



# FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO

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

Ing. Felipe Santiago Torres Andrade

Director: Ing. Javier Martínez , PhD.

Codirector: Ing. Ricardo Narváez, PhD.

Quito, 2019

# ANTECEDENTES, PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

## Antecedentes:

El término "membrana"	Buitrón (2017)	Chacón (2012)
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.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicaciones de membranas en túneles, específicamente la membrana termoplástica prefabricada de PVC.</li> <li>• permite la impermeabilización del suelo en túneles, siendo de gran importancia en aquellos suelos con una importante humedad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geo materiales en el reforzamiento de los suelos, a fin de absorber los esfuerzos de tracción.</li> <li>• analizando el impacto de geo materiales, específicamente los geo textiles, geo membranas y geo mallas, así como las tiras metálicas.</li> </ul>

## Planteamiento del problema:

**Planteamiento del Problema**

El problema surge 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.

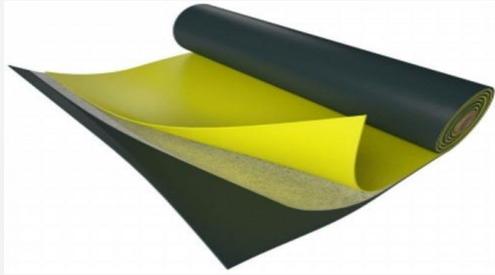
## Justificación:

**Planteamiento 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, 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.

# OBJETIVOS

3



## 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.

**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

# MÉTODO

- Se selecciona el tipo de membrana, sus propiedades mecánicas, y térmicas para realizar su caracterización y estudio.
- Se obtienen diferentes valores para cada una de las variables consideradas en esta experimentación, 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] .
- Se caracteriza las membranas mediante las normativas ASTM para cada ensayo mecánico
- Comparar los resultados obtenidos con la pieza existente.

# MÉTODO

- Materiales

Los materiales a utilizar para las probetas

- Membrana HDPE 1000
- Membrana HDPE 1500

- Membrana PVC 1000
- Membrana PVC 1500

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

# MÉTODO

- Equipos

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



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



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



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



Balanza analítica marca: shimadzu (EPN, 2015).



Termómetro digital marca: FLUKE, modelo: 5211 (EPN, 2015).



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



- Principio de medición



*Ensayo de densidad en geo membranas (EPN, 2015)*

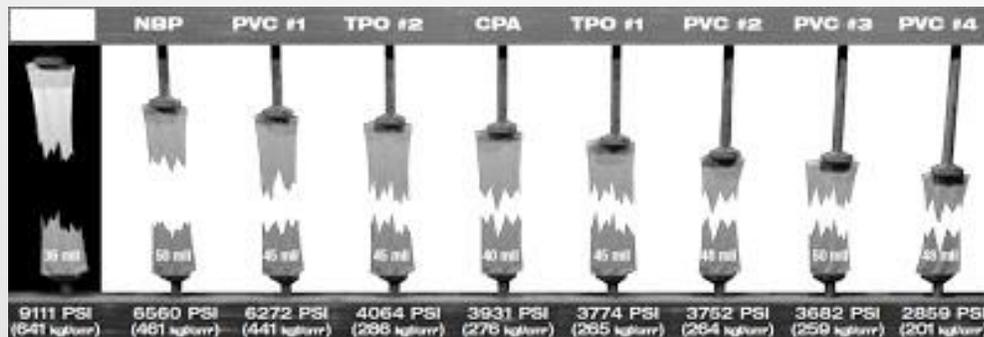
:

