis, contando con la maquinaria y tecnología es por ello por lo que se programó para el 2024 incrementar y enfatizar en los productos de las geomembranas utilizadas en la minería, en la Tabla 1 la información recopilada a través de registros históricos del 2023 anteriores al inicio de la investigación.

Tabla 1*Tipos de ensayos que brinda como servicio SLab Perú*

Tipo de ensayos	Cantidad
Ambientales	360
Agrícolas	238
Materiales plásticos	151
Papel, Cartón y Hojalata	29
Geosintéticas	49
Minería	45
Construcción	110
Materias Primas, insumos y productos finales	115
Caracterización	19
Biomasa y Biocombustibles	21
Sector farmacéutico y Cosmético	24
Otros tipos de ensayo	401
Varios	228
Total	1790

Nota: Histórico de ensayos SLab Perú 2023

1.1 Planteamiento y formulación del problema

El uso que se le da a las geomembranas en el ámbito minero está orientado a aplicaciones ambientales como vertederos de residuos sólidos, residuos industriales, estanques de agua, estanques de líquidos residuales, etc. Por lo que se ocupan extensas áreas de terreno las cuales deben estar protegidas, y así evitar contaminaciones ambientales. Es en este punto de evitar contaminaciones ambientales donde se hace importante la evaluación de las propiedades fisicoquímicas de las geomembranas, en un inicio, en el intermedio y en la etapa final de estos proyectos.

Problema general

La industria minera enfrenta retos significativos en la gestión de residuos y la protección del medio ambiente, lo que ha llevado a un aumento en el uso de geomembranas para la impermeabilización y contención de materiales peligrosos. La calidad de las geomembranas es crucial para garantizar su desempeño a largo plazo en condiciones ambientales extremas, como las que se presentan en la minería. Sin embargo, los métodos de evaluación de la calidad de estas geomembranas, particularmente en cuanto a sus propiedades fisicoquímicas, no siempre son consistentes o estandarizados. Existen múltiples métodos de ensayo, pero no todos ofrecen resultados confiables ni se adaptan adecuadamente a las condiciones específicas de uso en la minería. Esto genera incertidumbre sobre la fiabilidad de las geomembranas en su aplicación práctica, lo que podría resultar en fallos estructurales y riesgos ambientales.

Por lo tanto, surge la necesidad de evaluar y comparar los métodos de ensayos fisicoquímicos utilizados para la evaluación de la calidad de geomembranas, con el objetivo de determinar cuáles son los más adecuados y eficientes para asegurar su correcto desempeño en proyectos mineros, minimizando así el impacto ambiental y mejorando la seguridad en las operaciones.

Problema específico

La evaluación de la calidad de las geomembranas utilizadas en la minería requiere métodos de ensayo que puedan proporcionar información precisa sobre sus

propiedades fisicoquímicas, como la resistencia a productos químicos, la estabilidad térmica, la resistencia mecánica y la impermeabilidad. Sin embargo, los métodos actualmente utilizados en la industria minera para la evaluación de estas propiedades no han sido uniformemente validados ni adaptados a las condiciones particulares de las minas, como las altas temperaturas, la exposición a productos químicos agresivos o la variabilidad del terreno. Esto genera dudas sobre la efectividad de los métodos de ensayo existentes, y plantea la necesidad de determinar cuáles son los procedimientos más adecuados y confiables para evaluar la calidad de las geomembranas en contextos mineros específicos.

En este sentido, se hace necesario realizar un análisis comparativo de los diferentes métodos fisicoquímicos disponibles, identificando sus ventajas, limitaciones y grado de aplicabilidad en las condiciones extremas que se presentan en la minería, con el fin de mejorar la toma de decisiones en cuanto a la selección y uso de geomembranas en proyectos mineros.

1.2 Estado del arte

Se vienen realizando diversas pruebas fisicoquímicas para geomembranas que han sido instaladas en diferentes proyectos hace años atrás, con el objetivo de poder conocer el grado de afectación de la geomembrana. Así como es el caso de un estudio que se realizó a una geomembrana después de 14 años que contenía residuos sólidos urbanos, en el cual se revelaron varios defectos como grietas, agujeros, decoloración, etc. Y de acuerdo con las pruebas fisicoquímicas como el tiempo de inducción oxidativa se evidenció una gran en el tiempo de vida útil de la geomembrana. (A. Minaya, 2022)

En otra investigación se realizó una evaluación experimental de dos geomembranas de HDPE, la primera geomembrana se utilizó durante 2,75 años en un estanque de aireación de tratamiento de aguas residuales y la segunda geomembrana se utilizó durante 5,17 años en un estanque de lixiviados de vertedero municipal. Se utilizaron análisis físicos y térmicos como termogravimetría, análisis térmico diferencial, calorimetría diferencial de barrido y análisis mecánico dinámico. Los análisis termogravimétricos mostraron cambios significativos en la descomposición térmica

de la segunda geomembrana probablemente causados por las reacciones de interacción entre el polímero y el lixiviado. En los análisis de calorimetría diferencial de barrido, el comportamiento observado en la segunda geomembrana no se observó en la primera geomembrana. En el análisis mecánico dinámico, el comportamiento de la fuerza de tracción para la segunda geomembrana es más baja que para la primera geomembrana.(Lavoie et al., 2022)

En otro trabajo se evaluó tres geomembranas de polietileno de alta densidad (HDPE) retiradas de dos estanques de cultivo de camarones en el noreste de Brasil con espesores nominales de 0,8 mm. La muestra identificada como CAM fue retirada del revestimiento inferior, y la muestra identificada como CAM1 fue retirada del revestimiento de la pendiente, ambas después de 8,25 años de exposición en el campo en el mismo estanque. La tercera muestra identificada como CAM2, fue retirada de otro estanque de cultivo de camarones después de 3,0 años de servicio. Se puede observar que la exposición ambiental cambió el comportamiento de la muestra CAM1 en comparación con la muestra CAM. Los cambios en la viscosidad, agrietamiento por tensión y la desprotección del polímero por los antioxidantes demostraron que la exposición ambiental en el campo cambió las condiciones iniciales de la muestra CAM1. La muestra CAM2 presentó un valor de alta densidad, comportamiento de tracción quebradizo y un comportamiento térmico diferente de las otras muestras, como se observó en la termogravimetría (TG). Además, la muestra CAM2 mostró un evento en el análisis mecánico dinámico presentando una disminución significativa en la rigidez. El primer calentamiento del análisis de calorimetría diferencial de barrido (DSC) mostró un pico antes de los puntos de fusión para todas las muestras analizadas. Finalmente, se concluye que la aplicación de las muestras CAM1 y CAM2 como revestimiento puede causar una falla del sistema.(Lavoie et al., 2022)

Godoy (2011), en su trabajo de investigación: “Estudio experimental de punzonamiento en geomembranas en interfaces de depósitos de minerales”, tiene como objetivo actualizar las expresiones de diseño, mediante las cuales se estima el espesor requerido de la geomembrana para evitar su ruptura y pérdida de densidad en el fondo del tanque. Llegando a la conclusión que los resultados se contradicen con las expresiones de diseño utilizadas en la actualidad, que consideran una

resistencia muy baja en el caso del HDPE sin elementos de protección, incluso se desprecia para materiales de PVC, obteniendo así diseños muy conservadores si se ejecutan por esta vía. asimismo, En cuanto a la flexibilidad de las geomembranas de HDPE, se observa que los materiales disponibles en el mercado actualmente presentan un gran aumento en la capacidad de deformarse, lo que conlleva un aumento en la resistencia al punzonamiento. Esto debido a las mejoras en las materias primas utilizadas y procesos de producción de las geomembranas. Por otro lado, menciona la importancia de recalcar que el ensaye de punzonamiento estándar (ASTM D4833) permite solamente determinar en forma comparativa la resistencia de los distintos materiales geo sintéticos, dado que no se controla la deformación a la cual se produjo la rotura, por lo que no refleja el real comportamiento de las geomembranas en servicio.

Jacay & Lopez (2013), en su trabajo de investigación: "uso de la soldadura por termofusión en la impermeabilización con geomembrana HDPE del recrecimiento de los diques N° 1 y N° 2 de la relavera rumichaca U.E.A. carahuacra Cía. MINERA VOLCAN S.A.A.", En la presente investigación se plantean como objetivo principal Impermeabilizar el recrecimiento de los diques N° 1 y N° 2 [..]. con el fin de evitar la contaminación de los suelos y aguas subterráneas de las zonas aledañas al depósito de relaves. Obteniendo como resultados de los ensayos, fue fabricado tanto para soldadura por fusión de doble punta como para soldadura por extrusión con una extrusora; Para lograr parámetros óptimos de soldadura, es necesario realizar algunas pruebas antes de iniciar el proyecto en campo. Un tipo de investigación descriptiva y diseño experimental no experimental como método de investigación cualitativa. Teniendo como enfoque de investigación cualitativa, tipo de investigación descriptiva y diseño experimental no experimental.

Cartagena (2019), en su trabajo de investigación “estudio de geomembranas nodulares y lisas para la aplicación en la ingeniería civil”, teniendo como objetivo principal, el proyecto confirma lo que se plantea desde un inicio y es que ambos tipos de geomembranas tienen bondades dentro de sus propiedades, y podría ser posible con mayor investigación su implementación en obras civiles de nuestro país si se tienen en cuenta las consideraciones de calidad del material.

Tabla 2*Revisión bibliográfica de estudios realizados en geomembranas*

Título	Autor
Tesis: Instalación de la geomembrana para la mitigación de contaminantes en los suelos de la revegetación ambiental Excelsior	(A. Minaya, 2022)
Geomembranas de HDPE para la protección del medio ambiente: Estudio de dos casos.	(Lavoie et al., 2022)
Evaluación de geomembranas de HDPE exhumadas utilizadas como revestimiento en estanques de cultivo de camarones brasileños	(Lavoie et al., 2022)
Estudio experimental de punzonamiento en geomembranas en interfaces de depósitos de minerales	(Godoy, 2011)
Uso de la soldadura por termofusión en la impermeabilización con geomembrana HDPE del recrecimiento de los diques N° 1 y N° 2 de la relavera rumichaca U.E.A. carahuacra Cía. MINERA VOLCAN S.A.A	(Jacay & Lopez, 2013)
Estudio de geomembranas nodulares y lisas para la aplicación en la ingeniería civil	(Cartagena, 2019)

1.3 Justificación

El inicio del uso de la geomembrana en el Perú, se remonta aproximadamente al año 1970. Especialmente en zonas mineras y agrícolas, para prevenir la contaminación del suelo por alguna filtración de productos tóxicos relacionados a las actividades mineras o productos agroquímicos relacionados a las actividades agrícolas. En la actualidad el uso de la geomembrana ayuda también a una mejor gestión de residuos sólidos, por lo que se utiliza en la construcción de rellenos sanitarios y vertederos controlados, siendo una barrera que impide que los lixiviados contaminen directamente el suelo y así no afectar a comunidades cercanas a estas construcciones.

Posteriormente se fue ampliando su uso para la prevención de inundaciones, donde las geomembranas se utilizan para construcción de sistemas de drenaje, ayudando así a proteger a comunidades vulnerables ante fenómenos climáticos extremos. Luego de ello se utilizó las geomembranas en proyectos como reservorios y embalses de

agua, lo cual contribuyó a que las comunidades en áreas rurales y alejadas del país tuvieran acceso al agua potable, mejorando así la vida de las personas y promoviendo un desarrollo sostenible a largo plazo.

A medida que se ha ido requiriendo el uso de la geomembrana en diferentes proyectos e industrias, ha conllevado a que en el ámbito científico haya investigaciones enfocadas en nuevos materiales para las geomembranas basadas en polímeros más avanzados, los cuales ofrezcan mayores niveles de resistencia y durabilidad. Además de acuerdo a la mayor necesidad del uso de la geomembrana en diferentes rubros, se hace necesario tener un mejor control de la calidad de las geomembranas para poder asegurar así el óptimo cumplimiento de sus propiedades físicas, químicas, microbiológicas y mecánicas.

1.4 Hipótesis

Mediante la aplicación de métodos normalizados de análisis fisicoquímicos (como los establecidos por las normas ASTM D5199, ASTM D4355, y otros ensayos estándar), se puede determinar la calidad de una geomembrana evaluando propiedades críticas como el espesor, la resistencia a la rotura, la elongación, la resistencia a la fluencia, la resistencia a la radiación UV y la resistencia a la punción. Estos parámetros son esenciales para garantizar que la geomembrana sea adecuada para su aplicación en proyectos de ingeniería civil, especialmente en términos de durabilidad y desempeño en condiciones ambientales exigentes. Los métodos fisicoquímicos permiten la medición precisa de estas propiedades, las cuales son determinantes para asegurar la integridad estructural y funcional de la geomembrana en el tiempo, especialmente en exposición a factores como la radiación UV y las condiciones mecánicas de tensión o impacto. De acuerdo con la literatura científica, los valores de espesor, resistencia a la rotura, resistencia UV y resistencia a la punción por encima de los valores mínimos establecidos por las normas ASTM son indicativos de una geomembrana de alta calidad, capaz de mantener su desempeño durante la vida útil del proyecto.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

- Evaluar y comparar los métodos de ensayos fisicoquímicos utilizados para la determinación de la calidad de geomembranas, con el fin de identificar aquellos más adecuados para su aplicación en la minería, garantizando su efectividad y fiabilidad en condiciones extremas de operación y minimizando los riesgos ambientales asociados a su fallo.

1.5.2 Objetivos específicos

- Definir los métodos de ensayos fisicoquímicos para la evaluación de la calidad de las geomembranas aplicadas en la minería
- Analizar los datos de los métodos de ensayos fisicoquímicos para la evaluación de la calidad de las geomembranas aplicadas en la minería
- Evaluar los resultados de las características de los métodos de ensayos fisicoquímicos de las geomembranas aplicadas en la minería y compararlos con las normas establecidas

Tabla 3*Matriz de consistencia para el análisis de la calidad de las geomembranas*

Ensayo Físicoquímico	Parámetro por medir	Código de la norma
Análisis Mecánico	Rotura	ASTM D 6693
Análisis Mecánico	Punción	ASTM D 4833
Análisis Físico	Espesor	ASTM D 5199
Análisis Físico	Densidad	ASTM D 792
Análisis Mecánico	Flexión	ASTM D 1004
Análisis Térmico	Contenido de Carbón	ASTM D 4218
Análisis Físico	Estructuras Microscópicas de Carbón	ASTM D 5596
Análisis Térmico	Inducción Oxidativa	ASTM D 3895

Nota: Elaboración propia

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Definición y funciones de la geomembrana

Cuando se utilizan en una estructura de tierra, estas retienen una gran cantidad de materiales, ya que a menudo se colocan bajo tierra para impermeabilizar los elementos que contienen. Por lo tanto, los accidentes que ocurren al colocar y manipular estas geomembranas producen grandes cantidades de materiales sólidos que son difíciles de manejar debido a los grandes volúmenes utilizados en este tipo de obras en general. Las geomembranas, ya sea por sí solas o formadas de manera adecuada, tienen la capacidad de represar fluidos y actuar como barreras a la difusión cuando están en contacto con gases tóxicos o contaminados. Si bien las geomembranas pueden trabajar bajo flexión, tensión y tracción, así como compresión, su aplicación en estos casos generales no tiene mucho sentido, ya que estos materiales son costosos de adquirir, antiguos e irreversibles.

Las geomembranas son láminas fabricadas a partir de la polimerización de polietileno, polipropileno, resinas cloruradas de polietileno (CPE), y polibutileno. Estas se presentan en diferentes formas, lisas, ranuradas y texturizadas, y pasan por tres estados físicos durante su vida útil en la obra: sulfuro, flexible y rígido, con un periodo mínimo de diseño de 20 a 30 años dependiendo de su uso. A pesar de ser consideradas materiales relativamente recientes en el campo de la ingeniería, las geomembranas se emplean de manera frecuente en la actualidad, tanto en estructuras de tierra como en obras de cimentación, para la protección y saneamiento de acuíferos, control de gases, y en la construcción de reservorios, lagunas y represas con fines de impermeabilización.

Debido a la complejidad de la estructura interna de las geomembranas, se han desarrollado diferentes técnicas de ensayo que nos permiten determinar propiedades fisicoquímicas de las geomembranas y, en caso de necesidad, los parámetros reales en obra. Los tratamientos superficiales tienen como finalidad incrementar la adhesión sin afectar en exceso al resto de propiedades (resistencia mecánica). Generalmente, este incremento es puntual. La solución más generalizada en geosintéticos consolida este compromiso permitiendo la aparición de puentes de hidratación entre el hormigón y el geosintéticos sin generar apenas grietas si la ejecución es correcta.

La ciencia ha permitido a las personas evolucionar y desarrollar diversas herramientas y métodos técnicos para hacer la vida de las personas más fácil, pero los humanos han tenido un gran impacto en la integridad de la Tierra, el daño al medio ambiente. Hay muchas personas que están en contra de la ciencia y las comodidades que le brinda al ser humano por las situaciones que afectan al medio ambiente hoy en día.

En cambio, la ciencia produce más soluciones que no sólo son útiles para las personas, sino también para el medio ambiente. Una es una geomembrana, una capa de polímero sintético que evita que el agua se filtre en determinadas capas, como los suelos arenosos. También evita que las bacterias y los contaminantes se transfieran al suelo.

Figura 1

Geomembrana HDPE y PVC



Nota. Adaptado de *geomembrana*, de artículo. Mercado libre, 2018,
<https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-629360907>

2.2. Composición básica de las geomembranas

La geomembrana de polietileno de alta densidad (HDPE) está hecha de resina de alta calidad diseñada para geomembranas flexibles. Este producto se utiliza en aplicaciones que requieren excelente resistencia química y durabilidad.

Saber de antemano para qué se utilizan las geomembranas y su función como barrera artificial nos ayudará a comprender cómo la tecnología puede ayudar a controlar el daño ambiental.

Las geomembranas son la mejor forma de proteger el medio ambiente y tienen grandes beneficios para las personas. Esto se debe a que el diseño de la geomembrana utiliza materiales poliméricos termoplásticos para crear una lámina excelente que evita fugas de superficies específicas y contener agentes contaminantes que puedan dañar el suelo.

¿Cómo se garantiza la calidad de la geomembrana?

Garantizar el cumplimiento de las normas requiere un estricto control de calidad de cada geomembrana. Las propiedades analizadas son físicas, mecánicas y de durabilidad. Se deben realizar los siguientes ensayos: Propiedades físicas, propiedades mecánicas y propiedades de durabilidad.

El uso de esta herramienta está muy extendido, por ejemplo, en la minería, proyectos de protección ambiental y agricultura. Por lo tanto, cada región tiene diferentes necesidades y requerimientos, ya que existen proyectos con tales diferencias, cada uno cuenta con una geomembrana que se adapta a ellos, evitando pedidos innecesarios por rápido deterioro o daños por exposición.

2.3. Tipos de geomembranas

Estas barreras de polímeros sintéticos se clasifican en diferentes tipos en función de su estructura y composición, densidad, acabado superficial o, en mayor medida, del material que contienen, siendo frecuentemente utilizada esta última característica para distinguirlos.

Dependiendo de los materiales con los que estén fabricados podemos elegir cada uno para una función o campo determinado, los más conocidos son los compuestos de polietileno (HDPE, LLDPE y geomembrana de PVC), de los cuales el HDPE es incluso el más utilizado en su amplia selección. subcategorías para que podamos dividir las por espesor, como geomembrana de HDPE de 1,0 mm, geomembrana de HDPE de 1,50 mm, geomembrana de HDPE de 2,0 mm y por superficie y acabado. Por tanto, se encuentran en más del 90 % de los campos aplicables. También existen variaciones con otros compuestos como polivinilo, polipropileno. (Jacay, Lopes, 2013, p.19).

Una de las propiedades más importantes de este material es su alta durabilidad. condiciones climáticas (evitando la formación de grietas), además, tiene una gran flexibilidad y densidad. (Cartagena, 2019, p.5).

Las geomembranas son un tipo de geometría sintética fabricada a partir de polietileno, polipropileno, cloruro de polivinilo, etc. Su función es impermeabilizar determinados sectores o estructuras, como pilas de lixiviación, cuencas para procesos mineros, lagunas artificiales, botaderos de desechos industriales o domésticos, edificaciones. El espesor de la geomembrana generalmente varía entre 0,5 y 3,0 [mm], lo que da como resultado una baja rigidez a la flexión, pero una alta resistencia a la tracción. Tiene una conductividad hidráulica muy baja, entre 1×10^{-11} y 1×10^{-12} [cm/s], lo que lo hace ideal para la contención de líquidos. (Godoy, 2011, p.10)

Las principales aplicaciones de estas membranas en minería son láminas geosintéticas que proporcionan impermeabilización de superficies. Suelen utilizarse para reparar las pérdidas de agua provocadas por infiltración o para evitar la transferencia de contaminantes al suelo.

2.3.1. Geomembranas de polietileno

Las geomembranas de polietileno de alta densidad HDPE y geomembranas de polietileno liso lineal de baja densidad altamente flexible LLDPE se utilizan según la aplicación requerida: para vertederos, estanques de lixiviados, barreras de canales, minas, cuernos oxidados, presas, barreras de agua radiactivas o peligrosas, superficies

de tanques almacenamiento bajo tierra, Recubrimiento para espejos solares.
(ACUAPRUF S.A, s.f.)

- ***Polietileno de alta densidad (HDPE):***

Es el tipo de geomembrana más común debido a su resistencia química, durabilidad y capacidad para soportar duras condiciones ambientales. Se utiliza ampliamente en vertederos, estanques de almacenamiento de agua y sistemas de contención de residuos peligrosos.

