

## **PLAN DE ESTUDIOS DEL PROGRAMA DE MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA DE POLÍMEROS**

### **1. Objetivo**

El objetivo del Plan de Estudios del Programa de Maestría en Tecnología de Polímeros es formar profesionales con conocimientos, capacidades y habilidades en el área de los materiales poliméricos para desarrollarse en el campo de la investigación científica y tecnológica.

### **2. Metas**

- Proporcionar al estudiante los conocimientos necesarios en el área de los materiales polímeros a través de cursos especializados.
- Generar en el estudiante las habilidades científicas y/o tecnológicas requeridas para ejecutar proyectos de investigación.
- Desarrollar una cultura de trabajo con principios y valores éticos, a través de un trabajo responsable por parte de todos los actores involucrados en el Programa.

### **3. Elegibilidad**

Los candidatos a ingresar al Programa de Maestría en Tecnología de Polímeros deben contar con título de licenciatura en química, ingeniería química, materiales o carreras afines.

#### 4. Estructura del Plan de Estudios

El Plan de Estudios del Programa de Maestría en Tecnología de Polímeros tiene una duración de 24 meses y consta de diez materias (siete obligatorias y tres optativas) y un trabajo de investigación inédito (tesis), el cual debe ser presentado en un documento escrito y defendido en una presentación oral ante un Jurado Calificador. Como complemento, el estudiante debe realizar 8 prácticas de laboratorio en técnicas y procesos específicos, además de aprobar tres cursos especiales y los seminarios que se programen en la Coordinación de Posgrado. Los períodos en los cuales se realizan cada una de estas actividades se resume en la siguiente tabla.

**ESTRUCTURA DEL PLAN DE ESTUDIOS**

TETRAMESTRE	ACTIVIDADES			
1	5 Materias obligatorias (42 h c/u)	4 Prácticas (2 h c/u)	Curso especial (18 h c/u)	Seminarios (1 h c/u)
2	2 Materias obligatorias y 3 Materias optativas (42 h c/u)	4 Prácticas (2 h c/u)		
3	Presentación de Protocolo de Tesis Desarrollo del Trabajo de Tesis		Curso especial (18 h c/u)	Seminarios (1 h c/u)
4	Desarrollo del Trabajo de Tesis		Curso especial (18 h c/u)	Seminarios (1 h c/u)
5	Desarrollo del Trabajo de Tesis Presentación de Reporte de Avance de Tesis			

6	Desarrollo del Trabajo de Tesis Presentación del Seminario Final de Tesis y Presentación del Examen de Grado
---	--

Antes de iniciar con el Plan de Estudios, los candidatos reciben una serie de cursos de apoyo (Química, Matemáticas, Espectroscopia, Mecánica de fluidos, Introducción a la Ciencia de los Materiales) de 20 horas cada uno, donde se les imparten los conocimientos básicos requeridos para un mejor desempeño en sus estudios de Maestría. Los estudiantes que aprueban los cursos de apoyo (impartidos intensivamente durante 4 semanas) son aceptados definitivamente en el Programa de Maestría en Tecnología de Polímeros.

El Programa de Maestría en Tecnología de Polímeros define cuatro líneas de generación y/o aplicación del conocimiento (LGC) y son las principales directrices en la formación de maestros con orientación a la investigación científica y/o tecnológica y son:

1. Síntesis de Polímeros
2. Procesos de Polimerización
3. Procesos de Transformación
4. Materiales Avanzados

Durante el primer y segundo tetramestre el estudiante deberá cursar obligatoriamente las siete materias incluidas en la Tabla 1, esta serie de cursos están orientados a ofrecer al estudiante el conocimiento distintivo para un especialista que tenga la capacidad de obtener, analizar, procesar, modificar y transformar los materiales poliméricos.

Al final del primer tetramestre, en base a su promedio obtenido en las cinco materias cursadas, el estudiante seleccionará su tema de tesis.

**TABLA I CURSOS OBLIGATORIOS DEL PROGRAMA DE MAESTRIA EN TECNOLOGIA DE POLIMEROS**

<b>TETRAMESTRE</b>	<b>MATERIAS</b>
<b>1</b>	<p>Química de Polímeros I Fisicoquímica de Polímeros Caracterización de Polímeros I Matemáticas Aplicadas Reología de Polímeros</p>
<b>2</b>	<p>Propiedades Físicas de Polímeros Procesos de Transformación de Plásticos</p>

Una vez seleccionado su tema de tesis, el alumno deberá cursar dos materias optativas acorde con la línea de generación del conocimiento al cual pertenece su tema de tesis y una materia optativa que enriquezca su conocimiento del área de los polímeros pudiendo ser esta de alguna otra LGC. Las materias por Línea de Generación del Conocimiento se muestran en la tabla II.

**TABLA II CURSOS OPTATIVOS DE ACUERDO A LA LÍNEA DE GENERACIÓN DEL CONOCIMIENTO.**

<b>LGC</b>	<b>Cursos</b>
Síntesis de Polímeros	<p>Química de Polímeros II Métodos Avanzados de Caracterización de Polímeros II</p>
Procesos de Polimerización en Heterofase	<p>Ingeniería de Reacciones de Polimerización Polimerización en Medios Dispersos Acuoso</p>
Procesos de Transformación de Plásticos	<p>Temas Selectos de Transformación de Plásticos Diseño de Materiales Poliméricos Avanzados</p>
Materiales Avanzados	<p>Ciencia y Tecnología de Materiales Morfología y Transformaciones de Fase</p>

## 5. Perfil del egresado

El egresado del Programa de Maestría en Tecnología de Polímeros además de poseer el conocimiento distintivo para un especialista que tenga la capacidad de obtener, analizar, procesar, modificar y transformar los materiales poliméricos debe tener la capacidad de:

- Ejecutar proyectos de investigación original y de vanguardia.
- Difundir el conocimiento científico generado de su trabajo de investigación.
- Coadyuvar a resolver problemas científicos y tecnológicos en el área de los polímeros.
- Ser una persona responsable, con principios y valores que favorezcan su buen desempeño en el trabajo.

## 6. Descripción de las actividades que forman parte del Plan de Estudios.

### 6.1 Materias

Son cursos especializados, donde los estudiantes aprenden a profundidad conceptos fundamentales de temas específicos. Cada una de las materias que integran el Plan de Estudios deberá ser cubierta en 42 horas, repartidas en un máximo de 28 sesiones de 1.5 horas cada una. Las materias se complementan con tareas extra clase (ejercicios y trabajos de investigación bibliográfica) que les permiten adquirir un buen dominio del tema. Todas las materias deben ser aprobadas con calificación de 80/100 o superior. Los profesores que impartan las materias deberán cubrir el total del contenido temático, apegándose a los objetivos y metas planteadas en el presente Plan de Estudios.

### 6.2 Prácticas

Como complemento y/o aplicación de lo aprendido en las materias, los estudiantes deben realizar prácticas de laboratorio en lo referente a las técnicas, métodos y procesos que ayuden a reforzar el conocimiento. Las prácticas están diseñadas de forma que todos los estudiantes conozcan los principios teóricos y de funcionamiento de los principales equipos de caracterización y procesamiento de polímeros. Las técnicas y procesos seleccionados son las herramientas de análisis o de

transformación más comunes en los procesos de investigación y desarrollo de los polímeros. Cada Práctica tiene un objetivo específico y el cumplimiento del mismo se evalúa a través de un reporte técnico personal. Las prácticas consideradas en el Plan de Estudios se presentan en la siguiente tabla.

TETRAMESTRE	MATERIA	PRÁCTICA
1	Propiedades Físicas de Polímeros	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Esfuerzo – Deformación</li> <li>- Impacto</li> <li>- Deflexión bajo carga</li> <li>- Dureza</li> </ul>
	Caracterización de Polímeros I	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GPC (SEC)</li> <li>- Difracción de Rayos X</li> <li>- DSC y TGA</li> <li>- Microscopía electrónica</li> </ul>
	Procesos de Transformación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Extrusión</li> <li>- Co-extrusión</li> <li>- Mezclado</li> <li>- Inyección</li> </ul>
2	Caracterización de Polímeros II	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GC-MS</li> <li>- UV-Vis</li> <li>- FTIR</li> <li>- RMN</li> </ul>

### 6.3 Cursos especiales

Son cursos de 18 horas impartidos en 9 sesiones de 2 horas cada una. Los cursos pueden ser impartidos por profesores-investigadores y especialistas técnicos que laboran en la institución, así como por profesores invitados especialistas en una disciplina específica del campo de los polímeros o áreas relacionadas. La Dirección de Posgrado organiza anualmente el ciclo de cursos especiales, los cuales están dirigidos a ampliar los conocimientos de todos los estudiantes inscritos en los diferentes programas de Posgrado de la institución.

#### **6.4 Seminarios**

Son ponencias técnico-científicas de expertos (investigadores, profesores o industriales invitados) que se desempeñan en el campo de los polímeros. Estos seminarios, con duración de 1 h, forman parte del Ciclo de Conferencias que la Dirección de Posgrado organiza anualmente y que están dirigidos a mostrar a los estudiantes de Posgrado de la institución, los avances más recientes en el campo científico y tecnológico de los Polímeros.

#### **6.5 Tesis**

Es un trabajo de investigación teórico-experimental propuesto por un profesor del Programa de acuerdo con el reglamento vigente<sup>1</sup>. Cada propuesta de tesis es evaluada por miembros del Comité de Posgrado para validar su originalidad, calidad y pertinencia, así como para asegurar que se cuenta con fondos de financiamiento suficientes para su buen desarrollo. El propósito de este trabajo es que el estudiante demuestre su capacidad para desarrollar un proyecto de investigación individual. La asignación de temas de tesis a los estudiantes se lleva a cabo al término del primer tetramestre, por lo que a partir del segundo tetramestre, el estudiante puede iniciar la revisión bibliográfica del tema.

#### **6.6 Seminario de avance de tesis**

El PROGRAMA tiene contemplado la presentación de dos reportes de avance los cuales deberán entregarse y presentarse frente al Comité Evaluador al iniciar el tercer y quinto tetramestre. Los alcances para cada uno de ellos están contenidos en el Reglamento de Maestría en Tecnología de Polímeros.

