

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Arquitectura e Ingeniería

Maestría en Diseño Mecánico

Mención en Fabricación De Autopartes De Vehículos

Caracterización de membrana polimérica de PVC y HDPE de alta densidad más comunes en Ecuador para determinar aplicaciones automotrices.

Felipe Santiago Torres Andrade

Nota del Autor

Felipe Torres, Facultad de Arquitectura e Ingeniería,
Universidad Internacional SEK.

Director: PhD. Javier Martínez

Codirector: Msc. Ricardo Narváez

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:
ftorres.mdm@uisek.edu.ec

Declaración Juramentada

Yo, Felipe Santiago Torres Andrade, con cédula de identidad 1003702147, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que se ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente. El presente trabajo pertenece al programa Desarrollo Tecnológico y a la Línea de Investigación Eficiencia, Impacto Ambiental e Innovación en la Industria a fin a la Facultad de Arquitectura e Ingeniería.

Felipe Santiago Torres Andrade

CI: 1003702147

Índice de Contenido

Declaración Juramentada	2
Resumen	7
Abstract	8
Introducción	9
Antecedentes	9
Problemática.....	11
Justificación.....	12
Objetivos	13
Estado del Arte	14
Geotextiles.....	16
Membrana Polimérica o geomembrana.....	17
Estructura y propiedades de las membranas sintéticas.	19
Ensayos Geotextiles.	21
Termoplásticos utilizados para membrana polimérica.....	27
Microscopio electrónico de barrido HEB.	28
Termo gravimetría (TGA).....	28
Plástico y Polímero en la industria automotriz	29
Tanque limpiaparabrisas	29
El Acrilonitrilo Butadieno Estireno o ABS.....	30
Método	31
Materiales	31
Equipos.....	32
Ensayo Densidad y Gravedad Especifica ASTM D792-13	38
Resistencia al Rasgado ASTM D1004-13.....	42
Microscopia Electrónica de Barrido (SEM).....	43
Simulación.....	49
Formulación del método.	49
Mallado.	51
Análisis.....	52
Alcance de la investigación.....	54
Diseño de investigación.	54
Tipos de investigación.....	54
Técnicas.....	55
Problema.	55

Resultados	56
Resultados de pruebas Geomembrana HDPE 1500	56
Resistencias al rasgado ASTM D1004-13.	57
Resistencia tracción ASTM D882-18.	58
Densidad y gravedad específica ASTM D792-13.....	60
Resultados de pruebas Geomembrana HDPE 1000	60
Resistencias al rasgado ASTM D1004-13.	61
Resistencia tracción ASTM D882-18.	63
Densidad y gravedad específica ASTM D792-13.....	64
Resultados de pruebas Geomembrana PVC 1500.....	65
Resistencias al rasgado ASTM D1004-13.	66
Resistencia tracción ASTM D882-18.	68
Densidad y gravedad específica ASTM D792-13.....	69
Resultados de pruebas Geomembrana PVC 1000.....	70
Resistencias al rasgado ASTM D1004-13.	71
Resistencia tracción ASTM D882-18.	72
Densidad y gravedad específica ASTM D792-13.....	74
Resultados simulación.....	75
Discusión de resultados.....	82
Recomendaciones.....	93
Bibliografía	94
Anexos.....	98
Anexo 1. Norma ASTM D792 -13.....	98
Anexo 2. Norma ASTM D882-18.....	103
Anexo 3. Norma ASTM D1004-13.....	113
Anexo 4. Pruebas realizadas en LANUM (Laboratorio de Nuevos materiales)	117

Índice de Tablas

Tabla 1 Normas brasileras, norteamericanas y europeas para la ejecución de ensayos.....	24
Tabla 2 Tipos principales de geomembranas	25
Tabla 3 Ensayos usuales en Geomembranas.....	25
Tabla 4 Geomembranas de HDPE Y PVC.....	31
Tabla 5 Propiedades Tinius Olsen H25KS.....	34
Tabla 6 Especificaciones Técnicas calibrador Breiner Mitutoyo	34
Tabla 7 Especificaciones Técnicas Micrómetro Mitutoyo.....	35
Tabla 8 Especificaciones Técnicas Balanza Shimadzu.....	36
Tabla 9 Especificaciones Técnicas Termómetro digital Fluke	37
Tabla 10 Especificaciones Técnicas Termohigrómetro Elitech.....	38
Tabla 11 Propiedades en las geomembrana de PVC 1500 Micras.....	44
Tabla 12 Propiedades en las geomembrana HDPE 1500 Micras.....	45
Tabla 13 Propiedades en las geomembrana HDPE 1000 Micras.....	45
Tabla 14 Propiedades en las geomembrana PVC 1000 Micras.	46
Tabla 15 Variables y niveles	47
Tabla 16 Datos de partida Simulación	50
Tabla 17 Propiedades de material ABS	50
Tabla 18 Rangos de mallado de partida Simulación.....	51
Tabla 19 Descripción del Producto HDPE 1500.....	56
Tabla 20 Ensayo de Rasgado HDPE 1500 Micras.....	57
Tabla 21 Ensayo de la resistencia a tracción ASTM D882-18 “HDPE 1500 Micras	58
Tabla 22 Densidad y gravedad específica ASTM D792-13 “HDPE 1500 μm ”.	60
Tabla 23 Descripción del Producto HDPE 1000.....	60
Tabla 24 Ensayo de Rasgado HDPE 1000 Micras.....	61
Tabla 25 Ensayo de la resistencia a tracción ASTM D882-18 HDPE 1000 Micras.....	64
Tabla 26 Ensayo de densidad y gravedad específica ASTM D792-13 “HDPE 1000 μm ”. ..	64
Tabla 27 Descripción del Producto PVC 1500	65
Tabla 28 Ensayo de Rasgado PVC 1500	66
Tabla 29 Ensayo de la resistencia a tracción ASTM D882-18 “PVC 1500 μm ”.....	69
Tabla 30 Ensayo de densidad y gravedad específica ASTM D792-13 “PVC 1500 μm ”. ..	70
Tabla 31 Descripción del Producto PVC 1000 Micras	70
Tabla 32 Ensayo de Rasgado PVC 1000 Micras	71
Tabla 33 Ensayo de la resistencia a tracción ASTM D882-18 PVC 1000.....	73
Tabla 34 Ensayo de densidad y gravedad específica ASTM D792-13 “PVC 1500 μm ”. ..	74
Tabla 35 Propiedades obtenidas para ABS 1mm.	77
Tabla 36 Propiedades obtenidas para ABS 1.5 mm.....	77
Tabla 37 Resultados obtenidos para membrana polimérica PVC de 1 mm.....	77
Tabla 38 Resultados obtenidos membrana polimérica PVC 1.5 mm.....	78
Tabla 39 Resultados obtenidos membrana polimérica HDPE 1.5 mm.....	78
Tabla 40 Resultados obtenidos membrana polimérica HDPE 1 mm.....	78
Tabla 41 Valores recomendados para la supervivencia de las geomembranas.....	89

Índice de Figuras

Figura 1. Evolución de la ingeniería de materiales	15
Figura 2. Tipos de Ensayos en Membranas Poliméricas.....	22
Figura 3. Tanque de plumas universal.	30
Figura 4. Troqueladora de probetas, marca INSTRON	33
Figura 5. Máquina universal de ensayos, marca Tinius Olsen, modelo:H25KS.....	33
Figura 6. Calibrador de Breiner marca: Mitutoyo, modelo: Absolute Digimatic.	34
Figura 7. Micrómetro marca: Mitutoyo. Modelo: M110-25	35
Figura 8. Balanza analítica marca: shimadzu.....	36
Figura 9. Termómetro digital marca: FLUKE, modelo: 52II	37
Figura 10. Termohigrómetro marca ELITECH, modelo RCW-800 wifi.....	38
Figura 11. Ensayo de densidad en geomembranas.....	39
Figura 12. Ensayo de tracción en geomembranas. Realizado bajo la norma	41
Figura 13. Ensayo de tracción en geomembranas. Diagrama esfuerzo deformación	42
Figura 14. Condiciones para microscopia electrónica de barrido (SEM)	44
Figura 15. CAD Tanque limpia parabrisas	50
Figura 16. Creación de nuevo material	51
Figura 17. Creación de nuevo estudio.....	52
Figura 18. Creación de nuevo estudio. Asignación de cargas, Fuerzas	53
Figura 19. Condiciones finales de las probetas del grupo “HDPE 1500 μm ”.	58
Figura 20. Condiciones finales de las probetas del grupo “HDPE 1500 μm ”	59
Figura 21. Condiciones finales de las probetas del grupo “HDPE 1000 μm ”	62
Figura 22. Condiciones finales de las probetas del grupo “HDPE 1000 μm ”	63
Figura 23. Condiciones finales de las probetas del grupo “PVC 1500 μm ”	67
Figura 24. Condiciones finales de las probetas del grupo “PVC 1500 μm ”	68
Figura 25. Condiciones finales de las probetas del grupo “PVC 1000 μm ”	72
Figura 26. Condiciones finales de las probetas del grupo “PVC 1000 μm ”	73
Figura 27. Resultados obtenidos para los esfuerzos a) ABS 1mm y b) ABS 1.5mm	76
Figura 28. Resultados obtenidos para el desplazamiento a) ABS 1 y b) ABS 1.5.....	76
Figura 29. Resultados Factor de seguridad a) ABS 1mm y b) ABS 1.5mm.....	77
Figura 30. Resultados Resistencia a la tracción	79
Figura 31. Resultados de la Extensión Máxima en Geomembranas de PVC y HDPE	80
.....¡Error! Marcador no definido.	
Figura 32. Resultados de la Resistencia al rasgado de PVC y HDPE.....	80
Figura 33. Porcentaje de alargamiento a la rotura para las geomembranas en estudio.....	81
Figura 34. Densidad para las diferentes geomembranas en estudio.....	81
Figura 35. Temperatura de trabajo para las diferentes geomembranas en estudio.	82
Figura 36. Resultados Tensión máxima membrana polimérica	88
Figura 37 Resultados de los desplazamientos máximos de la membrana.....	88
Figura 38. Resultados de factor de seguridad en membrana polimérica.....	89

Resumen

El propósito de esta investigación es determinar las características necesarias de la membrana polimérica de PVC y HDPE, dentro de las cuales destacan sus buenas propiedades físicas, térmicas, bajo costo y alta resistencia a la intemperie.

Los beneficios del estudio recaen en la utilización de las membranas no sólo en la ingeniería civil, sino evidenciar los comportamientos mecánicos de las geomembranas de PVC y HDPE de 1mm y 1.5 para lograr una comparación entre ellas y determinar los distintos esfuerzos que soportan y a su vez comprobar su utilidad en otras áreas de la ingeniería.

Se comparan los resultados obtenidos de dos membranas PVC y HDPE en dos espesores diferentes, considerando variables controlables como tensión, alargamiento a la rotura, temperatura de trabajo entre otras. Dichas pruebas están sometidas a normas ASTM las cuales son cotejadas para determinar la membrana con mejores propiedades.

Luego de la comparación se obtiene como resultado que la membrana de HDPE 1500 posee una resistencia al rasgado 142.33 N con extensión 47.70 mm y una resistencia a la rotura de 11.53 MPA, la membrana de HDPE 1000 posee una resistencia al rasgado 102.58 N, con extensión 50.11 mm y una resistencia a la rotura de 11.93 MPA, la membrana de PVC 1500 posee una resistencia al rasgado 77.33 N con extensión 33.49 mm y una resistencia a la rotura de 10.06 MPA, la membrana de PVC 1000 posee una resistencia al rasgado 55.83 N, extensión 34.20 mm y una resistencia a la rotura de 9.41 MPA.

De los datos antes mencionados se concluye que las membranas de PVC soportan menor fuerza que las de HDPE, pero al comparar con las del plástico tradicional estas conservan muchas características importantes dando un factor de seguridad más alto que el ABS, por lo que pueden ser utilizadas en diferentes ramas y aplicaciones.

Palabras claves: Ingeniería Mecánica, Diseño, Polímero, Plásticos, Material compuesto, Ensayo de materiales

Abstract

The purpose of this investigation is to determine the necessary characteristics of the PVC and HDPE polymeric membrane, among which its good physical, thermal, low cost and high weather resistance.

The benefits of the study lie in the use of membranes not only in civil engineering, but also in demonstrating the mechanical behaviors of PVC and HDPE geomembranes of 1mm and 1.5 to achieve a comparison between them and determine the different efforts they support and in turn Check its usefulness in other areas of engineering.

The results obtained from two PVC and HDPE membranes are compared in two different thicknesses, considering controllable variables such as tension, elongation at break, working temperature among others. These tests are subject to ASTM standards which are compared to determine the membrane with the best properties to be used in the automotive field.

Then, the comparison is obtained as a result that the HDPE 1500 membrane has a tear strength 142.33 N with extension 47.70 mm and a tear strength of 11.53 MPA, the HDPE 1000 membrane has a tear resistance 102.58 N, with extension 50.11 mm and a tear strength of 11.93 MPA, the PVC 1500 membrane has a tear resistance 77.33 N with a 33.49 mm extension and a tear resistance of 10.06 MPA, the PVC 1000 membrane has a tear resistance 55.83 N , extension 34.20 mm and a breaking strength of 9.41 MPA.

From the data before determining, it is concluded that PVC membranes withstand less force than those of HDPE, but when compared with those of traditional plastic they definitely retain many important characteristics giving a higher safety factor than ABS so they can be Used in different branches and applications.

Keywords: Mechanical Engineering, Design, Polymers, Plastics, Composite materials, Material testing

Introducción

Antecedentes

A nivel internacional, destacan diversos estudios con distintas aplicaciones. La investigación de Palacio (1999) se centra en la descripción de las membranas, su estructura, mecanismo de transporte y aplicaciones, así como los diferentes procesos de separación de las mismas, con las que se posibilita su aprovechamiento industrial.

La presente investigación busca determinar los parámetros de diseño con membranas poliméricas de PVC y HDPE, la misma que abarca información sobre sus principales funciones y aplicaciones, además de sus características de resistencia físicas y térmicas de las membranas ventajas, desventajas e importancia de su uso para determinar sus posibles aplicaciones en la industria automotriz.

El término “membrana” es empleado en varias disciplinas como Biología, Química, Materiales, entre otras. Designa un sistema sólido o líquido, cuyo espesor es muy pequeño comparado con su superficie y separa dos espacios líquidos, gases o sólidos por lo que son el material ideal para impermeabilizar diferentes cuerpos sólidos.

A nivel nacional, se tiene la investigación de Buitrón (2017) quien analiza las aplicaciones de membranas en túneles, específicamente la membrana termoplástica prefabricada de PVC, que permite la impermeabilización del suelo en túneles, siendo de gran importancia en aquellos suelos con una importante humedad, que pueden afectar negativamente a la construcción de las carreteras, con el paso de los años.

También está el estudio de Chacón (2012), quien analiza el uso de geomateriales en el reforzamiento de los suelos, a fin de absorber los esfuerzos de tracción, analizando el impacto

de geo materiales, específicamente los geotextiles, geomembranas y geomallas, así como las tiras metálicas.

En el trabajo doctoral de Lodi (2003) presenta los ensayos realizados a las geomembranas de 0.8 y 2.5 mm de HDPE el objetivo de este trabajo es evaluar los procesos de degradación de la membrana las pruebas son realizadas bajo la norma ASTM D1435, ASTM D1238, ASTM D5747

Maia (2017) en su trabajo presenta la evaluación de las geomembranas de polietileno de alta densidad (HDPE) y cloruro de polivinilo (PVC), después de la exposición a diversos agentes agresivos. Se utilizaron geomembranas de HDPE con espesor de 0.8, 1.0, 1.5 y 2.5 mm y PVC con espesor de 1.0 y 2.0 mm. Los análisis se realizaron periódicamente a través de la evaluación de sus propiedades físicas y mecánicas. También, se realizaron análisis térmicos para cuantificar la degradación a nivel molecular. Por ejemplo, en un ensayo aumento de la rigidez en las geomembranas de PVC. Por otro lado, las geomembranas de HDPE se volvieron más dúctiles.

Bueno (2004) en su documento hace referencia a las propiedades y ensayos tomados del manual brasileño de geo sintéticos en los cuales se menciona las características principales de las membranas de HDPE y PVC con sus resistencias a la tracción promedio, elongación a la rotura, módulo de elasticidad y resistencia química de cada membrana, sus usos y variables, como también, hace referencia las normas a seguir para su caracterización.

Carina (2008) hacer referencia al aumento de materiales poliméricos geosintéticos significativamente en los últimos años en la Ingeniería Civil. Para realizar correctamente la función para la que fueron diseñados, los geosintéticos deben someterse a un riguroso proceso de control de calidad durante la fabricación. La frecuencia y los principales tipos de pruebas de laboratorio utilizadas en este proceso de control para dos tipos de geosintéticos,

geotextiles y geomembranas, los materiales más utilizados de la familia de los geosintéticos, se discuten en este documento. Los análisis basados en los estándares disponibles en Brasil, EE. UU. y Europa muestran que no hay recomendaciones normativas sobre control de calidad. En el escenario internacional, los estándares europeos se destacan como el conjunto más completo de prácticas para la fabricación de pruebas de control de calidad, considerando los diversos tipos de aplicación de geosintéticos en ingeniería civil. En el escenario nacional, es poco discutido en la literatura técnica la mayoría de las aplicaciones de geotextil y geomembrana.

Problemática

El problema surge de la necesidad del Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables del Ecuador por encontrar nuevos usos y aplicaciones de la membrana polimérica, ya que, gracias a sus características físicas, de unión e impermeabilización, se puede dar nuevos usos en otras especialidades de la ingeniería, no solo en la civil. Resulta una importante limitación para este estudio la inexistencia de investigaciones previas sobre aplicaciones en el campo automotriz, pues el ser pioneros en este campo obliga a explorar experiencias en campos distintos al automotor, a fin de recuperar esas experiencias y aplicar las nociones planteadas al campo seleccionado. Esto no es extraño, pues no todos los materiales fueron probados en los diferentes procesos de producción y los productos finales, siendo necesario continuar con las investigaciones para desarrollar nuevas estrategias que beneficien al sector automotriz. El problema, por tanto, queda planteado en los siguientes términos:

¿Cuáles son las características de la membrana polimérica de PVC y HDPE de alta densidad, determinando sus aplicaciones automotrices?

Justificación

La necesidad de encontrar nuevos materiales con propiedades específicas y el afán de mejorar el rendimiento de los vehículos, así como el impulso al cambio de la matriz productiva en Ecuador, se requiere optimizar e impulsar nuevas tecnologías, así como el conocimiento en su desarrollo, desarrollando la industria automotriz en los distintos sistemas, con la creación o adaptación de nuevos materiales con iguales propiedades a los existentes y amigables con el medio ambiente, que además permitan reducir costos de producción (Moyano, 2018).

Durante el año 2017, se exportó en total 115 millones de dólares en vehículos ensamblados y las principales autopartes. Sin embargo, el año 2014 el sector exportó 205 millones de dólares, es decir, 56% más que la pasada gestión. Entre las partes exportadas, se encuentran baldes para camionetas y otras similares, que utilizan el polipropileno como principal componente, es decir, se trata de una tecnología no amigable con el medio ambiente, y que además genera costos significativos en la industria nacional.

Esta investigación busca caracterizar la membrana polimérica de PVC (Policloruro de vinilo) y HPDE (Polietileno de alta densidad), comunes en Ecuador, mediante la recopilación de información para la posterior determinación de las propiedades mecánicas, y así determinar sus posibles aplicaciones en el área automotriz. Al mismo tiempo, se llevará a cabo una simulación de una posible aplicación en el área. Esto podría generar un campo de estudio significativo para la industria automotriz ecuatoriana.

Gracias a sus diferentes propiedades de impermeabilización, la membrana polimérica posee una alta resistencia mecánica y química, así como facilidad en el sellado y fácil reparación. Por otro lado, es una opción muy económica, por lo que recibe la atención

necesaria del Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías renovables y de la Universidad Internacional SEK.

El 67% de autopartes para vehículos son importadas, y el 33% restante es producción nacional. Comparado con el 2016, en 2017 existió un aumento progresivo en el parque automotor (Diario La Hora, 2018). Por estos y otros motivos, la utilización de membranas poliméricas manufacturadas en el Ecuador podría satisfacer necesidades de partes automotrices.

La nueva resolución del Comex (Comité de Comercio Exterior) sube de 5% al 15% el arancel para los CKD (parte y piezas automotrices) importados de otros países, excepto la Unión Europea. Además, se reduce un 20% del cupo de importaciones anual, siendo necesaria la creación de nuevos compuestos, para que la empresa ecuatoriana disminuya la dependencia de importaciones de materia prima o partes terminadas (Ruiz, 2015).

Adicionalmente, la caracterización de las membranas poliméricas obtenidas en el presente estudio será un aporte al conocimiento científico a nivel nacional e internacional.

Objetivos

Objetivo general

Determinar las propiedades mecánicas de la membrana polimérica de PVC y HDPE de alta densidad bajo normativas ASTM para proponerse una aplicación en una autoparte

Objetivos específicos

Determinar las propiedades mecánicas de la membrana polimérica de PVC y HDPE con diferentes espesores (1 mm y 1.5mm), para determinarse los esfuerzos que soportan en cada configuración.

Aplicar la normativa ASTM D882, D2582, D751, y D1004, para la caracterización del material con el fin de obtenerse la información sobre cada prueba mecánica a realizarse, su metodología de aplicación, límites y usos de cada ensayo.

Proponer una aplicación automotriz de la membrana que presente las mejores propiedades mecánicas para obtenerse una simulación de la resistencia mecánica de esta autoparte mediante el software especializado.

Estado del Arte

A lo largo de la historia, los materiales tenían un diseño limitado. La historia de la humanidad se clasifica en edades por los materiales que utilizó: piedra, bronce, hierro, cada uno representando la más alta tecnología lograda en su momento. Hoy en día existen diferentes materiales naturales y sintéticos como titanio, fibra de carbono, aleación de vidrio, diamantes y polímeros, entre otros. Esta no es la edad de un material específico. Es la edad de una inmensa gama de materiales. Nunca antes hubo una era con una evolución tan rápida, y cuyo rango de propiedades sea tan variado. El menú de materiales se expandió tan rápido, que los diseñadores aún desconocen todo el potencial en la utilización de muchos de ellos. Pero no saberlo es, para el diseñador, arriesgarse a un desastre. El diseño innovador, a menudo, significa la explotación creativa de las propiedades ofrecidas por materiales nuevos o mejorados (Ashby, 2005).

La siguiente figura contiene una descripción resumida de los materiales empleados en la elaboración de diferentes objetos, así como su importancia relativa, desde los 10.000 aC hasta la actualidad:

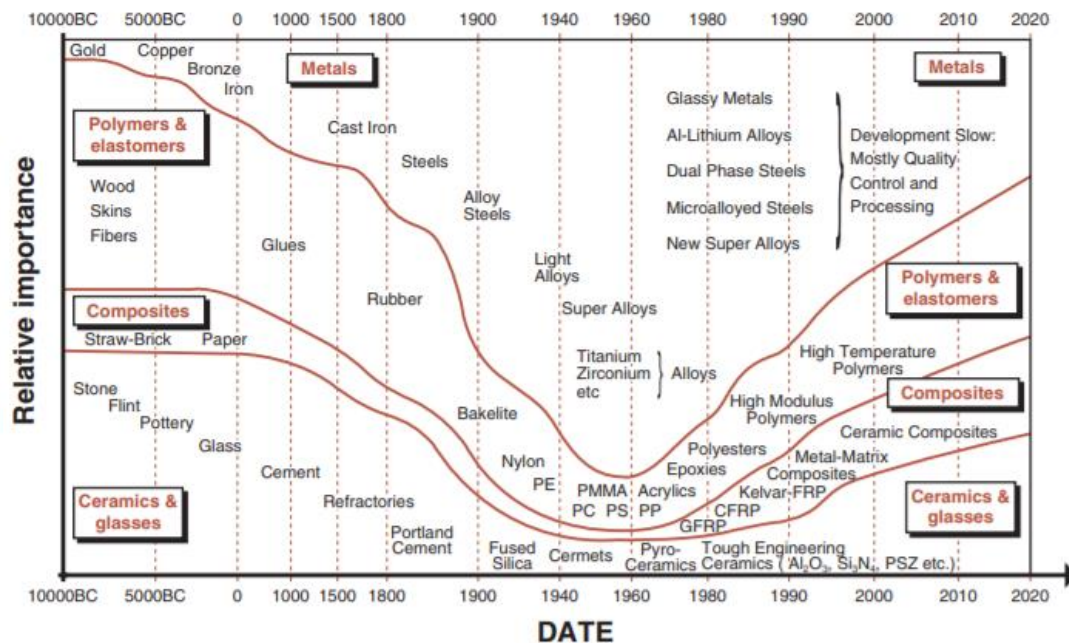


Figura 1. Evolución de la ingeniería de materiales (Ashby, 2005).

La selección de un material normalmente viene dada por el diseño. En ocasiones, como la presente, se produce a la inversa, donde un nuevo producto o la evolución de uno, se da debido al desarrollo de nuevas materias primas. Para la selección en un diseño se da la posibilidad de tomar la opción “tradicional” pero esto limita a lo conocido e impide alcanzar la innovación (Ashby, 2005).

La selección material no se limita al diseño, sino que también se toma en cuenta la manufacturabilidad, el costo y el uso. Además, tan solo la ingeniería no vende un producto sino también su aspecto y aplicación práctica (Ashby, 2005).

El diccionario de la Real Academia Española define membrana en los siguientes términos: “Placa o lámina de pequeño espesor, generalmente flexible”, mientras que la literatura convencional la define como: “Cualquier región que actúa como una barrera entre dos

fluidos, restringiendo o favoreciendo el movimiento de uno o más componentes, de uno o ambos fluidos a través de ella” (Palacio, 1999, pág. 3).

Geotextiles.

Los geosintéticos pueden ser definidos como productos poliméricos, sintéticos o naturales, industrializados y desarrollados para diversas aplicaciones. El término “geosintético” es una denominación genérica que agrupa una gran familia de productos poliméricos, entre los cuales se encuentran los geotextiles, las geomembranas, las geogrelas, las geomantas y las georredes. Cada tipo de geosintético tiene diferentes procesos de fabricación, características y funciones (Costa, 2008).

Actualmente, el empleo de estos materiales ha sido cada vez más frecuente, gracias a las diversas ventajas que ofrecen. Entre los aspectos que favorecen la creciente utilización de geosintéticos en obras como carreteras, represas, túneles, estructuras de contención, entre otras, está la versatilidad, el fácil empleo, el excelente desempeño y, a menudo, el bajo costo en comparación con soluciones convencionales (Costa, 2008).

Aplicaciones de los Geotextiles.

Los geotextiles son productos textiles permeables constituidos por fibras procedentes de la fusión de polímeros. Los principales tipos de polímeros utilizados en la fabricación de geotextiles son la poliamida (PA), el polietileno (PE), el poliéster (PET) y el polipropileno (PP) (Bueno, Valetin, & Mossim, 2007).

Pese a la gran diversidad de geotextiles, es posible identificar dos clases principales: la de los geotextiles tejidos y la de los geotextiles no tejidos. Los geotextiles tejidos son materiales obtenidos a través del entrelazado de hilos, monofilamentos o de otros componentes, según direcciones preferentes, denominadas trama (sentido transversal) y urdume (sentido longitudinal). Los geotextiles no tejidos, por otro lado, están compuestos por fibras cortadas o

filamentos continuos distribuidos aleatoriamente e interconectados por procesos mecánicos, térmicos o químicos (Geosynthetic Research Institute, 2004).

Los geotextiles son empleados en diversas obras de la ingeniería, como carreteras, vías de acceso, patios, ferrocarriles, canales, represas, diques, estabilización de laderas, entre otras. Se utilizan dentro del suelo o en contacto con otros materiales en la obra por lo que serían el material adecuado para aplicaciones automotrices gracias a sus grandes características (Costa, 2008).

Membrana Polimérica o geomembrana.

Las geomembranas son membranas compuestas predominantemente por materiales termoplásticos, elastoméricos y asfálticos, cuya función principal es actuar como barrera para líquidos o vapores. Si se compara con los geotextiles o los suelos arcillosos, presentan valores de permeabilidad extremadamente bajos. En los ensayos de transmisión al vapor de agua, los valores típicos de permeabilidad de las geomembranas se sitúan en el rango de $0,5 \times 10^{-10}$ a $0,5 \times 10^{-13}$ cm / s (Costa, 2008).

En la actualidad, las geomembranas son ampliamente empleadas en diversas obras ambientales, como rellenos sanitarios e industriales, canales, represas, entre otras. La función de la geomembrana es proteger el suelo y los acuíferos de contaminación, siendo responsable por la contención de residuos o almacenamiento de materiales que pueden ser gaseosos, líquidos y sólidos. Los gases pueden ser resultantes de productos industriales, de basura industrial, de rellenos sanitarios, entre otras fuentes. Los materiales líquidos pueden ser agua (potable o no), residuos industriales y domésticos, líquidos de procesos químicos, entre otros. Los residuos radiactivos, industriales, municipales, hospitalarios y de minería son ejemplos de materiales sólidos (Costa, 2008).

Las membranas poliméricas más utilizadas son la de Polietileno de alta densidad (HDPE) y Policloruro de vinilo (PVC). El mayor uso de las membranas se encuentra en el campo geotécnico y ambiental, debido a su resistencia química y su gran impermeabilidad por lo que son de gran ayuda en la contención de líquidos y vapores (Lavoie, 2013).

Antes de comenzar a entender las geomembranas se realiza una retrospectiva al pasado, todo comienza mediante la unión de pequeñas moléculas orgánicas que al unirse forman una cadena más grande y pesada las cuales son comparados con las resinas vegetales como resultado se obtuvo las resinas sintéticas “Plásticos”. Les dieron ese nombre gracias a su flexibilidad, rigidez y facilidad de moldeado dependiendo de su utilización. Los plásticos poseen cierta temperatura que les ayuda a poseer características si están por encima son blandos y flexibles y por debajo rígidos y quebradizos esta temperatura se la denomina temperatura de transición vítrea (T_g), la cual es distinta para cada plástico. (Rivera, 2010) El desarrollo de las geomembranas de PVC y HDPE nació para sustituir las láminas de caucho y mediante el control periódico tanto al principio como a lo largo generaron una mayor expectativa gracias al punto de vista económico y su estructura químicamente estable por que fueron altamente utilizadas y dieron como resultado a mas investigación de este tipo de geomembranas (Blanco, 2012).

El primer paso en caracterización de geomembranas es la verificación de las normas a utilizar según se define en ASTM D4439-00, una geomembrana es "una membrana esencialmente impermeable que se utiliza con cimientos, suelos, rocas de tierra o cualquier otro material relacionado como parte integral de un proyecto, estructura o sistema hecho por el hombre" (Kerry, 2001).

La membrana polimérica de polietileno de alta densidad (HDPE) es un producto producido a partir de resinas sintéticas de PE (Polietileno) y aditivos. Hablando de las propiedades el PE es un termoplástico que posee elevada resistencia química, impermeable

utilizado en contención de agua de riego, biodigestores entre otras aplicaciones de contención de líquidos (Coelho, 2017).

El Instituto de geomembranas menciona en el artículo producido por (Shobha & Gautam, 2018) El PVC y el HDPE tienen diferentes propiedades mecánicas y físicas, además de la aplicabilidad en el campo. Sin embargo, dependiendo de la aplicación específica, ambos han sido ampliamente utilizados en muchas aplicaciones. Algunas de las principales diferencias entre los dos materiales son:

- Las geomembranas de PVC son flexibles y relativamente fáciles de manejar, mientras que las geomembranas de HDPE son resistentes y no flexibles.
- Las geomembranas de HDPE tienden a exhibir un pico agudo en su curva de tensión-deformación y, por lo tanto, tienden a sufrir una falla relativamente abrupta, mientras que el PVC experimenta una gran cantidad de elongación antes del fallo.
- Se reconoce universalmente que la costura de campo es potencialmente el aspecto más problemático para la construcción del revestimiento. Debido a su flexibilidad, es posible realizar la mayoría de las costuras de PVC en condiciones de fábrica controladas, ya que se pueden plegar fácilmente. Las geomembranas de HDPE, sin embargo, aún necesitan ser cosidas en el campo. Un revestimiento de PVC puede requerir tan poco como 20 por ciento de las juntas de campo requeridas por un revestimiento de HDPE

Estructura y propiedades de las membranas sintéticas.

Las membranas sintéticas son membranas artificiales, usualmente de tipo polimérico y de empleo preferente en procesos de separación. Se pueden diferenciar cinco grupos básicos de membranas de este tipo:

- a) Medios porosos: es una estructura simple de membrana con propiedades de transporte y separación buenas, consisten en una matriz sólida con huecos definidos o poros, se clasifican en membranas de poro ancho (diámetro entre 10 y 50 μm) y de poro fino (diámetro entre 1 y 10 nm) (Ramírez, 2013).
- b) Películas homogéneas: “Son capas líquidas que actúan por efectos de solubilidad, pudiendo emplearse para separar especies químicas de tamaño similar, siempre y cuando que su solubilidad en la película difiera significativamente” (Ramírez, 2013).
- c) Membranas asimétricas: Ramírez (2013) menciona que se emplean principalmente en procesos que involucran gradientes de presión elevados, tales como la ultracentrifugación y la osmosis inversa. Su estructura consiste en una capa polimérica muy delgada (de 100 a 200 nm) situada sobre una capa gruesa (100 a 200 μm) muy porosa, actuando esta última únicamente como soporte y no afecta las características separadoras del sistema. Estas membranas tienen una importante ventaja respecto a las membranas simétricas, y esto es que pueden retener un gran número de partículas dentro de su estructura interna (Ramírez, 2013).
- d) Membranas intercambiadoras o selectivas: Estas membranas poseen en su superficie caras externas y paredes de poros con una carga eléctrica. Cuando dicha carga es positiva, se dice que la membrana es intercambiadora de aniones, mientras que si tiene carga negativa, se dice que es intercambiadora de cationes. El proceso de separación por medio de este tipo de membranas, se basan en la exclusión de iones cuya carga es del mismo signo que la carga de la membrana (Ramírez, 2013).

Ensayos Geotextiles.

Las discusiones sobre los principales tipos de ensayos de laboratorio utilizados en este proceso de control para los tipos de geosintéticos, los geotextiles y las geomembranas los cuales son más utilizados de la familia de los geosintéticos. efectuados sobre la base de normas disponibles en Brasil, Estados Unidos y Europa muestran que no hay recomendaciones normativas sobre el control de calidad para la mayoría de las aplicaciones de geotextiles y geomembranas, siendo el tema poco discutido en la literatura técnica. En el escenario internacional, las normas europeas se destacan como el conjunto de prácticas más completo para ensayos de control (Costa, 2008).

En general, los ensayos utilizados para caracterizar los geotextiles se pueden agrupar en físicos, mecánicos, hidráulicos y de rendimiento. Los ensayos físicos se emplean para identificar el producto e implican básicamente la determinación del peso (masa por unidad de área) y espesor. Los mecánicos permiten la obtención de parámetros relacionados al comportamiento carga-estiramiento del material. Por ser bastante empleados en el contexto de control de calidad, algunos ensayos mecánicos se describen brevemente a continuación. Algunos de los ensayos descritos se esquematizan en la Figura 2.