La geomembrana de HDPE es un material geotécnico resistente hecho de polietileno de alta densidad que se utiliza para impermeabilización y aislamiento. Tiene una buena capacidad antipermeable que evita la penetración de agua y solutos, reduciendo la pérdida de agua y la erosión del suelo. Además, ofrece resistencia a la tracción y al desgarro, manteniendo la integridad del material. La geomembrana de HDPE es elástica y flexible, adaptándose a deformaciones del suelo y estructuras. Se emplea en proyectos como piscinas, embalses, diques de ríos, pozos de filtración, vertederos y túneles para evitar filtraciones y proteger el medio ambiente. Con propiedades químicas sólidas, el HDPE se utiliza en la fabricación de geomembranas para impermeabilizar construcciones como sótanos y jardines en el techo, protegiéndolas de la humedad.

Características químicas de geomembrana HDPE

- Estabilidad química:*** La geomembrana de HDPE tiene buena estabilidad química y es resistente a la erosión y corrosión de los productos químicos más comunes. Es relativamente estable a ácidos y bases, disolventes, sales y muchos compuestos orgánicos.
- Resistencia a la corrosión:*** La geomembrana de HDPE es resistente a la erosión causada por muchas sustancias corrosivas como soluciones ácidas, soluciones alcalinas, grasas y algunos químicos orgánicos. A menudo se utiliza para evitar que productos químicos, aguas residuales u otros líquidos corrosivos entren al suelo.
- Rango de pH:*** La geomembrana de HDPE soporta un rango de pH de 2 a 13 sin degradarse, por lo que es adecuada para las necesidades de diseño

en entornos ácidos y básicos. En esta área se pueden mantener las propiedades químicas y la estabilidad de la geomembrana de HDPE.

- d. **Impermeabilidad:** La geomembrana de HDPE tiene buena permeabilidad y puede prevenir eficazmente la penetración de agua, solutos y gases. Ayuda a controlar la propagación de la humedad y los productos químicos, reduciendo la contaminación ambiental y la erosión del suelo.
- e. **Estabilidad térmica:** La geomembrana de HDPE tiene cierta estabilidad térmica y puede mantener la estructura y el rendimiento del material a una determinada temperatura.

Ventajas geomembrana HDPE

La ventaja de utilizar polietileno de alta densidad (HDPE) es que sus propiedades químicas son las mejores para aplicaciones de recubrimiento y es más duradero que otros polímeros cuando se expone a condiciones ambientales, rayos UV y productos químicos. Las geomembranas de HDPE se utilizan ampliamente en todo el mundo en aplicaciones que involucran ataques químicos, como aplicaciones en exteriores y casos críticos en áreas geoestacionarias.

- ***Polietileno de baja densidad (LLDPE)***

La geomembrana de polietileno de baja densidad (LLDPE) muy flexible y suave está hecha de resina de polietileno pura diseñada para la construcción de geomembranas flexibles. Sus excelentes propiedades de alargamiento uniaxial y multiaxial son adecuadas para aplicaciones donde se esperan variaciones o condiciones límite en el suelo de soporte, como pisos alquilados, cubiertas de suelo, cualquiera o solicitud en la que la tensión fuera del plano sea significativa, como, por ejemplo: caso del biogás y los túneles anaeróbicos. (ACUAPRUF, s.f.)

2.3.2. Geomembranas de PVC (cloruro de polivinilo)

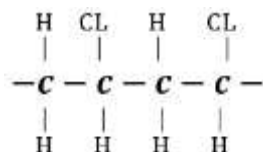
Las membranas de PVC se fabrican con propiedades técnicas especiales como una gran flexibilidad para cubrir el túnel. Una membrana de semillas aumenta la fricción con el suelo cuando la pendiente es muy pronunciada y está cubierta; Las membranas contienen aditivos retardantes de llama especiales en aplicaciones que

requieren materiales de construcción y propiedades retardantes de llama. Estos productos incluyen telas blancas o de otros colores y otras características especiales, como paneles de control que se prueban mediante una prueba de chispa, que permite realizar pruebas no destructivas de toda la superficie del papel después de la instalación.

Las membranas de PVC son películas impermeabilizantes flexibles producidas en dos procesos con capacidad de brindar soluciones de recubrimiento en ingeniería, utilizadas en aplicaciones como el revestimiento de piscinas, tanques y vehículos acuáticos, con o sin refuerzo de fibra. Para almacenamiento de agua, tarimas o tarimas para aplicaciones subterráneas como túneles.

Características químicas de geomembrana PVC

El PVC está compuesto por carbono, hidrógeno y cloro. Las materias primas son petróleo (43 %) y sal general (57 %). Se obtiene por la polimerización del cloruro de vinilo formado por cloro y etileno.



Ventajas geomembrana PVC

Las ventajas de las geomembranas de PVC son: Capaz de lograr sellado en frío. Es más flexible y requiere menos máquinas y menor demanda de energía reduciendo costos para la instalación. La principal ventaja es el alto sellado, Esto se hace en una fábrica y se puede hacer en grandes cantidades. en otros casos se puede decir de la duración del proceso. Por ello, el 55 % del total de la industria de la construcción se utiliza a nivel mundial y el 64 % de las aplicaciones tienen una vida útil entre 15 y 100 años.

2.3.3. Geomembranas de EPDM (Etileno Propileno Dieno Monómero)

La geomembrana de monómero de etileno propileno dieno (EPDM) es un material sintético ampliamente utilizado en aplicaciones de impermeabilización debido a sus

buenas propiedades físicas y químicas. Es muy flexible y altamente resistente a la intemperie y a los rayos UV. Se utiliza en aplicaciones como tanques de almacenamiento de agua, líneas de pozos y sistemas de techos.

Propiedades de las geomembranas de EPDM

- a. ***Elasticidad:*** Las geomembranas de EPDM son altamente elásticas, permitiendo que se estiren y se adapten a movimientos del terreno sin romperse.
- b. ***Resistencia a la intemperie:*** Tienen una excelente resistencia a los rayos UV, el ozono y las condiciones climáticas extremas, lo que las hace duraderas y adecuadas para aplicaciones a largo plazo.
- c. ***Flexibilidad:*** Mantienen su flexibilidad incluso a bajas temperaturas, lo cual es crucial para aplicaciones en climas fríos.
- d. ***Resistencia química:*** Resisten bien la mayoría de los productos químicos, ácidos y álcalis, lo que las hace ideales para su uso en vertederos, lagunas de tratamiento de aguas y otras aplicaciones industriales.
- e. ***Durabilidad:*** La vida útil de una geomembrana de EPDM puede superar los 30 años, dependiendo de las condiciones de exposición y el mantenimiento.

Aplicaciones comunes

- a. ***Impermeabilización de techos:*** Utilizadas en sistemas de techado para proporcionar una barrera impermeable duradera.
- b. ***Liner para lagunas y estanques:*** Ideales para revestir lagunas de retención, estanques decorativos, y embalses agrícolas.
- c. ***Sistemas de gestión de aguas residuales:*** Utilizadas en la construcción de lagunas de tratamiento de aguas residuales y tanques de contención.
- d. ***Vertederos:*** Empleadas como barreras en vertederos para prevenir la filtración de lixiviados en el suelo y las aguas subterráneas.
- e. ***Construcción de túneles y subterráneos:*** Utilizadas para impermeabilizar túneles y estructuras subterráneas contra el agua y la humedad.

Ventajas de las geomembranas de EPDM

- ***Fácil instalación:*** Se pueden unir mediante uniones adhesivas o térmicas, facilitando su instalación en el sitio.
- ***Mantenimiento mínimo:*** Requieren poco mantenimiento una vez instaladas.
- ***Adaptabilidad:*** Pueden ser prefabricadas en paneles grandes, lo que reduce la cantidad de juntas en la instalación.
- ***Ecología:*** EPDM es reciclable, lo que contribuye a la sostenibilidad ambiental.

Desventajas

- ***Costo inicial:*** Puede ser más caro comparado con otros tipos de geomembranas como las de PVC o HDPE.
- ***Sensibilidad a los hidrocarburos:*** Aunque tienen una buena resistencia química general, pueden ser menos efectivas en entornos con alta exposición a hidrocarburos.

Mantenimiento y cuidado

- ***Inspecciones periódicas:*** Es importante realizar inspecciones regulares para detectar posibles daños o desgastes.
- ***Reparaciones:*** Las reparaciones deben realizarse de inmediato utilizando parches de EPDM para asegurar la integridad del sistema de impermeabilización.

Las geomembranas de EPDM son una excelente opción para diversas aplicaciones de impermeabilización debido a su durabilidad, flexibilidad y resistencia a condiciones ambientales adversas. Sin embargo, el costo inicial y la susceptibilidad a ciertos productos químicos deben ser considerados al elegir el material adecuado para un proyecto específico.

2.3.4. Geomembranas de GCL (Geosynthetic Clay Liner)

Las geomembranas de GCL (Geosynthetic Clay Liner), también conocidas como revestimientos de arcilla geosintética, son materiales compuestos utilizados en la

ingeniería civil y ambiental para aplicaciones de impermeabilización y contención. Aquí tienes una descripción detallada sobre las geomembranas de GCL:

Las geomembranas de GCL están compuestas por una capa de arcilla bentonítica, generalmente encapsulada entre dos capas de geotextil o adherida a una geomembrana. Las capas de geotextil pueden ser no tejidas o tejidas, dependiendo del diseño y la aplicación específica.

Composición:

- ***Arcilla bentonítica:*** La bentonita es una arcilla altamente expansiva que tiene propiedades de hinchazón cuando se hidrata, creando una barrera de baja permeabilidad.
- ***Geotextiles:*** Los geotextiles proporcionan resistencia y protección a la capa de bentonita, y pueden estar unidos mecánicamente (por ejemplo, mediante punzonado de agujas) para mantener la integridad del material compuesto.
- ***Geomembrana (opcional):*** En algunos diseños, una capa de geomembrana se adhiere a la bentonita para proporcionar una barrera adicional de impermeabilización.

Propiedades de las geomembranas de GCL

Permeabilidad

Baja permeabilidad: La arcilla bentonítica, al hidratarse, forma una barrera casi impermeable con una baja permeabilidad al agua y a otros fluidos.

Efectividad: La efectividad de la GCL como barrera depende de la capacidad de la bentonita para hincharse y formar un sello continuo y denso.

Flexibilidad

Adaptabilidad: Las geomembranas de GCL pueden adaptarse bien a las irregularidades del terreno y a los asentamientos diferenciales, lo que las hace adecuadas para aplicaciones en terrenos complejos.

Resistencia química

Compatibilidad química: Las GCL son generalmente compatibles con una amplia gama de productos químicos, aunque su rendimiento puede variar dependiendo del tipo y la concentración de los contaminantes presentes.

Durabilidad

Larga vida útil: Las GCL son duraderas y pueden mantener su efectividad durante muchos años si se instalan y mantienen adecuadamente.

Aplicaciones comunes

1. ***Vertederos:*** Utilizadas como revestimientos de base y cubiertas para prevenir la filtración de lixiviados en el suelo y las aguas subterráneas.
2. ***Reservorios y estanques:*** Empleadas para revestir reservorios de agua, estanques de retención y lagunas de tratamiento de aguas.
3. ***Proyectos de remediación ambiental:*** Utilizadas en la contención de suelos contaminados y en la construcción de barreras contra la migración de contaminantes.
4. ***Obras hidráulicas:*** Aplicadas en canales, diques y otras estructuras hidráulicas para controlar la infiltración de agua.

Ventajas de las geomembranas de GCL

Eficiencia de instalación: Las GCL son fáciles y rápidas de instalar, lo que puede reducir los costos y el tiempo de construcción.

Eficacia en condiciones húmedas: La bentonita es especialmente eficaz en condiciones húmedas, donde su capacidad de hinchazón se maximiza.

Compatibilidad con geomembranas: Las GCL pueden ser combinadas con geomembranas para proporcionar una solución de impermeabilización de doble barrera.

Desventajas

Sensibilidad a la deshidratación: La bentonita puede perder su efectividad si se deshidrata, por lo que es importante asegurar que la GCL se mantenga hidratada.

Riesgo de punción: Aunque los geotextiles proporcionan protección, las GCL pueden ser susceptibles a la punción y daño físico, especialmente durante la instalación.

Variabilidad de rendimiento: La eficacia de las GCL puede variar dependiendo de las condiciones del sitio, el tipo de suelo y la exposición a contaminantes específicos.

Mantenimiento y cuidado

Inspecciones regulares: Es crucial realizar inspecciones periódicas para identificar y reparar posibles daños o deshidratación de la bentonita.

Protección adicional: En algunos casos, puede ser necesario proporcionar una capa de protección adicional sobre la GCL para evitar daños físicos y asegurar su rendimiento a largo plazo.

Las geomembranas de GCL son una solución efectiva y versátil para la Impermeabilización y contención en una variedad de aplicaciones ambientales y de ingeniería civil. Su capacidad para formar una barrera casi impermeable, junto con su facilidad de instalación y adaptabilidad, las hace una opción popular en muchos proyectos.

2.4. Propiedades fisicoquímicas de las geomembranas

Las propiedades fisicoquímicas de las geomembranas determinan su eficiencia y eficacia en diversas aplicaciones civiles, ambientales e industriales. A continuación, se describen las principales propiedades fisicoquímicas de las geomembranas:

2.4.1. Propiedades mecánicas

Resistencia a la tracción: La capacidad de la geomembrana para resistir fuerzas de tracción sin romperse. Esto se mide como la tensión y el alargamiento máximos en el punto de fractura.

Resistencia al desgarro: Capacidad de resistir la propagación de una rasgadura o corte. La durabilidad bajo carga y el daño físico son importantes.

Resistencia a la punción: Capacidad para resistir perforaciones con objetos afilados o puntiagudos. Esto es importante en aplicaciones donde la geomembrana está en contacto con objetos gruesos o afilados.

Elasticidad y flexibilidad: La capacidad de la geomembrana de cambiar y adaptarse a los movimientos de la superficie en movimiento o del suelo sin romperse.

2.4.2. Propiedades físicas

Espesor: Grosor de la geomembrana, que influye en su resistencia mecánica y permeabilidad. Se mide en milímetros o mils (milésimas de pulgada).

Densidad: Masa por unidad de volumen, generalmente expresada en g/cm³. La densidad afecta la resistencia y la durabilidad.

Coefficiente de expansión térmica: Cambio en las dimensiones de la geomembrana con la temperatura. Es crucial para aplicaciones en entornos con fluctuaciones térmicas significativas.

2.4.3. Propiedades químicas

Resistencia química: Capacidad de la geomembrana para resistir la degradación por sustancias químicas, como ácidos, bases, solventes y otros productos químicos agresivos.

Compatibilidad con fluidos: Evaluación de cómo los fluidos específicos afectan la geomembrana, importante para aplicaciones en contacto con líquidos industriales o residuos químicos.

2.4.4. Propiedades de permeabilidad

Impermeabilidad al agua y gases: Capacidad de la geomembrana para prevenir el paso de líquidos y gases. Se mide en términos de tasa de transmisión de vapor de agua (WVTR) y permeabilidad al gas.

2.4.5. Propiedades térmicas

Estabilidad térmica: Capacidad de la geomembrana para mantener sus propiedades físicas y mecánicas a diversas temperaturas. Incluye la resistencia al calor y al frío extremo.

Conductividad térmica: Capacidad de la geomembrana para conducir calor, relevante en aplicaciones donde la transferencia térmica es un factor.

2.4.6. Propiedades de durabilidad

Resistencia a la intemperie y radiación UV: Capacidad para resistir la degradación por exposición a la luz solar y condiciones ambientales adversas. Las geomembranas con aditivos como estabilizadores UV son especialmente diseñadas para aplicaciones exteriores.

Capacidad para mantener las propiedades mecánicas y físicas con el tiempo bajo diversas condiciones de uso y exposición ambiental.

2.4.7. Propiedades de soldabilidad

Capacidad de unión por calor: Facilidad con la que la geomembrana puede soldarse para formar juntas estancas, esencial para asegurar la continuidad de la barrera.

Resistencia de la unión soldada: Resistencia mecánica de las juntas soldadas, crucial para la integridad del sistema.

2.4.8. Propiedades de fricción

Coefficiente de fricción: Influye en la estabilidad de la geomembrana cuando está en contacto con otros materiales, importante en aplicaciones de taludes y pendientes.

Ejemplos de propiedades fisicoquímicas específicas de diferentes tipos de geomembranas

HDPE:

Alta resistencia a la tracción y al desgarro.

Excelente resistencia química y a la intemperie.

Baja permeabilidad al agua y gases.

Relativamente rígida y menos flexible que otras geomembranas.

LLDPE:

Mayor flexibilidad y elongación que el HDPE.

Buena resistencia química y mecánica.

Adecuada para superficies irregulares debido a su flexibilidad.

PVC:

Alta flexibilidad y facilidad de instalación.

Buena resistencia química, aunque menos que el HDPE.

Puede ser sensible a la degradación por exposición a UV sin estabilizadores.

EPDM:

Excelente flexibilidad y elongación.

Muy buena resistencia a la intemperie y radiación UV.

Adecuada para aplicaciones a largo plazo en exteriores.

TPO:

Combinación de resistencia química y a la intemperie.

Buena soldabilidad y flexibilidad.

Resistencia a la intemperie y UV, adecuada para techos y aplicaciones exteriores. Las propiedades físicas de las geomembranas son importantes en la selección y aplicación de geomembranas en proyectos específicos y aseguran el rendimiento y durabilidad de las estructuras y sistemas utilizados.

2.5. Comparación de propiedades entre geomembrana PVC y HDPE.

A continuación, se observa en la Figura 2, es claramente visible la comparación con las instalaciones de geomembranas de PVC y la geomembrana de HDPE es de un material termoplástico semi cristalino, provoca arrugas en los paneles durante la instalación y tensiones en la soldadura de extrusión.

Tabla 4

Comparación de propiedades entre las geomembranas de PVC y HDPE

Geomembrana PVC	Geomembrana HDPE
	

Nota: Como se muestra en la propiedad del Golf ubicado en el distrito La Molina es de material geomembrana PVC, a diferencia del reservorio de Tumbes

Tabla 5

Comparación de propiedades entre la geomembrana de (PVC) y el polietileno de alta densidad (HDPE)

<i>Geomembrana PVC</i>	<i>Geomembrana HDPE</i>
PROPIEDADES FÍSICAS	
ESPESOR	
• Su tolerancia máxima es del 5 %. Con los mismos requisitos de propiedades mecánicas, el espesor del PVC es menor que el del HDPE	• Tiene una mayor tolerancia entre el 5-10 %. Según la EPA de EE. UU., el espesor mínimo de la geomembrana de PVC debe ser de 0,50 mm y el de polietileno de 1,50 mm.
COEFICIENTE DE FRICCIÓN	
• Desarrolla ángulos de fricción más altos que los de HDPE liso en todos los casos.	• Solo utilizando HDPE Texturado se puede superar (5 %) el ángulo de fricción obtenido con PVC.
COEFICIENTE DE EXPANSIÓN TERMICA	
• El aumento de las dimensiones de la Geomembrana de PVC es menor que la del HDPE.	• Al expandirse más dificulta el sellado y la colocación de capas de tierra sobre la Geomembrana.
AUTOEXTINGUIBILIDAD	
• Se puede controlar la propagación del fuego.	• Tiende a arder y propagar el fuego.
PROPIEDADES MECANICAS	
RESISTENCIA A LA TENSIÓN	
• Absorbe las tensiones siendo capaz de deformarse hasta un 100 %. MULTIAXIAL.	• Conserva las tensiones y no se recupera bajo deformación permanente de 5 -10 %. MULTIAXIAL
• Cualquier deformación es asimilada, el material se adapta.	• Las deformaciones generan tensiones permanentes produciéndose el efecto de “stress-cracking”

<i>Geomembrana PVC</i>	<i>Geomembrana HDPE</i>
ELONGACIÓN	
• Poseen una elongación mayor al 350 % en su rango de trabajo. AXIAL • Material muy flexible por lo que su manipulación y colocación es sencilla. Permite una deformación admisible aprox. de 50 %.	• Con tan solo un 15 % de estiramiento en una sola dirección el material se adelgaza y perfora. • Material bastante más rígido, no se adapta. La deformación admisible es <10 %.
PUNZONAMIENTO	
• Elevada resistencia al punzonamiento estático. • Buena resistencia al punzonamiento hidráulico. • Una lámina de PVC de 0.50mm soporta una presión de 18Kpa (1.8m de carga de agua) sobre grava, durante 60 días a 23°C. • Llega a resistir el paso de vehículos por encima de la grava sin perforarse.	• Mala resistencia al punzonamiento estático. • Mala resistencia al punzonamiento hidráulico. • La misma presión, una lámina de HDPE de 1.50mm no lo soporta. • Requiere de soportes muy lisos sin asperezas y muy estables.
PROPIEDADES QUÍMICAS	
• Buena resistencia química a soluciones alcalinas y ácidas concentradas. (alcoholes y metales pesados) • Excelente resistencia a lixiviados. • Resistente a los rayos UV. • La acción del frío genera contracciones en la lámina, pero sin consecuencias, ya que el material las absorbe fácilmente	• Muy buena resistencia química a soluciones alcalinas y ácidas concentradas. • Excelente resistencia a lixiviados. • Resistente a los rayos UV. • El frío ocasiona contracciones en la lámina las cuales originan tensiones, por lo que es necesario dejar la lámina holgada para que pueda absorberlas y no se produzcan roturas o efecto “stress cracking”.
INSTALACIÓN	
• Puede plegarse y adaptarse al soporte con bajo coeficiente de expansión térmica.	• No puede plegarse. Posee un alto coeficiente de expansión térmica.

