

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

POLÍMEROS

Un enfoque constructivista e industrial

Adolfo Eduardo Obaya Valdivia
Yolanda Marina Vargas Rodríguez
Carlos Montaña Osorio
Guadalupe Iveth Vargas Rodríguez
Raúl Javier Revilla Vázquez



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

POLÍMEROS

Un enfoque constructivista e industrial

Adolfo Eduardo Obaya Valdivia
Yolanda Marina Vargas Rodríguez
Carlos Montaña Osorio
Guadalupe Iveth Vargas Rodríguez
Raúl Javier Revilla Vázquez

Noviembre 2020

AGRADECIMIENTO

Este texto se realizó con fondos de la UNAM–DGAPA del Programa de Apoyo a Proyectos para la Innovación y Mejoramiento de la Enseñanza: PAPIIME PE105118 Manual de experimentación en polímeros (enfoque constructivista e industrial).

ÍNDICE

PRÓLOGO	13
GLOSARIO	15
OBJETIVOS GENERALES	17
NORMAS DE TRABAJO EXPERIMENTAL	19
EVALUACIÓN DEL LABORATORIO DE POLÍMEROS	23
ACTIVIDADES EXPERIMENTALES Y UNIDADES TEMÁTICAS	25
REACTIVOS UTILIZADOS EN LAS ACTIVIDADES EXPERIMENTALES	27
CONSTRUCTIVISMO	29
RECOMENDACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES	33
TRATAMIENTO DE PROBLEMAS	35
FISICOQUÍMICA EXPERIMENTAL	39
EVALUACIÓN EN FISICOQUÍMICA EXPERIMENTAL	43
ACTIVIDADES EXPERIMENTALES	45
ACTIVIDAD EXPERIMENTAL 1	47
Introducción a los polímeros, estructura y propiedades físicas	47
INTRODUCCIÓN	47
OBJETIVOS	48
ACTIVIDADES PREVIAS AL EXPERIMENTO	48
MÉTODO EXPERIMENTAL	49
Material, reactivos y equipo	49
Procedimiento experimental	49
DATOS EXPERIMENTALES	51
TRATAMIENTO DE DATOS EXPERIMENTALES Y PUNTOS MÍNIMOS PARA EL INFORME EXPERIMENTAL	55
ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS	55
BIBLIOGRAFÍA	56
BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA	56
CIBERGRAFÍA	57
HOJA DE DATOS PARA EL PROFESOR	58

ACTIVIDAD EXPERIMENTAL 2	63
Elasticidad del hule	63
INTRODUCCIÓN	63
Concepto de hule	63
Vulcanización por azufre	64
Cauchos de uso general: caucho natural; constitución y procedencia	65
Métodos de preparación y tipos comerciales de caucho natural	66
Otros tipos de caucho natural	67
Cauchos sintéticos de uso general	68
Fabricación de algunos artículos de caucho	68
Propiedades mecánicas de los materiales	69
Concepto de esfuerzo-deformación	69
Ensayos de tracción	70
Deformación elástica bajo cargas uniaxiales	71
OBJETIVOS	72
ACTIVIDADES PREVIAS AL EXPERIMENTO	73
MÉTODO EXPERIMENTAL	73
Material, reactivos y equipo	73
Procedimiento experimental	74
DATOS EXPERIMENTALES	75
TRATAMIENTO DE DATOS EXPERIMENTALES Y PUNTOS MÍNIMOS PARA EL INFORME EXPERIMENTAL	75
ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS	76
BIBLIOGRAFÍA	77
HOJA DE DATOS PARA EL PROFESOR	78
 ACTIVIDAD EXPERIMENTAL 3	 79
Viscosidad de soluciones de polímeros y peso molecular viscosimétrico	79
INTRODUCCIÓN	79
¿Cómo se disuelve un polímero?	80

Viscosidad	82
El viscosímetro capilar de Ubbelohde	83
Soluciones diluidas y viscosidad intrínseca	85
La ecuación de Mark-Houwink	87
OBJETIVOS	87
ACTIVIDADES PREVIAS AL EXPERIMENTO	87
MÉTODO EXPERIMENTAL	88
Material, reactivos y equipo	88
Procedimiento experimental	89
DATOS EXPERIMENTALES	90
TRATAMIENTO DE DATOS EXPERIMENTALES Y PUNTOS MÍNIMOS PARA EL INFORME EXPERIMENTAL	91
ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS	91
BIBLIOGRAFÍA	92
HOJA DE DATOS PARA EL PROFESOR	93
ACTIVIDAD EXPERIMENTAL 4	95
Determinación experimental de los enlaces cabeza-cola del alcohol polivinílico, mediante medidas viscosimétricas	95
INTRODUCCIÓN	95
Orígenes de la viscosidad	96
Viscosidad de soluciones de polímeros	96
Degradación del polímero, y viscosidad de las soluciones	99
OBJETIVOS	102
ACTIVIDADES PREVIAS AL EXPERIMENTO	102
MÉTODO EXPERIMENTAL	103
Material, reactivos y equipo	103
Procedimiento experimental	104
DATOS EXPERIMENTALES	106
TRATAMIENTO DE DATOS EXPERIMENTALES Y PUNTOS MÍNIMOS PARA EL INFORME EXPERIMENTAL	106
ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS	106

BIBLIOGRAFÍA	107
HOJA DE DATOS PARA EL PROFESOR	108
ACTIVIDAD EXPERIMENTAL 5	109
Polimerización en perlas (suspensión) de metilmetacrilato (MMA) y divinilbenceno (DVB)	109
INTRODUCCIÓN	109
Técnicas de polimerización	109
Polimerización en suspensión	112
OBJETIVOS	114
ACTIVIDADES PREVIAS AL EXPERIMENTO	115
MÉTODO EXPERIMENTAL	116
Material, reactivos y equipo	116
Procedimiento experimental	117
DATOS EXPERIMENTALES	119
TRATAMIENTO DE DATOS EXPERIMENTALES Y PUNTOS MÍNIMOS PARA EL INFORME EXPERIMENTAL	120
ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS	121
BIBLIOGRAFÍA	122
BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA	123
CIBERGRAFÍA	123
HOJA DE DATOS PARA EL PROFESOR	124
ACTIVIDAD EXPERIMENTAL 6	127
Polimerización en emulsión del acrilato de etilo	127
INTRODUCCIÓN	127
Criterio de diseño	127
Polimerización en emulsión	130
Micelas y concentración micelar crítica en la polimerización por emulsión	131
Sistemas de emulsión inversa	132
Iniciación REDOX	132
OBJETIVOS	133

ACTIVIDADES PREVIAS AL EXPERIMENTO	133
MÉTODO EXPERIMENTAL	134
Material, reactivos y equipo	134
Procedimiento experimental	135
DATOS EXPERIMENTALES	136
TRATAMIENTO DE DATOS EXPERIMENTALES Y PUNTOS MÍNIMOS PARA EL INFORME EXPERIMENTAL	137
ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS	137
BIBLIOGRAFÍA	138
HOJA DE DATOS PARA EL PROFESOR	139
ACTIVIDAD EXPERIMENTAL 7	141
Diodos orgánicos emisores de luz con polímeros semiconductores	141
INTRODUCCIÓN	141
OLED's como nuevos materiales	141
Proceso de transferencia electrónica	141
Inyección de carga	144
Transporte de carga	144
Combinación de carga y decaimiento de excitones	145
OBJETIVOS	145
ACTIVIDADES PREVIAS A LA EXPERIMENTACIÓN	145
MÉTODO EXPERIMENTAL	146
Material, reactivos y equipo	146
Procedimiento experimental	146
DATOS EXPERIMENTALES	150
TRATAMIENTO DE DATOS EXPERIMENTALES Y PUNTOS MÍNIMOS PARA EL INFORME EXPERIMENTAL	151
ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS	151
BIBLIOGRAFÍA	152
BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA	153
CIBERGRAFÍA	153
HOJA DE DATOS PARA EL PROFESOR	154

ANEXOS

| 155 |

DIAGRAMA ECOLÓGICO DE FLUJO

| 161 |



PRÓLOGO

La presente publicación permitirá una formación de profesionales más sólida y completa, ya que integra el constructivismo con actividades experimentales de tipo industrial, lo que conducirá a los estudiantes a desarrollar competencias orientadas a las necesidades del sector industrial. Además, permitirá que los alumnos que cursan polímeros y materiales poliméricos en las carreras de Ingeniería química, Tecnología, Química industrial y Química adquieran los conocimientos, las habilidades y las destrezas necesarias para modificar, implementar y aplicar en los procesos poliméricos.

El enfoque constructivista e industrial suele definirse como una experiencia pedagógica de tipo práctico, organizada para investigar y resolver problemas vinculados con el mundo real. Esta experiencia fomenta el aprendizaje activo y la integración del aprendizaje escolar con la vida real, por lo general, desde una mirada multidisciplinar. De esta manera, como metodología de enseñanza, requiere de la elaboración y de la presentación de situaciones reales o simuladas (siempre lo más auténticas y holísticas), relacionadas con la construcción del conocimiento o el ejercicio reflexivo de determinada destreza, en un ámbito de conocimiento, práctica o ejercicio profesional particular. El alumno que afronta el problema tiene que analizar la situación, caracterizarla desde más de una sola óptica, y elegir o construir una o varias opciones viables de solución. En la actualidad, bajo el influjo de la corriente constructivista, aumenta aún más el interés por los enfoques integradores basados en actividades que fomentan el pensamiento complejo y el aprendizaje centrado en la práctica, mediante el afrontamiento de problemas significativos, situados en el contexto de distintas comunidades. Las diversas modalidades que el aprendizaje basado en problemas adopta hoy en día son tributarias de las teorías constructivistas del aprendizaje, las cuales ponen especial interés en la necesidad de que los alumnos indaguen e intervengan en su entorno, para que construyan aprendizajes significativos por sí mismos.

GLOSARIO

Abreviaturas presentes en el texto:

- **BC:** Banda de conducción
- **BV:** Banda de valencia
- **CdTe:** Teluro de cadmio
- **DP:** Grado de polimerización
- **DVB:** Divinilbenceno
- **EVBE:** Etilvinilbenceno
- **GaAs:** Arsenuro de galio
- **HOMO:** Orbital molecular ocupado de mayor energía
- **ITO:** Óxido de indio y estaño
- **LUMO:** Orbital molecular ocupado de menor energía
- **MEH-PPV:** Poli[2-metoxi-5-(2-etilhexiloxi),-1,4-fenilenovinileno]
- **MMA:** Metacrilato de metilo
- **Mn:** Peso molecular promedio en número
- **Mo:** Peso molecular de la unidad monomérica
- **Mv:** Peso molecular promedio viscoso
- **Mw:** Peso molecular promedio en peso
- **Mz:** Peso molecular promedio z
- **[η]:** Viscosidad intrínseca

- **η** : Viscosidad
- **η_i** : Viscosidad inherente
- **η_r** : Viscosidad relativa
- **η_{sp}** : Viscosidad específica
- **OLED**: Diodos orgánicos emisores de luz
- **OM**: Orbital molecular
- **OPV**: Células orgánicas fotovoltaicas
- **PDVB**: Polidivinilbenceno
- **PMMA**: Polimetacrilato de metilo
- **PVA**: Alcohol polivinílico
- **PVC**: Policloruro de vinilo
- **Rg**: Radio de giro



OBJETIVOS GENERALES

- a) Reconocer los diferentes materiales poliméricos, de acuerdo con sus propiedades fisicoquímicas, y correlacionar estas propiedades con su estructura molecular y su morfología.
- b) Relacionar las propiedades fisicoquímicas de los materiales poliméricos con sus diferentes usos industriales.
- c) Proponer métodos de reciclaje o biodegradabilidad de materiales poliméricos industriales.
- d) Elaborar diagramas ecológicos de experimentos de laboratorio de polímeros.
- e) Identificar a los reactivos y productos empleados en los experimentos propuestos, mediante los rombos de seguridad.
- f) Emplear *Design Expert* para la optimización de las variables del proceso de polimerización.