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

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

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

- Resistencia a la Tracción (Tensión) ASTM D882-18

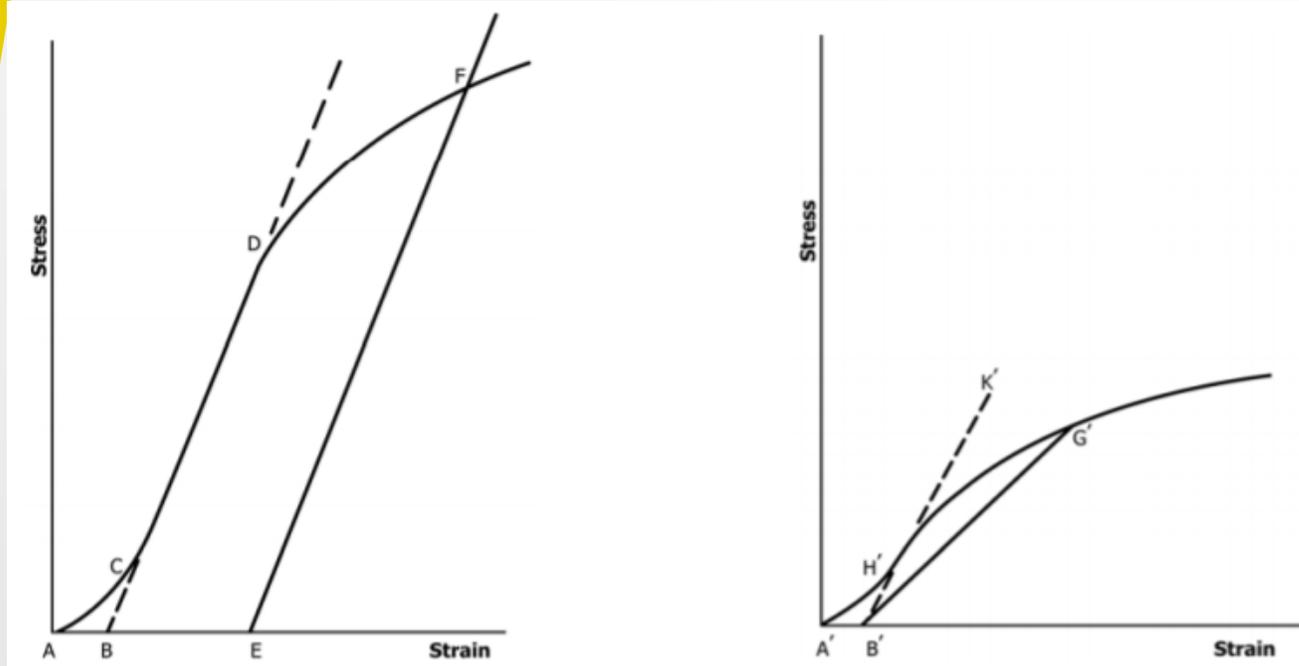


*Ensayo de tracción en geo membranas. Realizado bajo la norma ASTM D882. (EPN, 2015).*

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

- Probetas



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

- Resistencia al Rasgado ASTM D1004-13.

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

# 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	1,5 mm	
	Ficha técnica (Plastiazuary, 2017)	Ficha Tecnica (Plastiazuary,2017)	
	ASTM 412	ASTM 412	
Ensayos Mecánicos	Resistencia a la tracción Longitudinal y Transversal	Alargamiento a la rotura	DENSIDAD Y GRAVEDAD ESPECIFICA
	ASTM D882	ASTM D 882	ASTM D792
	Evaluación bajo tensión de geomembranas (Lavoie, 2013)	Determinación de la Resistencia a la Tracción de Geotextiles (Apas, 2010)	Información de geomembranas de PVC Y HDPE (Portaluppi, 2014)
	Ficha técnica (Plastiazuary, 2017)	Ficha técnica (Plastiazuary, 2017)	Ficha técnica (Plastiazuary, 2017)
	Normativa sobre uso de ensayos en geosintéticos (Costa, 2008)	Normativa sobre uso de ensayos en geosintéticos (Costa, 2008)	Normativa sobre uso de ensayos en geosintéticos (Costa, 2008)
Ensayos Térmicos		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 (Huahuacondori, 2014)	

# MÉTODO

- Simulación  
Formulación del método.

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

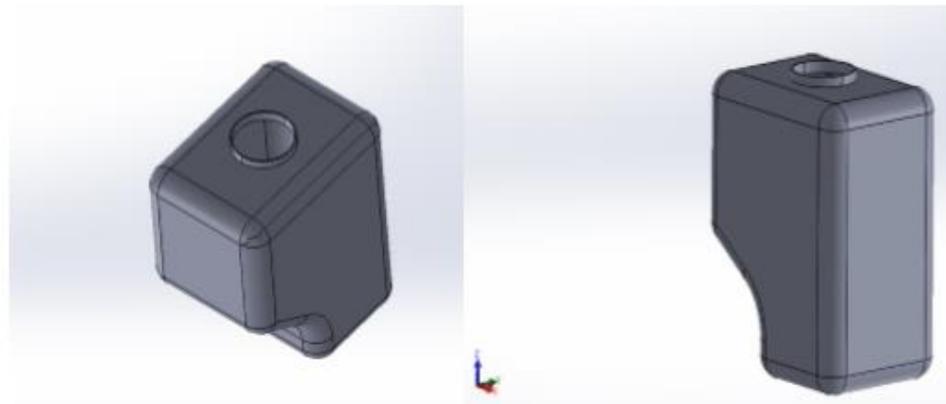
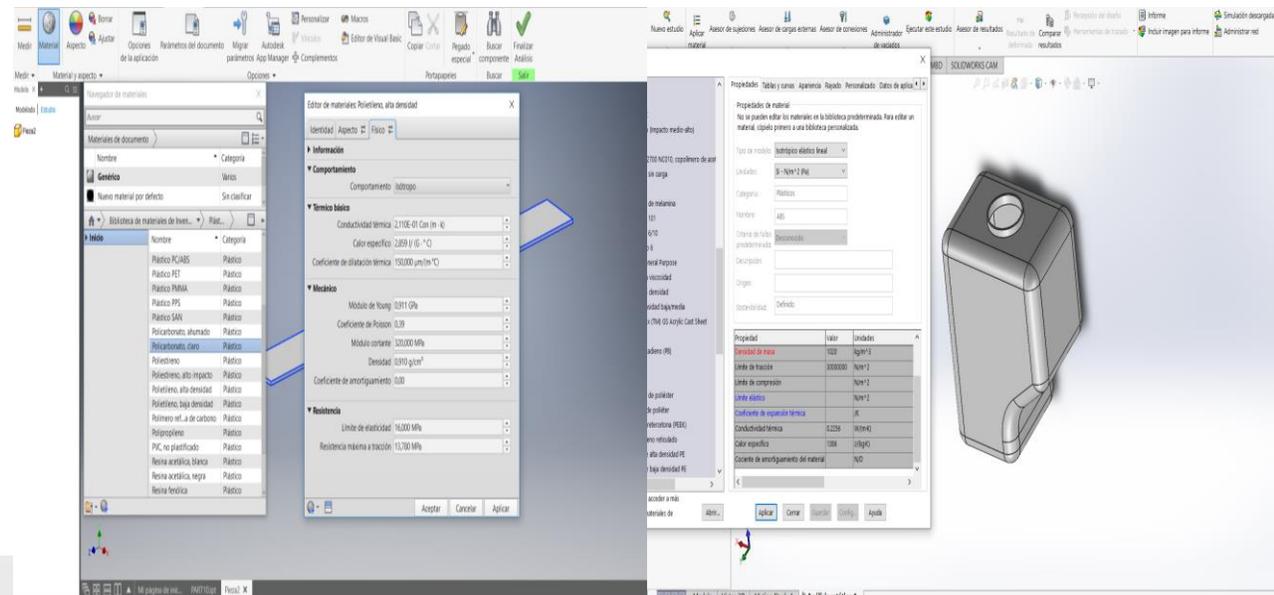


Figura 15. CAD Tanque limpia parabrisas. Fuente: Autor.