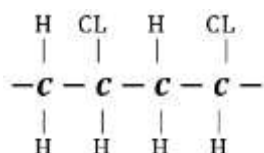
<i>Geomembrana PVC</i>	<i>Geomembrana HDPE</i>
• No presenta ningún problema frente a las arrugas o pliegues • Debido a su flexibilidad puede fabricarse módulos de hasta 4,000m² que facilitan la impermeabilización de áreas extensas. • Disminuye las pérdidas de material durante la instalación. • Menor tiempo de instalación, lo cual se traduce en menores costos.	• Frente a las arrugas o pliegues presenta el riesgo de “stress cracking” • No se puede fabricar módulos, demorando y dificultando la impermeabilización. • El porcentaje de desperdicio es mayor. • Mayor tiempo de instalación.
SELLADO	
• Se realiza por: CALOR: aire y cuña calientes ELECTROSELLADO: alta frecuencia AGENTES QUÍMICOS: Solvente THF. • No utiliza necesariamente energía eléctrica para el sellado • La soldadura es fiable con el tiempo ya que no existe riesgo de “stress cracking”. • Para soldaduras con detalles es sencilla y fácil de ejecutar. • Fácil reparación posterior. • Facilidad de anclajes	• No acepta el sellado QUÍMICO. • Para sellarlo es indispensable el uso de la energía eléctrica • Riesgo de “stress cracking”. • Difícil, ya que es necesaria la soldadura por extrusión la cual da lugar a perforaciones del material por exceso de calor. • Difícil reparación posterior debido a la dificultad de realizar la soldadura por extrusión. • Poca facilidad.
CONTROL DE CALIDAD	
• Más confiable y rápido • Se aplica Pruebas: NO DESTRUCTIVAS: Lanceta de aire a presión. Prueba de presión. Prueba de vacío DESTRUCTIVAS: Prueba de corte Prueba de pelaje	• Control de calidad más exigente y lento. • Se aplica Pruebas: NO DESTRUCTIVAS: Prueba de chispa. Prueba de presión. Prueba de vacío DESTRUCTIVAS: Prueba de corte Prueba de pelaje
GARANTÍA	

<i>Geomembrana PVC</i>	<i>Geomembrana HDPE</i>
• Según la PGI después de 35 años aún conserva su espesor y propiedades mecánicas. • Se otorga un certificado de sellado e instalación	• Al igual que el PVC empíricamente debe durar más de 100 años. • Ídem.

Nota: En esta tabla se muestra el resultado de comparación adaptado (CIDELSA 2024)

2.5.1. Esquema químico de los polímeros con que se fabrican las geomembranas

Geomembrana PVC / Cloruro de polivinilo



Geomembrana HDPE / Polietileno de alta densidad su estructura

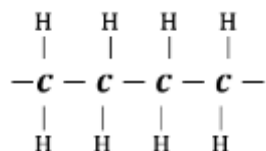


Tabla 6

Geomembrana lisa - polietileno de alta densidad

PROPIEDADES		NORMA	Und	20 mil	30 mil	40 mil	60 mil	80 mil	100 mil
PROPIEDADES MECÁNICAS	Resistencia en Fluencia	ASTM-D 6693 Tipo IV	kN/m	8	12	16	24	32	40
	Resistencia en Rotura	ASTM-D 6693 Tipo IV	kN/m	14	21	28	42	56	70
	Elongación en Fluencia	ASTM-D 6693 Tipo IV	%	13	13	13	13	13	13
	Elongación en Rotura	ASTM-D 6693 Tipo IV	%	700	700	700	700	700	700
	Resistencia al Rasgado	ASTM-D 1004	N	67	101	135	203	270	338
	Resistencia al Punzonamiento	ASTM-D 4833	N	160	268	357	536	714	893
PROPIEDADES FÍSICAS	Espesor Nominal	ASTM-D 5199	mm	0.5	0.75	1	1.5	2	2.5
	Mínimo Valor Individual 10 Testigos		mm	0.45	0.67	0.9	1.35	1.8	2.25
	Densidad	ASTM-D 1505 ASTM-D 792	g/cm ³	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
	Contenido de Negro de Humo	ASTM-D 4218 ASTM-D 1603	%	2,0-3,0	2,0-3,0	2,0-3,0	2,0-3,0	2,0-3,0	2,0-3,0
PRESENTACIÓN	Tipo de Polímero	Fabricante		HDPE	HDPE	HDPE	HDPE	HDPE	HDPE
	Color Estándar			Negro	Negro	Negro	Negro	Negro	Negro
	Ancho del Rollo	Medido	m	7,01	7,01	7,01	7,01	7,01	7,01
	Largo del Rollo	Medido	m	600	410	310	210	150	120
	Área	Medido	m ²	4206	2874	2173	1472	1052	841

Nota: En la Tabla 5 se muestran, los valores de las propiedades mecánicas corresponden a promedios mínimos tanto en la dirección principal de fabricación como transversal. ASTM (American Society for Testing and Material).

Tabla 7

Geomembrana texturizada - polietileno de alta densidad

	PROPIEDADES	NORMA	UNIDAD	30 mil	40 mil	60 mil	80 mil	100 mil
PROPIEDADES MECÁNICAS	Resistencia en Fluencia	ASTM-D 6693 Tipo IV	kN/m	11	15	23	30	38
	Resistencia en Rotura	ASTM-D 6693 Tipo IV	kN/m	9	12	18	24	30
	Elongación en Fluencia	ASTM-D 6693 Tipo IV	%	13	13	13	13	13
	Elongación en Rotura	ASTM-D 6693 Tipo IV	%	150	150	150	150	150
	Resistencia al Rasgado	ASTM-D 1004	kN	101	135	203	270	338
	Resistencia al Punzonamiento	ASTM-D 4833	kN	214	285	428	570	713
PROPIEDADES FÍSICAS	Espesor Nominal	ASTM-D 5199	mm	0,75	1	1,5	2	2,5
	Mínimo Valor Individual 10 Testigos	ASTM-D 5199	mm	0,64	0,85	1,28	1,7	2,13
	Densidad	ASTM-D 1505 ASTM-D 792	g/cm ³	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
	Contenido de Negro de Humo	ASTM-D 4218 ASTM-D 1603	%	2,0 – 3,0	2,0 – 3,0	2,0 – 3,0	2,0 – 3,0	2,0 – 3,0
	Tipo de Polímero	Fabricante		HDPE	HDPE	HDPE	HDPE	HDPE
PRESENTACIÓN	Color Estándar			Negro	Negro	Negro	Negro	Negro
	Ancho del Rollo	Medido	m	7,01	7,01	7,01	7,01	7,01
	Largo del Rollo	Medido	m	280	240	160	125	100
	Área	Medido	m ²	1963	1682	1122	876	701

Nota: En la Tabla 6 se muestran, los valores de las propiedades mecánicas corresponden a promedios mínimos tanto en la dirección principal de fabricación como transversal. ASTM (American Society for Testing and Material)

Tabla 8

Especificaciones técnicas de membranas de PVC referencia: tipo

CARACTERÍSTICA	Unidades	Norma	S - 300	S - 500	S - 750	S - 800	S - 1000	S - 1200
			Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor
PESO	g	ASTM D	330	600	900	960	1130	1440
GRABADO		- 751	Satín	Satín	Satín	Piel	Satín	Satín
RESISTENCIA A LA TENSIÓN	(N/mm ²)	ASTM D - 882	15	17	17	15	16	15
			16	16	16	14	17	14
ELONGACIÓN A LA ROTURA	(%)	ASTM D - 882	200	340	360	360	250	280
			220	360	380	380	280	360
RESISTENCIA AL RASGADO (N)	(N)	ASTM D - 882	10	26	35	35	40	50
			8	22	28	28	35	40
DUREZA	SHORE A	80 2240						
RANGO DE TEMPERATURA	(-) 10 a 60°C	ASTM D - 1790	(-) 10 a 60°C	(-) 10 a 60°C	(-) 10 a 60°C	(-) 10 a 60°C	(-) 10 a 60°C	(-) 10 a 60°C

Nota: En la Tabla 7 se muestra, película de PVC / ETILEN Inter polímero, con mediana resistencia química, protección biocida y contra la acción de los rayos solares. (U.V.) Resina de PVC: 51,69 % Plastificante Monomérico: 25,68 %, Aditivo (Filtros U.V. Biocida, Pigmento, Agentes de Procesos): 22,63 %. (AQUAPRUFs.f.)

2.6. Importancia del análisis fisicoquímico en geomembranas

Según la norma ASTM D (“ASTM International – Standards Worldwide”). Método de prueba para experimentar las herramientas utilizadas. Originalmente se conocía como Sociedad Americana. Testan and Material es una organización de estándares internacionales en desarrollo. Las normas técnicas para una amplia gama de pruebas.

El análisis fisicoquímico de geomembranas es importante para asegurar su buen desempeño en aplicaciones industriales y ambientales, especialmente en minería. La importancia de este análisis se analiza a continuación desde varias perspectivas.

Tabla 9

Método de ensayo según la norma ASTM D

Norma ASTM D	Método de ensayo
ASTM D 5199	Método de prueba estándar para medir el espesor nominal de los geos sintéticos.
ASTM D 792	Métodos de prueba estándar para densidad y gravedad específica (densidad relativa) de plásticos por desplazamiento.
ASTM D 6693	Método de prueba estándar para determinar las propiedades de tracción de geomembranas de polietileno no reforzado y polipropileno flexible no reforzado.
ASTM D 1004	Método de prueba estándar para la resistencia al desgarro (desgarro de Graves) de películas y láminas de plástico.
ASTM D 4833	Método de prueba estándar para índice de resistencia a la punción de geomembranas y productos relacionados.
ASTM D 4218	Método de prueba estándar para la determinación del contenido de negro de humo en compuestos de polietileno mediante la técnica de horno de mufla.
ASTM D 5596	Método de prueba estándar para la evaluación microscópica de la dispersión de negro de carbón en geo sintéticos de poliolefina.
ASTM D 3895	Método de prueba estándar para el tiempo de inducción oxidativa de las poliolefinas mediante calorimetría diferencial de barrido

Nota: Para tener un análisis útil del Lamidren L7 es necesario realizar el ensayo de resistencia a compresión (ASTM D162)

2.6.1. Métodos de análisis fisicoquímico para geomembranas

El análisis fisicoquímico de las geomembranas es esencial para evaluar su calidad, rendimiento y adecuación para aplicaciones específicas. A continuación, se describen los métodos más comunes utilizados para analizar las propiedades fisicoquímicas de las geomembranas:

2.6.1.1. Permeabilidad

Método de ensayo de permeabilidad al agua:

Normas aplicables: ASTM D5084, ISO 10319

- **ASTM D5084:** Medición de la permeabilidad hidráulica de suelos saturados

Según, la norma ASTM D5084 proporciona un método para medir la permeabilidad hidráulica de suelos saturados utilizando un permeámetro de carga constante o de carga variable. Aunque esta norma se aplica principalmente a suelos, también es relevante para materiales que simulan comportamientos de suelos en sistemas de contención, como las geomembranas GCL que contienen bentonita.

Procedimiento:

- a) **Preparación de la muestra:** La muestra de suelo (o material similar) se prepara y satura completamente. Para GCL, se aseguraría de que la bentonita esté bien hidratada.
- b) **Montaje del permeámetro:** La muestra se coloca en una celda de permeabilidad. El permeámetro puede ser de carga constante (flujo constante de agua) o de carga variable (cabeza de agua cambia con el tiempo).
- c) **Aplicación de la carga:** Se aplica una diferencia de presión hidráulica a través de la muestra. En el permeámetro de carga constante, esto se mantiene constante, mientras que en el de carga variable, se registra cómo cambia el nivel de agua.
- d) **Medición del flujo:** Se mide el volumen de agua que pasa a través de la muestra durante un tiempo determinado. Para cargas variables, se registran los cambios en el nivel del agua.

- e) **Cálculo de la permeabilidad:** Usando las mediciones obtenidas, se calcula el coeficiente de permeabilidad (k) aplicando las ecuaciones de Darcy para flujo laminar.

La norma ASTM D5084 determina la capacidad de las geomembranas GCL para resistir la infiltración de agua, lo cual es importante para evaluar su efectividad como barrera impermeable.

- **ISO 10319: Ensayo de tracción de geotextiles y productos relacionados**

Según, La norma ISO 10319 describe un método para determinar las propiedades de tracción de geotextiles y productos relacionados. Este ensayo evalúa la resistencia a la tracción y el alargamiento de estos materiales, lo cual es importante para geomembranas de GCL que incluyen geotextiles.

Procedimiento:

- a) **Preparación de la muestra:** Se cortan muestras de geotextil en formas específicas (generalmente rectangulares) y se acondicionan bajo condiciones controladas de temperatura y humedad.
- b) **Montaje en la máquina de ensayo:** Las muestras se colocan en una máquina de ensayo de tracción, con sujeción en ambos extremos.
- c) **Aplicación de la carga:** Se aplica una carga de tracción a una velocidad constante hasta que la muestra se rompe.
- d) **Registro de datos:** Se registra la fuerza aplicada y el alargamiento de la muestra durante el ensayo.
- e) **Cálculo de Propiedades:** Se calculan la resistencia a la tracción (fuerza máxima alcanzada) y el alargamiento en la ruptura (deformación máxima).

La norma ISO 10319 es esencial para evaluar la resistencia y la durabilidad de los geotextiles usados en GCL y otras geomembranas. Garantiza que estos materiales

puedan soportar las tensiones y deformaciones encontradas en aplicaciones reales, manteniendo la integridad estructural del sistema de impermeabilización.

Las normas ASTM D5084 e ISO 10319 proporcionan procedimientos estandarizados y fiables para evaluar propiedades críticas de geomembranas y materiales relacionados. ASTM D5084 se centra en la permeabilidad hidráulica, crucial para la eficacia de barreras impermeables como las GCL. ISO 10319 se enfoca en la resistencia a la tracción y el alargamiento, importantes para la durabilidad y el rendimiento mecánico de geotextiles y productos relacionados. Ambas normas son fundamentales para asegurar la calidad y la adecuación de los materiales utilizados en aplicaciones de ingeniería civil y ambiental.

Método de ensayo de permeabilidad a los gases:

Normas aplicable: ASTM D1434

– ASTM D1434: Medición de la permeabilidad de gases en plásticos

Según, La norma ASTM D1434 describe un método para medir la permeabilidad de los gases a través de películas plásticas y materiales similares. Este ensayo es crucial para evaluar la capacidad de las geomembranas, incluidas las de EPDM (Etileno Propileno Dieno Monómero), para actuar como barreras contra gases. Aunque la norma está destinada principalmente a películas plásticas, sus principios también son aplicables a geomembranas utilizadas en sistemas de contención, donde la permeabilidad a gases es una consideración importante.

Procedimiento:

- a) ***Preparación de la muestra:*** Se corta una muestra de la geomembrana en un tamaño adecuado, asegurando que esté libre de defectos y contaminantes.
- b) ***Montaje en la celda de permeabilidad:*** La muestra se coloca en una celda de permeabilidad que tiene dos compartimentos separados: uno lleno de gas (lado de alta presión) y el otro vacío o con gas a baja presión (lado de baja presión).
- c) ***Aplicación del gas:*** Se introduce el gas de prueba en el compartimento de alta presión. Los gases comúnmente utilizados incluyen oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono y helio, dependiendo de la aplicación específica.

- d) **Medición del flujo de gas:** El gas permea a través de la muestra y la cantidad que atraviesa la muestra se mide en el compartimento de baja presión. La medición se realiza durante un tiempo determinado hasta alcanzar un estado estable.
- e) **Cálculo de la permeabilidad:** La permeabilidad se calcula utilizando la ecuación de la ley de Fick para el flujo de gases:

$$P = \frac{Q \cdot l}{A \cdot (p_1 - p_2)}$$

donde:

- P es el coeficiente de permeabilidad al gas.
- Q es la cantidad de gas que pasa a través de la muestra por unidad de tiempo.
- l es el espesor de la muestra.
- A es el área de la muestra.
- p1 y p2 son las presiones del gas en los lados de alta y baja presión, respectivamente.

Consideraciones adicionales:

- ✓ **Control de temperatura y humedad:** La temperatura y la humedad pueden afectar la permeabilidad de los gases a través de las geomembranas. Por lo tanto, estos ensayos suelen realizarse bajo condiciones controladas.
- ✓ **Selección del gas:** La selección del gas de prueba debe basarse en las condiciones de uso esperadas de la geomembrana. Diferentes gases pueden interactuar de manera distinta con el material.

La permeabilidad al gas es una propiedad crítica para aplicaciones donde la contención de gases es necesaria, como en rellenos sanitarios, tanques de almacenamiento de gas, y sistemas de control de emisiones. Las geomembranas que muestran baja permeabilidad a gases pueden proporcionar barreras efectivas, mejorando la seguridad y la eficiencia de estos sistemas.

Según, La norma ASTM D1434 proporciona un método estandarizado para medir la permeabilidad de gases en materiales plásticos y geomembranas, ofreciendo datos esenciales sobre la capacidad de estos materiales para actuar como barreras contra gases. Este conocimiento es crucial para diseñar sistemas de contención que cumplan con los requisitos de seguridad y eficiencia en aplicaciones industriales y ambientales.

2.6.1.2.Espesor nominal

Medición del espesor:

Normas aplicables: ASTM D5199 & ISO 9863-1

– ASTM D5199: Medición del espesor de geosintéticos

La norma ASTM D5199 proporciona un método para medir el espesor de los geosintéticos, incluidos geotextiles, geomembranas y otros productos relacionados. Esta medición es fundamental para determinar las propiedades físicas y mecánicas del material.

Procedimiento:

- a) **Preparación de la muestra:** Se corta una muestra del material geosintético en un tamaño adecuado. Asegúrese de que la muestra esté libre de pliegues, arrugas y contaminantes.
- b) **Montaje en el dispositivo de medición:** La muestra se coloca en un medidor de espesor, que generalmente consiste en una plataforma plana y un sensor de medición que aplica una presión específica a la muestra.
- c) **Aplicación de la presión:** Se aplica una presión estándar a la muestra. Para la norma ASTM D5199, la presión aplicada es de 2 kPa.
- d) **Medición del espesor:** Se mide el espesor de la muestra en varios puntos y se promedian las mediciones para obtener el espesor promedio.

La medición precisa del espesor es crucial para asegurar que el material cumpla con las especificaciones de diseño y para evaluar su desempeño en aplicaciones específicas.

– **ISO 9863-1: Determinación del espesor de geotextiles y productos relacionados**
Parte 1: Ensayo en un solo punto

Según, La norma ISO 9863-1 describe un método para determinar el espesor de geotextiles y productos relacionados mediante un ensayo en un solo punto. Este método es similar al descrito en la norma ASTM D5199, pero con algunas diferencias en los procedimientos y especificaciones.

Procedimiento:

- a) **Preparación de la muestra:** Se corta una muestra del geotextil o producto relacionado en un tamaño adecuado, asegurando que esté libre de pliegues y arrugas.
- b) **Montaje en el dispositivo de medición:** La muestra se coloca en un medidor de espesor que consta de una base plana y un sensor de medición que aplica una presión específica a la muestra.
- c) **Aplicación de la presión:** Se aplica una presión estándar a la muestra. Para la norma ISO 9863-1, la presión aplicada es de 2 kPa, similar a la norma ASTM D5199.
- d) **Medición del espesor:** Se mide el espesor de la muestra en un solo punto o en varios puntos si se requiere un promedio más representativo. Las mediciones se promedian para obtener el espesor promedio.

El espesor del material es un parámetro clave que afecta las propiedades mecánicas y de permeabilidad de los geotextiles y productos relacionados. Asegurar una medición precisa del espesor es fundamental para el control de calidad y el desempeño del producto.

Similitudes:

- ✓ Ambos métodos miden el espesor de materiales geosintéticos y aplican una presión estándar de 2 kPa durante la medición.
- ✓ Las mediciones se realizan utilizando dispositivos de medición de espesor que constan de una base plana y un sensor de medición.

Diferencias:

Normas: ASTM D5199 es una norma estadounidense, mientras que ISO 9863-1 es una norma internacional.

Procedimiento de medición: La norma ISO 9863-1 permite la medición en un solo punto o en varios puntos si se requiere un promedio más representativo, mientras que ASTM D5199 típicamente promedia varias mediciones.

Ambas normas proporcionan procedimientos fiables para la medición del espesor de geomembranas y geotextiles, lo que es crucial para asegurar la calidad y el rendimiento de estos materiales en aplicaciones de ingeniería civil y ambiental.

2.6.1.3.Densidad

Medición de la densidad:

Normas aplicables: ASTM D792, ISO 1183

- ***ASTM D792: Determinación de la densidad y gravedad específica (peso específico) de plásticos por desplazamiento***

La norma ASTM D792 proporciona métodos para determinar la densidad y la gravedad específica (peso específico) de materiales plásticos mediante el desplazamiento de un líquido. Estos métodos son aplicables a materiales plásticos sólidos no porosos, incluidas las geomembranas.

La norma describe dos métodos principales: Método A y Método B.

Método A: Desplazamiento en agua destilada:

- a) ***Preparación de la muestra:*** Se corta una muestra del material en una forma adecuada y se pesa en aire.
- b) ***Medición en aire y agua:*** La muestra se pesa primero en aire y luego se sumerge en agua destilada. La muestra sumergida se pesa usando un

método de inmersión que elimina las burbujas de aire adheridas a la superficie de la muestra.

- c) **Cálculo de la densidad:** La densidad se calcula utilizando la ecuación:

$$D, \text{ kg/m}^3 = \text{Gravedad específica} \times 997,5$$

$$\text{Gravedad específica} = a / (a + w - b)$$

Donde:

a: masa aparente del espécimen, sin alambre ni plomada, en el aire.

b: masa aparente del espécimen (y del plomo, si se usa) completamente sumergido y del alambre parcialmente sumergido en líquido.

w: masa aparente de la plomada totalmente sumergida (si se usa) y del alambre parcialmente sumergido.

Método B: Desplazamiento en otros líquidos:

- a) **Preparación de la muestra:** Similar al Método A, pero se puede utilizar un líquido distinto al agua destilada, adecuado para el material específico que se está midiendo.
- b) **Medición en aire y líquido:** La muestra se pesa en aire y luego en el líquido de desplazamiento.
- c) **Cálculo de la densidad:** La densidad se calcula utilizando la misma ecuación que el Método A, ajustada para la densidad del líquido de desplazamiento.

La densidad es una propiedad fundamental que afecta las características físicas y mecánicas de los materiales plásticos y las geomembranas, influenciando su comportamiento en aplicaciones prácticas.