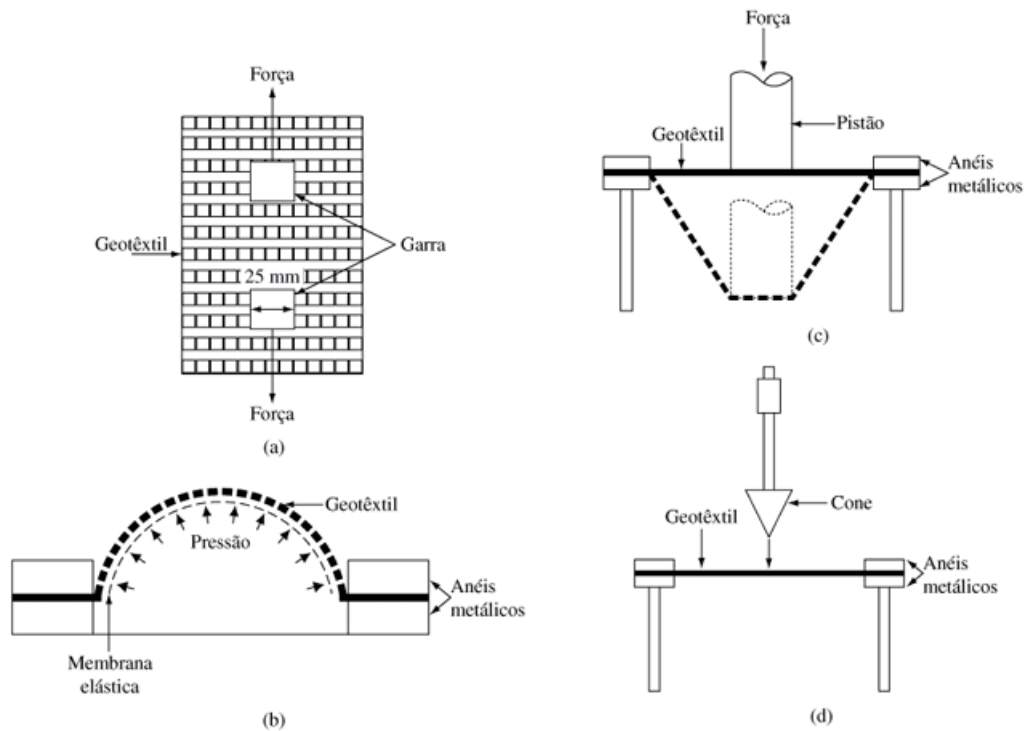


Figura 2. Tipos de Ensayos en Membranas Poliméricas, a) ensayos a tracción, b) ensayo de resistencia por presión, c) ensayo por punzonamiento estático y d) Ensayo de perforado, (Costa, 2008).

Ensayo de resistencia a la tracción de banda ancha: en este ensayo, un cuerpo de prueba (CP) con dimensiones típicas de 200 mm de ancho y 100 mm de longitud es fijado a garras que se extienden por toda su anchura y luego es trazado hasta la ruptura (Costa, 2008).

En el caso de que se produzca un cambio en el valor de la resistencia a la tracción tipo grab: la diferencia de este ensayo para el anterior está en las dimensiones del CP (100 mm de ancho y 200 mm de longitud) y en las garras que sólo sujetan un área central del CP con 25 mm de ancho (Figura 2a).

Ensayo de resistencia al desbordamiento: un cuerpo de prueba circular es atrapado entre anillos metálicos y luego una presión interna al CP se aplica hasta que se produzca el desbordamiento del material (Figura 2b) (Costa, 2008).

Ensayo de punción estática tipo CBR: un pistón con 50 mm de diámetro aplica una fuerza vertical creciente hasta la ruptura de un CP circular preso entre anillos metálicos (Figura 2c) (Costa, 2008).

Los ensayos hidráulicos se emplean en la determinación de propiedades relevantes para la aplicación de geosintéticos con función de filtración o drenaje. Como filtro, el geotextil debe permitir el paso de fluido y retener las partículas sólidas. Los ensayos más utilizados para esta aplicación son los destinados a la determinación del coeficiente de permeabilidad (k), parámetro que indica la facilidad de percolación del fluido, ya la obtención de la apertura de filtración. En este último caso, se determina el diámetro equivalente de la mayor partícula que puede atravesar el geotextil. En lugar de considerar el coeficiente de permeabilidad normal al plano del geotextil (k_n), muchas veces se prefiere trabajar con la permisividad, que representa la relación entre k_n y el espesor del geotextil.

Para aplicaciones de drenaje se utilizan ensayos que permiten la determinación del coeficiente de permeabilidad en el plano (k_p) y de la capacidad de flujo en el plano del geotextil (caudal en el plano por unidad de ancho del cuerpo de prueba). Se puede optar por la determinación de la transmisividad, que representa el producto de k_p por el espesor del geotextil, práctica común en los Estados Unidos. La Tabla 1 identifica las principales normas relativas a los procedimientos de ejecución de ensayos físicos, mecánicos e hidráulicos en geotextiles.

Tabla 1 Normas brasileras, norteamericanas y europeas para la ejecución de ensayos físicos, mecánicos e hidráulicos en geotextiles

Ensayo	Métodos de ensayo
Peso	ABNT NBR12568, ASTM D3776, EN ISO 9864
Espesor	ABNT NBR12569, ASTM D964, EN ISO 9863
Resistencia a la tracción de banda ancha	ABNT NBR12824, ASTM D4595, EN ISO 10319
Resistencia tipo "grab"	ASTM D4632
Resistencia al desbordamiento	ASTM D3786
Resistencia al rasgón	ASTM D4533
Punzonado estático tipo	CBR ABNT NBR13359, ASTM D6241, EN ISO 12236
Perforación dinámica - caída de cono	ABNT NBR14971, ISO 13433, EN 918
Permeabilidad hidráulica normal al plano y sin confinamiento, permisividad	ABNT NBR15223, ASTM D4491, EN ISO 11058
Capacidad de flujo en el plano, transmisividad	ABNT NBR15225, ASTM 4716, EN ISO 12958
Apertura de filtración	NBR 15229, ASTM 4751, EN ISO 12956 ^(a)

Nota: La tabla muestran las los ensayo que se pueden realizar en distintos tipos y la norma aplicar en cada geomembrana, *Fuente:* (Inverlago, 2016).

Diversos polímeros pueden ser utilizados para la fabricación de geomembranas. Sin embargo, por tener una mayor resistencia química y por presentar mayor versatilidad, las geomembranas de polietileno (PE) y de poli (cloruro de vinilo) (PVC) son las más utilizadas. La Tabla ilustra los principales tipos de geomembranas existentes (Costa, 2008).

Tabla 2 *Tipos principales de geomembranas*

<i>Ampliamente utilizadas</i>	<i>Poco utilizadas</i>	<i>Combinaciones</i>
<i>Polietileno de alta densidad (HDPE)</i>	<i>Polietileno de baja densidad (LLDPE)</i>	<i>PVC - caucho nitrilo</i>
<i>Polietileno clorosulfonado (CSPE)</i>	<i>Aleación de interpolímero de etileno reforzado (EIA-R)</i>	<i>PE – EPDM</i>
<i>Polietileno de densidad muy baja (VLDPE)</i>	<i>Polietileno clorado reforzado (CPE-R)</i>	<i>PVC – EVA</i>
<i>Poli (cloruro de vinilo) – PVC</i>	<i>Caucho de propileno etileno (EPDM) CPE con unión cruzada</i>	
<i>Polipropileno flexible (f-PP)</i>	.	.

Nota: Muestra los tipos de geomembranas más usados, Fuente: (Portaluppi, 2014).

Una gran diversidad de pruebas ha sido sugerida por varios autores para la caracterización de geomembranas. La Tabla presenta los ensayos más comunes, algunos de los cuales con el objetivo de evaluar también el desempeño de enmiendas entre geomembranas.

Tabla 3 *Ensayos usuales en Geomembranas*

ENSAYOS DE IDENTIFICACIÓN	MÉTODOS DE ENSAYO (A)
ESPESOR	ABNT NBR12569 ASTM D1593, D5199, D3767 y EN 1849-2
DENSIDAD	ASTM D792, D1505, D297 e ISO 1183
MASA POR UNIDAD DE ÁREA	ABNT 12568, ASTM D3776 y EN 1849-2
ENSAYO DE TRACCIÓN	ABNT NBR12824, ASTM D638, D882, D751 e ISO 527

CALORIMETRÍA DIFERENCIAL DE ESCANEADO (DSC)	ASTM D3417, D3418 e ISO 11357
ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO (TGA)	ASTM D6370, E2105 e ISO 11358
ANÁLISIS TERMOMECAÁNICO (TMA)	ASTM D648 y E831
ÍNDICE DE FUSIÓN (MFI)	ASTM D1238
CONTENIDO DE SOLVENTES	ASTM D297
DUREZA	ASTM D2240 e ISO868
EXTRAIBLES	ASTM D297, D3421 e ISO 6427
CONTENIDO DE CENIZAS	ASTM D297
TIEMPO DE OXIDACIÓN (OIT)	ASTM D3895
CONTENIDO DE NEGRO DE HUMO (PE)	ASTM D1603
DISPERSIÓN DE NEGRO DE HUMO (PE)	ASTM D5596 y D3015
ENSAYOS DE RENDIMIENTO	Métodos de ensayo (a)
RESISTENCIA AL RASGADO	ASTM D1004, D2263, D624 e ISO34
RESISTENCIA AL ESTALLIDO	ASTM D5617 y prEN 14151
RESISTENCIA AL PUNZONADO	ASTM D4833, EN ISO 12236, FTMS 101C y ABNT NBR13359
CIZALLA	ASTM D5321, EN ISO 12957-1 y 12957-2
FLUIDEZ	ASTM D5262
EXPANSIÓN TÉRMICA	ASTM D696
ESTABILIDAD DIMENSIONAL	ASTM D1204
PERMEABILIDAD (AGUA)	ASTM E96, EN 14150 e ISO 11058
PERMEABILIDAD (VAPOR)	ASTM D1434, E96 e ISO 11058
ENSAYOS DE RENDIMIENTO EN ENMIENDAS	Métodos de ensayo (a, b)
CISALLA	ASTM D4437, D4545
DESGUACE	D6392, GM19, GM14, ISO 13427 y ABNT NBR15352
PUNTO DE FLUJO MECÁNICO	
PRESURIZACIÓN DE LAS ENMIENDAS	
APLICACIÓN DE AIRE	

CAJA DE VACÍO	
PLAN DE IMPEDANCIA ULTRA-SÓNICA	
RESONANCIA ULTRASÓNICA	
ENSAYOS DE DURABILIDAD	Métodos de ensayo (a)
ABRASIÓN	ASTM D460 y D2228
EXPOSICIÓN A LA INTEMPERIE	ASTM D1435, EN 12224 y ABNT NBR15352
ENVEJECIMIENTO TÉRMICO	ASTM D573
EXPOSICIÓN AL CALOR (ESTUFA)	ASTM D794 y D5721
EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN UV	ASTM G153, G154, G155 e ISO 4893
RESISTENCIA QUÍMICA	EPA 9090, EN 14414, ASTM D5747 y D5322
RESISTENCIA BIOLÓGICA	EN 12225, ASTM G22 y G21
ENVEJECIMIENTO POR OZONO	ASTM D1149
FRICCIÓN BAJO TENSIÓN (PE)	ASTM D696, D1693, D5397 e ISO 6252

Nota: LA tabla Muestra los ensayos más usados para geomembranas, *Fuente:* (Costa, 2004).

Termoplásticos utilizados para membrana polimérica.

Las macromoléculas pueden estar unidas entre sí mediante fuerzas de diversa intensidad. Así, cuando sean de baja intensidad podremos superarlas con un simple calentamiento dando lugar al plástico fundido. Los polímeros con estas características son los llamados termoplásticos los cuales se funden o plastifican con un suministro de calor, es decir, con un incremento de temperatura. Las principales matrices orgánicas termoplásticas son: Policloruro de vinilo (PVC), copolímeros de estireno (ABS,SAN), polietileno (PE), polipropileno (PP), policarbonato (PC), polimetacrilato de metilo (PMMA), acetato, poliestireno (PS), polioximetilo (POM), PBT, polieterimida, PET, Nylon, poliamida, PEEK, PEKK, PAI, PAS (Miravete, 2008).

Microscopio electrónico de barrido HEB.

El Microscopio Electrónico de Barrido permite la observación directa de todo tipo de superficies, así como extender el rango de resolución de las imágenes hasta la escala nanométrica. En efecto, mientras que las observaciones ópticas están limitadas por la longitud de onda de la luz visible a una resolución del orden de una fracción de micrón. Asimismo, un microscopio electrónico de barrido presenta una gran profundidad de foco, característica -privativa de los instrumentos electrónicos, que permite la obtención de micrografías en foco de superficies irregulares como las de una fractura. Dadas estas características, inmediatamente se constituyeron en una herramienta indispensable para numerosas disciplinas científicas y tecnológicas, como la Ciencia de los Materiales y las Ciencias de la Vida (Ipohorski, 2010).

Termo gravimetría (TGA).

La termo gravimetría es una técnica que ha sido utilizada para la caracterización de materiales, principalmente de carbón y arcillas. En los últimos años la técnica se ha extendido a otros materiales. esta técnica en combinación con otros métodos térmicos provee una fuente de información no solamente térmica sino también química. Es importante aclarar que este método no permite conocer la composición química del material en estudio ni tampoco identificar los cambios térmicos que no están asociados con variaciones de masa como la cristalización o la transición vítrea, se basa en los cambios de masa como resultado de una variación de temperatura o por someter un material a una temperatura establecida durante un periodo definido. Los cambios de masa identificados permiten determinar bajo qué condiciones los materiales se descomponen. Los resultados se expresan gráficamente a través de termogramas (Rodríguez Ellen, 2012).

La termo gravimetría es parte de un conjunto de análisis térmicos que han sido desarrollados para identificar y medir los cambios físicos y químicos, que sufren los materiales cuando son expuestos a variaciones controladas de temperatura (Conesa Ferrer, 2012). Los hornos especialmente diseñados permiten velocidades de calentamiento y enfriamiento rápido, así como un control de temperatura de alta precisión en un intervalo de temperatura de -150°C hasta 2400°C.

Plástico y Polímero en la industria automotriz

Los plásticos son derivados del petróleo, gas natural y carbón vienen del latín plasticus y esta a su vez del griego plastikos, que significa susceptible de ser cambiado o moldeado; mientras que, polímero tiene su origen en las palabras griegas poly: muchos y meros: parte o segmento son de bajo costo (Muñoz, 2014).

Los plásticos se pueden clasificar en termoplásticos y termoestables:

Termoplásticos como el polietileno, el policloruro de vinilo, acrilonitrilo butadieno estireno ABS, y Los termoestables como el epoxi, el poliuretano, melamina entre otras son plásticos comúnmente utilizados en la industria desde tiempos antiguos (Majewski, 2013).

En la industria automotriz (PE, PP, ABS y PET) son considerados materiales tradicionales ya que generan bajo costo y son fáciles de moldear, pero a su vez tienen una gran debilidad son materiales artificiales y no existen mecanismos en la naturaleza para su rápida degradación (Majewski, 2013).

Tanque limpiaparabrisas

Los sistemas de lavado de parabrisas se suministran como equipo original en vehículos nuevos como un accesorio de seguridad, estos mecanismos que generalmente comprende un depósito de plástico generalmente ABS, un Bomba, boquillas rociadoras, tubo flexible que

conecta el reservorio con la bomba y la bomba con las boquillas de rociado, y un control adecuado para el mecanismo.

El tanque mostrado en la figura 3 es de limpiaparabrisas, un reservorio conformado por un plástico flexible elásticamente moldeado abierto en un extremo que se sostiene a un lado del automóvil permite la contención de líquidos (agua) para el lavado del parabrisas de un automóvil



Figura 3. Tanque de plumas universal. (Majewski, 2013).

El Acrilonitrilo Butadieno Estireno o ABS

Es un plástico muy resistente a golpes utilizado en automóviles muy a menudo, es un termoplástico sin una forma concreta llamado amorfo. Tiene buena estabilidad a altas temperaturas y resistente a ataques químicos por lo que posee muchas aplicaciones en la industria. El butadieno, proporcionan tenacidad a cualquier temperatura. Tiene buena estabilidad en ambientes fríos no se vuelve quebradizo asimismo aporta resistencia mecánica y rigidez, el ABS es un ejemplo claro del diseño de materiales (Miles , 2011).

Método

Se realizará un diseño experimental considerando las diferentes variables controlables para diferentes niveles de experimentación, para lo cual, se selecciona el tipo de membrana, sus propiedades mecánicas, y térmicas para realizar su caracterización y estudio, los ensayos mecánicos y térmicos se realizarán en la ciudad de Quito, ubicada a 2 850 metros de altitud. Una vez realizados los diferentes ensayos, se obtienen diferentes valores para cada una de las variables consideradas en esta experimentación, la cual, se replicará para los distintos espesores de membranas poliméricas en estudio. Se escoge trabajar con dos espesores de membranas, de 1[mm] y 1.5[mm] con la finalidad de analizar y estudiar el comportamiento de las membranas poliméricas desde el punto de vista mecánico, físico y térmico, para determinar si cumplen las características que exige la normativa y determinar su aplicabilidad en el campo de la automoción, para analizar su uso en la ingeniería automotriz.

Materiales

Los materiales a utilizar para las probetas se obtienen de la empresa PLASTIAZUAY, que se dedica a la elaboración de membranas poliméricas desde 1985, que son manufacturadas bajo elevadas técnicas de control de calidad mediante la norma ISO 9001. En la Tabla 4 se detallan las geomembranas de PVC y HDPE a utilizar (Plastiazuay S.A., 2017).

Tabla 4 *Geomembranas de HDPE Y PVC*

Producto	Espesor (micras)	Descripción	Resistencia Química
Membrana HDPE	1000	Lámina de polietileno de alta densidad plastificada y aditivada con protectores UV y agentes microbicidas	Muy buena resistencia a: Ácidos, Bases, Metales Pesados, Petróleo crudo
Membrana HDPE	1500	Lámina de polietileno de alta densidad plastificada y aditivada con	Muy buena resistencia a: Ácidos, Bases,

Membrana PVC	1000	protectores UV y agentes	Metales Pesados,
		microbicidas	Petróleo crudo
		Lámina de PVC	Muy buena
		plastificada y aditivada	resistencia a:
Membrana PVC	1500	con protectores UV y	Ácidos, Bases,
		agentes microbicidas	Metales Pesados,
			Petróleo crudo
		Lámina de PVC	Muy buena
		plastificada y aditivada	resistencia a:
		con protectores UV y	Ácidos, Bases,
		agentes microbicidas	Metales Pesados,
			Petróleo crudo

Nota: La tabla muestra las propiedades de las membranas de HDPE y PVC, *Fuente:* (Plastiazuay S.A., 2017).

En la caracterización de los materiales se los realizara en los laboratorios de Escuela Politécnica Nacional. Estos ensayos se van a realizar según las especificaciones y normativas que se utilizan en los Laboratorios de Nuevos Materiales (LANUM) en la Facultad de Ingeniería Mecánica y el Centro de Investigación de Aplicación de Polímeros (CIAP) del Departamento de Ciencia de alimentos y biotecnología de Facultad de Ingeniería Química.

Equipos

A continuación, se detalla los diferentes equipos a utilizar en los diferentes ensayos. En la Figura 4 se presenta la maquina troqueladora utilizada para la fabricación de las diferentes probetas de tracción, es un dispositivo que permite la obtención de probetas troqueladas bajo normativas con cortes limpios y sin micro defectos para evitar problemas en los ensayos (EPN, 2015).



Figura 4. Troqueladora de probetas, marca INSTRON (EPN, 2015).

Para los ensayos se utiliza una maquina universal de ensayos marca Tinius Olsen, modelo:H25KS: capacidad máxima 25 KN; precisión utilizada: 0,01 N como apreciamos en la Figura 5, que permite realizar ensayos de tracción, flexión, compresión, desgarre, coeficiente de fricción, entre otros, sobre materiales plásticos y materiales compuestos. Todos los datos de la maquina se encuentran especificados en la Tabla 5.



Figura 5. Máquina universal de ensayos, marca Tinius Olsen, modelo:H25KS (EPN, 2015).

Maquina adecuada para agarrar material rígido de alta resistencia en forma paralela o con mancuernas. Idealmente la muestra no debe ser mayor de 150 mm (6 pulgadas), está diseñada para agarrar muestras planas y redondas de la mejor manera son diseñadas para soportar normas ASTM, ISO y EN (Olsen, 2019).....

Tabla 5 Propiedades Tinius Olsen H25KS

Especificaciones	Valor
Capacidad máxima	25 KN
Celda de carga	500N
Longitud de corte	50 mm
Ancho máximo de muestra	30 mm
Espesor máximo de Muestra	15 mm
Longitud	210mm
Peso	6.3 Kg
Límites de Temperatura	-40 – 100°C

Fuente: (Olsen, 2019)

Calibrador de Breiner marca: Mitutoyo, modelo: Absolute Digimatic (12” /300mm);
apreciación de 0,01mm para tomar medidas con exactitud.



Figura 6. Calibrador de Breiner marca: Mitutoyo, modelo: Absolute Digimatic. (EPN, 2015).

En la tabla 6 muestra la apreciación del calibrador digital Mitutoyo con pantalla LCD, utilizado en el control y ajuste en todo ámbito industrial donde se necesita una buena calibración y medición exacta en el trabajo (Grainger, 2018).

Tabla 6 Especificaciones Técnicas calibrador Breiner Mitutoyo

Especificaciones	Valor
Precisión	+/-0.0015"/0.01mm
Estuche	Plástico
Rango	0 a 12”/ 0 a 300 mm

Clasificación IP	No Clasificado
Material del Calibrador	Acero Inoxidable

Fuente: (Mitutoyo, 2019)

Micrómetro marca: Mitutoyo. Modelo: M110-25; apreciación de 0,01mm. Micrómetro Mide medidas exteriores de 0mm a 25mm, ideal para medir todos los tipos de carbón y superficies duras.



Figura 7. Micrómetro marca: Mitutoyo. Modelo: M110-25 (EPN, 2015).

En la tabla 7 muestra las características del micrómetro Mitutoyo M110 -225 manejado en trabajos donde se requiera una exactitud perfecta además es utilizado en pruebas de laboratorio (Mitutoyo,2019).

Tabla 7 Especificaciones Técnicas Micrómetro Mitutoyo

Especificaciones	Valor
Precisión	0.01mm
Tipo	Mecánico
Rango	0 a 25 mm

Clasificación IP	No Clasificado
Material del Calibrador	Acero Inoxidable
Peso	215 g

Fuente: (Mitutoyo, 2019)

Balanza analítica marca: shimadzu, modelo: AUX 220; apreciación de 0,0001g para realizar las pruebas de densidad y gravedad específica. En la figura 8 y en la Tabla 8 se muestran todas las características técnicas de la balanza (Zelian,2019).



Figura 8. Balanza analítica marca: shimadzu (EPN, 2015).

Tabla 8 Especificaciones Técnicas Balanza Shimadzu

Especificaciones	Valor
Precisión	0.1 g
Capacidad máxima	220g
Resolución	0.1 mg
Tiempo de respuesta	3s
Temperatura de trabajo	5 a 40 grados
Peso	7 kg aprox.

Fuente: (Zelian, 2019)

Termómetro digital marca: FLUKE, modelo: 521l, con termocupla tipo k; apreciación: 0,1°C utilizado para medir la temperatura en los ensayos todos los datos técnicos se encuentran en la Tabla 9 utilizado prácticamente en el laboratorio (Ceded,2019).



Figura 9. Termómetro digital marca: FLUKE, modelo: 521l (EPN, 2015).

Tabla 9 Especificaciones Técnicas Termómetro digital Fluke

Especificaciones	Valor
Precisión	0.1 °
Lectura	°C o °F
Batería	1000 horas

Fuente: (Ceded, 2019).

Termohigrómetro marca ELITECH, modelo RCW-800 wifi; apreciación de 0,1 °C y 0,1%HR, trabaja mas de 12 horas y puede monitorear múltiples lugares con el mismo aparato con un sensor de humedad Honeywell (Vimael,2018).



Figura 10. Termohigrómetro marca ELITECH, modelo RCW-800 wifi (EPN, 2015).

Tabla 10 Especificaciones Técnicas Termohigrómetro Elitech

Especificaciones	Valor
Fuente de alimentación	5V
Sensor	NTC
Rango	-40 °C a 80 °C
Rango Humedad	0%RH - 95%RH
Puerto	Wifi
Precisión	0.5°C y 0.1%RH

Fuente: (Mitutoyo, 2019)

Ensayo Densidad y Gravedad Especifica ASTM D792-13

La gravedad específica o densidad de un sólido es una propiedad útil en la caracterización de materiales, ayuda a medir el seguimiento de cambios físicos en una muestra, y en el cálculo de las relaciones resistencia a peso y costo a peso. Los cambios en la densidad de un material polimérico se deben a diferencias localizadas en la cristalinidad, pérdida de plastificante, absorción del disolvente u otras causas. Es posible que las porciones de una muestra difieran en densidad debido a sus diferencias en su historial térmico, porosidad y composición (tipos o proporciones de resina, plastificante, pigmento, relleno, etc.).

Los ensayos de densidad y gravedad específica se realizan bajo la Normativa ASTM D792-13 (Standard Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) o Métodos

de prueba estándar y gravedad específica de plásticos por desplazamiento mencionada en el Anexo 1, dicha norma es específica para laminas, varillas, tubos o artículos moldeados realizada bajo dos métodos (ASTM D792, 2013).

- Método: A (agua), para los materiales: PVC 1500 μm y PVC 1000 μm
- Método: B (líquido diferente de agua), para los materiales: HDPE 1500 μm y HDPE 1000 μm
- Medio líquido para inmersión: Agua y Metanol con 99,8% de pureza
- Condiciones de la muestra:
- Masa: 1 a 50g
- Volumen: mayor o igual a 1 cm^3
- Espesor: mayor o igual a 1 mm/ g
- Temperatura del medio líquido: 23,0 $^{\circ}\text{C}$ $\pm$ 0,1%

Principio de medición

Se determina la masa del espécimen plástico (sólido) en aire. Luego se sumerge en un líquido, se determina su masa aparente después de la inmersión y se calcula su gravedad específica (densidad relativa) por desplazamiento. Este método de ensayo (método A) implica pesar un espécimen de una pieza de 1 a 50 g en agua, usando una platina con plásticos que son más ligeros que el agua, siendo adecuado para plásticos humedecibles que no se ven afectados por el agua (ASTM D792, 2013).



Figura 11. Ensayo de densidad en geomembranas (EPN, 2015).

Para el cálculo de la gravedad específica y densidad se utilizan las siguientes expresiones:

$$sp\ gr\ 23/23^{\circ}C = Wa/Wa - WI \quad (1)$$

$$D^{23^{\circ}C} = sp\ gr\ 23/23^{\circ}C \times D\ líquido \quad (2)$$

Donde:

Sp gr 23/23°C: Gravedad específica de la muestra

Wa: Masa de la muestra medida en aire, (g)

WI: Masa de la muestra medida en el medio líquido, (g)

D^(23°C): Densidad de la muestra, (g/cm³)

D líquido: Densidad del medio líquido a 23°C, Metanol: 0,7880 g/cm³ y Agua: 0,9976 g/cm³

Resistencia a la Tracción (Tensión) ASTM D882-18

Para los ensayos resistencia a la tracción (Tensión) se los puede realizar bajo las normas ASTM D882-18 que mencionan los datos necesarios para realizar los ensayos de tracción en membranas poliméricas (Costa, 2008).

En el ensayo de resistencia a la tracción, se somete a una probeta una velocidad de alargamiento constante, lo que da lugar a una tensión uniaxial creciente a lo largo del eje de la probeta. Las características de tracción de los materiales poliméricos son medidas mediante un ensayo de tracción obteniendo como resultado una curva de esfuerzo-deformación. La curva de esfuerzo vs deformación de diferentes membranas (ASTM D882, 2013).

La norma a la cual vamos a realizar el ensayo de tracción es la ASTM D882-18 (Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting) o Método de prueba estándar para propiedades de tracción de láminas de plástico fino la cual se encuentra en el Anexo 2.

Las pruebas se realizan bajo las siguientes condiciones:

- Tipo de mordazas: Planas
- Ítems de ensayo: Al menos 5 probetas

- Separación inicial entre mordazas: 50 mm
- Tasa inicial de deformación: 10 mm/mm minuto
- Velocidad de ensayo: 500 mm/min
- Condiciones ambientales de ensayo: 23 +/-2* C; 50 +/- 10% HR

Como primera observación (Apas, 2010) destaca que en aquellos geotextiles de más gramaje se obtiene una resistencia a la tracción y alargamiento aparente mayor que en aquellos de menor gramaje. La resistencia a la tracción y el alargamiento en productos de la misma empresa y del mismo gramaje pueden variar, en muy pequeño rango, debido a la orientación, largo y densidad de fibras de muestra tomada del rollo comercial. Esto puede deberse a que el sistema de producción en este tipo de productos se realiza incorporando las fibras en forma aleatoria.

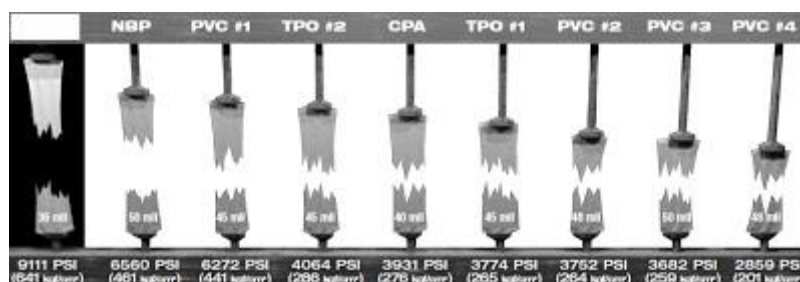


Figura 12. Ensayo de tracción en geomembranas. Realizado bajo la norma ASTM D882. (EPN, 2015).

Dependiendo de la elongación del material y las propiedades deseadas que se obtendrán de las pruebas, de este ensayo se puede obtener propiedades tal como tensión, alargamiento y módulo puede ser calculado.

Probetas

Las probetas de prueba consistirán en tiras de ancho y grosor uniformes de al menos 50 mm (2 in.) Más largos que la separación de agarre usado. El ancho nominal de los especímenes no será inferior a 5.0 mm (0,20 in.) o mayor que 25.4 mm (1.0 in.). Se utilizará una relación

ancho-espesor de al menos ocho. Las muestras estrechas magnifican los efectos de las deformaciones o defectos de los bordes (ASTM D882,2013).

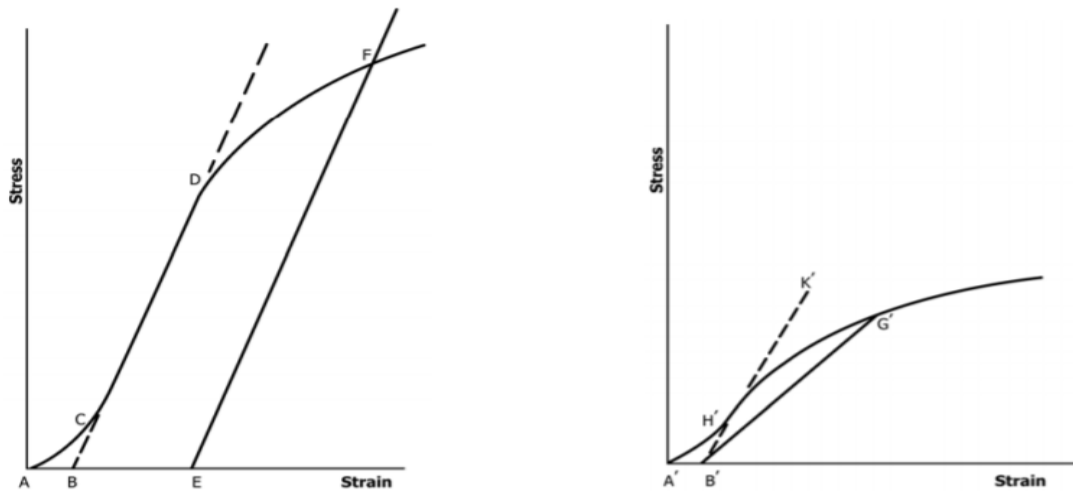


Figura 13. Ensayo de tracción en geomembranas. Diagrama esfuerzo deformación. (EPN, 2015).

Resistencia al Rasgado ASTM D1004-13.

Consiste en el alargamiento de las membranas hasta su carga de rotura es decir la carga máxima la máquina de ensayo debe estar dotada de un dispositivo para medir longitudes de alargamiento de las probetas, debe garantizar que la velocidad de separación se mantenga constante con el tiempo y consta de un par de mordazas entre las cuales se coloca el geotextil que va a ser ensayado además se lo controla bajo la norma ASTM D1004-13 (Standard Test Method for Tear Resistance (Graves Tear) of Plastic Film and Sheeting) o Método de prueba estándar para resistencia al desgarro de película plástica y láminas mencionada en el Anexo 3 (Plastiazuary S.A., 2017).

Los resultados de ensayos en geomembranas demuestran Las de HDPE responden de una forma característica, mostrando un pronunciado límite de elasticidad entre 10 y 15% de deformación, cayendo lentamente y luego deformándose hasta 1000% donde falla, mientras Las del PVC presentan una respuesta relativamente suave, aumentando su resistencia gradualmente hasta su falla en 480% de deformación.

Lavoie (2013) presenta resultados de figuración bajo tensión realizados con geomembranas de polietileno de alta densidad (HDPE), las cuales fueron realizados de acuerdo a la norma ASTM D5397. Estos ensayos fueron realizados en muestras de control a 50 ° C (ensayo padrón) y a 70 ° C (condición acelerada) para comparar valores de fisuración bajo tensión. Los resultados de estos ensayos acelerados mostraron una economía total de 390 h (comparando etapas de carga de 25% de la tensión de ruptura) para los ensayos realizados.

Condiciones para el ensayo

Ítems de ensayo: Al menos 10 probetas

Separación inicial entre mordazas: 25,4 mm

Velocidad de ensayo: 51 mm/min

Condiciones ambientales de ensayo: 23 +/-2° C; 50 +/- 10% HR

Microscopia Electrónica de Barrido (SEM).

La evaluación microscópica de las geomembranas de polietileno y pvc se ha efectuado en las condiciones experimentales indicadas después de ser rasgadas por la maquina con un rango de detección de 5mm a 50nm. Dichas pruebas muestran las características morfológicas y químicas de dos tipos de geotextiles pvc y hdpe. A partir del análisis espectro gráfico se encuentra la distribución de los elementos químicos en estos materiales. Así mismo, a través de la observación con microscopia electrónica se identifican las características morfológicas que permiten establecer el potencial de los geotextiles para nuevos usos en la industria electrónica, tales como la generación de energía y la impresión de microcircuitos y dispositivos en geotextiles (Rodríguez Pino, 2018).