Tabla 17 Propiedades de material 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)



Creación de nuevo material, Fuente: Autor

# MÉTODO

- Mallado

Tabla 18 Rangos de mallado

Rango	Valor
1	Muy malo
0.9	Malo
0.75	pobre
0.5	Razonable
0.25	Bueno
0	Excelente

Fuente: (Ansys,2018)

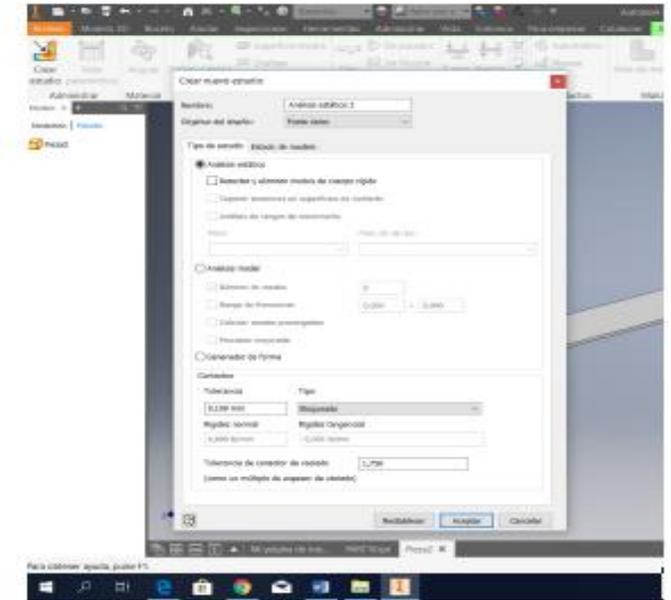


Figura 17. Creación de nuevo estudio, Fuente: Autor

- Análisis.

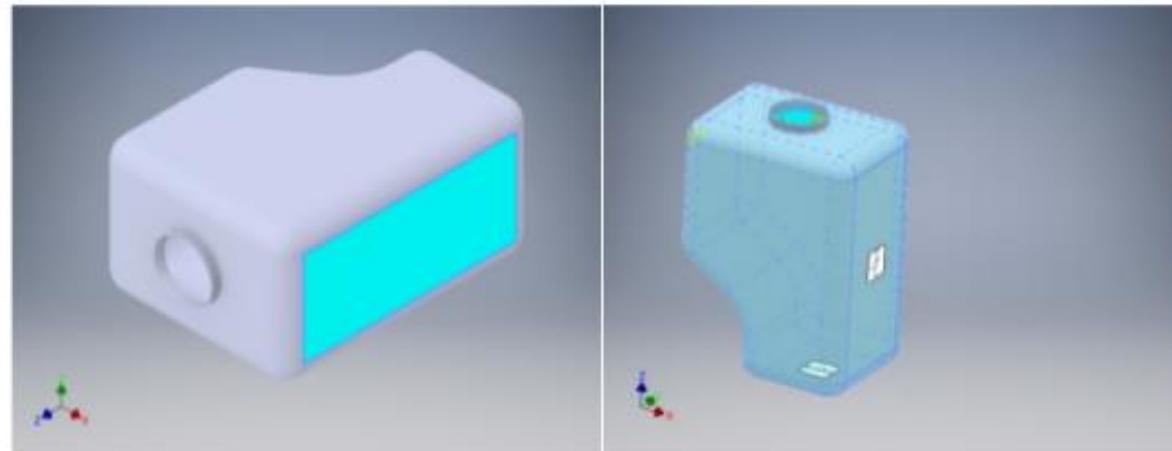


Figura 18. Creación de nuevo estudio. Asignación de cargas, Fuerzas, Fuente: Autor.

# RESULTADOS

- Resultados de pruebas Geomembrana HDPE 1500

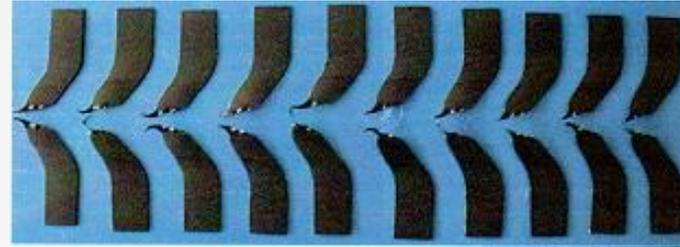


Figura. Condiciones finales de las probetas del grupo “HDPE 1500  $\mu\text{m}$ ” después de los ensayos de resistencia a tracción ASTM D882-18 Fuente:(EPN,2019).