#### **6.7 Seminario final de tesis**

Es una presentación oral y defensa del documento de tesis, previo al Examen de Grado. Los evaluadores (sinodales) podrán ser miembros del Comité Evaluador e invitados (se invita por lo general a un evaluador externo al Programa). Se espera que de este seminario los evaluadores den su aprobación para que se programe en fecha determinada el Examen de Grado, o bien, que esta decisión se postergue hasta que se atiendan las sugerencias que éstos emitan.

---

<sup>1</sup> Definido en Procedimiento Para Proponer, Evaluar, Aprobar y Asignar Temas de Tesis y Casos De Estudio



### **6.8 Examen de Grado**

Es el último requisito académico con el cual se otorga el grado de Maestro en Tecnología de Polímeros. Éste consiste en la presentación oral y defensa del documento de tesis ante el Jurado Calificador.

**Este Plan de Estudios entra en vigor a partir del 01 de Septiembre de 2010 y ha sido revisado por el Comité de Posgrado y el Consejo Técnico Consultivo periódicamente en 2013, 2015 y 2017 experimentando solo modificaciones menores. Las reglas de operación de todas las actividades del Plan de Estudios del Programa de Maestría en Tecnología de Polímeros se describen en el Reglamento correspondiente.**

**CONTENIDO DE LAS MATERIAS**

	Pág.
<b>MATERIAS OBLIGATORIAS</b>	
Química de Polímeros I	10
Fisicoquímica de Polímeros	13
Caracterización de Polímeros I	16
Matemáticas Aplicadas	18
Reología de Polímeros	21
Propiedades Físicas de Polímeros	24
Procesos de Transformación de Plásticos	26
<b>MATERIAS OPTATIVAS</b>	
Química de Polímeros II	28
Caracterización de Polímeros II	31
Polimerización en Medios Dispersos Acuoso	33
Ingeniería de Reacciones de Polimerización	36
Temas Selectos de Transformación de Plásticos	39
Morfología y Transformaciones de Fase	42
Diseño de Materiales Poliméricos Avanzados	45
Ciencia y Tecnología de Materiales	48

**QUÍMICA DE POLÍMEROS I**

(42 HORAS)

**OBJETIVOS**

- Que el estudiante adquiera los conocimientos teóricos fundamentales sobre la síntesis y modificación química de polímeros y su aplicación en la investigación y la industria.
- Que el estudiante desarrolle las habilidades requeridas para comprender y aplicar la información reportada en la literatura especializada en el tema sobre los dos principales mecanismos de polimerización (por etapas y en cadena).

**ALCANCES**

- Al finalizar el curso, el alumno conocerá a detalle los diferentes tipos de reacciones de polimerización, de los principales mecanismos de polimerización, las características químicas y fisicoquímicas de los polímeros obtenidos en cadena y por etapas, así como la cinética de las correspondientes reacciones.
- Podrá distinguir además los diferentes métodos de polimerización y su relación con los diferentes tipos de reacciones de polimerización.
- Tendrá un criterio y una visión más amplia sobre los parámetros de polimerización más importantes a controlar en los diferentes métodos y reacciones de polimerización, como son la velocidad de reacción, el tipo de monómeros, el peso molecular y las características estructurales de un polímero.

**CONTENIDO****I. GENERALIDADES (4.5 horas)****II. POLIMERIZACIÓN POR ETAPAS (12 horas)****1. Policondensación**

- 1.1 Reactividad de los Grupos Funcionales
- 1.2 Cinética de los Pasos de Polimerización
- 1.3 Polimerización Lineal contra Ciclización
- 1.4 Distribución de Peso Molecular en la Polimerización Lineal
- 1.5 Polímeros Ramificados

**Primera evaluación****III. POLIMERIZACIÓN RADICÁLICA EN CADENA (12 horas)**

- 2.1 Naturaleza de la polimerización radicalica en cadena
- 2.2 Velocidad de reacción de las polimerizaciones radicalicas
- 2.3 Peso Molecular
- 2.4 Efectos de Transferencia de Cadena
- 2.5 Inhibición y Retardación de la polimerización
- 2.6 Termodinámica de la Polimerización
- 2.7 Autoaceleración
- 2.8 Distribución de Peso Molecular
- 2.9 Condiciones de Proceso en polimerizaciones radicalicas

**Segunda Evaluación**

**IV.- COPOLIMERIZACIÓN EN CADENA (6 horas)**

- 3.1 Aspectos Generales
- 3.2 Composición de los Copolímeros
- 3.3 Ecuación de copolimerización; relaciones de reactividad de los comonómeros
- 3.4 Variación de la composición del copolímero con la conversión
- 3.5 Microestructura de los copolímeros
- 3.6 Copolimerización multicomponente
- 3.7 Efecto de las condiciones de la copolimerización radicalica

**V.- PRINCIPALES MÉTODOS DE POLIMERIZACIÓN PARA POLICONDENSACIONES Y POLIMERIZACIONES RADICÁLICAS (3 horas)**

- 5.1 Polimerización en masa
- 5.2 Polimerización en solución
- 5.3 Polimerización en suspensión
- 5.4 Polimerización en emulsión
- 5.5 Polimerización en fase gaseosa

**V.- PROCESOS INDUSTRIALES PARA LA OBTENCIÓN DE MATERIALES POLIMÉRICOS (4.5 horas)**

Realizar investigación bibliográfica sobre un tipo de polímero por cada alumno, y preparar presentación de 20-30 minutos que contenga:

- 6.1 Generalidades
- 6.2 Aplicaciones principales
- 6.3 Métodos industriales de obtención
- 6.4 Aspectos relevantes
- 6.5 Conclusiones

**Tercera evaluación****MÉTODO DE ENSEÑANZA**

- Exposición oral con diapositivas o acetatos, motivando la participación de los alumnos mediante la técnica de preguntas dirigidas sobre cada tema.
- Resolución de Problemas de cada tema
- Investigación bibliográfica, preparación y presentación de exposiciones orales sobre un polímero específico por alumno.

**MÉTODO DE EVALUACIÓN**

- Tres exámenes parciales (promedio)
- Tareas a desarrollar por cada tema, principalmente resolución de problemas, que serán requisito para la presentación de cada examen parcial.
- En caso de no obtener el promedio mínimo de 8.0 se aplicará el examen final

**BIBLIOGRAFÍA**

Texto: Principles of Polymerization  
George Odian  
Fourth Ed.  
John Wiley & Sons, 2004.

Textos Complementarios:

Introduction to Polymers  
Second Ed.  
R.J. Young and P.A. Lovell  
Chapman and Hall 1991

Initiation of Polymerization  
Edited by Federick E. Bailey Jr.  
ACS Symposium Seriel 212  
American Chemical Society

Contemporary Polymer Chemistry  
Harry R. Allcock/ Frederick W. Lampe  
Prentice Hall 1990 second ed.

The Chemistry of Free Radical Polymerization  
G. Moad and D.H. Solomon  
Pergamon Press 1995

Polymer Synthesis  
Paul Rempp and Edward W. Merrill  
Hueting and Wepf Verlag Basee 1986

An Introduction to Free Radicals  
John E. Leffler  
John Wiley and Sons 1993

New Methods of Polymer Synthesis  
Edited by W.J. Mijs  
Plenum Press 1992

**CONOCIMIENTOS MÍNIMOS INDISPENSABLES**

- Fundamentos de Química Orgánica
- Fundamentos de Fisicoquímica
- Química General
- Fundamentos Matemáticos (Álgebra, Cálculo diferencial e integral)

**FISICOQUÍMICA DE POLÍMEROS**

(42 HORAS)

**OBJETIVO**

Proveer a los estudiantes de las herramientas necesarias para un entendimiento de las teorías conformacionales de los polímeros, así como las teorías básicas del comportamiento de éstos cuando se encuentran disueltos en un disolvente. Con el dominio de estas teorías el estudiante tendrá una idea más clara de la lo que implica la naturaleza macromolecular de los polímeros y su relación con la morfología, propiedades, procesamiento y aplicaciones.

**METAS**

- Entender la noción de macromolécula y sus variantes
- Aprender las herramientas matemáticas que le permitan calcular parámetros moleculares de tamaño y forma.
- Aprender las teorías relacionadas con la mecánica estadística de cadenas y termodinámica de soluciones para obtener parámetros relacionados con tamaño, forma e interacción molecular.
- Aprender a resolver problemas relacionados con la conformación molecular de las cadenas poliméricas y con la termodinámica de soluciones.
- Entender los aspectos fundamentales de la dispersión de luz de sistemas macromoleculares en solución

**CONTENIDO****I. INTRODUCCIÓN (3 h)**

- 1.1 Justificación.
- 1.2 Nociones básicas relacionadas con la estructura molecular de los polímeros.
- 1.3 Peso molecular y distribución de pesos moleculares
- 1.4 Propiedades específicas de los polímeros y su relación con la noción de cadena macromolecular

**II. ESTADÍSTICA DE CADENAS (9 h + 1.5 h examen, incluye la unidad I)**

- 2.1 Noción de macromolécula y potencial de rotación  $U(\theta)$
- 2.2 Distancia cuadrática promedio de extremo a extremo  $\langle h^2 \rangle^{1/2}$ .
- 2.3 Radio de giro  $\langle s^2 \rangle^{1/2}$
- 2.4 Forma que adoptan las cadenas,  $(Ph)dh$ .
- 2.5 Modelo de cadena impedida
- 2.6 Modelo de cadena semi-rígida
- 2.7 Volumen excluido
- 2.8 Problemas

**III. TERMODINÁMICA DE SOLUCIONES MOLECULARES Y POLIMÉRICAS****(9 h + 1.5 h examen)**

- 3.1 Conceptos de termodinámica
- 3.2 Mezclas o soluciones moleculares. Nociones de termodinámica estadística y diagramas de fase.
- 3.3 Soluciones moleculares atérmicas y regular (modelo tipo red).
- 3.4 Soluciones poliméricas atérmica y regular (Teoría de Flory-Huggins).