Condiciones a realizarse el ensayo:

- Energía del haz de electrones: 10,0 kV y 15,0 kV
- Carga del filamento: 70,0% a 90%
- Emisión de corriente: 80 µA a 120 µA

- Presión de vacío (variable): 0,15 a 0,30 Torr
- Magnificaciones: 100X, 250X, 500X y 1000X

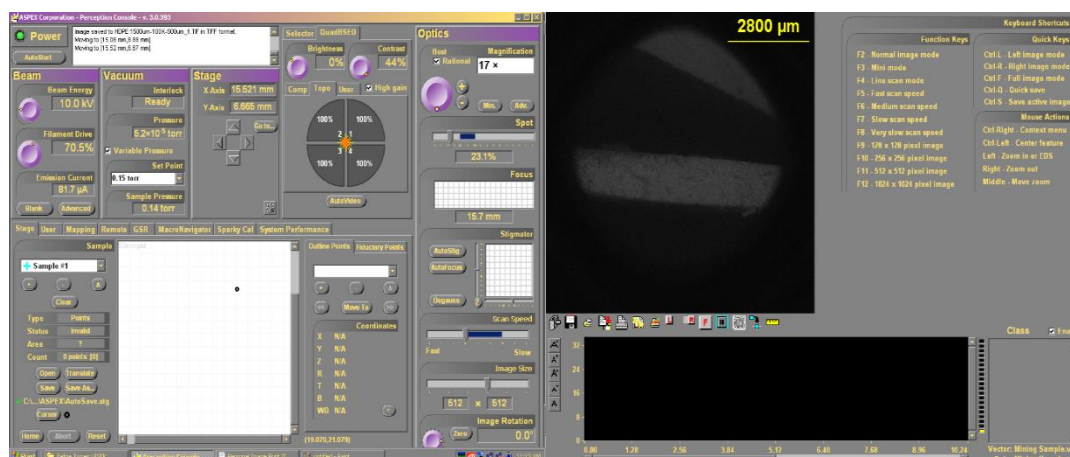


Figura 14. Condiciones para microscopia electrónica de barrido (SEM) (EPN, 2015).

En las siguientes tablas 11,12,13 y 14 se muestran los valores típicos de las membranas a ensayar dadas por el fabricante en donde se mencionan las normas a ser ensayadas, el espesor, unidades entre otros.

En la Tabla 11 Se muestran los valores obtenidos para las diferentes propiedades mecánicas, térmicas, y físicas de la geomembrana PVC 1500 Micras.

Tabla 11 *Propiedades y normas para la determinación de las diferentes propiedades en los diferentes especímenes de geomembrana de PVC 1500 Micras.*

Producto: Geomembrana PVC 1500 Micras

Descripción: Lámina de PVC plastificada y aditivada con protectores UV y agentes microbicidas

Especificaciones	Norma	Unidad	Tolerancia	Valor
Espesor		Micras	±	1500
Gramaje	ASTM D 792	g/m ²	±	2100
Densidad y gravedad específica	ASTM D	g/cm ³	-	1.3
Resistencia a la tracción	ASTM D	MPa	-	Longitudinal min:11 Transversal min: 10
Alargamiento a la rotura	ASTM D	%	-	Longitudinal min:290 Transversal min: 200

Resistencia al rasgado	ASTM D	N	-	Longitudinal min:62 Transversal min: 56
Resistencia al punzonamiento	ASTM D	kPa	-	1321
Volatilidad	ASTM D	%	-	0.38
Resistencia Hidrostática	ASTM D	psi	-	305.0
Temperatura de trabajo	ASTM D	°C	-	Máxima 60

Fuente: (Plastiazuary S.A., 2017)

En la Tabla 12 Se muestran los valores obtenidos para las diferentes propiedades mecánicas, térmicas, y físicas de la geomembrana HDPE 1500 Micras.

Tabla 12 *Propiedades y normas para la determinación de las diferentes propiedades en los diferentes especímenes de geomembrana HDPE 1500 Micras.*

Producto: Geomembrana HDPE 1500 Micras

Descripción: Lámina de PVC plastificada y aditiva da con protectores UV y agentes microbicidas

Especificaciones	Norma	Unidad	Tolerancia	Valor
Espesor		Micras	±	1500
Gramaje		g/m ²	±	1450
Densidad y gravedad específica	ASTM D 792	g/cm ³	-	0.91
Resistencia a la tracción	ASTM D 882	KPa	-	16
Alargamiento a la rotura	ASTM D 882	%	-	539
Resistencia al rasgado	ASTM D 1004	N	-	189
Resistencia al punzonamiento	ASTM D 2582	kPa	-	2022
Volatilidad	ASTM D 1203	%	-	0.34
Resistencia Hidrostática	ASTM D 751	psi	-	435
Temperatura de trabajo	ASTM D 1525	°C	-	Máxima 98

Fuente: (Plastiazuary S.A., 2017)

En la Tabla 13 se muestran los valores obtenidos para las diferentes propiedades mecánicas, térmicas, y físicas de la geomembrana HDPE 1000 Micras.

Tabla 13 *Propiedades y normas para la determinación de las diferentes propiedades en los diferentes especímenes de geomembrana HDPE 1000 Micras.*

Producto: Geomembrana HDPE 1000 Micras

Descripción: Lámina de PVC plastificada y aditiva da con protectores UV y agentes microbicidas

Especificaciones	Norma	Unidad	Tolerancia	Valor
Espesor		Micras	±	1000
Gramaje		g/m ²	±	960
Densidad y gravedad especifica	ASTM D 792	g/cm ³	-	0.90
Resistencia a la tracción	ASTM D 882	KPa	-	10.9
Alargamiento a la rotura	ASTM D 882	%	-	512
Resistencia al rasgado	ASTM D 1004	N	-	122
Resistencia al punzonamiento	ASTM D 2582	kPa	-	1551
Volatilidad	ASTM D 1203	%	-	0.39
Resistencia Hidrostática	ASTM D 751	psi	-	414
Temperatura de trabajo	ASTM D 1525	°C	-	Máxima 98

Fuente: (Plastiazuary S.A., 2017)

En la Tabla 14 se muestran los valores obtenidos para las diferentes propiedades mecánicas, térmicas, y físicas de la geomembrana PVC 1000 Micras.

Tabla 14 *Propiedades y normas utilizadas para la determinación de las diferentes propiedades en los diferentes especímenes de geomembrana PVC 1000 Micras.*

Producto: Geomembrana PVC 1000 Micras

Descripción: Lámina de PVC plastificada y aditivada con protectores UV y agentes microbicidas

Especificaciones	Norma	Unidad	Tolerancia	Valor
Espesor		Micras	±	1000
Gramaje	ASTM D 792	g/m ²	±	1400
Densidad y gravedad especifica	ASTM D	g/cm ³	-	1.32
Resistencia a la tracción	ASTM D	MPa	-	Longitudinal min:11 Transversal min: 10
Alargamiento a la rotura	ASTM D	%	-	Longitudinal min:240

Resistencia al rasgado	ASTM D	N	-	Transversal min: 220 Longitudinal min:56 Transversal min: 52
Resistencia al punzonamiento	ASTM D	kPa	-	1321
Volatilidad	ASTM D	%	-	0.36
Resistencia Hidrostática	ASTM D	psi	-	305.0
Temperatura de trabajo	ASTM D	°C	-	Máxima 58

Fuente: (Plastiazuay S.A., 2017)

En la tabla 15 muestra las membranas más conocidas en Ecuador HDPE Y PVC con espesores fáciles de conseguir en las medidas, ensayos a realizar térmicos y mecánicos con las normas a regir tomando como variables el tipo de membrana, espesor, ensayos mecánicos, ensayos térmicos.

Tabla 15 *Variables y niveles*

Caracterización de membrana polimérica de PVC y HDPE de alta densidad más comunes en Ecuador para determinar aplicaciones automotrices			
Variable	Niveles		
Tipo de Membrana	Material	Material	
	Membrana de Polietileno de alta densidad (HDPE)	Membrana de Poli cloruro de vinilo (PVC)	
	Información CANFAC. 2015., AEADE. 2015 & MIPRO. 2014.		
	Selección de materiales en la mecánica (Ashby, 2005) Comparación estudio de tres diferentes geomembranas. (Blanco, 2012) Comparación de geomembrana PVC y HDPE (Shobha &		

	Gautam, 2018) Manual técnico de geomembranas (Rivera, 2010)		
Espesor	1 mm Ficha técnica (Plastiazuary, 2017) ASTM 412	1,5 mm Ficha Técnica (Plastiazuary,2017) ASTM 412	
Ensayos Mecánicos	Resistencia a la tracción Longitudinal y Transversal ASTM D882	Alargamiento a la rotura ASTM D 882	DENSIDAD Y GRAVEDAD ESPECIFICA ASTM D792
	Evaluación bajo tensión de geomembranas (Lavoie, 2013) Ficha técnica (Plastiazuary, 2017) Normativa sobre uso de ensayos en geosintéticos (Costa, 2008)	Determinación de la Resistencia a la Tracción de Geotextiles (Apas, 2010) Ficha técnica (Plastiazuary, 2017) Normativa sobre uso de ensayos en geosintéticos (Costa, 2008)	Información de geomembranas de PVC Y HDPE (Portaluppi, 2014) Ficha técnica (Plastiazuary, 2017) Normativa sobre uso de ensayos en geosintéticos (Costa, 2008)
		Temperatura de trabajo ASTM D1525 propiedades mecánicas y el deterioro de la microestructura de las por	

		termofusión diferente temperatura y velocidad de avance en Láminas de Geomembrana (Huahuacond ori, 2014)	
--	--	--	--

Nota: La tabla muestra el método al cual va a dirigirse la tesis. *Fuente:* Autor´

Simulación

Para comenzar con la simulación se integra un software de diseño mecánico donde se vincula dibujos en 2D y 3D para obtener un elemento en tres dimensiones y conseguir un modelo virtual de los elementos antes de ser fabricado. El método de los elementos finitos, hace mención como técnicas matemáticas avanzadas que permiten solucionar de manera rápida solución a problemas numéricos con un número finito de incógnitas (Manjarrez,2017).

Sin embargo, el método de los elementos finitos nos ayuda a predecir de manera eficaz como funciona y reacciona un determinado elemento en el medio real, dicho método es utilizado en varias investigaciones desde 1970 para determinar información fiable sobre las tensiones, factor de seguridad y desplazamientos en elementos (Rebollo, 2012).

Formulación del método.

Mediante este software se realiza el diseño CAD de la geometría a dividirse en elementos a través de un número finito de nodos que se le conoce como malla los cuales pueden ser cuadriláteros, triángulos como se muestra en la Figura 15 y en el Anexo 5 que muestran los planos del tanque que posteriormente serán simulados mediante elementos finitos para soportar la carga estacionaria de agua (Rebollo, 2012).

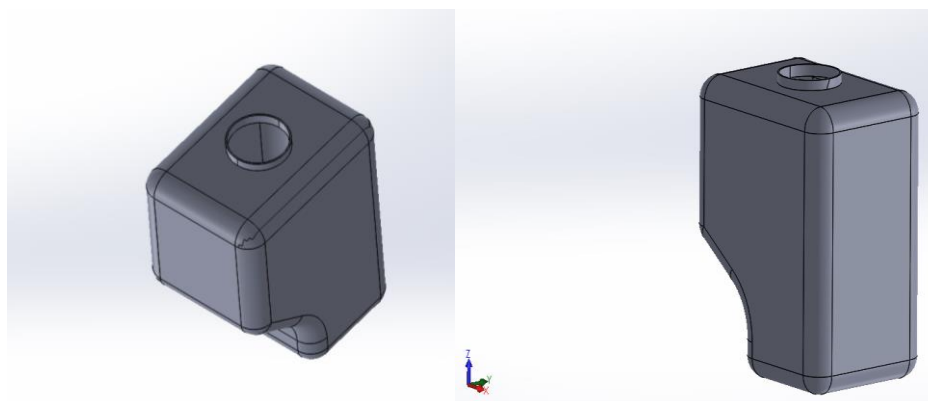


Figura 15. CAD Tanque limpia parabrisas, Fuente: Autor.

Con el CAD terminado se procede a dar los datos de partida mencionados en la tabla 16 tomando en cuenta todos los datos obtenidos mediante aplicación técnica ya aprobadas como volumen del cuerpo, material a utilizar, densidad del líquido entre otros.

Tabla 16 Datos de partida Simulación

Especificaciones	Valor	Unidad
Tipo de estudio	Estático Lineal	
Magnitud	Presión	PSI
Densidad del agua	1000	Kg/m3
Volumen	78055.5	mm3
Gravedad	9.8	m/s2
Angulo de giro	60	Grados
Mallad	Bidimensional	

Fuente: Autor

Las propiedades de cada material a simular se encuentran en las tabla 17, 36, 37, 38, 39 con los datos de cada membrana y material tradicional en la tabla 17 el material original es ABS todos los datos fueron tomados de la librería de SolidWorks(2018) el cual tiene la pruebas ya realizadas y validadas para este material.

Tabla 17 Propiedades de material ABS

ABS		
ESPECIFICACIONES	Valor	Unidad
MODULO ELÁSTICO	2000	MPa
COEFICIENTE DE POISSON	0.394	N/D
MODULO CORTANTE	318.9	MPa
DENSIDAD DE MASA	1020	Kg/m3
LÍMITE DE TRACCIÓN	30	MPa
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	0.2256	W

CALOR ESPECIFICO

1386

J/kg*k

Fuente: (SolidWorks, 2018)

Con los datos mencionados se procede asignar los materiales a los dibujos como se indica en la figura 16 se muestra la asignación de material al CAD ya terminado ingresando las propiedades del material, de igual manera se ingresa las propiedades de las membranas a simular se puede apreciar que el análisis será estático lineal

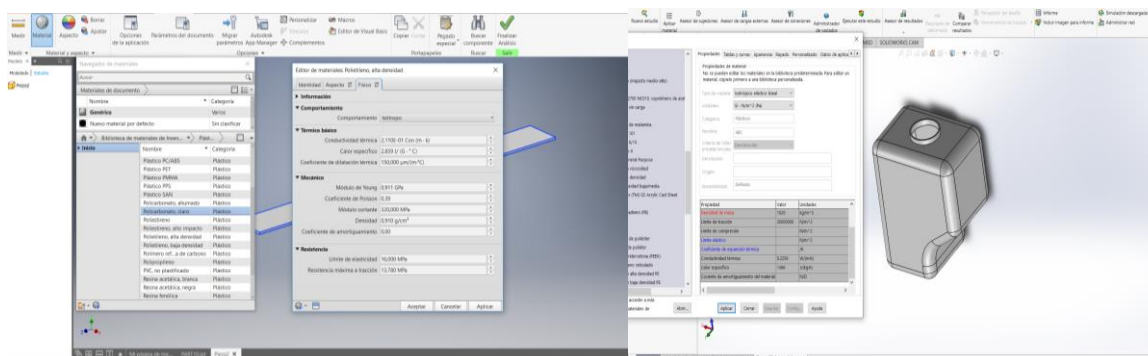


Figura 16. Creación de nuevo material, Fuente: Autor

Mallado.

El mallado es una de las partes fundamentales del proceso de este depende la calidad y la apreciación de los resultados en la tabla 18 se muestran los rangos para la finesa de la Mallla medidas del 0 al 1 esto se puede interpretar que mientras más se acerca al cero la precisión será mejor, por tal motivo el mallado será más finos y por ende más nodos o puntos de verificación (Inbaquingo,2016).

Tabla 18 Rangos de mallado

Rango	Valor
10	Muy malo
9	Malo
7.5	pobre
5	Razonable
2.5	Bueno
0 a 2	Excelente

Fuente: (Ansys,2018)

Un mallado fino implica más puntos de verificación, mejora los resultados y son más precisos, por lo cual el proceso tardara mucho más en procesar, en la figura 17 se muestra el

mallado, se tomo un rango de 2 el cual es Excelente de tal forma nos arroja los resultados mas precisos

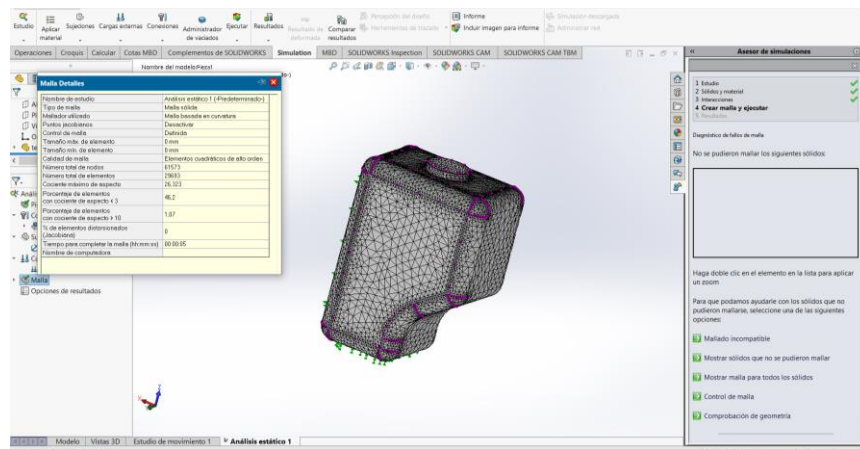


Figura 17. Mallado del tanque, Fuente: Autor

Análisis.

Con el fin de verificar el comportamiento de los materiales analizaremos el factor de seguridad, el desplazamiento en cada nodo y las tensiones máximas para cada uno de los casos, para lo cual se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

El Factor de seguridad es la incertidumbre a considerar por cualquier eventualidad en los sistemas a simular donde se divide la resistencia real del material y la resistencia requerida la cual en materiales geosintéticos no debe ser menor a 2 (Cano, 2011).

La Tensión de Von Mises se asocia al fallo elástico que sufrirá el material después de su distorsión en pocas palabras si la tensión de Von Mises supera a la tensión de fluencia en la prueba el material fallará (Pereiras,2018).

Desplazamiento se verifica que los desplazamientos son lo adecuadamente pequeños para que no se tenga en cuenta la rigidez causada por la presión (Carman, 2018).

Después de estas consideraciones se inicia con la asignación de la presión de agua se toma en cuenta con el volumen del material y la densidad de agua equivalente a 1000 kg/m^3 con una gravedad igual a 9.8 m/s^2 estática se asume que la presión dentro del recipiente 0.147 psi.

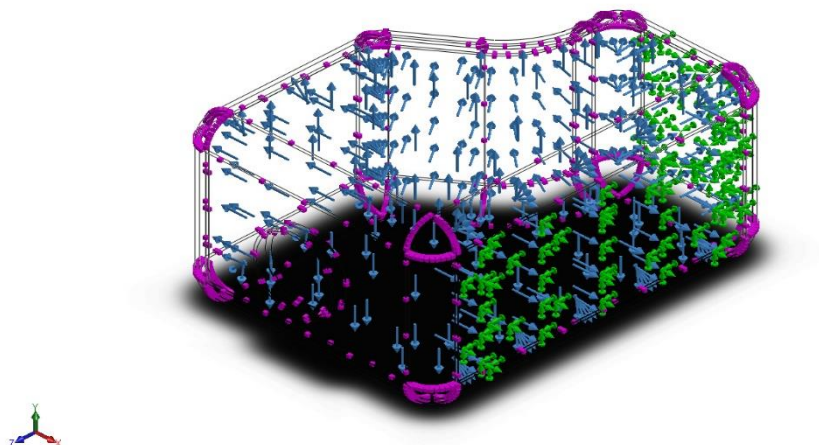


Figura 18. Creación de nuevo estudio. Asignación de cargas, Fuerzas, Fuente: Autor.

En la siguiente Tabla 19 muestra los datos obtenidos del mallado el tiempo total de ejecución del análisis y el porcentaje de la malla analizada, podemos ver que el tiempo de analisis es cercano a la 30 hora.

Tabla 19 Información del Mallado y tiempo total de análisis

Descripción	Valor
Número total de nodos	75801
Número total de elementos	37540
Cociente máximo de aspecto	52,805
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	66,7
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,186
Tipo de malla	Malla sólida
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Tiempo para completar la malla y análisis (hh:mm:ss):	00:23:05

Nombre de computadora:

Felipe

Fuente: Autor

Alcance de la investigación.

Este estudio tendrá un alcance descriptivo, pues se desea mostrar las propiedades del objeto de estudio y sus características principales (Hernández, 2016). Específicamente, se detalla las propiedades de la membrana polimérica de PVC y HDPE de alta densidad más comunes en Ecuador, a fin de determinar las aplicaciones automotrices pertinentes.

Diseño de investigación.

El diseño correspondiente para este estudio es de carácter no experimental-transversal, pues no se manipulará deliberadamente ninguna variable (Hernández, 2016). El objeto de estudio, por tanto, será observado en su contexto propio, y se describirán sus características esenciales, así como sus aplicaciones y usos prácticos.

Tipos de investigación.

En el presente trabajo se aplicará varios tipos de investigación como:

Para la determinación del tema propuesto se aplica investigación exploratoria, donde se toman referencias de fuentes de apoyo como artículos científicos, libros, revistas, tesis.

Además, se aplica esta investigación para determinar los tipos de normas, los ensayos requeridos para el desarrollo del proyecto y para caracterizar el material. (Moyano, 2018).

Se establece una investigación explicativa con los resultados obtenidos en los laboratorios de resistencia de materiales ya mencionados, de estos resultados se permite desarrollar un razonamiento deductivo para la determinación de la factibilidad de utilizar las membranas en la industria automotriz.

Se emplea con fines comparativos una simulación utilizando el software NX, para la determinación de una posible aplicación automotriz.

Técnicas.

En este estudio se aplicarán las técnicas propuestas en cada norma, para facilitar la tabulación e interpretación de resultados (Tamayo, 2017). Por otra parte, se aplicará la herramienta NX con el fin de determinar los requerimientos y condiciones más apropiadas para el diseño de aplicaciones con membranas polimérica de PVC y HDPE de alta densidad.

Problema.

El problema de este estudio consiste en determinar las aplicaciones automotrices que se puede dar a las membranas poliméricas de PVC y HDPE de alta densidad, tomando en cuenta sus características físicas y los costos de operación.

Resultados

En este apartado se exponen los resultados de las pruebas realizadas a las Membranas Polimérica de 1 mm y 1.5 de HDPE (Polietileno de Alta densidad) y PVC (Policloruro de vinilo) realizadas en el Laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones (FIM) de la Escuela Politécnica Nacional,

La geomembrana en el medio se encuentra con un ancho de rollo 1,40 m por el largo requerido del cliente, siempre poseer las medidas de seguridad para aplicar el método correcto de levantamiento o manipulación de cargas. El personal debe disponer de calzado industrial que proteja extremidades inferiores.

Resultados de pruebas Geomembrana HDPE 1500

En la Tabla 20 se muestran las características principales de la geomembrana HDPE 1.5 mm y de que tamaño se encuentra en el mercado local.

Tabla 20 *Descripción del Producto HDPE 1500*

HDPE	
Producto:	Geomembrana HDPE 1500 Micras
Descripción:	Lamina de Polietileno de alta densidad plastificada y aditivada con protectores UV y agentes microbicidas.
Espesor:	1.5 mm
Ancho de Rollo:	1.40 m
LARGO:	Según el requerimiento del cliente

Fuente: (Plastiazua S.A., 2017).

Resistencias al rasgado ASTM D1004-13.

En la tabla 21 siguiente se presentan los resultados de los ensayos de resistencias al rasgado de acuerdo con la norma ASTM D1004-13 para las muestras de los grupos “HDPE 1500 μm ”.

Tabla 21 *Propiedades y normas para la determinación de las diferentes propiedades en los diferentes especímenes de geomembrana HDPE 1500 Micras.*

ENSAYO DE RASGADO ASTM D1004-13 (HDPE 1500 μm)			
Muestra No.	Espesor (mm)	Resistencia al rasgado (N)	Extensión máxima (mm)
1	1,32	127,111	42,21
2	1,34	129,11	46,48
3	1,33	133,33	47,18
4	1,34	135,00	43,89
5	1,36	134,53	47,35
6	1,35	156,67	54,18
7	1,38	146,67	46,78
8	1,34	134,17	45,45
9	1,32	157,50	51,88
10	1,35	169,17	51,64
Promedio $\bar{x}$	1,3	142,33	47,70
Desviación estándar $S_{(n-1)}$	0,0	14,31	3,76
Coefficiente de variación CV	1,4	10,05	7,89

Nota: la tabla muestra el espesor, resistencia al rasgado y extensión máxima de las membranas de HDPE 1.5mm.

La tabla 21 se muestra las condiciones de las probetas del grupo “HDPE 1500 μm ” después de los ensayos de resistencia al rasgado dando como resultado un espesor promedio

de 1.4 mm una resistencia al rasgado 142.33 N y la extensión máxima posible de 47.70 mm antes de su rotura.

En la figura 19 se muestran como terminaron las probetas después de los ensayos de rasgados se puede apreciar después de la ruptura el ancho disminuye significativamente además fueron ensayadas 9 probetas las cuales al fin tienen la misma forma con un desgarre completo del material antes de su esfuerzo último las membranas tienden a fluir y deformarse significativamente.



Figura 19. Condiciones finales de las probetas del grupo “HDPE 1500 μm ” después de los ensayos de resistencia al rasgado ASTM D1004-13 Fuente: (EPN, 2019).

Resistencia tracción ASTM D882-18.

En la tabla 22 se presentan los resultados de los ensayos de resistencia tracción de acuerdo con la norma ASTM D882-18 para las muestras de las probetas “HDPE 1500 μm ” se tomaron 5 muestras con las cuales se obtuvo promedio de fuerza última de 240.17 N, una resistencia a la fluencia de 7.51 MPa y un módulo de elasticidad 183.73, la deformación en las 5 muestras no varió a excepción de una el valor subió hasta un 7% el cual pudo ser por algún defecto de fabricación.

Tabla 22 Resultados del ensayo de la resistencia a tracción ASTM D882-18 para las probetas del grupo “HDPE 1500 μm ”

ENSAYO DE TRACCIÓN ASTM D882-18
(HDPE 1500 μm)

M	A mm	E mm	Ár mm ²	FU (N)	Fr N/m	R _u MPa	R _r MPa	Dro %	R _f MPa	D _f %	Me MPA
1	15,10	1,34	20,23	239,17	15,84	11,80	11,35	575,57	7,35	4,95	188,16
2	15,20	1,32	20,06	245,00	16,12	12,23	11,86	495,17	7,05	4,60	197,93
3	15,00	1,34	20,10	240,83	16,06	12,01	11,59	489,51	9,30	7,10	152,58
4	15,20	1,33	20,22	245,83	16,17	12,20	12,20	549,01	7,40	4,80	208,11
5	15,00	1,34	20,10	230,00	15,33	11,46	10,63	533,51	6,45	4,45	171,89
Promedio				240,1	15,9	11,9	11,5	528,5	7,51	5,1	183,7
Desviación estándar				6,33	0,34	0,32	0,59	36,37	1,07	1,0	21,94
Coeficiente de variación				2,64	2,16	2,67	5,14	6,88	14,2	21	11,94

Nota: la tabla muestra el espesor, resistencia al rasgado y extensión máxima de las membranas de HDPE 1.5mm en donde M = muestra; A=ancho; E= espesor; Ar = área; FU = fuerza ultima; Fr; Factor de rotura; Ru=resistencia última; Rr= resistencia a la rotura; Dro=deformación a la rotura; Rf= resistencia a la fluencia; Df= Deformación a la fluencia; Me= Modulo de elasticidad.

En la figura 20 se muestran las condiciones finales de las probetas del grupo “HDPE 1500 μm ” después de los ensayos de resistencia a tracción se puede notar que llegaron a desgarrar completamente sin deformarse el desgarro no coincide con el punto centro de cada muestra lo que indica que el material se deforma y no volvió a su estado original.



Figura 20. Condiciones finales de las probetas del grupo “HDPE 1500 μm ” después de los ensayos de resistencia a tracción ASTM D882-18 Fuente:(EPN,2019).

Densidad y gravedad específica ASTM D792-13.

En la tabla 23 se presentan los resultados de los ensayos de densidad y gravedad específica de acuerdo con la norma ASTM D792-13 para las muestras de los grupos “HDPE 1500 μm ” realizadas en Metanol de las cuales se puede obtener una densidad de 0.946 g/cm^3 y una gravedad específica 1.2 gr 23/23°C.

Tabla 23 *Resultados de ensayo de densidad y gravedad específica ASTM D792-13 para las probetas del grupo “HDPE 1500 μm ”.*

ENSAYO DE DENSIDAD Y GRAVEDAD ESPECÍFICA ASTM D792-13					
HDPE 1500 μm					
Medio Líquido: Metanol					
Muestra No.	Wa (g)	W I (g)	TI (°C)	Sp gr 23/23°C	$D^{23^\circ\text{C}}$ (g/cm^3)
1	1,2706	0,2128	23,0	1,2012	0,9465
2	1,4288	0,2379	23,1	1,1998	0,9454
Promedio			$\bar{x}$	1,2005	0,9460
Desviación estándar			$S_{(n-1)}$	0,0010	0,0008
Coeficiente de variación			CV	0,0829	0,0829

Nota: la tabla muestra el espesor, resistencia al rasgado y extensión máxima de las membranas de HDPE 1.5mm.

Resultados de pruebas Geomembrana HDPE 1000

En la Tabla 24 se muestran las características principales de la geomembrana HDPE 1 mm y de que tamaño se encuentra en el mercado local, estas membranas son fabricadas por la empresa Plastuizuay el largo y el ancho del rollo son normalizados y siempre les aditiva con protectores para mayor duración a impactos y a la intemperie son fabricadas en el Ecuador mediante calandrado.

Tabla 24 *Descripción del Producto HDPE 1000*

HDPE

Producto:	Geomembrana HDPE 1000 Micras
Descripción:	Lamina de Polietileno de alta densidad plastificada y aditivada con protectores UV y agentes microbicidas.
Espesor:	1 mm
Ancho de Rollo:	1.40 m
LARGO:	Según el requerimiento del cliente

Fuente: (Plastiazuary S.A., 2017).

Resistencias al rasgado ASTM D1004-13.

La resistencia al rasgado no género datos importantes como la extensión máxima del material el cual no varía en la 10 muestras realizadas dando un valor de 50.11 mm con un resistencia 102.58 N de esta forma dicha membranas tienen buena resistencia a ser penetradas, En la tabla 25 siguiente se presentan los resultados de los ensayos de resistencias al rasgado de acuerdo con la norma ASTM D1004-13 para las muestras de los grupos “HDPE 1000 μm ”.

Tabla 25 Propiedades y normas para la determinación de las diferentes propiedades en los diferentes especímenes de geomembrana HDPE 1000 Micras.

ENSAYO DE RASGADO ASTM D1004-13 (HDPE 1000 μm)			
Muestra No.	Espesor (mm)	Resistencia al rasgado (N)	Extensión máxima (mm)
1	1,02	105,83	49,85
2	1,02	101,67	49,03
3	1,02	100,83	49,37
4	1,00	104,17	50,17
5	1,03	106,67	53,50
6	1,04	103,33	50,90
7	1,00	93,33	48,23

8	1,00	109,17	52,52
9	1,01	99,17	48,96
10	1,02	101,67	48,55
Promedio $\bar{x}$	1,0	102,58	50,11
Desviación estándar	0,0	4,42	1,13
Coefficiente de variación CV	1,3	4,31	3,46

Nota: la tabla muestra el espesor, resistencia al rasgado y extensión máxima de las membranas de HDPE 1mm.

La tabla 25 se muestra las condiciones de las probetas del grupo “HDPE 1000 μm ” después de los ensayos de resistencia al rasgado dando como resultado un espesor promedio de 1mm una resistencia al rasgado 102.58 N y la extensión máxima posible de 50.11 mm antes de su rotura.

En la figura 21 se muestran como terminaron las probetas después de los ensayos de rasgados se puede apreciar después de la ruptura el ancho disminuye significativamente al igual que la membrana HDPE de 1.5 mm después de su extensión máxima el material tiende a fluir y a deformarse al momento de la ruptura significativamente hacia el lado izquierdo, en sus extremos no se logra visualizar alguna deformación posible por lo que mantiene su estructura.



Figura 21. Condiciones finales de las probetas del grupo “HDPE 1000 μm ” después de los ensayos de resistencia al rasgado ASTM D1004-13, Fuente:(EPN,2019).

Resistencia tracción ASTM D882-18.

De esta prueba de resistencia se puede deducir diferentes aspectos importantes no solo se pudo encontrar en la resistencia si no también el módulo de elasticidad del material, la fuerza ultima entre otros factores que ayudan a caracterizar de mejor la simulación del material. En la tabla 26 se presentan los resultados de los ensayos de resistencia tracción de acuerdo con la norma ASTM D882-18 para las muestras de las probetas “HDPE 1000 μm ” dando como promedio una fuerza ultima de 172.33 N, una resistencia a la fluencia de 7.17MPA y un módulo de elasticidad 191.96 MPA. Se logra deducir que en las 5 muestras tomadas el porcentaje de deformación es el mismo.

En la figura 22 se muestran las condiciones finales de las probetas del grupo “HDPE 1000 μm ” después de los ensayos de resistencia a tracción se puede notar que llegaron a desgarrar completamente. El punto de ruptura en la mayoría no es en el centro no coincide con el punto centro de cada muestra lo que indica que el material se deforma de una manera asimétrica y no volvió a su estado original. Al igual que en el otro ensayo al momento de su ruptura el espesor del material disminuye significativamente.



Figura 22. Condiciones finales de las probetas del grupo “HDPE 1000 μm ” después de los ensayos de resistencia a tracción ASTM D882-18. Fuente:(EPN,2019).

Tabla 26 Resultados del ensayo de la resistencia a tracción ASTM D882-18 para las probetas del grupo “HDPE 1000 μm ”

ENSAYO DE TRACCIÓN ASTM D882-18 (HDPE 1000 μm)											
M	A mm	E mm	Ár mm ²	FU (N)	Fr N/m	Rú MPa	Rr MPa	Dro %	Rf MPa	Df %	Me MPA
1	15,20	1,04	15,81	181,67	11,95	11,51	10,77	505,00	7,50	4,95	206,55
2	15,20	1,00	15,20	170,83	11,24	11,24	11,24	508,64	6,35	4,25	212,36
3	15,00	0,99	14,85	163,33	10,89	10,97	10,97	428,33	6,92	4,98	181,53
4	15,10	1,00	15,10	169,17	10,20	11,20	10,71	520,48	7,75	5,45	175,00
5	15,20	1,03	15,66	176,67	11,20	11,28	10,96	436,69	7,35	5,10	184,36
Promedio				172,33	11,62	11,24	10,93	479,83	7,17	4,95	191,96
Desviación estándar				7,06	0,41	0,19	0,21	43,67	0,55	0,44	16,46
Coeficiente de variación				4,1	3,62	1,72	1,90	9,10	7,67	8,83	8,57

Nota: la tabla muestra el espesor, resistencia al rasgado y extensión máxima de las membranas de HDPE 1mm en donde M = muestra; A=ancho; E= espesor; Ar = área; FU = fuerza ultima; Fr; Factor de rotura; Ru=resistencia última; Rr= resistencia a la rotura; Dro=deformación a la rotura; Rf= resistencia a la fluencia; Df= Deformación a la fluencia; Me= Modulo de elasticidad.