- Resultados de pruebas Geomembrana HDPE 1000

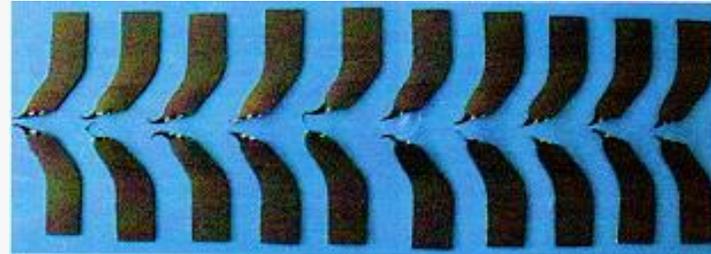


Figura. Condiciones finales de las probetas del grupo “HDPE 1000  $\mu\text{m}$ ” después de los ensayos de resistencia al rasgado ASTM D1004-13, Fuente:(EPN,2019).

- Resultados de pruebas Geomembrana PVC 1500

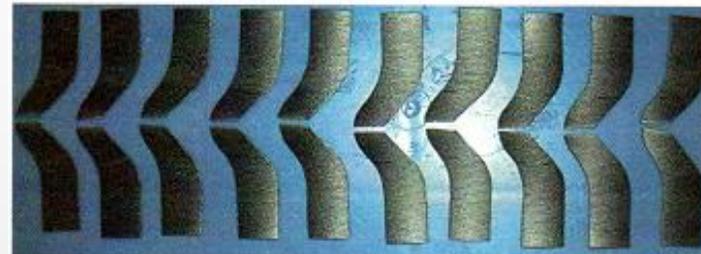


Figura. Condiciones finales de las probetas del grupo “PVC 1500  $\mu\text{m}$ ” después de los ensayos de resistencia al rasgado ASTM D1004-13 . Fuente:(EPN,2019).

- Resultados de pruebas Geomembrana PVC 1000

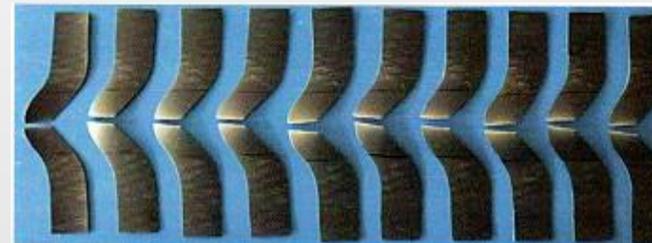
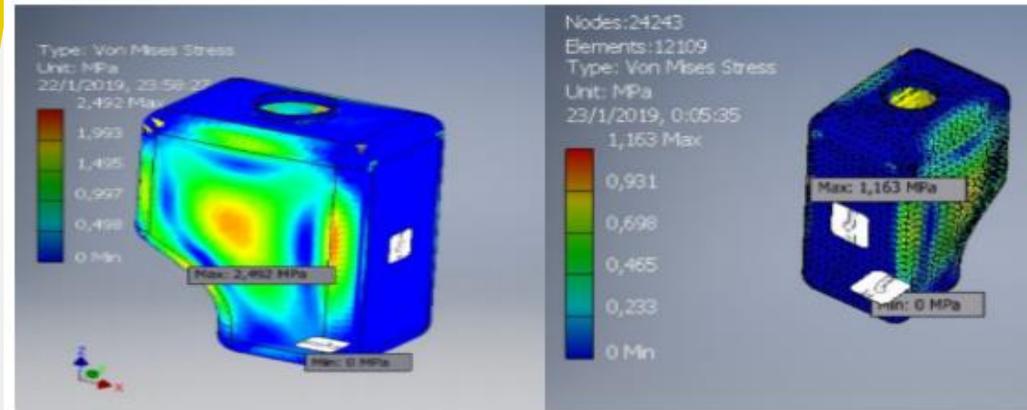


Figura. Condiciones finales de las probetas del grupo “PVC 1000  $\mu\text{m}$ ” después de los ensayos de resistencia al rasgado ASTM D1004-13 Fuente:(EPN,2019).