- 3.5 Presión osmótica y determinación de  $\bar{M}_n$  y  $A_2$
- 3.6 Parámetro de solubilidad,  $\chi$
- 3.7 Problemas

#### IV. VISCOSIMETRÍA (3 h)

- 4.1 Viscosidad intrínseca,  $[\eta]$
- 4.2 Ecuaciones básicas y su relación con  $\bar{M}_v$  y  $\langle s^2 \rangle^{1/2}$
- 4.3 Problemas

#### V. CROMATOGRAFÍA DE EXCLUSIÓN POR TAMAÑO (3 h)

- 4.4 Principio básico de la técnica
- 4.5 Curvas de calibración
- 4.6 Problemas

#### VI. DISPERSIÓN DE LUZ DE SOLUCIONES POLIMÉRICAS

##### (9 h + 1.5h examen, incluye unidad V)

- 5.1 Dispersión de luz de partículas puntuales sin correlación (gas diluido)
- 5.2 Parámetro de Raileigh, R
- 5.3 Interferencia de la luz que dispersan las partículas
- 5.4 Dispersión de luz de una solución. Teoría de fluctuaciones
- 5.5 Dispersión de luz de una solución polimérica. Diagrama de Zimm
- 5.6 Problemas

##### Examen Final (3 h)

#### MÉTODO DE ENSEÑANZA

Exposición frente al grupo, explicación teórica de fenómenos y desarrollo de ecuaciones, planteamiento y solución de problemas, ejercicios resueltos en clase por el profesor y por los estudiantes. Trabajos y tareas.

#### MÉTODO DE EVALUACIÓN (3 sesiones para exámenes parciales y una para el final)

El curso se evaluará a través de exámenes parciales y un examen final. Los exámenes parciales serán de 1.5 horas de duración. Si el estudiante aprueba los exámenes parciales con una calificación promedio de 80 o más, queda exento del examen final.

#### BIBLIOGRAFÍA

1. G. Champetier, L. Monnerie, Introducción a la Química Macromolecular, Talleres tipográficos de la Editorial Espasa-Calpe S. A., Madrid Versión española 1973
2. Patterson, G., Physical Chemistry of Macromolecules, CRC Press, 2nd Ed. 2007.
3. Paul. J. Flory, Principles of Polymer Chemistry, Cornell University Press, London 1971
4. Paul. J. Flory, Statistical Mechanics of Chain Molecules, Hanser Publishers, Munich, 1988
5. Sun, S.F., Physical Chemistry of Macromolecules, John Wiley & Sons, 2nd Edition, 2004
6. Gert Strobl The Physics of Polymers 2<sup>nd</sup> Edition., Springer, Berlin, 1997
7. R. H. Boyd, P. J. Phillips, The Science of Polymer Molecules, Cambridge University Press, Cambridge, 1993
8. M. B. Huglin, Light scattering from polymer solutions, Academic Press, London 1972
9. Sperling, L.H., Introduction to Physical Polymer Science, Wiley-Interscience, 4th Edition, 2006.



**CONOCIMIENTOS MÍNIMOS INDISPENSABLES**

- Química de polímeros.
- Fisicoquímica básica.
- Álgebra, probabilidad y estadística, ecuaciones diferenciales y cálculo integral.

## CARACTERIZACIÓN DE POLÍMEROS I (42 HORAS)

### OBJETIVO

Que el alumno conozca y aplique las técnicas de caracterización para la determinación de propiedades físicas y químicas de polímeros, que será la base para el desarrollo de sus futuras investigaciones.

### ALCANCE

Al término del curso el alumno deberá conocer los fundamentos teóricos y las aplicaciones de las diferentes técnicas instrumentales de caracterización fisicoquímica. El estudiante deberá ser capaz de seleccionar las técnicas de caracterización adecuadas para la determinación de las diferentes características térmicas, morfológicas y estructurales, así mismo deberá ser capaz de interpretar los resultados obtenidos por las diferentes técnicas.

### CONTENIDO

#### I.- ANÁLISIS TÉRMICO

- 1.1 Introducción
- 1.2 Sistema DSC
- 1.3 Caracterización mediante DSC
- 1.4 Evaluación de resultados de curvas de DSC
- 1.5 DSC en polímeros
- 1.6 Transición vítrea, cristalización y fusión
- 1.7 Curado de termofijos
- 1.8 Análisis termogravimétrico
- 1.9 Análisis dinámico-mecánico
- 1.10 Análisis termomecánico

#### II.- TÉCNICAS DE MICROSCOPIA

- 2.1 Fundamentos teóricos
- 2.2 Formación de imagen y microscopía óptica
- 2.3 Microscopía electrónica de barrido
- 2.4 Microscopía electrónica de transmisión
- 2.5 Métodos y aplicaciones

#### III.- VISCOSIMETRÍA DE SOLUCIONES DILUIDAS

- 3.1 Fundamentos teóricos
- 3.2 Técnicas

#### IV.- CROMATOGRAFÍA DE LÍQUIDOS

- 4.1 Fundamentos teóricos
- 4.2 Cromatografía de permeación en gel (GPC)
- 4.3 Equipo y aplicaciones

#### V.- FRACCIONACIÓN DE CAMPO DE FLUJO (AF4)

- 5.1 Fundamentos teóricos

- 5.2 La Familia de técnicas de F3
- 5.3 Distribución de tamaños de las macromoléculas
- 5.4 Determinación de pesos moleculares
- 5.5 Calibración del sistema
- 5.6 Aplicaciones a polímeros y emulsiones

#### **VI.- DIFRACCIÓN DE RAYOS X**

- 6.1 Fundamentos teóricos
- 6.2 Aplicaciones en polímeros

#### **BIBLIOGRAFÍA**

- Polymers: Polymers Characterization and Analysis  
Encyclopedia Reprints Series 1990  
Jacqueline I. Kroschwitz
- Calorimetry and Thermal Analysis of Polymers  
Vincent B.F. Mathot  
Hanser Publishers 1994
- Characterization of Polymer Blends  
S. ThomasY. GrohensP. Jyotishkumar  
2015 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA
- Polymer Microscopy  
Linda C. Sawyer, David T. Grubb and Gregory F. Mayers  
Third Ed. Springer 2008.
- Applied Polymer Light Microscopy  
D.A. Hemsley  
Elsevier Applied Science 1989
- X-ray and Neutron Techniques for Nanomaterials Characterization  
Challa S.S.R. Kumar  
Springer Berlin Heidelberg, October 2016

**MATEMÁTICAS APLICADAS**

(42 HORAS)

**OBJETIVO**

Proporcionar las bases matemáticas de los sistemas lineales para su aplicación en el análisis de problemas de ingeniería química y procesos de polimerización. El curso se complementa con el estudio de las principales técnicas numéricas para la solución de sistemas de ecuaciones algebraicas/diferenciales. A lo largo del curso se ilustrará el uso de las técnicas lineales para resolver los modelos de primeros principios que gobiernan los procesos de parámetros concentrados (reactores químicos modelados como sistemas de ecuaciones diferenciales ordinarias) o parámetros distribuidos (reactores, catalizadores y equipo de procesado modelados como sistemas de ecuaciones diferenciales parciales).

**ALCANCE**

Al término del curso el alumno dominará las técnicas de análisis lineal como son la reducción de Gauss y la caracterización de la solución de un sistema lineal. También tendrá asimilados los conceptos de espacio de funciones y su empleo en la aproximación de funciones. El manejo de las nociones de valores propios y vectores propios le facilitará el entendimiento del planteamiento/solución de problemas que involucran fenómenos de transporte como son los de modelos de reactores, extrusores, etc. El estudio de los métodos numéricos le permitirá dar solución a problemas de diversos tipos, desde sistemas que se modelen con ecuaciones algebraicas hasta modelos de ecuaciones diferenciales parciales.

**CONTENIDO****I. SISTEMAS LINEALES**

- 1.1 Sistemas lineales.
- 1.2 Método de Gauss.
- 1.3 Conjunto de soluciones.
- 1.4 General = Particular + Homogénea.
- 1.5 Geometría lineal del espacio  $n$ .
- 1.5 Vectores en el espacio.
- 1.7 Longitud y medida del ángulo.
- 1.8 Forma Echelon reducida.
- 1.9 Reducción de Gauss-Jordan.
- 1.10 Equivalencia de filas.
- 1.11 Existencia y unicidad de la solución.

**II. ESPACIOS VECTORIALES**

- 2.1 Definición.
- 2.2 Independencia lineal.
- 2.3 Base y dimensión.
- 2.4 Proyección ortogonal.
- 2.5 Bases ortonormales y proyecciones en  $R^n$ .
- 2.6 El problema de mínimos cuadrados.
- 2.7 Espacios con producto interior y proyecciones.

**III. PROBLEMA DE VALORES PROPIOS.**

- 3.1 Valores y vectores propios.
- 3.2 Matrices simétricas y diagonalización ortogonal.
- 3.3 Forma canónica de Jordan.
- 3.4 Forma matricial de la ecuaciones diferenciales.
- 3.5 Solución de sistemas de ecuaciones diferenciales ordinarias.

**IV. MÉTODOS NUMÉRICOS.**

- 4.1 Sistemas de ecuaciones algebraicas no lineales (Newton-Raphson).
- 4.2 Sistemas de ecuaciones diferenciales ordinarias (Euler, Runge-Kutta).
- 4.3 Ajuste de curvas (Regresión por mínimos cuadrados).
- 4.4 Ecuaciones diferenciales parciales (diferencias finitas, introducción a elementos finitos).

**MÉTODO DE ENSEÑANZA**

Sesión en 2 partes.

1. Teórica (Desarrollo de los temas)
2. Práctica (Programación y métodos numéricos)

Proyecto individual (Investigación, Documentación, Exposición)

1. Método de Gauss. El CS de un SEAL.
2. ELVs y PVP.
3. Técnicas de programación y Métodos numéricos. Integración de Euler, Newton Raphson, Ajuste polinomial Excel, Lenguaje 3G

Proyecto general. El problema del reactor químico (CSTR)

**MÉTODO DE EVALUACIÓN**

Proyecto individual	15%
Proyecto general	15%
Tareas	15%
Participación	15%
Exámenes	40%

2 exámenes parciales

1 examen final

**BIBLIOGRAFÍA**

1. Algebra lineal 5a. Ed.  
Stanley Grossman  
Mc-Graw Hill, 2000
2. Algebra lineal aplicada  
Noble y Daniel  
Prentice Hall, 1989
3. Numerical methods for engineers 2a. Ed.  
Chapra y Canale  
McGraw-Hill, 1990
4. Advanced engineering mathematics 7a. Ed.  
Erwin Kreyszig  
Wiley, 1993
5. Tablas y fórmulas matemáticas (Serie Schaum)



Aplicaciones de Algebra lineal

EDOs

EDPs

Problemas de variable compleja

Transformadas de Laplace

Transformadas de Fourier

Mecánica de fluidos, Reología

Transferencia de masa y calor

Sistemas de procesos estacionarios y dinámicos

Reactores

Reactores catalíticos

Operaciones unitarias

**REOLOGÍA DE POLÍMEROS**

(42 HORAS)

**OBJETIVO**

Aprender la relación entre esfuerzo y deformación en los polímeros, tipos de fluidos y las variables que afectan su flujo, así como su medición y relación entre la viscosidad con estructura y composición de los polímeros.