Densidad y gravedad específica ASTM D792-13.

En la tabla 27 se presentan los resultados de los ensayos de densidad y gravedad específica de acuerdo con la norma ASTM D792-13 para las muestras de los grupos “HDPE 1000 μm ” realizadas en Metanol de las cuales se puede obtener una densidad de 0.946 g/cm³ y una gravedad específica 1.2 gr 23/23°C.

Tabla 27 Resultados de ensayo de densidad y gravedad específica ASTM D792-13 para las probetas del grupo “HDPE 1000 μm ”.

ENSAYO DE DENSIDAD Y GRAVEDAD ESPECÍFICA ASTM D792-13 HDPE 1000 μm Medio Líquido: Metanol	
--	--

Muestra No.	W _a (g)	W _I (g)	TI (°C)	Sp gr 23/23°C	D ^{23°C} (g/cm ³)
1	0,8583	0,1436	23,0	1,2009	0,9463
2	0,9208	0,1535	23,0	1,2001	0,9456
Promedio			$\bar{x}$		
Desviación estándar			$S_{(n-1)}$	1,2005	0,9460
Coeficiente de variación			CV	0,0006	0,0005
				0,0513	0,0513

Nota: la tabla muestra el espesor, resistencia al rasgado y extensión máxima de las membranas de HDPE 1 mm.

Resultados de pruebas Geomembrana PVC 1500

Las membranas de PVC son materiales más dúctiles al tacto al igual que las de HDPE son fabricadas por Plastiazuary en tamaños normalizados estas membranas son aditivadas con ciertos componentes para mejorar sus propiedades ante desgaste por lo que son buenas ante presencia de ácidos, metales pesados entre otros. En la Tabla 28 se muestran las características principales de la geomembrana PVC 1500 mm sus aditivos y de que tamaño se encuentra en el mercado local.

Tabla 28 Descripción del Producto PVC 1500

PVC	
Producto:	Geomembrana PVC 1500 Micras
Descripción:	Lamina de PVC plastificada y aditivada con protectores UV y agentes microbicidas.
Espesor:	1.5 mm

Ancho de Rollo:	1.40 m
LARGO:	Según el requerimiento del cliente
BUENA RESITENCIA:	Ácidos, bases, metales pesados y petróleo crudo

Fuente: (Plastiazua S.A., 2017).

Resistencias al rasgado ASTM D1004-13.

En el ensayo bajo esta norma se realiza tomando 10 muestras de la membrana con el mismo espesor la resistencia al rasgado se encuentra en un promedio de 77.33 N en alguna muestra varia llegando como máximo a 90 N y como mínimo 59.16 N esto podría deberse a defectos de fabricación ya que el espesor no varía significativamente a su vez la extensión máxima se mantiene en un promedio de 33.5 mm. En la tabla 29 se presentan los resultados de los ensayos de resistencias al rasgado de acuerdo con la norma ASTM D1004-13 para las muestras de los grupos “PVC 1500 μm ”.

Tabla 29 Propiedades y normas para la determinación de las diferentes propiedades en los diferentes especímenes de geomembrana PVC 1500 Micras.

ENSAYO DE RASGADO ASTM D1004-13 (PVC1500 μm)			
Muestra No.	Espesor (mm)	Resistencia al rasgado (N)	Extensión máxima (mm)
1	1,43	83,33	33,29
2	1,42	90,00	39,58
3	1,42	93.33	37,56
4	1,42	71,67	30,94
5	1,40	65,00	28,94
6	1,42	75,00	32,43
7	1,40	62,50	28,45
8	1,44	86,67	37,91

9	1,43	86,67	37,89
10	1,42	59,17	27,89
Promedio $\bar{x}$	1,4	77,33	33,49
Desviación estándar $S_{(n-1)}$	0,0	12,32	4,44
Coefficiente de variación CV	0.9	15,93	13,27

Nota: la tabla muestra el espesor, resistencia al rasgado y extensión máxima de las membranas de PVC 1.5mm.

En la figura 23 se muestran como terminaron las probetas después de los ensayos de rasgados se puede apreciar después de la ruptura el ancho no disminuye significativamente como con las de HDPE claro que existe una deformación, pero podemos apreciar que su resistencia al rasgado es menor que las de polietileno de alta densidad, la curvatura mostrada en la figura 23 se debe a la fuerza promedio ejercida de 77.33 N en las muestras.



Figura 23. Condiciones finales de las probetas del grupo “PVC 1500 μm ” después de los ensayos de resistencia al rasgado ASTM D1004-13 . *Fuente:*(EPN,2019).

Resistencia tracción ASTM D882-18.

En la tabla 30 se presentan los resultados de los ensayos de resistencia tracción de acuerdo con la norma ASTM D882-18 para las muestras de las probetas “PVC 1500 μm ” dando como promedio una fuerza ultima de 216.6, una resistencia a la rotura 10.06 MPA y un módulo de elasticidad 46.11 MPA.

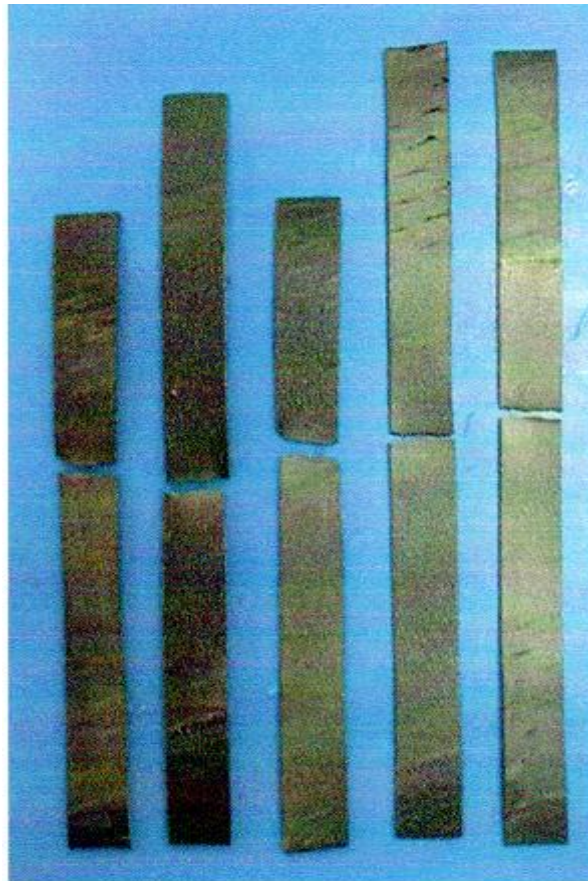


Figura 24. Condiciones finales de las probetas del grupo “PVC 1500 μm ” después de los ensayos de resistencia a tracción ASTM D882-18 Fuente:(EPN,2019).

En la figura 24 se muestran las condiciones finales de las probetas del grupo “PVC 1500 μm ” después de los ensayos de resistencia a tracción se puede notar que llegaron a desgarrar completamente. Asu vez se puede apreciar que el desgarre en las 5 muestras es en el punto medio no existe demasiada deformación como en las de HDPE, las dos muestras pequeñas se las tomo de esa manera por falta de material a ensayar, pero todo regido a la norma ASTM D882

Tabla 30 Resultados del ensayo de la resistencia a tracción ASTM D882-18 para las probetas del grupo “PVC 1500 μm ”

ENSAYO DE TRACCIÓN ASTM D882-18 (PVC 1500 μm)											
M	A mm	E mm	Ár mm ²	FU (N)	Fr N/m	Rú MPa	Rr MPa	Dro %	Rf MPa	Df %	Me MPA
1	15,00	1,41	21,15	221,67	14,78	10,47	10,33	196,42	-	-	46,23
2	15,00	1,39	20,85	215,00	14,33	10,35	10,35	283,01	-	-	43,03
3	15,30	1,40	21,42	220,00	14,38	10,27	10,16	209,47	-	-	46,33
4	14,90	1,41	21,01	213,33	14,32	10,44	9,88	279,03	-	-	49,28
5	15,20	1,41	21,43	213,00	14,01	9,96	9,96	315,84	-	-	45,66
Promedio $\bar{x}$				216,60	14,36	10,30	10,06	256,75	-	-	46,11
Desviación estándar $S_{(n-1)}$				3,98	0,27	0,20	0,33	51,36	-	-	2,22
Coefficiente de variación CV				1,8	1,90	1,99	3,26	20,00	-	-	4,83

Nota: la tabla muestra el espesor, resistencia al rasgado y extensión máxima de las membranas de PVC 1.5mm en donde M = muestra; A=ancho; E= espesor; Ar = área; FU = fuerza ultima; Fr; Factor de rotura; Ru=resistencia última; Rr= resistencia a la rotura; Dro=deformación a la rotura; Rf= resistencia a la fluencia; Df= Deformación a la fluencia; Me= Modulo de elasticidad.

Densidad y gravedad especifica ASTM D792-13.

En la tabla 31 se presentan los resultados de los ensayos de densidad y gravedad especifica de acuerdo con la norma ASTM D792-13 para las muestras de los grupos “PVC 1500 μm ” realizadas en Agua de las cuales se puede obtener una densidad de 1.4008 g/cm³ y una gravedad especifica 1.4041 gr 23/23°C.

Tabla 31 Resultados de ensayo de densidad y gravedad específica ASTM D792-13 para las probetas del grupo “PVC 1500 μm ”.

ENSAYO DE DENSIDAD Y GRAVEDAD ESPECÍFICA ASTM D792-13					
PVC 1500 μm					
Medio Líquido: Agua					
Muestra No.	W _a (g)	W _I (g)	TI (°C)	Sp gr 23/23°C	$D^{23^\circ\text{C}}$ (g/cm ³)
1	2,5202	0,7143	23,0	1,3955	1,3922
2	2,5854	0,7553	23,0	1,4127	1,4093
Promedio			$\bar{x}$		
Desviación estándar			$S_{(n-1)}$	1,4041	1,4008
Coeficiente de variación			CV	0,0121	0,0121
				0,8648	0,8648

Nota: la tabla muestra el espesor, resistencia al rasgado y extensión máxima de las membranas de PVC 1.5 mm.

Resultados de pruebas Geomembrana PVC 1000

Las membranas de PVC son materiales más dúctiles al tacto son fabricadas por Plastiazuaay en tamaños normalizados estas membranas son aditivadas con ciertos componentes para mejorar sus propiedades ante desgaste por lo que son buenas ante presencia de base, petróleo entre otros. En la Tabla 32 se muestran las características principales de la geomembrana PVC 1500 mm sus aditivos y de que tamaño se encuentra en el mercado local.

Tabla 32 Descripción del Producto PVC 1000

PVC	
Producto:	Geomembrana PVC 1000 Micras

Descripción: Lamina de PVC plastificada y aditivada con protectores UV y agentes microbicidas.

Espesor: 1 mm

Ancho de Rollo: 1.40 m

LARGO: Según el requerimiento del cliente

BUENA RESISTENCIA: Ácidos, bases, metales pesados y petróleo crudo

Fuente: (Plastiazuary S.A., 2017).

Resistencias al rasgado ASTM D1004-13.

En la tabla 33 siguiente se presentan los resultados de los ensayos de resistencias al rasgado de acuerdo con la norma ASTM D1004-13 para las muestras de los grupos “PVC 1000 μm ”, las 9 muestras arrojan que para el rasgado se necesita un fuerza de 45 a 70 N con unas extensión promedio de 34.20 m, el espesor en las muestras no tienen un aumento ni una disminución grande pero en ningún caso logro llegar a 1 mm se mantuvo entre 0.94 y 0.96 mm en todas las muestras.

Tabla 33 Propiedades y normas para la determinación de las diferentes propiedades en los diferentes especímenes de geomembrana PVC 1000 Micras.

ENSAYO DE RASGADO ASTM D1004-13 (PVC1000 μm)			
Muestra No.	Espesor (mm)	Resistencia al rasgado (N)	Extensión máxima (mm)
1	0,95	45,83	31,71
2	0,95	50,83	32,64
3	0,94	55,00	33,18
4	0,94	53,33	32,95
5	0,94	58,33	35,31
6	0,94	56,67	33,46

7	0,95	53,33	32,81
8	0,96	71,67	39,17
9	0,95	59,17	35,77
10	0,96	54,17	35,01
Promedio $\bar{x}$	0,9	55,83	34,20
Desviación estándar $S_{(n-1)}$	0,0	6,75	2,18
Coefficiente de variación CV	0.8	12,09	6,37

Nota: la tabla muestra el espesor, resistencia al rasgado y extensión máxima de las membranas de PVC 1mm.

Mientras En la figura 25 se muestran como terminaron las probetas después de los ensayos de rasgados se puede apreciar después de la ruptura el ancho no disminuye significativamente como con las de HDPE. Las muestras se deforman de acuerdo a la fuerza expuesta a cada una con una resistencia al rasgado 55.83 N y la extensión máxima posible de 34.20 mm antes de su rotura, a su vez solo se deforman desde el punto medio en adelante manteniendo sus extremos normales.

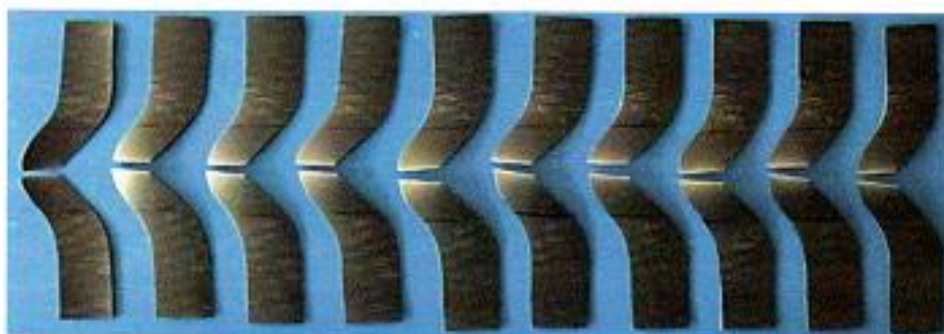


Figura 25. Condiciones finales de las probetas del grupo “PVC 1000 μm ” después de los ensayos de resistencia al rasgado ASTM D1004-13 *Fuente:*(EPN,2019).

Resistencia tracción ASTM D882-18.

En la tabla 34 se presentan los resultados de los ensayos de resistencia tracción de acuerdo con la norma ASTM D882-18 para las muestras de las probetas “PVC 1000 μm ” dando como

promedio una fuerza ultima de 142.17, una resistencia a la rotura 9.41 MPA y un módulo de elasticidad 33.58 MPA.

En la figura 26 se muestran las condiciones finales de las probetas del grupo “PVC 1000 μm ” después de los ensayos de resistencia a tracción se puede notar que llegaron a desgarrar completamente. Al mismo tiempo, se puede notar que los desgarres no se producen en el centro, podemos apreciar que a existido punto de deformación a lo largo de las muestras.

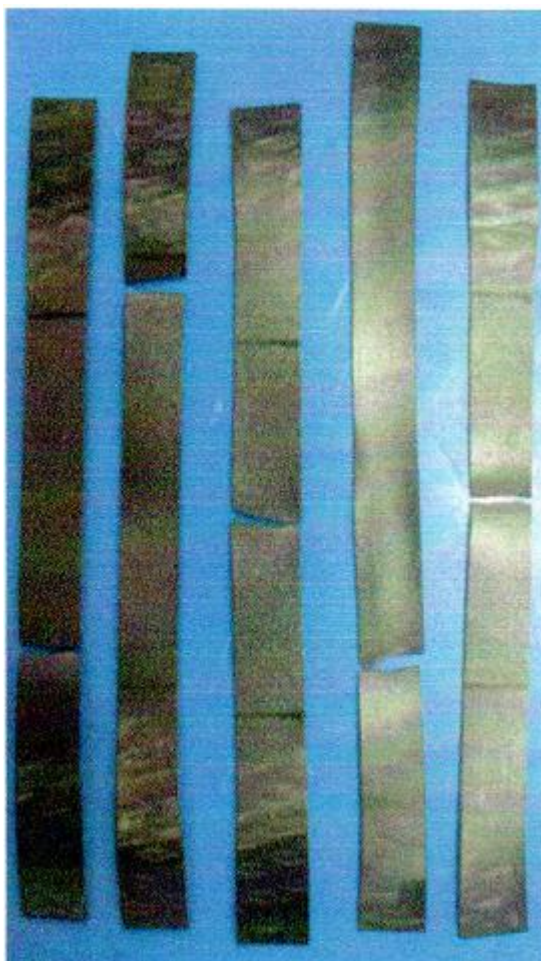


Figura 26. Condiciones finales de las probetas del grupo “PVC 1000 μm ” después de los ensayos de resistencia a tracción ASTM D882-18, Fuente:(EPN,2019).

Tabla 34 Resultados del ensayo de la resistencia a tracción ASTM D882-18 para las probetas del grupo “PVC 1000 μm ”

ENSAYO DE TRACCIÓN ASTM D882-18
(PVC 1000 μm)

M	A mm	E mm	Ár mm ²	FU (N)	Fr N/m	Rú MPa	Rr MPa	Dro %	Rf MPa	Df %	Me MPA
1	15,00	0,98	14,70	140,00	9,33	9,50	9,50	221,76	-	-	33,1
2	15,10	0,95	14,35	142,50	9,44	9,95	9,95	243,28	-	-	34,80
3	15,20	0,98	14,90	143,33	9,43	9,59	8,89	196,98	-	-	35,57
4	14,20	0,99	15,05	146,67	9,65	9,78	9,78	245,99	-	-	35,37
5	15,40	1,01	15,55	138,33	8,98	8,91	8,91	219,01	-	-	29,03
Promedio $\bar{x}$				142,17	9,37	9,55	9,41	225,40	-	-	33,58
Desviación estándar $S_{(n-1)}$				3,21	0,24	0,40	0,49	20,03	-	-	2,72
Coefficiente de variación CV				2,3	2.60	4,15	5,20	8,89	-	-	8,10

Nota: la tabla muestra el espesor, resistencia al rasgado y extensión máxima de las membranas de PVC 1.mm en donde M = muestra; A=ancho; E= espesor; Ar = área; FU = fuerza ultima; Fr; Factor de rotura; Ru=resistencia última; Rr= resistencia a la rotura; Dro=deformación a la rotura; Rf= resistencia a la fluencia; Df= Deformación a la fluencia; Me= Modulo de elasticidad

Densidad y gravedad especifica ASTM D792-13.

En la tabla 35 se presentan los resultados de los ensayos de densidad y gravedad especifica de acuerdo con la norma ASTM D792-13 para las muestras de los grupos “PVC 1000 μm realizadas en Agua de las cuales se puede obtener una densidad de 1.4573 g/cm³ y una gravedad especifica 1.4608 gr 23/23°C.

Tabla 35 Resultados de ensayo de densidad y gravedad específica ASTM D792-13 para las probetas del grupo “PVC 1500 μm ”.

ENSAYO DE DENSIDAD Y GRAVEDAD ESPECÍFICA ASTM D792-13
PVC 1000 μm
Medio Líquido: Agua

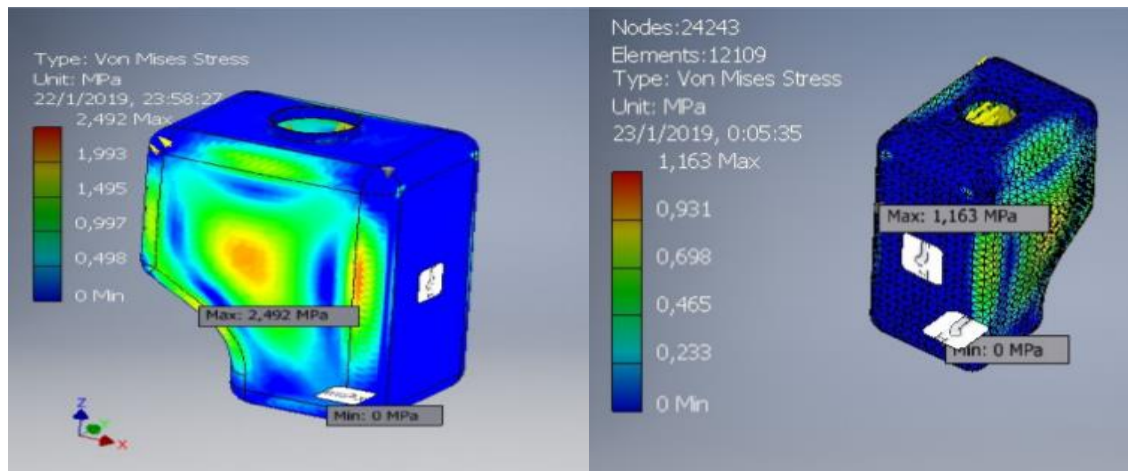
Muestra No.	W _a (g)	W _I (g)	TI (°C)	Sp gr 23/23°C	D ^{23°C} (g/cm ³)
1	1,8857	0,5951	23,0	1,4611	1,4576
2	1,7233	0,5433	23,0	1,4604	1,4569
Promedio			$\bar{x}$		
Desviación estándar			$S_{(n-1)}$	1,4608	1,4573
Coefficiente de variación			CV	0,0005	0,0005
				0,0329	0,0329

Nota: la tabla muestra el espesor, resistencia al rasgado y extensión máxima de las membranas de PVC 1mm.

Resultados simulación

Una vez concluidos los resultados de la simulación se obtiene los esfuerzos de Von Mises, esfuerzos principales, Desplazamientos y factor de seguridad, mencionados en los siguientes gráficos para cada una de las probetas.

En la figura 27 se muestra los valores obtenidos de la simulación del tanque de las plumas universal con el material actual ABS de 1 mm (figura 34a) y 1.5 mm (figura 34b) de espesor. Dando un valor máximo de esfuerzo de Von Mises 2.492 MPA en la parte lateral media del tanque y en la terminación de las esquinas con un mínimo de 0 MPA, para material de 1 mm de espesor tiene un valor máximo de esfuerzo de Von Mises 1.163 MPA en la parte lateral media del tanque con un mínimo de 0 MPA en el resto del tanque para material de 1.5 mm de espesor en ABS.

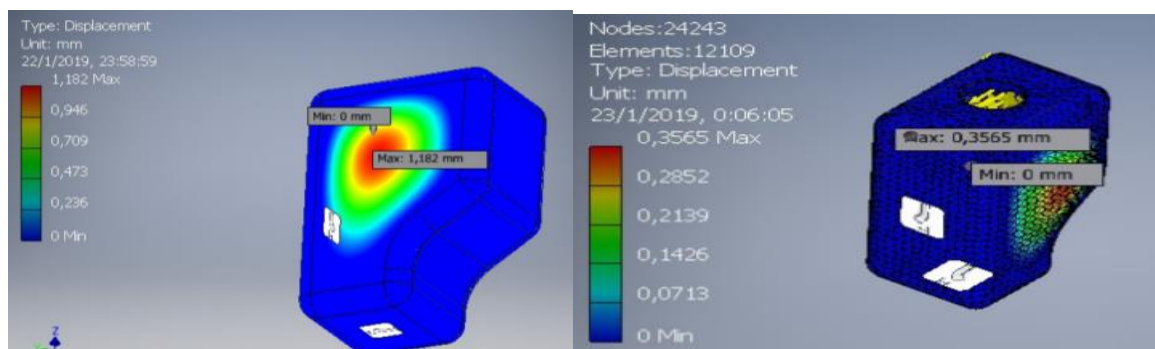


a) ABS 1 mm

b) ABS 1.5 mm

Figura 27. Resultados obtenidos para los esfuerzos a) ABS 1mm y b) ABS 1.5mm,
Fuente: Autor

De igual manera en la figura 28 se muestran los valores obtenidos en el desplazamiento de los tanques con material ABS de 1 mm (figura 23a) y 1.5 mm (figura 23b) de espesor. En los dos casos el desplazamiento máximo se encuentra en el centro del tanque visualizado en la parte roja de la figura 28, dando como resultado un desplazamiento máximo de 1.182 mm en material 1 mm y 0.3565 mm en 1.5 mm



a) ABS 1mm

b) ABS 1.5 mm

Figura 28 .Resultados obtenidos para el desplazamiento a) ABS 1mm y b) ABS 1.5mm,
Fuente: Autor

En la figura 29 se muestran los valores obtenidos para el factor de seguridad de los tanques con material ABS de 1 mm (figura 23a) y 1.5 mm (figura 23b) de espesor. Dando un factor de seguridad mínimo en ambos contenedores de 8 y máximo de 15 ul.

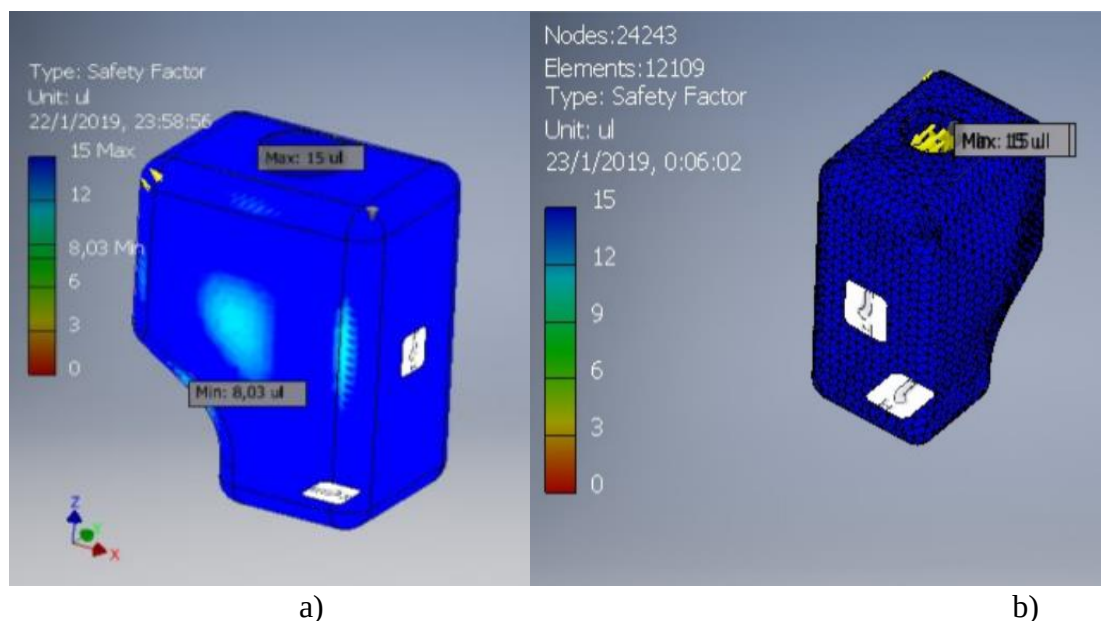


Figura 29. Resultados Factor de seguridad a) ABS 1mm y b) ABS 1.5mm, Fuente: Autor

Para una mayor facilidad en la compresión de los datos obtenidos en la simulación se presenta las tablas 36,37,38,39,40 y 41 donde muestra los valores resultantes de la simulación para cada caso en donde se especifica los valores máximos y mínimos de cada material.

Tabla 36 Propiedades obtenidas para ABS 1 mm.

Resultados ABS con espesor 1 mm		
Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	78055.5 mm ³	
Masa	0.1824 lb	
Tensión Von Mises	0.00011 MPa	2.4917 MPa
Esfuerzo Principal	-0.409 MPa	3.2388 MPa
Desplazamiento	0 mm	1.18 mm
Factor de seguridad	8.03 ul	15 ul

Fuente: Autor

Tabla 37 Propiedades obtenidas para ABS 1.5 mm

Resultados ABS con espesor 1.5 mm		
Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	78055.5 mm ³	
Masa	0.1824 lb	
Tensión Von Mises	0.00011 MPa	2.4917 MPa
Esfuerzo Principal	-0.409 MPa	3.2388 MPa
Desplazamiento	0 mm	1.18 mm
Factor de seguridad	8.03 ul	15 ul

Fuente: Autor

Tabla 38

Resultados obtenidos para membrana polimérica PVC de 1 mm

Resultados PVC con espesor 1 mm		
---------------------------------	--	--

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	78055.5 mm ³	
Masa	0.224 lb	
Tensión Von Mises	0,00000000000116387 MPa	0,0000000277871 MPa
Esfuerzo Principal	-0,0000000025111 MPa	0,0000000288326 MPa
Desplazamiento	0 mm	0.305 mm
Factor de seguridad	15 ul	15 ul

Fuente: Autor

Tabla 39 Resultados obtenidos membrana polimérica PVC 1.5 mm

Resultados PVC con espesor 1.5 mm		
Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	78055.5 mm ³	
Masa	0.3337 lb	
Tensión Von Mises	0,0000000000368237 MPa	0,000000135151 MPa
Esfuerzo Principal	-0,00000000644632 MPa	0,000000140877 MPa
Desplazamiento	0 mm	0.9188 mm
Factor de seguridad	15 ul	15 ul

Fuente: Autor

Tabla 40 Resultados obtenidos membrana polimérica HDPE 1.5 mm

Resultados HDPE con espesor 1.5 mm		
Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	78055.5 mm ³	
Masa	0.0571589 lb	
Tensión Von Mises	0,00000000000128048 MPa	0,0000000277875 MPa
Esfuerzo Principal	-0,00000000251095 MPa	0,0000000288335 MPa
Desplazamiento	0 mm	0.3049 mm
Factor de seguridad	15 ul	15 ul

Fuente: Autor

Tabla 41 Resultados obtenidos membrana polimérica HDPE 1 mm

Resultados HDPE con espesor 1 mm		
Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	78055.5 mm ³	
Masa	0.0852019 lb	
Tensión Von Mises	0,0000000000366733 MPa	0,00000013515 MPa
Esfuerzo Principal	-0,00000000644607 MPa	0,000000140876 MPa
Desplazamiento	0 mm	0.9188 mm
Factor de seguridad	15 ul	15 ul

Fuente: Autor

En la figura 30 muestra la comparación de resultados entre las membranas caracterizadas dando como resultados la membrana de HDPE 1.5 mm supera a las demás en la fuerza ultima y en la resistencia ultima dando como resultado 240.17 N y 11.94 Mpa se puede notar que la resistencia ultima no varía en la mayoría de membranas manteniendo en un rango

desde 9.55 a 11.94 Mpa.

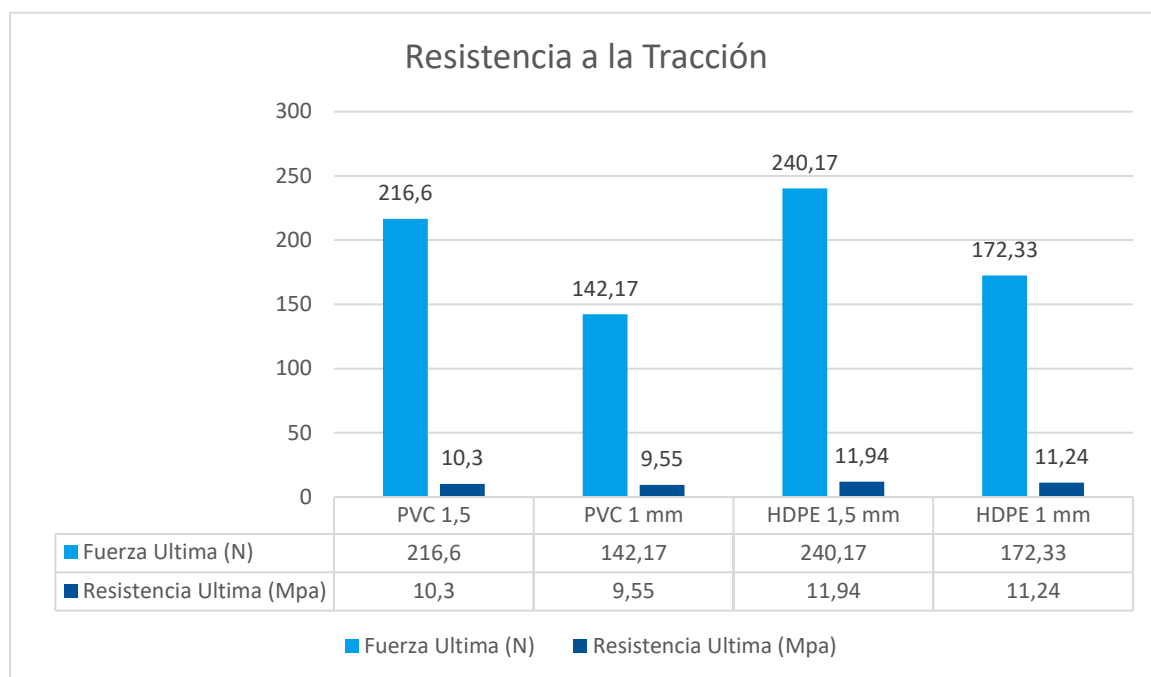


Figura 30. Resultados Resistencia a la tracción, Fuente: Autor

Para poder determinar la extensión máxima se realizó el ensayo de rasgado el cual se muestra en la figura 31 dando como resultado que las membranas de HDPE se expanden un 20 % más que las de PVC pero necesitan una fuerza mayor para ser expandidas.

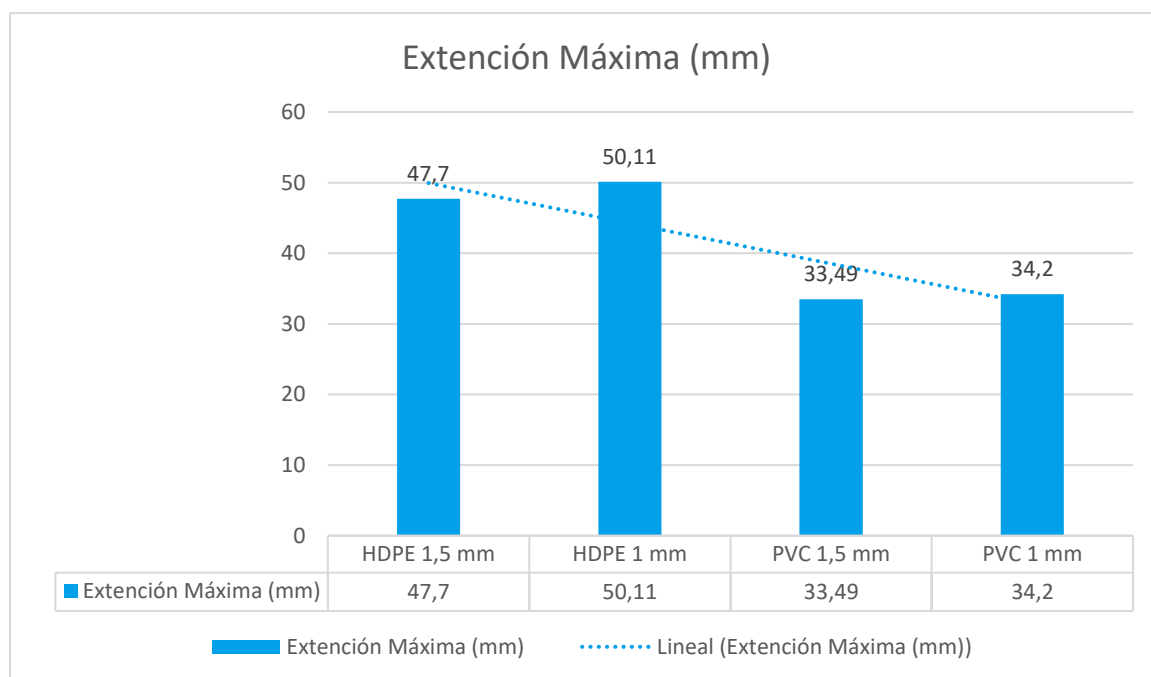


Figura 31. Resultados de la Extensión Máxima en Geomembranas de PVC y HDPE, Fuente: Autor.