# RESULTADOS

## Resultados simulación

- Esfuerzos principales

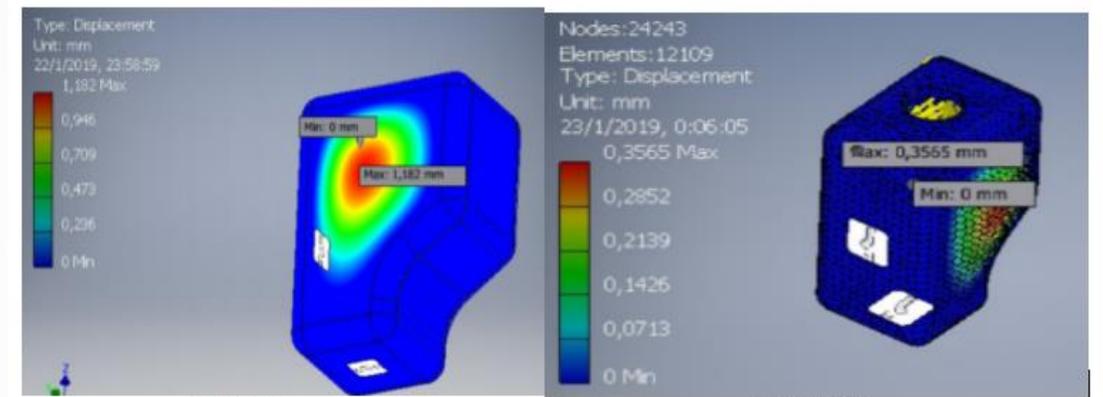


a) ABS 1 mm

b) ABS 1.5 mm

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

- Desplazamientos

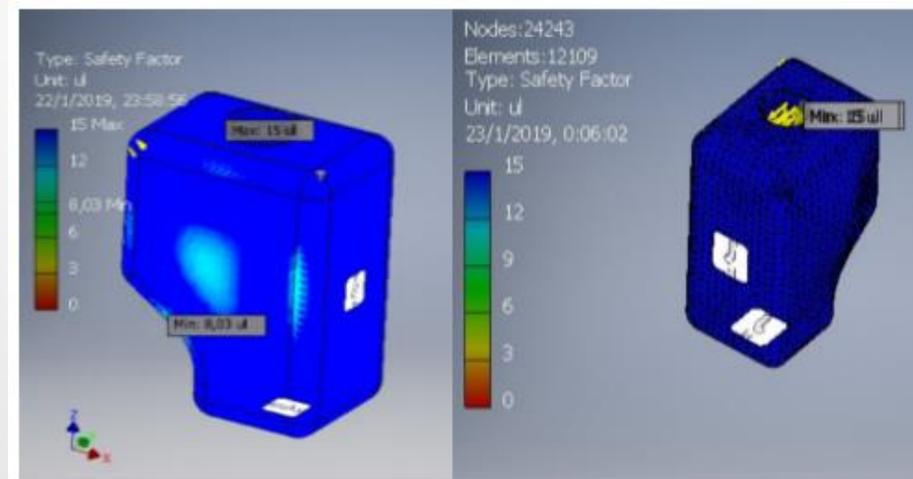


a) ABS 1mm

b) ABS 1.5 mm

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

- Factor de seguridad



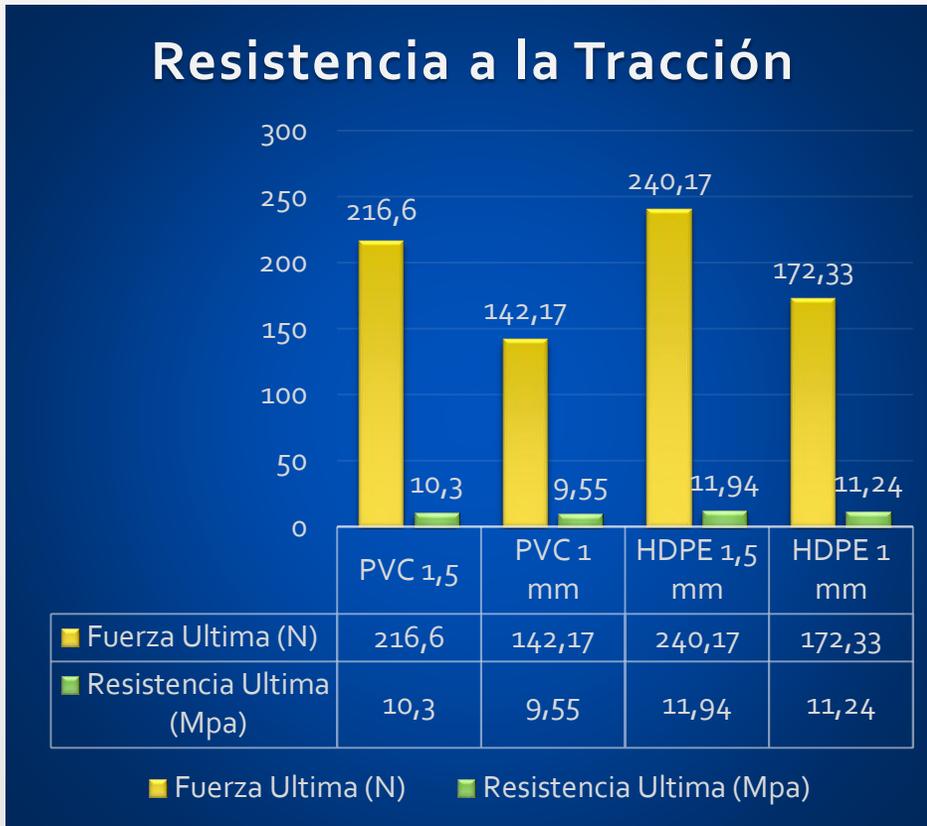
a)

b)

