



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE-L

CARRERA DE INGENIERÍA PETROQUÍMICA

**DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO CON BASE EN LOS POLÍMEROS
POLIDIMETILSILOXANO Y POLITETRAFLUORURO DE ETILENO PARA SU USO EN
RECUBRIMIENTOS DE PRÓTESIS HUMANAS**

AUTORA: RITHA ISABEL, CHICAIZA SALAZAR

DIRECTOR: ING. CATERINE ISABEL, DONOSO QUIMBITA MSc.





INTRODUCCIÓN

SECCIÓN EXPERIMENTAL

ANÁLISIS DE RESULTADOS

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

INTRODUCCIÓN

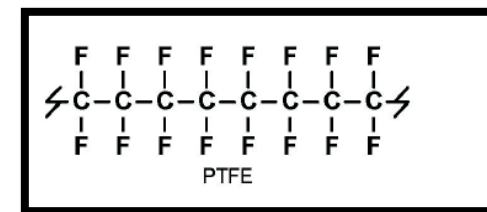
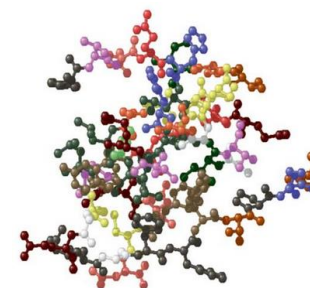
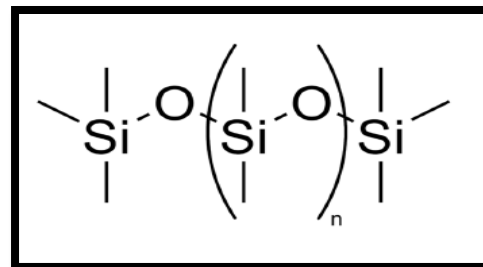
SECCIÓN EXPERIMENTAL

ANÁLISIS DE RESULTADOS

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Introducción

Parte de la sociedad a sufrido accidente los que deja como secuela la amputación de extremidades posteriormente remplazadas por extremidades protésicas.



OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar un material compuesto con base en los polímeros polidimetilsiloxano (PDMS)/Politetrafluoruro de etileno (PTFE) para su uso en recubrimientos de prótesis humanas

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

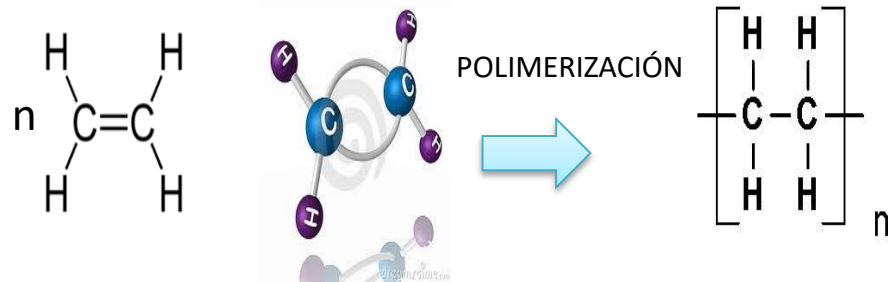
- Identificar una combinación de dos factores: factor 1 (proporción másica de la capa principal) y factor 2 (proporción másica del material compuesto) que permita obtener las propiedades físicas y mecánicas requeridas para prótesis humanas.
- Desarrollar una metodología para elaborar láminas homogéneas del material compuesto que garantice la repetibilidad de los ensayos mecánicos de acuerdo a las especificaciones de la normativa ASTM – D638 “Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics”.

OBJETIVOS

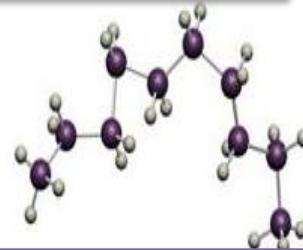
- Evaluar la influencia de la proporción másica de la capa principal (PDMS: TEOS:DBTL) y la proporción másica del material compuesto (PDMS:PTFE) en las propiedades de resistencia a la tracción, solubilidad y permeabilidad del material compuesto mediante ensayos mecánicos y físicos respectivamente.
- Determinar la factibilidad de elaborar recubrimientos para prótesis humanas mediante un estudio económico del producto obtenido.

POLIMEROS

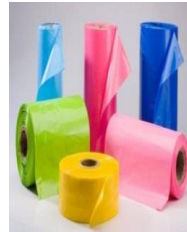
Del griego Polys (muchos) + meros (parte)



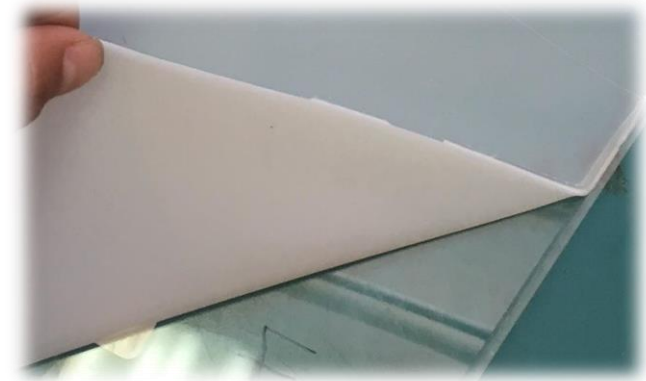
Método químico



Reticulación



Material compuesto





INTRODUCCIÓN

SECCIÓN EXPERIMENTAL

ANÁLISIS DE RESULTADOS

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Diseño experimental

niveles de las variables independientes

FACTORES	NIVELES		
	Alto	Medio	Bajo
Variable A			
Matriz PDMS/TEOS/DBTL	33:1:0.5	25:1:0.5	10:1:0.5
proporción másica PDMS			
Variable B			
Compuesto PTFE/PDMS	1:9	1:1	2:3
Proporción másica PTFE			

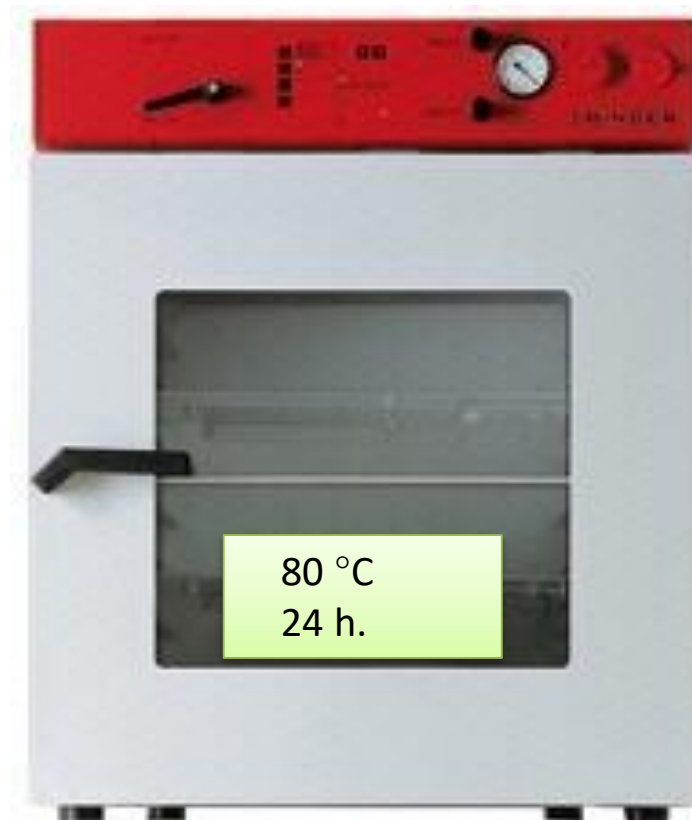
Combinación del diseño experimental.