En la figura 32 muestra la resistencia al rasgado obtenida de la pruebas dando como resultado, la membrana de HDPE 1.5 mm supera al resto con 142.33 N

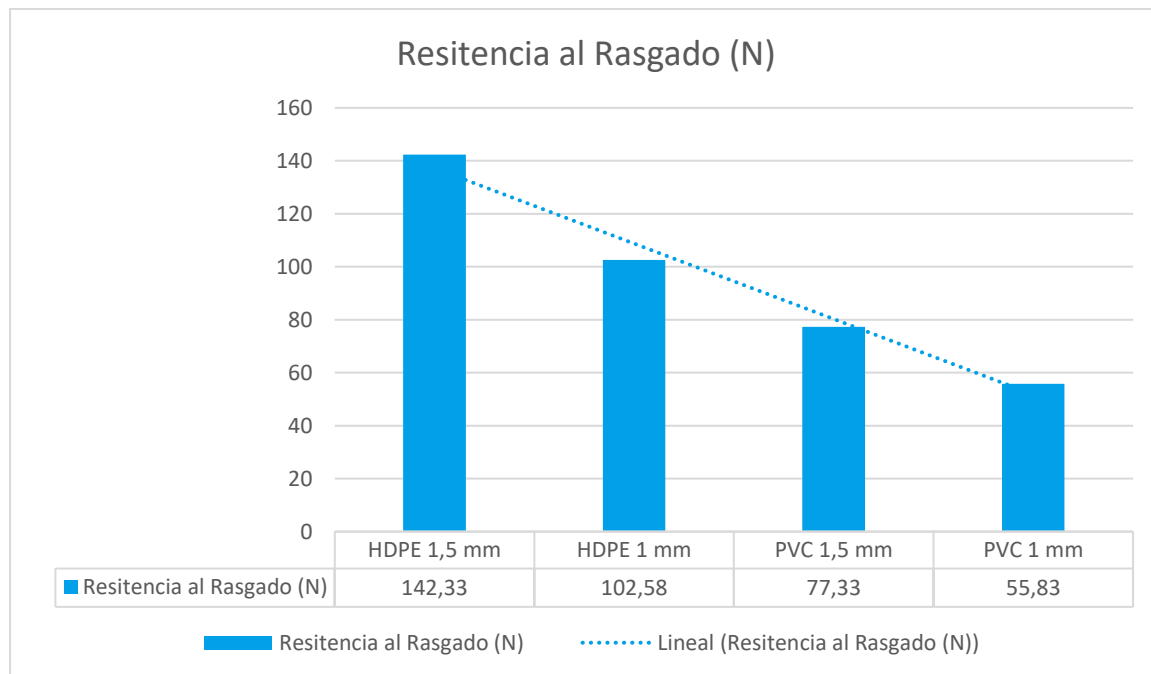


Figura 32. Comparación de Resultados de la Resistencia al rasgado de PVC y HDPE, Fuente: Autor.

Respecto a las geomembranas de PVC y HDPE en la figura 33 se logra observar que el polietileno de alta densidad de 1.5 mm el esfuerzo último es mucho mayor que las otras membranas llegando a poseer una fuerza última de 240.17 (N) y una resistencia última de 11.94 MPa el resto de membranas mientras que el porcentaje de deformación a la rotura es

mayor que las membranas de PVC.

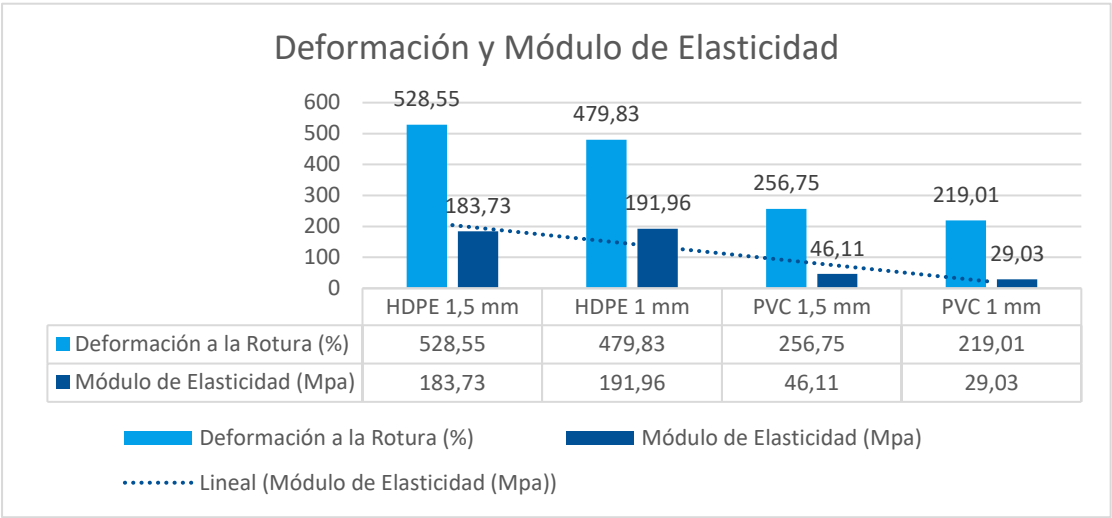


Figura 33. Resultados obtenidos para el porcentaje de alargamiento a la rotura para las diferentes geomembranas en estudio.

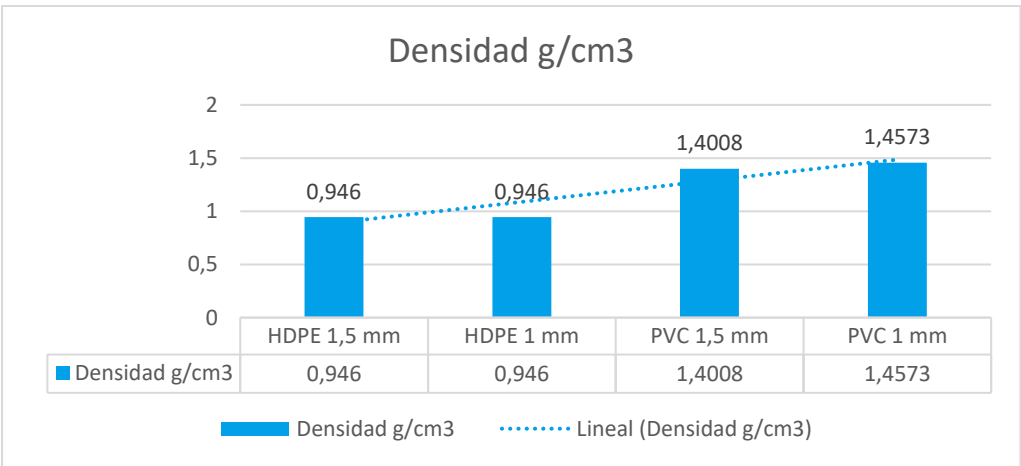


Figura 34. Resultados obtenidos de la densidad para las diferentes geomembranas en estudio.

Comparando la densidad entre todas las membranas el resultado expuesto en la figura 34 revelan que la membrana de HDPE con espesor 1.5 mm tiene una densidad de 1.3 g/cm³ superando a la membrana de PVC con densidad de 0.91 g/cm³.

Un factor importante a la hora de escoger el material adecuado es la temperatura de trabajo las pruebas revelaron que la temperatura de trabajo a la que soportan las membranas de HDPE es de 98 °C superando a las de PVC como se muestra e al figura 35.

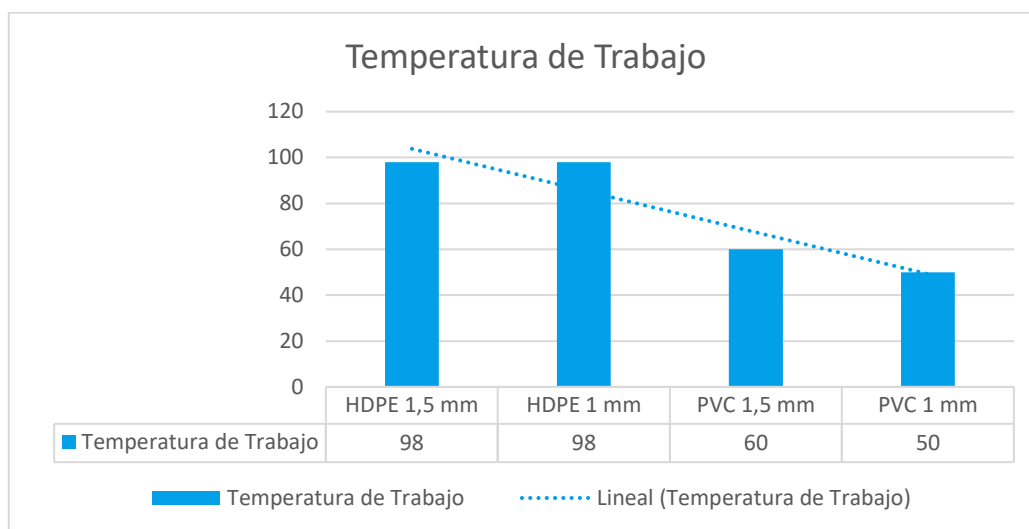


Figura 35. Resultados obtenidos de la Temperatura de trabajo para las diferentes geomembranas en estudio.

Discusión de resultados

En este apartado se discuten los resultados de los ensayos realizados a las membranas poliméricas de PVC y HDPE inicialmente de modo individual para después discutir los efectos y aspectos de los ensayos y así determinar la configuración óptima en cuanto a las mejores propiedades mecánicas de cada una de las membranas, originando posibles alternativas para la determinación de aplicaciones automotrices.

Para la interpretación de los datos se ha utilizado método estadístico basado en la descripción de gráficos con lo cual se realizará la comparación de las propiedades mecánicas obtenidas para cada configuración de probetas.

En el análisis de las composiciones de PVC y HDPE de 1,0 y 1.5 mm, se verifica que, en promedio, la cantidad de plastificantes, aditivos y cargas en las geomembranas está comprendida en el rango del 70%. Este valor es relativamente alto si se compara con los valores de la literatura. En general, la formulación aproximada para el PVC es de 30% (plastificantes), 25% (cargas), 5-10% (negro de humo), 2-3% (aditivos) y 35% (resina). Los materiales analizados presentan una cantidad menor de resina ($\cong 17\%$), (Sancandi, 2017).

Resistencia a la tracción

Según Barroso, (2012) Las variaciones de resistencia observadas fueron del mismo orden de la grandeza de la dispersión de los resultados (desviación estándar), asumiendo, por lo tanto, que la resistencia al inicio de las muestras no expuestas no ha sufrido cambios significativos a lo largo del tiempo.

Una de las preocupaciones planteadas con respecto al uso de geomembranas de HDPE es su susceptibilidad al agrietamiento por tensión que, a su vez, es una consecuencia de su alta cristalinidad (generalmente alrededor del 40-50%). Según la norma ASTM D 883, el agrietamiento por tensión es "una ruptura externa o interna en un plástico causada por el esfuerzo de tracción menor que su resistencia mecánica a corto plazo". Hay tres etapas en el desarrollo de grietas (Peggs, 1989). En los datos obtenidos mediante los ensayos la resistencia a la tracción el esfuerzo último y la resistencia ultima en las geomembranas arrojo los siguientes datos:

Estos datos influyen bastante al momento de elegir un material en la figura 30 se puede observar que la membrana de HDPE o polietileno de alta densidad resiste una fuerza de 240.17 N con una resistencia de 11.94 MPa con la que supera a las demás membranas en el ensayo de tracción, para poder determinar la extensión máxima se realizó el ensayo de rasgado el cual se muestra en la figura 31 dando como resultado que las membranas de HDPE se expanden un 20 % más que las de PVC pero necesitan una fuerza mayor para ser expandidas.

De dichos gráficos podemos asegurar que las láminas de PVC son más fáciles de flexionar que las de Polietileno de alta densidad además de las muestras realizadas por el microscopio electrónico de barrido el agrietamiento dichas membranas comienzan primero a través de una mancha que es un defecto plano, luego se abre en presencia de tensión de tracción y finalmente se propaga a través de la geomembrana. En la mayoría de los casos, la propagación se acompaña de otras modalidades que iniciarán más grietas. Por lo tanto, la falla debida al

agrietamiento por tensión se asocia con defectos o imperfecciones en las que las tensiones se incrementan a valores más altos con un aumento de hasta 6 veces la tensión de tracción (en relación con la tensión global promedio) dependiendo de la geometría del defecto (Halse, 1989). En este caso las geomembranas de PVC tienen un alargamiento más rápido que las de HDPE. Los defectos pueden ser de varios tipos y formas y generalmente incluyen rasguños en la superficie, gubias, parches, costuras, etc. Además, la presencia de un entorno químico externo, como detergentes (surfactantes), lixiviados, vapores polares, líquidos, etc. Puede acelerar el agrietamiento por estrés. Este tipo de agrietamiento por tensión en presencia de sustancias químicas se denomina "agrietamiento por tensión ambiental" (Kulshreshtha, 1992).

Poco se ha informado sobre el efecto del Rasgado la resistencia de las membranas es un tema muy importante en la degradación de las geomembranas de HDPE. Investigaciones de laboratorio realizadas por Surmanan (1995) en geomembranas de HDPE de 1.5 y 2.0 mm que de 5.6 a 8% de las membranas fallan por efecto del rasgado inducidos por la tensión (estrés) . Observaciones similares también han sido reportadas por Maisonneuve (1997) quien forzó la geomembrana al 5%.

Con respecto al rasgado la pruebas realizadas revelan que el HDPE 1.5 mm tiene una resistencia superior al resto de geosintéticos llegando a resistir 142.33 N que supera a la membrana predecesora casi en 40 N por lo que dicha geomembrana tiene una menor degradación que la de PVC.

Las propiedades físicas (grosor, densidad y peso) no mostraron modificaciones significativas en la propiedad de las membranas. Las tablas 38 a la 41 muestran los resultados de las propiedades mecánicas obtenidas en el simulador. También se presentan los valores del coeficiente de variación de cada una de las membranas para determinar las geomembranas de PVC tienen un alargamiento menor a la rotura que las de HDPE en

diferentes documentos (CV) que se define como la relación entre la desviación estándar y el promedio de los valores obtenidos. El módulo de elasticidad para las geomembranas de HDPE es superior y en muchas investigaciones se la utiliza en contención de líquido como un buen indicador de cambios en la rigidez debido al envejecimiento y degradación (Lodi, 2003).

Respecto a las geomembranas de PVC y HDPE en el figura 33 se logra observar que el polietileno de alta densidad de 1.5 mm el esfuerzo último es mucho mayor que la otras membranas llegando a poseer una fuerza ultima de 240.17 (N) y una resistencia ultima de 11.94 MPa el resto de membranas mientras que el porcentaje de deformación a la rotura es mayor que las membranas de PVC.

La deformación de las geomembranas de PVC mostró cierta disminución después del periodo de análisis. Las variaciones fueron de aproximadamente 5 a 10%. Por el contrario, las geomembranas de HDPE presentaron algunos incrementos en la deformabilidad (0,8 y 2,5 mm). Algunos valores alcanzaron el 20%. Se verificaron incrementos en la rigidez de las geomembranas de PVC. En general, las geomembranas de HDPE presentaron algunos aumentos en la deformación antes de la fractura. El HDPE se ablandó más. Por el contrario, la deformación disminuye para las geomembranas de PVC son más rígidas.

Densidad de las Geomembranas.

Comparando la densidad entre todas las membranas el resultado expuesto en la figura 34 revelan que la membrana de HDPE con espesor 1.5 mm tiene una densidad de 1.3 g/cm^3 superando a la membrana de PVC con densidad de 0.91 g/cm^3 .

Un factor importante a la hora de escoger el material adecuado es la temperatura de trabajo la pruebas revelaron que la temperatura de trabajo a la que soportan las membranas de HDPE es de 98°C superando a las de PVC como se muestra e al figura 35.

Después del análisis realizado anteriormente se determina que el material mas adecuado tanto por sus propiedades mecánicas como térmicas la muestra de HDPE 1.5 mm supera a las demás y seria la mas indicada en la contención de líquidos y otros usos que se quiera dar por su mayor resistencia a temperatura, mayor tiempo de degradación, modulo de elasticidad relativamente alto, fuerza a la rotura mayor que las otras membranas.

Diseño

Para el diseño Chancasanampa,(2013) considera primero evaluar la principal aplicación para la cual se utiliza la geomembrana y calcular el valor requerido para esa propiedad en particular. En el caso del diseño para la geomembrana, se comparan las resistencias del material con el valor requerido en el diseño para una misma propiedad, obteniendo un factor de seguridad.

La Guía de diseño y manual de instalación de biodigestores (2008) y el manual de diseño de geosintéticos (2018) recomienda utilizar membranas desde las 500 micras para contención de líquidos al igual que menciona varias alternativas de diseño:

- Diseño por costos, se toma en cuenta la disponibilidad de los recursos es un diseño débil.
- Diseño por experiencia, requiere un gran número de datos experimentales, representativos previos.
- Diseño por especificaciones, mediante la caracterización del material y siguiendo normativa de cada país.
- Diseño por función, calculando valores numéricos en donde el factor de seguridad es igual al valor admisible sobre el valor requerido

Para nuestro caso utilizaremos diseño por especificaciones para lo cual previamente realizamos la caracterización de los materiales el modelado se realizó en un software CAD de un tanque de almacenamiento de agua el cual tiene la función de contener agua, soportar el

peso propio y el peso del agua por lo que se realiza una simulación en primer lugar utilizando el material convencional ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno) el cual es un plástico muy utilizado en la automoción con espesor de 1mm y 1.5 para compararlo con la membrana polimérica de PVC y HDPE.

En la mediante el análisis se obtuvo que las membranas poliméricas pueden reducir las cargas de tensión, pero el desplazamiento que tienen es un poco mayor al del ABS, el factor de seguridad en el ABS y las membranas PVC y HDPE es 15 el mismo en todos los casos lo que podemos deducir que las membranas se pueden utilizar en el diseño de un tanque de almacenamiento de agua.

En la figura 36 se muestran los valores obtenidos de la tensión de Von Misses después de la simulación en las distintas geomembranas obteniendo como valor mínimo 1164×10^{-12} MPa y máximo 0,0000000277871 MPa para la geomembrana PVC 1mm (a), mínimo 0,0000000000368237 MPa y 0,000000135151 MPa para PVC 1.5 mm (b), mínimo 0,00000000000128048 MPa y máximo 0,0000000277875 MPa para HDPE 1.5 mm (c), mínimo 0,0000000000366733 MPa y máximo 0,00000013515 MPa para HDPE 1 mm (d) como resultado todas las membranas soportan la tención ejercida por la presión del agua.

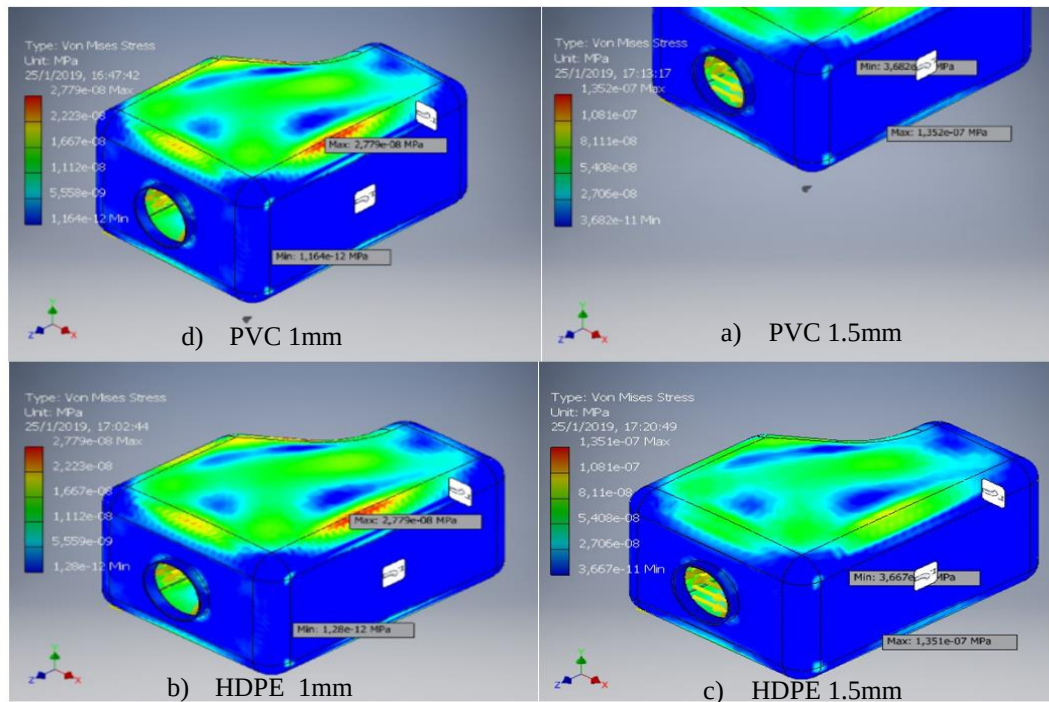


Figura 36. Resultados Tensión máxima membrana polimérica a) PVC 1mm, b) PVC 1.5mm, c) HDPE 1.5 mm y d) HDPE 1 mm

En la figura 37 de igual manera se muestran los valores obtenidos de los desplazamientos máximos en las distintas geomembranas obtenido que la membrana de HDPE 1.5 tiene un desplazamiento menor al resto de 0.3049 mm

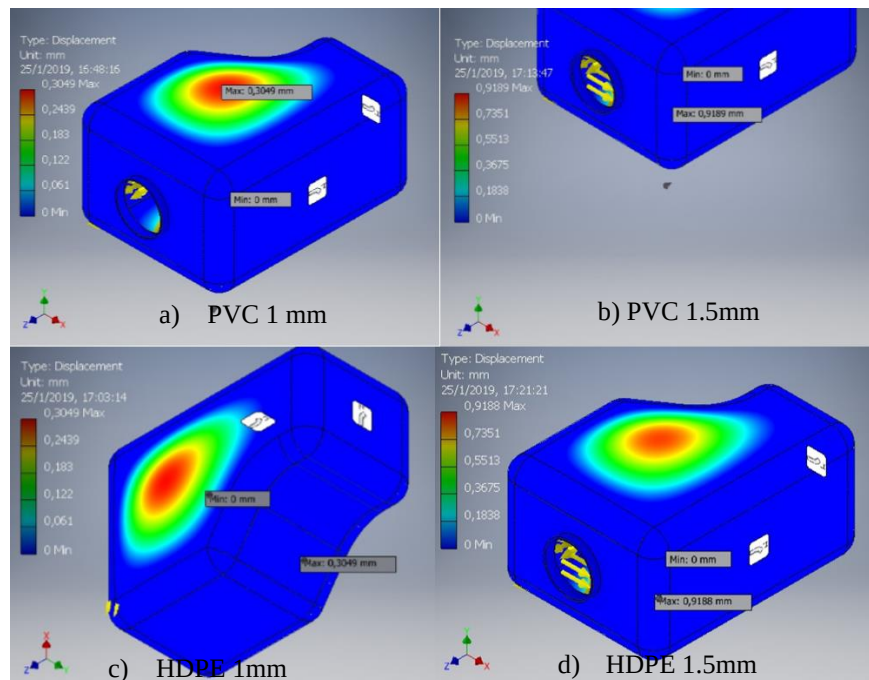


Figura 37 Resultados de los desplazamientos máximos de la membrana polimérica a) PVC 1mm, b) PVC 1.5mm, c) HDPE 1.5 mm y d) HDPE 1 mm

En la figura 38 se muestran los valores obtenidos del factor de seguridad en las distintas geomembranas dando como factor de seguridad mínimo es 15 ul siendo unos materiales apropiados para la contención de líquidos.

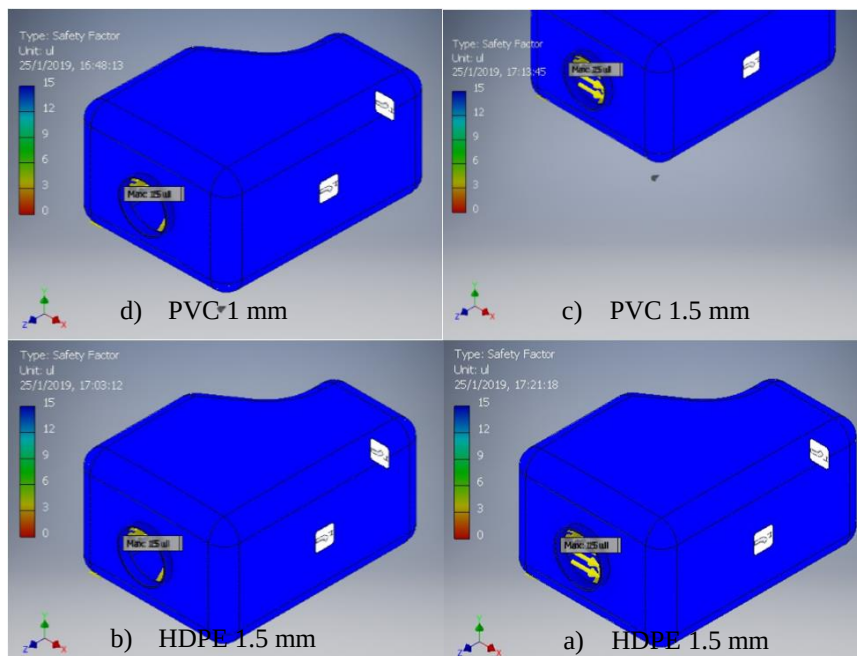


Figura 38. Resultados de factor de seguridad en membrana polimérica a) PVC 1mm, b) PVC 1.5mm, c) HDPE 1.5 mm y d) HDPE 1 mm

El manual de diseño de geo sintéticos (2018) determina en la tabla 41 como escoger la mejor geomembrana en la contención de líquidos dependiendo de la supervivencia

Tabla 42 Valores recomendados para la supervivencia de las geomembranas

Propiedades de las membranas	Grado requerido de supervivencia			
	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Espesor	0.5	0.75	1	1.5
Tensión	8	12	16	24
Rasgado	67	101	1035	203

Fuente: (Manual de diseño con geosintéticos, 2018)

De la tabla 42 y con los datos antes expuestos se determina que el Polietileno de alta densidad (HDPE 1.5 mm) cumple con todos los requerimientos necesarios para ser utilizado en la contención de líquidos y en la industria automotriz.

Conclusiones

Los ensayos mecánicos experimentales bajo normativa ASTM lograron determinar las características principales de las membranas poliméricas como espesor promedio, densidad y gravedad específica, esfuerzos últimos, alargamiento a la rotura entre otras propiedades que ayudan a tener datos precisos, de cada geosintético evaluado al momento de la simulación y toma de decisiones, como fueron realizados bajo norma validamos la información obtenida en cuanto a los resultados de sus propiedades mecánicas que se puede aprovechar para otras áreas de la ingeniería.

El comportamiento de extensión máxima de las membranas del PVC es menor que la de HDPE pero a su vez las membranas de PVC necesitan una fuerza menor para ser estiradas. Incluso después de alcanzar la tensión las interfaces de PVC no fallarán, sino que mantendrán la estabilidad al estirar el material de la membrana sin pérdida de resistencia o daño del material.

Las probetas permitieron determinar el un uso adecuado en la industria automotriz como la de almacenamiento o contención de líquidos en este caso el tanque de plumas universal para todo tipo de vehículo que fácilmente puede ser sustituido por membrana polimérica asimismo la simulación se obtuvo que el factor de seguridad mínimo es 15 para las membranas de PVC y HDPE el cual es muy satisfactorio y superior al 8.03 del ABS en el tanque de contención de líquido.

La simulación se realizó en software apropiado para el cálculo de la membrana polimérica con el fin de determinar que la tensión, el desplazamiento y el factor de seguridad de la membrana de HDPE son superiores a las ABS y las otras membranas al mismo tiempo mediante la ayuda de las normas y el manual de diseño de geosintéticos ayudaron a validar y determinar que la geomembrana se puede utilizar en la industria automotriz.

El método de preparación de la muestra y las técnicas de análisis de imagen descritas en este documento permitió observar el comportamiento interno del geotextil-membrana polimérica. bajo condiciones de carga externa

Recomendaciones

El ensayo a tracción requiere que en los extremos tanto superior como inferior de las Probetas exista una buena superficie de agarre por lo que se necesita unas muelas adecuadas para la sujeción y evitar desprendimientos a la hora de realizar los ensayos.

Promover este tipo de estudios sobre materiales poliméricos ya que aparte de darle un fin productivo puede generar nuevas fuentes de trabajo e innovaciones a productos.

La membrana polimérica proporciona un bajo peso al elemento, característica que podría ser usada en diferentes ámbitos automotrices como por ejemplo en el desarrollo de contención de líquidos.

Introducir en los procesos productivos automotrices el uso de membranas poliméricas aprovechando de estas su alta resistencia referente al bajo peso, baja densidad, su capacidad de flexibilidad alcanzando formas que en los metales es mucho más difícil.

Bibliografía

- Apas Ana, F. E. (2010). Determinación de la Resistencia a la Tracción de Geotextiles No Tejidos Bajo.
- Ashby, M. F. (2005). *Materials Selection in Mechanical Design*. Oxford: Elsevier.
- ASTM. (2013). *ASTM D792 - 13 Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement*.
- Banco Central del Ecuador. (2016). *Cifras del sector Petrolero Ecuatoriano No. 116*. Quito.
- Barroso, & Lopez. (2012). *INTEGRIDADE DAS GEOMEMBRANAS: INFLUÊNCIA DA EXPOSIÇÃO*. Portugal: M.C.P., LNEC.
- Bueno, B., Valetin, C., & Mossim, V. (Junio de 2007). Um Panorama do Desempenho de Geossintéticos Comercializados no País sob a Ótica de Ensaio de Laboratório. *Anais do 5º Simpósio Brasileiro de Geossintéticos, CD-ROM*. Recife, Brasil.
- Buitrón, F. (2017). *Propuesta para la utilización de membranas de Pvc en la impermeabilización de túneles bajo la norma UNE 104424*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Camara de la Industria Automotriz Ecuatoriana. (2017). *Anuario de la Industria Automotriz Ecuatoriana*. Quito: CINAIE.
- Chacón, J. (2012). *Uso de geomateriales para reforzamiento de suelos*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Chancasanampa, P. (2013). *DISEÑO Y APLICACIÓN DE GEOTEXTILES*.
- Costa, C., Lodi, P., Costa, Y., & Benedito, B. (Junio de 2008). *Avaliação de recomendações normativas sobre o uso de ensaios no controle de qualidade de fabricação de geossintéticos*. Recuperado el 6 de Mayo de 2018, de

http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-14282008000200014&script=sci_abstract&tlng=pt

Diario La Hora. (31 de Marzo de 2018). *Importación y producción de vehículos aumenta en 2018*. Obtenido de <https://lahora.com.ec/noticia/1102146338/importacion-y-produccion-de-vehiculos-aumenta-en-2018>

EP PETROECUADOR. (2014). ECOPAIS. *EKOS*, 48-49.

EPN. (15 de Julio de 2015). El Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros (CIAP) fue provisto de tres nuevos equipos.

Geosynthetic Research Institute. (2004). GT13: Test Methods and Properties for Geotextiles Used as Separation Between Subgrade Soil and Aggregate. *GSI, Folsom, EUA*, 21-32.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2016). *Metodología de la investigación*. México: McGraw Hill.

INEC. (2015). *Anuario de Transportes*. Obtenido de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/estudios-e-investigaciones/>

INEN. (2009). *NORMA NTE 2 478:2009*. Obtenido de Servicio Ecuatoriano de Normalizacion : <http://www.normalizacion.gob.ec/>

Ipohorski, M. (2010). Una mirada al microscopio electrónico de barrido.

Lavoie, F. L., Bueno, B., & Lodi, C. (9 de Diciembre de 2013). Evaluation of stress cracking on geomembranes after accelerated tests.

Lavoie, F. L., Lodi, P. C., & Bueno, B. (1 de 11 de 2013). Efeito da vinhaça na membrana impermeabilizante usada nos tanques de armazenamento. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*.

M Blanco, E. A. (2010). *El polietileno en la impermeabilización de balsas*.

- M. Blanco, F. C.-F. (11 de 12 de 2012). Comparative study of three different kinds of geomembranes (PVC-P, HDPE, EPDM) used in the waterproofing of reservoirs . España: HAL.
- Majewski, T. &. (2013). *Desarrollo y aplicaciones actuales de los plásticos reforzados por fibras naturales*.
- Manual de diseño con geosintéticos*. (2018). Mexico.
- Marcos F. L. Coelho, F. L. (22 de Octube de 2017). COMPORTAMENTO DA GEOMEMBRANA DE PEAD EXPOSTA AO ENVELHECIMENTO ACELERADO . Brazil.
- Miles , R. (2011). *Análisis de optimización de diseño, procesos y materiales para*.
- Miravete, A. y. (2008). *Materiales Compuestos*.
- Moyano, J. (2018). *Caracterización y aplicación de material compuesto de resina de poliéster y refuerzo de totora para la fabricación de parachoques delantero de autobús urbano*. Quito: UISEK.
- Organizacion Mundial de la Salud. (2015). OMS. Obtenido de OMS: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>
- Palacio, L. (1999). *Caracterización estructural y superficial de membranas microporosas*. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- Paulo C. Lodi, B. d. (2009). Avaliação da degradação de geomembranas de polietileno de alta densidade (PEAD) e de poli(cloreto de vinila) (PVC) utilizando análise termogravimétrica.
- Plastiazuay S.A. (Enero de 2017). Ficha tecnica PVC. Cuenca, Ecuador.
- Portaluppi, L. (2014). Informacion de geomembranas de PVC Y HDPE. Obtenido de WWW.CRIARPECES.COM.AR
- R.Kerry Rowe, H. P. (2001). *Durability of HDPE geomembranes*. Kingston: ELSEVIER.

- Ramírez, A. (Febrero de 2013). Membranas compuestas base polimérica: preparación, caracterización y estudios para la separación de gases. Saltillo, Coah.
- Rivera, C. G. (2010). Manual Técnico Geomembranas. Santa Rosa, Iquique, Chile: BVQi.
- Rodríguez Ellen, V. E. (2012). Caracterización de polímeros aplicando el método termogravimétrico.
- Rodríguez Pino, D. D. (2018). *Caracterización de geotextiles usando microscopia electrónica de barrido*.
- Ruiz, M. (17 de 1 de 2015). Partes de carros con más arancel y otros, con nuevos. *El Universo*.
- Sancandi, D., & Soto, J. (2017). *Produccion de geomembranas de HDPE*. Argentina.
- Shobha, K., & Gautam, K. (Marzo de 2018). Comparison of PVC and HDPE Geomembranas. Syracuse.
- Silva Felipe, D. S. (2011). ESTUDO DA RESISTÊNCIA DE GEOMEMBRANAS DE PVC A FLUÍDOS AGRESSIVOS POR TERMOGRAVIMETRIA. .
- Tamayo y Tamayo, M. (2017). *El proceso de la investigación científica*. México: Limusa-Noriega.
- Bueno, B. de S., & Vilar, O. M. (2004). Propriedades, ensaios e normas. In Manual Brasileiro de Geossintéticos. São Paulo: Edgard Blücher.