NORMAS DE TRABAJO EXPERIMENTAL

El laboratorio es un lugar potencialmente peligroso, si no se siguen las normas generales de seguridad que se recomiendan a continuación:

1. Es obligación del alumno REVISAR LAS HOJAS DE SEGURIDAD, antes de realizar la actividad experimental, para conocer las propiedades físicas, químicas y toxicológicas de las sustancias que se utilizan, así como tener conocimiento de su uso, manejo y almacenamiento.
2. Se recomienda que el alumno trabaje en el laboratorio sólo cuando el profesor o persona responsable de dicho laboratorio esté presente, con el propósito de tener una persona que supervise los posibles riesgos y ayude en caso de ser necesario. En caso de emergencia, consultar acciones de emergencia o primeros auxilios en las HOJAS DE SEGURIDAD.
3. La bata y los lentes de seguridad son requisitos indispensables y obligatorios para el trabajo experimental. También se recomienda el uso de guantes (opcional).

Aquellos estudiantes que usan lentes de contacto deberán utilizar espejuelos de protección de forma obligatoria (o traer anteojos el día de la actividad experimental). Es obligación del alumno revisar en las hojas de seguridad de los reactivos y productos con los que vaya a trabajar, así como el equipo de protección personal para su manipulación en cada sesión experimental.

4. El alumno deberá estar a tiempo en la sesión experimental, habrá como máximo 10 minutos de tolerancia, pasado ese tiempo, ya no contará con el derecho de realizar la sesión experimental.
5. Se prohíbe fumar en el laboratorio, ya que un descuido puede ocasionar una explosión. Por lo general, se encuentran vapores de sustancias volátiles y de bajo punto de inflamabilidad en el ambiente.

6. No se permiten visitas de personas ajenas al laboratorio, sólo pueden permanecer los alumnos que se encuentren inscritos en la materia.
7. No se deben encender cerillos o mecheros, a menos que así lo requiera la sesión experimental.
8. El lugar de trabajo debe estar despejado de libros, mochilas, prendas, etc.; sólo estarán el equipo y las sustancias que se van a utilizar en el experimento, así como el manual de prácticas, la calculadora y la bitácora de trabajo.
9. No se permite consumir alimentos y bebidas en el laboratorio.
10. Se debe tener cuidado al manejar sustancias peligrosas, como ácidos, bases, sales venenosas, disolventes, etc. En caso de algún percance, avisar de manera inmediata al profesor.
11. Todas las soluciones deberán portar etiquetas, en las que se identifique claramente: de qué es la solución, quién la preparó y en qué fecha la preparó.
12. Al manejar equipos, materiales y reactivos, se debe ser sumamente cuidadoso en su traslado y conexión. Se recomienda revisar el instructivo antes de la actividad experimental y preguntar al profesor las dudas que se tengan sobre el objeto particular.
13. La solicitud de los equipos, materiales y reactivos se realiza con el llenado del vale de laboratorio y presentando la credencial vigente otorgada por la UNAM.
14. Si se rompe o se daña el material o el equipo, debe reintegrarse al laboratorio antes de concluir el curso experimental.
15. El alumno tiene la obligación de estudiar la **ORIENTACIÓN ACERCA DEL TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS**, con el propósito de saber qué hacer con los residuos o desechos producidos en cada sesión experimental. Los residuos de los experimentos que deban almacenarse deben ser depositados en los recipientes etiquetados que indique el profesor. Se debe tener cuidado de no confundirlos y mezclarlos.

16. Una vez terminada la sesión experimental, el alumno deberá dejar limpio su lugar de trabajo y asegurarse de no dejar basura en las tarjas de las mesas de trabajo, ni en las de lavado de material.
17. El alumno debe lavarse las manos con agua y jabón antes de salir del laboratorio.



EVALUACIÓN DEL LABORATORIO DE POLÍMEROS

La evaluación del laboratorio de polímeros se realizará con base en la siguiente rúbrica:

1. Cuestionario de actividades previas

Se deberá entregar el cuestionario de actividades previas para cada práctica, elaborado de manera individual: **10 %**.

2. Examen de conocimientos previos

Antes de la experimentación, se realizará un examen relacionado con las actividades previas de cada práctica, el cual abarcará los conceptos mínimos que el alumno debe conocer para realizar la experimentación: **20 %**.

3. Trabajo experimental

Se evaluará el desempeño del alumno durante la sesión experimental, así como la técnica y la habilidad que posea para el manejo y el uso correcto del material y el equipo de laboratorio: **30 %**.

4. Informe de trabajo

Se evaluará el tratamiento de los datos experimentales, el análisis de los datos y las conclusiones: **40 %**.

El informe deberá seguir el siguiente formato y contener los siguientes puntos:

1. Número de experimento
2. Nombre del experimento
3. Objetivos académicos
4. Problema integrador

5. Guía de conocimientos previos
6. Aprendizajes significativos a alcanzar
7. Lista de material, equipo y reactivos
8. Desarrollo experimental
9. Tabla de resultados
10. Guía para el análisis de resultados
11. Actividades complementarias para el desarrollo de competencias
12. Esquema ecológico
13. Tratamiento y disposición de los residuos
14. Fichas de seguridad de reactantes y productos
15. Estudio económico
16. Bibliografía



ACTIVIDADES EXPERIMENTALES Y UNIDADES TEMÁTICAS

Actividad experimental	Título de la actividad experimental	Número y nombre de la actividad temática en el programa de la asignatura	Aprendizajes significativos
1	Introducción a los polímeros	2. Estructura molecular y morfología de los polímeros	Determinación de las propiedades físicas de un polímero
2	Elasticidad del hule	2. Estructura molecular y morfología de los polímeros	Determinación del módulo de elasticidad del hule
3	Viscosidad de soluciones de polímeros y peso molecular viscosimétrico	3. Propiedades fisicoquímicas de los polímeros	Utilidad de las medidas viscosimétricas para la determinación del peso molecular viscosimétrico
4	Determinación de los enlaces cabeza-cola del alcohol polivinílico, mediante medidas viscosimétricas	3. Propiedades fisicoquímicas de los polímeros	Aplicación del peso molecular viscosimétrico. Determinación de los enlaces imperfectos que se generan durante una polimerización
5	Polimerización en peras de metacrilato de metilo y divinilbenceno	4. Clases principales de los materiales poliméricos industriales	Técnica de polimerización en suspensión. Importancia del coloide protector. Efecto de la agitación mecánica en la polimerización en suspensión

6	Polimerización en emulsión del acrilato de etilo	4. Clases principales de los materiales poliméricos industriales	Técnica de polimerización en emulsión. Importancia del tensoactivo y su concentración micelar crítica
7	Diodos orgánicos emisores de luz con polímeros semiconductores	6. Especialidad de los polímeros y aplicaciones de los materiales poliméricos	Implementación de materiales poliméricos novedosos para la obtención de luz



REACTIVOS UTILIZADOS EN LAS ACTIVIDADES EXPERIMENTALES

1. Alcohol polivinílico
2. Dimetil-p-toludina
3. Divinilbenceno
4. Etildivinilbenceno
5. Metilmetacrilato
6. Octano
7. Pegamento blanco
8. Pegamento transparente
9. Poliestireno
10. Peróxido de benzoilo
11. Peryodato de potasio
12. Sal de Epsom
13. Tolueno



CONSTRUCTIVISMO

Se debe reconocer que el constructivismo no es una teoría en el sentido estricto del término, sino un marco de referencia o plataforma de análisis de los fenómenos educativos, ya que el análisis psicológico por sí solo no puede dar cuenta de la complejidad de dichos fenómenos. No obstante, se considera válido plantear un esquema integrador, que sea útil en el análisis de la práctica educativa, para la elaboración de propuestas pedagógicas y materiales curriculares, así como para la creación de programas de formación de docentes.

Un primer postulado indica que, para la concepción constructivista, la educación escolar constituye una práctica social compleja que cumple dos funciones:

- a) promover el desarrollo personal de los educandos
- b) facilitar el acceso a los saberes y formas culturales de la sociedad a que pertenecen.

Esto implica que la institución escolar cubre tanto una función individualizadora como otra socializadora, además de promover la adquisición de aprendizajes específicos.

El constructivismo rechaza la visión del alumno como un mero receptor de conocimientos, o del docente como un simple transmisor. Por el contrario, se pronuncia por el logro de aprendizajes significativos, a la par que intenta promover conjuntamente los procesos de aprendizaje y desarrollo humano.

La concepción constructivista se organiza en torno a tres ideas fundamentales:

1. El alumno es el responsable último de su propio proceso de aprendizaje. Él es quien construye o, más bien, reconstruye los saberes de su grupo cultural y puede ser un sujeto activo, cuando manipula, explora, descubre o *inventa*, incluso cuando lee o escucha la exposición de los otros.
2. La actividad mental constructiva del alumno se aplica a contenidos que poseen ya un grado considerable de elaboración. Esto quiere decir que el alumno no

tiene que “descubrir” o “inventar” todo el conocimiento escolar, en un sentido literal. Dado que el conocimiento que se enseña en las instituciones escolares es en realidad el resultado de un proceso de construcción a nivel social, los alumnos y profesores encontrarán en buena parte los contenidos curriculares ya elaborados y definidos.

En este sentido, el alumno reconstruye un conocimiento preexistente en la sociedad, pero lo construye en el plano personal, desde el momento que se acerca en forma progresiva y comprensiva a lo que significan y representan los contenidos curriculares como saberes culturales.

3. La función del docente es engarzar los procesos de construcción del alumno con el saber colectivo culturalmente organizado. Esto implica que la función del profesor no se limitará a crear condiciones óptimas para que el alumno despliegue una actividad mental constructiva, sino que debe orientar y guiar explícita y deliberadamente dicha actividad.

Así, la **construcción del conocimiento escolar** es en realidad un proceso de elaboración, en el sentido de que el alumno selecciona, organiza y transforma la información que recibe de muy diversas fuentes, estableciendo relaciones entre dicha información y sus ideas o conocimientos previos. Aprender un contenido implica que el alumno le atribuye un significado y construye una representación mental a través de imágenes o proposiciones verbales, o bien, elabora una especie de teoría o modelo mental como marco explicativo de dicho conocimiento.

Construir significados nuevos implica un cambio en los esquemas de conocimiento que se poseen previamente, introduciendo nuevos elementos o estableciendo nuevas relaciones entre dichos elementos. Así, el alumno podrá ampliar o ajustar dichos esquemas, o bien, reestructurarlos a profundidad, como resultado de su participación en un proceso instruccional.

En todo caso, la idea de **construcción de significados** nos refiere a la teoría del aprendizaje significativo. Se define por la *interrelación* de tres elementos, que constituyen lo que denominamos “el triángulo interactivo”: los *alumnos*

(sus conocimientos previos, su disposición por aprender), los *contenidos o materiales* (su relevancia y organización interna) y el *profesor* (su intervención pedagógica).

El conocimiento científico y tecnológico ocupa el centro de las transformaciones sociales, económicas y educativas, además de señalar las estrategias a seguir para solucionar problemas. La ciencia y la tecnología son las rutas más convenientes para enfrentarse a los retos del desarrollo económico-social de una nación, así como para alcanzar una mejor educación. En consecuencia, es necesario orientar la creación científica y tecnológica hacia un mejor conocimiento de las actuales condiciones de la investigación, con el fin de ofrecer soluciones a los problemas, sobre todo aquellos ligados a las cuestiones de interés estratégico y a las necesidades de la población.

El proceso de enseñanza de las ciencias experimentales se ha enfrentado a serios problemas para mejorar su calidad y satisfacer las necesidades de la población; así también, la asignación de recursos económicos ha influido en el escaso impulso de la investigación, en el abandono o suspensión, y en la obtención de resultados incompletos o poco útiles, para efectuar generalizaciones con validez estadística.

La disposición de recursos humanos calificados es otro de los problemas a los que se enfrenta el avance en la materia, debido a que el número de horas por semana dedicadas a estas actividades de investigación es sumamente bajo. La calidad de la formación de futuros investigadores no siempre está sustentada en la aplicación de programas de nivel técnico y académico, es decir, que existe un escaso entrenamiento del personal en la aplicación del método científico. Esto resulta de vital importancia cuando el profesor se enfrenta a la ejecución y desarrollo de un programa de ciencias.

Se trata de pensar en una nueva situación en la que haya una comunicación de personas, que permita al alumno descubrir y explicarse por sí mismo los hechos de la Naturaleza; esto es, que se forme y no sólo se informe al alumno. En esta nueva situación, el profesor debe propiciar experiencias de aprendizaje, por medio de las cuales, el alumno descubra los hechos de la Naturaleza; además de guiarlo en la búsqueda de explicaciones válidas para

los hechos que descubre; así como proponer y comunicar los conocimientos básicos sobre conceptos, principios, y generalizaciones. Asimismo, debe proponer y proporcionar la metodología y su utilización para que los alumnos sigan descubriendo y explicándose los hechos de la Naturaleza por sí mismos. Finalmente, el profesor debe guiar al alumno para que se forme una conciencia crítica que le ayude a conocer, manejar y aprovechar la Naturaleza; es decir, “que el alumno aprenda a aprender” y a construir su conocimiento. Esta situación le permitirá convertirse en sujeto de su propio desarrollo y de su propia formación.



RECOMENDACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES

El problema de la enseñanza experimental no es un problema estrictamente económico, ni estructural, sino de la idea de educación que hay detrás de las prácticas y procesos de enseñanza que lo determinan.

Para mejorar los laboratorios hay que empezar por considerar sus objetivos de aprendizaje y no solamente modernizar equipos.

El trabajo experimental pretende que el aprendizaje del alumno lo conduzca a formarse como profesional. Esto es, ampliar su horizonte de conocimientos, desarrollar sus habilidades para manejar esos conocimientos y reforzar ciertas actitudes. Dicho trabajo experimental también persigue los objetivos de desarrollar la creatividad, desarrollar la capacidad para interpretar y comunicar resultados, enfrentarse con problemas reales y desarrollar el pensamiento crítico.

El profesor debe promover que su alumno realice una serie de operaciones, sobre todo mentales, que le lleven a aprender ciertos conceptos, a desarrollar habilidades para manejar lo aprendido y, al mismo tiempo, reforzar ciertas actitudes que le lleven a ser un profesional de la química para bien.

Sugerencias

- Propiciar el juicio crítico, enfrentando al alumno con la solución de problemas reales en el laboratorio, aplicando el método científico.
- Mejorar o aumentar los medios no necesariamente conduce a mejorar el objetivo de aprendizaje que se persigue al usarlos. Es conveniente establecer ciertos principios que orienten al profesor sobre lo que debe hacer para diseñar y llevar a cabo su curso.
- Promover el trabajo creativo y crítico de los estudiantes.

- Debe ampliarse el horizonte de conocimientos en el estudiante, desarrollar sus habilidades para mejorar dichos conocimientos y reforzar actitudes de autoestima, liderazgo, comunicación oral y escrita, así como fomentar el desarrollo de una ética profesional.



TRATAMIENTO DE PROBLEMAS

En nuestra actividad cotidiana, nos enfrentamos tanto a situaciones conocidas, en las que actuamos de manera "automática", como a situaciones que, por su novedad, requieren una respuesta mucho más elaborada. Utilizaremos el término "problema" para designar a ese segundo tipo de situaciones en las que predomina la incertidumbre respecto a cómo debemos actuar, de forma que nos vemos obligados a utilizar un tratamiento distinto a la mera aplicación de un procedimiento rutinario. Si admitimos que nuestras concepciones sobre la realidad evolucionan en la medida en que procesamos información nueva, resulta evidente que la resolución de problemas tiene gran importancia para el conocimiento y la intervención en esa realidad. En efecto, todo problema da lugar a la formación, a partir de las concepciones preexistentes, de nuevas concepciones más acordes con las circunstancias planteadas. En ese sentido, podríamos decir que aprendemos en tanto que resolvemos los problemas que se originan en un entorno siempre diverso y cambiante.

Aún más, parece que el ser humano no sólo se adapta cuando aprende de la novedad, sino que además presenta una marcada tendencia a buscarla. La curiosidad, las conductas exploratorias y la indagación de lo desconocido están presentes en la acción humana, conformando una actitud activa que nos sitúa continuamente ante situaciones-problema. Por ello, habría que considerar que no sólo es importante la resolución del problema, sino también los aspectos relativos a la búsqueda y el reconocimiento del mismo. Dado que el término "resolución" obvia esos aspectos y presupone que todo problema ha de tener solución forzosamente, preferimos unas denominaciones menos finalistas y más centradas en el proceso: tratar, enfrentar y trabajar con problemas. En definitiva, se trata de no primar el producto del proceso, sino el proceso mismo, pues interesa más la dinamización de las ideas referidas a la temática del problema, que el llegar a una determinada solución.

De hecho, el cuestionamiento de nuestras propias concepciones comienza cuando reconocemos una situación como problema. Así, hay muchas situaciones que, por su cotidianeidad, no ponen en juego nuestras ideas sobre la naturaleza de las cosas y, sin embargo, a partir de ellas, podrían plantearse problemas. Es el caso, por ejemplo, del distinto comportamiento del azúcar y del aceite frente al agua.

El simple hecho de preguntarnos: "¿por qué desaparece el azúcar y no el aceite?", puede movilizar nuestras ideas respecto a conceptos como la naturaleza de la materia, la disolución de un compuesto químico, las propiedades físico-químicas de los objetos, los enlaces químicos, etc.

Vemos, por tanto, que el trabajo con problemas es un proceso complejo, que comprende distintos momentos: la exploración de nuestro entorno, el reconocimiento de una situación como problema, la formulación más precisa del mismo, la puesta en marcha de un conjunto de actividades para su resolución, la frecuente reestructuración de las concepciones implicadas, la posible consecución de una respuesta al problema, etc. Creemos que el término investigación es el más apropiado para designar al conjunto de esos procesos. Dado que ese término presenta muy diversos significados, conviene aclarar en qué sentido lo utilizamos.

La investigación, como estrategia de formulación y tratamiento de problemas, sería pues, una estrategia de conocimiento y actuación en la realidad propia del comportamiento de nuestra especie, común al conjunto de la población humana, y con un claro valor adaptativo para el individuo. Desde esa perspectiva, estaría presente tanto en la actividad científica como en la práctica cotidiana, variando, en cada caso, el tipo de problemas planteados y los procedimientos utilizados en su resolución.

Pero, ¿cuándo un problema puede considerarse científico? Los problemas serán considerados científicos cuando se planteen enmarcados en las teorías y marcos conceptuales característicos de la ciencia y se centren en la descripción y explicación de la realidad. En igual medida, la investigación será científica, si se refiere a ese tipo de problemas y si emplea la metodología aceptada por la comunidad científica. Por otra parte, son problemas del quehacer cotidiano los que se plantean enmarcados en el conocimiento ordinario de cada individuo, y que tienen como objetivo la actuación en su realidad inmediata.

No obstante, y a pesar de las diferencias entre uno y otro tipo de investigación, algunos planteamientos recientes de la epistemología y de la psicología señalan que la separación entre conocimiento científico y conocimiento cotidiano no es tan tajante. De hecho, existen pautas psicológicas comunes en ambos y una dinámica similar en la evolución de los conceptos. También, el conocimiento científico tiene sus raíces en el conocimiento cotidiano, tanto en lo que se refiere al proceso histórico

de construcción de la ciencia, como a la génesis personal del saber. Todo ello nos permite considerar, en el medio escolar, formas de conocimiento “intermedias” y aproximaciones graduales, desde el conocimiento cotidiano al conocimiento científico.

¿Es factible la introducción de esta perspectiva investigadora en la escuela? Efectivamente, así lo confirma la aparición de diversas propuestas didácticas en estos últimos años, que pretenden fomentar la investigación del alumno como la estrategia más adecuada para la construcción de conceptos, procedimientos y actitudes. También se reconoce que la investigación es una característica fundamental del modo en que los profesores abordan su tarea, sobre todo, cuando se enfrentan a los problemas complejos que se generan en el medio escolar.

La investigación del alumno en la escuela ha de encuadrarse en un modelo general de intervención en el aula e integrar, en forma de saber escolar, las aportaciones del saber cotidiano y del saber científico.

En ese sentido, se ha optado por un tipo de investigación que parte del conocimiento cotidiano y de la resolución de problemas prácticos, lo que propicia que el alumno aproxime sus concepciones al saber científico (figura A).

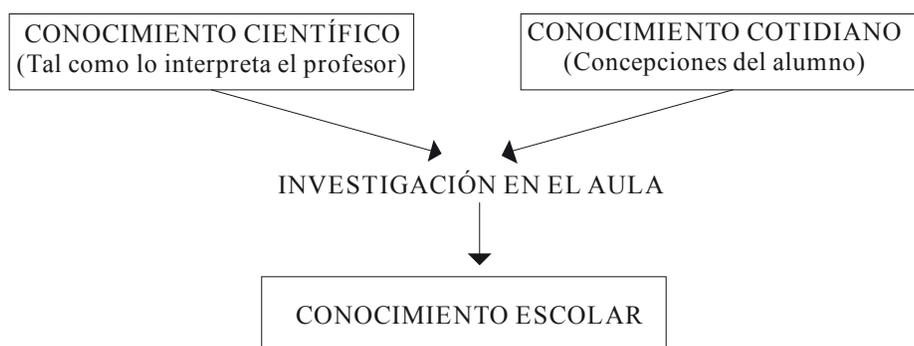


Figura A. La investigación del alumno en la escuela debe posibilitar la interacción del conocimiento científico con el saber cotidiano, para facilitar así la construcción del conocimiento escolar

Esa aproximación debe realizarse considerando a la ciencia como un marco de referencia que orienta el aprendizaje del alumno, pero sin hacer una traslación

directa de los fines, contenidos y métodos de la ciencia hacia la realidad educativa. Hay que diferenciar claramente, pues, la investigación, como estrategia de actuación de la persona, de la investigación científica. En la tabla A, se exponen diversos argumentos que ilustran esa diferencia.

Tabla A. Aproximación de las concepciones del alumno al saber científico: comparación del conocimiento cotidiano con el conocimiento científico

CONOCIMIENTO COTIDIANO	CONOCIMIENTO CIENTÍFICO
Centrado en problemas relevantes para cada sujeto concreto (subjetividad, superficialidad, intereses personales). La función del saber es resolver los problemas cotidianos.	Centrado en la investigación sistemática y "distanciada" de la realidad. La función básica es la descripción y explicación de esa realidad.
Actividad intelectual, común y cotidiana, poco organizada y asistemática. El saber está ligado a la acción.	Actividad organizada y sistemática. Saber organizado en cuerpos de conocimiento y más ligado a la reflexión.
Admite las contradicciones internas y la diversidad de opiniones sin más. Coherencia "psicológica" del saber.	Necesidad de superar las contradicciones y de llegar al "consenso" entre los científicos. Se busca una coherencia "lógica" del saber.
Conceptos ambiguos y poco definidos (se asumen unos conceptos prototípicos propios de cada sociedad concreta).	Conceptos más claramente definidos que responden al sentir de la comunidad de científicos.
No hay una comprobación sistemática de las creencias.	Se intenta que las creencias puedan ser verificables y verificadas.
Los métodos y estrategias responden a los procesos cognitivos comunes a todos los individuos. Investigación entendida en sentido amplio.	Métodos y estrategias propias de cada comunidad de científicos. Investigación científica.

FISICOQUÍMICA EXPERIMENTAL

La Fisicoquímica Experimental debe propiciar experiencias de aprendizaje, por medio de las cuales, el alumno descubra los hechos de la Naturaleza; además de guiarlo en la búsqueda de explicaciones válidas para los hechos que descubre; así como proponer y comunicar los conocimientos básicos sobre conceptos, principios, y generalizaciones. Asimismo, debe proponer y proporcionar la metodología y su utilización para que los alumnos sigan descubriendo y explicándose los hechos de la Naturaleza por sí mismos. Finalmente, esta disciplina debe guiar al alumno para que se forme una conciencia crítica, que le ayude a conocer, manejar y aprovechar la Naturaleza. Esta situación le permitirá convertirse en sujeto de su propio desarrollo y de su propia formación.

En la enseñanza experimental de la Fisicoquímica, es esencial la claridad al exponer un concepto o una noción nuevos. Por tanto, el profesor debe hacer una selección de los contenidos que va a ofrecer a sus educandos, ya que un principio elemental de una instrucción clara es evitar brindar demasiadas ideas, lo que sólo puede causar confusión en los alumnos.

La enseñanza experimental de la Fisicoquímica debe procurar el descubrimiento y la solución de problemas. Para ello, debe basarse en la investigación.

La investigación en el laboratorio define tanto una metodología de trabajo como un marco teórico (modelo didáctico), mismo que integra las aportaciones del constructivismo, el trabajo en equipo y el aprendizaje cooperativo.

La investigación como principio didáctico en la enseñanza experimental de la Fisicoquímica se adecua a los planteamientos del aprendizaje, como construcción de conocimientos; por lo que reconoce y potencia el valor de la creatividad, la autonomía y la comunicación en el desarrollo de la persona, propiciando la organización de los contenidos en torno al tratamiento de problemas y favoreciendo la profesionalización de los programas de estudio.