**ALCANCE**

- Entender de la derivación de las ecuaciones de momentum y de los usos de estas.
- Entender los conceptos de Esfuerzo de Corte, Velocidad de Corte y Viscosidad.
- Entender los efectos de: Peso Molecular, Distribución de Pesos Moleculares y Linearidad Molecular, Aditivos y Cargas Minerales, así como Temperatura y Velocidad de Corte, sobre la Viscosidad y la Viscoelasticidad del material, tanto para el caso de fluidos Newtonianos como No-Newtonianos.
- Entender y saber sobre la utilización de los diferentes tipos de reómetros.
- Conocer de diversas aplicaciones de la reología.

**CONTENIDO****I. SÓLIDO ELÁSTICO (4.5 horas)**

- 1.1 El tensor de esfuerzo
- 1.2 Principales esfuerzos
- 1.3 Sólido elástico general
- 1.4 Ecuación de continuidad y Ecuaciones de movimiento

**II. LÍQUIDO VISCOZO (4.5 horas)**

- 2.1 Gradiente de velocidad
- 2.2 Fluido Newtoniano
- 2.3 Fluido no Newtoniano
  - Ley de la potencia; Modelo de Cross; Otros modelos viscosos
  - Variación de la viscosidad con la temp, la presión y la velocidad de corte

**III. VISCOELASTICIDAD LINEAL (4.5 horas)**

- 3.1 Modelos generales de viscoelasticidad lineal
- 3.2 Funciones de materiales a bajas deformaciones
  - Relajación de esfuerzos, "Creep" y Oscilaciones sinusoidales

**IV. VISCOELASTICIDAD NO LINEAL (3 horas)**

- 4.1 Fenómeno no lineal
  - Diferencias de esfuerzos normales en "corte"
  - "Extensional thickening" (aumento de la viscosidad en la extensión)

**V. REOMETRÍA; Flujo de Arrastre (4.5 horas)**

- 5.1 Reómetro de cilindros concéntricos
  - Esfuerzo de corte y Velocidad de corte

- Esfuerzos normales
- 5.2 Reómetros de cono y plato
  - Esfuerzo de corte y Velocidad de corte
  - Esfuerzos normales
- 5.3 Reómetro de platos excéntricos
  - Esfuerzo de corte y Velocidad de corte
- VI. REOMETRÍA; Flujo de Presión (4.5 horas)**
  - 6.1 Reómetro capilar
    - Esfuerzo de corte y Velocidad de corte
    - Hinchamiento y Fractura del extruido
    - El índice de fluidez; MFI
- VII. REOMETRÍA; Flujo Extensional (3 horas)**
  - 7.1 Extensión simple
  - 7.2 Extensión multiaxial
- VIII. REOLOGÍA DE SUSPENSIONES (4.5 horas)**
  - 8.1 Suspensiones diluidas de esferas
    - Esferas rígidas; y Esferas deformables
  - 9.2 Interacciones partícula-fluido; y partícula-partícula
- IX. REOLOGÍA DE LÍQUIDOS POLIMÉRICOS (3 horas)**
  - 9.1 Viscosidad a corte “cero”
  - 9.2 Reología de soluciones poliméricas diluidas
  - 9.3 Reología de polímeros fundidos
- X. EFECTO DE LA ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN SOBRE LA VISCOSIDAD (3 horas)**
  - 10.1 El peso molecular y distribución de pesos moleculares
  - 10.2 La linealidad de las moléculas
  - 10.3 El tipo y la concentración de cargas minerales y aditivos
- XI. APLICACIONES DE LA REOLOGÍA EN EL CASO DE LOS POLÍMEROS (3 horas)**
  - 11.1 Características reológicas vs características fisicoquímicas
  - 11.2 Procesamiento (e.g. extrusión, inyección)
  - 11.3 Casos de polímeros específicos (e.g. PE, PP, PS, PVC, PA)

#### **MÉTODO DE ENSEÑANZA**

Exposición frente a grupo, planteamiento y solución de problemas, exposición de diversos temas por parte de los estudiantes y tareas.

#### **MÉTODO DE EVALUACIÓN**

Tareas (20% del total), [Exámenes; los parciales y el final (80% del total)]  
De estos 80 puntos porcentuales; 65% sería de los parciales y 35% del final.

### **BIBLIOGRAFÍA**

- 1) **Rheology; Principles, Measurements and Applications** [Texto Base]  
C.Macosko 1994  
VCH Publishers
- 2) **Introduction to Polymer Viscoelasticity**  
Montgomery T. Shaw and William J. MacKnight 2005  
John Wiley & Sons, Inc.
- 3) **Polymer Melt Rheology; A Guide for Industrial Practice**  
F.N.Cogswell 1996.  
Woodhead Publishing Limited.
- 4) **An Introduction to Rheology**  
Barnes, Hutton and Walters 1989  
Elsevier
- 5) **Fenómenos de Transporte**  
Bird, Steward and Lightfoot 1986  
Wiley
- 6) **Dynamic Mechanical Analysis, A practical Introduction**  
Kevin P. Menard 1999  
CRC Press; London New York Washington
- 7) **A handbook of Elementary Rheology**  
Howard A. Barnes 2000  
The University of Wales Institute of Non-Newtonian Fluid Mechanic

### **CONOCIMIENTOS MÍNIMOS INDISPENSABLES**

- Cálculo Diferencial e Integral
- Fenómenos de Transporte o Mecánica de Fluidos

## PROPIEDADES FÍSICAS DE POLÍMEROS

(42 HORAS)

### OBJETIVO

Proporcionar al estudiante los principios básicos de las principales propiedades que definen el comportamiento físico de los materiales poliméricos cuando son obtenidos, procesados y durante su aplicación.

### ALCANCE

Al terminar el curso, el estudiante será capaz de identificar las razones probables por las que un material tiene diferentes propiedades físicas a otro y las consecuencias de exceder los límites de las mismas.

### CONTENIDO

#### I.- PROPIEDADES FÍSICAS DE POLÍMEROS EN ESTADO SÓLIDO

- 1.1 Principales propiedades físicas de polímeros

#### II.- PROPIEDADES TÉRMICAS

- 2.1 Termodinámica de las transiciones térmicas
- 2.2 La temperatura de fusión  $[T_m]$ , transición de primer orden
- 2.3 La temperatura de transición vítrea  $[T_g]$ , transición de segundo orden
- 2.4 La temperatura de cristalización  $[T_c]$
- 2.5 Otras transiciones
- 2.6 Conductividad térmica

#### III.- PROPIEDADES MECÁNICAS

- 3.1 Esfuerzo y deformación. Tensión, compresión, flexión y corte
- 3.2 Limitaciones de la teoría elástica cuando se aplica a los polímeros
- 3.3 Efecto del tiempo. Deformación, relajación de esfuerzos, cedencia y creep
- 3.4 Efecto de la temperatura. Diferentes tipos de relación módulo-temperatura
- 3.5 Superposición tiempo-temperatura
- 3.6 Efecto de plastificante y cargas minerales

#### IV.- OTRAS PROPIEDADES MECÁNICAS

- 4.1 Fractura, tensión, desgarramiento. Impacto, dureza y stress cracking

#### V.- PROPIEDADES ELÉCTRICAS

- 5.1 Conducción, resistividad, permisibilidad y pérdida
- 5.2 Efecto de la cristalinidad y la plastificación
- 5.3 "Breakdown"
- 5.4 "Tracking"
- 5.5 Electricidad estática

#### VI.- PROPIEDADES ÓPTICAS

- 6.1 Absorción y Transmisión

- 6.2 Dispersión
- 6.3 Refracción
- 6.4 Color

**VII.- PROPIEDADES ACÚSTICAS**

- 8.1 Características del sonido
- 8.2 Absorción
- 8.3 Difracción
- 8.4 Reflexión
- 8.5 Refracción
- 8.6 Resonancia
- 8.7 Aplicaciones como técnica de análisis de polímeros

**BIBLIOGRAFÍA**

- Introduction to Physical Polymer Science  
Sperling L. H.  
Wiley Interscience
- Conformational Theory of Large Molecules: The Rotational Isomeric State Model in Macromolecular System  
Mattice W.L. and Suter U.W.  
Wiley Interscience
- Modern Techniques of Surface Science  
D.P. Woodruff / T.A. Delchar
- Progress in Polymer Science  
A.D. Jenkins  
Pergamon Press
- Conductive Polymers and Plastics  
James M. Margolis  
Chapman and Hall
- Handbook of Plastics Testing Technology  
Vishu Shah  
Wiley Interscience
- Caracterización Físicoquímica de Polímeros  
A. Sanchez  
ed. Limusa, 1994.
- Physics of Plastics  
A. W. Briley, B. Haworth, J. Batchelor  
Hanser Publishers, 1992.
- Physical Properties of Polymers  
F. Bueche  
Interscience publishers, 1962
- Mechanical Properties of Polymers and Composites  
L. E. Ielsen, R.F. Landel  
Marcel Dekker Inc. 1994

**PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS**

(42 HORAS)

**OBJETIVO**

Conocer sobre los procesos más importantes utilizados en la manufactura de artículos plásticos, así como el funcionamiento de los equipos de extrusión e inyección entre otros.

**ALCANCE**

- Entender de las generalidades de los procesos de extrusión, inyección y mezclado. Entender de las variables del material (peso molecular y distribución de pesos moleculares, linealidad, cristalinidad, aditivos y cargas minerales, etc.) y del proceso en sí (velocidad de flujo, temperatura, características de la máquina, etc.), y del efecto de estas sobre el producto terminado.
- Conocer sobre los diferentes tipos de extrusores, diferentes tipos de inyectoras, diferentes métodos para mezclar “polímero con polímero”, “aditivo con polímero” y “cargas minerales con polímero”.