Anexos

Anexo 1. Norma ASTM D792 -13

This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.



Designation: D792 – 13

Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement¹

This standard is issued under the fixed designation D792; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope*

1.1 These test methods describe the determination of the specific gravity (relative density) and density of solid plastics in forms such as sheets, rods, tubes, or molded items.

1.2 Two test methods are described:

1.2.1 *Test Method A*—For testing solid plastics in water, and

1.2.2 *Test Method B*—For testing solid plastics in liquids other than water.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

NOTE 1—This standard is not equivalent to ISO 1183-1 Method A. This test method provides more guidelines on sample weight and dimension. ISO 1183-1 allows testing at an additional temperature of $27 \pm 2^\circ\text{C}$.

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards*:²

D618 Practice for Conditioning Plastics for Testing

D891 Test Methods for Specific Gravity, Apparent, of Liquid Industrial Chemicals

D4968 Guide for Annual Review of Test Methods and Specifications for Plastics

D6436 Guide for Reporting Properties for Plastics and Thermoplastic Elastomers

E1 Specification for ASTM Liquid-in-Glass Thermometers

E12 Terminology Relating to Density and Specific Gravity

of Solids, Liquids, and Gases (Withdrawn 1996)³

E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method

IEEE/ASTM SI-10 Practice for Use of the International System of Units (SI) (the Modernized Metric System)

3. Terminology

3.1 *General*—The units, symbols, and abbreviations used in these test methods are in accordance with **IEEE/ASTM SI-10**.

3.2 *Definitions*:

3.2.1 *specific gravity (relative density)*—the ratio of the mass of a given volume of the impermeable portion of the material at 23°C to the mass of an equal volume of gas-free distilled or de-mineralized water at the same temperature; the form of expression shall be:

$$\text{Specific gravity (relative density) } 23/23^\circ\text{C} \\ (\text{or sp gr } 23/23^\circ\text{C})$$

NOTE 2—This definition is essentially equivalent to the definition for apparent specific gravity and apparent density in Terminology **E12**, because the small percentage difference introduced by not correcting for the buoyancy of air is insignificant for most purposes.

3.2.2 *density*—cubic metre of impermeable portion of the material at 23°C . The form of expression shall be:

$$D^{23}, \text{ kg/m}^3$$

NOTE 3—The SI unit of density, as defined in **IEEE/ASTM SI-10**, is kg/m^3 . To convert density in g/cm^3 to density in kg/m^3 , multiply by 1000.

NOTE 4—To convert specific gravity $23/23^\circ\text{C}$ to density 23°C , kg/m^3 , use the following equation:

$$D^{23^\circ\text{C}}, \text{ kg/m}^3 = \text{sp gr } 23/23^\circ\text{C} \times 997.5$$

Where 997.5 kg/m^3 is the density of water at 23°C .

4. Summary of Test Method

4.1 Determine the mass of a specimen of the solid plastic in air. It is then immersed in a liquid, its apparent mass upon immersion is determined, and its specific gravity (relative density) calculated.

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D20 on Plastics and are the direct responsibility of Subcommittee D20.70 on Analytical Methods (Section D20.70.01).

Current edition approved Nov. 1, 2013. Published November 2013. Originally approved in 1944. Last previous edition approved in 2008 as D792 - 08. DOI: 10.1520/D0792-13.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

³ The last approved version of this historical standard is referenced on www.astm.org.



5. Significance and Use

5.1 The specific gravity or density of a solid is a property that is conveniently measured to identify a material, to follow physical changes in a sample, to indicate degree of uniformity among different sampling units or specimens, or to indicate the average density of a large item.

5.2 Changes in density of a single material are due to localized differences in crystallinity, loss of plasticizer, absorption of solvent, or to other causes. It is possible that portions of a sample differ in density because of their differences in crystallinity, thermal history, porosity, and composition (types or proportions of resin, plasticizer, pigment, or filler).

5.3 Density is useful for calculating strength-weight and cost-weight ratios.

6. Sampling

6.1 The sampling units used for the determination of specific gravity (relative density) shall be representative of the quantity of product for which the data are required.

6.1.1 If it is known or suspected that the sample consists of two or more layers or sections having different specific gravities, either complete finished parts or complete cross sections of the parts or shapes shall be used as the specimens, or separate specimens shall be taken and tested from each layer. The specific gravity (relative density) of the total part shall not be obtained by adding the specific gravity of the layers, unless relative percentages of the layers are taken into account.

7. Conditioning

7.1 *Conditioning*—Condition the test specimens at $23 \pm 2^\circ\text{C}$ and $50 \pm 10\%$ relative humidity for not less than 40 h prior to test in accordance with Procedure A of Practice D618, unless otherwise specified by the contract or relevant material specifications. In cases of disagreement, the tolerances shall be $\pm 1^\circ\text{C}$ and $\pm 5\%$ relative humidity.

7.2 *Test Conditions*—Conduct tests in the standard laboratory atmosphere of $23 \pm 2^\circ\text{C}$ and $50 \pm 10\%$ relative humidity, unless otherwise specified in this specification or by the contract or relevant material specification. In cases of disagreement, the tolerances shall be $\pm 1^\circ\text{C}$ and $\pm 5\%$ relative humidity.

TEST METHOD A FOR TESTING SOLID PLASTICS IN WATER (SPECIMENS 1 TO 50 g)

8. Scope

8.1 This test method involves weighing a one-piece specimen of 1 to 50 g in water, using a sinker with plastics that are lighter than water. This test method is suitable for plastics that are wet by, but otherwise not affected by water.

9. Apparatus

9.1 *Analytical Balance*—A balance with a precision of 0.1 mg or better is required for materials having densities less than 1.00 g/cm^3 and sample weights less than 10 grams. For all other materials and sample weights, a balance with precision of

1 mg or better is acceptable (see Note 5). The balance shall be equipped with a stationary support for the immersion vessel above the balance pan ("pan straddle").

NOTE 5—The balance shall provide the precision that all materials tested have three significant figures on density. In case that materials with different densities are tested on one single balance, use the balance that provides at least three significant figures for all materials concerned.

NOTE 6—To assure that the balance meets the performance requirements, check on zero point and sensitivity frequently and perform periodic calibration.

9.2 *Sample Holder*, corrosion-resistant (for example, wire, gemholder, etc.).

9.3 *Sinker*—A sinker for use with specimens of plastics that have specific gravities less than 1.00. The sinker shall: (1) be corrosion-resistant; (2) have a specific gravity of not less than 7.0; (3) have smooth surfaces and a regular shape; and (4) be slightly heavier than necessary to sink the specimen. The sinker shall have an opening to facilitate attachment to the specimen and sample holder.

9.4 *Immersion Vessel*—A beaker or other wide-mouthed vessel for holding the water and immersed specimen.

9.5 *Thermometer*—A thermometer readable to 0.1°C or better.

10. Materials

10.1 *Water*—The water shall be substantially air-free and distilled or de-mineralized water.

NOTE 7—Air in water can be removed by boiling and cooling the water, or by shaking the water under vacuum in a heavy-walled vacuum flask. (Warning—Use gloves and shielding.) If the water does not wet the specimen, add a few drops of a wetting agent into the water. If this solution does not wet the specimen, Method B shall be used.

11. Test Specimen

11.1 The test specimen shall be a single piece of material with a size and shape suitable for the testing apparatus, provided that its volume shall be not less than 1 cm^3 and its surface and edges shall be made smooth. The thickness of the specimen shall be at least 1 mm for each 1 g of weight. A specimen weighing 1 to 5 g was found to be convenient, but specimens up to approximately 50 g are also acceptable (see Note 8). Care shall be taken in cutting specimens to avoid changes in density resulting from compressive stresses or frictional heating.

NOTE 8—Specifications for certain plastics require a particular method of specimen preparation and should be consulted if applicable.

11.2 The specimen shall be free from oil, grease, and other foreign matter.

12. Procedure

12.1 Measure and record the water temperature.

12.2 Weigh the specimen in air. Weigh to the nearest 0.1 mg for specimens of mass 1 to 10 g and density less than 1.00 g/cm^3 . Weigh to the nearest 1 mg for other specimens.

12.3 If necessary, attach to the balance a piece of fine wire sufficiently long to reach from the hook above the pan to the support for the immersion vessel. In this case attach the



specimen to the wire such that it is suspended about 25 mm above the vessel support.

Norm 9—If a wire is used, weigh the specimen in air after hanging from the wire. In this case, record the mass of the specimen, a = (mass of specimen + wire, in air) – (mass of wire in air).

12.4 Mount the immersion vessel on the support, and completely immerse the suspended specimen (and sinkers, if used) in water (see 10.1) at a temperature of $23 \pm 2^\circ\text{C}$. The vessel must not touch sample holder or specimen. Remove any bubbles adhering to the specimen, sample holder, or sinker, by rubbing them with a wire. Pay particular attention to holes in the specimen and sinker. If the bubbles are not removed by this method or if bubbles are continuously formed (as from dissolved gases), the use of vacuum is recommended (see Note 10). Determine the mass of the suspended specimen to the required precision (see 12.2) (see Note 11). Record this apparent mass as b (the mass of the specimen, sinker, if used, and the partially immersed wire in liquid). Unless otherwise specified, weigh rapidly in order to minimize absorption of water by the specimen.

Norm 10—Some specimens may contain absorbed or dissolved gases, or irregularities which tend to trap air bubbles; any of these may affect the density values obtained. In such cases, the immersed specimen may be subjected to vacuum in a separate vessel until evolution of bubbles has substantially ceased before weighing (see Test Method B). It must also be demonstrated that the use of this technique leads to results of the required degree of precision.

Norm 11—It may be necessary to change the sensitivity adjustment of the balance to overcome the damping effect of the immersed specimen.

12.5 Weigh the sample holder (and sinker, if used) in water with immersion to the same depth as used in the previous step (Notes 12 and 13). Record this weight as w (mass of the sample holder in liquid).

Norm 12—If a wire is used, it is convenient to mark the level of immersion by means of a shallow notch filed in the wire. The finer the wire, the greater the tolerance is permitted in adjusting the level of immersion between weighings. With wire Awg No. 36 or finer, disregard its degrees of immersion and, if no sinker is used, use the mass of the wire in air as w .

Norm 13—If the wire is used and is left attached to the balance arm during a series of determinations, determine the mass a with the aid of a tare on the other arm of the balance or as in Note 9. In such cases, care must be taken that the change of mass of the wire (for example, from visible water) between readings does not exceed the desired precision.

12.6 Repeat the procedure for the required number of specimens. Two specimens per sample are recommended. Determine acceptability of number of replicate test specimens

by comparing results with precision data given in Tables 1 and 2. Use additional specimens if desired.

13. Calculation

13.1 Calculate the specific gravity of the plastic as follows:

$$sp\ gr\ 23/23^\circ\text{C} = a/(a + w - b)$$

where:

- a = apparent mass of specimen, without wire or sinker, in air,
- b = apparent mass of specimen (and of sinker, if used) completely immersed and of the wire partially immersed in liquid, and
- w = apparent mass of totally immersed sinker (if used) and of partially immersed wire.

13.2 Calculate the density of the plastic as follows:

$$D^{23^\circ\text{C}}, \text{ kg/m}^3 = sp\ gr\ 23/23^\circ\text{C} \times 997.5$$

13.3 If the temperature of the water is different than 23°C , use the density of water listed in Table 3 directly, or use the following equations to calculate the density of water at testing temperature:

$$M = \Delta D / \Delta t \quad (1)$$

$$D(\text{conversion to } 23^\circ\text{C}), \text{ kg/m}^3 \quad (2)$$

$$= sp\ gr\ t_a/t_w \times [997.5 + (t_w - 23) \times M]$$

and

$$sp\ gr\ 23/23 = D(\text{conversion to } 23^\circ\text{C})/997.5 \quad (3)$$

where:

- M = slope,
- ΔD = difference between the lowest and highest temperature tolerance for the standard density of water ($D @ 21^\circ\text{C} - D @ 25^\circ\text{C}$),
- Δt = difference between the highest and lowest temperature tolerance recommended, ($21^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}$),
- t_a = temperature of air, and
- t_w = temperature of water.

14. Report

14.1 Report the following information:

14.1.1 Complete identification of the material or product tested, including method of specimen preparation and conditioning.

14.1.2 Average specific gravity (relative density) for all specimens from a sampling unit corrected to 23.0°C (Table 3)

TABLE 1 Test Method A Specific Gravity Tested in Water

Material	Mean	S_r^A	S_R^B	r^C	R^D
Polypropylene	0.9007	0.00196	0.00297	0.00555	0.00841
Cellulose Acetate Butyrate	1.1973	0.00232	0.00304	0.00657	0.00860
Polyphenylene Sulfide	1.1708	0.00540	0.00738	0.01528	0.02089
Thermoset	1.3136	0.00271	0.00313	0.00767	0.02171
Polyvinyl Chloride	1.3396	0.00243	0.00615	0.00688	0.01947

^A S_r = within laboratory standard deviation for the individual material. It is obtained by pooling the within-laboratory standard deviations of the test results from all of the participating laboratories:

$$S_r = \sqrt{[(s_1)^2 + (s_2)^2 + \dots + (s_n)^2]/n}$$

^B S_R = between-laboratories reproducibility, expressed as standard deviation: $S_R = [S_r^2 + S_L^2]^{1/2}$ where S_L is the standard deviation of laboratory means.

^C r = within-laboratory critical interval between two test results = $2.8 \times S_r$

^D R = between-laboratories critical interval between two test results = $2.8 \times S_R$



D792 – 13

TABLE 2 Test Method B Specific Gravity Tested in Liquids Other Than Water

Material	Mean	S_r^A	S_R^B	t^C	R^D
Polypropylene	0.9023	0.00139	0.00239	0.00393	0.00669
LDPE	0.9215	0.00109	0.00195	0.00308	0.00546
HDPE	0.9678	0.00126	0.00189	0.00356	0.00529
Thermoset	1.3130	0.00160	0.00217	0.00453	0.00608

^A S_r = within laboratory standard deviation for the individual material. It is obtained by pooling the within-laboratory standard deviations of the test results from all of the participating laboratories:

$$S_r = [(s_1)^2 + (s_2)^2 + \dots + (s_n)^2/n]^{1/2}$$

^B S_R = between-laboratories reproducibility, expressed as standard deviation: $S_R = [S_r^2 + S_L^2]^{1/2}$ where S_L is the standard deviation of laboratory means.

^C t = within-laboratory critical interval between two test results = $2.8 \times S_r$.

^D R = between-laboratories critical interval between two test results = $2.8 \times S_R$.

TABLE 3 Standard Density of Water^A

°C	ρ —kg m ⁻³									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
21	997.9948	9731	9513	9294	9073	8852	8630	8406	8182	7957
22	997.7730	7503	7275	7045	6815	6584	6351	6118	5883	5648
23	997.5412	5174	4936	4697	4456	4215	3973	3730	3485	3240
24	997.2994	2747	2499	2250	2000	1749	1497	1244	990	735
25	997.0480	0223	9965 ^B	9707 ^B	9447 ^B	9186 ^B	8925 ^B	8663 ^B	8399 ^B	8135 ^B

^A Obtained from CRC Handbook of Chemistry and Physics, 78th edition, 1997-1998.

^B The leading figure decreases by 1.

are reported as sp gr 23/23°C = ____, or average density reported as D^{23C} = ____ kg/m³.

NOTE 14—Reporting density in g/cm³ is also acceptable provided that it is agreed upon by the users.

14.1.3 A measure of the degree of variation of specific gravity or density within the sampling unit such as the standard deviation and number of determinations on a homogeneous material or the averages plus these measures of dispersion on different layers or areas of a nonhomogeneous product.

14.1.4 Report the temperature of the water.

14.1.5 Report the density and specific gravity with three significant figures.

14.1.6 Any evidence of porosity of the material or specimen.

14.1.7 The method of test (that is, Method A of Test Method D792), and

14.1.8 Date of test.

15. Precision and Bias

15.1 See Section 23.

TEST METHOD B FOR TESTING SOLID PLASTICS IN LIQUIDS OTHER THAN WATER (SPECIMENS 1 TO 50 g)

16. Scope

16.1 Test Method B uses a liquid other than water for testing one-piece specimens, 1 to 50 g, of plastics that are affected by water or are lighter than water.

17. Apparatus

17.1 The apparatus shall include the balance, wire, and immersion vessel of Section 8, and, optionally, the following:

17.2 *Pycnometer with Thermometer*—A 25-mL specific gravity bottle with thermometer, or

17.3 *Pycnometer*—A pycnometer of the Weld type, preferably with a capacity of about 25 mL and an external cap over the stopper.

17.4 *Thermometer*—A thermometer having ten divisions per degree Celsius over a temperature range of not less than 5°C or 10°F above and below the standard temperature, and having an ice point for calibration. A thermometer short enough to be handled inside the balance case will be found convenient. ASTM Thermometer 23C (see Specification E1) and Anschutz-type thermometers have been found satisfactory for this purpose.

17.5 *Constant-Temperature Bath*—An appropriate constant-temperature bath adjusted to maintain a temperature of $23 \pm 0.1^\circ\text{C}$.

18. Materials

18.1 *Immersion Liquid*—The liquid used shall not dissolve, swell, or otherwise affect the specimen, but shall wet it and shall have a specific gravity less than that of the specimen. In addition, the immersion liquid shall be non-hygroscopic, has a low vapor pressure, a low viscosity, and a high flash point, and shall leave little or no waxy or tarry residue on evaporation. A narrow cut distilled from kerosene meets these requirements for many plastics. The specific gravity 23/23°C of the immersion liquid shall be determined shortly before and after each use in this method to a precision of at least 0.1 % relative, unless it has been established experimentally in the particular application that a lesser frequency of determination also provides the desired precision.

NOTE 15—For the determination of the specific gravity of the liquid, the use of a standard plummet of known volume or of Method A, C, or D of Test Methods D891, using the modifications required to give specific gravity 23/23°C instead of specific gravity 60/60°F, is recommended. One suggested procedure is the following:

If a constant-temperature water bath is not available, determine the mass of the clean, dry pycnometer with thermometer



to the nearest 0.1 mg on an analytical balance. Fill the pycnometer with water (10.1) cooler than 23°C. Insert the thermometer-stopper, causing excess water to be expelled through the side arm. Permit the filled bottle to warm in air until the thermometer reads 23.0°C. Remove the drop of water at the tip of the side arm with a bit of filter paper, taking care not to draw any liquid from within the capillary, place the cap over the side arm, wipe the outside carefully, and determine the mass of the filled bottle again to the nearest 0.2 mg. Empty the pycnometer, dry, and fill with immersion liquid. Determine the mass with the liquid in the same manner as was done with the water. Calculate the specific gravity 23/23°C of the liquid, d , as follows:

$$d = (b - e)/(w - e)$$

where:

- e = apparent mass of empty pycnometer,
- w = apparent mass of pycnometer filled with water at 23.0°C, and
- b = apparent mass of pycnometer filled with liquid at 23.0°C.

If a constant-temperature water bath is available, a pycnometer without a thermometer may be used (compare 30.2).

Note 16—One standard object which has been found satisfactory for this purpose is the Reimann Thermometer Plummets. These are normally supplied calibrated for measurements at temperatures other than 23/23°C, so that recalibration is not necessary for the purposes of these methods.

19. Test Specimen

19.1 See Section 11.

20. Procedure

20.1 The procedure shall be similar to Section 12, except for the choice of immersion liquid, and the temperature during the immersed weighing (12.3) shall be $23 \pm 0.5^\circ\text{C}$.

21. Calculation

21.1 The calculations shall be similar to Section 13, except that d , the specific gravity 23/23°C of the liquid, shall be placed in the numerator; (see 13.1)

$$Sp\,gr\,23/23^\circ\text{C} = (a \times d)/(a + w - b)$$

22. Report

22.1 See Section 14.

23. Precision and Bias

23.1 **Tables 1 and 2** are based on an interlaboratory study⁴ conducted in 1985 in accordance with Practice E691, involving 5 materials tested with Test Method A by six laboratories or four materials tested with Test Method B by six laboratories. Each test result was based on two individual determinations and each laboratory obtained four test results for each material. (**Warning**—The explanations of r and R are only intended to present a meaningful way of considering the approximate precision of these test methods. The data of **Tables 1 and 2** should not be applied to acceptance or rejection of materials, as these data apply only to the materials tested in the round robin and are unlikely to be rigorously representative of other lots, formulations, conditions, materials, or laboratories. Users of this test method should apply the principles outlined in Practice E691 to generate data specific to the materials and laboratory (or between specific laboratories). The principles of 23.2 – 23.2.3 would then be valid for such data.)

23.2 Concept of r and R in **Tables 1 and 2**—If S_r and S_R have been calculated from a large enough body of data, and for test results that were averages from 4 test results for each material, then:

23.2.1 **Repeatability**—Two test results obtained within one laboratory shall be judged not equivalent if they differ by more than the r value for that material. The concept r is the interval representing the critical difference between two test results for the same material, obtained by the same operator using the same equipment on the same day in the same laboratory.

23.2.2 **Reproducibility**—Two test results obtained by different laboratories shall be judged not equivalent if they differ by more than the R value for that material. The concept R is the interval representing the critical difference between two test results for the same material, obtained by different operators using different equipment in different laboratories.

23.2.3 Any judgment in accordance with 23.2.1 or 23.2.2 would have an approximate 95 % (0.95) probability of being correct.

23.3 There are no recognized standards by which to estimate bias of this test method.

24. Keywords

24.1 density; relative density; specific gravity

⁴ Supporting data have been filed at ASTM International Headquarters and may be obtained by requesting Research Report RR:D20-1133.

Anexo 2. Norma ASTM D882-18



Designation: D882 – 18

Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting¹

This standard is issued under the fixed designation D882; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the U.S. Department of Defense.

These test methods have been approved for use by agencies of the Department of Defense to replace Method 1013 of Federal Test Method Standard 406.

1. Scope*

1.1 This test method covers the determination of tensile properties of plastics in the form of thin sheeting and films (less than 1.0 mm (0.04 in.) in thickness).

NOTE 1—Film is defined in Terminology D883 as an optional term for sheeting having a nominal thickness no greater than 0.25 mm (0.010 in.).

NOTE 2—Tensile properties of plastics 1.0 mm (0.04 in.) or greater in thickness shall be determined according to Test Method D638.

1.2 This test method can be used to test all plastics within the thickness range described and the capacity of the machine employed.

1.3 Specimen extension can be measured by grip separation, extension indicators, or displacement of gage marks.

1.4 The procedure for determining the tensile modulus of elasticity is included at one strain rate.

NOTE 3—The modulus determination is generally based on the use of grip separation as a measure of extension; however, the desirability of using extensometers, as described in 6.2, is recognized and provision for the use of such instrumentation is incorporated in the procedure.

1.5 Test data obtained by this test method is relevant and appropriate for use in engineering design.

1.6 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values in parentheses are provided for information only.

1.7 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety, health, and environmental practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

NOTE 4—This test method is similar to ISO 527-3, but is not considered technically equivalent. ISO 527-3 allows for additional specimen configurations, specifies different test speeds, and requires an extensometer or gage marks on the specimen.

1.8 *This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

D618 Practice for Conditioning Plastics for Testing

D638 Test Method for Tensile Properties of Plastics

D883 Terminology Relating to Plastics

D4000 Classification System for Specifying Plastic Materials

D5947 Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastics Specimens

D6287 Practice for Cutting Film and Sheeting Test Specimens

D6988 Guide for Determination of Thickness of Plastic Film Test Specimens

E4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method

E2935 Practice for Conducting Equivalence Testing in Laboratory Applications

2.2 ISO Standard:

ISO 527-3 Plastics—Determination of Tensile Properties—Part 3: Test Conditions for Films and Sheets³

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 For definitions of terms that appear in this test method relating to plastics, refer to Terminology D883.

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D20 on Plastics and are the direct responsibility of Subcommittee D20.19 on Film, Sheeting, and Molded Products.

Current edition approved Aug. 1, 2018. Published August 2018. Originally approved in 1946. Last previous edition approved in 2012 as D882 - 12. DOI: 10.1520/D882-18.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

³ Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036, <http://www.ansi.org>.



3.2.1 Definitions of terms and symbols relating to tension testing of plastics appear in the Annex to Test Method D638.

3.2.2 *line grips*—grips having faces designed to concentrate the entire gripping force along a single line perpendicular to the direction of testing stress. This is usually done by combining one standard flat face and an opposing face from which protrudes a half-round.

3.2.3 *flat grips*—grips having flat faces and lined with thin rubber, crocus-cloth, emery cloth, or pressure-sensitive tape.

3.2.4 *tear failure*—a tensile failure characterized by fracture initiating at one edge of the specimen and progressing across the specimen at a rate slow enough to produce an anomalous force-deformation curve.

4. Summary of Test Method

4.1 A specimen of uniform cross-section is loaded in tension via means of a mechanical testing machine. Force and or extension are recorded during the test. Various techniques for specimen gripping and extension measurement are addressed. Depending on the elongation of the material and the desired properties to be gained from the testing, various combinations of grip separation and test speed are utilized. Properties such as tensile stress, elongation and modulus can be calculated.

5. Significance and Use

5.1 Tensile properties determined by this test method are of value for the identification and characterization of materials for control and specification purposes. Tensile properties can vary with specimen thickness, method of preparation, speed of testing, type of grips used, and manner of measuring extension. Consequently, where precise comparative results are desired, these factors must be carefully controlled. This test method shall be used for referee purposes, unless otherwise indicated in particular material specifications. For many materials, there can be a specification that requires the use of this test method, but with some procedural modifications that take precedence when adhering to the specification. Therefore, it is advisable to refer to that material specification before using this test method. Table 1 in Classification D4000 lists the ASTM materials standards that currently exist.

5.2 Tensile properties can be utilized to provide data for research and development and engineering design as well as quality control and specification. However, data from such tests cannot be considered significant for applications differing widely from the force-time scale of the test employed.

5.3 The tensile modulus of elasticity is an index of the stiffness of thin plastic sheeting. The reproducibility of test results is good when precise control is maintained over all test conditions. When different materials are being compared for stiffness, specimens of identical dimensions must be employed.

5.4 The tensile energy to break (TEB) is the total energy absorbed per unit volume of the specimen up to the point of rupture. In some texts this property has been referred to as *toughness*. It is used to evaluate materials that are subjected to heavy abuse or that can stall web transport equipment in the event of a machine malfunction in end-use applications. However, the rate of strain, specimen parameters, and espe-

cially flaws can cause large variations in the results. In that sense, caution is advised in utilizing TEB test results for end-use design applications.

5.5 Materials that fail by tearing give anomalous data which cannot be compared with those from normal failure.

6. Apparatus

6.1 *Testing Machine*—A testing machine of the constant rate-of-crosshead-movement type and comprising essentially the following:

6.1.1 *Fixed Member*—A fixed or essentially stationary member carrying one grip.

6.1.2 *Movable Member*—A movable member carrying a second grip.

6.1.3 *Grips*—A set of grips for holding the test specimen between the fixed member and the movable member of the testing machine; grips can be either the fixed or self-aligning type. In either case, the gripping system must minimize both slippage and uneven stress distribution.

6.1.3.1 Fixed grips are rigidly attached to the fixed and movable members of the testing machine. When this type of grip is used, care must be taken to ensure that the test specimen is inserted and clamped so that the long axis of the test specimen coincides with the direction of pull through the center line of the grip assembly.

6.1.3.2 Self-aligning grips are attached to the fixed and movable members of the testing machine in such a manner that they will move freely into alignment as soon as a force is applied so that the long axis of the test specimen will coincide with the direction of the applied pull through the center line of the grip assembly. The specimens must be aligned as perfectly as possible with the direction of pull so that no rotary motion will cause slippage to occur in the grips; there is a limit to the amount of misalignment self-aligning grips will accommodate.

6.1.3.3 The test specimen shall be held in such a way that slippage relative to the grips is prevented insofar as possible. Grips lined with thin rubber, crocus-cloth, emery cloth, or pressure-sensitive tape as well as file-faced or serrated grips have been successfully used for many materials. The choice of grip surface will depend on the material tested, thickness, etc. Line grips padded on the round face with 0.75-1.00 mm (0.030-0.040 in.) blotting paper or filter paper have been found superior. Air-actuated grips have been found advantageous, particularly in the case of materials that tend to "neck" into the grips, since pressure is maintained at all times (see Notes 5-7). In cases where samples frequently fail at the edge of the grips, it could be advantageous to slightly increase the radius of curvature of the edges where the grips come in contact with the test area of the specimen.

NOTE 5—Caution needs to be taken when choosing the type of grips and the type of grip surfaces to use for testing specimens films composed of high strength LLDP and VLDPE resins. Test results tend to differ more when comparing these types of specimens films tested with the grips lined with different materials.

NOTE 6—The gage of pressure sensitive tape, thin rubber, crocus-cloth, and emery cloth needs to be adequate enough to prevent slipping and premature failures of the test specimens (for example, pressure sensitive tape is used on the surface of the grips; the test specimen can may begin to tear at the edge of the grips during the test if the tape is too thin.).



D882 – 18

NOTE 7—The grit size of crocus-cloth and emery cloth is suggested to be at least 800. The use of these materials helps to prevent test specimens from slipping in the grips. One must be cautious when using these materials so that premature failures of the test specimens do not occur.

6.1.4 Drive Mechanism—A drive mechanism for imparting to the movable member a uniform, controlled velocity with respect to the stationary member. The velocity shall be regulated as specified in Section 10.

6.1.5 Force Indicator—A suitable force-indicating mechanism capable of showing the total tensile force carried by the test specimen held by the grips. This mechanism shall be essentially free of inertial lag at the specified rate of testing (see **Note 8**). Unless a suitable extensometer is used (see 6.2), the motion of the weighing system shall not exceed 2 % of the specimen extension within the range being measured. The force indicator shall determine the tensile force applied to the specimen with an accuracy of ± 1 % of the indicated value, or better. The accuracy of the testing machine shall be verified in accordance with Practices E4.

6.1.6 Crosshead Extension Indicator—A suitable extension-indicating mechanism capable of showing the amount of change in the separation of the grips, that is, crosshead movement. This mechanism shall be essentially free of inertial lag at the specified rate of testing (see **Note 8**) and shall indicate the crosshead movement with an accuracy of ± 1 % of the indicated value, or better.

6.2 Extensometer (Optional)—A suitable instrument used for determining the distance between two designated points on the test specimen as the specimen is stretched. The use of this type of instrument is optional and is not required in this test method. This apparatus, if employed, shall be so designed as to minimize stress on the specimen at the contact points of the specimen and the instrument (see 9.3). It is desirable that this instrument automatically record the distance, or any change in it, as a function of the force on the test specimen or of the elapsed time from the start of the test, or both. If only the latter is obtained, force-time data must also be taken. This instrument must be essentially free of inertial lag at the specified speed of testing (see **Note 8**).

6.2.1 Modulus of Elasticity and Low-Extension Measurements—Extensometers used for modulus of elasticity and low-extension (less than 20 % elongation) measurements shall, at a minimum, be accurate to ± 1 % and comply with the requirements set forth in Practice E83 for a Class C instrument.

6.2.2 High-Extension Measurements—Instrumentation and measuring techniques used for high-extension (20 % elongation or greater) measurements shall be accurate to ± 10 % of the indicated value, or better.

NOTE 8—A sufficiently high response speed in the indicating and recording system for the force and extension data is essential. The response speed required of the system will depend in part on the material tested (high or low elongation) and the rate of straining.

6.3 Thickness Gauge—A dead-weight dial or digital micrometer as described in Test Methods D5947 or D6988 as appropriate for the material or specimen geometry being tested.

6.4 Width-Measuring Devices—Suitable test scales or other width measuring devices capable of measuring 0.25 mm (0.010 in.) or less.

6.5 Specimen Cutter—Refer to Practice D6287 for the apparatus and techniques for cutting film and sheeting used in this test method.

6.5.1 Devices that use razor blades have proven especially suitable for materials having an elongation-at-fracture above 10 to 20 %.

6.5.2 The use of a punch press or a striking die is not recommended because of their tendency to produce poor and inconsistent specimen edges.

6.5.3 The use of a cutting template and a single razor blade is not recommended as it will affect the parallelism of the test specimen.

7. Test Specimens

7.1 The test specimens shall consist of strips of uniform width and thickness at least 50 mm (2 in.) longer than the grip separation used.

7.2 The nominal width of the specimens shall be not less than 5.0 mm (0.20 in.) or greater than 25.4 mm (1.0 in.).

7.3 A width-thickness ratio of at least eight shall be used. Narrow specimens magnify effects of edge strains or flaws, or both.

7.4 The utmost care shall be exercised in cutting specimens to prevent nicks and tears that cause premature failures (see **Note 9**). The edges shall be parallel to within 5 % of the width over the length of the specimen between the grips.

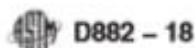
NOTE 9—Microscopical examination of specimens can be used to detect flaws due to sample or specimen preparation.

7.5 Test specimens shall be selected so that thickness is uniform to within 10 % of the average thickness over the length of the specimen between the grips in the case of specimens 0.25 mm (0.010 in.) or less in thickness and to within 5 % in the case of specimens greater than 0.25 mm (0.010 in.) in thickness but less than 1.00 mm (0.040 in.) in thickness.

NOTE 10—In cases where thickness variations are in excess of those recommended in 7.5, results tend not to be characteristic of the material under test.

7.6 If the material is suspected of being anisotropic, two sets of test specimens shall be prepared having their long axes respectively parallel with and normal to the suspected direction of anisotropy.

7.7 For tensile modulus of elasticity determinations, a specimen gage length of 250 mm (10 in.) shall be considered as standard. This length is used in order to minimize the effects of grip slippage on test results. When this length is not feasible, test sections as short as 100 mm (4 in.) can be used if it has been shown that results are not appreciably affected. However, the 250-mm (10-in.) gage length shall be used for referee purposes. The speed of testing of shorter specimens must be adjusted in order for the strain rate to be equivalent to that of the standard specimen.



NOTE 11—Two round robin tests⁴ have shown that, for materials of less than 0.25-mm (0.010 in.) in thickness, fine grips padded on the round side with 1.0-mm (0.040-in.) blotting paper give the same results with a 100-mm (4-in.) test section as a 250-mm (10-in.) test section produces with flat-face grips.

NOTE 12—Excessive jaw slippage becomes increasingly difficult to overcome in cases where high modulus materials are tested in thicknesses greater than 0.25 mm (0.010 in.).

8. Conditioning

8.1 Conditioning—Condition the test specimens at $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$) and $50 \pm 10\%$ relative humidity for not less than 40 h prior to test in accordance with Procedure A of Practice D618 unless otherwise specified by agreement or the relevant ASTM material specification. In cases of disagreement, the tolerances shall be $\pm 1^\circ\text{C}$ ($\pm 1.8^\circ\text{F}$) and $\pm 5\%$ relative humidity.