N° Experimento	Variable A	Variable B
1	33:1:0.5	1:9
2		1:1
3		2:3
4	25:1:0.5	1:9
5		1:1
6		2:3
7	10:1:05	1:9
8		1:1
9		2:3

Acondicionamiento de la materia prima.



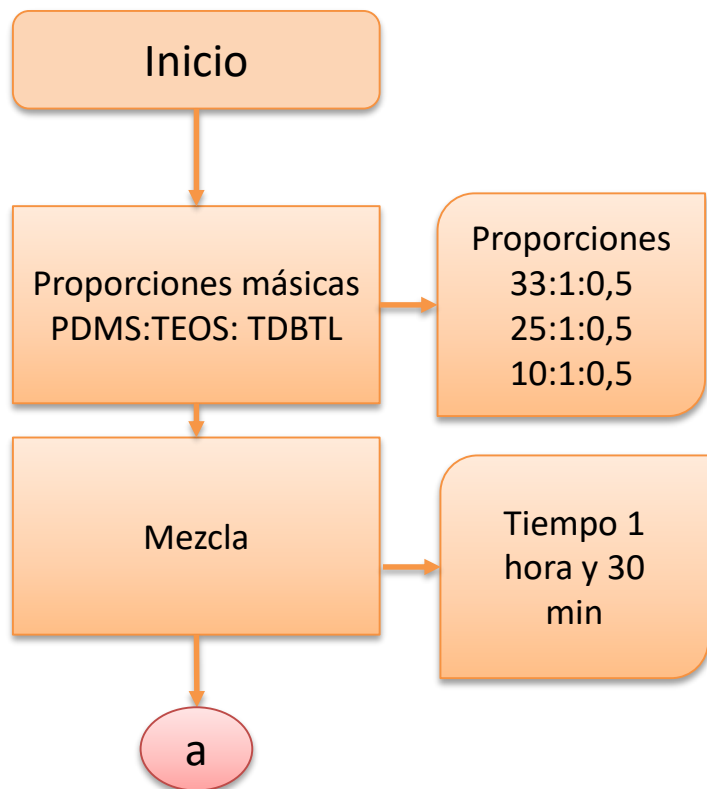
PTFE



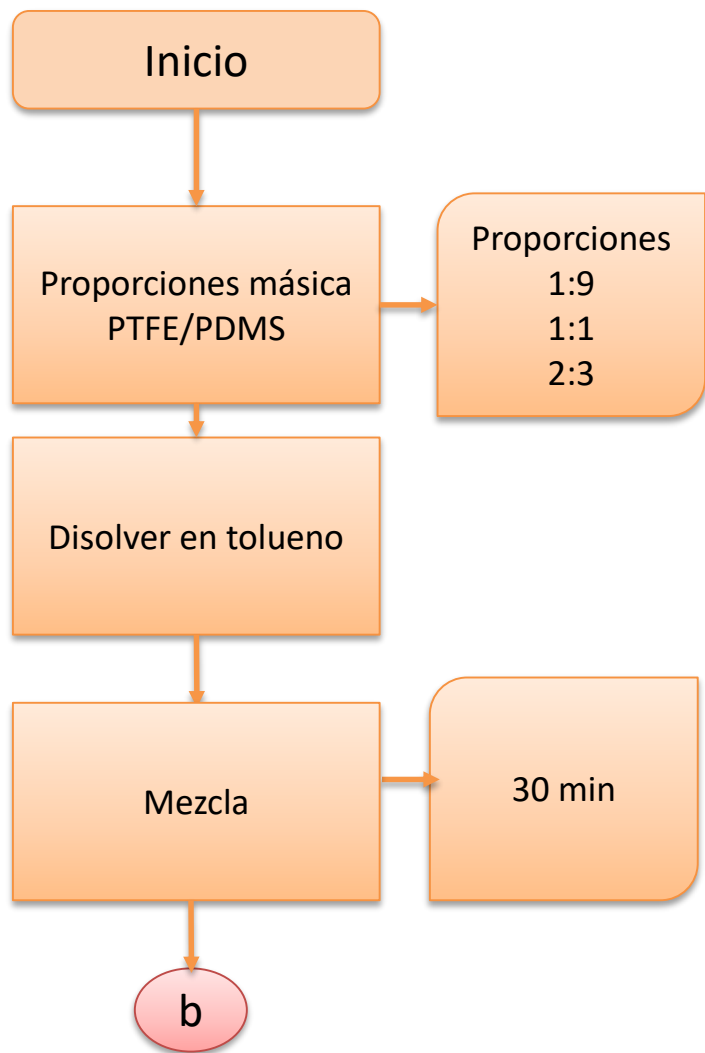
80 °C
24 h.



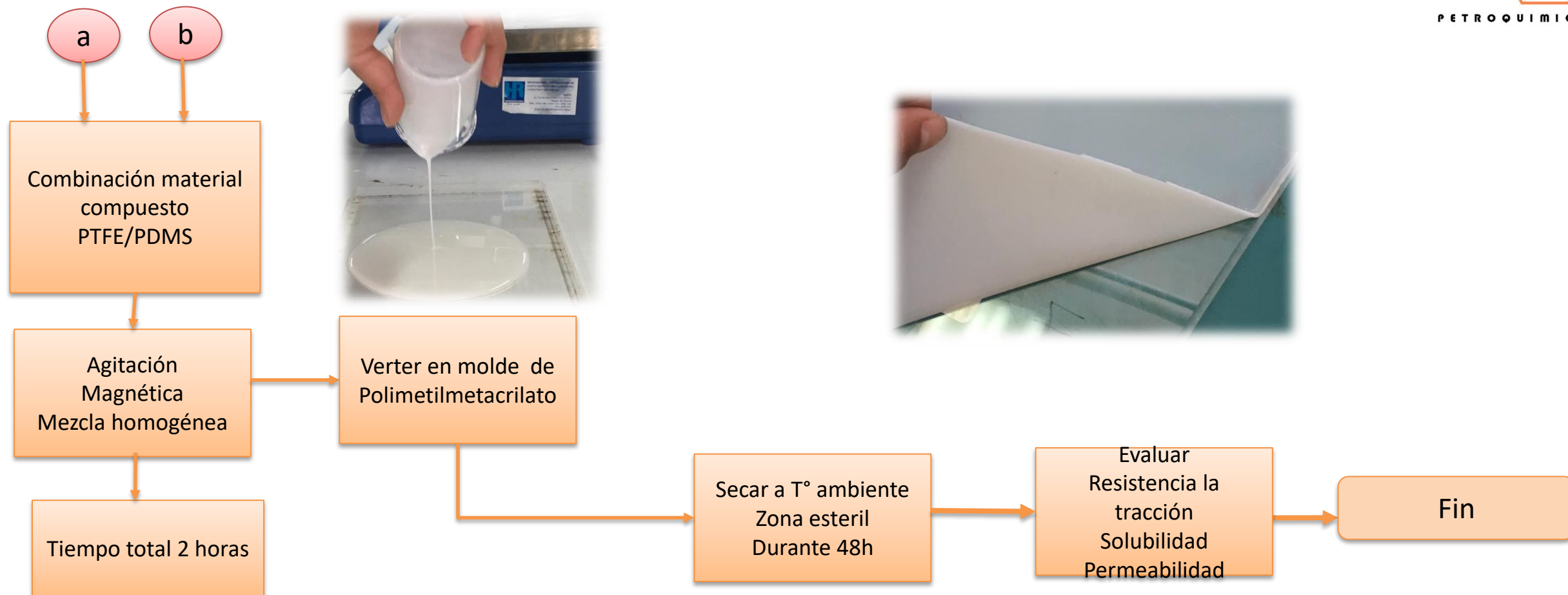
Desarrollo de la capa principal PDMS:TEOS: DBTL.