**CONTENIDO****I. EXTRUSIÓN (21 horas)**

- 1.1 Características generales de extrusión con monohusillo
- 1.2 Mecanismo de flujo
- 1.3 Tipos de husillos
- 1.4 Análisis de flujo en el extrusor
- 1.5 Análisis de flujo en el dado
- 1.6 Tipos de dados
- 1.7 Inestabilidades en el proceso de extrusión
- 1.8 Eficiencia del extrusor
- 1.9 Características generales de extrusión con doblehusillo
- 1.10 Métodos de fabricación basados en la extrusión
- 1.11 Uso (y limitaciones) de los extrusores mono-husillo en el mezclado
- 1.12 Uso de los extrusores doble-husillo en el mezclado
- 1.13 Extrusión Reactiva
- 1.14 Polimerización y copolimerización en masa; funcionalización; degradación controlada

**II. MOLDEO POR INYECCIÓN (21 horas)**

- 2.1 Introducción y consideraciones básicas
- 2.2 Detalles del proceso
- 2.3 Procesamiento de polímeros amorfos vs polímeros semicristalinos
- 2.4 Los ciclos del proceso de inyección
- 2.5 Tipos de moldes
- 2.6 Análisis de flujo en el molde
- 2.7 Defectos posibles en piezas moldeadas
- 2.8 Orientación-encogimiento-propiedades
- 2.9 Variantes en el proceso de inyección co-inyección; “gas assisted”; etc.

### **MÉTODO DE ENSEÑANZA**

Exposición frente a grupo, planteamiento y solución de problemas, exposición de diversos temas por parte de los estudiantes y tareas.

### **MÉTODO DE EVALUACIÓN**

Tareas (20% del total),

[Exámenes; los parciales y el final (80% del total)]

De estos 80 puntos porcentuales; 65% sería de los parciales y 35% del final.

### **BIBLIOGRAFÍA**

1. **Extrusión de Plásticos: Principios Básicos**  
L.F.Ramos-deValle  
Limusa
2. **Moldeo por Inyección de Termoplásticos**  
S.Sánchez, I.Yañez y O.Rodríguez  
Limusa
3. **Polymer Processing**  
McKelvey, James M.  
John Wiley and Sons
4. **Mixing in Polymer Processing**  
Chris Rauwendaal  
Marcel Dekker
5. **Reactive Extrusion: Principles and Practice**  
M. Xantos  
Hanser Publishers
6. **Fundamentals of Reaction Injection Molding**  
Macosko, C.  
Hanser. Oxford U. Pr.
7. **Polymer Extrusion**  
Chris Rauwendaal  
Hanser Publications
8. **Injection Molding Technology and Fundamentals**  
Kamal MR, Isayev A.I. Hanser 2009
9. **Extrusion cooking technologies and applications**  
Robin Guy,  
CRC Press; London New York Washington 2001
10. **Handbook of polymer synthesis characterization and processing**  
E. Saldivar, E. Vivaldo  
Chapter 22: Polymer Rheology and Chapter 23: Principles of Polymer Processing  
Wiley 2013

### **CONOCIMIENTOS MÍNIMOS INDISPENSABLES**

- Cálculo Diferencial e Integral
- Fenómenos de Transporte o Mecánica de Fluidos

**QUÍMICA DE POLÍMEROS II**

(42 HORAS)

**OBJETIVOS**

- Que el estudiante adquiera los conocimientos teóricos fundamentales sobre la síntesis y modificación química de polímeros y su aplicación en la investigación y la industria.
- Que el estudiante desarrolle las habilidades requeridas para comprender y aplicar la información reportada en la literatura especializada en el tema sobre los dos principales tipos de polimerizaciones iónicas y de coordinación.

**ALCANCES**

- Al finalizar el curso, el alumno conocerá a detalle las reacciones de polimerización, iónicas que comprenden iniciaciones catiónicas y aniónicas y polimerizaciones por coordinación (Ziegler-Natta) así como sus principales mecanismos de polimerización, las características químicas y fisicoquímicas de los polímeros obtenidos, así como la cinética de las correspondientes reacciones.
- Podrá distinguir además los diferentes métodos de polimerización y su relación con los diferentes tipos de reacciones de polimerización.
- Tendrá un criterio y una visión más amplia sobre los parámetros de polimerización más importantes a controlar en los diferentes métodos y reacciones de polimerización, como son la velocidad de reacción, el tipo de monómeros, el peso molecular y las características estructurales de un polímero.

**CONTENIDO****I.- GENERALIDADES (3 horas)****II.- POLIMERIZACIÓN IÓNICA (22 horas)**

- 2.1 Comparación de las polimerizaciones radicálicas y iónicas
- 2.2 Polimerización catiónica del doble enlace C=C
- 2.3 Polimerización Aniónica del doble enlace C=C

**III.- POLIMERIZACIONES ZIEGLER-NATTA (10 horas)**

- 3.1 Historia.
- 3.2 Proceso desarrollado por ICI para LDPE.
- 3.3 Trabajos de Ziegler y Natta. Comercialización de PE linear y de PP.
- 3.4 Catalizadores soportados. Procesos Phillips e Indiana.
- 3.5 Generaciones posteriores de ZN.
- 3.6 Principios teóricos de la polimerización ZN.
- 3.7 Sistemas catalíticos y productos comercializados.
- 3.8 Procesos industriales contemporáneos y productividad a nivel mundial.

**IV.- MÉTODOS DE POLIMERIZACIÓN IÓNICA Y POR COORDINACIÓN (3 horas)**

- 4.1 Polimerización en masa
- 4.2 Polimerización en solución
- 4.3 Polimerización en suspensión
- 4.4 Polimerización en fase gaseosa

**V. PROCESOS INDUSTRIALES PARA LA OBTENCIÓN DE POLÍMEROS IÓNICOS Y DE COORDINACIÓN (4 horas)**

Realizar investigación bibliográfica sobre un tipo de polímero obtenido por polimerización catiónica, aniónica o de coordinación por cada alumno, y preparar presentación de 20-30 minutos que contenga:

- 1.- Generalidades
- 2.- Aplicaciones principales
- 3- Métodos industriales de obtención
- 4- Aspectos relevantes
- 5.- Conclusiones

**MÉTODO DE ENSEÑANZA**

- Exposición oral con diapositivas o acetatos, motivando la participación de los alumnos mediante la técnica de preguntas dirigidas sobre cada tema.
- Resolución de Problemas de cada tema
- Investigación bibliográfica, preparación y presentación de exposiciones orales sobre un polímero específico por alumno.

**MÉTODO DE EVALUACIÓN**

- Tres exámenes parciales (promedio)
- Tareas a desarrollar por cada tema, principalmente resolución de problemas, que serán requisito para la presentación de cada examen parcial.
- En caso de no obtener el promedio mínimo de 8.0 se aplicará el examen final

**BIBLIOGRAFÍA**

Texto: Principles of Polymerization

George Odian

Third Ed. John Wiley & Sons, 1991

Textos Complementarios:

Introduction to Polymers

Second Ed.

R.J. Young and P.A. Lovell

Chaopman and Hall 1991

Initiation of Polymerization

Edited by Federick E. Bailey Jr.

ACS Symposium Seriel 212

American Chemical Society

Contemporary Polymer Chemistry

Harry R. Allcock/ Frederick W. Lampe

Pprentice Hall 1990 second ed.

Polymer Synthesis

Paul Rempp and Edward W. Merrill

Hueting and Wepf Verlag Basee 1986



Ionic Polymerization and Living Polymers  
Michael Szwarc, Marcel Van Beylen  
Chapman and may 1993

**CONOCIMIENTOS MÍNIMOS INDISPENSABLES**

- Fundamentos de Química Orgánica
- Fundamentos de Fisicoquímica
- Química General
- Fundamentos Matemáticos (Álgebra, Cálculo diferencial e integral)

**CARACTERIZACIÓN DE POLÍMEROS II**

(42 HORAS)

**OBJETIVO**

Capacitar al alumno para seleccionar e interpretar los resultados de las técnicas de análisis para la caracterización química de polímeros.

**CONTENIDO****I.- ANÁLISIS ELEMENTAL**

- 1.1 Introducción
- 1.2 Determinación de la fórmula condensada de compuestos orgánicos

**II.- ESPECTROSCOPIA INFRA-ROJO**

- 2.1 Introducción
- 2.2 Instrumentación
- 2.3 Absorción IR de grupos funcionales característicos en moléculas orgánicas
- 2.4 Interpretación de espectros
- 2.5 Procesamiento de espectros digitalizados (suma, resta y multiplicación de espectros)
- 2.6 Análisis cuantitativo
- 2.7 Composición de mezclas de polímeros
- 2.8 Determinación de características estructurales

**III.- ESPECTROSCOPIA DE RESONANCIA MAGNÉTICA DE PROTÓN (<sup>1</sup>H NMR)**

- 3.1 Introducción
- 3.2 Desplazamientos químicos
- 3.3 Acoplamiento espín simple (Sistemas AMX, ABX y ABC)
- 3.4 Protones en heteroátomos
- 3.5 Desplazamientos de protones magnéticamente equivalentes
- 3.6 Interpretación de espectros
- 3.7 Determinación de grupos terminales en la estructura del polímero
- 3.8 Interpretación de espectros de polímeros comunes
- 3.9 Determinación de relación de monómeros en copolímeros

**IV.- ESPECTROSCOPIA DE RESONANCIA MAGNÉTICA DE CARBONO (<sup>13</sup>C NMR)**

- 4.1 Introducción
- 4.2 Desplazamientos químicos
- 4.3 Acoplamiento espín
- 4.4 Interpretación de espectros
- 4.5 Determinación de tacticidad
- 4.6 Determinación de ramificaciones de polímeros
- 4.7 Interacciones de <sup>13</sup>C con otros núcleos en polímeros

**V.- ESPECTROSCOPIA DE MASAS**

- 5.1 Introducción
- 5.2 Determinación de la fórmula molecular

- 5.3 Patrones de fragmentación
- 5.4 Rearreglos durante la fragmentación
- 5.5 Interpretación de espectros

#### **BIBLIOGRAFÍA**

- Spectrometric Identification of Organic Compounds  
R.M. Silverstein, G.C. Bassler and T.C. Morrill  
5th. Edition  
John Wiley and Sons
- Spectroscopic Techniques for Organics Chemists  
James W. Cooper  
John Wiley and Sons
- Espectroscopía Infrarroja  
Robert T. Conley  
Alhambra
- Interpretation of Mass Spectra  
4th Edition  
Fred W. McLafferty/ Frantisek Turecek  
University Science Books
- Organic Structures from Spectra  
S. Sternhell / J.R. Kalman  
John Wiley and Sons
- Gas Chromatography  
Orion Edwin Schupp III  
Interscience Publishers
- Polymer Spectroscopy  
Allan H. Fawcett  
John Wiley and Sons 1996
- Spectrometric Identification of Organic Compounds  
5<sup>th</sup>. Edition  
Silverstein, Bassler, Morrill  
John Wiley and Sons 1991

**POLIMERIZACIÓN EN MEDIOS DISPERSOS ACUOSOS**

(42 HORAS)

**OBJETIVOS**

- Que el estudiante comprenda los fundamentos en los cuales se basan los procesos de polimerización heterogénea en fase continua acuosa y la fenomenología involucrada, así como las variables que determinan la cinética de estos procesos y las propiedades del producto.
- Que el estudiante desarrolle la capacidad para buscar, analizar y sintetizar la información que le permita resolver problemas de polimerizaciones efectuadas en medios dispersos acuosos.

