

---

**ÍNDICE**

<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<b>Antecedentes</b>	<b>5</b>
<b>1.-Separación de Gases Basada en Membranas</b>	<b>6</b>
1.1-Procesos de Permeación en Membranas	6
1.2- Separación de Gases en Membranas	7
1.3- Membranas Poliméricas para Separación de Gases	9
1.4-Principios Generales de Transporte de Gases en Membranas	
Poliméricas	12
1.4.1-Separación de Gases por Membranas	13
1.4.2-Teoría de la Permeación de Gases	13
1.5-Justificación y Objetivos Generales	17
<b>Objetivos</b>	<b>19</b>
<b>2.-Generalidades sobre Polímeros</b>	<b>20</b>
2.1-Polímeros	20
2.1.1-Copolímeros	20
2.2-Procesos de Polimerización	22

---

2.2.1-Polimerización por Pasos	23
2.2.2-Polimerización por Adición	24
2.3-Propiedades de los Polímeros	25
2.3.1-Temperatura de Transición Vítrea ( $T_g$ )	25
2.3.2-Temperatura de Fusión Cristalina ( $T_m$ )	26
2.4-Poliésteres	28
 <b>3.-Materiales y Métodos</b>	 31
3.1- Polimerización Interfacial	31
3.2- Reactivos para la Síntesis de los Poliésteres y del Copoliéster	33
3.3-Síntesis de los Poliésteres y del Copoliéster	34
3.4-Preparación de las Películas	37
3.5-Determinación de la Permeabilidad a los Gases de las Películas de los Poliestéres y del Copoliéster Aromático	37
3.5.1-Equipo	37
3.5.2.-Diseño y Selección de los Componentes de la Cámara	38
3.5.2.1-Celda de Permeación	39
3.5.2.2-Tanques Contenedores para los Gases	43
3.5.2.3-Válvulas y Conexiones	43
3.5.2.4-Controlador de Temperatura	46
3.5.2.5-Cámara de Aislamiento	47

---

3.5.2.6-Manómetro	47
3.5.2.7-Transductor de Presión	48
3.5.3-Instrumentación	51
3.5.3.1-Hardware: PC-LPM-16	52
3.5.3.2-Software: LabVIEW- Lenguaje de Programación	53
Gráfico	
3.6-Determinación Experimental de los Parámetros de Transporte	54
3.6.1-Permeabilidad	54
3.6.2-Coeficiente de Difusión	57
3.6.3-Coeficiente de Solubilidad	58
3.7-Procedimiento de la Preparación de las Membranas para Determinar sus Propiedades de Transporte en la Cámara de Permeación	59
3.8-Procedimiento Experimental	60
<b>4.Resultados y Discusión</b>	<b>62</b>
4.1-Características de los Poliésteres y del Copoliéster	62
4.2-Cámara de Permeación: Barrer 1	64
4.3-Calibración de la Cámara de Permeación	72
4.3.1-Determinación del Volumen de Expansión	72
4.3.2-Prueba del Sistema	76

---

4.4-Medición de las Propiedades de Transporte de Gases	77
4.4.1-Permeabilidad, Difusividad y Solubilidad	77
 5.-Conclusiones y Recomendaciones	 84
 Referencias	 87
 Bibliografía	 90

---

## PRÓLOGO

Una de las razones por lo que decidí estudiar la licenciatura en Ingeniería Física, es porque me ofrecía la oportunidad de enlazar dos ramas muy importantes, la ingeniería y la física, y no me equivoque al elegir esta carrera. De igual forma, acepté este trabajo de tesis porque involucraba los dos aspectos, conocimiento técnico y ciencia básica, brindándome la oportunidad de conocer una tecnología en desarrollo: la Separación de Gases por medio de Membranas.

Este método de separación va adquiriendo importancia ya que no se involucra durante el proceso un cambio de fase y no son necesarias altas temperaturas. La separación de gases con membranas resultan también atractivas debido a su simplicidad y eficiencia energética en comparación con los métodos tradicionales como son la destilación criogénica y la adsorción por presión elevada. En este estudio, se determinan las propiedades de transporte de gases de membranas de dos poliésteres y de un copoliéster cuando la composición es modificada por la adición de anillos aromáticos en su estructura. Dando la oportunidad de aplicar la tecnología en el diseño de un sistema experimental para determinar estas propiedades, con el fin de disponer un mayor número de membranas para expandir el campo de aplicaciones de esta tecnología.

Los estudios de permeación tienen dos facetas, en el caso de membranas altamente permeables, el objetivo es mantener altos flujos de permeación e incrementar la selectividad, mientras que en el caso de membranas de baja permeabilidad el esfuerzo es enfocado en mejorar las propiedades de empaques aislantes para ser utilizados como empaques para alimentos y bebidas gaseosas.

Agradeciendo todas las facilidades otorgadas por personal que labora en el Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C. para la elaboración de este trabajo. Así como al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico brindado por medio del proyecto 31237-U, "Membranas para Separación de Gases Contaminantes a Temperaturas Altas Basadas en Poliamidas Aromáticas (Aramidas)".