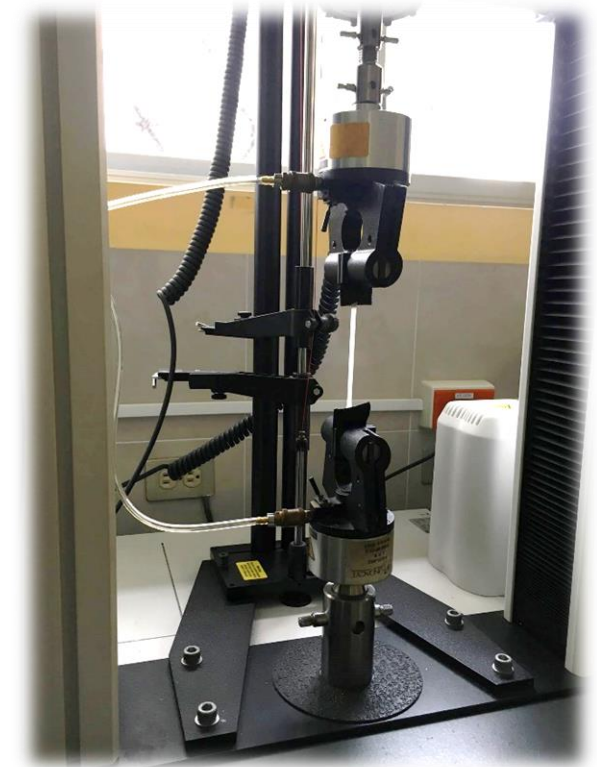
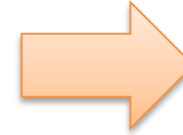
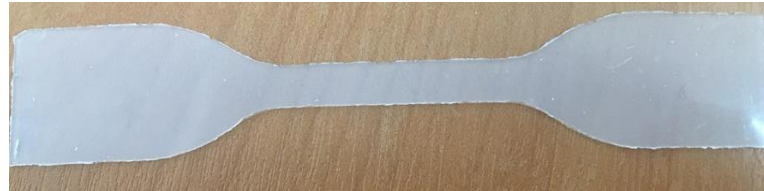
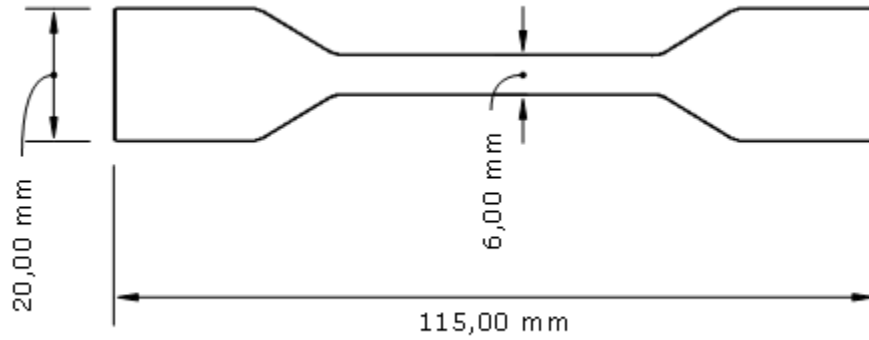
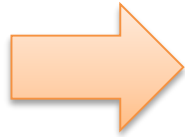
Desarrollo de la capa de refuerzo PTFE



Desarrollo del material compuesto.



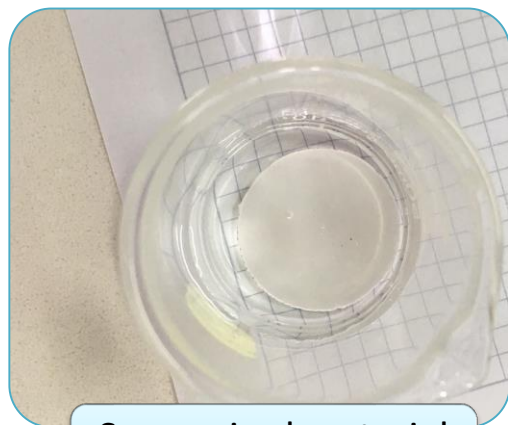
Ensayo de tracción



Troquelación del material compuesto

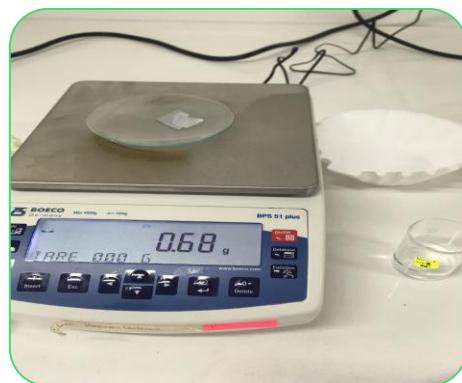
Cálculos de rendimiento de entrecruzamiento mediante pruebas de solubilidad