Asimismo, la investigación determina una metodología didáctica y una evaluación entendida como la reflexión-acción de los procesos educativos.

El tratamiento de problemas en la enseñanza experimental de la Físicoquímica propicia el aprendizaje significativo, en la medida en que:

- Facilita que expliciten y pongan a prueba las concepciones del alumno implicadas en la situación-problema.
- Fuerza la interacción de esas concepciones con otras informaciones procedentes de su entorno físico y social.
- Esa interacción posibilita que se reestructuren las concepciones del alumno.
- Favorece la reflexión sobre el propio aprendizaje y la evaluación de las estrategias utilizadas, así como de los resultados obtenidos.
- El laboratorio de Físicoquímica permite una integración de profesores y alumnos en la solución de problemas prácticos de carácter interdisciplinario, mediante el trabajo en equipo y el aprendizaje cooperativo.

Con base en nuestra experiencia docente en la enseñanza experimental de la Físicoquímica, la investigación en el laboratorio, como principio didáctico, motiva al estudiante para el trabajo en equipo de carácter interdisciplinario y mejora su rendimiento académico.

Asimismo, la enseñanza experimental de la Físicoquímica de Materiales Macromoleculares (Polímeros) reúne las características para integrar, desde una perspectiva interdisciplinaria y ecológica, los conceptos fundamentales del manejo de desechos; la optimización de los procesos; el desarrollo de procesos o tecnologías limpias; así como el cálculo del costo-beneficio de los procesos tradicionales contra los procesos limpios, ya que, en ocasiones, los procesos amigables con el ambiente pueden ser costosos.

En la medida de lo posible, el producto de un experimento debe ser la materia prima del siguiente, lo cual disminuye la cantidad de residuos generados, y el estudiante cuida más la pureza de su producto y sus resultados.

Se sugiere que, al finalizar el trabajo experimental del proyecto de investigación, el equipo debe presentar un informe escrito cubriendo los siguientes rubros:

- Portada (título)
- Objetivo general
- Objetivos específicos
- Introducción y justificación del proyecto
- Antecedentes del proyecto
- Materiales y métodos del proyecto
- Esquema de carácter ecológico
- Resultados y discusión
- Implicación económica de la demanda y consumo, tanto del producto como de los reactivos
- Manejo de residuos y su impacto ambiental
- Conclusiones
- Recomendaciones
- Bibliografía

El propósito es proporcionar a los estudiantes una formación integral, ya que se incluye un panorama interdisciplinario y ecológico del trabajo experimental actual de la química.

EVALUACIÓN EN FÍSICOQUÍMICA EXPERIMENTAL

La evaluación del laboratorio de polímeros de realizará con base en la siguiente rúbrica:

a. Cuestionario de actividades previas

Se deberá entregar el cuestionario de actividades previas para cada práctica, elaborado de manera individual: **10 %**.

b. Examen de conocimientos previos

Antes de la experimentación, se realizará un examen relacionado con las actividades previas de cada práctica, el cual abarcará los conceptos mínimos que el alumno debe conocer para realizar la experimentación: **20 %**.

c. Trabajo experimental

Se evaluará el desempeño del alumno durante la sesión experimental, así como la técnica y la habilidad que posea para el manejo y el uso correcto del material y el equipo de laboratorio: **30 %**.

d. Informe de trabajo

Se evaluará el tratamiento de los datos experimentales, el análisis de los datos y las conclusiones: **40 %**.



ACTIVIDADES EXPERIMENTALES

Los reactivos que se emplean son de grado industrial y pueden ser recuperables para experimentos posteriores.

Al final de todos los experimentos de laboratorio, se presentan las propiedades de cada uno de los reactivos empleados; así como otros nombres con los que se les conoce comercialmente.

A través del texto, el lector encontrará una serie de preguntas para hacer reflexionar al estudiante, denominadas **actividades complementarias**, que pretenden el desarrollo de competencias complementarias, basadas en ejercicios de investigación como principio didáctico. Se recomienda enfáticamente que el lector las conteste antes de seguir adelante, pues ello le será muy útil en el aprendizaje de esta materia.



ACTIVIDAD EXPERIMENTAL 1

Introducción a los polímeros, estructura y propiedades físicas

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, gran parte de los químicos e ingenieros químicos se encuentran involucrados en algún aspecto de la ciencia o de la tecnología de los polímeros. Por ello, la gran mayoría refiere a nuestro tiempo como la era de los polímeros. Aunque, en realidad, siempre hemos vivido en una era de los polímeros.

Los polímeros son macromoléculas constituidas por una multitud de unidades de repetición (meros). Se trata de la unión covalente de un gran número de monómeros, que forman largas cadenas poliméricas.

Dependiendo de la naturaleza química o física de las unidades repetitivas que conforman el polímero, tendrá ciertas características que lo hagan diferente de otro. Por ello, cada material presenta una enorme variedad de propiedades, las cuales influyen en su comportamiento.

La variedad de medios de análisis para la identificación de un material polimérico es muy extensa. Sin embargo, la observación y una serie análisis químicos y físicos sencillos pueden proporcionar una idea más o menos precisa acerca del tipo de material al que nos enfrentamos.

Una de las propiedades más importantes que posee un material es la viscosidad, que se define como la medida de la resistencia de un material al flujo, ya sea como masa fundida o en disolución. Esta propiedad depende y es afectada por la concentración y el peso molecular del material, así como la temperatura, la presión y la fuerza cortante.

OBJETIVOS

1. Realizar un estudio preliminar para examinar y determinar las propiedades de tres sustancias.
2. Comprender el concepto de polímeros.
3. Conocer la importancia de los polímeros en la actualidad.
4. Analizar las propiedades físicas de un polímero.

ACTIVIDADES PREVIAS AL EXPERIMENTO

1. Explicar la importancia de la identificación de un material polimérico.
2. ¿Qué estudia la reología en materiales poliméricos?
3. ¿A qué se debe que un cuerpo se deforme al aplicar una fuerza?
4. ¿A qué se debe que un cuerpo fluya cuando se aplica una fuerza?
5. Defina qué es un fluido newtoniano.
6. Defina fluido no-newtoniano, cuántos tipos existen y defina cada uno de ellos.
7. ¿De qué parámetros depende la viscosidad?
8. Investigar las fichas de seguridad de los reactivos a utilizar en la sesión experimental.
9. Elaborar un diagrama de flujo ecológico que incluya el tratamiento y disposición de los residuos.

MÉTODO EXPERIMENTAL

Material, reactivos y equipo

Material	Reactivos	Equipo
5 vasos de precipitados de 250 mL	Sal de Epsom	Balanza
1 vaso de precipitados de 50 mL	250 mL de pegamento blanco*	Parrilla de calentamiento
2 vasos de precipitados de 100 mL	100 mL de pegamento transparente*	
1 probeta de 100 mL	Colorante vegetal*	
1 varilla de vidrio	100 g de maicena*	
3 bolsas herméticas*		
Papel encerado*		

*Material proporcionado por el alumno

Procedimiento experimental

Preparación de *slime* con bórax

1. Pesar 2 gramos de bórax y disolverlos en un vaso de precipitados de 100 mL, con 50 mL de agua destilada medida en una probeta. Esta es la solución de bórax al 4 % m/v. Puede que no se disuelva todo el bórax.
2. En un vaso de precipitados de 250 mL, colocar 50 mL de resistol blanco y añadir 20 mL de agua medida con una probeta. Agitar con una varilla de vidrio, hasta que se homogenice la suspensión (aquí es posible añadir unas gotas de colorante vegetal para proporcionarle color al *slime*).

3. Verter 20 mL de la solución de bórax al 4 % al vaso de precipitados que contiene el pegamento blanco diluido. Agitar suavemente con la varilla de vidrio por 2 minutos.
4. Dejar reposar el polímero durante 1 minuto.
5. Realizar las pruebas indicadas en la sección de "datos experimentales".

El polímero estará listo para trabajar con él.

Preparación de *slime* con sales de Epsom

1. Pesar 10 g de sal de Epsom y disolver en un vaso de precipitados de 100 mL, con 10 mL de agua destilada. Agitar con una varilla de vidrio hasta que la sal se disuelva completamente, o en su mayor parte.
2. Colocar 50 mL de pegamento transparente en un vaso de precipitados de 250 mL (puede añadir unas gotas de colorante vegetal si lo desea) y añadirle la sal de Epsom disuelta.
3. Agitar suavemente con la varilla de vidrio por 1 minuto.
4. Dejar reposar la masa por 1 minuto más.
5. Cuando la masilla se haya formado, experimente con ella en papel encerado.
6. Realizar las pruebas indicadas en la sección de "datos experimentales".

Preparación de *slime* con maicena

1. En un vaso de precipitados de 250 mL, calentar 125 mL de agua destilada hasta su ebullición.
2. Disolver 20 g de maicena con 20 mL de agua destilada en un vaso de precipitados de 50 mL, agitar vigorosamente con una varilla de vidrio.
3. Verter la solución de maicena sobre el agua en ebullición y suspender el calentamiento. Mezclar suavemente con la varilla de vidrio y permitir enfriar a temperatura ambiente.

4. Colocar 50 mL de pegamento blanco en un vaso de precipitados de 250 mL y añadir 20 mL de agua destilada, agitar con la varilla de vidrio.
5. Añadir 30 mL de la preparación de maicena a la solución de pegamento (puede añadir gotas de colorante) y agitar con la varilla de vidrio.
6. El polímero está listo, y, a medida que se manipule, será más elástico y fácil de sostener.
7. Realizar las pruebas indicadas en la sección de "datos experimentales".

*Nota: Los polímeros creados deben guardarse en una bolsa de plástico sellada cuando no se trabaje con ellos. También pueden refrigerarse para conservarse mejor.

DATOS EXPERIMENTALES

Realizar las siguientes actividades, registrar las observaciones y comparar los resultados de cada uno de los polímeros obtenidos.

1. Prueba lenta de toque: introduzca lentamente el dedo en el *slime*. ¿Qué sucede?
2. Prueba rápida de empuje: introduzca rápidamente el dedo en el *slime*. ¿Qué sucede?
3. Prueba de extracción lenta: separe lentamente un trozo de *slime* con las manos. ¿Qué sucede?
4. Prueba de extracción rápida: extraiga rápidamente un trozo de baba con las manos. ¿Qué sucede?
5. Prueba de manchado: enrolle el *slime* en una bola y colóquelo sobre una superficie plana y blanca. ¿Qué sucede?
6. Prueba de rebote: enrolle la baba en una pelota y rebótela. ¿Qué sucede?

Tabla 1.1. Resultados experimentales para el *slime* realizado con bórax

Prueba	Observaciones	Etapa de la materia
Descripción: color, textura y olor		
Prueba lenta de toque: introducir lentamente el dedo en el <i>slime</i>		
Prueba rápida de toque: introducir rápidamente el dedo en el <i>slime</i>		
Prueba de extracción lenta: tirar lentamente de un trozo del <i>slime</i>		
Prueba de extracción rápida: tirar rápidamente de un trozo de <i>slime</i>		
Prueba de manchado: dejar el <i>slime</i> sobre una superficie blanca unos minutos		
Prueba de rebote: enrollar el <i>slime</i> en una bola y dejarlo caer sobre la mesa		

Tabla 1.2. Resultados experimentales para el *slime* a partir de sales de Epsom

Prueba	Observaciones	Etapa de la materia
Descripción: color, textura y olor		
Prueba lenta de toque: introducir lentamente el dedo en el <i>slime</i>		
Prueba rápida de toque: introducir rápidamente el dedo en el <i>slime</i>		
Prueba de extracción lenta: tirar lentamente de un trozo del <i>slime</i>		
Prueba de extracción rápida: tirar rápidamente de un trozo de <i>slime</i>		
Prueba de manchado: dejar el <i>slime</i> sobre una superficie blanca unos minutos		
Prueba de rebote: enrollar el <i>slime</i> en una bola y dejarlo caer sobre la mesa		

Tabla 1.3. Resultados experimentales para el *slime* de maicena

Prueba	Observaciones	Etapa de la materia
Descripción: color, textura y olor		
Prueba lenta de toque: introducir lentamente el dedo en el <i>slime</i>		
Prueba rápida de toque: introducir rápidamente el dedo en el <i>slime</i>		
Prueba de extracción lenta: tirar lentamente de un trozo del <i>slime</i>		
Prueba de extracción rápida: tirar rápidamente de un trozo del <i>slime</i>		
Prueba de manchado: dejar el <i>slime</i> sobre una superficie blanca unos minutos		
Prueba de rebote: enrollar el <i>slime</i> en una bola y dejarlo caer sobre la mesa		

TRATAMIENTO DE DATOS EXPERIMENTALES Y PUNTOS MÍNIMOS PARA EL INFORME EXPERIMENTAL

1. Defina el tipo de polímero que se formó.
2. Analice las propiedades de cada polímero y discuta la razón de sus diferencias.
3. Determine cuál de los ingredientes utilizados contiene un polímero y cuál es.
4. Determine los cambios físicos y químicos que ocurrieron.
5. Explique cómo es que estos cambios intervienen en las propiedades de los polímeros.
6. Proponga al menos dos formas de fortalecer los polímeros propuestos.
7. Explique por qué guardar el polímero en una bolsa sellada y con refrigeración extiende su duración.
8. Investigue si otro tipo de pegamentos podrían servir para obtener un polímero de mejor calidad.

ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

1. Mantenga los polímeros fuera de su bolsa por unas horas y observe qué es lo que sucede.
2. Compare qué pasa con el polímero cuando se almacena dentro de la bolsa y cuando no se hace.

BIBLIOGRAFÍA

Bicerano, J. (2002). *Prediction of Polymer Properties* (3.^a ed.). New York: Marcel Dekker, Inc.

Celina, M. C., Billingham, N. C. y Wiggins, J. S. (2009). *Polymer Degradation and Performance*. Washington, D.C.: American Chemical Society.

Fried, J. R. (2003). *Polymer Science and Technology*. (2.^a ed.). México: Prentice-Hall Hispanoamericana.

Odian, G. (2004). *Principles of Polymerization*. (4.^a ed.). New York: John Wiley and Sons, Inc.

Rodriguez, F., Cohen, C. y Ober, Ch. K. (2003). *Principles of Polymer Systems*. (5.^a ed.). New York: Taylor and Francis.

Sperling, L. H. (2001). *Introduction to Physical Polymer Science* (3.^a ed.). New York: Wiley-Interscience.

Strobl, G. R. (2010). *The Physics of Polymers: Concepts for Understanding Their Structures and Behavior* (3.^a ed.). Berlin: Springer Science.

Zaikov, G. E. y Jimenez, A. (2005). *Polymer Analysis, Degradation, and Stabilization*. New York: Nova Science Pub Inc.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

Platt, D. K. (2006). *Biodegradable Polymers: Market Report*. UK: Rapra Technology, Shropshire.

Hamid, I. y Halim, S. (2000). *Handbook of Polymer Degradation (Environmental Science & Pollution)*. New York: Marcel Decker Inc.

Chem Tech Publishing (2010). *Handbook of UV Degradation and Stabilization*. Chem Tech Publishing.

Osswald, T. A. y Menges, G. (2003). *Materials Science of Polymers for Engineers* (2.ª ed.). Munich: Hanser Gardner Publication Inc.

Ribes-Greus, A. (2008). *Aspectos fundamentales de los polímeros: degradación y reciclaje de plásticos*. Valencia España: Editorial UPV.

CIBERGRAFÍA

<http://www.textoscientificos.com/polimeros>

<http://www.plasticoslevinson.com/>

http://www2.dupont.com/Plastics/es_US/centro_conocimiento/procesamiento/index.html

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/06/propiedades-termicas.html>



HOJA DE DATOS PARA EL PROFESOR

Práctica 1: Introducción a los polímeros, estructura y propiedades físicas	
Materia	Laboratorio de polímeros
Carrera	
Profesor	
Alumnos	

Tabla 1.4. Resultados experimentales para el *slime* realizado con bórax

Prueba	Observaciones	Etapa de la materia
Descripción: color, textura y olor		
Prueba lenta de toque: introducir lentamente el dedo en el <i>slime</i>		
Prueba rápida de toque: introducir rápidamente el dedo en el <i>slime</i>		
Prueba de extracción lenta: tirar lentamente de un trozo del <i>slime</i>		
Prueba de extracción rápida: tirar rápidamente de un trozo del <i>slime</i>		

Prueba de manchado: dejar el <i>slime</i> sobre una superficie blanca unos minutos		
Prueba de rebote: enrollar el <i>slime</i> en una bola y dejarlo caer sobre la mesa		

Tabla 1.5. Resultados experimentales para el *slime* a partir de sales de Epsom

Prueba	Observaciones	Etapas de la materia
Descripción: color, textura y olor		
Prueba lenta de toque: introducir lentamente el dedo en el <i>slime</i>		
Prueba rápida de toque: introducir rápidamente el dedo en el <i>slime</i>		
Prueba de extracción lenta: tirar lentamente de un trozo del <i>slime</i>		
Prueba de extracción rápida: tirar rápidamente de un trozo del <i>slime</i>		

Prueba de manchado: dejar el slime sobre una superficie blanca unos minutos		
Prueba de rebote: enrollar el slime en una bola y dejarlo caer sobre la mesa		

Tabla 1.6. Resultados experimentales para el *slime* de maicena

Prueba	Observaciones	Etapa de la materia
Descripción: color, textura y olor		
Prueba lenta de toque: introducir lentamente el dedo en el <i>slime</i>		
Prueba rápida de toque: introducir rápidamente el dedo en el <i>slime</i>		
Prueba de extracción lenta: tirar lentamente de un trozo del <i>slime</i>		
Prueba de extracción rápida: tirar rápidamente de un trozo del <i>slime</i>		

Prueba de manchado: dejar el <i>slime</i> sobre una superficie blanca unos minutos		
Prueba de rebote: enrollar el <i>slime</i> en una bola y dejarlo caer sobre la mesa		



ACTIVIDAD EXPERIMENTAL 2

Elasticidad del hule

INTRODUCCIÓN

Concepto de hule

La propiedad que caracteriza al hule (también llamado caucho) es su elevada elasticidad, es decir, su capacidad de experimentar deformaciones considerables bajo esfuerzos relativamente débiles; además de recuperar su forma y sus dimensiones originales cuando cesa de actuar la fuerza deformante, restituyendo la energía almacenada durante la deformación.

Existen muchos otros materiales elásticos, y algunos (por ejemplo el acero o el vidrio) están más próximos al sólido elástico ideal desde el punto de vista físico, pero ninguno iguala al hule en cuanto a la magnitud de deformación alcanzable; y, en aquellos, la relación entre el esfuerzo aplicado y la deformación producida (el llamado módulo de elasticidad) es varios órdenes de magnitud superior.

El caucho debe estas propiedades únicas a su naturaleza polimérica, pero, a diferencia de otros polímeros (como son los materiales plásticos o las fibras), los hules son amorfos, sus largas cadenas moleculares son más flexibles y las interacciones entre ellas son mucho más débiles.

En un trozo de caucho crudo, es fácil apreciar estas características de elasticidad. Pero si se le somete a un esfuerzo prolongado o a una temperatura moderadamente alta, se producen deslizamientos de unas cadenas moleculares respecto a otras vecinas, lo que resulta en una **deformación plástica**, es decir, no recupera su forma original. Por ello, para conseguir una elasticidad elevada, es necesario unir las cadenas moleculares entre sí, formando un retículo; en ello consiste la vulcanización.

El retículo es muy poco denso, sólo uno de cada cien a doscientos átomos de carbono a lo largo de la cadena molecular interviene en la formación de un enlace con otro

átomo de carbono de una cadena adyacente. De manera que se conserva la gran capacidad de deformación, pero con ello basta para impedir los deslizamientos de unas cadenas con respecto a las otras.

Se puede decir que la vulcanización consiste en la transformación de un material relativamente plástico (el hule crudo), en un material altamente elástico (la goma o caucho vulcanizado). Actualmente, se emplea el término **elastómero** de manera frecuente para designar al hule vulcanizado, y a veces, al hule en general, tanto crudo como vulcanizado. En la figura 2.1, se muestra la vulcanización del poliisopreno con azufre. Las cadenas de polímeros se reticulan por acción del azufre.

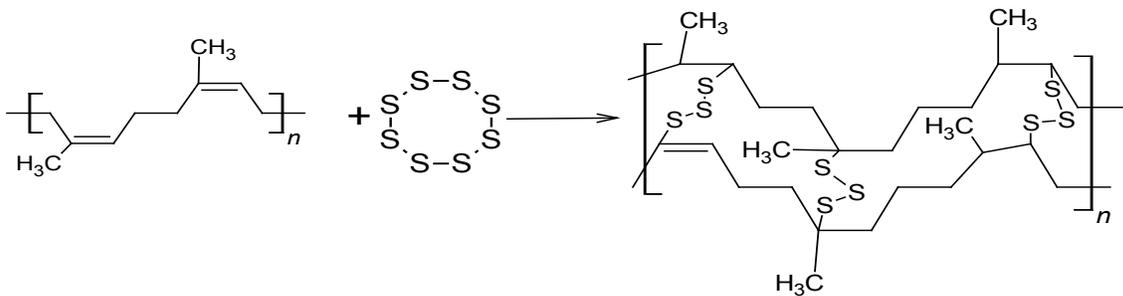


Figura 2.1. Representación esquemática de la vulcanización del poliisopreno con azufre

Vulcanización por azufre

La vulcanización por azufre fue descubierta en 1839 por Charles Goodyear. Curiosamente y por fortuna, fue a dar con el agente vulcanizante por excelencia, el azufre, que aún hoy, después de un siglo y medio, es empleado en la inmensa mayoría de las vulcanizaciones técnicas.

En principio, un azufre en flor (polvo muy fino) es adecuado como agente de vulcanización, siempre y cuando se logre una dispersión correcta del mismo en el seno del caucho. Sin embargo, en la práctica, la dispersión del azufre es insuficiente, puesto que, como veremos, el azufre suele ser el ingrediente que se añade en último lugar en la preparación de la mezcla. Es por eso que es el ingrediente que menos tiempo está sometido a la acción de mezclado, con mucha mayor frecuencia de lo que se supone. Por esa razón, gran parte de la variabilidad observada en los artículos manufacturados, e incluso el origen de muchas piezas defectuosas son atribuibles a una mala o insuficiente dispersión del azufre.

Por ello, resulta aconsejable el empleo de tipos de azufre especialmente preparados para este fin, tales como: azufre micronizado y azufre dispersado en aceite mineral o en un material polimérico compatible con el caucho a emplear.

Otra variedad comercial es el azufre insoluble, que sólo ofrece ventajas en la reducción o supresión de eflorescencias en las mezclas no vulcanizadas. Únicamente si las mezclas se preparan con ciertas precauciones, en cuanto a las temperaturas alcanzadas en el mezclado.

Cauchos de uso general: caucho natural; constitución y procedencia

La estructura y composición química del hule natural, es la de un cis-1,4-poliisopreno. En la naturaleza, también existe el isómero trans-1,4-poliisopreno, constituyente de la gutapercha y la balata, materiales termoplásticos, que, a temperatura ambiente, son mucho más duros y rígidos que el caucho natural. Las configuraciones del poliisopreno se muestran en la figura 2.2.

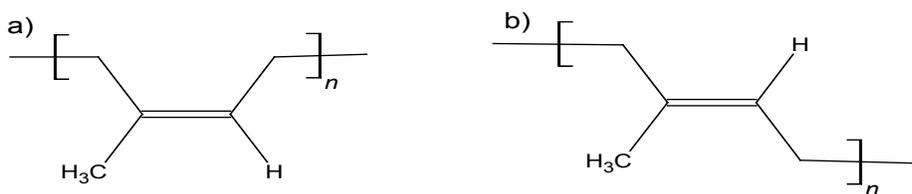
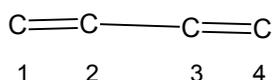


Figura 2.2. Configuraciones posibles de la unidad monomérica isopreno a) conformación cis (caucho natural) b) conformación trans (gutapercha)

Por otra parte, en la preparación de polímeros sintéticos por polimerización de compuestos diénicos, es decir, de compuestos que contienen una agrupación de cuatro átomos de carbono unidos entre sí por dos enlaces dobles y uno sencillo intermedio, la configuración es la siguiente:



La polimerización puede realizarse por la unión de varios compuestos, a través de los carbonos 1 y 4 (con desplazamiento del doble enlace a los carbonos 2,3), o a través de los carbonos 1 y 2 (o 3 y 4). Si los demás sustituyentes son todos

átomos de hidrógeno (como el butadieno) las adiciones 1,2 y 3,4 son absolutamente equivalentes; pero no así en otros casos, como el del isopreno o el 2-metil-butadieno, que puede dar lugar a las configuraciones que muestra la figura 2.3.