**ALCANCE**

Que el estudiante adquiera los conocimientos básicos de cinética química y físico-química relacionados con las polimerizaciones en emulsión, suspensión, miniemulsión, microemulsión y micelar.

**CONTENIDO****I. INTRODUCCIÓN (3 h)**

- 1.1 Objetivos
- 1.2 Importancia
- 1.3 Contenido general del curso.
- 1.4 Diferencias entre los métodos de polimerización heterogénea
- 1.5 Principales componentes de las polimerizaciones heterogéneas

**II. FUNDAMENTOS DE FÍSICOQUÍMICA DE COLOIDES (4.5 h)**

- 2.1 Tensoactivos
- 2.2 Ecuación de Smoluchowski
- 2.3 Factor de estabilidad de Fuch
- 2.4 Energía potencial repulsiva
- 2.5 Energía potencial atractiva
- 2.6 Curvas de energía potencial neta

**III. EMULSIÓN (17 h)**

- 3.1 Cinética
  - Intervalos I, II y III
  - Mecanismos de nucleación
  - Distribución de tamaño de partícula
  - Coeficientes cinéticos
  - Rapidez de polimerización
  - Distribución de pesos moleculares
  - Efecto de la velocidad de agitación
- 3.2 Polimerización en régimen semi-continuo y continuo

**IV. SUSPENSIÓN (6.0 h)**

- 4.1 Generalidades y aplicaciones
- 4.2 Reparto del monómero y cinética
- 4.3 Agentes de suspensión y mecanismo de acción

- 4.4 Distribución de tamaños de partícula
  - Fenómenos de ruptura-coalescencia
  - Ecuaciones de balance de población

#### V. MINIEMULSIÓN (5 h)

- 5.1 Concepto de miniemulsión
- 5.2 Formación de miniemulsiones
- 5.3 Miniemulsión vs. emulsión y microemulsión
- 5.4 Mecanismos de nucleación y crecimiento de partículas
- 5.5 Velocidad de polimerización
- 5.6 Distribución de pesos moleculares
- 5.7 Aplicaciones

#### VI. MICROEMULSIÓN (5 h)

- 6.1 Concepto de microemulsión
- 6.2 Estructura y diagrama de fases
- 6.3 Microemulsión vs. emulsión y miniemulsión
- 6.4 Mecanismos de nucleación y crecimiento de partículas
- 6.5 Velocidad de polimerización
- 6.6 Efecto sobre la distribución de pesos moleculares
- 6.7 Operación en régimen semicontinuo
- 6.8 Aplicaciones

#### VII. MICELAR (1.5 h)

- 7.1 Antecedentes
- 7.2 Polimerización micelar
- 7.3 Número de hidrófobos por micela ( $N_H$ )
- 7.4 Propiedades reológicas

#### MÉTODO DE ENSEÑANZA

Exposición del profesor (utilizando presentaciones Power Point cuando sea conveniente). Lectura de artículos (como tareas) y discusión en clase de los mismos.

#### MÉTODO DE EVALUACIÓN

El curso se evaluará de manera continua a través de tareas y tres exámenes parciales. El valor de cada contribución a la evaluación final será como sigue:

Tareas: 25%

Exámenes parciales: 75%

#### BIBLIOGRAFÍA

1. P. A. Lovell y M. S. El-Aasser, *Emulsion Polymerization and Emulsion Polymers*, John Wiley & Sons, Reino Unido, 1997.
2. R. G. Gilbert, *Emulsion Polymerisation: A Mechanistic Approach*, R. H. Ottewill y R. L. Rowell Editores, Academic Press, Londres, 1995.
3. D. C. Backley, *Emulsion Polymerization, Theory and Practice*, Applied Science Publishers, Londres, 1975.
4. G. Odian, *Principles of Polymerization, Fourth Edition*, Capítulo 4 "Emulsion Polymerization", John Wiley & Sons, Nueva Jersey, 2004.

5. P. C. Hiemenz y R. Rajagopalan, *Principles of Colloid and Surface Chemistry, Third Edition*, Marcel Dekker, Nueva York, 1997.
6. W. Adamson y A. P. Gast, *Physical Chemistry of Surfaces, Sixth Edition*, John Wiley & Sons, Nueva York, 1997.
7. N. A. Dotson, R. Galván, R.L. Laurence, M. Tirrel, *Polymerization Process Modeling*, VCH, New York, 1996.
8. J.M. Asua, *Miniemulsion Polymerization*, Prog. Polym. Sci. 2002; 27: 1283-346
9. Candau F. In: Kumar P, Mittal KL, editors. Handbook of microemulsion science and technology. New York: Marcel Dekker: 1999.

#### **CONOCIMIENTOS MÍNIMOS INDISPENSABLES**

- Química: Polimerización vía radicales libres incluyendo copolimerización.
- Matemáticas I: Solución de ecuaciones diferenciales
- Físico-Química: termodinámica de soluciones poliméricas.

**INGENIERÍA DE REACCIONES DE POLIMERIZACIÓN**  
(42 HORAS)**OBJETIVO**

Que el alumno adquiera los fundamentos, conceptos y habilidades para entender el diseño, operación y control de reactores de polimerización

**ALCANCE**

- Que el alumno entienda los problemas y fundamentos para el diseño, operación y control de reactores de polimerización
- Que el alumno adquiera las herramientas matemáticas para resolver los problemas de reactores de polimerización y que desarrolle la capacidad de relacionar los resultados matemáticos con los conceptos físicos.
- Que el alumno entienda la descripción cualitativa y cuantitativa de reactores heterogéneos y de nuevos procesos de polimerización
- Que el alumno entienda cómo los aspectos de diseño y operación del reactor afectan las características del polímero
- Que el alumno entienda los efectos de mezclado en reactores de polimerización
- Que el alumno adquiera las herramientas básicas y entienda los aspectos fundamentales de) estabilidad, dinámica y control en reactores de polimerización

**CONTENIDO****I. INTRODUCCIÓN (6 horas)**

- 1.1 Revisión de conceptos generales, peculiaridades de reacciones de polimerización.
- 1.2 Mecanismos de polimerización.
- 1.3 Distribución de pesos moleculares (DPM).
- 1.4 Cinética de polimerización: Radicales libres, aniónica y etapas.

**II. TÉCNICAS DE MODELAMIENTO MATEMÁTICO Y SOLUCIÓN DE MODELOS (15 horas)**

- 2.1 Desarrollo de modelos matemáticos para reactores: metodología general.
- 2.2 Cinética de polimerización: Radicales libres, aniónica y etapas.
- 2.3 Soluciones numéricas: integración numérica y métodos numéricos, aproximación continua de la DPM.
- 2.4 Métodos analíticos de solución:
  - 2.4.1 Solución secuencial: casos aniónica y radicales libres lineales
  - 2.4.2 Funciones generadoras de momentos y transformada Z: aplicaciones a polimerización aniónica y radicales libres.
- 2.5 Técnica de momentos. Aplicación a radicales libres.
- 2.6 Copolimerización.
- 2.7 Método del pseudo-homopolímero.
- 2.8 Análisis de aproximaciones comunes: QSSA, LCH, quasi-equilibrio.
- 2.9 Métodos de balances de población.
- 2.10 Análisis detallado de un caso: Polimerización por radicales libres vivientes (nitroxidos).

**III. POLIMERIZACIÓN HETEROGÉNEA (8 horas)**

- 3.1 Introducción.
- 3.2 Polimerización en suspensión.
  - 3.2.1 Descripción
  - 3.2.2 Cinética
  - 3.2.3 Distribución de tamaños de partícula y balances de población
- 3.3 Polimerización en emulsión
- 3.4 Descripción y teoría de Smith-Ewart
- 3.5 Termodinámica de reparto del monómero
- 3.6 Distribuciones de pesos moleculares y de tamaños de partícula
- 3.7 Refinaciones de la teoría básica y modelos matemáticos

**IV. ASPECTOS DE LA OPERACIÓN DEL REACTOR. INFLUENCIA DEL TIPO DE REACTOR Y****OPERACIÓN SOBRE LA ESTRUCTURA MOLECULAR DEL POLÍMERO (13 horas)**

- 4.1 Distribución de tiempos de residencia (DTR), reactores ideales: (CSTR, PFR y series de CSTR's).
- 4.2 DTR reactores no ideales.
- 4.3 Estabilidad de reactores.
- 4.4 Multiplicidades y bifurcaciones
- 4.5 Principios de dinámica y control de reactores
- 4.6 Aplicaciones de control e instrumentación a reactores de polimerización
- 4.7 Selección de reactores.
- 4.8 Influencia de la viscosidad en la transferencia de calor.