- ***ISO 1183: Plásticos - Métodos para determinar la densidad de plásticos no celulares***

Según, La norma ISO 1183 proporciona métodos para determinar la densidad de plásticos no celulares. Estos métodos son aplicables a plásticos sólidos no porosos, incluyendo geomembranas.

ISO 1183 describe tres métodos principales: Método A, Método B, y Método C.

Método A: Método de la balanza hidrostática:

- a) ***Preparación de la muestra:*** Se corta una muestra del material en una forma adecuada y se pesa en aire.
- b) ***Medición en aire y agua:*** La muestra se pesa primero en aire y luego se sumerge en agua destilada. La muestra sumergida se pesa utilizando una balanza hidrostática.
- c) ***Cálculo de la densidad:*** La densidad se calcula usando una fórmula similar a la de ASTM D792.

Método B: Método del volumen desplazado:

- a) ***Preparación de la muestra:*** Similar al Método A, pero se determina el volumen desplazado por la muestra en un líquido de desplazamiento.
- b) ***Medición del volumen desplazado:*** Se mide el volumen del líquido desplazado por la muestra.
- c) ***Cálculo de la densidad:*** La densidad se calcula dividiendo la masa de la muestra por el volumen desplazado.

Método C: Método del picnómetro:

- a) ***Preparación de la muestra:*** Se prepara una muestra y se introduce en un picnómetro, un dispositivo que mide el volumen con alta precisión.
- b) ***Medición del volumen en el picnómetro:*** Se mide el volumen de la muestra utilizando el picnómetro.
- c) ***Cálculo de la densidad:*** La densidad se calcula dividiendo la masa de la muestra por el volumen medido en el picnómetro.

Según, ISO 1183 proporciona varias opciones para determinar la densidad de materiales plásticos, permitiendo flexibilidad en función de la naturaleza específica del material y las condiciones de ensayo.

Similitudes:

- ✓ Ambas normas proporcionan métodos para medir la densidad de plásticos sólidos no porosos, incluidas geomembranas.
- ✓ Los métodos básicos en ambas normas implican pesar la muestra en aire y en un líquido de desplazamiento, generalmente agua destilada.

Diferencias:

Normas: ASTM D792 es una norma estadounidense, mientras que ISO 1183 es una norma internacional.

Métodos adicionales: ISO 1183 incluye métodos adicionales como el método del volumen desplazado y el método del picnómetro, ofreciendo mayor versatilidad.

Ambas normas son decisivas para asegurar la calidad y el desempeño de materiales plásticos y geomembranas en aplicaciones industriales y ambientales, proporcionando métodos precisos para la determinación de la densidad, una propiedad fundamental que afecta muchas otras características del material.

2.6.1.4. Resistencia a la tracción

Ensayo de tracción:

Normas aplicables: ASTM D638, ISO 527

– ASTM D638: Ensayo de tracción de plásticos

Según, la norma ASTM D638 proporciona un método para realizar ensayos de tracción en materiales plásticos rígidos y semirrígidos. Este ensayo mide varias propiedades mecánicas, incluyendo la resistencia a la tracción, el alargamiento en la rotura y el módulo de elasticidad.

Procedimiento:

- a) **Preparación de la muestra:** Se moldean o cortan las muestras en una forma específica, generalmente en forma de "hueso de perro" (dog-bone). Las dimensiones de la muestra dependen del tipo de material y del espesor.
- b) **Condicionamiento:** Las muestras se acondicionan a una temperatura y humedad controladas según lo especificado en la norma para asegurar la consistencia en los resultados.
- c) **Montaje en la máquina de ensayo:** Las muestras se montan en una máquina de ensayo de tracción con mordazas que aseguran los extremos de la muestra.
- d) **Aplicación de la carga:** Se aplica una carga de tracción a una velocidad constante hasta que la muestra se rompe. La máquina registra la fuerza aplicada y la elongación de la muestra.
- e) **Cálculo de propiedades mecánicas:** Se calculan la resistencia a la tracción (fuerza máxima), el alargamiento en la rotura (deformación máxima), y el módulo de elasticidad (pendiente de la curva tensión-deformación en la región elástica).

Este ensayo es esencial para determinar las propiedades mecánicas fundamentales de los materiales plásticos, lo que ayuda a evaluar su desempeño bajo carga y su idoneidad para diversas aplicaciones.

– **ISO 527: Determinación de las propiedades de tracción de los plásticos**

La norma ISO 527 proporciona un método para determinar las propiedades de tracción de plásticos. Esta norma es similar a ASTM D638, pero se utiliza a nivel internacional y puede incluir algunas variaciones en los procedimientos y especificaciones.

Procedimiento:

- a) **Preparación de la muestra:**

Las muestras se moldean o cortan en formas específicas según las dimensiones estándar, también en forma de "hueso de perro". Las dimensiones varían según la norma específica utilizada (ISO 527-1, ISO 527-2, etc.).

- b) **Condicionamiento:**

Las muestras se acondicionan a condiciones estándar de temperatura y humedad para asegurar la uniformidad en las pruebas.

c) **Montaje en la máquina de ensayo:**

Las muestras se colocan en una máquina de ensayo de tracción con mordazas que sujetan firmemente los extremos de la muestra.

d) **Aplicación de la carga:**

Se aplica una carga de tracción a una velocidad constante hasta que la muestra se rompe. La máquina de ensayo registra la fuerza aplicada y la elongación.

e) **Cálculo de propiedades mecánicas:**

Se determinan la resistencia a la tracción, el alargamiento en la rotura, y el módulo de elasticidad. Estos se calculan utilizando las mediciones registradas durante el ensayo.

Para, ISO 527 es crucial para la evaluación de las propiedades de tracción de los plásticos a nivel internacional, permitiendo la comparación de resultados entre diferentes laboratorios y regiones.

Similitudes:

- ✓ Ambas normas se utilizan para medir las propiedades de tracción de materiales plásticos.
- ✓ Los procedimientos de ensayo son similares, incluyendo la preparación de muestras, el acondicionamiento, y el uso de máquinas de ensayo de tracción.
- ✓ Ambas normas calculan propiedades mecánicas como la resistencia a la tracción, el alargamiento en la rotura, y el módulo de elasticidad.

Diferencias:

Normas: ASTM D638 es una norma estadounidense, mientras que ISO 527 es una norma internacional.

Dimensiones y especificaciones: Las dimensiones de las muestras y algunos detalles específicos del ensayo pueden variar entre las dos normas.

Condiciones de ensayo: Las condiciones de acondicionamiento y las velocidades de ensayo pueden diferir ligeramente.

Ambas normas son fundamentales para la evaluación de las propiedades mecánicas de los materiales plásticos y geomembranas. Garantizan que los materiales cumplan con los requisitos de desempeño para diversas aplicaciones en ingeniería y fabricación.

2.6.1.5.Elasticidad y flexibilidad

Ensayo de flexibilidad a baja temperatura:

– Normas aplicables: ASTM D2136

Este ensayo mide la flexibilidad de la geomembrana a bajas temperaturas. Una muestra se enfría a una temperatura específica y luego se dobla sobre un mandril de diámetro conocido. Se observa si hay fisuras o rupturas en la muestra.

La norma ASTM D2136 es un estándar que describe el método de prueba para determinar la resistencia al agrietamiento por flexión a baja temperatura de materiales recubiertos y laminados de tejidos. Esta prueba es fundamental para evaluar el comportamiento de los materiales cuando se someten a condiciones de baja temperatura y flexión repetida, lo cual es crucial para su aplicación en entornos fríos.

La prueba ASTM D2136 se realiza de la siguiente manera

Preparación de muestras:

- ✓ Se cortan muestras del material a probar con dimensiones específicas (generalmente rectangulares).
- ✓ El número de muestras y sus dimensiones se especifican en la norma.

Condicionamiento de muestras:

- ✓ Las muestras se acondicionan a una temperatura estándar y una humedad relativa antes de la prueba, según se especifica en la norma.
- ✓ Posteriormente, las muestras se enfrían a una temperatura específica (definida en la norma o según lo acordado por las partes interesadas) durante un tiempo determinado para asegurar que la muestra alcance la temperatura deseada.

Procedimiento de flexión:

Evaluación de resultados:

- ✓ Después de completar el número especificado de ciclos de flexión, las muestras se inspeccionan visualmente para detectar signos de agrietamiento.
- ✓ La inspección puede realizarse a simple vista o utilizando equipos de aumento para detectar grietas más pequeñas.
- ✓ La evaluación se basa en la presencia o ausencia de grietas y, si es necesario, se puede cuantificar el tamaño y la severidad de las grietas.

La importancia de la resistencia al agrietamiento por flexión a baja temperatura es decisiva para materiales utilizados en aplicaciones exteriores y en entornos fríos, tales como:

- ***Tejidos recubiertos y laminados:*** Materiales utilizados en carpas, toldos, cubiertas, y otras estructuras que necesitan mantener su integridad bajo condiciones de frío extremo.
- ***Materiales de construcción:*** Impermeabilizaciones y recubrimientos que deben resistir el agrietamiento debido a la flexión y la contracción térmica en climas fríos.
- ***Textiles industriales:*** Materiales utilizados en aplicaciones industriales que requieren flexibilidad y durabilidad en condiciones de baja temperatura.

Según, ASTM D2136 proporciona un método estándar para evaluar la resistencia al agrietamiento de revestimientos de telas y materiales de revestimiento. Esta prueba es importante para mantener la confiabilidad y el rendimiento de los materiales utilizados en aplicaciones de baja temperatura y para garantizar un rendimiento confiable y duradero incluso en entornos hostiles.

2.6.1.6. Resistencia química

Ensayo de resistencia química:

Normas aplicables: ASTM D543, ISO 175

- **ASTM D543: Prácticas estándar para evaluar la resistencia de los plásticos a los reactivos químicos**

Tiene como objetivo evaluar la resistencia de materiales plásticos a reactivos químicos en condiciones específicas de exposición.

- Aplica para todo tipo de plásticos.
- Mide los efectos de los productos químicos sobre las propiedades físicas y mecánicas de los plásticos.

Procedimientos:

- a) **Preparación de espécimen:** Las muestras de plástico se preparan según dimensiones estándar.
- b) **Exposición:** Las muestras se sumergen en reactivos químicos a concentraciones y temperaturas específicas.
- c) **Las condiciones de exposición:** Las típicas incluyen 7 días a temperatura ambiente o a temperaturas elevadas.
- d) **Evaluación:** Después de la exposición, las muestras se evalúan para detectar cambios en peso, dimensiones, apariencia y propiedades mecánicas (resistencia a la tracción, alargamiento, etc.).
- e) **Interpretación de resultados:** El grado de cambio de propiedades se utiliza para determinar la resistencia química del material plástico.

Aplicaciones:

- Útil para determinar la idoneidad de los plásticos para su uso en entornos donde estarán expuestos a productos químicos.
- Ayuda en la selección de materiales para almacenamiento de productos químicos, tuberías y otras aplicaciones industriales.

– **ISO 175: Plásticos. Métodos de prueba para la determinación de los efectos de la inmersión en productos químicos líquidos.**

Especificar métodos para determinar los efectos de la inmersión en productos químicos líquidos sobre las propiedades físicas de los plásticos.

- Aplicable a todos los materiales plásticos.
- Se centra en los efectos de la inmersión en productos químicos líquidos en lugar de la exposición a vapores o gases.

Procedimientos:

- a) **Preparación de muestra:** A partir del material plástico se preparan probetas estandarizadas.
- b) **Inmersión:** Las muestras se sumergen completamente en los productos químicos líquidos a temperaturas y duraciones específicas.
- c) **Evaluación:**
 - Después de la inmersión, se miden los cambios en propiedades como masa, dimensiones y apariencia.
 - También se pueden probar propiedades mecánicas como la resistencia a la tracción y el alargamiento.
- d) **Interpretación de resultados:** Se analizan los cambios en las propiedades para determinar la resistencia del material a productos químicos específicos.

Ambas normas ASTM D543, ISO 175 ayudan a evaluar la capacidad de los materiales plásticos para aplicaciones que involucren exposición química.

Comúnmente son utilizados en industrias como la automotriz, aeroespacial, de dispositivos médicos y de procesamiento químico.

Comparación de ASTM D543 e ISO 175

- Ambas normas están diseñadas para evaluar la resistencia química de los plásticos, pero la ASTM D543 es específica para reactivos químicos, mientras que la ISO 175 se centra en la inmersión en productos químicos líquidos.

- Ambos implican sumergir muestras de plástico en productos químicos y medir cambios en las propiedades. Sin embargo, las condiciones y metodologías específicas pueden variar.
- Ambos se utilizan en la selección de materiales y control de calidad en industrias donde los plásticos están expuestos a productos químicos.

Ambas normas proporcionan pautas valiosas para evaluar la resistencia química de los plásticos, ayudando a los fabricantes e ingenieros a garantizar la durabilidad y el rendimiento de los materiales plásticos en diversos entornos químicos.

2.6.1.7. Estabilidad UV y resistencia al envejecimiento

Ensayo de estabilidad UV:

Normas aplicables: ASTM D4329, ISO 4892

- ***ASTM D4329: Práctica estándar para la exposición de plásticos a objetos con lámparas fluorescentes ultravioleta (UV)***

Evaluar la resistencia de los plásticos a la degradación por exposición a lámparas fluorescentes UV.

- Aplicable a todos los tipos de plásticos.
- Simula la exposición a la luz solar y la humedad.

Procedimientos:

1. Preparación de muestra:

- Los especímenes de plástico se preparan según dimensiones estándar y se acondicionan adecuadamente.

2. Condiciones de exposición:

- Los especímenes se colocan en una cámara de exposición con lámparas fluorescentes UV.
- Se utilizan ciclos de luz UV y condensación para simular la exposición a la luz solar y la humedad.
- Condiciones típicas: ciclos de 8 horas de luz UV a 60°C seguidos de 4 horas de condensación a 50°C.

3. Evaluación:

- Los especímenes se evalúan después de la exposición para detectar cambios en color, brillo, propiedades mecánicas (tensión, elongación), y otras características.

Resultados e interpretación:

- ✓ La degradación se evalúa comparando los especímenes expuestos con especímenes de control no expuestos.
- ✓ Se registran cambios en propiedades físicas y mecánicas.

– ISO 4892-2: Métodos de exposición a fuentes de luz de laboratorio. Parte 2: Lámparas de arco de xenón.

Evalúa la resistencia de los plásticos a la degradación por exposición a lámparas de arco de xenón.

- ✓ Aplicable a plásticos y otros materiales no metálicos.
- ✓ Simula la exposición completa al espectro solar, incluyendo luz visible e infrarroja.

Procedimientos:

1. Preparación de muestras:

- Los especímenes se preparan según especificaciones estándar.

2. Condiciones de exposición:

- Los especímenes se exponen en una cámara con lámparas de arco de xenón que simulan la luz solar total.
- La exposición incluye ciclos de luz y humedad, controlando parámetros como la temperatura, la humedad relativa y la irradiancia.
- Ejemplo de condiciones: 102 minutos de luz y 18 minutos de luz más rociado de agua, con temperatura de panel negra de 65°C.

Evaluación:

- ✓ Después de la exposición, los especímenes se inspeccionan y se prueban para detectar cambios en propiedades como color, brillo, y resistencia mecánica.

Resultados e interpretación:

- Se analizan los cambios en comparación con especímenes de control para evaluar el grado de degradación.
- Los resultados ayudan a determinar la idoneidad del material para aplicaciones exteriores.

Comparación de ASTM D4329 y ISO 4892-2

- ASTM D4329 utiliza lámparas fluorescentes UV, mientras que ISO 4892-2 utiliza lámparas de arco de xenón que simulan el espectro solar completo.
- Ambos estándares incluyen ciclos de luz y humedad, pero las condiciones específicas (temperatura, duración de los ciclos) pueden variar.

Ambos métodos se utilizan para evaluar la resistencia a la intemperie de plásticos y otros materiales no metálicos, proporcionando datos esenciales para predecir la durabilidad en aplicaciones exteriores.

Aplicaciones de ensayos de estabilidad UV

- Industria Automotriz: Evaluar la resistencia de componentes plásticos y recubrimientos de vehículos.
- Construcción: Probar materiales de construcción como revestimientos, ventanas y selladores.
- Textiles y Muebles para Exteriores: Evaluar la resistencia al descoloramiento y la degradación.
- Electrónica: Ensayar la durabilidad de componentes plásticos en dispositivos expuestos a la luz solar.

Estos ensayos son cruciales para asegurar que los materiales mantengan su integridad y apariencia cuando se usan en aplicaciones que implican exposición a la luz solar y condiciones ambientales adversas.

Ensayo de envejecimiento térmico:

Normas aplicables: ASTM D573, ISO 188

ASTM D573 e ISO 188 son normas que establecen métodos para evaluar la resistencia de los materiales de caucho a la degradación por calor. Estos ensayos son cruciales para determinar la durabilidad y la vida útil de los productos de caucho en aplicaciones donde están expuestos a altas temperaturas.

– ASTM D573: Método de prueba estándar para caucho: deterioro en un horno de aire

Evalúa la resistencia del caucho a la degradación térmica en un horno de aire caliente.

- Aplicable a todos los tipos de caucho.
- Simula la exposición a altas temperaturas en un entorno controlado.

Procedimientos:

1. Preparación de muestra:

- Se preparan especímenes de caucho según dimensiones estándar y se acondicionan adecuadamente.

2. Condiciones de exposición:

- Los especímenes se colocan en un horno de aire caliente.
- La temperatura y la duración de la exposición se especifican según el tipo de caucho y los requisitos del ensayo. Temperaturas típicas pueden variar entre 70°C y 150°C, con duraciones de varias horas a varios días.

3. Evaluación:

- Después de la exposición, se evalúan los especímenes para detectar cambios en propiedades físicas y mecánicas como dureza, resistencia a la tracción, elongación y peso.

Resultados e interpretación:

- La degradación se evalúa comparando los especímenes expuestos con especímenes de control no expuestos.
- Se registran cambios en propiedades clave, que indican la resistencia del material a la degradación térmica.

– ISO 188: Caucho, vulcanizado o termoplástico pruebas de envejecimiento acelerado y resistencia al calor

Evalúa la resistencia del caucho vulcanizado o termoplástico a la degradación por calor en un entorno acelerado.

- Aplicable a caucho vulcanizado y termoplástico.
- Proporciona métodos para evaluar la resistencia a la degradación térmica en condiciones controladas.

Procedimientos:

1. Preparación de muestra:

- Especímenes de caucho se preparan según especificaciones estándar.

2. Condiciones de exposición:

- Los especímenes se colocan en una cámara de envejecimiento acelerado o un horno de aire caliente.
- Las condiciones de exposición (temperatura y duración) se eligen según las especificaciones del material y los requisitos del ensayo. Las temperaturas típicas y duraciones son similares a las utilizadas en ASTM D573.

3. Evaluación:

- Después de la exposición, se inspeccionan los especímenes y se prueban para detectar cambios en propiedades físicas y mecánicas como dureza, resistencia a la tracción y elongación.

Resultados e interpretación:

- Los cambios en las propiedades se comparan con especímenes de control para evaluar el grado de degradación.
- Los resultados ayudan a determinar la idoneidad del material para aplicaciones en las que se esperan altas temperaturas.

Comparación de ASTM D573 y ISO 188

- Ambos estándares están diseñados para evaluar la resistencia del caucho a la degradación térmica, siendo aplicables a una amplia gama de cauchos vulcanizados y termoplásticos.
- Ambos métodos implican la exposición de especímenes de caucho a altas temperaturas en un entorno controlado (horno de aire caliente). Las condiciones específicas (temperatura, duración) pueden variar según el material y los requisitos del ensayo.
- Los métodos de evaluación de cambios en propiedades físicas y mecánicas son similares, permitiendo comparar la resistencia a la degradación térmica de diferentes materiales de caucho.

Aplicaciones de los ensayos de degradación por calor

- **Industria automotriz:** Evaluar componentes de caucho en vehículos, como juntas, mangueras y sellos, que están expuestos a altas temperaturas.
- **Construcción:** Ensayar la durabilidad de materiales de caucho utilizados en sellos y juntas de construcción.
- **Electrónica:** Probar componentes de caucho en dispositivos electrónicos que operan en condiciones de alta temperatura.
- **Aeroespacial:** Evaluar la resistencia a la degradación térmica de materiales de caucho utilizados en aeronaves.

Estos ensayos son esenciales para asegurar que los materiales de caucho mantengan su desempeño y durabilidad en aplicaciones que implican exposición a altas temperaturas.

2.6.1.8. Resistencia a la punción y desgarro

Ensayo de resistencia a la punción:

Normas Aplicables: ASTM D4833, ISO 12236

Los ensayos de punción son esenciales para evaluar la resistencia de geomembranas y geotextiles a daños mecánicos causados por objetos puntiagudos. A continuación, se describen las normas ASTM D4833 e ISO 12236, que especifican los métodos para realizar estos ensayos.

- **ASTM D4833: Método de prueba estándar para índice de resistencia a la punción de geomembranas y productos relacionados.** Determina la resistencia a la punción de geomembranas y productos relacionados utilizando un punzón estándar.

Procedimiento:

a) Preparación de especímenes:

- Se cortan especímenes representativos del material a probar, generalmente de forma cuadrada o rectangular.

b) Condiciones del ensayo:

- **Máquina de ensayo:** Se utiliza una máquina de ensayo con una celda de carga y un punzón estándar.
- **Punzonador:** El punzón tiene un diámetro de 8 mm (0,31 pulgadas) con una punta redondeada.
- **Velocidad de aplicación:** El punzón se aplica a una velocidad de 300 mm/min (12 pulgadas/min).

c) Realización del ensayo:

- El espécimen se coloca sobre un soporte rígido y el punzón se posiciona en el centro.
- Se aplica una carga creciente hasta que el punzón perfora el espécimen.
- Se registra la fuerza máxima aplicada antes de la perforación.