- Agua
 - Etanol
- Durante 24 horas



Sumergir el material compuesto en el disolvente

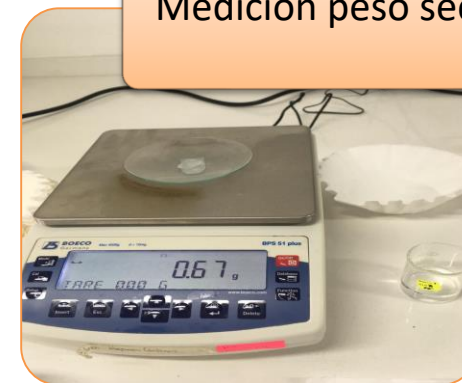
Peso húmedo



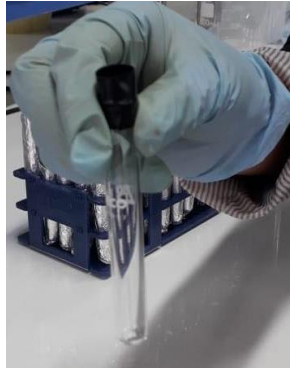
secado



Medición peso seco



Permeabilidad al vapor de agua



Sellado



Forrado



22.6 °C



INTRODUCCIÓN

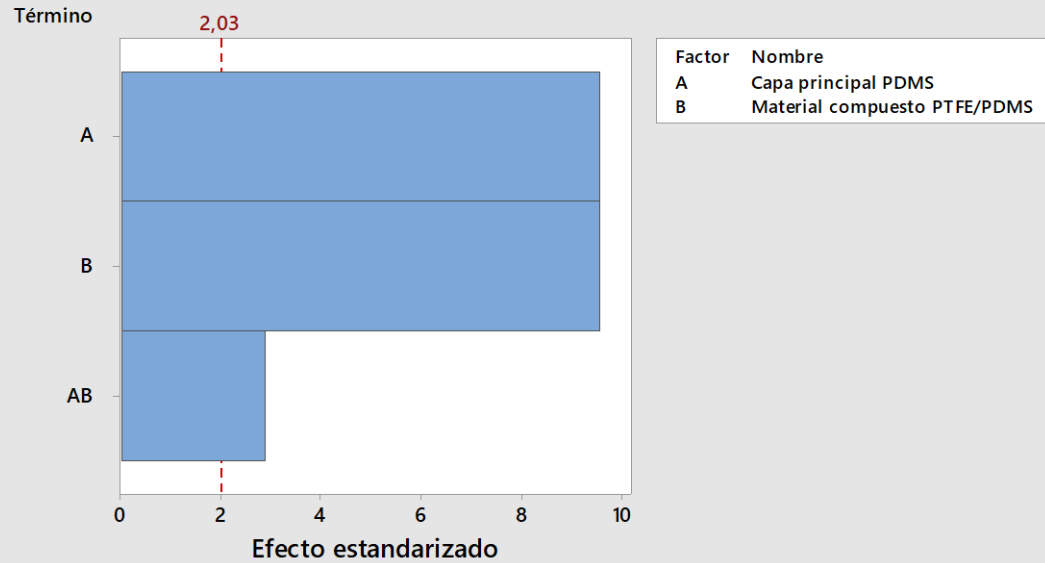
SECCIÓN EXPERIMENTAL

ANÁLISIS DE RESULTADOS

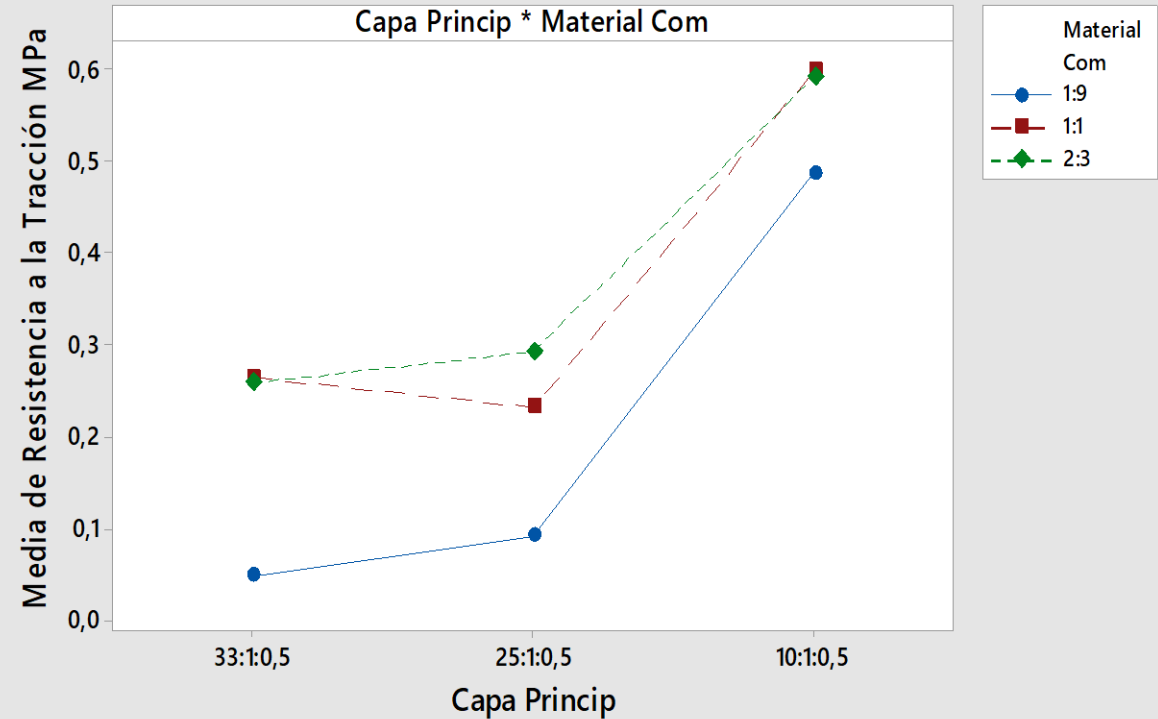
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Resistencia a la tracción