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

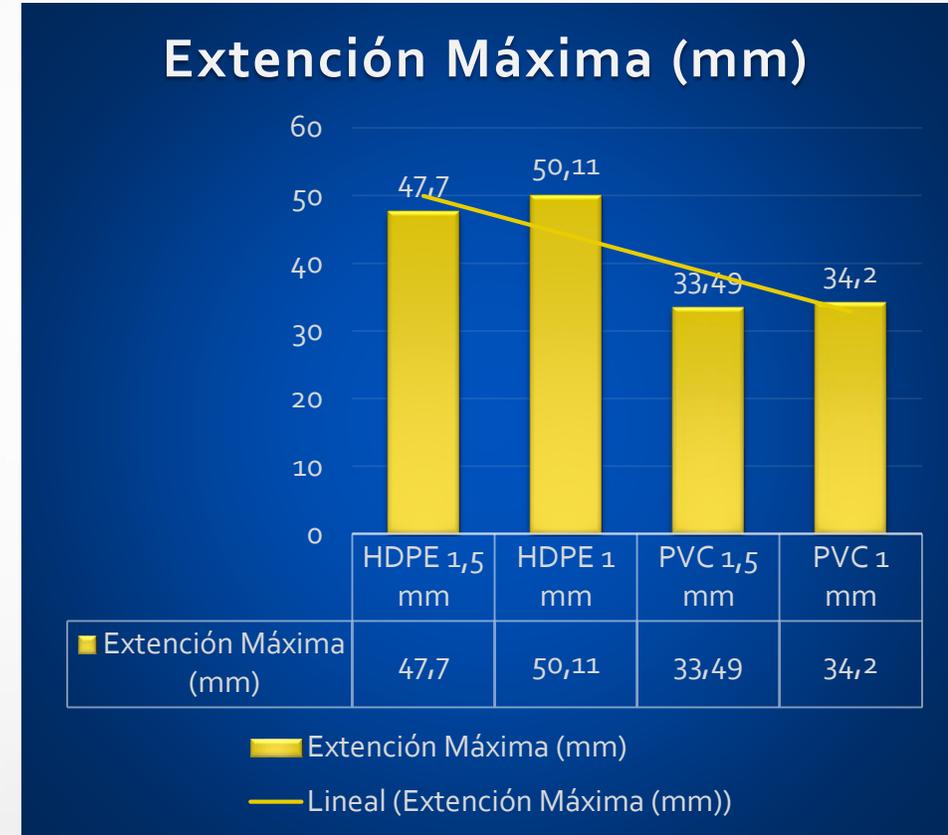
# RESULTADOS

- Resistencia a la Tracción



Resultados Resistencia a la tracción, Fuente: Autor

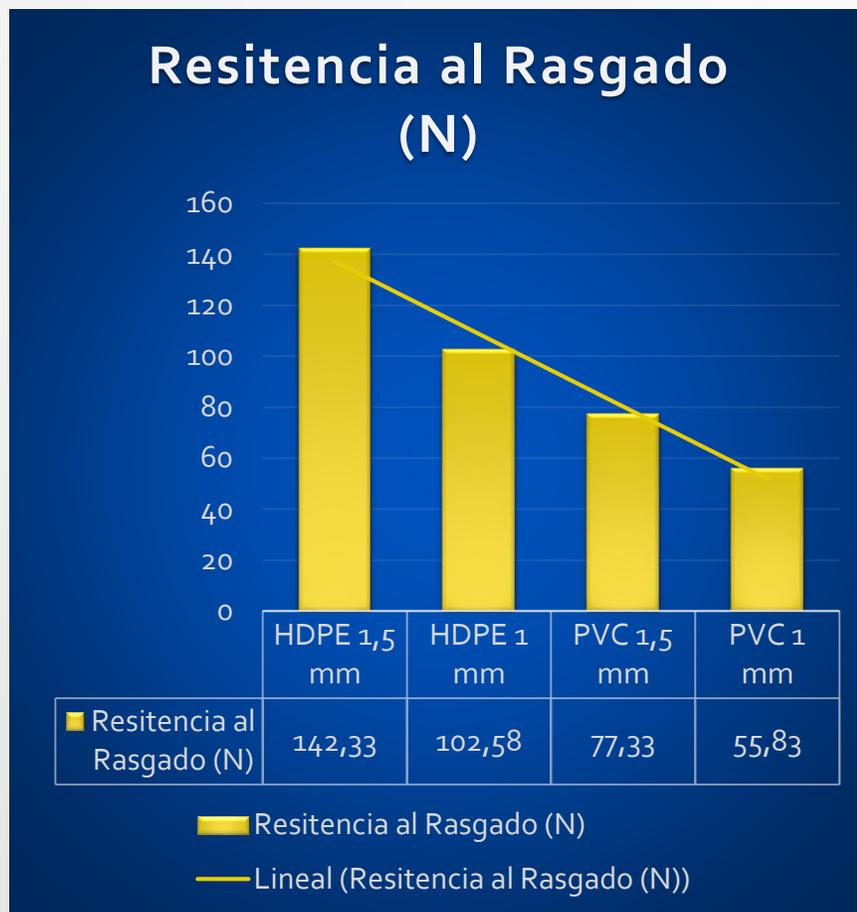
- Extensión Máxima



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

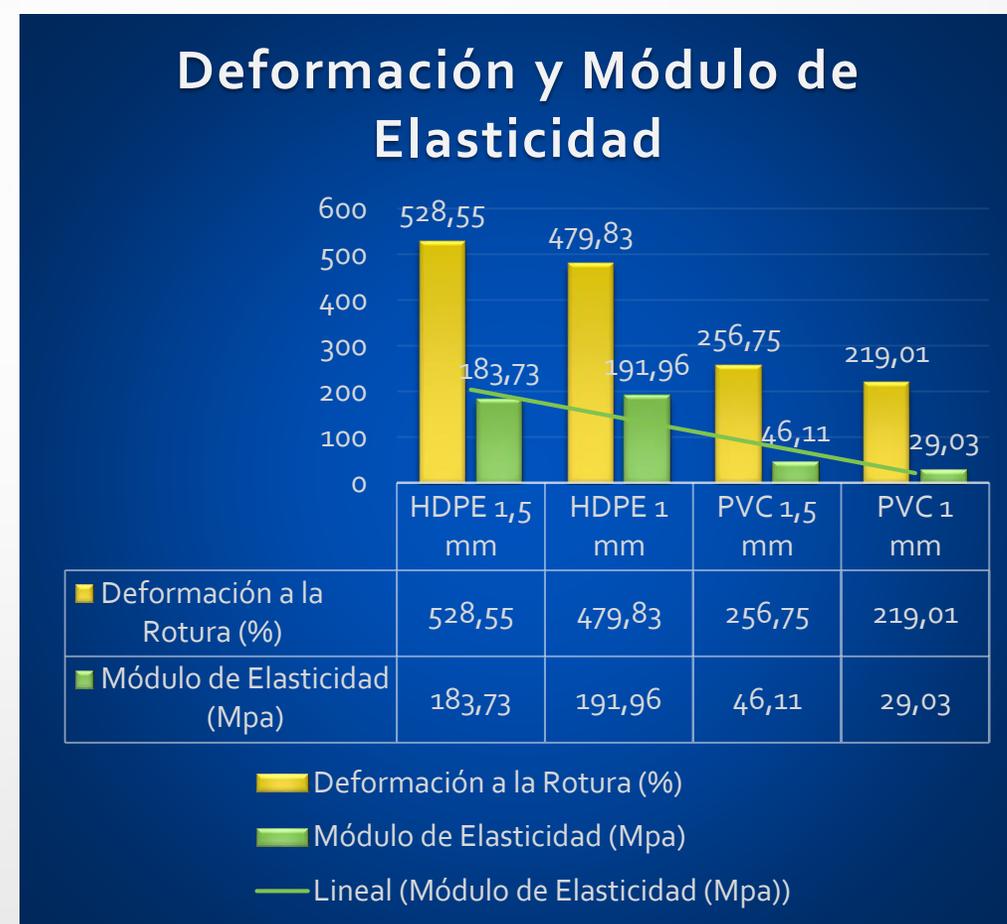
# RESULTADOS

- Resistencia al Rasgado