Evaluación y resultados:

- La resistencia a la punción se reporta como la fuerza máxima registrada antes de la perforación del espécimen.
 - Unidad: Se expresa en newtons (N) o libras fuerza (lbf).
- ***ISO 12236: Geotextiles y productos relacionados con geotextiles: prueba de perforación estática (prueba CBR)***
- Determina la resistencia a la punción estática de geotextiles y productos relacionados utilizando un método de ensayo basado en la prueba de California Bearing Ratio (CBR).

Procedimiento:

1. ***Preparación de muestras:*** Se preparan especímenes de geotextiles según las dimensiones especificadas.
2. ***Condiciones del ensayo:***
 - Utiliza una máquina de ensayo con una celda de carga y un punzón.
 - El punzón tiene un diámetro de 50 mm (2 pulgadas).
 - El punzón se aplica a una velocidad de 50 mm/min (2 pulgadas/min).
3. ***Realización del ensayo:***
 - El espécimen se coloca sobre un anillo de soporte y el punzón se posiciona en el centro.
 - Se aplica una carga creciente hasta que el punzón perfora el espécimen.
 - Se registra la fuerza máxima aplicada antes de la perforación.

Evaluación y resultados:

- La resistencia a la punción se reporta como la fuerza máxima registrada antes de la perforación del espécimen.
- Unidad: Se expresa en kilonewtons (kN).

Comparación entre ASTM D4833 e ISO 12236

- ASTM D4833 se centra en geomembranas, mientras que ISO 12236 se aplica a geotextiles y productos relacionados.
- ASTM D4833 utiliza un punzón de 8 mm de diámetro, mientras que ISO 12236 utiliza uno de 50 mm.
- ASTM D4833 utiliza una velocidad de 300 mm/min, mientras que ISO 12236 utiliza 50 mm/min.
- Ambos métodos miden la fuerza máxima antes de la perforación, pero pueden diferir en unidades (newtons para ASTM y kilonewtons para ISO).

Importancia de los ensayos de punción

- ***Evaluación de durabilidad:*** Ayuda a determinar la capacidad del material para resistir perforaciones durante la instalación y el uso.
- ***Selección de materiales:*** Facilita la comparación y selección de geomembranas y geotextiles para aplicaciones específicas.
- ***Control de calidad:*** Asegura que los materiales cumplan con las especificaciones requeridas y sean adecuados para su propósito.

Aplicaciones

Construcción y obras civiles: Utilizado en la evaluación de materiales para revestimientos de vertederos, estabilización de suelos y barreras de impermeabilización.

Proyectos ambientales: Evaluación de geotextiles y geomembranas en aplicaciones de control de erosión, contención de residuos y protección de embalses.

Agricultura: Análisis de geomembranas para lagunas de almacenamiento de agua, canales de riego y otras aplicaciones agrícolas.

Ambos ensayos son fundamentales para garantizar la integridad y el rendimiento de los materiales geosintéticos en diversas aplicaciones industriales y ambientales.

Ensayo de resistencia al desgarro:

Normas aplicables: ASTM D1004, ISO 34-1

Según, ASTM D1004 especifica el método para determinar la resistencia al desgarro (también conocida como resistencia al desgarro de Graves) de películas y láminas plásticas. Este ensayo evalúa la capacidad de un material para resistir el desgarro bajo condiciones específicas de carga y velocidad de aplicación de la fuerza.

Procedimiento del ensayo:

1. Preparación de especímenes:

- Los especímenes se cortan en una forma específica con dimensiones y geometría definidas por la norma.
- Se deben preparar al menos cinco especímenes para obtener resultados estadísticamente significativos.

2. Condiciones del ensayo:

- Se utiliza una máquina de ensayo universal que puede aplicar una carga de tracción controlada a una velocidad constante.
- Las mordazas deben asegurar un agarre adecuado del espécimen sin deslizamiento durante el ensayo.
- La velocidad de ensayo debe ser de 508 mm/min (20 pulgadas/min).

Realización del ensayo:

- Se fija el espécimen en las mordazas de la máquina de ensayo de manera que la dirección de la carga sea perpendicular a la dirección del corte.
- Se aplica una fuerza de tracción constante hasta que el material se rasga completamente.
- Se registra la máxima fuerza de tracción aplicada antes de que se produzca el desgarro completo.

Evaluación y resultados:

- La resistencia al desgarro se calcula dividiendo la fuerza máxima de tracción registrada por el grosor promedio del material.

- Unidad: Se expresa en newtons por milímetro de grosor (N/mm).
- **ISO 34-1: Caucho, vulcanizado o termoplástico - Determinación de la resistencia al desgarro - Parte 1: Piezas de prueba de pantalón, ángulo y media luna**

Según, ISO 34-1 especifica métodos para determinar la resistencia al desgarro de cauchos vulcanizados o termoplásticos mediante el uso de probetas específicas, como las de forma de pantalón, ángulo y creciente.

Procedimiento:

1. Tipos de probetas:

- **Probeta en forma de pantalón:** Se utiliza para materiales más rígidos.
- **Probeta en ángulo:** Se usa para materiales más flexibles.
- **Probeta en forma de creciente:** Proporciona información adicional sobre la resistencia al desgarro de materiales elásticos.

2. Condiciones del ensayo:

- **Máquina de ensayo:** Se utiliza una máquina de ensayo universal que aplica una carga de tracción a una velocidad específica.
- **Velocidad de ensayo:** La velocidad y las condiciones específicas varían según el tipo de probeta utilizada, siguiendo las directrices detalladas en la norma.

3. Realización del ensayo:

- Se coloca la probeta en las mordazas de la máquina de ensayo de acuerdo con las especificaciones de la norma.
- Se aplica una fuerza de tracción controlada hasta que se produce el desgarro completo en el material.
- Se registra la máxima fuerza de tracción aplicada antes del desgarro completo.

Evaluación y resultados:

- Se calcula la resistencia al desgarro dividiendo la máxima fuerza de tracción registrada por el grosor promedio del material.
- Unidad: Se expresa típicamente en newtons por milímetro de grosor (N/mm).

Comparación entre ASTM D1004 e ISO 34-1:

Material de prueba: ASTM D1004 se aplica específicamente a películas y láminas plásticas, mientras que ISO 34-1 se aplica a cauchos vulcanizados o termoplásticos.

Forma de la probeta: ASTM D1004 utiliza una forma estándar rectangular, mientras que ISO 34-1 utiliza probetas en forma de pantalón, ángulo y creciente según la aplicación específica del material.

Velocidad de ensayo: Las velocidades de ensayo pueden variar entre las normas, aunque ambas especifican condiciones de ensayo controladas para garantizar la reproducibilidad de los resultados.

Aplicaciones: ASTM D1004 es relevante para materiales plásticos utilizados en películas y láminas, mientras que ISO 34-1 se aplica específicamente a cauchos y materiales elastoméricos.

Ambos estándares son fundamentales para evaluar la resistencia al desgarro de materiales en diferentes industrias, proporcionando datos cruciales para el diseño y la selección de materiales en diversas aplicaciones industriales y comerciales.

2.6.1.9. Resistencia a la fluencia, resistencia a la rotura, elongación en la fluencia, elongación en la rotura

Norma aplicable: ASTM D6693

Según, ASTM D6693 es un método de prueba estándar desarrollado por ASTM International, titulado "Método de prueba estándar para determinar las propiedades de tracción de geomembranas de polietileno no reforzado y polipropileno flexible no reforzado". Este método de prueba proporciona pautas para evaluar las propiedades de tracción de estas geomembranas, que se utilizan ampliamente en aplicaciones

ambientales y de ingeniería civil, como revestimientos para vertederos, estanques y canales.

Características clave de ASTM D6693:

a) *Alcance:*

- La norma describe procedimientos para medir las propiedades de tracción de geomembranas de polietileno y polipropileno no reforzadas.
- Es aplicable a materiales utilizados en aplicaciones de ingeniería geotécnica, ambiental e hidráulica.

b) *Preparación de muestra:*

- Las muestras generalmente se preparan en forma de mancuerna con dimensiones estándar.
- La norma especifica la cantidad y el tamaño de las muestras necesarias para realizar pruebas precisas.

c) *Condiciones de la prueba:*

- Las pruebas se realizan en condiciones ambientales controladas, generalmente a una temperatura y humedad estándar de laboratorio.
- Las muestras de geomembrana se acondicionan antes de realizar las pruebas para garantizar su consistencia.

d) *Procedimiento de prueba de tracción:*

- Las muestras se colocan en una máquina de ensayo de tracción.
- Se aplica una fuerza de tracción uniaxial hasta que la muestra falla.
- La máquina registra la fuerza y el alargamiento durante todo el ensayo.

e) *Propiedades medidas:*

- Resistencia a la tracción al límite elástico: la tensión a la que el material comienza a deformarse plásticamente.
- Resistencia a la tracción en rotura: la tensión máxima que el material puede soportar antes de romperse.
- Alargamiento de fluencia: La deformación a la que el material comienza a deformarse plásticamente.
- Elongación de rotura: la deformación en el punto de rotura.
- Módulo de tracción: la relación entre tensión y deformación en la región elástica de la curva tensión-deformación.

f) **Cálculos e informes:**

- La norma proporciona fórmulas para calcular las propiedades de tracción a partir de los datos registrados.
- Los resultados se informan en unidades específicas, normalmente megapascals (MPa) para tensión y porcentaje (%) para alargamiento.

Importancia de ASTM D6693:

Control de calidad: Garantiza que los materiales de geomembrana cumplan con los criterios de rendimiento especificados en cuanto a resistencia a la tracción y alargamiento.

Comparación de materiales: permite comparar diferentes materiales de geomembrana en función de propiedades de tracción estandarizadas.

Diseño y especificación: proporciona a ingenieros y diseñadores datos confiables para seleccionar materiales de geomembrana apropiados para aplicaciones específicas.

Según, ASTM D6693 es una norma esencial para fabricantes, ingenieros y laboratorios de control de calidad involucrados en la producción y aplicación de geomembranas.

2.6.1.10. Interacción con el agua

Ensayo de hinchamiento en agua:

- **Norma aplicable: ASTM D5890 (para bentonita en GCL)**

Según, la norma ASTM D5890 es un método de prueba estándar desarrollado por ASTM International, titulado "Método de prueba estándar para el índice de hinchamiento del componente mineral arcilloso de revestimientos de arcilla geo sintética". Este método proporciona un procedimiento para determinar el índice de hinchamiento del componente mineral arcilloso, que es crucial para evaluar la idoneidad de los revestimientos de arcilla geo sintética (GCL) para aplicaciones de contención.

Características clave de ASTM D5890:

Alcance:

- Mide el índice de hinchamiento del componente mineral arcilloso en revestimientos de arcilla geosintética.
- Aplicable a bentonita y otros minerales arcillosos similares utilizados en GCL.

Importancia de la prueba:

- El índice de hinchamiento es una medida de la capacidad de la arcilla para hincharse en presencia de agua, lo que indica su eficacia como material de barrera.
- Un índice de hinchamiento más alto normalmente se correlaciona con mejores propiedades de sellado del GCL.

Preparación de espécimen:

- Se coloca una cantidad específica de arcilla seca en una probeta graduada.
- La arcilla se dispersa en agua desionizada para asegurar un hinchamiento uniforme.

Procedimiento de prueba:

- La muestra se hidrata en la probeta graduada durante un período específico, normalmente 24 horas.
- Se mide el volumen de la arcilla hinchada para determinar el índice de hinchamiento.

Cálculos:

El índice de hinchamiento se calcula como el volumen de arcilla hidratada dividido por la masa de arcilla seca, expresado en mililitros por gramo (mL/g).

Informes:

- Los resultados se expresan como índice de hinchamiento en ml/g.

- El estándar especifica cómo reportar los datos, incluyendo cualquier desviación del procedimiento estándar.

Importancia de ASTM D5890:

Control de calidad: Garantiza que el componente mineral arcilloso de los GCL cumpla con los criterios de rendimiento de hinchamiento requeridos.

Selección de materiales: ayuda a seleccionar minerales arcillosos apropiados para GCL en función de sus propiedades de hinchamiento.

Evaluación de desempeño: proporciona un método confiable para evaluar la efectividad potencial de los GCL para prevenir la migración de fluidos.

Según, ASTM D5890 es una norma esencial para fabricantes, ingenieros y laboratorios de control de calidad involucrados en la producción y aplicación de revestimientos de arcilla geosintética, asegurando que estos materiales funcionen adecuadamente en sus aplicaciones ambientales y de contención previstas.

2.6.1.11. *Contenido de negro de humo*

Norma aplicable: ASTM D 4218

ASTM D 4218 es un método de prueba estándar titulado "Método de prueba estándar para la determinación del contenido de negro de humo en compuestos de polietileno mediante la técnica de horno de mufla". Este método se utiliza ampliamente para determinar la cantidad de negro de humo en compuestos de polietileno, que es crucial para evaluar las propiedades del material, como su resistencia a la radiación UV y su estabilidad térmica.

Procedimiento ASTM D 4218

1. *Preparación de la muestra:*

- Seleccionar y pesar una muestra representativa del compuesto de polietileno.

2. *Calcinación:*

- Colocar la muestra en un crisol adecuado.

- Introducir el crisol en un horno de mufla y calentar a una temperatura específica (normalmente entre 600°C y 650°C).
- Mantener esta temperatura hasta que todo el material orgánico se haya quemado por completo.

3. **Enfriamiento:**

- Retirar el crisol del horno y dejar enfriar en un desecador para evitar la absorción de humedad.

4. **Pesado:**

- Pesar el crisol con el residuo (negro de humo) después de la calcinación.

5. **Cálculo:**

- Calcular el contenido de negro de humo utilizando la fórmula:

$$\text{Contenido de negro de humo (\%)} = \frac{\text{Peso del residuo (negro de humo)}}{\text{Peso inicial de la muestra}} \times 100$$

Consideraciones del método

- **Precisión:** Este método es preciso y proporciona resultados reproducibles.
- **Equipamiento:** Requiere un horno de mufla capaz de alcanzar altas temperaturas y un desecador para enfriar las muestras.
- **Seguridad:** Se deben seguir las normas de seguridad adecuadas al manejar el horno y las muestras calientes.

Aplicaciones

El método ASTM D 4218 se utiliza en una variedad de aplicaciones industriales donde es importante conocer el contenido de negro de humo en los compuestos de polietileno, tales como en la fabricación de tuberías, geomembranas, y otros productos plásticos donde el negro de humo se utiliza como aditivo para mejorar propiedades específicas.

Ventajas

- ***Estandarización:*** Al ser un método estandarizado, los resultados obtenidos son comparables entre diferentes laboratorios y lotes de producción.
- ***Confiabilidad:*** Proporciona una medida confiable del contenido de negro de humo, asegurando que los compuestos cumplen con las especificaciones de calidad requeridas.

Este método es esencial para la industria del plástico y garantiza que los productos finales tengan la calidad y las propiedades necesarias para su uso previsto.

2.6.1.12. Dispersión de negro de humo

Norma aplicada: ASTM D 5596

Según, ASTM D 5596 es el "Método de Prueba Estándar para la Evaluación Microscópica de la Dispersión de Negro de Carbón en Geosintéticos de Poliolefina". Este método se utiliza para evaluar la dispersión del negro de carbón en geosintéticos de poliolefina mediante el uso de la microscopía óptica. La dispersión adecuada del negro de carbón es crucial para garantizar las propiedades deseadas en los productos geosintéticos, como la resistencia a la degradación por rayos UV, la durabilidad y las propiedades mecánicas.

Procedimiento ASTM D 5596

1. Preparación de la muestra:

- ✓ Se selecciona una muestra representativa del geosintético de poliolefina.
- ✓ La muestra se corta en secciones delgadas adecuadas para el análisis microscópico.

2. Examinación microscópica:

- ✓ La muestra preparada se coloca bajo un microscopio óptico.
- ✓ Se ajusta el microscopio para obtener una imagen clara de la dispersión del negro de carbón en la matriz de poliolefina.

3. Evaluación de la dispersión:

- ✓ Se observa la dispersión del negro de carbón en la muestra.

- ✓ Se registran las características de la dispersión, como la uniformidad y la presencia de aglomerados o regiones mal dispersas.

4. Categorización y clasificación:

- ✓ Se clasifica la dispersión del negro de carbón en categorías según criterios específicos establecidos en el estándar.
- ✓ Las categorías pueden incluir grados de dispersión como buena, aceptable o pobre, basados en la distribución y tamaño de las partículas de negro de carbón observadas.

Consideraciones del método

Preparación de muestra: La preparación adecuada de la muestra es fundamental para obtener resultados precisos. Esto incluye cortes precisos y pulido adecuado de la muestra.

Equipamiento: Se requiere un microscopio óptico de alta calidad y, preferiblemente, equipado con un sistema de captura de imágenes para documentar los hallazgos.

Habilidad del operador: El operador debe tener experiencia en la preparación de muestras y en la operación del microscopio para asegurar una evaluación precisa.

Aplicaciones

Este método es especialmente relevante para la industria de geosintéticos, donde se utilizan materiales de poliolefina que contienen negro de carbón. Los geosintéticos se emplean en una variedad de aplicaciones de ingeniería civil, como refuerzo de suelos, barreras de contención y revestimientos de estanques. La dispersión adecuada del negro de carbón es fundamental para asegurar la longevidad y el rendimiento de estos materiales.

Ventajas

- ***Control de calidad:*** Proporciona un medio para evaluar y asegurar la calidad de la dispersión del negro de carbón en productos geosintéticos, lo que es crucial para su desempeño.

- **Optimización del proceso:** Ayuda a los fabricantes a ajustar sus procesos de producción para mejorar la dispersión del negro de carbón y, por lo tanto, las propiedades del producto final.

El método ASTM D 5596 es una herramienta importante para la evaluación y control de la calidad en la producción de geosintéticos de poliolefina, asegurando que el negro de carbón esté adecuadamente disperso para proporcionar las propiedades deseadas de resistencia y durabilidad.

2.6.1.13. OIT Estándar - Tiempo de inducción a la oxidación

Norma aplicada: ASTM D 3895

Según, ASTM D 3895 es el "Método de Prueba Estándar para el Tiempo de Inducción Oxidativa de las Poliolefinas mediante Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)". Este método se utiliza para determinar el tiempo de inducción oxidativa (OIT, por sus siglas en inglés) de las poliolefinas, lo cual es una medida de la estabilidad térmica y la resistencia a la degradación oxidativa del material.

Procedimiento ASTM D 3895

Preparación de la muestra:

- Se corta una muestra representativa de la poliolefina en tamaños adecuados para la prueba DSC.
- La muestra se pesa con precisión y se coloca en una celda de muestra del DSC.

Configuración del instrumento:

- El instrumento DSC se calibra de acuerdo con las especificaciones del fabricante.
- Se purga la cámara de muestra con nitrógeno para eliminar cualquier traza de oxígeno antes del inicio de la prueba.

Ejecutar la prueba:

- Se calienta la muestra a una temperatura específica en una atmósfera de nitrógeno.

- Una vez que se alcanza la temperatura de prueba, se cambia la atmósfera a oxígeno puro o una mezcla de oxígeno.
- El instrumento registra la diferencia de flujo de calor entre la muestra y una referencia inerte.

Determinación del tiempo de inducción oxidativa (OIT):

- El OIT se define como el tiempo desde el inicio de la exposición al oxígeno hasta el inicio de la oxidación, indicado por un aumento exótico en la señal del DSC.
- Este tiempo se mide y se registra.

Consideraciones del método

Precisión y exactitud: La preparación de la muestra y la calibración del instrumento DSC son cruciales para obtener resultados precisos y exactos.

Condiciones de la prueba: La temperatura de prueba y la atmósfera deben controlarse cuidadosamente para asegurar la reproducibilidad de los resultados.

Habilidad del operador: El operador debe estar capacitado en la preparación de muestras y en la operación del DSC para asegurar una evaluación precisa.

El método ASTM D 3895 es ampliamente utilizado en la industria de los plásticos y polímeros para evaluar la estabilidad térmica y la resistencia a la oxidación de las poliolefinas. Esto es particularmente importante para aplicaciones donde los materiales están expuestos a altas temperaturas y ambientes oxidativos, tales como en la industria automotriz, la fabricación de tuberías, y la producción de películas y recubrimientos.

Ventajas

- ✓ ***Control de calidad:*** Proporciona una medida cuantitativa de la estabilidad térmica y la resistencia a la oxidación de las poliolefinas, lo cual es crucial para el control de calidad.
- ✓ ***Desarrollo de materiales:*** Ayuda a los investigadores y desarrolladores a formular materiales con mejores propiedades de estabilidad térmica y resistencia a la degradación.

El método ASTM D 3895 es una herramienta esencial para evaluar la resistencia a la oxidación de las poliolefinas, proporcionando información crítica sobre la durabilidad y la vida útil de estos materiales bajo condiciones de alta temperatura y exposición a oxígeno. La medición del tiempo de inducción oxidativa mediante DSC es fundamental para asegurar que los materiales cumplan con las especificaciones de rendimiento requeridas.

2.6.1.14. *Envejecimiento en horno 85°C OIT estándar, % retenido después de 90 días*

Normas aplicadas: ASTM D 5721 & ASTM D 3895

Los métodos ASTM D 5721 y ASTM D 3895 son prácticas y pruebas estándar importantes para evaluar la estabilidad y la durabilidad de materiales poliméricos, especialmente geomembranas de poliolefina. A continuación, se describe cada uno de estos métodos y cómo se utilizan en conjunto para evaluar las propiedades de envejecimiento y resistencia oxidativa de estos materiales.

- ***ASTM D 5721:*** Práctica estándar para el envejecimiento en horno de aire de geomembranas de poliolefina

Según, ASTM D 5721 se utiliza para evaluar la durabilidad y la resistencia a la oxidación de geomembranas de poliolefina sometiéndolas a condiciones de envejecimiento acelerado en un horno de aire caliente.

Procedimiento:

Preparación de la muestra:

- . Se seleccionan muestras representativas de la geomembrana de poliolefina.
- . Las muestras se cortan en tamaños específicos adecuados para el ensayo.

Condiciones de envejecimiento:

- . Las muestras se colocan en un horno de aire caliente.
- . La temperatura del horno se establece a una temperatura específica (usualmente 85°C) y se mantiene constante.