**MÉTODO DE EVALUACIÓN**

Tareas: 25 %

Exámenes parciales: 45 %

Examen final: 30 %

**BIBLIOGRAFÍA**

1. N. A. Dotson, R. Galván, R. L. Laurence, M. Tirrell, Polymerization Process Modeling, VCH Publishers, Inc., 1996.
2. J. H. Biesenberger, J. Sebastian, Principles of Polymerization Engineering, John Wiley and Sons, 1982.
3. E. J. Schork, P. P. Deshpande y K. W. Leffew, Control of Polymerization Reactors, Marcel Dekker, Inc., 1993.
4. W. H. Ray, On the Mathematical Modeling of Polymerization Reactors, *J. Macromol. Sci. Revs. Macromol Chem.* **C8(1)**, 1-56 (1972).
5. B. Ogunnaike, W. H. Ray, Process Dynamics, Modeling and Control, Oxford University Press, NY, 1994.
6. D. S. Achilias, C. Kipparisides, Toward the Development of a General Framework for Modeling Molecular Weight and Compositional Changes in Free-Radical Copolymerization Reactions *J. Macromol. Sci. Revs. Macromol. Chem. Phys.* **C32(2)**, 183-234 (1992).
7. J. Alvarez, J. Alvarez, M. Hernández, A Population Balance Approach for the Description of Particle Size Distribution in Suspension Polymerization Reactors, *Chem. Eng. Sci.* **49(1)**, 99-113 (1994).
8. E. Saldívar, P. Dafniotis, W. H. Ray, Mathematical Modeling of Emulsion Copolymerization Reactors. I. Model Formulation and Application to Reactors Operating with Micellar Nucleation. *J. Macromol. Sci. Revs. Macromol. Chem. Phys.* **C38(2)**, 207-325 (1998).



9. Carlos Guerrero-Sánchez, Enrique Saldívar, Martín Hernández, Arturo Jiménez, A practical, systematic approach for the scaling-up and modeling of industrial copolymerization reactors, *Polym. React. Eng.* **Vol 11, No. 3**, 457-507 (2003)

**CONOCIMIENTOS MÍNIMOS INDISPENSABLES**

- Ecuaciones diferenciales
- Ingeniería de reactores químicos
- Fenómenos de transporte
- Química de polímeros

**TEMAS SELECTOS DE TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS**

(42 HORAS)

**OBJETIVOS**

- Que el estudiante sea capaz de identificar y conocer otros tipos de procesos de transformación de plásticos, entender su funcionamiento y el efecto de las variables del proceso en las propiedades del sistema polimérico, así como las diferentes aplicaciones en las cuales se utilizan estos procesos.
- Que el estudiante sea capaz de identificar y conocer los diferentes tipos de aditivos y entender su mecanismo de acción, así como las diferentes aplicaciones en las cuales están involucrados éstos.
- Que adquiera los conocimientos para resolver problemas en el formulado y procesamiento de un sistema plástico para mejorar las propiedades de un producto

**CONTENIDO****I.- TECNOLOGÍA DE MEZCLADO (15 h)**

- 1.1 Introducción
- 1.2 Características del mezclado
- 1.3 Cinemática de crecimiento de interfase
- 1.4 Aplicaciones de deformación
- 1.5 Medición del mezclado
- 1.6 Dispersión de sólidos en un líquido
- 1.7 Sistema líquido-líquido
- 1.8 Aspecto termodinámico
- 1.9 Equipos de mezclado
  - Mono-Husillo
  - Doble-Husillo

**II.- CONCENTRADOS (MASTERBATCHES) Y COMPUESTOS (13.5 h)**

- 2.1 Generalidades
- 2.2 Definición y clasificación de aditivos para polímeros
- 2.3 Métodos de incorporación
- 2.4 Tipos de concentrados
  - Concentrados a base de aditivos sólidos *que permanecen sólidos*
  - Concentrados a base de aditivos sólidos *que funden durante el proceso*;
  - Concentrados a base de aditivos líquidos
- 2.5 Aditivos que se agregan para proteger al polímero de agentes exógenos; estabilizadores térmicos, antioxidantes, anti UV, anti ozono, anti hongos, etc.
  - Mecanismos de acción y funcionamiento; generalidades
- 2.6 Aditivos que se agregan para “reforzar” alguna propiedad física o mecánica del polímero; “cargas” orgánicas (e.g. negro e humo, celulosa, etc.), “cargas” inorgánicas (carbonato de calcio, dióxido de titanio, etc.)
  - Mecanismos de interacción y reforzamiento, generalidades, efectos del tipo, forma, tamaño, concentración e interacción carga-polímero, uso de agentes de acoplamiento
- 2.7 Otros aditivos (ayudas de proceso, modificadores de impacto, retardantes de flama, colorantes y pigmentos, agentes antiestáticos, agentes espumantes,

agentes de nucleación, agentes de curado, etc.)

- Mecanismos de acción

### III.- PROCESADO REACTIVO (7.5 h)

- 3.1 Extrusión Reactiva
- 3.2 Polimerización en masa
- 3.3 Formación de copolímeros
- 3.4 Funcionalización de polímeros
- 3.5 Reacciones de injerto
- 3.6 Degradación controlada
- 3.7 Moldeo por inyección reactiva
- 3.8 Aplicaciones de la tecnología de procesado reactivo

### IV.- OTROS PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN (6 h)

- 6.1 Moldeo por Compresión; Moldeo por Soplado (injection - blow molding & extrusion - blow molding) ; Termoformado; Rotomoldeo; Calandrado; Espumado; Bi-orientación

### MÉTODO DE ENSEÑANZA

Exposición frente al grupo, planteamiento y solución de problemas, exposición de diversos temas por parte de los estudiantes y tareas.

### MÉTODO DE EVALUACIÓN

Tareas (15% del total)

Exámenes (Parciales y final 85% del total)

De estos 85 puntos porcentuales: 65% de los parciales y 35% del final

### BIBLIOGRAFÍA

- Principles of Polymer Processing  
Zehev Tadmor, Costas G. Gogos  
2<sup>nd</sup> Ed. John Wiley & Sons, 2013
- Mixing and Compounding of Polymer. Theory and Practice  
Manas-Zloczower/Z. Tadmor  
Hanser Publishers
- Extensional Flows in Polymer Processing: Effects on Mixing and Material Performance  
Sidney O Carson  
Case Western Reserve University, 2016.
- Reactive Extrusion: Principles and Practice  
M. Xantos  
Hanser Publishers
- Fundamentals of Reaction Injection Molding  
Macosko, C.  
Hanser. Oxford U. Pr.
- Plastics Additives Handbook  
Hans Zweifel, Ralph D. Maier, Michael Schiller  
Hanser Publishers 2009.
- Polymer Degradation. Principles and Practical Applications



W. Schnabel

Hanser International 1981

- Thermoplastic Polymer Additives. Theory and Practice  
J.T. Lutz  
New York 1989
- Additives for Plastics. Vol. 1y 2  
R. Seymour  
Academic Press 1978
- Functional Additives for Plastics  
Edited by P.W. Dufton  
Rapra Technology 1994

#### **CONOCIMIENTOS MÍNIMOS INDISPENSABLES**

- Química de polímeros
- Reología
- Procesos de Transformación I
- Propiedades Físicas de polímeros.

**MORFOLOGÍA Y TRANSFORMACIONES DE FASE EN POLÍMEROS**  
(42 HORAS)**OBJETIVO**

Que el estudiante entienda desde un punto de vista teórico profundo los principios básicos que rigen a las transformaciones de fase en macromoléculas, particularmente en polímeros sintéticos, y su impacto en la morfología. Asimismo, se busca que el estudiante sea capaz de reconocer las variables moleculares y de proceso que gobiernan las transformaciones de fase y por ende a la morfología en polímeros semicristalinos.

**ALCANCE**

- Al finalizar el curso, el alumno conocerá a detalle los principales mecanismos a nivel molecular de las transiciones de fase, como son la transición vítrea, la cristalización, y la fusión, en polímeros amorfos y semicristalinos, adquiriendo un buen dominio en las variables que gobiernan a estos mecanismos y transiciones.
- Además, tendrá conocimientos básicos y avanzados del efecto de las variables moleculares y de proceso en las transición vítrea, cristalización y fusión de polímeros, así como en su morfología.

**CONTENIDO****I. INTRODUCCIÓN**

- 1.1 Conceptos Generales
  - 1.1.1 Definiciones
  - 1.1.2 Estados de la materia
    - 1.1.2.1 Tradicionales
    - 1.1.2.2 No tradicionales
    - 1.1.2.3 Intermedios (mesofases)
  - 1.1.3 Fases
  - 1.1.4 Transformaciones de fase
- 1.2 Descripción microscópica y microscópica de la materia
- 1.3 Relación entre la descripción microscópica y microscópica de la materia
- 1.4 Termodinámica de las transiciones de fase
  - 1.4.1 Definición.
  - 1.4.2 Equilibrio de fases
  - 1.4.3 Regla de las fases
  - 1.4.4 Ecuación de Clausius-Clapeyron
  - 1.4.5 Diagramas de fase en moléculas pequeñas y macromoléculas

**II. EL ESTADO VÍTREO (AMORFO) Y LA TRANSICIÓN VÍTREA**

- 2.1 El estado amorfo
  - 2.1.1 Polímeros amorfos: sólidos y líquidos
  - 2.1.2 Interacciones de corto y largo alcance
  - 2.1.3 Propiedades generales
  - 2.1.4 Conformación de las cadenas poliméricas
- 2.2 Naturaleza molecular de la temperatura de transición vítrea
  - 2.2.1 Teorías de Tg
    - 2.2.1.1 Termodinámicas

- 2.2.1.2 Cinéticas
- 2.2.1.3 Volumen libre
- 2.2.2 Variables que afectan a Tg
- 2.2.3 Determinación experimental de Tg

### III. EL ESTADO CRISTALINO (ORDENADO) Y LA CRISTALIZACIÓN

- 3.1 El estado cristalino
  - 3.1.1 Cristales únicos de polímeros
  - 3.1.2 Morfología de moléculas pequeñas y de cristales poliméricos
  - 3.1.3 Variables que afectan a la morfología de cristales poliméricos
- 3.2 Nucleación
  - 3.2.1 Mecanismos de nucleación de moléculas pequeñas
  - 3.2.2 Mecanismos de nucleación de macromoléculas
    - 3.2.2.1 Núcleos tipo paquete
    - 3.2.2.2 Núcleos de cadena doblada
  - 3.2.3 Variables que afectan a la nucleación de macromoléculas
  - 3.2.4 Agentes nucleantes experimentales
    - 3.2.4.1 Típicos
    - 3.2.4.2 Nanoestructurados
- 3.3 Cristalización
  - 3.3.1 Teorías de cristalización de moléculas pequeñas
  - 3.3.2 Teorías y modelos de cristalización de macromoléculas
    - 3.3.2.1 Teorías de cristalización molecular
      - Teoría de nucleación secundaria
      - Teoría de superficie rugosa
      - Correlaciones y evidencias experimentales
    - 3.3.2.2 Modelos de cristalización de la masa
      - Modelo de Avrami
      - Modelo de Ozawa
      - Correlaciones y evidencias experimentales
  - 3.3.3 Variables que afectan a la cristalización de macromoléculas