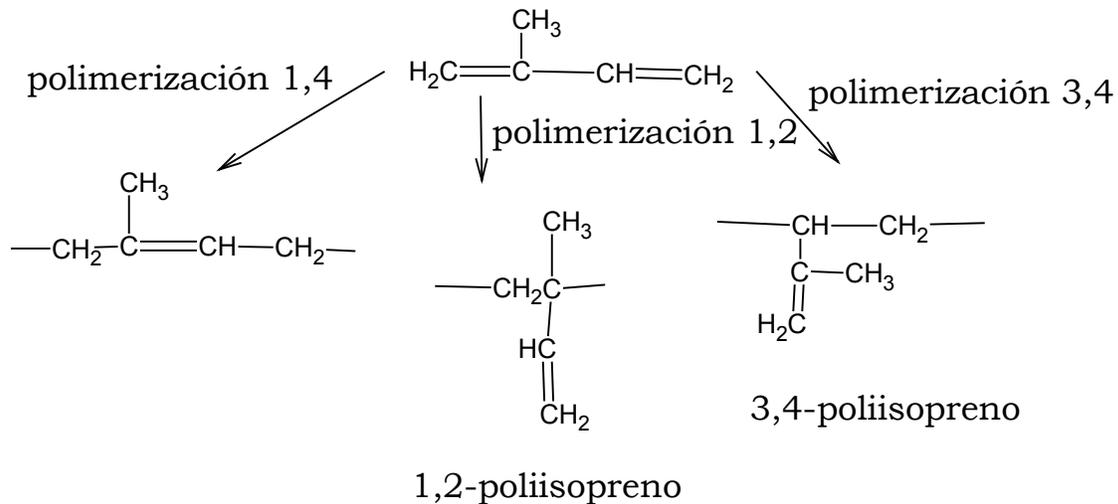


Figura 2.3. Configuraciones posibles en la polimerización de isopreno

Aunque existen diversas especies vegetales productoras de caucho, prácticamente todo el caucho natural se obtiene del árbol *Hevea brasiliensis*, originario de la selva del Amazonas, pero actualmente cultivado en plantaciones en el sureste asiático (Malasia, Indonesia, Tailandia, etc.) y en África ecuatorial (Liberia, Nigeria, Costa de Marfil, etc.). Debido a una enfermedad endémica, los intentos de establecer plantaciones de *Hevea* en América del sur han dado resultados poco satisfactorios frecuentemente.

Métodos de preparación y tipos comerciales de caucho natural

El caucho se encuentra en el árbol de *Hevea*, en forma de suspensión coloidal acuosa, de aspecto lechoso, denominada látex, que contiene alrededor de 30 % de caucho. El látex circula por una red de canales laticíferos, de los que se extrae, practicando una incisión en la corteza (véase figura 2.4), que secciona dichos canales y provoca la secreción del látex durante unas horas, hasta que, por coagulación espontánea, se obtura la incisión, que ha de ser renovada para volver a repetir el proceso, operación que suele practicarse en días alternos.



Figura 2.4. Sangrado del árbol de Hevea para extraer el látex de caucho

El látex que fluye de la incisión se recoge en unas tasas adecuadamente dispuestas; la incisión se suele realizar en las primeras horas de la mañana y, al término de la jornada, se recoge el látex acumulado en la taza.

El látex se lleva a la unidad de elaboración, donde se homogeniza en grandes tanques de almacenamiento. Después, previo filtrado y dilución hasta de un 15 % de sólidos aproximadamente, pasa a los tanques de coagulación, en los que disponen unas placas separadoras, para obtener el coágulo en forma de planchas de un espesor de 4 a 5 cm, que son más manejables que un bloque único. La forma tradicional de provocar la coagulación es la acidificación con ácido acético o fórmico diluidos.

Otros tipos de caucho natural

Existen diferentes modificaciones del caucho natural, lo que proporciona diversas propiedades, algunos tipos de caucho natural son:

- Cauchos SP
- Heveaplus MG
- Mezclas madre de caucho ciclado (CRMB)
- Caucho peptizado
- Caucho desproteinizado (DPNR)

- Caucho natural extendido con aceite (OENR)
- Cauchos TC
- Caucho natural epoxidado (ENR)
- Caucho natural despolimerizado

Cauchos sintéticos de uso general

Tradicionalmente, los cauchos se han dividido entre los llamados **de uso general** y los **de usos especiales**, aunque en ocasiones resulte difícil clasificar un tipo determinado en una categoría o en la otra.

En términos generales, podría decirse que los de uso general son el caucho natural y aquellos cauchos sintéticos que compiten con él en la mayoría de sus aplicaciones. Entre ellos, figuran, además del poliisopreno sintético (IR), el caucho de poli (butadieno-estireno) (SBR) y el polibutadieno (BR). Estos materiales se emplean en gran medida en la fabricación de cubiertas de neumáticos.

Los demás cauchos sintéticos se usan principalmente en función de alguna o varias características especiales, que los hacen particularmente idóneos para una aplicación determinada, aunque en ocasiones sean de un costo muy superior a los de uso general.

Fabricación de algunos artículos de caucho

La industria del caucho es muy amplia, y de acuerdo con el Instituto Internacional de Productores de Goma Sintética (IISRP, por sus siglas en inglés), el consumo promedio por año de caucho en el siglo XX fue de 8,678 mil toneladas, ya que diversos productos manufacturados son demandados por la sociedad, o por la misma industria, algunos productos de caucho son:

- Neumáticos
- Bandas transportadoras
- Correas de transmisión

- Tubos y mangueras
- Recubrimiento de cables eléctricos
- Recubrimiento de rodillos
- Artículos de goma alveolar
- Calzado

Dado lo anterior, la industria del caucho es de suma importancia, así como lo es también el conocer las propiedades de este polímero.

Propiedades mecánicas de los materiales

Muchos materiales, cuando prestan servicio, están sometidos a fuerzas o cargas; un ejemplo de ello son las aleaciones de aluminio con las que se construyen las alas de los aviones y el acero de los ejes de los automóviles. En tales situaciones, es necesario conocer las características del material y diseñar la pieza de tal manera que cualquier deformación resultante no sea excesiva y no se produzca una rotura. El comportamiento mecánico de un material refleja la relación entre la fuerza aplicada y la respuesta del material (su deformación). Algunas de las propiedades mecánicas más importantes son la resistencia, la dureza, la ductilidad y la rigidez.

Las propiedades mecánicas de los materiales se determinan realizando ensayos cuidadosos de laboratorio, que reproducen las condiciones de servicio hasta donde sea posible. Los factores que deben considerarse son la naturaleza de la carga aplicada, su duración, así como las condiciones del medio. La carga puede ser una tracción, una compresión o una cizalladura, y su magnitud puede ser constante con el tiempo o bien fluctuar continuamente. El tiempo de aplicación puede ser sólo de una fracción de segundo o durar un periodo de varios años. La temperatura también puede ser un factor importante.

Concepto de esfuerzo-deformación

Si una carga es estática, o bien, cambia de forma relativamente lenta con el tiempo y es aplicada uniformemente sobre una sección o superficie de una pieza, el comportamiento mecánico puede ser estimado mediante un simple ensayo

esfuerzo-deformación. Existen tres principales maneras de aplicar la carga, a saber: tracción, compresión y cizalladura (figura 2.5). En aplicaciones industriales, muchas cargas son torsionales, más que de cizalladura pura.

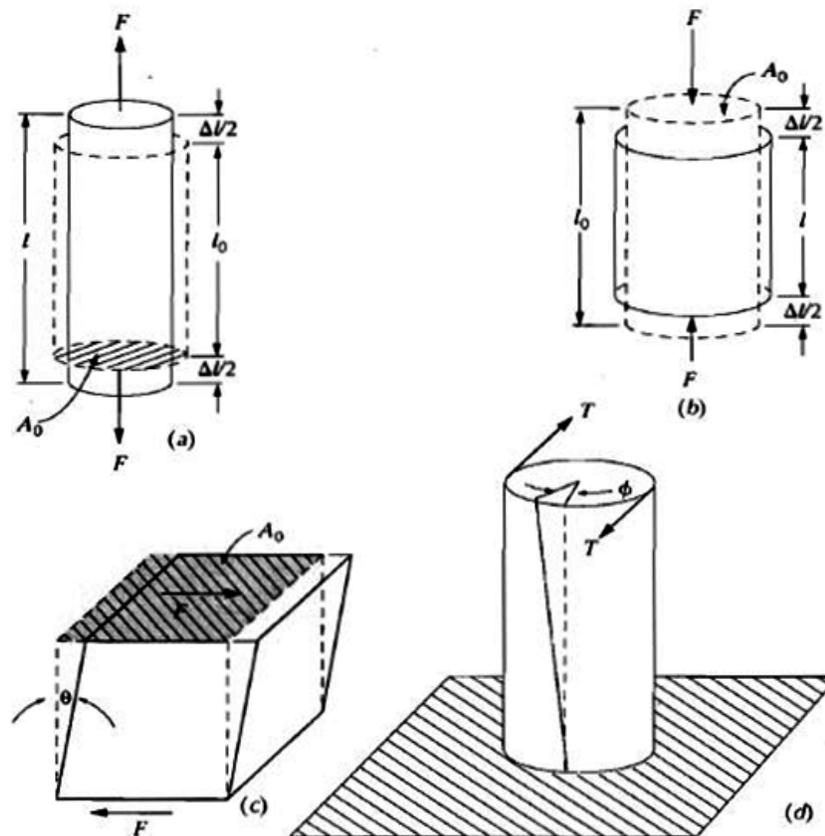


Figura 2.5. (a) Ilustración esquemática de cómo una carga de tracción produce un alargamiento y una deformación lineal positiva. Las líneas discontinuas representan la forma antes de la deformación; las líneas sólidas, después de la deformación. (b) Ilustración de cómo una carga de compresión produce una contracción negativa. (c) Representación esquemática de la deformación por cizalladura. (d) Deformación torsional, un ángulo de giro ϕ producido por un par torsor T

Ensayos de tracción

Uno de los ensayos mecánicos esfuerzo-deformación más común es el realizado por **tracción**. En dicho ensayo, una probeta se deforma hasta su ruptura, con una carga de tracción que aumenta gradualmente y que es aplicada uniaxialmente a lo largo del eje de la probeta. El resultado del ensayo de tracción se registra en una banda de papel, como carga en función del alargamiento. Estas características de

carga-deformación dependen del tamaño de la probeta. Por ejemplo, se requerirá el doble de carga para producir el mismo alargamiento si el área de la sección de la probeta se duplica. Para minimizar estos factores geométricos, la carga y el alargamiento son normalizados para obtener los parámetros de **tensión nominal** y **deformación nominal**, respectivamente. La tensión nominal (σ) se define mediante la relación:

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

En donde, F es la carga instantánea aplicada perpendicularmente a la sección de la probeta, en unidades de newtons (N) o libras fuerza (lb_f), y A_0 es el área de la sección original antes de aplicar la carga (m^2 o in^2). Las unidades de tensión nominal (también denominada simplemente como tensión) son libras fuerza por pulgada cuadrada, psi (unidades del sistema U.S) o bien pascales (SI).

La deformación nominal se define como:

$$\varepsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

En donde l_0 es la longitud original antes de la carga y l_i es la longitud instantánea. La deformación nominal (o simplemente deformación) no tiene unidades, aunque, a menudo, se utiliza pulgadas por pulgada o bien metros por metro; el valor de la deformación obviamente es independiente del sistema de unidades.

Deformación elástica bajo cargas uniaxiales

El grado con que una estructura se deforma depende de la magnitud de la tensión impuesta. Para muchos materiales sometidos a esfuerzos de tracción pequeños, la tensión y la deformación son proporcionales según la ecuación:

$$\sigma = E\varepsilon$$

Esta ecuación recibe el nombre de **Ley de Hooke**, y la constante de proporcionalidad, E (MPa, o bien, psi) es el **módulo de elasticidad**, o *módulo de Young*.

Cuando se cumple que la deformación es proporcional a la tensión, la deformación se denomina **deformación elástica**; al representar la tensión en el eje de las ordenadas, en función de la deformación en el eje de las abscisas, se obtiene una relación lineal. La pendiente de este segmento lineal corresponde al módulo de elasticidad **E** (figura 2.6). Este módulo puede ser interpretado como la rigidez, o sea, la resistencia de un material a la deformación elástica. Cuando mayor es el módulo, más rígido es el material, es decir, menor es la deformación elástica que se origina cuando se aplica una determinada tensión. El módulo es un parámetro de diseño importante utilizado en el cálculo de las deformaciones.