- . Las muestras se envejecen durante un período determinado, típicamente 90 días.

Evaluación post-envejecimiento:

- . Después del período de envejecimiento, las muestras se retiran del horno y se dejan enfriar a temperatura ambiente.
 - . Las propiedades físicas y químicas de las muestras envejecidas se comparan con las muestras no envejecidas para evaluar los efectos del envejecimiento.
- ***ASTM D 3895:*** Método de prueba estándar para el tiempo de inducción oxidativa de las poliolefinas mediante calorimetría diferencial de barrido

Según, El método ASTM D 3895 se utiliza para determinar el tiempo de inducción oxidativa (OIT) de las poliolefinas mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC), lo cual proporciona una medida de la estabilidad térmica y la resistencia a la oxidación del material.

Procedimiento:

Preparación de la muestra:

- . Se corta una muestra representativa del material polimérico en tamaños adecuados para el análisis de DSC.
- . La muestra se pesa con precisión y se coloca en una celda de muestra del DSC.

Configuración del instrumento:

- . El instrumento DSC se calibra de acuerdo con las especificaciones del fabricante.
- . La cámara de muestra se purga con nitrógeno para eliminar cualquier traza de oxígeno antes del inicio de la prueba.

Ejecutar la prueba:

- . La muestra se calienta a una temperatura específica en una atmósfera de nitrógeno.
- . Una vez que se alcanza la temperatura de prueba, se cambia la atmósfera a oxígeno puro o una mezcla de oxígeno.

- . El instrumento registra la diferencia de flujo de calor entre la muestra y una referencia inerte.

Determinación del tiempo de inducción oxidativa (OIT):

- . El OIT se define como el tiempo desde el inicio de la exposición al oxígeno hasta el inicio de la oxidación, indicado por un aumento exotérmico en la señal del DSC.
- . Este tiempo se mide y se registra.

Para evaluar la estabilidad a largo plazo de las geomembranas de poliolefina, se pueden combinar ambas prácticas y métodos de la siguiente manera:

Envejecimiento acelerado (ASTM D 5721):

- . Se envejecen las muestras de geomembrana en un horno de aire a 85°C durante 90 días.

Evaluación de OIT (ASTM D 3895):

- . Se mide el OIT inicial de las muestras antes del envejecimiento.
- . Después del envejecimiento, se mide el OIT de las muestras envejecidas.
- . Se calcula el porcentaje de OIT retenido para evaluar la resistencia a la oxidación del material.

Cálculo del % de OIT retenido:

$$\text{Porcentaje de OIT retenido (\%)} = \frac{\text{OIT después del envejecimiento}}{\text{OIT inicial}} \times 100$$

Este enfoque combinado es fundamental para asegurar que las geomembranas de poliolefina sean duraderas y resistentes a la degradación oxidativa cuando se utilizan en aplicaciones críticas, como revestimientos de vertederos, contención de residuos y otras infraestructuras ambientales.

Ventajas

Evaluación completa: Proporciona una visión completa de la durabilidad y la resistencia oxidativa del material.

Aceleración del proceso: Permite obtener resultados más rápidos sobre la estabilidad a largo plazo mediante envejecimiento acelerado.

La práctica ASTM D 5721 y el método de prueba ASTM D 3895, cuando se utilizan juntos, ofrecen una evaluación exhaustiva de la estabilidad térmica y la resistencia a la oxidación de las geomembranas de poliolefina. Estos métodos son cruciales para garantizar la calidad y la durabilidad de los materiales poliméricos utilizados en aplicaciones ambientales y de ingeniería civil.

2.6.1.15. Resistencia UV HPOIT % retenido, después de 1600 horas

Normas aplicadas: ASTM D 7238 & ASTM D 5885

Los métodos ASTM D 7238 y ASTM D 5885 son importantes para evaluar la resistencia y la estabilidad a largo plazo de geomembranas de poliolefina cuando se exponen a condiciones ambientales adversas. A continuación, se describen ambos métodos y cómo se utilizan en conjunto para evaluar la durabilidad de estos materiales.

- ***ASTM D 7238:*** Método de prueba estándar para el efecto de la exposición de geomembrana de poliolefina no reforzada utilizando un aparato de condensación UV fluorescente

Este método se utiliza para evaluar la resistencia al envejecimiento de las geomembranas de poliolefina no reforzadas cuando se exponen a la luz UV y a condiciones de condensación en un aparato de exposición UV fluorescente.

Procedimiento:

Preparación de la muestra: Seleccionar y cortar muestras representativas de la geomembrana de poliolefina.

Condiciones de exposición:

- . Colocar las muestras en un aparato de exposición UV fluorescente.
- . Las condiciones típicas incluyen ciclos alternados de exposición a luz UV y condensación de agua para simular el envejecimiento acelerado debido a la luz solar y la humedad.

Duración de la exposición:

- Las muestras se exponen durante un período específico (por ejemplo, 1000 horas) para evaluar el efecto de la exposición prolongada.

Evaluación post-exposición:

Después del período de exposición, las muestras se evalúan para detectar cambios en propiedades físicas y químicas, como la resistencia a la tracción, el alargamiento y la apariencia superficial.

– ASTM D 5885: Método de prueba estándar para el tiempo de inducción oxidativa de geosintéticos de poliolefina mediante calorimetría de barrido diferencial de alta presión (HP-DSC)

Este método se utiliza para determinar el tiempo de inducción oxidativa (OIT) de geosintéticos de poliolefina mediante calorimetría de barrido diferencial de alta presión (HP-DSC), proporcionando una medida de la estabilidad térmica y la resistencia a la oxidación.

Procedimiento:

Preparación de la muestra:

- Seleccionar y cortar una muestra representativa del geosintético de poliolefina.
- Pesar la muestra y colocarla en una celda de muestra del HP-DSC.

Configuración del instrumento:

- Calibrar el HP-DSC de acuerdo con las especificaciones del fabricante.
- Purgar la cámara de muestra con nitrógeno para eliminar cualquier traza de oxígeno.

Ejecutar la prueba:

- Calentar la muestra a una temperatura específica en una atmósfera de nitrógeno.
- Cambiar la atmósfera a oxígeno puro o una mezcla de oxígeno cuando se alcance la temperatura de prueba.
- Registrar la diferencia de flujo de calor entre la muestra y una referencia inerte.

Determinación del tiempo de inducción oxidativa (OIT):

- El OIT se define como el tiempo desde el inicio de la exposición al oxígeno hasta el inicio de la oxidación, indicado por un aumento exotérmico en la señal del DSC.
- Medir y registrar el OIT.

Integración de ASTM D 7238 y ASTM D 5885

Para evaluar la durabilidad de geomembranas de poliolefina bajo condiciones ambientales adversas, se pueden combinar estos métodos de la siguiente manera:

Exposición UV (ASTM D 7238):

- Exponer las muestras de geomembrana en un aparato de condensación UV fluorescente durante un período específico para simular el envejecimiento debido a la luz solar y la humedad.

Evaluación de OIT (ASTM D 5885):

- Medir el OIT inicial de las muestras antes de la exposición UV.
- Después de la exposición UV, medir el OIT de las muestras expuestas.
- Comparar el OIT antes y después de la exposición para evaluar la resistencia a la oxidación del material bajo condiciones de envejecimiento acelerado.

Estos métodos se emplean juntos para garantizar que las geomembranas de poliolefina utilizadas en aplicaciones críticas, como revestimientos de vertederos y contención de residuos, tengan una durabilidad adecuada y puedan resistir la degradación ambiental a largo plazo.

Ventajas

Evaluación completa: Proporciona una visión integral de la resistencia a la luz UV y la estabilidad térmica y oxidativa del material.

Aceleración del proceso: Permite obtener resultados más rápidos sobre la estabilidad a largo plazo mediante condiciones aceleradas de exposición.

En conclusión, Los métodos ASTM D 7238 y ASTM D 5885, cuando se utilizan juntos, ofrecen una evaluación exhaustiva de la durabilidad y la resistencia a la oxidación de geomembranas de poliolefina bajo condiciones ambientales adversas. Estas pruebas son

cruciales para asegurar la calidad y la longevidad de los materiales poliméricos utilizados en aplicaciones de ingeniería civil y medioambientales.

2.6.1.16. Resistencia al desgarro

Normas aplicadas: ASTM D4437

Según, La norma ASTM D4437 es una práctica estándar para determinar la integridad de las costuras de campo utilizadas en la unión de geomembranas de láminas poliméricas flexibles. Esta norma establece los métodos y procedimientos necesarios para evaluar y asegurar la calidad de las costuras, garantizando que las uniones sean seguras y efectivas.

Los objetivos de ASTM D4437:

- ***Evaluación de la integridad:*** Verificar que las costuras soldadas en campo cumplen con los estándares de calidad para evitar fugas.
- ***Métodos de ensayo:*** Proporcionar procedimientos específicos tanto destructivos como no destructivos para probar las costuras.
- ***Criterios de aceptación:*** Definir los estándares mínimos que deben cumplir las costuras para ser consideradas adecuadas.

Métodos de ensayo

Ensayos no destructivos

- ***Prueba de vacío:*** Utiliza una caja de vacío para detectar fugas observando la formación de burbujas en una solución jabonosa aplicada sobre la costura.
- ***Prueba de aire a presión:*** Se infla un canal de la costura con aire y se mide la presión para detectar posibles fugas.
- ***Prueba de chispa o alta tensión:*** Se pasa una sonda de alta tensión sobre la costura para identificar puntos defectuosos donde la chispa atraviesa el material.

Ensayos destructivos

- ***Ensayo de tracción:*** Se corta una muestra de la costura y se somete a un ensayo de tracción para medir la resistencia de la unión.
- ***Ensayo de pelado:*** Se mide la fuerza necesaria para separar las dos capas de la geomembrana unidas por la costura.

La implementación de la norma ASTM D4437 es importante en proyectos donde la integridad de la geomembrana es fundamental para la protección del medio ambiente y la seguridad. Las costuras defectuosas pueden provocar filtraciones, resultando en contaminación del suelo y del agua, así como en pérdidas económicas significativas. Por lo tanto, esta norma proporciona una guía detallada para asegurar que las costuras se realicen y prueben adecuadamente, minimizando el riesgo de fallos en la contención.

En conclusión, según, La norma ASTM D4437 es esencial para ingenieros, contratistas y técnicos involucrados en la instalación de geomembranas. Proporciona los procedimientos necesarios para garantizar la calidad y seguridad de las costuras de campo, asegurando la efectividad y durabilidad de las geomembranas en diversas aplicaciones.

Estos métodos de análisis fisicoquímico son esenciales para garantizar que las geomembranas cumplan con los requisitos de diseño y desempeño para aplicaciones específicas. Los ensayos proporcionan datos críticos sobre las propiedades físicas, químicas y mecánicas de las geomembranas, ayudando a ingenieros y técnicos a seleccionar y utilizar estos materiales de manera efectiva y segura.

2.6.2. Economía circular

Según Cerda, la economía circular. Se conoce desde el año 1989. El libro de fear. La importancia del uso de los recursos naturales y del medio ambiente. No solo se enfoca en el ámbito climático, sino también en el ámbito político, económico, empresarial y social.

Le economía circular. Es un signo de desarrollo continuo positivo que preserva y aumenta el capital natural. usando el rendimiento de los recursos. Y minimizando los riesgos, La economía circular. Se apoya en 3 principios.

Primer principio. Preservar y aumentar el capital natural. Controlado los stocks. Finito de equilibrando. Los residuos de unos se convierten en recursos para otros.

Segundo principio. La optimización. Del rendimiento de los recursos. Circulando los productos. Componentes y materiales en su nivel más alto de su utilidad.

Tercer principio. Promover la efectividad. Del sistema. Reduciendo el daño. Causado. Por el área.

La economía circular aplicada a las geomembranas en la minería busca maximizar la reutilización, el reciclaje y la recuperación de materiales, con el objetivo de extender su vida útil y disminuir su impacto ambiental. Se pueden adoptar diversas estrategias:

1. **Reutilización:** Las geomembranas en buen estado pueden ser empleadas en otros proyectos mineros o en aplicaciones industriales que requieran impermeabilización, como la construcción de embalses o obras civiles.
2. **Reciclaje:** Una vez que las geomembranas alcanzan el final de su vida útil, se pueden reciclar. Esto puede implicar procesos mecánicos, donde se trituran para convertirlas en materia prima, o químicos, descomponiéndolas en componentes básicos para su reutilización en nuevos materiales.
3. **Recuperación de energía:** Algunas geomembranas contienen materiales que pueden ser utilizados para generar energía mediante procesos de incineración controlada o gasificación.
4. **Diseño ambientalmente consciente:** Se puede adoptar un diseño que facilite el desmontaje y la separación de materiales al final de la vida útil de las geomembranas, simplificando así su reciclaje y recuperación de recursos.
5. **Responsabilidad del fabricante:** Los fabricantes pueden asumir la responsabilidad de gestionar el ciclo completo de vida de las geomembranas, desde la producción hasta su disposición final, incentivando la reutilización, el reciclaje y la recuperación de energía.

La implementación exitosa de estas prácticas requiere la colaboración entre diversos actores, como empresas mineras, fabricantes de geomembranas, reguladores y organizaciones de reciclaje, además de inversiones en tecnologías y procesos que faciliten la reutilización y el reciclaje de estos materiales.

CAPITULO III: PARTE EXPERIMENTAL

Se analizó los resultados de los ensayos que brindó SLab Perú para discutir y determinar la calidad en las geomembranas, para cada uno de sus factores que determinen el impacto en la calidad.

Tabla 10

Ensayos para control de la calidad en la geomembrana

Ensayos de control de calidad en geomembrana	
<u>Ensayo de espesor nominal</u>	ASTM D5199 - Método de prueba estándar para medir el espesor nominal de geosintéticos
<u>Propiedades de tracción</u>	
Resistencia a la fluencia	ASTM D6693 - Método de prueba estándar para determinar las propiedades de tracción de geomembranas de polietileno no reforzado y polietileno flexible no reforzado.
Resistencia a la rotura	
Elongación en la fluencia	
Elongación en la rotura.	
<u>Envejecimiento UV</u>	ASTM D4355 - Método de prueba estándar para el deterioro de geotextiles por exposición a la luz, la humedad y el calor en un aparato de tipo arco de xenón
<u>Resistencia al punzonamiento</u>	ASTM D4833 - Método de prueba estándar para determinar la resistencia a la punción de geomembranas y productos relacionados

Nota. SLab Perú 2023, Elaboración propia

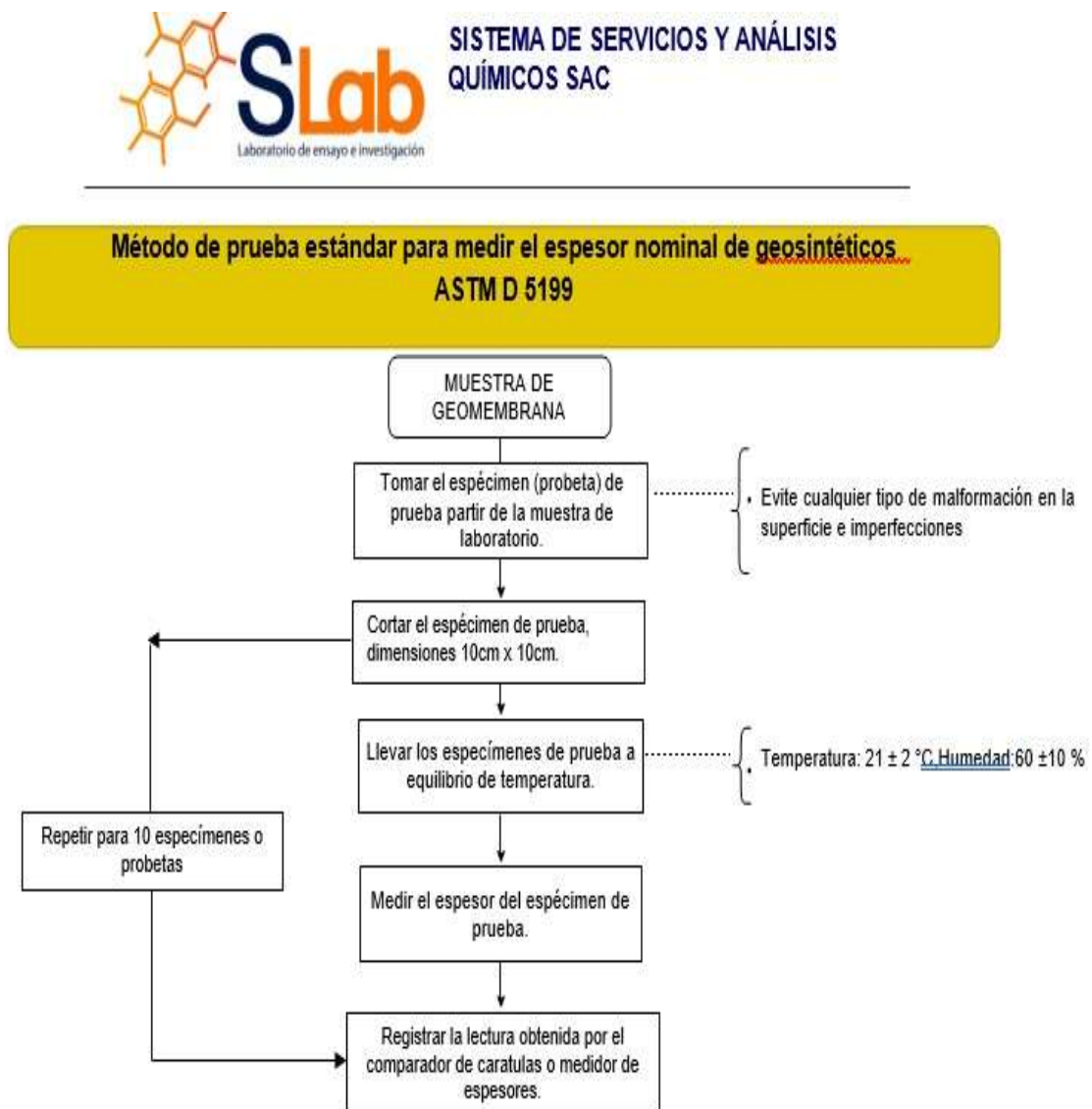
3.1. Método de ensayo para medir el espesor nominal de geomembrana ASTM D5199

La norma ASTM D5199 proporciona un método para medir el espesor de los geosintéticos, incluidos geotextiles, geomembranas y otros productos relacionados. Esta medición es fundamental para determinar las propiedades físicas y mecánicas del material.

3.1.1. Procedimiento para la medición de espesor nominal de geomembrana

Figura 2

Diagrama de procedimiento del ensayo ASTM D5199



Nota: Método de ensayó estándar para medir el espesor nominal de los geosintéticos.

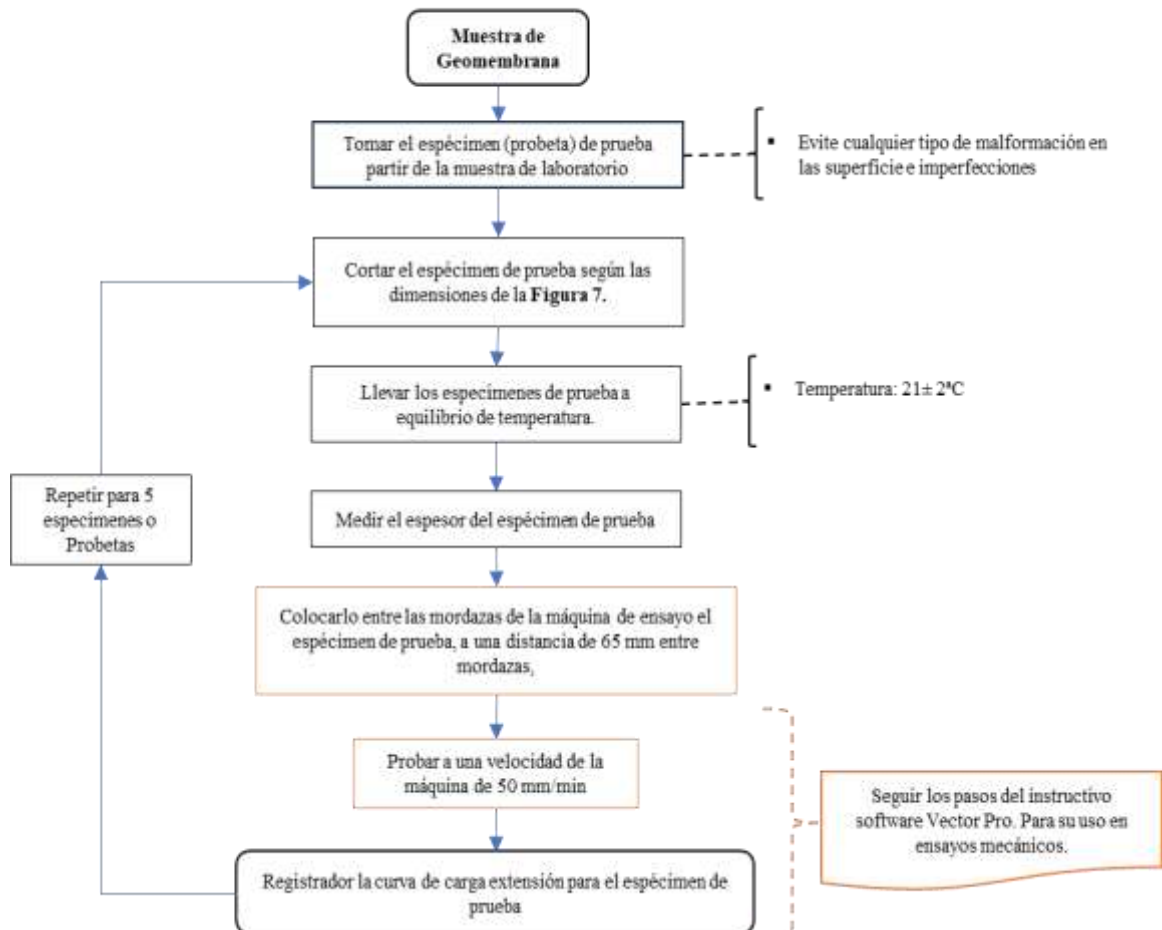
3.2. Método de ensayo para determinar las propiedades de tracción de geomembranas de polietileno no reforzado y polietileno flexible no reforzado ASTM D6693

Según, ASTM D6693 es un método de prueba estándar desarrollado por ASTM International, titulado "Método de prueba estándar para determinar las propiedades de tracción de geomembranas de polietileno no reforzado y polipropileno flexible no reforzado". Este método de prueba proporciona pautas para evaluar las propiedades de tracción de estas geomembranas, que se utilizan ampliamente en aplicaciones ambientales y de ingeniería civil, como revestimientos para vertederos, estanques y canales.