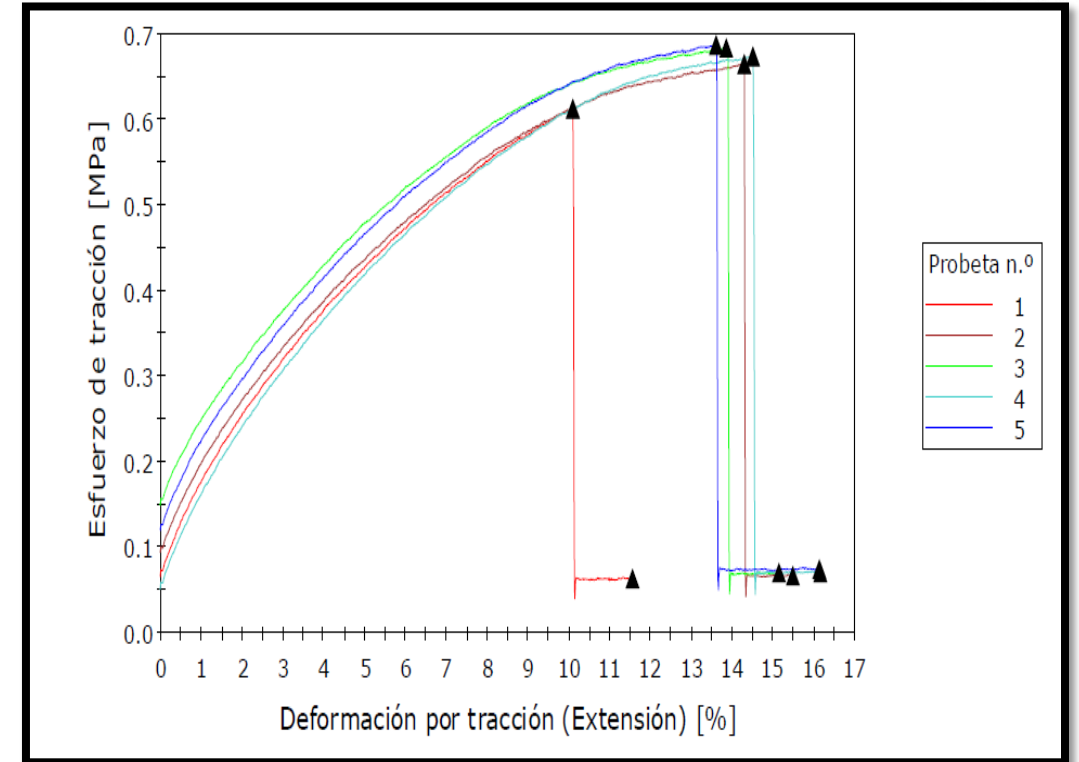
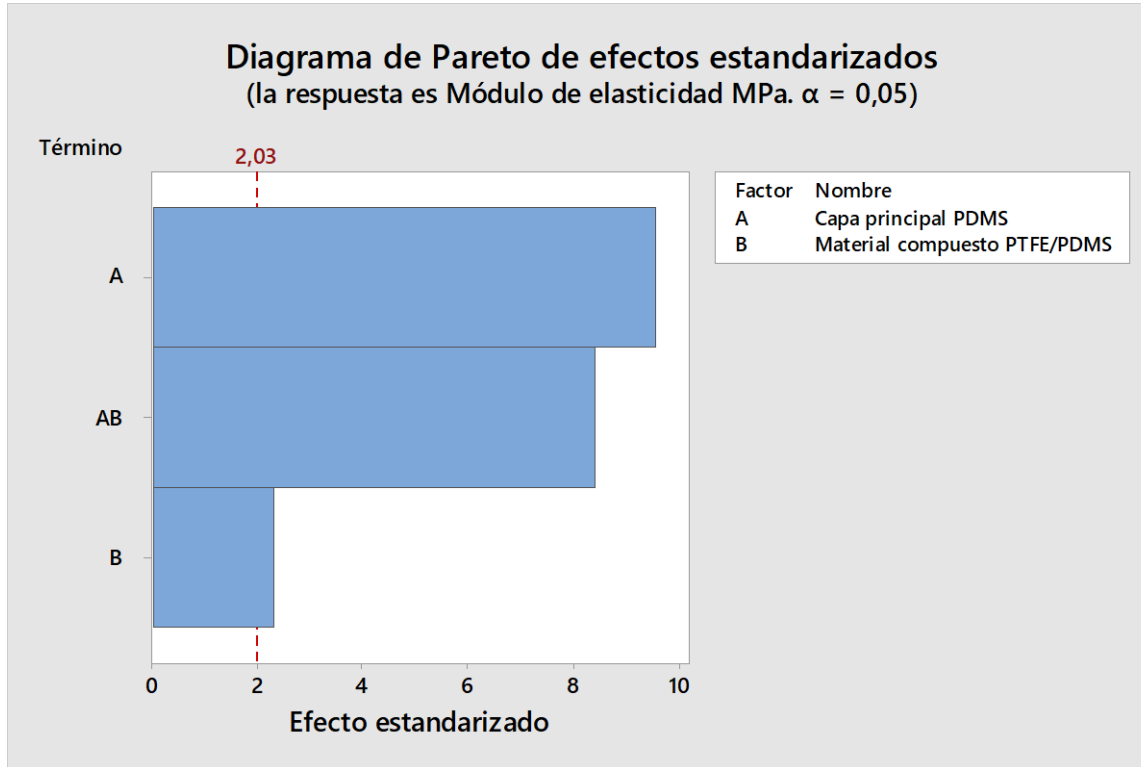
Diagrama de Pareto de efectos estandarizados
(la respuesta es Resistencia a la tracción MPa. $\alpha = 0,05$)



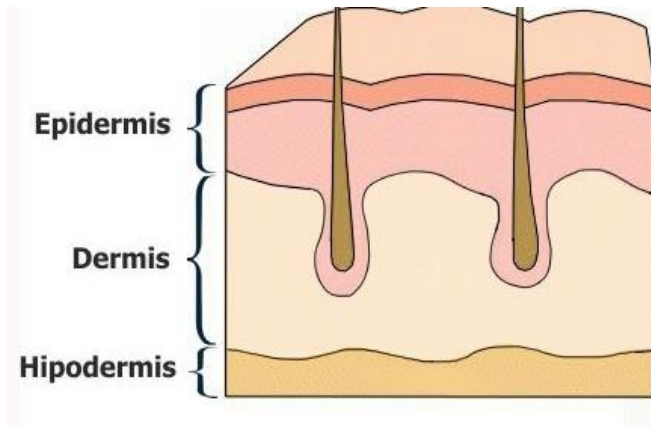
Gráfica de interacción para Resistencia a la Tracción MPa
Medias ajustadas



Módulo de elasticidad



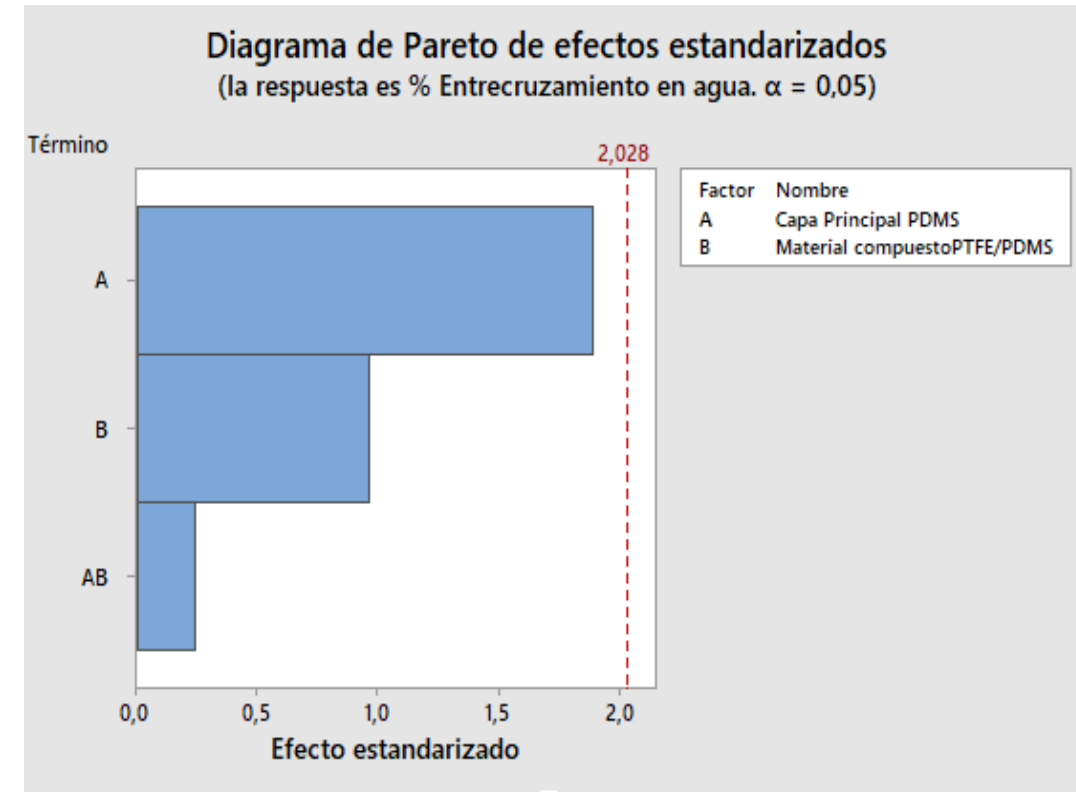
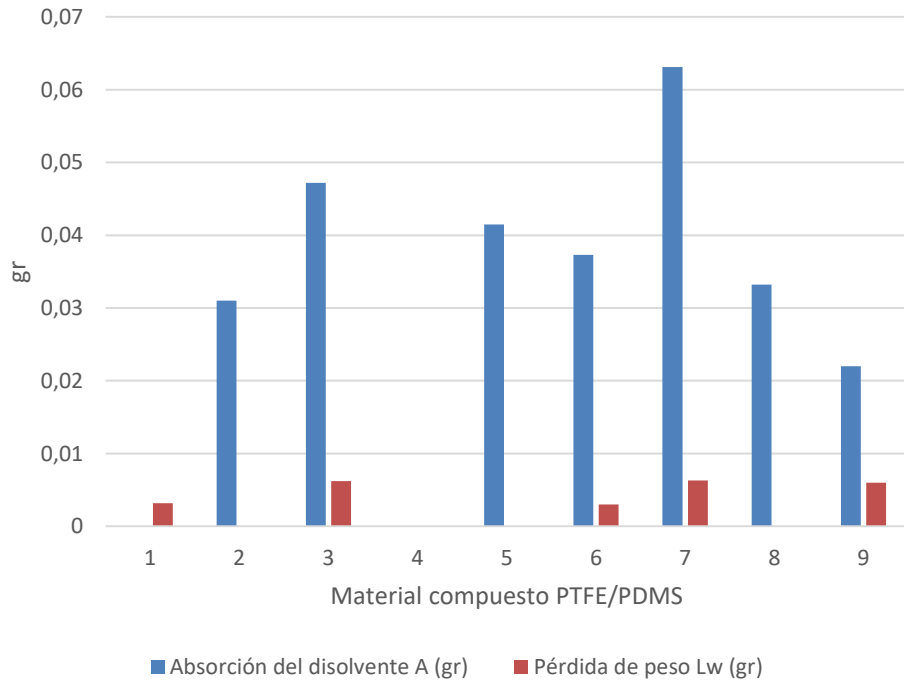
Capa de piel, tejido	Módulo de elasticidad (MPa)	de Espesor mm
Estrato córneo Seco	500(3.5-1000)	0.025 (0.01–0.04)
Húmedo	30(10-50)	
Epidermis viable	1,5	0.095(0,04-0,015)
Dermis	0.02 (8-35kPa)	1.4 (0.8-2)
Hipodermis	2×10^{-3}	0.8