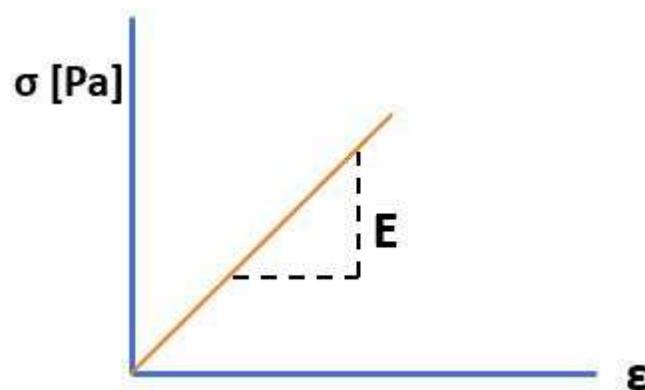


Figura 2.6. Curva de esfuerzo-deformación, la pendiente es el módulo de elasticidad

OBJETIVOS

1. Realizar la curva de esfuerzo-deformación para ligas de hule.
2. Determinar el efecto de la inmersión de las ligas de hule sobre aceite mineral con mezclas de n-heptano.
3. Determinar el módulo de elasticidad de las ligas de hule de acuerdo con el tratamiento realizado.
4. Determinar el intervalo lineal de la curva esfuerzo-deformación.

ACTIVIDADES PREVIAS AL EXPERIMENTO

1. ¿Qué es un hule?
2. Describa la clasificación de los hules en naturales y sintéticos.
3. Mencione y describa al menos tres hules naturales.
4. Investigue al menos tres hules sintéticos y sus aplicaciones.
5. ¿Qué tipo de hule es utilizado para la fabricación de las ligas comerciales?
6. Investigue qué es una curva de esfuerzo-deformación. Describa sus zonas.
7. ¿Qué es el límite elástico de un material?
8. ¿Qué es el límite plástico?
9. ¿Qué particularidad tiene el punto de cedencia de un material?
10. Elabore el diagrama de flujo de la experimentación.

MÉTODO EXPERIMENTAL

Material, reactivos y equipo

Material	Reactivos	Equipo
10 ligas de hule*	n-Heptano	Balanza analítica o granataria
1 soporte universal con pinza de nuez y de tres dedos	Aceite comercial	
Distintas masas para colocar a la liga*		
1 vidrio de reloj		

*Material proporcionado por el alumno

Procedimiento experimental

Selección de ligas

1. Seleccionar 10 ligas de hule de un surtido comercial, de manera que tengan casi las mismas dimensiones. Cada liga debe tener un perímetro de 2 a 5 pulgadas, pesar cada liga y medir la sección recta promedio.

Hinchamiento y extracción

1. Las ligas se tratan de la siguiente manera a temperatura ambiente

Ligas	Puestas en:
De la 1 a la 4	n-Heptano
De la 5 a la 8	Mezcla de n-heptano: aceite mineral, 3:1
De la 8 a la 10	Mezcla de n-heptano: aceite mineral, 1:1

2. Después de 24 h, se sacan las ligas y se dejan secar al aire, a temperatura ambiente durante dos días, en un área bien ventilada. Las ligas de la 1 a la 4 también se deben pesar antes de secarse. Se hace poniéndolas en un pesafiltro con tapón esmerilado.
3. Pesar las ligas. Se calcula la concentración de aceite en las muestras, suponiendo que la misma cantidad de material se ha extraído, como en las muestras libres de aceite. También, calcule la fracción volumen (v_2) para las ligas libres de aceite en el n-heptano. Use al peso seco y las densidades del hule y del n-heptano, suponiendo las aditividades en el estado hinchado.

Elasticidad

1. Colocar distintas masas para que la liga se tensione, registre la longitud de la liga con cada masa colocada, así como la longitud de la liga en reposo. Deje pasar 10 s después que se agrega o se retira cada peso.
2. Es suficiente con hacer las mediciones solamente en cada uno de los tres tipos de ligas ya tratadas.

DATOS EXPERIMENTALES

Tabla 2.1. Datos experimentales para la elasticidad del hule

Determinación	n-Heptano		n-Heptano-aceite mineral 3:1		n-Heptano-aceite mineral 1:1		
	Masa (g)	Longitud inicial (cm)	Longitud instantánea (cm)	Longitud inicial (cm)	Longitud instantánea (cm)	Longitud inicial (cm)	Longitud instantánea (cm)
A							
B							
C							
D							
E							
F							
G							
H							
I							
J							
K							
L							

TRATAMIENTO DE DATOS EXPERIMENTALES Y PUNTOS MÍNIMOS PARA EL INFORME EXPERIMENTAL

1. Grafique las curvas de esfuerzo-deformación para cada tratamiento.
2. Calcule el módulo de elasticidad y discuta las diferencias entre cada uno de ellos de acuerdo con el tipo de tratamiento de la liga.
3. Discuta las zonas de las gráficas obtenidas ¿Pudo llegar a la zona plástica, o se quedó en la zona elástica?
4. Discuta la acción de los disolventes sobre los enlaces que reticulan la estructura molecular del hule.

ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

1. ¿Es posible realizar el trazo completo de la curva de esfuerzo-deformación para el hule, utilizando la liga?
2. Investigue qué es la dureza y cómo se le determina a los materiales.
3. ¿Qué relación hay entre dureza y elasticidad a nivel molecular?



BIBLIOGRAFÍA

Billmeyer, F. W. (2004). *Ciencia de los polímeros*. México: Reverté.

Royo, J. (1989). *Manual de tecnología del Caucho*. España: Consorcio Nacional de Industriales del Caucho.

Rodríguez. F. (1984). *Principios de sistemas de polímeros* (2.^a ed.). México: Manual moderno.

Seymour, R. B. (2002). *Química de polímeros*. (2.^a ed.). México: Reverté.



HOJA DE DATOS PARA EL PROFESOR

Práctica 2: Elasticidad del hule							
Materia	Laboratorio de polímeros						
Carrera							
Profesor							
Alumnos							
Tratamiento		n-Heptano		n-Heptano-aceite mineral 3:1		n-Heptano-aceite mineral 1:1	
Determinación	Masa (g)	Longitud inicial (cm)	Longitud instantánea (cm)	Longitud inicial (cm)	Longitud instantánea (cm)	Longitud inicial (cm)	Longitud instantánea (cm)
A							
B							
C							
D							
E							
F							
G							
H							
I							
J							
K							
L							



ACTIVIDAD EXPERIMENTAL 3

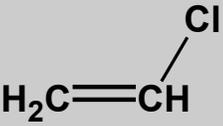
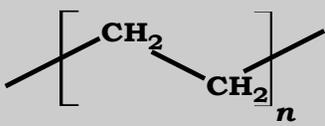
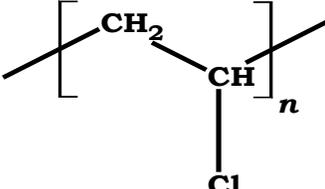
Viscosidad de soluciones de polímeros y peso molecular viscosimétrico

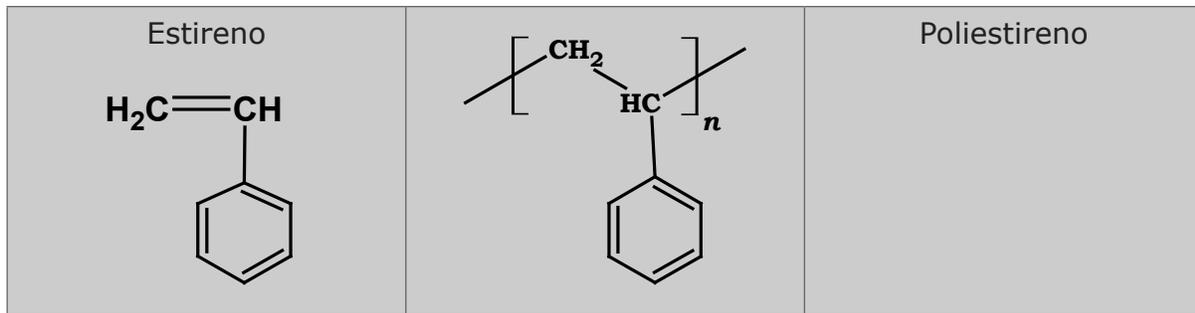
INTRODUCCIÓN

Un polímero es una macromolécula compuesta de pequeñas unidades fundamentales que se repiten a lo largo de toda la molécula. Puede constar de cientos o millones de monómeros, la molécula de un polímero puede tener una forma lineal, ramificada, o incluso, en forma de red. Las unidades repetitivas de un polímero se unen mediante enlaces covalentes; asimismo, los grupos funcionales de los monómeros pueden interactuar entre sí, formando puentes de hidrógeno e interacciones de Van Der Walls.

El término **unidades repetitivas** denota la unión de la molécula fundamental de la que se compone un polímero a lo largo de toda la cadena, la cual es llamada *unidad monomérica*.

Tabla 3.1. Estructura de algunos polímeros comunes y sus monómeros

Monómero	Unidad repetitiva/Unidad monomérica	Polímero
Cloruro de vinilo 		Policloruro de vinilo
Etileno 		Polietileno



El **grado de polimerización** (DP) hace referencia al promedio de las unidades repetitivas de la cadena.

$$DP = \frac{M}{M_o}$$

Donde M_o = masa molecular de la unidad monomérica.

Algunos pesos moleculares promedio son definidos dependiendo de la técnica con la que son medidos. A continuación, se definen algunos:

- | | |
|--|--|
| 1. M_n – Peso molecular promedio en número | $M_n = \frac{\sum N_i M_i}{\sum N_i}$ |
| 2. M_v – Peso molecular viscosimétrico | $M_v = \left[\frac{\sum N_i M_i^{1+\alpha}}{\sum N_i M_i} \right]^{\frac{1}{\alpha}}$ |
| 3. M_w – Peso molecular promedio en peso | $M_w = \frac{\sum N_i M_i^2}{\sum N_i M_i}$ |
| 4. M_z – Peso molecular promedio Z | $M_z = \frac{\sum N_i M_i^3}{\sum N_i M_i^2}$ |

¿Cómo se disuelve un polímero?

El proceso de disolución de un polímero suele ser lento. Con frecuencia, y en particular para redes poliméricas altamente entrecruzadas, la adición de un disolvente sólo hace que el polímero se hinche, conforme el disolvente permea la matriz polimérica. Para otros polímeros, la disolución se efectúa en un periodo de tiempo prolongado, después del proceso inicial de hinchazón. En general, las fracciones con menor masa molecular son más solubles; esta propiedad suele emplearse para separar al polímero en fracciones de diferentes masas molares promedio.



Figura 3.1. Proceso de disolución de un polímero

En la figura 3.1, se esquematiza el proceso de disolución de un polímero: al entrar en contacto con el disolvente, las moléculas del polímero sólido (izquierda) se hinchan (centro), para finalmente formar estructuras solvatadas sencillas (derecha) en la solución.

Las interacciones entre soluto y disolvente son relativamente grandes, comparadas con las interacciones entre moléculas más pequeñas. Como resultado, el comportamiento de las soluciones poliméricas, incluso muy diluidas, puede alejarse mucho del comportamiento ideal.

La configuración de un polímero en solución depende estrictamente del disolvente. En un "buen" disolvente existe una interacción más fuerte entre el disolvente y el polímero, que entre disolvente y disolvente, o entre distintos segmentos del polímero. El polímero se extiende en la solución (figura 3.2).



Figura 3.2. Configuración de un polímero en distintos disolventes: extendido en un buen disolvente (izquierda), enrollado en un disolvente pobre (derecha)

En un disolvente pobre, los segmentos del polímero prefieren permanecer enlazados con otros segmentos de la molécula polimérica; de este modo, aunque se separa de otras moléculas en el sólido, la molécula se enreda sobre sí misma. Estas distintas conformaciones tienen influencia en la viscosidad, por ejemplo, la viscosidad de una solución con grandes cadenas extendidas es mucho mayor que la de una solución que contenga a las moléculas enredadas.