8.2 Test Conditions—Conduct the tests at $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$) and $50 \pm 10\%$ relative humidity unless otherwise specified by agreement or the relevant ASTM material specification. In cases of disagreement, the tolerances shall be $\pm 1^\circ\text{C}$ ($\pm 1.8^\circ\text{F}$) and $\pm 5\%$ relative humidity.

9. Number of Test Specimens

9.1 In the case of isotropic materials, at least five specimens shall be tested from each sample.

9.2 In the case of anisotropic materials, at least ten specimens, five normal and five parallel with the principal axis of anisotropy, shall be tested from each sample.

9.3 (Optional) It is acceptable to test a reduced number of test specimens:

- (1) No less than three test specimens shall be tested.
- (2) No less than six test specimens in the case of anisotropic materials, three normal and three parallel with the principle axis of anisotropy, shall be tested.
- (3) Allowed for in-line quality control sampling.
- (4) Allowed for samples not sufficient in size to provide a minimum of five test specimens (10 test specimens for anisotropic materials).
- (5) Standard deviation is not to be calculated or reported due to the reduced number of data points.

9.4 Specimens that fail at some obvious flaw or that fail outside the gage length shall be discarded and retests made, unless such flaws or conditions constitute a variable whose

effect is being studied. However, jaw breaks (failures at the grip contact point) are acceptable if it has been shown that results from such tests are in essential agreement with values obtained from breaks occurring within the gage length.

NOTE 13—In the cases of some materials, examination of specimens, prior to and following testing, under crossed optical polarizers (polarizing films) provides a useful means of detecting flaws, which can be, or are, responsible for premature failure.

10. Speed of Testing

10.1 The speed of testing is the rate of separation of the two members (or grips) of the testing machine when running idle (under no force). This rate of separation shall be maintained within 5 % of the no-force value when running under full-capacity force.

10.2 The speed of testing shall be calculated from the required initial strain rate as specified in Table 1. The rate of grip separation shall be determined for the purpose of these test methods from the initial strain rate as follows:

$$A = BC \quad (1)$$

where:

- A = rate of grip separation, mm (or in.)/min,
 B = initial distance between grips, mm (or in.), and
 C = initial strain rate, mm/mm-min (or in./in.-min).

10.3 The initial strain rate shall be as in Table 1 unless otherwise indicated by the specification for the material being tested.

NOTE 14—Results obtained at different initial strain rates are not comparable; consequently, where direct comparisons between materials in various elongation classes are required, a single initial strain rate must be used. For some materials it is advisable to select the strain rates on the basis of percent elongation at yield.

10.4 In cases where conflicting material classification, as determined by percent elongation at break values, results in a choice of strain rates, the lower rate shall be used.

10.5 If modulus values are being determined, separate specimens shall be used whenever strain rates and specimen dimensions are not the same as those employed in the test for other tensile properties.

11. Procedure

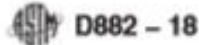
11.1 Select a force range such that specimen failure occurs within its upper two thirds. A few trial runs could be necessary to select a proper combination of force range and specimen width.

⁴ Supporting data have been filed at ASTM International Headquarters and may be obtained by requesting Research Report RR:D20-1058.

TABLE 1 Crosshead Speeds and Initial Grip Separation^a

Percent Elongation at Break	Initial Strain Rate, mm/mm-min (in./in.-min)	Initial Grip Separation		Rate of Grip Separation	
		mm	in.	mm/min	in./min
Modulus of Elasticity Determination					
	0.1	250	10	25	1.0
Determinations other than Elastic Modulus					
Less than 20	0.1	125	5	12.5	0.5
20 to 100	0.5	100	4	50	2.0
Greater than 100	10.0	50	2	500	20.0

^aSee Fig. A3.1 and Fig. A3.2 in Annex A3 to set the initial grip separation correctly.



D882 – 18

11.2 Measure the cross-sectional area of the specimen at three points along its length (center and within approximately 13 mm of each end of the gage length). Measure the width to an accuracy of 0.25 mm (0.010 in.) or better. Measure the thickness to an accuracy of 0.0025 mm (0.0001 in.) or better for specimens less than 0.25 mm (0.010 in.) in thickness and to an accuracy of 1 % or better for specimens greater than 0.25 mm (0.010 in.) but less than 1.0 mm (0.040 in.) in thickness.

11.3 Set the initial grip separation in accordance with **Table 1**.

11.4 Set the rate of grip separation to give the desired strain rate, based on the initial distance between the grips, in accordance with **Table 1**. Zero the calibrated force weighing system, extension indicator(s) and recording system.

NOTE 15—Extensometers can be used for modulus of elasticity determinations with the expectation of obtaining more accurate values than can be obtained using grip separation as the effective gage length. Precautions must be taken to ensure that extensometer slippage and undue stressing of the specimen do not occur. Refer also to 7.7.

11.5 In cases where it is desired to measure a test section other than the total length between the grips, mark the ends of the desired test section with a soft, fine wax crayon or with ink. Do not scratch these marks onto the surface since such scratches can act as stress raisers and cause premature specimen failure. Extensometers can be used if available; in this case, the test section will be defined by the contact points of the extensometer.

NOTE 16—Measurement of a specific test section is necessary with some materials having high elongation. As the specimen elongates, the accompanying reduction in area results in a loosening of material at the inside edge of the grips. This reduction and loosening moves back into the grips as further elongation and reduction in area takes place. In effect, this causes problems similar to grip slippage, that is, exaggerates measured extension.

11.6 Place the test specimen in the grips of the testing machine, taking care to align the long axis of the specimen with an imaginary line joining the points of attachment of the grips to the machine. Tighten the grips evenly and firmly to the degree necessary to minimize slipping of the specimen during test.

11.7 Start the machine and record force versus extension.

11.7.1 When the total length between the grips is used as the test area, record force versus grip separation.

11.7.2 When a specific test area has been marked on the specimen, follow the displacement of the edge boundary lines with respect to each other with dividers or some other suitable device. If a force-extension curve is desired, plot various extensions versus corresponding forces sustained, as measured by the force indicator.

11.7.3 When an extensometer is used, record force versus extension of the test area measured by the extensometer.

11.8 If modulus values are being determined, select a force range and chart rate to produce a force-extension curve of between 30 and 60° to the X axis. For maximum accuracy, use the most sensitive force scale for which this condition can be met. It is acceptable to discontinue the test when the force-extension curve deviates from linearity.

11.9 In the case of materials being evaluated for secant modulus, the test can be discontinued when the specified extension is reached.

11.10 If tensile energy to break is being determined, some provision must be made for integration of the stress-strain curve. This can be either an electronic integration during the test or a subsequent determination from the area of the finished stress-strain curve (see **Annex A2**).

12. Calculation

12.1 Toe compensation shall be made in accordance with **Annex A1** unless it can be shown that the toe region of the curve is not due to the takeup of slack, seating of the specimen, or other artifact, but rather is an authentic material response.

12.2 **Breaking Factor** (nominal) shall be calculated by dividing the maximum force by the original average width of the specimen. The result shall be expressed in force per unit of width, usually newtons per metre (or pounds per inch) of width, and reported to three significant figures. The thickness of the film shall always be stated to the nearest 0.0025 mm (0.0001 in.).

Example—Breaking Factor = 1.75 kN/m (10.0 lbf/in.) of width for 0.1300-mm (0.0051-in.) thickness.

NOTE 17—This method of reporting is useful for very thin films (0.13 mm (0.005 in.) and less) for which breaking force is not proportional to cross-sectional area and whose thickness is difficult to determine with precision. Furthermore, films which are in effect laminar due to orientation, skin effects, nonuniform crystallinity, etc., have tensile properties disproportionate to cross-sectional area.

12.3 **Tensile Strength** (nominal) shall be calculated by dividing the maximum force by the original average cross-sectional area of the specimen. The result shall be expressed in force per unit area, usually megapascals (or pounds-force per square inch). This value shall be reported to three significant figures. The maximum force can occur at the yield point, the breaking point, or in the area between the yield point and the breaking point.

NOTE 18—When tear failure occurs, so indicate and calculate results based on force and elongation at which tear initiates, as reflected in the force-deformation curve.

12.4 **Tensile Strength at Break** (nominal) shall be calculated in the same way as the tensile strength except that the force at break shall be used in place of the maximum force (**Note 18** and **Note 19**).

NOTE 19—In many cases tensile strength and tensile strength at break are identical, but not always.

12.5 **Percent Elongation at Break** shall be calculated by dividing the extension at the moment of rupture of the specimen by the initial gage length of the specimen and multiplying by 100. When gage marks or extensometers are used to define a specific test section, only this length shall be used in the calculation; otherwise the distance between the grips shall be used. The result shall be expressed in percent and reported to two significant figures (see **Note 18**).

12.6 **Tensile Yield Strength**, where applicable, shall be calculated by dividing the force at the yield point by the original average cross-sectional area of the specimen. The



D882 – 18

result shall be expressed in force per unit area, usually megapascals (or pounds-force per square inch). This value shall be reported to three significant figures. Alternatively, for materials that exhibit Hookean behavior in the initial part of the curve, an offset yield strength shall be obtained as described in the Appendix of Test Method D638. In this case the value shall be given as "yield strength at —% offset."

12.7 *Percent Elongation at Yield*, where applicable, shall be calculated by dividing the extension at the yield point by the initial gage length of specimen and multiplying by 100. When gauge marks or extensometers are used to define a specific test section, only this length shall be used in the calculation. Before calculating, correct the extension for "toe compensation" as described in Annex A1. The results shall be expressed in percent and reported to two significant figures. When offset yield strength is used, the elongation at the offset yield strength shall be calculated.

12.8 *Elastic Modulus*, shall be calculated by drawing a tangent to the initial linear portion of the force-extension curve, selecting any point on this tangent, and dividing the tensile stress by the corresponding strain. Before calculating, correct the extension for "toe compensation" as described in Annex A1. For purposes of this determination, the tensile stress shall be calculated by dividing the force by the average original cross section of the test section. The result shall be expressed in force per unit area, usually megapascals (or pounds-force per square inch), and reported to three significant figures.

12.9 *Secant Modulus*, at a designated strain, shall be calculated by dividing the corresponding stress (nominal) by the designated strain. Elastic modulus values are preferable and shall be calculated whenever possible. However, for materials where no proportionality is evident, the secant modulus values shall be calculated. Draw the tangent as directed in A1.3 and Fig. A1.2 of Annex A1, and mark off the designated strain from the yield point where the tangent line goes through zero stress. The stress to be used in the calculation is then determined by dividing the force at the designated strain on the force-extension curve by the original average cross-sectional area of the specimen.

12.10 *Tensile Energy to Break*, where applicable, shall be calculated by integrating the energy per unit volume under the stress-strain curve or by integrating the total energy absorbed and dividing it by the volume of the original gage region of the specimen. As indicated in Annex A2, this shall be done directly during the test by an electronic integrator, or subsequently by computation from the area of the plotted curve. The result shall be expressed in energy per unit volume, usually in megajoules per cubic metre (or inch-pounds-force per cubic inch). This value shall be reported to two significant figures.

12.11 For each series of tests, the arithmetic mean of all values obtained shall be calculated to the proper number of significant figures.

12.12 The standard deviation (estimated) shall be calculated as follows and reported to two significant figures:

$$s = \sqrt{(\sum X^2 - n \bar{X}^2)/(n - 1)} \quad (2)$$

where:

- s = estimated standard deviation,
- X = value of a single observation,
- n = number of observations, and
- $\bar{X}$ = arithmetic mean of the set of observations.

13. Report

13.1 Report the following information:

13.1.1 Complete identification of the material tested, including type, source, manufacturer's code number, form, principal dimensions, previous history, and orientation of samples with respect to anisotropy (if any),

13.1.2 Method of preparing test specimens,

13.1.3 Thickness, width, and length of test specimens,

13.1.4 Number of specimens tested,

13.1.5 Strain rate employed,

13.1.6 Grip separation (initial),

13.1.7 Crosshead speed (rate of grip separation),

13.1.8 Gage length (if different from grip separation),

13.1.9 Type of grips used, including facing (if any),

13.1.10 Conditioning procedure (test conditions, temperature, and relative humidity if nonstandard),

13.1.11 Anomalous behavior such as tear failure and failure at a grip,

13.1.12 Average breaking factor and standard deviation,

13.1.13 Average tensile strength (nominal) and standard deviation,

13.1.14 Average tensile strength at break (nominal) and standard deviation,

13.1.15 Average percent elongation at break and standard deviation,

13.1.16 Where applicable, average tensile energy to break and standard deviation,

13.1.17 In the case of materials exhibiting "yield" phenomenon: average yield strength and standard deviation; and average percent elongation at yield and standard deviation,

13.1.18 For materials which do not exhibit a yield point: average —% offset yield strength and standard deviation; and average percent elongation at —% offset yield strength and standard deviation,

13.1.19 Average modulus of elasticity and standard deviation (if secant modulus is used, so indicate and report strain at which calculated), and

13.1.20 When an extensometer is employed, so indicate.

14. Precision and Bias

14.1 Two interlaboratory tests have been run for these tensile properties. The first was run for modulus only, in 1977, in which randomly drawn samples of four thin (~0.025 mm (0.001-in.)) materials were tested with five specimens in each laboratory. Elastic (tangent) modulus measurements were made by six laboratories, and secant (1 %) modulus measurements were taken by five laboratories. The relative precision obtained in this interlaboratory study is in Table 2.



D882 – 18

TABLE 2 Precision Data for Modulus

Material	Thickness, mils	Tangent Modulus				
		Average, 10^3 psi	S_x , 10^3 psi	S_{Rx} , 10^3 psi	I_r , 10^3 psi	I_R , 10^3 psi
LDPE	1.4	53.9	1.81	8.81	5.12	24.9
HDPE	1.6	191	5.47	16.2	15.5	45.9
PP	1.1	425	10.3	31.5	29.0	89.1
PET	0.9	672	13.8	55.5	39.1	157.1
Material	Thickness, mils	Secant Modulus				
		Average, 10^3 psi	S_x , 10^3 psi	S_{Rx} , 10^3 psi	I_r , 10^3 psi	I_R , 10^3 psi
LDPE	1.4	45.0	2.11	3.43	5.98	9.70
HDPE	1.6	150	3.29	9.58	9.30	27.1
PP	1.1	372	4.66	26.5	13.2	74.9
PET	0.9	640	10.0	27.5	28.4	77.8

14.1.1 In deriving the estimates in Table 2, statistical outliers were not removed, in keeping with Practice E691.⁵

14.1.2 The within-lab standard deviation of a mean value, S_x , in each case was determined from the standard deviation, S_r , of the five individual specimens as follows: $S_x = S_r/(5)^{1/2}$. The S_x values were pooled among laboratories for a given material to obtain the within-lab standard deviation, S_{Rx} , of a test result (mean of five specimens). See 14.3 – 14.3.2 for definitions of terms in the tables.

14.2 An interlaboratory test was run for all the other tensile properties except modulus in 1981, in which randomly drawn samples of six materials (one of these in three thicknesses) ranging in thickness from 0.019 to 0.178 mm (0.00075 to 0.007 in.) were tested in seven laboratories. A test result was defined as the mean of five specimen determinations. However, each laboratory tested eight specimens, and the S_x was determined from $S_x = S_r/(5)^{1/2}$ as above. This was done to improve the quality of the statistics while maintaining their applicability to a five-specimen test result. The materials and their thicknesses are identified in Tables 3–7, each of which contain data for one of the following properties: tensile yield strength, yield elongation, tensile strength, tensile elongation at break, and tensile energy at break (see Note 20).⁶

NOTE 20—Subsequent to filing the research report, examination of the LDPE used in this study between crossed polarizers revealed lengthwise lines representing substantial widthwise variation in molecular orientation

that probably was not successfully randomized out of the between-lab component of variance.

14.3 For the purpose of compiling summary statistics, a test result has been defined to be the average of five replicate measurements of a property for a material in a laboratory, as specified in this test method. Summary statistics are given in Table 3. In each table, for the material indicated, $S(r)$ is the pooled within-laboratory standard deviation of a test result, $S(R)$ is the between-laboratory standard deviation of a test result, where r equals $2.83 \times S(r)$ (see 14.3.1) and R equals $2.83 \times S(R)$ (see 14.3.2). (Warning—The following explanations of I_r and I_R (14.3 – 14.3.3) are only intended to present a meaningful way of considering the Approximate precision of this test method. Do not rigorously apply the data in Table 2 to the acceptance or rejection of material, as those data are specific to the round robin and are not necessarily representative of other lots, conditions, materials, or laboratories. Users of this test method need to apply the principles outlined in Practice E691 to generate data specific to their laboratory and materials, or between specific laboratories. The principles of 14.3 – 14.3.3 would then be valid for such data.)

14.3.1 *Repeatability*—The value below which the absolute difference between two test results obtained under repeatability conditions is likely to occur with a probability of approximately 0.95 (95 %).

14.3.2 *Reproducibility*—The value below which the absolute difference between two test results obtained under reproducibility conditions is likely to occur with a probability of approximately 0.95 (95 %).

14.3.3 For further information, see Practice E691 and for information on equivalence testing, see Practice E2935.

TABLE 3 Precision Data for Yield Stress

Material	Thickness, mils	Average, 10^3 psi	$(S_x)^A$, 10^3 psi	$(S_{Rx})^B$, 10^3 psi	I_r^C , 10^3 psi	I_R^D , 10^3 psi
LDPE	1.0	1.49	0.051	0.13	0.14	0.37
HDPE	1.0	4.33	0.084	0.16	0.24	0.44
PP	0.75	6.40	0.13	0.52	0.37	1.46
PC	4.0	8.59	0.072	0.29	0.20	0.82
GTA	5.3	11.4	0.12	0.50	0.34	1.43
PET	4.0	14.3	0.12	0.23	0.34	0.66
PET	2.5	14.4	0.14	0.54	0.40	1.52
PET	7.0	14.4	0.13	0.36	0.37	1.03

^A S_x is the within-laboratory standard deviation of the average.

^B S_{Rx} is the between-laboratories standard deviation of the average.

^C $I_r = 2.83 S_x$

^D $I_R = 2.83 S_{Rx}$



D882 – 18

ANNEXES

(Mandatory Information)

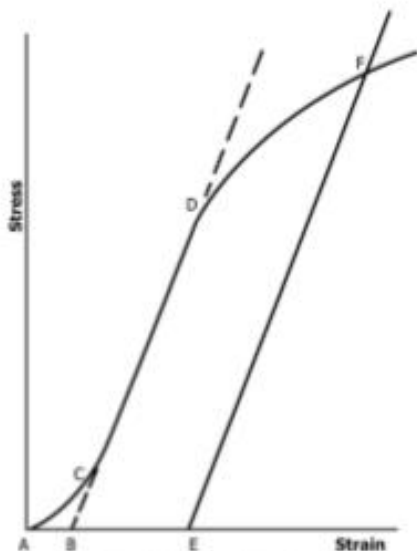
A1. TOE COMPENSATION

A1.1 In a typical stress-strain curve (Fig. A1.1) there is a toe region, AC, which does not represent a property of the material. It is an artifact caused by a takeup of slack, and alignment or seating of the specimen. In order to obtain correct values of such parameters as modulus, strain, and offset yield point, this artifact must be compensated for to give the corrected zero point on the strain or extension axis.

A1.2 In the case of a material exhibiting a region of Hookean (linear) behavior (Fig. A1.1), a continuation of the linear (CD) region of the curve is constructed through the zero-stress axis. This intersection (B) is the corrected zero-strain point from which all extensions or strains must be measured, including the yield offset (BE), if applicable. The

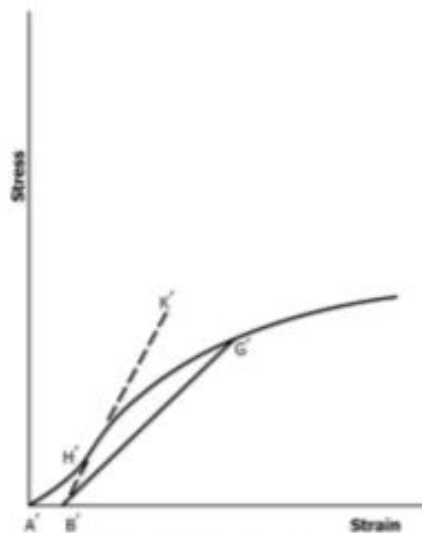
elastic modulus can be determined by dividing the stress at any point along the line CD (or its extension) by the strain at the same point (measured from point B, defined as zero-strain).

A1.3 In the case of a material that does not exhibit any linear region (Fig. A1.2), the same kind of toe correction of the zero-strain point can be made by constructing a tangent to the maximum slope at the inflection point (H). This is extended to intersect the strain axis at point B', the corrected zero-strain point. Using point B' as zero strain, the stress at any point (G) on the curve can be divided by the strain at that point to obtain a secant modulus (slope of line B'G). For those materials with no linear region, any attempt to use the tangent through the inflection point as a basis for determination of an offset yield point can result in unacceptable error.



NOTE 1—Some equipment plot the mirror image of this graph.

FIG. A1.1 Material with Hookean Region



NOTE 1—Some equipment plot the mirror image of this graph.

FIG. A1.2 Material with No Hookean Region



A2. DETERMINATION OF TENSILE ENERGY TO BREAK

A2.1 Tensile energy to break (TEB) is defined by the area under the stress-strain curve, or

$$TEB = \int_0^{\epsilon_r} S d\epsilon \quad (A2.1)$$

where S is the stress at any strain, ϵ , and ϵ_r is the strain at rupture. The value is in units of energy per unit volume of the specimen's initial gage region. TEB is most conveniently and accurately measured with a tension tester equipped with an integrator. The calculation is then:

$$TEB = (I/K) \quad (A2.2)$$

$$\frac{(\text{full scale load}) (\text{chart speed}) (\text{crosshead speed/chart speed})}{(\text{mean caliper}) (\text{specimen width}) (\text{gage length})}$$

where I is the integrator count reading and K is the maximum possible count per unit time for a constant full scale force. This whole calculation is typically done electronically. The results are best expressed in megajoules per cubic metre (or inch-pounds-force per cubic inch).

A2.2 Without an integrator, the area under the recorded stress-strain curve can be measured by planimeter, counting squares, or weighing the cut-out curve. These techniques are time-consuming and likely to be less accurate, since the force

scale on some chart paper is not in round-number dimensions. Moreover, if the curve coordinates are in terms of force and extension instead of stress and strain, the calculated energy, corresponding to the measured area, must be divided by the product of gage length, specimen width, and mean caliper:

$$(\text{curve area}) (\text{force per unit chart scale}) \quad (A2.3)$$

$$TEB = \frac{(\text{extension per unit chart travel})}{(\text{mean caliper}) (\text{specimen width}) (\text{gage length})}$$

A2.3 For example, if the area under a force-extension curve is 60,000 mm², the force coordinate is 2.0 N/mm of chart scale, the extension coordinate is 0.25 mm of extension per mm of chart travel, and the specimen dimensions are 0.1 mm caliper, 15 mm width and 100 mm gage length, then the calculation for tensile energy to break is:

$$TEB = \frac{(60\,000 \text{ mm}^2) (2.0 \text{ N/mm}) (0.25 \times 10^{-3} \text{ m/mm})}{(0.1 \times 10^{-3} \text{ m}) (15 \times 10^{-3} \text{ m}) (100 \times 10^{-3} \text{ m})} \quad (A2.4)$$

$$TEB = 200 \text{ MJ/m}^3$$

A3. SETTING THE CORRECT INITIAL GRIP SEPARATION

A3.1 Initial Grip Separation Settings Using Flat Grip Inserts and Line Grip Inserts (Fig. A3.1 and Fig. A3.2)

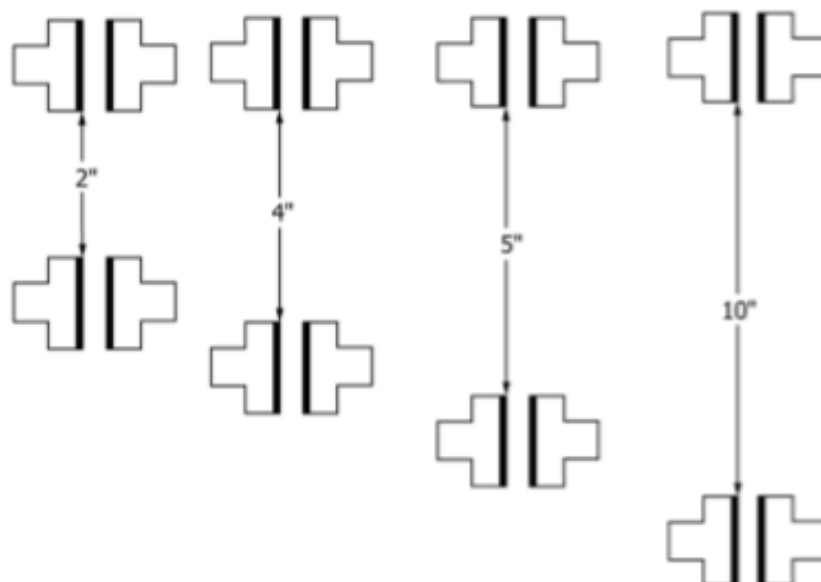


FIG. A3.1 Initial Grip Separation Using Flat Grip Inserts

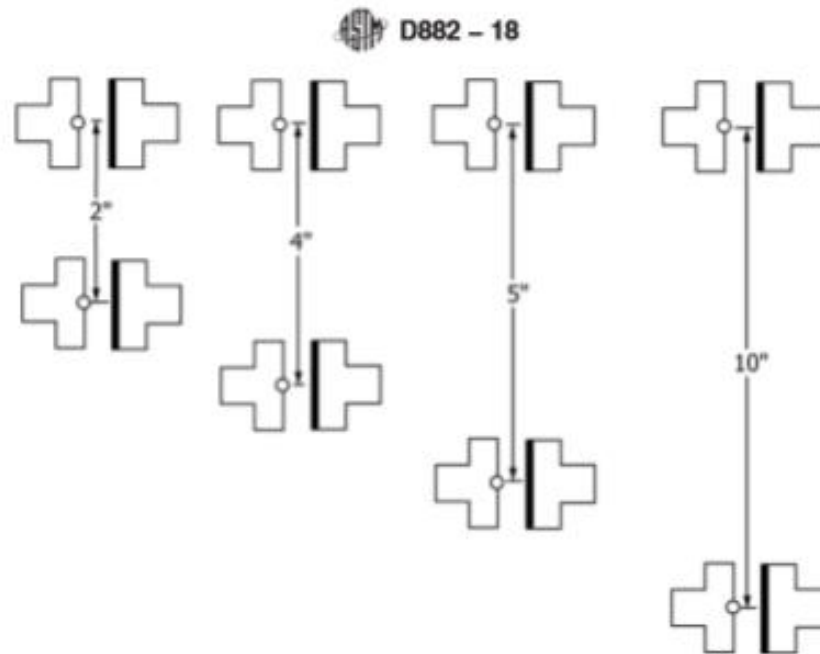


FIG. A3.2 Initial Grip Separation Using Line Grip Inserts

A3.2 It is acceptable for the shape of the grip inserts to differ depending on the testing instrument being used, but the distance between the points of contact will be the same.

A3.3 Calculation of ultimate elongation will be incorrect if the initial grip separation is not set correctly.

A3.4 The initial strain rate required will be incorrect if the initial grip separation is not set correctly.

SUMMARY OF CHANGES

Committee D20 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (D882 - 12) that may impact the use of this standard. (August 1, 2018)

- (1) Added Section 4 Summary of Test Method.
- (2) Renumbered subsequent sections after the addition of Section 4.
- (3) Subsection 7.5: Clarified that the 10% uniformity of thickness is based on average thickness.
- (4) Subsection 9.3: Removed redundancy of stating that the number of specimens needs to be reported as it is already stated in the report section.
- (5) Subsection 11.2: Clarified the number of measurements to take for cross-sectional area. Now states to take three as opposed to several.
- (6) Subsection 12.2: Revised to use average width of specimen as opposed to minimum to stay consistent with how stress and modulus are calculated.

- (7) Subsections 12.3 and 12.6: Revised to use original average cross-sectional area as opposed to original minimum cross-sectional area to stay consistent with how modulus is calculated.
- (8) Subsection 14.3.1 and 14.3.2: Revised using the new ASTM D20 boiler plate statements for reproducibility and repeatability.
- (9) The term "chart recorder" was changed to "instrument" in Annex A1, Note 1 of Figure A1.1 and Annex A1, Note 1 of Figure A1.2.
- (10) Permissive language removed throughout where applicable.

Anexo 3. Norma ASTM D1004-13



Designation: D1004 – 13

Standard Test Method for Tear Resistance (Graves Tear) of Plastic Film and Sheeting¹

This standard is issued under the fixed designation D1004; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the U.S. Department of Defense.

1. Scope*

1.1 This test method² covers the determination of the tear resistance of flexible plastic film and sheeting at very low rates of loading, 51 mm (2 in.)/min. and is designed to measure the force to initiate tearing. The specimen geometry of this test method produces a stress concentration in a small area of the specimen. The maximum stress, usually found near the onset of tearing, is recorded as the tear resistance in newtons (or pounds-force). The method is not applicable for film or sheeting material where brittle failures occur during testing or where maximum extension is greater than 101.6 mm (4 in.).

1.1.1 Although resistance to tear can be expressed in newtons per microns, (pounds-force per mil) of specimen thickness, this is only advisable where correlation for the particular material being tested has been established. In most cases, comparison between films of dissimilar thickness is not valid.

NOTE 1—Film has been arbitrarily defined as sheeting having nominal thickness not greater than 0.25 mm (0.010 in.).

1.2 *Constant-Rate-of-Grip Separation Test*—This test method employs a constant rate of separation of the grips holding the test specimen.

1.2.1 Specimen extension may be measured in this test method by grip separation.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are provided for information only.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

NOTE 2—There is no known ISO equivalent to this standard.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D20.19 on Film, Sheeting, and Molded Products.

Current edition approved April 1, 2013. Published April 2013. Originally approved in 1949. Last previous edition approved in 2009 as D1004–09. DOI: 10.1520/D1004-13.

² The following reference may be of interest in connection with this test method: Graves, F. L., "The Evaluation of Tear Resistance in Elastomers," *India Rubber World*, Vol 111, No. 3, December 1944, pp. 305–308.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:³

D618 Practice for Conditioning Plastics for Testing

D882 Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting

D883 Terminology Relating to Plastics

D4000 Classification System for Specifying Plastic Materials

D5947 Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastics Specimens

D6988 Guide for Determination of Thickness of Plastic Film Test Specimens

E4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method

2.2 ASTM Adjuncts:

Die Drawings⁴

3. Terminology

3.1 Definitions:

Definitions of terms applying to this test method appear in Terminology D883.

4. Summary of Test Method

4.1 The force to initiate tearing across a specific geometry of a film or sheeting specimen is measured using a constant-rate-of-grip separation machine. The force necessary to initiate the tear is calculated from the load-time or load-displacement data.

5. Significance and Use

5.1 Tear resistance of plastic film or sheeting is a complex function of its ultimate resistance to rupture. The specimen geometry and speed of testing in this test method are controlled to produce tearing in a small area of stress concentration at

³ For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

⁴ Available from ASTM International Headquarters. Order Adjunct No. ADJD1004.

 D1004 - 13

rates far below those usually encountered in service. Experience has shown the test to have its best reliability for materials which do not have brittle failure or do not elongate greater than two hundred percent during testing.

5.2 The data from this test method furnish comparative information for ranking the tearing resistance of plastic specimens of similar composition. Actual use performance in tearing of some plastics may not necessarily correlate with data from this test method.

5.3 The resistance to tear of plastic film and sheeting, while partly dependent upon thickness, has no simple correlation with specimen thickness. Hence, tearing forces measured in newtons (or pounds-force) cannot be normalized over a wide range of specimen thickness without producing misleading data as to the actual tearing resistance of the material. Data from this test method are comparable only from specimens, which vary by no more than $\pm 10\%$ from the nominal or average thickness of all specimens tested. Therefore, the tearing resistance is expressed in maximum newtons (or pounds-force) of force to tear the specimen.

5.4 The tear resistance of plastic film may be a specification that requires the use of this test method, but with some procedural modifications that take precedence when adhering to the specification. Therefore, it is advisable to refer to that material specification before using this test method. Table 1 of Classification System D4000 lists the ASTM materials standards that currently exist.

6. Apparatus

6.1 *Testing Machine*—A testing machine of the constant rate-of crosshead-movement type and comprising essentially the following:

6.1.1 *Fixed Member*—A fixed or essentially stationary member carrying one grip.

6.1.2 *Movable Member*—A movable member carrying a second grip.

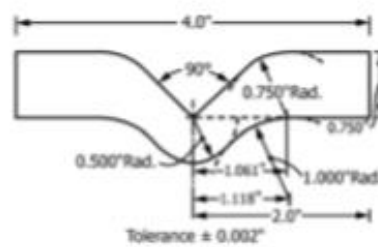
6.1.3 *Grips*—Preferably, a set of self-aligning grips for holding the test specimen between the fixed member and the movable member of the testing machine. The grips should minimize both slippage and uneven stress distribution.

6.1.3.1 *Fixed grips* are rigidly attached to the fixed and movable members of the testing machine. Fixed grips may be used if extreme care is taken to ensure that the test specimen is inserted and clamped so that the long axis of the test specimen coincides with the direction of pull through the center line of the grip assembly.

6.1.3.2 *Self-aligning grips* are attached to the fixed and movable member of the testing machine in such a manner that they will move freely into alignment as soon as any load is applied so that the long axis of the test specimen will coincide with the direction of the applied pull through the center line of the grip assembly.

Nom 3—The specimens should be aligned as perfectly as possible with the direction of pull so that no rotary motion that may induce slippage will occur in the grips; there is a limit to the amount of misalignment self-aligning grips will accommodate.

Nom 4—Grips lined with thin rubber have been used successfully. Grips may be of the self-tightening type. In cases where specimens



Tolerance $\pm 0.5^\circ$

Table of Metric Equivalents

In.	mm
4.0	101.60
0.750	19.05
1.061	26.95
1.000	25.40
1.118	28.40
2.0	50.80
0.002	0.051
0.500	12.70

FIG. 1 Die for Tear Test Specimen

frequently fail at the edge of the grips, the radius of curvature of the edges of the grips may be increased slightly at the point where they come in contact with the specimen.

6.1.4 *Drive Mechanism*—A drive mechanism capable of separating the movable member (grip) from the stationary member (grip) at a controlled velocity of 51 mm (2 in.) $\pm 5\%$ /min.

6.1.5 *Load Indicator*—A suitable load-indicating mechanism capable of showing the total tensile load carried by the test specimen held by the grips. The testing machine shall be essentially free from inertial lag at the specified rate of testing and shall indicate the load with an accuracy of $\pm 1\%$. The accuracy of the testing machine shall be verified in accordance with Practices E4.

6.1.6 *Crosshead Extension Indicator*—A suitable extension-indicating mechanism capable of showing the amount of change in the separation of the grips (crosshead movement).