Estudio	Sujetos	Edad años	Dato modulo de elasticidad
Jachowicz et al.	4 hombres	28-65	28.6
Paillier Mattei et al.	6 mujeres	28-65	24 KPa 13.7 KPa 11.2 KPa
Paillier Mattei et al.	10 hombres	Sobre 30	18 KPa
	1 mujer	30	8.8KPa
	1 mujer	60	5.2KPa
Zahovani et. al	20 mujeres	55 - 70	8.3KPa 3.44 Mpa
Geerlings et al.	3 mujeres	43	1.46 MPa

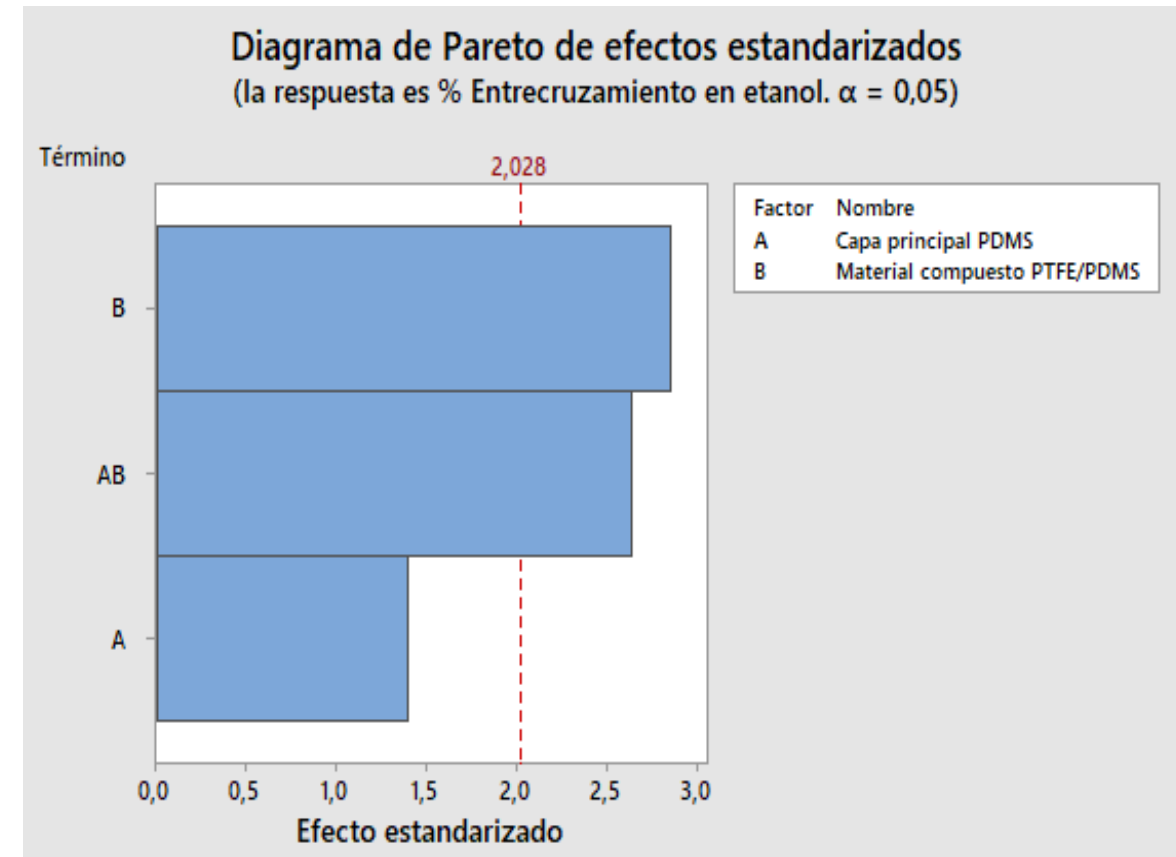
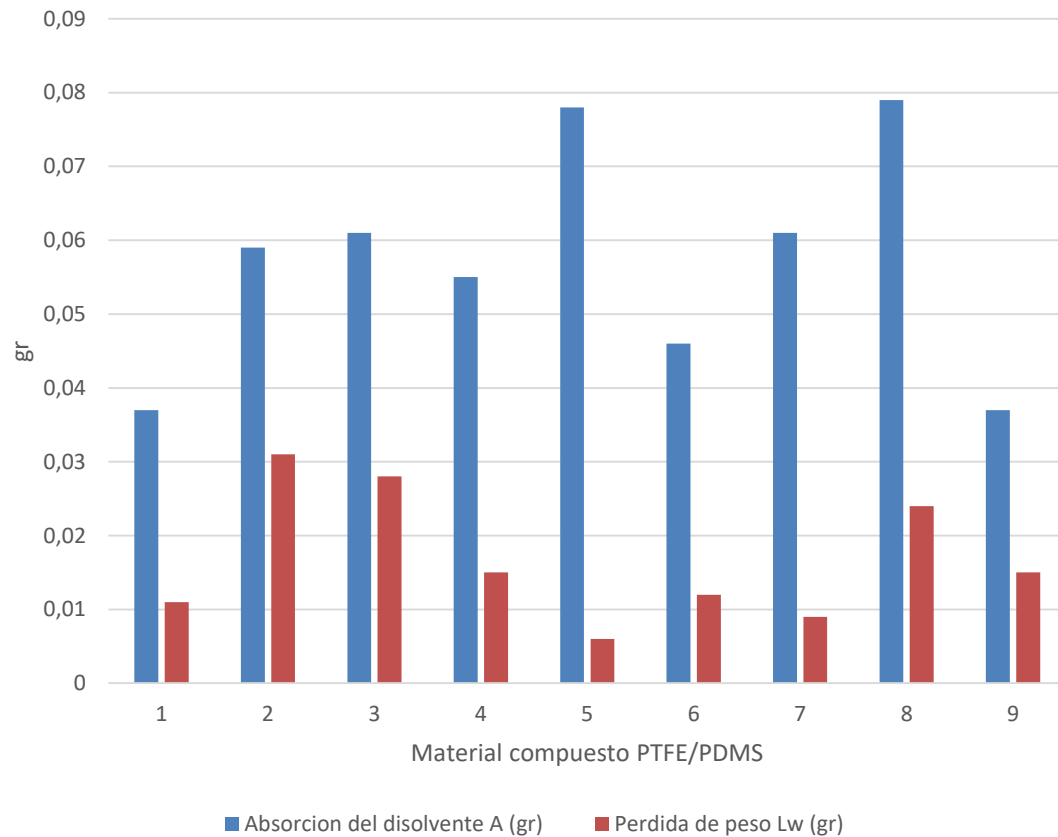
Cálculo de rendimiento de entrecruzamiento mediante pruebas de solubilidad en agua