3.2.1. Procedimiento para la medición de rotura y elongación de geomembrana

Figura 3

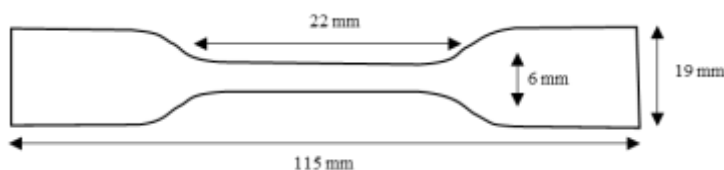
Diagrama de procedimiento del ensayo ASTM D6693



Nota: Método de ensayo estándar para determinar las propiedades de tracción de las geomembranas de polietileno no reforzado y de polipropileno flexible no reforzado

Figura 4

Dimensiones del espécimen (probeta) de la muestra



Nota. SLab Perú 2023, Elaboración propia.

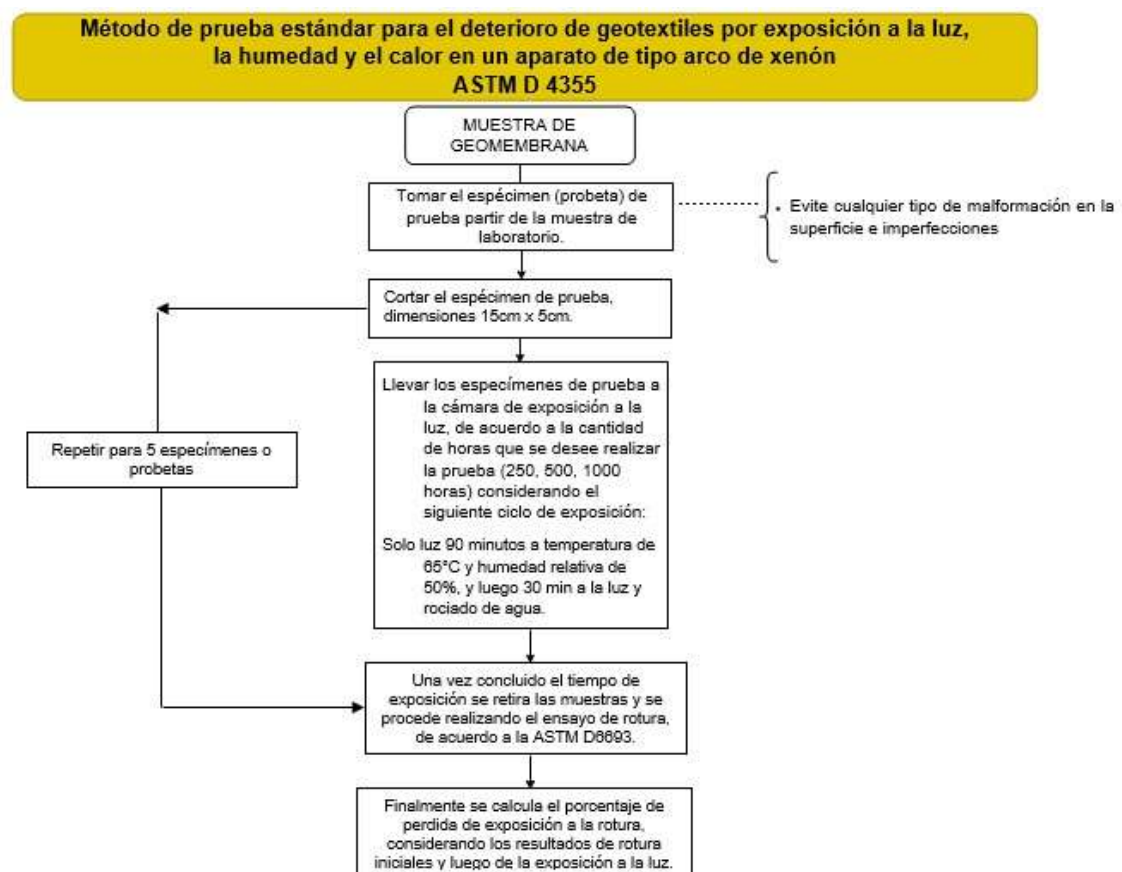
3.3. Método de ensayo para el deterioro de geotextiles por exposición a la luz, la humedad y el calor en un aparato de tipo arco de xenón ASTM D4355

Este método tiene por objeto inducir cambios en las propiedades asociados a las condiciones de uso final, incluidos los efectos de la radiación solar, la humedad y el calor.

3.3.1. Procedimiento para la medición de exposición a la luz de geomembrana

Figura 5

Diagrama de procedimiento de ensayo ASTM D4355



Nota: Método de prueba estándar para el deterioro de geotextiles por exposición a la luz, la humedad y el calor en un aparato de tipo arco de xenón

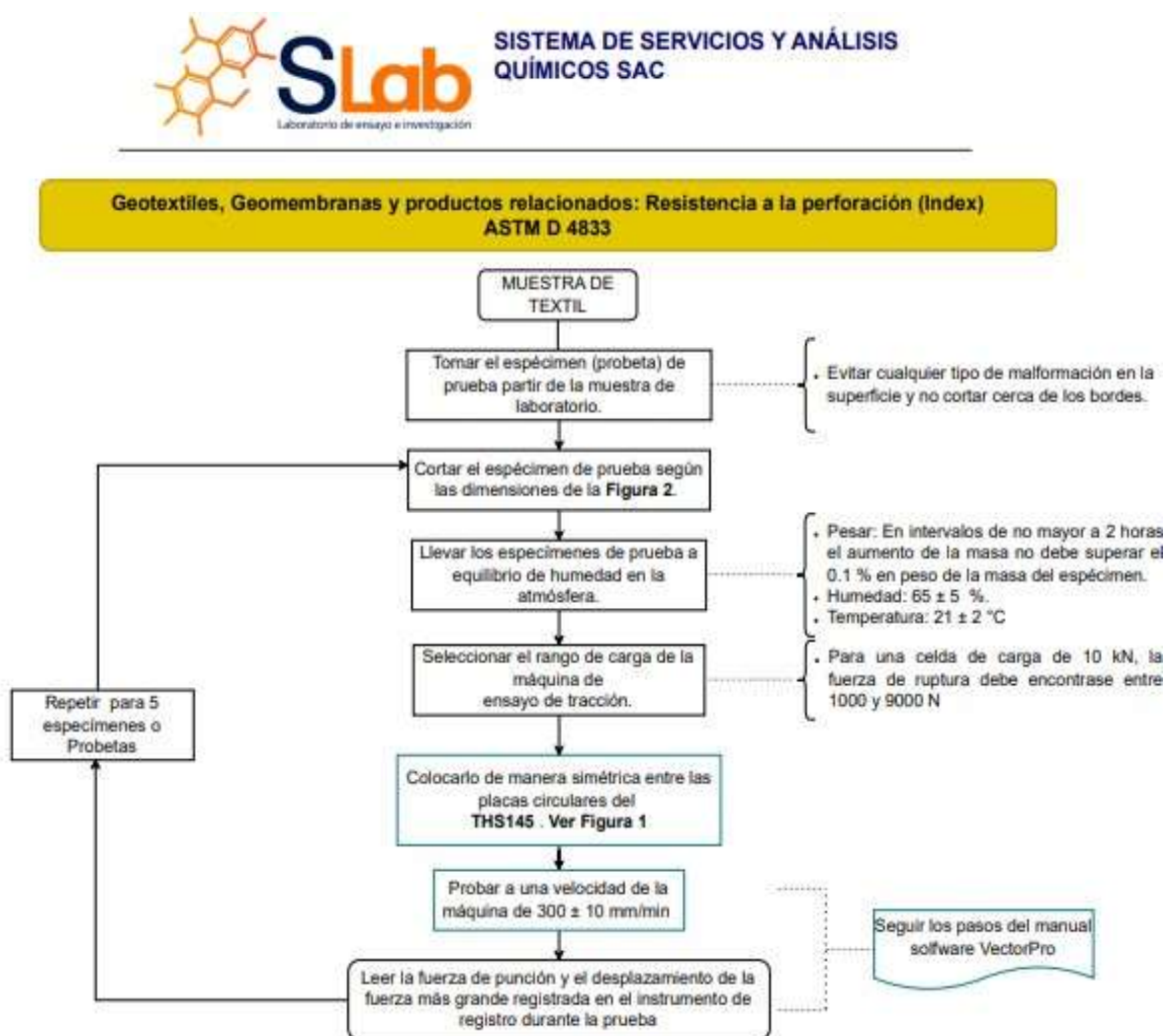
3.4. Método de ensayo para determinar la resistencia a la punción de geomembranas y productos relacionados ASTM D4833

Los ensayos de punción son esenciales para evaluar la resistencia de geomembranas y geotextiles a daños mecánicos causados por objetos puntiagudos. A continuación, se describen las normas ASTM D4833 e ISO 12236, que especifican los métodos para realizar estos ensayos.

3.4.1. Procedimiento para la medición de resistencia a la punción de geomembrana

Figura 6

Diagrama de procedimiento del ensayo ASTM D4833



Nota. SLab Perú 2023, Elaboración propia.

Figura 7

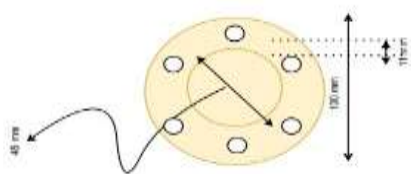
Accesorio para ensayos de punción en ATM D4833



Nota. SLab Perú 2023, Elaboración propia.

Figura 8

Dimensiones de la probeta de muestra que se coloca en el aro concéntrico.



Nota: Método de prueba estándar para determinar la resistencia a la perforación de geomembranas y productos relacionados. SLab Perú 2023, Elaboración propia.

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados y discusiones de medición de espesor nominal, ASTM D5199

De acuerdo a los resultados de la tabla 11, podemos mencionar que los valores de espesor obtenidos de cada probeta presentan una variación, debido a que las geomembranas pueden presentar variabilidad por grosor, debido a los procesos de extrusión, variaciones en la temperatura y presión. El valor del espesor es importante porque determina la capacidad de la geomembrana para resistir tensiones mecánicas, químicas y el tiempo de exposición a las condiciones ambientales.

En la tabla 11, se puede observar el resultado promedio de las mediciones de espesor y el valor mínimo aceptable por la norma, donde se infiere que el valor promedio obtenido por el ensayo es superior al valor mínimo establecido por la norma; por lo tanto, el espesor de la geomembrana es aceptado para su continuo uso.

Tabla 11

Resultados obtenidos de espesor

Parámetro	Unidad	Número de Probeta	Resultados	Valor Promedio	Valor Mínimo aceptado por norma
Espesor	mm	1	0,98	0,97	0,90
		2	0,93		
		3	0,95		
		4	0,95		
		5	1,04		
		6	0,97		
		7	0,91		
		8	0,99		
		9	1,02		
		10	0,94		

Nota: La medición precisa del espesor es crucial para asegurar que el material cumpla con las especificaciones de diseño y para evaluar su desempeño en aplicaciones específicas. SLab Perú 2023, Elaboración propia

Figura 9

Medidor de espesores.



Nota. SLab Perú 2023, Elaboración propia

4.2. Resultados y discusiones de medición de rotura y elongación, ASTM D6693

La evaluación de propiedades mecánicas realizadas de acuerdo a la norma ASTM D6693, son bastante importantes en la calidad de una geomembrana.

La resistencia y elongación a la rotura, es determinante en la durabilidad y confiabilidad de la geomembrana en condiciones de uso real. Si el material muestra buena elongación sin fracturas, es un indicativo de poder soportar movimientos térmicos o de suelos sin perder funcionalidad.

La resistencia y elongación a la fluencia, es crucial para evaluar la durabilidad y la resistencia mecánica de las geomembranas bajo condiciones de carga prolongada.

En la tabla 12, tabla 13, tabla 14 y tabla 15 se pueden observar los resultados obtenidos de los ensayos de medición, considerando la cantidad de probetas especificadas en la norma.

En la tabla 12 se presenta el valor promedio de la resistencia a la rotura y el valor mínimo aceptado por la norma, donde se puede mencionar que el resultado promedio es superior a lo establecido por la norma, se puede inferir que la geomembrana posee una resistencia a la rotura aceptable.

En la tabla 13 se presenta el valor promedio de la elongación a la rotura y el valor mínimo aceptado por la norma, donde se puede mencionar que el resultado promedio es superior a lo establecido por la norma, por lo que la geomembrana soportará efectos térmicos sin presentar fracturas.

En la tabla 14 se presenta el valor promedio de la resistencia a la fluencia y el valor mínimo aceptado por la norma, donde se puede mencionar que el resultado promedio es superior en tres veces su valor a lo establecido por la norma, se puede inferir que la geomembrana posee una resistencia a la fluencia adecuada por lo que soportará cargas prolongadas sin un efecto significativo en la geomembrana.

En la tabla 15 se presenta el valor promedio de la elongación a la fluencia y el valor mínimo aceptado por la norma, donde se puede mencionar que el resultado promedio es superior en dos veces su valor a lo establecido por la norma, se puede inferir que la geomembrana posee una elongación a la fluencia donde su durabilidad no se verá afectada.

Tabla 12

Resultados de resistencia a la rotura

Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Valor Promedio	Valor Mínimo aceptado por norma
Resistencia a la Rotura	kN/ m	1	33,840	37,138	27
		2	42,354		
		3	34,866		
		4	36,306		
		5	38,322		

Nota. SLab Perú 2023, Elaboración propia.

Tabla 13*Resultados de elongación en la rotura*

Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Valor Promedio	Valor Mínimo aceptado por norma
Elongación en la Rotura	%	1	1018,78	987,07	700
		2	1152,84		
		3	808,76		
		4	957,61		
		5	997,33		

Nota. SLab Perú 2023, Elaboración propia.**Tabla 14***Resultados de resistencia a la fluencia.*

Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Valor Promedio	Valor Mínimo aceptado por norma
Resistencia a la Fluencia	kN/ m	1	34,318	40,649	15
		2	40,460		
		3	45,695		
		4	42,310		
		5	40,463		

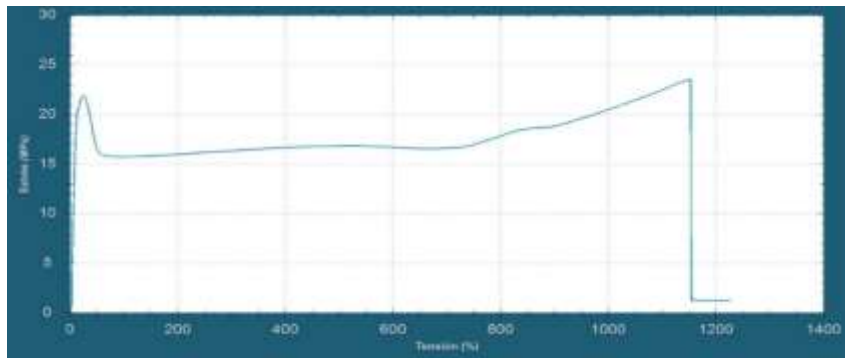
Nota. SLab Perú 2023, Elaboración propia.**Tabla 15***Resultados de elongación en la fluencia*

Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Valor Promedio	Valor Mínimo aceptado por norma
Elongación en la Fluencia	%	1	24,82	22,73	12
		2	24,53		
		3	19,98		
		4	21,97		
		5	22,37		

Nota. SLab Perú 2023, Elaboración propia.

Figura 10

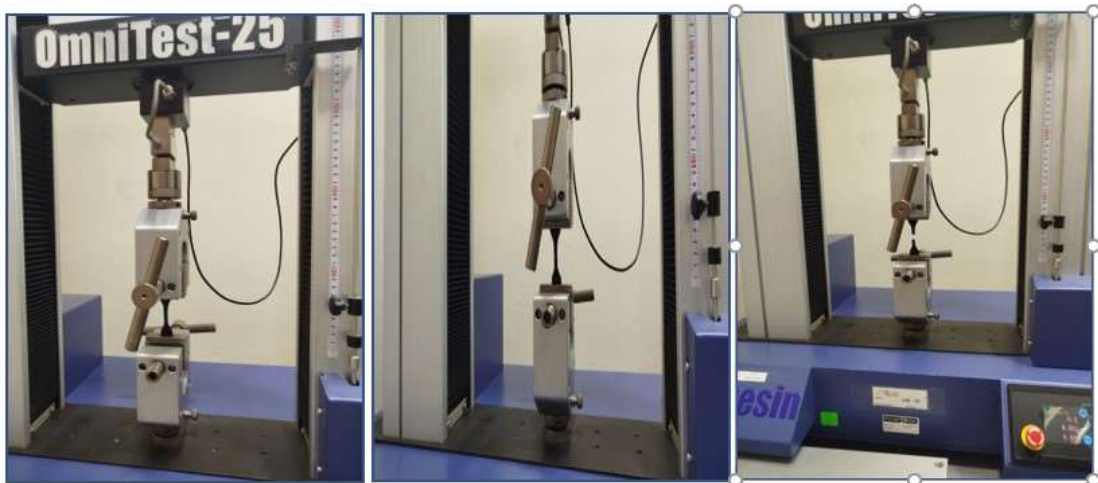
Grafica de elongación en la fluencia.



Nota. SLab Perú 2023, Elaboración propia

Figura 11

Imágenes de la resistencia a la rotura y tensión



Nota. SLab Perú 2023, Elaboración propia.

4.3. Resultados y discusiones de medición de rotura después de exposición a la luz UV, ASTM D4355

La exposición a la luz puede alterar las propiedades físicas de la geomembrana, como su resistencia a la tracción, elongación en ruptura, y módulo de elasticidad. A través de la exposición UV, las geomembranas pueden sufrir alteraciones en la superficie, como la formación de grietas o pérdida de color. Estas alteraciones pueden ser un indicio de una foto degradación, que afecta la vida útil del material.

La tabla 12 muestra los resultados iniciales de rotura y la tabla 16 muestra los resultados de los ensayos resistencia de rotura, que se obtuvieron después de una exposición a la luz UV de la geomembrana.

Los valores reportados en la tabla 16 son menores a los resultados de rotura obtenidos antes de la exposición UV que se observa en la tabla 12.

La tabla 17 muestra los resultados de resistencia UV después de 500 horas de exposición, evidenciando que el material presenta valores de degradación que se encuentran en el rango aceptado por la norma, podemos mencionar que la degradación evidenciada en la geomembrana es mínima y puede seguir en uso manteniendo estándares de calidad.

Tabla 16

Resultados de resistencia a la rotura después de exposición a la luz UV a 500 horas

Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Valor Promedio	Valor Mínimo aceptado por norma
Resistencia a la Rotura después de exposición UV a 500 horas	kN/ m	1	30,053	29,304	27
		2	28,670		
		3	29,481		
		4	30,269		
		5	28,048		

Nota. SLab Perú 2023, Elaboración propia

Tabla 17*Resultados de resistencia UV, después de 500 horas*

Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Valor Promedio	Valor Mínimo aceptado por norma
Resistencia UV (% retenido después de 500 horas)	%	1	88,809	79,524	50
		2	67,691		
		3	84,555		
		4	83,372		
		5	73,190		

Nota. SLab Perú 2023, Elaboración propia.

4.4. Resultados y discusiones de medición de resistencia a la punción, ASTM D4833

En este ensayo se evalúa la capacidad de resistencia a la perforación de una geomembrana cuando se aplica cierta carga en un área determinada. Esta propiedad es crucial para garantizar la integridad estructural de la geomembrana en aplicaciones como la contención de líquidos o sólidos en vertederos, estanques de almacenamiento, etc. La resistencia a la punción se mide en términos de la fuerza máxima aplicada antes de que se produzca la perforación. El valor más alto indica una mayor resistencia del material a la penetración, lo que generalmente implica una mayor durabilidad y adecuación para aplicaciones en condiciones exigentes.

La tabla 18 muestra los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la punción, donde el valor promedio de los resultados es superior al valor mínimo establecido por la Norma, podemos mencionar que la resistencia a la punción de la geomembrana evaluada es adecuada y puede seguir en uso.

Tabla 18

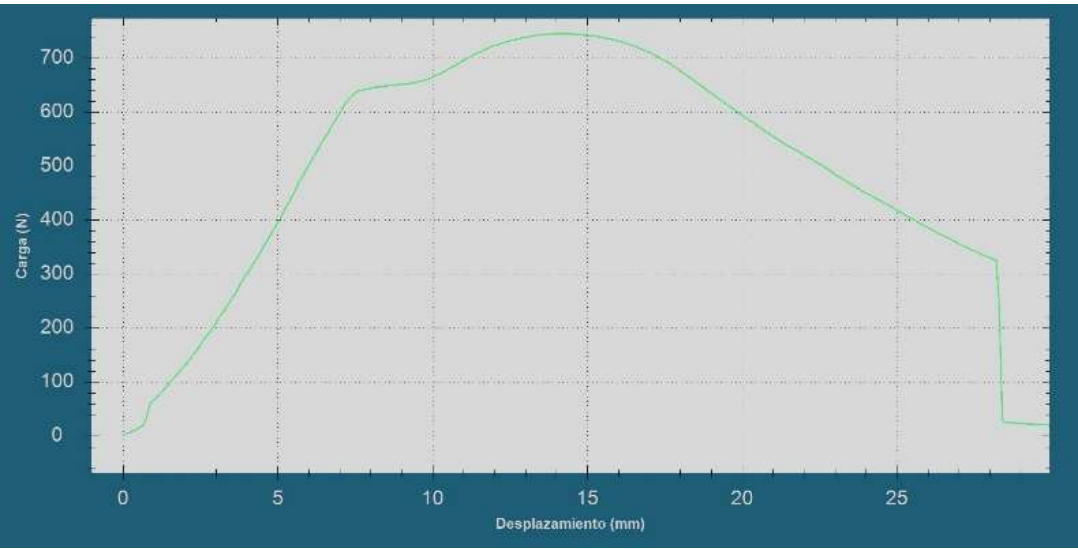
Resultados obtenidos de resistencia a la punción

Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Valor Promedio	Valor Mínimo aceptado por norma
Resistencia al punzonamiento	N	1	744,509	746,553	350
		2	731,266		
		3	751,764		
		4	755,676		
		5	749,552		

Nota: SLab Perú 2023, Elaboración propia.