### IV. EL ESTADO FUNDIDO (AMORFO) Y LA FUSIÓN

- 4.1 El estado fundido
  - 4.1.1 Calor de fusión de moléculas pequeñas
  - 4.1.2 Determinación experimental del calor de fusión
- 4.2 Teorías de fusión
  - 4.2.1 Modelos simples
  - 4.2.2 Modelos complejos
  - 4.2.3 Modelos morfológicos
  - 4.2.4 Evidencias experimentales
- 4.3 Variables que afectan al calor de fusión de macromoléculas

### BIBLIOGRAFÍA

1. "Introduction to physical polymer science", 4<sup>th</sup> Ed. Sperling, L. H **2006**, Wiley-Interscience.
2. "Polymer physics" Gedde, U. W. **2001**, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands
3. "The physics of polymers" Strobl, G. **1997**, 2<sup>nd</sup> Edition, Springer, Germany
4. "Introduction to polymers", Young, R. J.; Lovell, P. A. **1991**, 2<sup>nd</sup> Edition, CRC Press, USA
5. "Thermal analysis", Wunderlich, B. **1990**, Academic Press, USA
6. "Thermal analysis of polymers Fundamentals and Applications" Joseph D. Menczel and R. Bruce Prime, **2009**, John Wiley & Sons, Inc.
7. "Glass formation and glassy behavior" McKenna, G. In "Comprehensive Polymer Science, Vol. 1, Polymer characterization" Vol. Eds. Booth, C.; Price, C., Editorial Board Allen, G.; Bevington, J. C. Pergamon Press
8. "Crystallization of polymers. Vol. 1. Equilibrium concepts", Mandelkern, L. **2002**, 2<sup>nd</sup> Edition, Cambridge University Press, USA
9. "Crystallization of polymers. Vol. 2. Kinetics and mechanisms", Mandelkern, L. **2004**, 2<sup>nd</sup> Edition, Cambridge University Press, USA
10. "Polymer crystallization. The development of crystalline order in thermoplastic polymers", Schultz, J. M. **2001**, American Chemical Society, Oxford University Press, USA
11. "Polymer crystallization: observations, concepts and interpretations" *Lecture Notes in Polymer Physics*, **2003**, Vol. 606. Vol. Eds. Sommer, J.-U.; Reiter, G. Springer-Verlag, Germany
12. "Nucleation in polymer crystallization" Price, F. P. In "Nucleation. Chapter 8" Ed. Zettlemayer, A. C., **1969**, Marcel Dekker, New York
13. "The rate of crystallization of linear polymers with chain folding" Hoffman, J. D.; Davis, G. T.; Lauritzen, J. I. Jr. In "Treatise on solid state chemistry, Vol. 3. Crystalline and non-crystalline solids. Chapter 7" Ed. Hannay, N. B. **1976**, Plenum, USA
14. "Morphology of Polymers" Keller, A. *Pure and Applied Chemistry* **1992**, Vol. 64, pp. 193-204
15. "Polymer crystallization theories" Armitsteadt, K.; Goldbeck-Wood, G. *Advances in Polymer Science* **1992**, Vol. 100, pp. 219-312

**DISEÑO DE MATERIALES POLIMÉRICOS AVANZADOS**

(42 HORAS)

**OBJETIVOS**

- Que el estudiante sea capaz de entender los fundamentos teóricos involucrados en el desarrollo de un material polimérico multifase. Así mismo, conocerá las diferentes técnicas de procesamiento y las principales aplicaciones de estos sistemas.
- El estudiante entenderá sobre el nuevo tema de la nanotecnología e identificará el efecto del uso de materiales de tamaño nanométrico sobre el desempeño físico-mecánico de nanocompuestos poliméricos. Establecerá los principales factores que intervienen para lograr una buena dispersión del material nanométrico en una matriz polimérica. Conocerá su preparación, métodos de caracterización y principales aplicaciones.

**CONTENIDO****I.- MEZCLAS Y ALEACIONES (14 h)**

- 1.1 Generalidades
  - 1.1.1 Introducción al desarrollo de mezclas y aleaciones de polímeros
  - 1.1.2 Tipos generales de mezclas de polímeros
- 1.2 Compatibilización de Mezclas
  - 1.2.1 Miscibilidad polímero-polímero
    - Principios generales de equilibrio de fases
    - Teoría de mezclas de líquidos
    - Mecanismo de separación de fase
    - Determinación de miscibilidad polímero-polímero
  - 1.2.2 Compatibilidad polímero-polímero
    - Métodos de compatibilización
- 1.3. Reología de Mezclas
  - 1.3.1 Reología de Mezclas/aleaciones de polímeros
  - 1.3.2 Flujo Newtoniano de mezclas de polímeros
  - 1.3.3 Efecto de parámetros reológicos sobre la morfología
- 1.4 Determinación de la Morfología en las Mezclas
- 1.5 Propiedades Físicas y Mecánicas de Mezclas

**II.- INTRODUCCIÓN A LA NANOTECNOLOGÍA (6 h)**

- 2.1 Entendiendo el tamaño; qué es “nano”?
- 2.2 Definición y clasificación de nanotecnología; áreas de desarrollo.
- 2.3 Aplicaciones de la nanotecnología
  - 2.3.1 Celdas de combustible
  - 2.3.2 Encapsulación
  - 2.3.3 Nanopartículas
  - 2.3.4 Nanocompositos
  - 2.3.5 Química superficial

### III.- MÉTODOS DE PREPARACIÓN Y SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS Y DE NANOESTRUCTURAS (6 h)

- 3.1 Nanopartículas orgánicas e inorgánicas
- 3.2 Nanopartículas de carbón
- 3.3 Nanopartículas de sales u óxidos, como; arcillas, óxido de titanio, etc.
- 3.4 Nanopartículas metálicas
- 3.5 Nanoestructuras especiales
  - 3.5.1 Estructuras core-shell
  - 3.5.2 Híbridos orgánicos-inorgánicos

### IV.- MATERIALES POLIMÉRICOS NANOESTRUCTURADOS (6 h)

- 4.1 Tipos de nanocompositos poliméricos
- 4.2 Teoría de acción de las nanopartículas
- 4.3 Mecanismos de dispersión de las nanopartículas

### V.- CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES DE NANOMATERIALES (6 h)

- 5.1 Introducción
- 5.2 Propiedades físicas y mecánicas de nanocompuestos
- 5.3 Caracterización estructural
- 5.4 Caracterización química

### VI.- APLICACIÓN DE NANOMATERIALES (3 h)

- 6.1 Ejemplos de nanocompuestos con diferentes polímeros
- 6.2 Aplicaciones de nanocompuestos poliméricos

### MÉTODO DE ENSEÑANZA

Exposición frente al grupo, planteamiento y solución de problemas, exposición de diversos temas por parte de los estudiantes y tareas.

### MÉTODO DE EVALUACIÓN

Tareas (15% del total)

Exámenes (Parciales y final 85% del total)

De estos 85 puntos porcentuales: 65% de los parciales y 35% del final

### BIBLIOGRAFIA

- **Nanostructures & Nanomaterials: Synthesis, Properties and Applications.**  
Guozhong Cao, 2004  
Imperial College Press
- **Polymer alloys and blends**  
L. A. Utracki, 1989  
Hanser
- **Polymer Nanocomposites. Processing, Characterization, and Applications**  
Joseph H. Koo- 2010
- **Polymer blends Vols. 1 y 2**  
D. R. Paul and S. Newman, 1978  
Academic Press
- **Handbook of Polymer Synthesis Characterization and Processing.**  
E. Saldivar, E. Vivaldo. Chapter 27: Polymer Blends-2013



- **Polymer blends vols 1 y 2**  
D. R. Paul and C. B. Bucknall, 2000  
John Wiley and Sons, Inc.
- **Nanostructures & Nanomaterials: Synthesis, Properties and Applications.**  
Guozhong Cao, 2004  
Imperial College Press.
- **Characterization of Polymer Blends: Miscibility, Morphology and Interfaces**  
Sabu Thomas, Yves Grohens, P. Jyotishkumar. 2015
- **Introduction to Nanotechnology**  
Charles P. Poole Jr. and Frank J. Owens, 2004  
John Wiley and Sons, Inc.

#### **CONOCIMIENTOS MÍNIMOS INDISPENSABLES**

- Química de polímeros
- Propiedades físicas
- Procesos de transformación

## CIENCIA y TECNOLOGIA DE MATERIALES

Duración: 42 h

### OBJETIVO GENERAL

El objetivo fundamental de la materia es que los alumnos aprendan los principios elementales del origen de las propiedades físicas de los materiales, así como conocer la importancia tecnológica y aplicabilidad de los materiales en función de sus propiedades.

### I. LA ESTRUCTURA DE SÓLIDOS CRISTALINOS

- 1.1 Conceptos fundamentales
- 1.2 Celda unitaria
- 1.3 Redes de Bravais
- 1.4 Volumen y densidad
- 1.5 Direcciones y planos cristalográficos
- 1.6 Materiales cristalinos y no cristalinos (cristales simples, XRD)

### II. DIFUSIÓN

- 2.1 Mecanismos de difusión: sustitucional, intersticial
- 2.2 Difusión en estado estacionario
- 2.3 Difusión no estacionaria

### III. NUCLEACIÓN Y CRECIMIENTO DE CRISTALES

### IV. DEFECTOS ESTRUCTURALES EN SÓLIDOS

- 4.1 Vacancias
- 4.2 Dislocaciones
- 4.3 Fronteras de grano
- 4.4 Fallas de apilamiento

### V. DIAGRAMAS DE FASES

- 5.1 Límites de solubilidad
- 5.2 Fases
- 5.3 Equilibrio
- 5.4 Interpretación

### Bibliografía

1. W. D. Callister. *Materials Science and Engineering: An Introduction* (John Wiley, 1999, 5th Edition)
2. B. D. Cullity and S.R. Stock. *Elements of X-Ray Diffraction* (Prentice Hall, 2001, 3rd Edition)
3. Donald R. Askeland, Pradeep P. Fulay, and Wendelin J. Wright. *The Science and Engineering of Materials* (CL-Engineering, 2010, 6th edition)