6.2 *Thickness*—Measure the specimen thickness in accordance with Test Methods D5947 or Guide D6988 as appropriate.

6.3 *Die*⁴—A die having the dimensions shown in Fig. 1 shall be used to cut all specimens. The 90° angle shall be honed sharp with no radius or have a minimum practical radius. The cutting edge of the die shall have a 5° negative rake, and shall be kept sharp and free from nicks to avoid leaving ragged edges on the specimen. Wetting the surface of the sample and the cutting edges of the die with water may facilitate cutting. The sample shall rest on the smooth, slightly yielding surface that will not damage the die blade. Lightweight cardboard or a piece of leather belting is suitable. Care should be taken that the cut edges of the specimen are perpendicular to its other surfaces and that the edges have a minimum of concavity.

7. Test Specimens

7.1 The test specimens shall be cut out with a die conforming to the dimensions shown in Fig. 1 and shall not vary by more than 0.5 % from these dimensions. The cutting edges of



the die shall be kept sharp and free of all nicks to avoid leaving ragged edges on the specimens.

Nom 5—Caution should be used to ensure all samples are the same dimension if multiple specimens are cut at one time by stacking (layering) film.

7.2 Machine direction specimens are cut perpendicular to the machine direction and transverse direction specimens are cut perpendicular to the transverse direction.

7.3 At least ten specimens shall be tested for each sample, in the case of isotropic materials.

7.4 Test a minimum of ten specimens each in the machine direction and in the transverse direction for each anisotropic test sample.

7.5 Data from specimens which break at some obvious flaw or which break in or at the edges of the grips shall be discarded and additional specimens tested, unless such failures constitute a variable whose effect is being studied.

7.6 Data from specimens which deviate markedly from the mean value of all tests shall be rejected if the deviation of the doubtful value is more than five times the standard deviation from the mean value obtained by excluding the doubtful results.

Nom 6—For certain materials whose properties vary considerably throughout the film or sheeting, as many as 50 specimens cut from random portions of the sheet must be tested if reliable tear resistance data are desired.

8. Conditioning

8.1 *Conditioning*—Condition the test specimens at $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$) and $50 \pm 10\%$ relative humidity for not less than 40 h prior to test in accordance with Procedure A of Practice D618, for those tests where conditioning is required. In cases of disagreement, the tolerances shall be $\pm 1^\circ\text{C}$ ($\pm 1.8^\circ\text{F}$) and $\pm 5\%$ relative humidity.

8.2 *Test Conditions*—Conduct tests in the standard laboratory atmosphere of $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$) and $50 \pm 10\%$ relative humidity, unless otherwise specified in the applicable ASTM material specification. In cases of disagreements, the tolerances shall be $\pm 1^\circ\text{C}$ ($\pm 1.8^\circ\text{F}$) and $\pm 5\%$ relative humidity.

9. Procedure

9.1 An initial jaw separation of 25.4 mm (1 in.) shall be used. The rate of travel of the power activated grip shall be 51-mm (2-in.)/min.

Nom 7—In this test method, resistance to tear is calculated from the maximum load recorded. In testing most plastics, this maximum load is generated at the onset of tearing across the 13-mm (0.5-in.) testing width of the specimen.

9.2 Measure the thickness of the specimen at several points in the notched area to the accuracy limits of the measuring devices specified in 6.2. Record the average thickness in microns (mil).

9.3 Place the specimen in the grips of the testing machine so that the long axis of the enlarged ends of the specimen is in line with the center line of the grip assembly.

TABLE 1 Initial Tear Resistance (Graves Tear) Machine Direction

Material	Values Expressed in Units of Grams-Force				
	Average	S_r^A	S_R^B	r^C	R^D
LDPE—LD 104	314.6	31.98	55.79	89.53	156.2
LLDPE	384.9	7.80	41.73	21.84	116.8
Polystyrene	459.8	98.06	261.6	274.6	732.3
HDPE No. 2	474.0	19.82	55.42	55.51	155.2
Polypropylene	503.9	29.87	77.45	83.64	216.9
HDPE No. 1	570.9	36.35	78.20	101.8	219.0
Polyester	2494.0	6407.9	500.2	1142.0	1678.0

^A S_r —within-laboratory standard deviation for the material stated. It is obtained by pooling the standard deviations of the test results from each laboratory.

$$S_r = \left[\frac{\sum (S_r)^2 + (S_r)^2}{n} \right]^{1/2}$$

^B S_R —between-laboratories standard deviation for the material stated. It is a pooling of the amounts by which the average of the test results for each laboratory deviate from the overall average for that material.

^C r —within-laboratory repeatability limit $= 2.8 \times S_r$

^D R —between-laboratories reproducibility limit $= 2.8 \times S_R$

9.4 After complete rupture of the specimen, the maximum tearing load in newtons (pounds-force), and the maximum extension in mm (in.) shall be recorded.

10. Calculation

10.1 Calculate the mean maximum resistance to tearing, and the maximum extension for all specimens tested in each principal direction of orientation. Record maximum tear resistance expressed in newtons (pounds-force) to three significant figures and maximum extension expressed in mm (in.) to two significant figures.

10.2 Calculate standard deviation.

11. Report

11.1 Report the following information:

11.1.1 Complete identification of the material tested, including type, source, manufacturer's code number, form, principal dimensions, previous history, and orientation of sample with respect to anisotropy, if any.

11.1.2 Average thickness of each test specimen and average thickness of all test specimens.

11.1.3 Type of testing machine used.

11.1.4 Number of specimens tested in each principal direction.

11.1.5 Average value of tear resistance calculated in newtons (pounds-force) and the maximum extension in mm (in.).

11.1.6 Standard deviation from the averaged values obtained for specimens tested in each principal direction.

12. Precision and Bias⁵

12.1 Table 1 and Table 2 are based on a round robin conducted between 1986 and 1990 in accordance with Practice E691, involving seven materials tested by seven laboratories. For each material, all the samples were prepared at one source, and randomized sections of film were sent to each of the laboratories which prepared the test specimens and tested

⁵ Supporting data have been filed at ASTM International Headquarters and may be obtained by requesting Research Report RR-20-1177.



TABLE 2 Initial Tear Resistance (Graves Tear) Transverse Direction

Material	Values Expressed in Units of Grams-Force				
	Average	S_r^A	S_R^B	r^C	R^D
LDPE—LD 104	325.1	15.24	34.63	42.67	96.96
LLDPE	366.6	20.52	28.53	57.45	79.89
HDPE No. 2	411.1	31.70	82.06	88.76	229.8
Polystyrene	468.0	33.94	86.73	95.02	242.8
Polystyrene	481.4	101.7	263.7	294.7	738.2
HDPE No. 1	523.9	46.02	97.75	128.9	273.7
Polyester	2341.0	317.2	443.2	888.1	1241.0

^A S_r = within-laboratory standard deviation for the material stated. It is obtained by pooling the standard deviations of the test results from each laboratory:

$$S_r = \left[\frac{\sum (S_r)^2 + (S_r)^2}{n} \right]^{1/2}$$

^B S_R = between-laboratories standard deviation for the material stated. It is a pooling of the amounts by which the average of the test results for each laboratory deviate from the overall average for that material.

^C r = within-laboratory repeatability limit = $2.8 \times S_r$

^D R = between-laboratories reproducibility limit = $2.8 \times S_R$

them. Each "test result" was the average of ten determinations. Each laboratory obtained two test results for each material.

12.2 Concept of r and R —Warning—The following explanations of r and R (12.2 – 12.2.3) are only intended to present a meaningful way of considering the approximate precision of this test method. The data in Table 1 and Table 2 should not be rigorously applied to acceptance or rejection of material, as those data are specific to the round robin and may not be

representative of other lots, conditions, materials, or laboratories. Users of this test method should apply the principles outlined in Practice E691 to generate data specific to their laboratory and materials, or between specific laboratories. The principles of 12.2 – 12.2.3 would then be valid for such data. If S_r and S_R have been calculated from a large enough body of data and for test results that were the result of testing ten specimens:

12.2.1 Repeatability Limit, r —(Comparing two test results for the same material, obtained by the same operator using the same equipment on the same day.) The two test results should be judged not equivalent if they differ by more than the " r " value for that material.

12.2.2 Reproducibility Limit, R —(Comparing two test results for the same material, obtained by different operators using different equipment in different laboratories.) The two test results should be judged not equivalent if they differ by more than the " R " value for that material.

12.2.3 Any judgment in accordance with 12.2.1 or 12.2.2 would have an approximate 95 % (0.95) probability of being correct.

12.3 There are no recognized standards to estimate bias of this test method.

13. Keywords

13.1 Graves; plastic film; tear; tear initiation; thin sheeting

SUMMARY OF CHANGES

Committee D20 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (D1004 - 09) that may impact the use of this standard. (April 1, 2013)

(1) Updated the conditioning statement in Section 8.

(2) Clarified subsection 1.1 with the addition of subsection 1.1.1 to address normalization of results to film thickness and the deletion of corresponding Note 8.

(3) Updated Note 2, the ISO equivalency statement.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, Tel: (978) 646-2600; http://www.copyright.com/

Anexo 4. Pruebas realizadas en LANUM (Laboratorio de Nuevos materiales)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES (LANUM)
Campus Politécnico "José Rubén Cevallos Ricaurte" • Calle Isabela Católica S/N y Alfredo Mena Caamaño
Ruc: 1760005620001 • Tel: (00593-2) 2976300 Ext: 3000, 3002, 3735
Apartado 17-01-2759 • E-mail: lanum.fim@epn.edu.ec • Quito - Ecuador

**INFORME DE RESULTADOS No. IS-2019-029**

Solicitud de trabajo No. 6219

Quito, 9 de abril de 2019

DATOS DE LA EMPRESA/INSTITUCIÓN SOLICITANTE

Solicitado por: Sr. Felipe Torres

Empresa / Institución: Universidad Internacional SEK

Teléfono: 3974-800 / 0984196953

Dirección: El Calvario S/N y Francisco Compte

E-mail: ftorres@ist17dejulio.edu.ec

Identificación de la(s) muestra(s) (cliente)

HDPE 1500 μm HDPE 1000 μm PVC 1500 μm PVC 1000 μm Descripción de la(s) muestra(s): Geomembranas de polietileno de alta densidad (HDPE) y policloruro de vinilo (PVC) con espesores de 1500 μm y 1000 μm **LABORATORIO**

Fecha de ingreso al laboratorio: 15/02/2019

Identificación de la(s) muestra(s) (código LANUM):

- Resistencia al rasgado ASTM D1004-13:

HDPE 1500 μm : MS-D1004-19-001 a MS-D1004-19-010HDPE 1500 μm : MS-D1004-19-011 a MS-D1004-19-020PVC 1500 μm : MS-1004-19-021 a MS-D1004-19-030PVC 1500 μm : MS-1004-19-031 a MS-D1004-19-040

- Resistencia a tracción ASTM D882-18:

HDPE 1500 μm : MS-D882-19-001 a MS-D882-19-005HDPE 1500 μm : MS-D882-19-006 a MS-D882-19-010HDPE 1500 μm : MS-D882-19-011 a MS-D882-19-015HDPE 1500 μm : MS-D882-19-016 a MS-D882-19-020



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES (LANUM)
 Campus Politécnico "José Rubén Cevallos Ricaurte" • Calle Isabela Católica S/N y Alfredo Mena Caamaño
 Ruc: 1760005620001 • Tel: (00593-2) 2976300 Ext: 3000, 3002, 3795
 Apartado 17-01-2759 • E-mail: lanum.fim@epn.edu.ec • Quito - Ecuador



- Densidad y gravedad específica ASTM D792-13

HDPE 1500 μm : MS-D792-19-001 y MS-D792-19-002
 HDPE 1500 μm : MS-D792-19-003 y MS-D792-19-004
 HDPE 1500 μm : MS-D792-19-005 y MS-D792-19-006
 HDPE 1500 μm : MS-D792-19-007 y MS-D792-19-008

- Microscopia electrónica de barrido (SEM):

HDPE 1500 m: MS-SEM-19-001
 HDPE 1500 μm : MS-SEM-19-002
 HDPE 1500 μm : MS-SEM-19-003
 HDPE 1500 μm : MS-SEM-19-004

Fechas que se realizaron los ensayos:

Rasgado ASTM D1004-13: 07/03/2019 y 08/03/2019
 Tracción ASTM D882-18: 20/03/2019 y 21/03/2019
 Densidad y gravedad específica ASTM D792-13: 29/03/2019
 Microscopia electrónica de barrido (SEM): 03/14/2019

Áreas del laboratorio donde se realizaron los ensayos: área de análisis y área de caracterización mecánica.

Condiciones ambientales corregidas: en la tabla 1 se presentan condiciones ambientales corregidas en las fechas que se realizaron los ensayos.

Tabla 1. Condiciones ambientales corregidas en las fechas que se realizaron los ensayos.

Técnica	Id. Muestra	Fecha	Temperatura (°C)	Humedad (% HR)
Rasgado ASTM D1004-13	HDPE 1500 μm (MS-D1004-19-001 a MS-D1004-19-010)	07/03/2019	21,3	55,4
Rasgado ASTM D1004-13	HDPE 1000 μm (MS-D1004-19-011 a MS-D1004-19-020)	07/03/2019	21,5	50,1
Rasgado ASTM D1004-13	PVC 1500 μm (MS-D1004-19-021 a MS-D1004-19-030)	07/03/2019	21,0	50,8
Rasgado ASTM D1004-13	PVC 1000 μm (MS-D1004-19-031 a MS-D1004-19-040)	08/03/2019	21,4	46,7
Tracción ASTM D882-18	HDPE 1500 μm (MS-D882-19-001 a MS-D882-19-005)	20/03/2019	23,6	53,7
Tracción ASTM D882-18	HDPE 1000 μm (MS-D882-19-001 a MS-D882-19-010)	21/03/2019	23,2	54,4



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES (LANUM)
 Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Isabela Católica S/N y Alfredo Mena Caamaño
 Ruc: 1760005620001 • Tel: (00593-2) 2976300 Ext: 3000, 3002, 3795
 Apartado 17-01-2759 • E-mail: lanum.fim@epn.edu.ec • Quito - Ecuador



Tracción ASTM D882-18	PVC 1500 μm (MS-D882-19-011 a MS-D882-19-015)	21/03/2019	23,4	51,7
Tracción ASTM D882-18	PVC 1000 μm (MS-D882-19-016 a MS-D882-19-020)	21/03/2019	23,6	50,0
Densidad ASTM D792-13	HDPE 1500 μm (MS-D792-19-001 a MS-D792-19-002)	29/03/2019	33,8	58,5
Densidad ASTM D792-13	HDPE 1000 μm (MS-D792-19-003 a MS-D792-19-004)	29/03/2019	22,3	59,4
Densidad ASTM D792-13	PVC 1500 μm (MS-D792-19-005 a MS-D792-19-006)	29/03/2019	22,3	59,0
Densidad ASTM D792-13	PVC 1000 μm (MS-D792-19-007 a MS-D792-19-008)	29/03/2019	22,4	59,0
Microscopía SEM	HDPE 1500 μm : MS-SEM-10-001 HDPE 1000 μm : MS-SEM-19-002 PVC 1500 μm : MS-SEM-19-003 PVC 1000 μm : MS-SEM-19-004	03/04/2019	23,4	53,6

EQUIPOS UTILIZADOS

- Máquina universal de ensayos marca: Tinius Olsen, modelo: H25KS; capacidad máxima 25 KN; precisión utilizada: 0,01 N
- Calibrador de Breiner marca: Mitutoyo, modelo: Absolute Digimatic (12" /300mm); apreciación de 0,01mm
- Micrómetro marca: Mitutoyo, Modelo: M110-25; apreciación de 0,01mm
- Balanza analítica marca: shimadzu, modelo: AUX 220; apreciación de 0,0001g
- Termómetro digital marca: FLUKE, modelo: 52II, con termocupla tipo K; apreciación: 0,1°C
- Termohigrómetro marca ELITECH, modelo RCW-800 wifi; apreciación de 0,1 °C y 0,1%HR
- Microscopio electrónico de barrido marca: ASPEX, modelo: PSEM EXPRESS; rango de detección: 5 mm a 50 nm (dependiendo de la conductividad y preparación de la muestra)

MÉTODOS EMPLEADOS

Ensayo de resistencia al rasgado ASTM D1004-13

Condiciones del ensayo:

- Ítems de ensayo: Al menos 10 probetas
- Separación inicial entre mordazas: 25,4 mm
- Velocidad de ensayo: 51 mm/min
- Condiciones ambientales de ensayo: 23 $\pm$ 2° C; 50 $\pm$ 10% HR



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
 LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES (LANUM)
 Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Isabela Católica S/N y Alfredo Mena Caamaño
 Ruc: 1760005620001 • Tel: (00593-2) 2976300 Ext: 3000, 3002, 3735
 Apartado 17-01-2759 • E-mail: lanum.fim@epn.edu.ec • Quito - Ecuador



Ensayo de resistencia a atracción ASTM D882-18

Condiciones del ensayo:

- Tipo de mordazas: Planas
- Ítems de ensayo: Al menos 5 probetas
- Separación inicial entre mordazas: 50 mm
- Tasa inicial de deformación: 10 mm/mm minuto
- Velocidad de ensayo: 500 mm/min
- Condiciones ambientales de ensayo: 23 +/- 2° C; 50 +/- 10% HR

Ensayo de densidad y gravedad específica ASTM D792-13

Condiciones del ensayo:

- Método: A (agua), para los materiales: PVC 1500 µm y PVC 1000 µm
- Método: B (líquido diferente de agua), para los materiales: HDPE 1500 µm y HDPE 1000 µm
- Medio líquido para inmersión: Agua y Metanol con 99,8% de pureza
- Condiciones de la muestra:
 Masa: 1 a 50g
 Volumen: mayor o igual a 1 cm³
 Espesor: mayor o igual a 1 mm/ g
- Temperatura del medio líquido: 23,0 °C +/- 0,1%

Para el cálculo de la gravedad específica y densidad se utilizan las siguientes expresiones:

$$sp\ gr\ 23/23^{\circ}C = W_a / W_a - W_l \quad \{$$

$$D^{23^{\circ}C} = sp\ gr\ 23/23^{\circ}C \times D\ líquido \quad \{$$

Donde:

Sp gr 23/23°C: Gravedad específica de la muestra

W_a: Masa de la muestra medida en aire, (g)

W_l: Masa de la muestra medida en el medio líquido, (g)

D^{23°C}: Densidad de la muestra, (g/cm³)

D líquido: Densidad del medio líquido a 23°C, Metanol: 0,7880 g/cm³ y Agua: 0,9976 g/cm³

Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)

- Energía del haz de electrones: 10,0 kV y 15,0 kV
- Carga del filamento: 70,0% a 90%
- Emisión de corriente: 80 µA a 120 µA
- Presión de vacío (variable): 0,15 a 0,30 Torr
- Magnificaciones: 100X, 250X, 500X y 1000X



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES (LANUM)
 Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Isabela Católica S/N y Alfredo Mena Caamaño
 Ruc: 1760005620001 • Tel: (00593-2) 2976300 Ext: 3000, 3002, 3795
 Apartado 17-01-2759 • E-mail: lanum.fim@epn.edu.ec • Quito - Ecuador

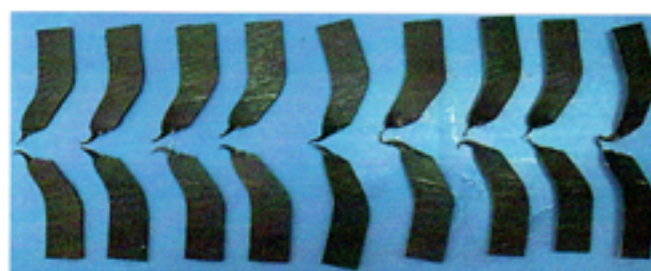


Figura 1. Condiciones finales de las probetas del grupo "HDPE 1500 µm" después de los ensayos de resistencia al rasgado ASTM D1004-13.

Tabla 3. resultados del ensayo de la resistencia al rasgado ASTM D1004-13 para las probetas del grupo "HDPE 1000 µm"

ENSAYO DE RASGADO ASTM D1004-13 (HDPE 1000 µm)			
Muestra No.	Espeesor (mm)	Resistencia al rasgado (N)	Extensión máxima (mm)
1 (MS-D1004-19-011)	1,02	105,83	49,85
2 (MS-D1004-19-012)	1,02	101,67	49,03
3 (MS-D1004-19-013)	1,02	100,83	49,37
4 (MS-D1004-19-014)	1,00	104,17	50,17
5 (MS-D1004-19-015)	1,03	106,67	53,50
6 (MS-D1004-19-016)	1,04	103,33	50,90
7 (MS-D1004-19-017)	1,00	93,33	48,23
8 (MS-D1004-19-018)	1,00	109,17	52,52
9 (MS-D1004-19-019)	1,01	99,17	48,96
10 (MS-D1004-19-020)	1,02	101,67	48,55
Promedio $\bar{x}$	1,0	102,58	50,11
Desviación estándar $S_{(n-1)}$	0,0	4,42	1,13
Coefficiente de variación CV	1,3	4,31	3,46

En la figura 2 se muestran las condiciones de las probetas del grupo "HDPE 1000 µm" después de los ensayos de resistencia al rasgado.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES (LANUM)
 Campus Politécnico "José Rubín Orellana Ricaurte" • Calle Isabela Católica S/N y Alfredo Mena Caamaño
 Ruc: 1760005620001 • Tel: (00593-2) 3976300 Ext: 3000, 3002, 3735
 Apartado 17-01-2759 • E-mail: lanum.fim@epn.edu.ec • Quito - Ecuador

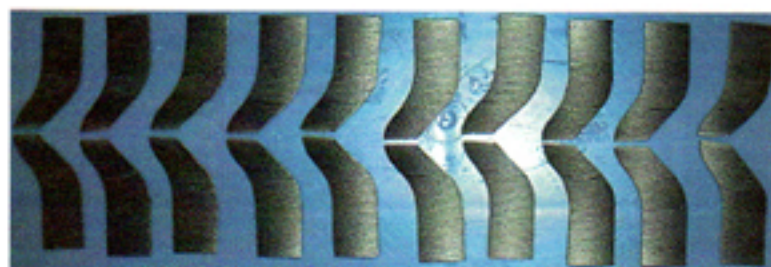


Figura 3. Condiciones finales de las probetas del grupo "PVC 1500 µm" después de los ensayos de resistencia al rasgado ASTM D1004-13.

Tabla 5. resultados del ensayo de la resistencia al rasgado ASTM D1004-13 para las probetas del grupo "PVC 1000 µm"

ENSAYO DE RASGADO ASTM D1004-13 (PVC 1500 µm)			
Muestra No.	Espesor (mm)	Resistencia al rasgado (N)	Extensión máxima (mm)
1 (MS-D1004-19-031)	0,95	45,83	31,71
2 (MS-D1004-19-032)	0,95	50,83	32,64
3 (MS-D1004-19-033)	0,94	55,00	33,18
4 (MS-D1004-19-034)	0,94	53,33	32,95
5 (MS-D1004-19-035)	0,94	58,33	35,31
6 (MS-D1004-19-036)	0,94	56,67	33,46
7 (MS-D1004-19-037)	0,95	53,33	32,81
8 (MS-D1004-19-038)	0,96	71,67	39,17
9 (MS-D1004-19-039)	0,95	59,17	35,77
10 (MS-D1004-19-040)	0,96	54,17	35,01
Promedio $\bar{x}$	0,9	55,83	34,20
Desviación estándar $S_{(n-1)}$	0,0	6,75	2,18
Coefficiente de variación CV	0,8	12,09	6,37

En la figura 4 se muestran las condiciones de las probetas del grupo "PVC 1000 µm" después de los ensayos de resistencia al rasgado.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES (LANUM)
Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Isabela Católica S/N y Alfredo Mena Caamaño
Ruc: 1760005620001 • Tel: (00593-2) 2976300 Ext: 3000, 3002, 3795



En la figura 6 se muestran las condiciones de las probetas del grupo "HDPE 1000 μm " después de los ensayos de resistencia a tracción.



Figura 6. Condiciones finales de las probetas del grupo "HDPE 1000 μm " después de los ensayos de resistencia a tracción ASTM D882-18.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES (LANUM)
Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Isabela Católica S/N y Alfredo Mena Caamaño
Ruc: 1760005620001 • Tel: (00593-2) 2976300 Ext: 3000, 3002, 3795



En la figura 8 se muestran las condiciones de las probetas del grupo "PVC 1000 μm " después de los ensayos de resistencia a tracción.



Figura 8. Condiciones finales de las probetas del grupo "PVC 1000 μm " después de los ensayos de resistencia a tracción ASTM D882-18



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES (LANUM)
 Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Isabela Católica S/N y Alfredo Mena Caamaño
 Ruc: 1760005620001 • Tel: (00593-2) 2976300 Ext: 3000, 3002, 3795



Tabla 12. Resultados de ensayo de densidad y gravedad específica ASTM D792-13 para las probetas del grupo "PVC 1500 μm ".

ENSAYO DE DENSIDAD Y GRAVEDAD ESPECÍFICA A STM D792-13 PVC 1500 μm Medio Líquido: Agua					
Muestra No.	W _a (g)	W _l (g)	TI (°C)	Sp gr 23/23°C	D ^{23°C} (g/cm ³)
1 (MS-D792-19-005)	2,5202	0,7143	23,0	1,3955	1,3922
2 (MS-D792-19-006)	2,5854	0,7553	23,0	1,4127	1,4093
Promedio $\bar{x}$				1,4041	1,4008
Desviación estándar $S_{(n-1)}$				0,0121	0,0121
Coeficiente de variación CV				0,8648	0,8648

Tabla 13. Resultados de ensayo de densidad y gravedad específica ASTM D792-13 para las probetas del grupo "PVC 1000 μm ".

ENSAYO DE DENSIDAD Y GRAVEDAD ESPECÍFICA A STM D792-13 PVC 1000 μm Medio Líquido: Agua					
Muestra No.	W _a (g)	W _l (g)	TI (°C)	Sp gr 23/23°C	D ^{23°C} (g/cm ³)
1 (MS-D792-19-007)	1,8857	0,5951	23,0	1,4611	1,4576
2 (MS-D792-19-008)	1,7233	0,5433	23,0	1,4604	1,4569
Promedio $\bar{x}$				1,4608	1,4573
Desviación estándar $S_{(n-1)}$				0,0005	0,0005
Coeficiente de variación CV				0,0329	0,0329



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES (LANUM)
Campus Politécnico "José Rubén Orrellana Ricaurte" • Calle Isabela Católica S/N y Alfredo Mena Caamaño
Ruc: 1760005620001 • Tel: (00593-2) 2976300 Ext: 3000, 3002, 3795



En la figura 11 se muestran las microfografías de la muestra "PVC 1500 μm " (MI-SEM-19-003)

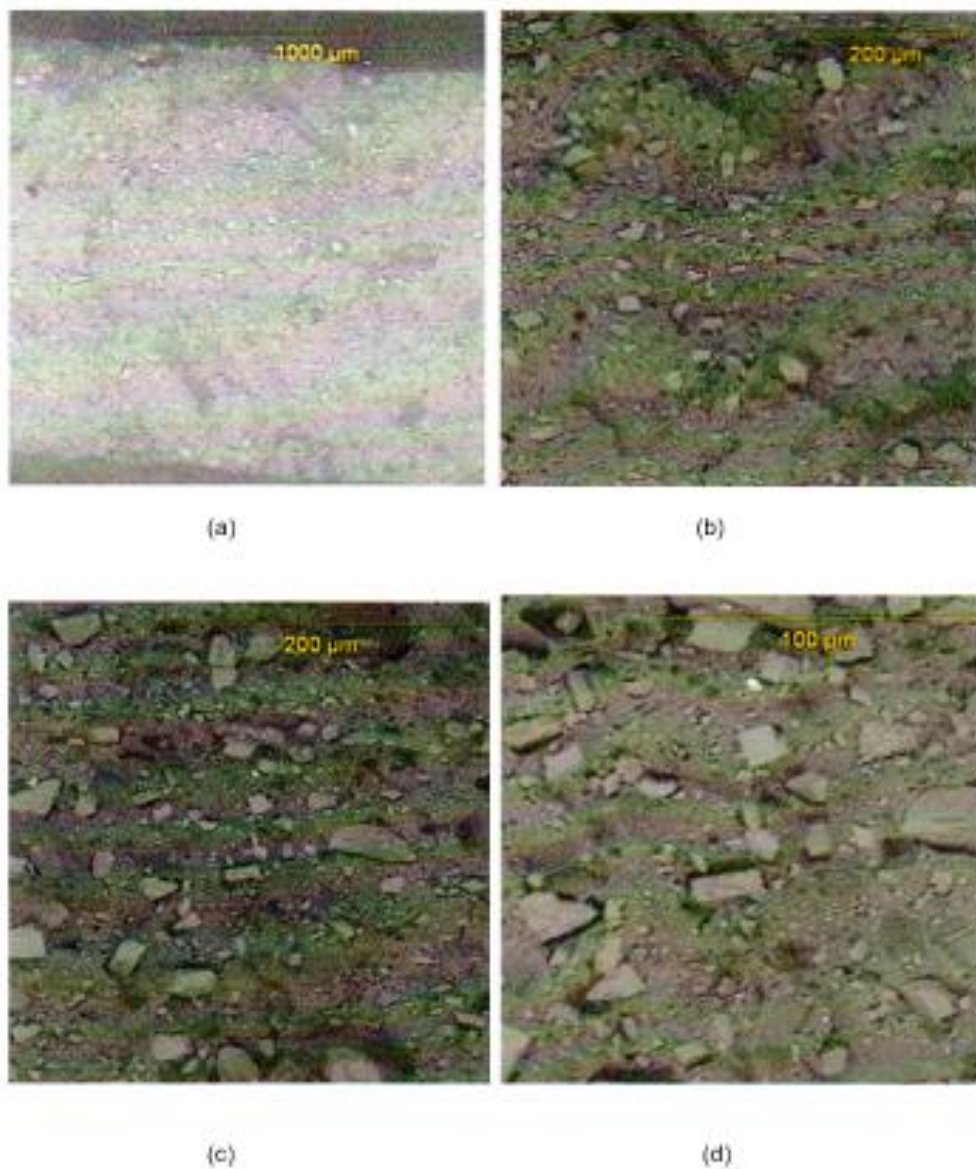


Figura 11. "PVC 1500 μm " (MI-SEM-19-002) (a) 100x, (b) 250x, (c) 500x y (d) 1000x.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES (LANUM)
Campus Politécnico "José Rubén Cevallos Rivas" • Calle Isabela Católica S/N y Alfredo Mena Casmayo
Ruc: 1760005620001 • Tel: (00593-2) 2976300 Ext: 3000, 3002, 3795



En la figura 12 se muestran las micrografías de la muestra "PVC 1000 μm " (MI-SEM-19-004)

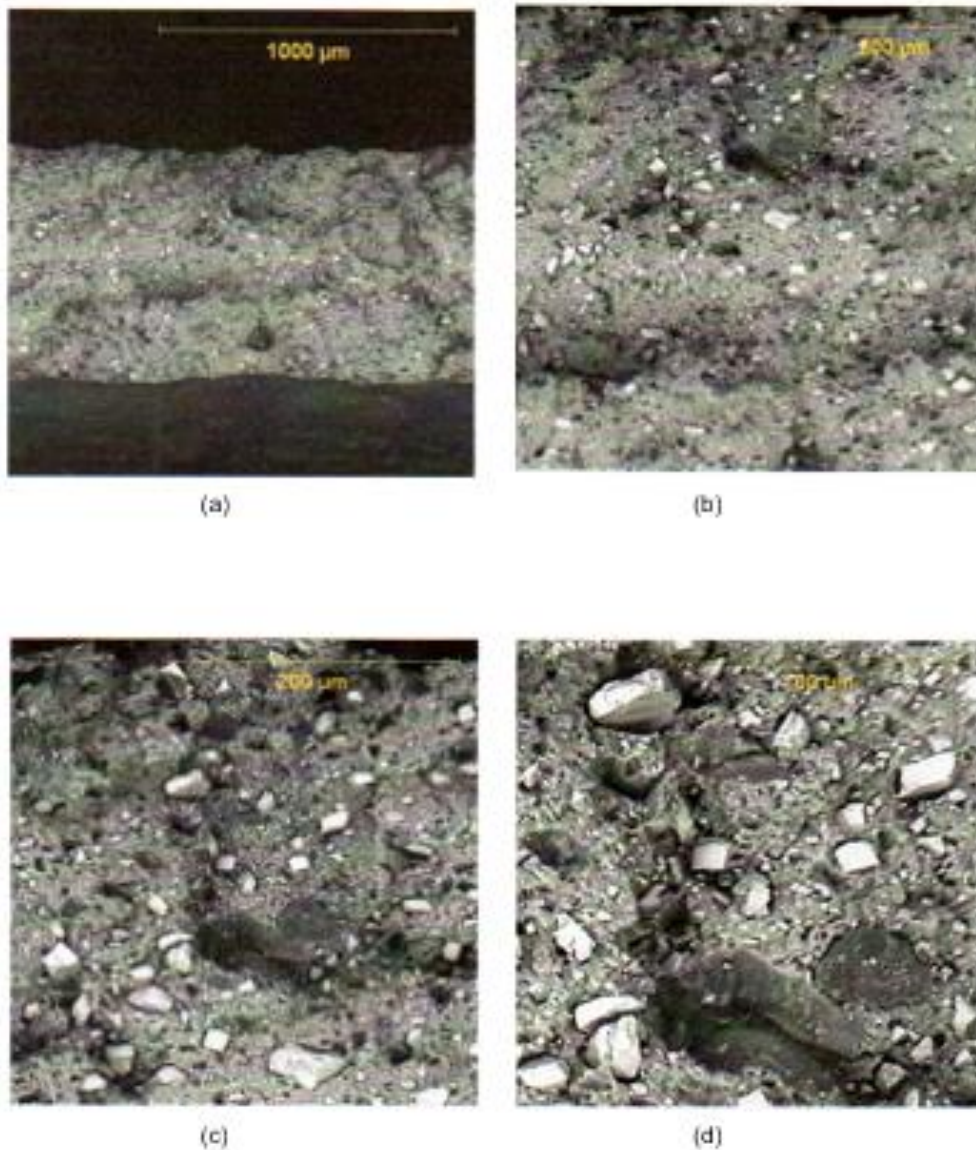


Figura 12. "PVC 1000 μm " (MI-SEM-19-002) (a) 100x, (b) 250x, (c) 500x y (d) 1000x.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES (LANUM)
Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ríos" • Calle Isabela Católica S/N y Alfredo Mena Caamaño
Ruc: 3760005620001 • Tel: (00593-2) 2976300 Ext: 3000, 3002, 3795



Adjunto a este informe se entrega grabado en un CD todos los respaldos electrónicos, fotografías de los ensayos realizados, así como también las micrografías adquiridas por SEM.

"El cliente puede hacer uso académico de los resultados presentados en este informe, así como de los respaldos entregados en formato electrónico para su tratamiento"-

**NOTA: ESTOS RESULTADOS ESTÁN RELACIONADOS ÚNICAMENTE A LA(S) MUESTRA(S)
SOMETIDA(S) A ENSAYO**