Figura 12

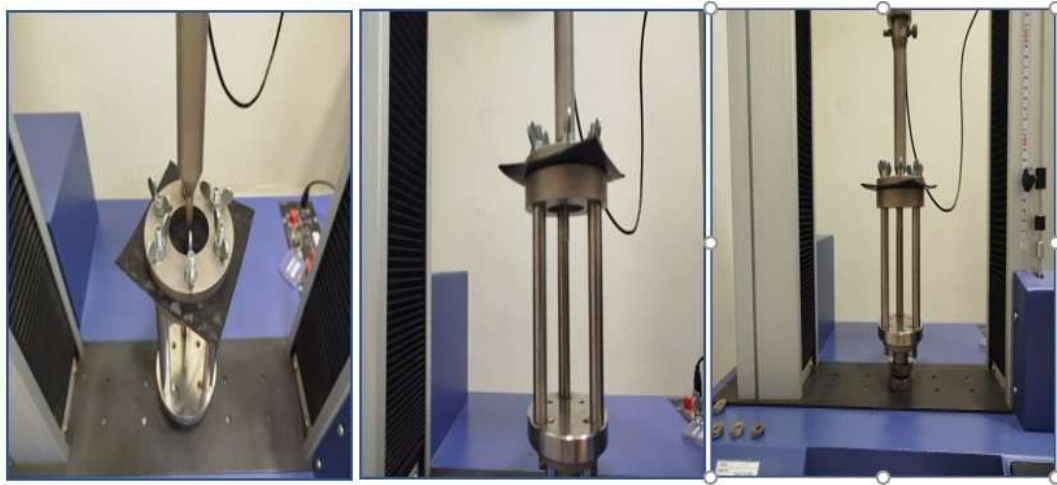
Gráfica de resistencia al punzonamiento



Nota. SLab Perú 2023, Elaboración propia.

Figura 13

Resistencia al punzonamiento



Nota. SLab Perú 2023, Elaboración propia

Tabla 19

Resumen de la comparación de resultados obtenidos con los valores mínimos aceptables por normas

Parámetro	Unidad	Resultado promedio	Valor Mínimo Aceptable	Conclusión
Espesor	mm	0,970	0,900	CUMPLE
Resistencia a la Rotura	kN/m	37,138	27	CUMPLE
Elongación en la Rotura	%	987,07	700	CUMPLE
Resistencia a la Fluencia	kN/m	40,649	15	CUMPLE
Elongación en la Fluencia	%	22,73	12	CUMPLE
Resistencia UV (% retenido después de 500 horas)	%	79,524	50	CUMPLE
Resistencia al punzonamiento	N	746,553	350	CUMPLE

Nota. SLab Perú 2023, Elaboración propia

CONCLUSIONES

Se pudo evaluar la calidad de la geomembrana aplicada a la minería mediante diferentes ensayos fisicoquímicos, donde se pudo discutir a partir de los resultados obtenidos la calidad del material según las normas establecidas. Los ensayos fisicoquímicos discutidos generan conclusiones que se muestran a continuación:

- El valor promedio obtenido del espesor de la geomembrana evaluada es superior a lo mínimo establecido por la norma ASTM D5199.
- Los valores promedios de la resistencia a la rotura, resistencia a la fluencia, elongación a la rotura y elongación a la fluencia son superiores al valor mínimo que establece la norma ASTM D6693.
- El resultado promedio de resistencia UV determinado por el ensayo para una exposición de 500 horas, genero una mínima degradación que se clasifica adecuada dentro del rango establecido por la norma ASTM D4355.
- El resultado promedio del ensayo de resistencia a la punción generó resultados que se encuentra en el rango aceptable según la norma ASTM D4833.

La evaluación final de los resultados de los ensayos realizados a la geomembrana aplicada en la minería, muestran valores superiores a las establecidas por las normas. Podemos considerar que la evaluación de la calidad de la geomembrana está en el rango aceptable y puede seguir en uso rutinario.

Referencias Bibliográficas

- Arenas, G. & Ponce, K. (2021). *Análisis de los métodos de tratamientos biológicos en procesos mineros para la gestión de aguas residuales y relaves*. Universidad Católica San Pablo.
- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación 6ta Edición*. Editorial Episteme.
- ASTM International. (2019). *Standard test method for measuring the nominal thickness of geosynthetics* (ASTM D5199). <https://www.astm.org/d5199-12r19.html>
- ASTM International. (2024). *Standard test method for determining tensile properties of nonreinforced polyethylene and nonreinforced flexible polypropylene geomembranes* (ASTM D6693). https://www.astm.org/d6693_d6693m-20.html
- ASTM International. (2017). *Standard test method for deterioration of geotextiles by exposure to light, moisture and heat in a xenon arc type apparatus* (ASTM D4355). <https://www.astm.org/d4355-05.html>
- ASTM International. (2020). *Standard test method for index puncture resistance of geomembranes and related products* (ASTM D4833). https://www.astm.org/d4833_d4833m-07r20.html
- Breitenbach, A. J., & Smith, M. E. (2007). *La historia de las geomembranas en la industria minera*.
- Chappuis, M. (2019). *Remediación y activación de pasivos ambientales mineros (PAM) en el Perú*. Editorial Cepal.
- Cordova, H. (2022). *Control de la calidad en el proceso de instalación de geomembrana HDPE en tanque de agua fresca N° 2 - Mantenimiento planta concentradora*. Universidad Nacional de Moquegua.
- Francisca, F. (2023). *Similitudes y diferencias de las barreras ambientales para contener lixiviados inorgánicos e hidrocarburos*. Researchgate. https://www.researchgate.net/publication/374900059_Similitudes_y_diferencias_de_las_barreras_ambientales_para_contener_lixiviados_inorganicos_e_hidrocarburos
- Lavoie, F. (2022). *Evaluation of exhumed HDPE geomembranes used as a liner in Brazilian shrimp farming ponds*. Journal Science, Volumen (16). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509521003247>

- Llenque, F. (2023). *Intervención de la ingeniería civil para el mejoramiento de la zona humedales La Bocana del distrito de San José, Lambayeque*. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.
- Minaya, A. (2022). *Instalación de la geomembrana para la mitigación de contaminantes en los suelos de la revegetación ambiental Excelsior*. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
- Martínez, J (2018). *Contaminación y remediación de suelos en Colombia. Aplicación a la minería de oro*. Editorial EAN.
- Richer, J. (2013). *Uso de la soldadura por termofusión en la impermeabilización con geomembrana hdpe del recrecimiento de los diques N° 1 y N° 2 de la relavera rumichaca uea carahuacra Cia. Minera Volcán SAA*.
- Tarrillo, M (2020). *Obtención de biofertilizante a partir de desechos orgánicos domésticos en el distrito de Querocoto*. Universidad Cesar Vallejo.
- Tasayco, E (2022). *Evaluación y tratamiento del relave en la planta concentradora de la minera aurífera 04 de enero SA (Macdesa)*. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.
- Quispe, W. (2021). *Diseño e instalación de geomembrana para impermeabilización de depósito de relaves, Sina*. Universidad César Vallejo.

Lista de Anexos

Anexo 1. Descripción general	1
Anexo 2. Plataforma estratégica	2
Anexo 3. Descripción de procesos.....	4

Anexo 1

Descripción general

Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. en adelante SLab Perú es una empresa peruana de capital privado-ubicada en la ciudad de Lima formada en su mayoría por ingenieros y científicos de amplia experiencia especialistas en brindar soluciones y control de calidad mediante servicios de ensayos de Laboratorio (Físicos, Químicos y Mecánicos) en diferentes industrias, principalmente en los sectores de Investigación, Materiales, Minería, Agrícola, Medio Ambiente y de envase y embalaje. Laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos SAC (SLab Perú) se encuentra acreditado bajo la Norma Técnica Peruana NTP-ISO/IEC 17025:2017 – Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.

Anexo 2

Plataforma estratégica

Visión: Nuestra Visión es ser una organización líder en cuanto a ensayos de investigación y control de calidad en territorio nacional e internacional, en continuo crecimiento, que se distinga por proporcionar excelente calidad de servicios a sus clientes superando sus expectativas y que fomenta la ampliación de oportunidades de desarrollo profesional y personal a sus empleados y colaboradores.

Misión: Nuestra Misión es brindar soporte y soluciones innovadoras de calidad siendo de esta manera un aliado de gran valor para nuestros clientes en materia de Servicios de Análisis de Laboratorio con fines de control de calidad e investigación, contribuyendo de esta forma al camino hacia un desarrollo sostenible y éxito de objetivos de investigadores y empresas que busquen la excelencia en nivel de calidad y satisfacción del cliente.

Valores de la organización

La empresa SLAB PERÚ S.A.C, tiene como clave es su equipo humano los siguientes valores:

- **Calidad:** Nos esforzamos por garantizar que cada ensayo y análisis que realizamos cumple con los estándares más rigurosos de calidad, proporcionando resultados precisos y confiables a nuestros clientes.
- **Integridad:** En el corazón de nuestra empresa se encuentra un fuerte compromiso con la integridad. Realizamos análisis químicos de manera ética y transparente, cumpliendo con todas las regulaciones y normativas aplicables.
- **Innovación:** Fomentamos un entorno que promueve la investigación y el desarrollo de nuevas técnicas y enfoques en el campo de los análisis químicos, lo que nos permite mantenernos a la vanguardia de la industria.

Nuestros clientes

Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. cuenta con aliados estratégicos de una gran diversidad de clientes, donde comprenden investigadores, personas naturales, instituciones académicas, gubernamentales y empresas privadas líderes en diferentes industrias. Nuestro compromiso es brindar servicios de ensayos de laboratorio, investigación y verificación de la más alta calidad para respaldar sus proyectos de investigación y desarrollo.



Anexo 3

Descripción de procesos

La empresa SLAB PERÚ S.A.C. En la actualidad presenta 8 servicios clave en su gestión. Los Procesos de dirección hacen referencia a la gestión gerencial, específicamente a la planificación del servicio de análisis, lo que nos posibilitará alcanzar los objetivos de la organización mediante la implementación de políticas y estrategias.

El procedimiento operativo en la empresa se inicia con la gestión comercial, donde se obtienen los requisitos que el cliente requiere para el servicio de análisis. Además, disponemos de un servicio de gestión logística responsable de supervisar y adquirir todos los materiales requeridos para cada servicio a ser llevado a cabo.

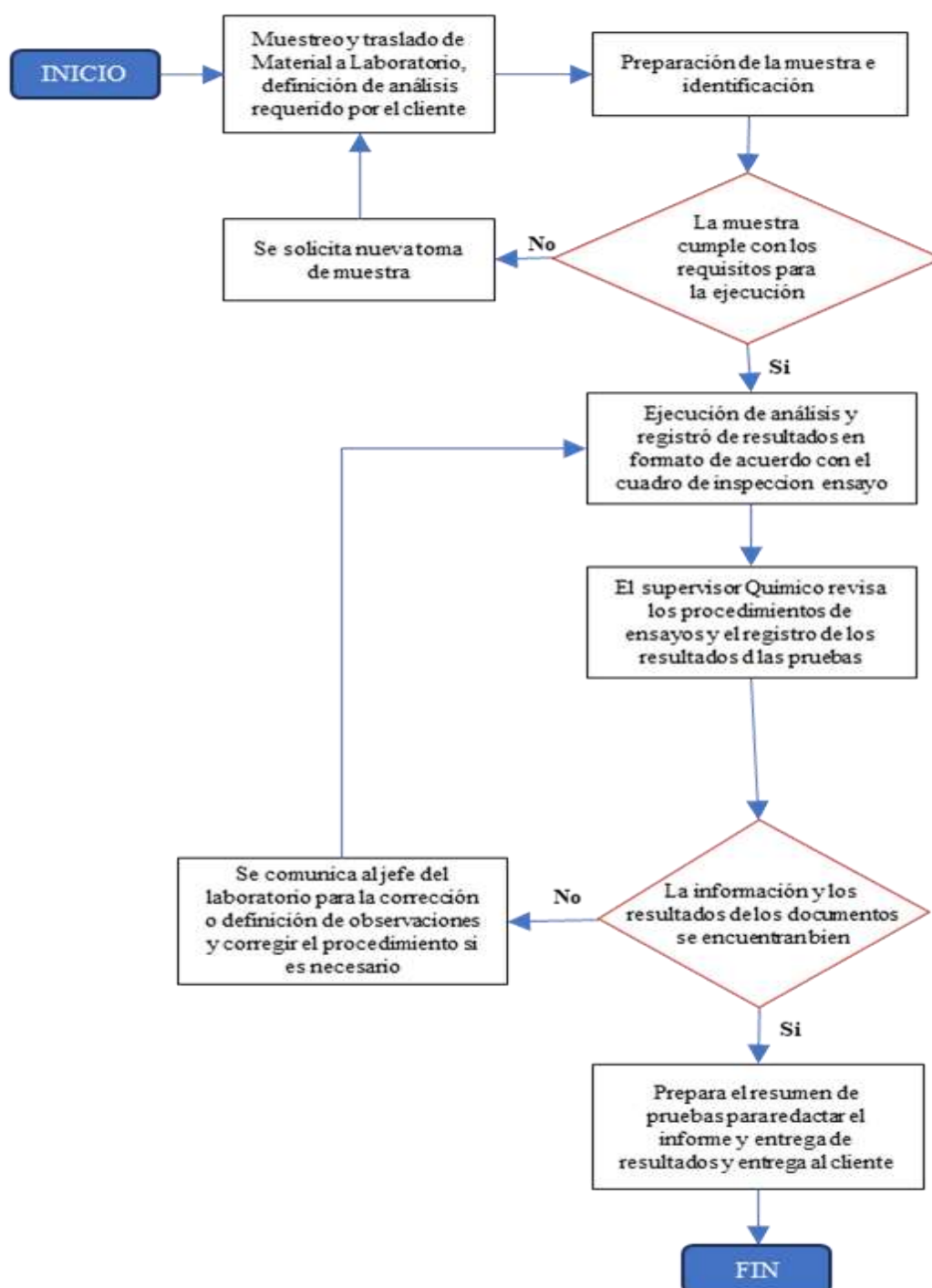
En la empresa, los procesos de soporte incluyen la Gestión de personal, Gestión de calidad, Gestión financiera y Gestión administrativa. De este modo es posible verificar que se satisfacen los requisitos y que logran generar un valor agregado al cliente.

Mapa de procesos SLAB PERÚ S.A.C



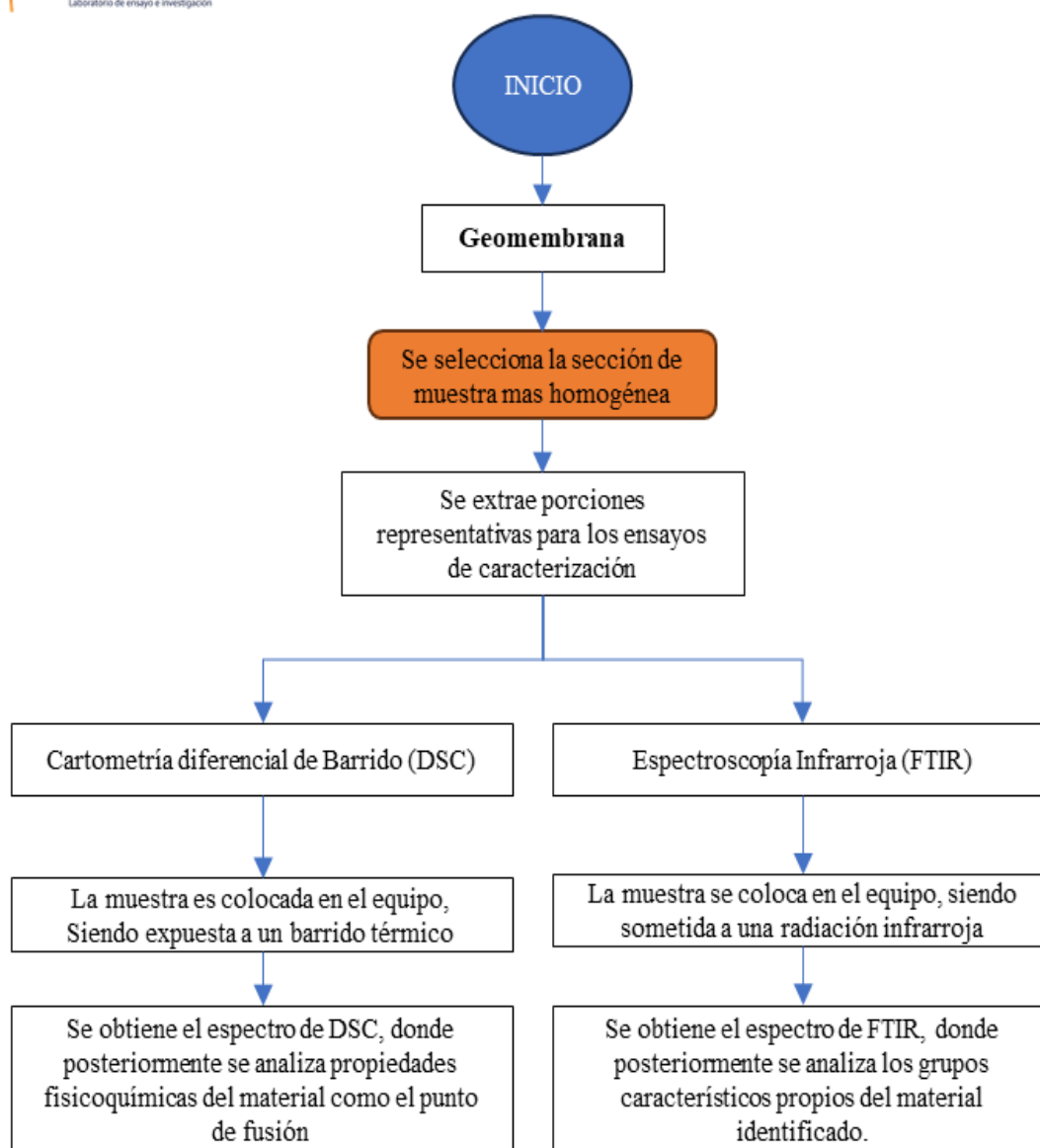
Nota. SLab Perú 2023, Elaboración propia

Flujograma de ensayos de laboratorio



Nota. SLab Perú 2023, Elaboración propia

Tratamiento de muestra



Nota. SLab Perú 2023, Elaboración propia

Desarrollo de los ensayos para determinar la calidad de las geomembranas

Se realizó una recopilación de datos obtenidos en los ensayos que brinda SLab Perú S.A.C. A partir del ordenamiento descendente de los datos, se calcula y clasifica los porcentajes, con el objetivo de desarrollar los análisis de los ensayos más relevantes en la empresa.

Análisis del diagrama de Pareto por zonas ABC.

N°	Tipos de ensayos SLAB PERÚ S.A.C.	Total, de Datos	Datos Acumulados	% Datos	% Datos Acumulados	Zona	%
1	Otros tipos de ensayo	401	401	22 %	22 %	A	77 %
2	Ambientales	360	761	20 %	43 %	A	
3	Agrícolas	238	999	13 %	56 %	A	
4	Varios	228	1227	13 %	69 %	A	
5	Materiales plásticos	151	1378	8 %	77 %	A	
6	Materias primas, insumos y productos finales	115	1493	6 %	83 %	B	18 %
7	Construcción	110	1603	6 %	90 %	B	
8	Geosintéticas	49	1652	3 %	92 %	B	
9	Minería	45	1697	3 %	95 %	B	
10	Papel, cartón y hojalata	29	1726	2 %	96 %	C	5 %
11	Sector farmacéutico y cosmético	24	1750	1 %	98 %	C	
12	Biomasa y biocombustibles	21	1771	1 %	99 %	C	
13	Caracterización	19	1790	1 %	100 %	C	
		1790		100 %			100%

Nota. La interpretación de la regla del 80/20, comúnmente conocida como el principio de Pareto, El 80 % de nuestros nuevos ensayos realizados en SLab Perú se deben al 20 % de nuestros servicios brindados en el laboratorio. SLab Perú 2023, Elaboración propia

Diagrama de pareto por zonas

		Zona	N° Causas	% Causas	% Acumulado	% Causas	% Causas Acumuladas
0 %	80 %	A	5	38,46 %	38,46 %	77 %	77 %
81 %	95 %	B	4	30,77 %	69,23 %	18 %	95 %
96 %	100 %	C	4	30,77 %	100,00 %	5 %	100 %
		TOTAL	13	100.00 %		100 %	

Nota. SLab Perú 2023, Elaboración propia

En la zona “A” visualizamos 5 causas, que representan el 38,46 % del total de las causas, siendo responsables del 77 % de las causas acumuladas.

En la zona “B” visualizamos 4 causas, que representan el 18 % del total de las causas, siendo responsables del 17 % de las causas acumuladas.

En la zona “C” visualizamos 4 causas. Estas 4 representan el 30,77 % del total de las causas y son responsables del 5 % de las causas acumuladas.