Solubilidad en agua destilada



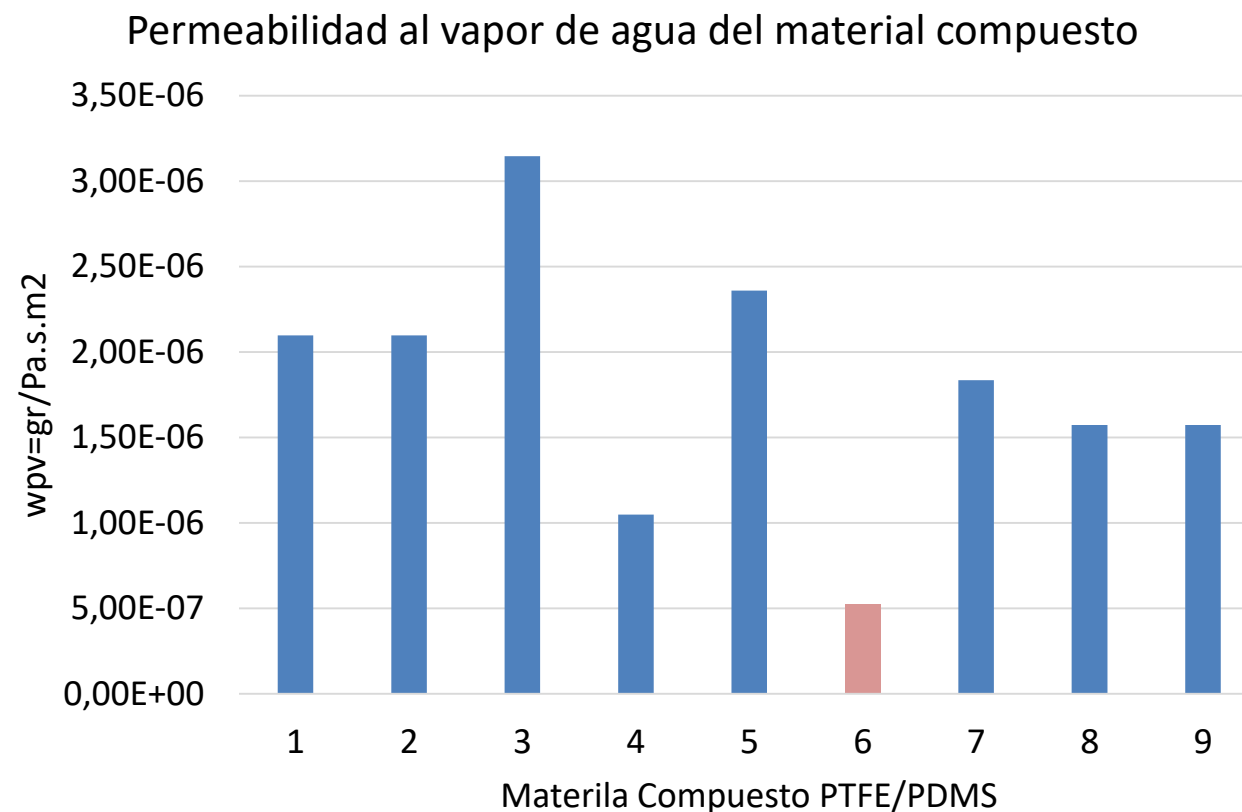
Cálculo de rendimiento de entrecruzamiento mediante pruebas de solubilidad en etanol

Pruebas de solubilidad en etanol al 96%



Evaluación de las propiedades Permeabilidad al vapor de agua

Material compuesto	Proporción másica PTFE/PDMS	WVP (gr/Pa. S.m ²)	Desviación estándar
1	33:1:0.5 - 1:9	2,10E-06	0,07
2	25:1:0.5 - 1:9	2,10E-06	0,005
3	10:1:0.5 - 1:9	3,15E-06	0,007
4	33:1:0.5 - 1:1	1,05E-06	0,003
5	25:1:0.5 - 1:1	2,36E-06	0,003
6	10:1:0.5 - 1:1	5,24E-07	0,001
7	33:1:0.5 - 2:3	1,84E-06	0,004
8	25:1:0.5 - 2:3	1,57E-06	0,003
9	10:1:0.5 - 2:3	1,57E-06	0,003



Análisis de la factibilidad económica

ITEM	REACTIVOS	CANTIDAD ESTIMADA ml	COSTO UNITARIO
1	Polidimetilsioxano	750	\$ 257,75
2	Politetrafluoruro de etileno	300	\$ 364,13
3	Tetra etil de Orto Silicato	100	\$ 43,92
4	Dilaurato de dibutil estaño	25	\$ 163,36
5	Tolueno	200	\$ 16,80
		Total	\$ 845,96

ITEM	EQUIPO	CANTIDAD EJECUTAD A horas	POTENCIA MAXIMA [KW]
1	Agitador Magnético con Plancha de Calentamiento Análogo	2,50	0,75

ITEM	REACTIVOS	CANTIDAD ESTIMADA ml	CANTIDAD EJECUTADA Lamina 10:1:0,5 - 1:1 (6) ml	COSTO DE CANTIDAD EJECUTADA Lamina 10:1:0,5 - 1:1
1	Polidimetilsioxa no	750	27,13	\$ 9,32
2	Politetrafluorur o de etileno	300	24,94	\$ 30,27
3	Tetra etil de Orto Silicato	100	2,8	\$ 1,23
4	Dilaurato de dibutil estaño	25	1,24	\$ 8,10
5	Tolueno	200	25	\$ 2,10
			Total	\$ 51,11



Costo total unitario de la producción del material compuesto.