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

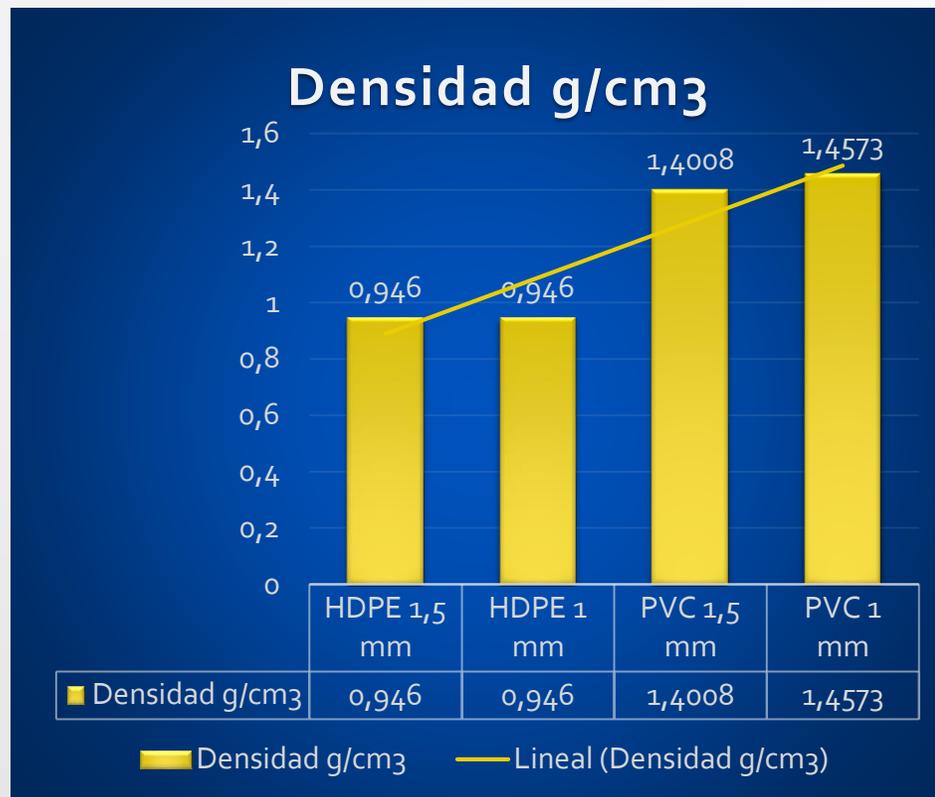
- Deformación y módulo de elasticidad



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

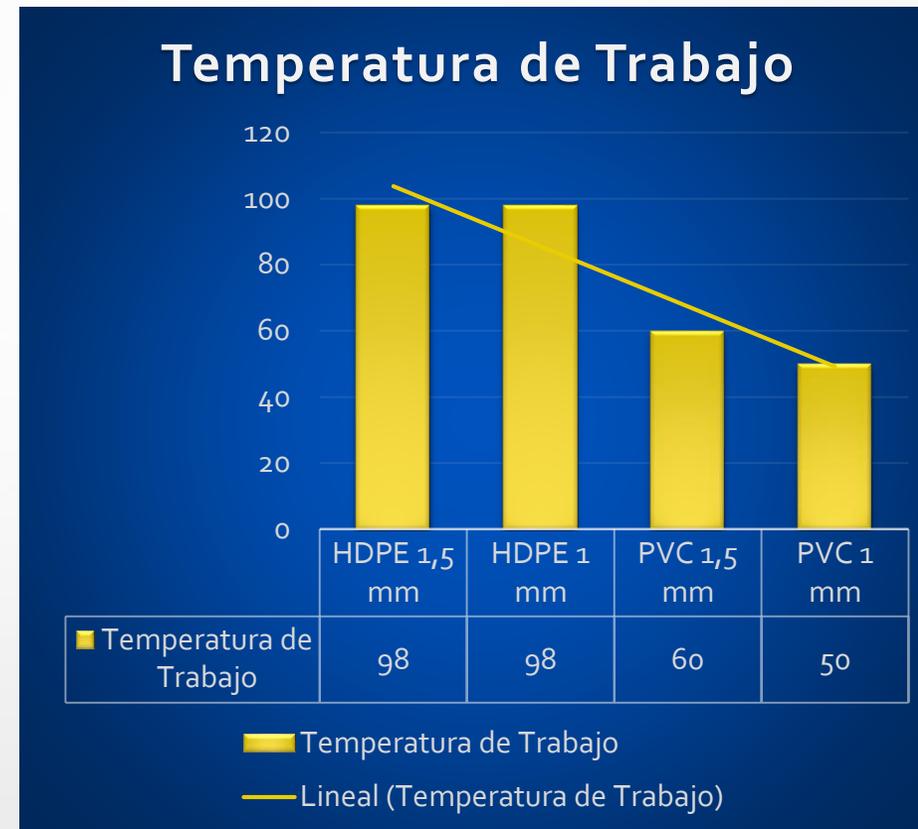
# RESULTADOS

- Densidad



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

- Temperatura de Trabajo



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

# RESULTADOS

- Diseño :