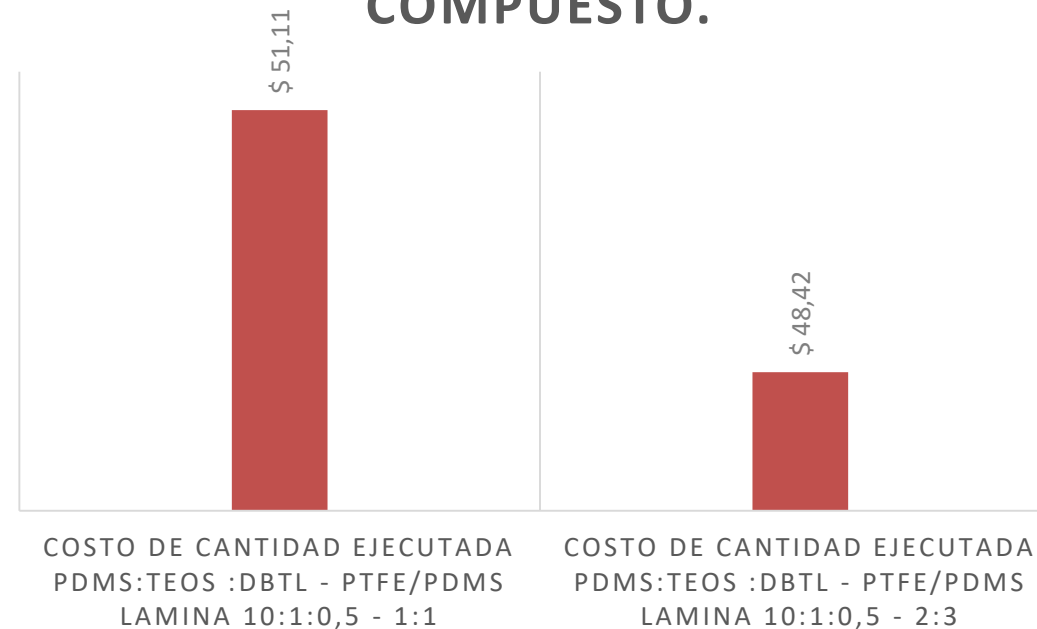
Comparación

ITEM	REACTIVOS	CANTIDAD ESTIMADA ml	CANTIDAD EJECUTADA Lamina 10:1:0,5 - 2:3 (9) ml	COSTO DE CANTIDAD EJECUTADA Lamina 10:1:0,5 - 1:1
1	Polidimetilsioxano	750	32,55	\$ 11,19
2	Politetrafluoruro de etileno	300	19,958	\$ 24,22
3	Tetra etil de Orto Silicato	100	3,367	\$ 1,48
4	Dilaurato de dibutil estaño	25	1,496	\$ 9,78
5	Tolueno	200	19,958	\$ 1,68
			Total	\$ 48,42



Costo de producción
\$ 0,82 por cada
centímetro cubico.

COSTO DE PRODUCCION UNITARIO DEL MATERIAL COMPUESTO.

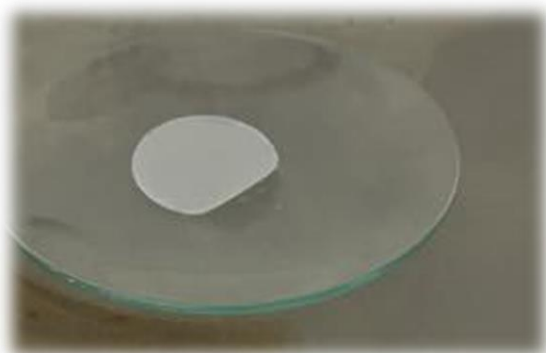


Comparación

Yong He, Guang-huai
Xue & Jian-zhong Fu.

2014

\$2,20



El costo de producción por centímetro cubico del material compuesto con la mejor combinación (10:1:1:0,5 – 1:1) es de \$0,82 .



INTRODUCCIÓN

SECCIÓN EXPERIMENTAL

ANÁLISIS DE RESULTADOS

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- La mejor combinación del material compuesto que permite alcanzar las propiedades mecánicas que se son similares ala piel humana es: 10:1:0,5 – 1:1 ya que me permitió obtener una resistencia a la tracción promedio de 0,65 MPa, un modulo de elasticidad promedio de 5, 54MPa, similar a la dermis de una persona de una edad de 43 años.
- El método de colada en solución que garantiza la homogeneidad de las laminas del material compuesto, es el de redes de polímeros interpenetradas y redes de elastómeros interpenetradas desarrolladas de forma secuencial, lo cual se evidencia con la desviación estándar de 0,03 que posee el material compuesto.

Conclusiones

- La resistencia a la tracción del material compuesto aumenta a medida que la proporción másica del polidimetilsiloxano disminuye y la proporción másica del politetrafluoruro de etileno incrementa.
- El material compuesto obtenido es hidrófobo, no se disuelve en agua, la pérdida de masa es de 0,3% en este solvente y su porcentaje de entrecruzamiento es de 99,66% determinado en agua.
- Por otra parte, el material compuesto en presencia de etanol, presenta una pérdida de masa del 1,2% y su porcentaje de entrecruzamiento es de 98,74% en este solvente.
- El material compuesto presenta una permeanza mínima de $5,24 \times 10^{-07}$ (gr/Pa.s. m²)
- El costo de producción por centímetro cubico del material compuesto con la mejor combinación (10:1:1:0,5 – 1:1) es de \$0,82 dólares verificando la factibilidad del desarrollo del material compuesto mediante la técnica aplicada ya que el costo de producción según (Yong He, Guang-huai Xue & Jian-zhong Fu) de \$ 2,20 dólares para el año 2014.

Recomendaciones

- Desarrollar una formulación de material compuesto variando el tipo de polímero que actúa como refuerzo, se sugiere emplear polímeros biodegradables como Polihidroxialcanoatos PHA ya que en los últimos años se han presentado problemas medioambientales derivados del elevado impacto que los materiales poliméricos procedentes del petróleo.
- Sintetizar el material compuesto variando el agente de reticulación de modo tal que se disminuya los puntos entrecruzados y sea mas flexible.
- Realizar pruebas de solubilidad aplicando otro tipo de solventes o fluidos orgánicos, con la finalidad de observar el hinchamiento del material compuesto.

Recomendaciones

- Realizar el secado del material compuesto por otra técnica mas eficiente con el fin de no tener perdidas de masa, debido a que la manipulación del material durante el secado generó desprendimientos involuntarios.
- Realizar un análisis microscópico para determinar el ángulo de contacto de las partículas de politetrafluoruro que se encuentran reforzando la capa principal de polidimetilsioxano.



GRACIAS