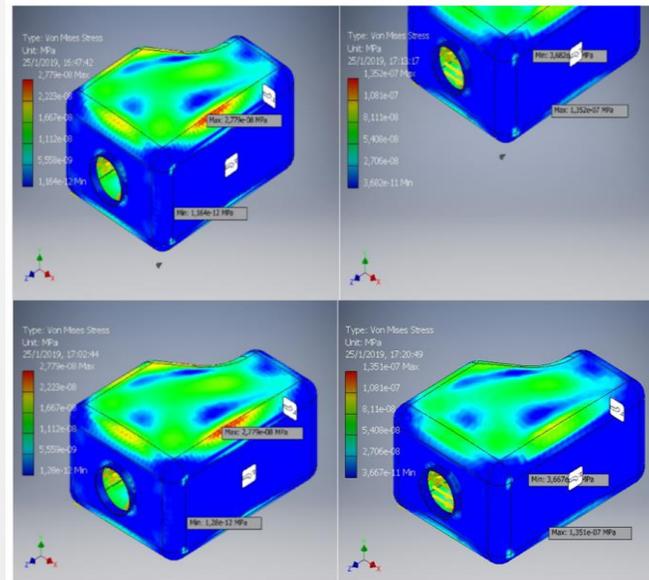


Figura. Resultados Tensión máxima membrana polimérica a) PVC 1mm, b) PVC 1.5mm, c) HDPE 1.5 mm y d) HDPE 1 mm

Figura. 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

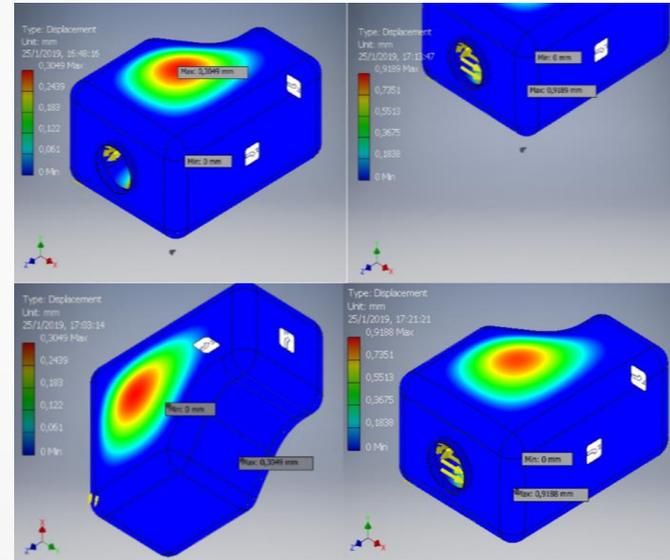
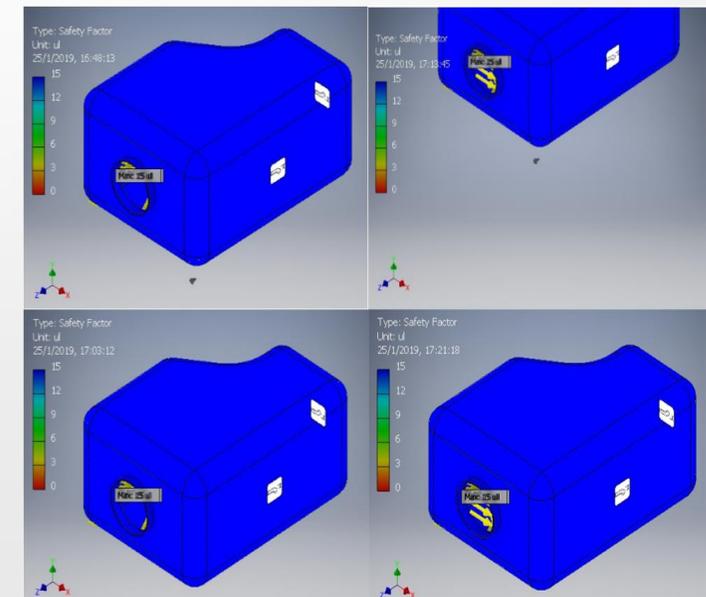


Figura 38. Resultados de factor de seguridad en membrana polimérica a) PVC 1mm, b) PVC 1.5mm, c) HDPE 1.5 mm y d) HDPE 1 mm



- Valores recomendados Geo membranas :

Tabla 41 Valores recomendados para la supervivencia de las geo membranas

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)

# 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.
- 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.
- 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

# RECOMENDACIONES

- Para optimizar el tiempo de modelado de las piezas de estudio mediante ingeniería inversa se recomienda disponer de un escáner con una resolución de al menos 0.1 mm para obtener una gran cantidad de nube de puntos que permitan generar el modelo rápidamente.
- 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

**GRACIAS UISEK**