La fase sólida de un polímero lineal, o de uno con ramificaciones no demasiado grandes, puede ser cristalina. Por ejemplo, el polietileno lineal sólido es principalmente cristalino, consta de regiones en las cuales la molécula lineal ha sido doblada cuidadosamente, como en la figura 3.3 (izquierda). Sin embargo, esas grandes moléculas pueden cometer algunos errores con facilidad, y aparecerán regiones desordenadas, como en la figura 3.3 (centro y derecha). En cuanto a energía, los errores no difieren mucho del arreglo perfectamente ordenado y, en consecuencia, aparecen con frecuencia. Sin embargo, como en el sólido existen regiones ordenadas, podemos describirlo, cuando menos, como un material parcialmente cristalino.

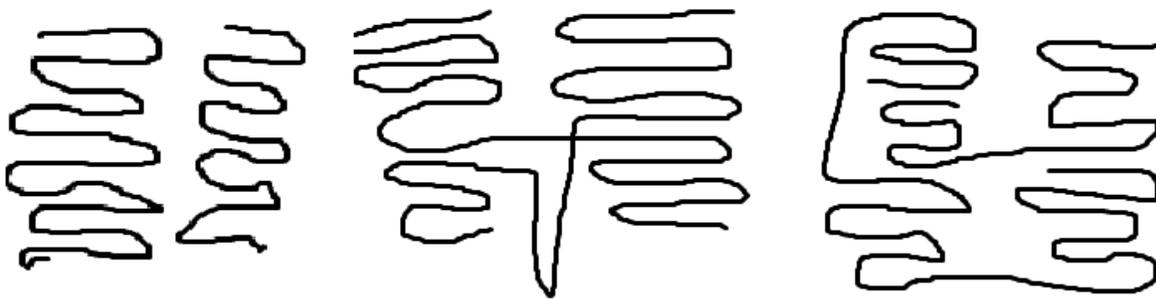


Figura 3.3. Tres regiones de cristalinidad para un polímero lineal (izquierda) y sus errores posibles (centro y derecha)

Las disoluciones de polímeros de bajo peso molecular suceden cuando un polímero es añadido a un disolvente, este proceso puede tardar desde unos minutos hasta varias semanas, dependiendo de la estructura y el peso molecular del polímero.

Viscosidad

En términos simples, la viscosidad es la medida de la resistencia que posee un fluido de manera tangencial al patrón de flujo.

Para medir la viscosidad de un material, existe la ecuación de Poiseuille, la cual relaciona el volumen ΔV de un fluido incompresible de viscosidad η , que se mueve a través de un tubo de longitud l y de radio r bajo una caída de presión ΔP ; relacionando las variables se obtiene la siguiente ecuación:

$$\frac{\Delta V}{t} = \frac{\pi r^4}{8\eta l} \Delta P$$

La denotación para la viscosidad del disolvente puro es η_o , y η para la viscosidad del polímero en el disolvente, c es la concentración de la disolución del polímero.

Existen diversos términos para referirse a la viscosidad, los más comunes son:

1. *Viscosidad relativa*

$$\eta_r = \frac{\eta}{\eta_o}$$

2. *Viscosidad específica*

$$\eta_{sp} = \frac{\eta - \eta_o}{\eta_o} = \eta_r - 1$$

3. *Viscosidad inherente*

$$\eta_i = \frac{\text{Ln}(\eta_r)}{c}$$

4. *Viscosidad intrínseca*

$$[\eta] = \lim_{c \rightarrow 0} \frac{\eta_{sp}}{c}$$

El viscosímetro capilar de Ubbelohde

El viscosímetro de Ubbelohde es de los más utilizados para determinar la viscosidad intrínseca.

El Ubbelohde es simple, aquí se mide el tiempo en el que un volumen de la solución de un polímero, a través del capilar, es comparado con el del solvente. El tiempo que tarda en fluir es proporcional a la viscosidad, e inversamente proporcional a la densidad.

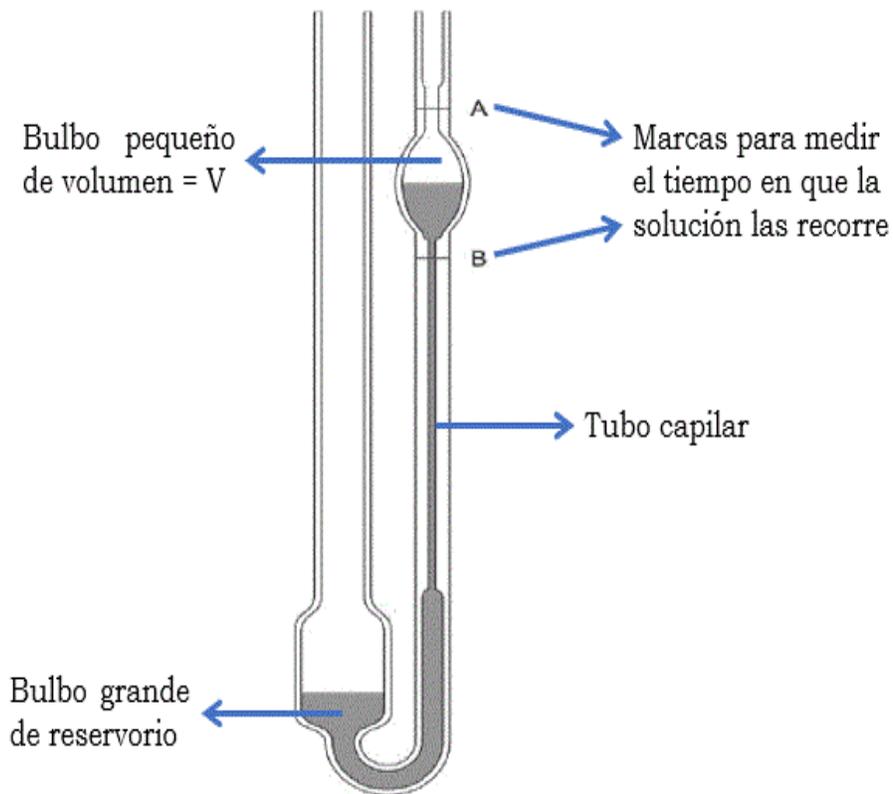


Figura 3.4. Viscosímetro Ubbelohde y sus principales partes

$$t_{disolvente} = \frac{\eta_{disolvente}}{\rho_{disolvente}}$$

$$t_{disolución} = \frac{\eta_{disolución}}{\rho_{disolución}}$$

En donde:

$t_{disolvente}$ = tiempo que tarda en fluir el disolvente

$t_{disolución}$ = tiempo que tarda en fluir la disolución

$\eta_{disolvente}$ = Viscosidad del disolvente

$\eta_{disolución}$ = Viscosidad de la disolución

Como ya se definió, la viscosidad relativa, es la relación entre la viscosidad de la solución y la viscosidad del disolvente η/η_o . Para soluciones diluidas de polímero, es

posible hacer una simplificación en la que el cociente de densidades $\rho_{\text{disolución}} / \rho_{\text{disolvente}}$ es prácticamente la unidad. Tomando en cuenta esta aproximación, la viscosidad relativa puede definirse de acuerdo con la siguiente relación:

$$\eta_r = \frac{t_{\text{disolución}}}{t_{\text{disolvente}}}$$

Al mismo tiempo, η_r y η_{sp} dependen de la concentración del polímero; así que para extraer las propiedades "intrínsecas" del polímero, se debe extrapolar la concentración a cero.

Soluciones diluidas y viscosidad intrínseca

La manipulación de las viscosidades de las soluciones diluidas da un parámetro importante para un polímero en un disolvente dado: la **viscosidad intrínseca** $[\eta]$. Como ya se definió anteriormente, la viscosidad intrínseca se expresa como:

$$[\eta] = \lim_{c \rightarrow 0} \frac{\eta_{sp}}{C}$$

Dado que la viscosidad relativa y la viscosidad específica son adimensionales, la viscosidad intrínseca tiene dimensiones de concentración inversa. Por convención, c generalmente se expresa en gramos de polímero por cada 100 mL de disolución. En la siguiente tabla, se presenta la nomenclatura viscosimétrica:

Tabla 3.2. Nomenclatura viscosimétrica

Símbolo	Nombre	Unidades comunes
η	Viscosidad de la solución polimérica	Poise, Pa*s
η_0	Viscosidad del disolvente puro	Poise, Pa*s
η_r	Viscosidad relativa	Adimensional
η_{sp}	Viscosidad específica	Adimensional
η_i	Viscosidad inherente	mL/g
$[\eta]$	Viscosidad intrínseca	mL/g

Si η_{sp}/C o $\text{Ln}(\eta_r)/C$ se graficaran en función de la concentración, resultaría una línea recta (figura 2.5) que corresponde a las siguientes ecuaciones:

Ecuación de Huggins

$$\frac{\eta_{sp}}{C} = [\eta] + k'[\eta]^2 C$$

Ecuación de Kraemer

$$\frac{\text{Ln}(\eta_r)}{C} = [\eta] - k''[\eta]^2 C$$

Construyendo gráficos de η_{sp}/C y $\text{Ln}(\eta_r)/C$ contra la concentración, se puede determinar la viscosidad intrínseca, cuando la concentración es extrapolada a cero.

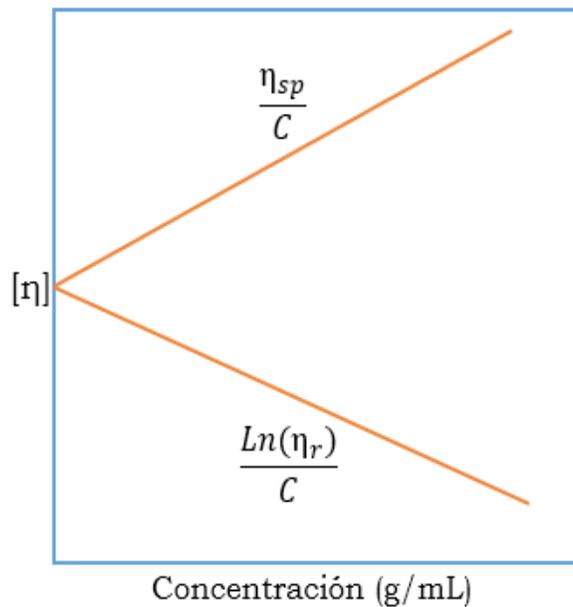


Figura 3.5. Gráfico de las correlaciones de Huggins y Kraemer para obtener la viscosidad intrínseca

Para muchos polímeros en buenos disolventes:

$$k' = 0.4 \pm 0.1 \text{ y } k'' = 0.05 \pm 0.05$$

La ecuación de Mark-Houwink

Con bases empíricas, Staudinger propuso que $[\eta]$ fuera proporcional al peso molecular para una combinación dada de polímero-solvente, la relación más general de **Mark-Houwink**, con dos constantes es:

$$[\eta] = K' M^\alpha$$

Dónde:

K y α son constantes, cuyos valores dependen de la naturaleza del polímero, el disolvente y la temperatura.

M usualmente es el peso molecular viscosimétrico.

OBJETIVOS

1. Obtener la viscosidad relativa de una serie de soluciones de poliestireno en tolueno como disolvente, mediante el viscosímetro de Ubbelohde.
2. Determinar la viscosidad específica para cada solución de poliestireno.
3. Ajustar los datos experimentales a los modelos matemáticos de Huggins y Kraemer, para la obtención de la viscosidad intrínseca.
4. Calcular el peso molecular viscosimétrico mediante la ecuación de Mark-Houwink

ACTIVIDADES PREVIAS AL EXPERIMENTO

1. Elabore una tabla en la que indique los polímeros y disolventes de las disoluciones poliméricas utilizadas comúnmente.
2. Discuta las etapas de disolución de un polímero.
3. Defina qué es la viscosidad.
4. Discuta si la viscosidad es una función de la concentración, así como las ecuaciones que describan esta variación.

5. Investigue qué es el peso molecular viscosimétrico y que para qué es preciso conocerlo en el análisis de las soluciones de polímeros.
6. Describa qué es el viscosímetro de Ubbelohde, así como su fundamento y qué viscosidad de una solución polimérica es posible obtener con éste.
7. ¿Mediante qué técnicas es posible conocer el peso molecular promedio en número, y el peso molecular promedio en peso?
8. Describa el método para obtener la viscosidad intrínseca a partir de las ecuaciones de Huggins y Kraemer.
9. ¿A partir de qué ecuación relacionada con la viscosidad intrínseca, es posible obtener el peso molecular viscosimétrico?
10. Investigue el valor de las constantes de la ecuación de Mark–Houwink para las soluciones de poliestireno en tolueno como disolvente.

MÉTODO EXPERIMENTAL

Material, reactivos y equipo

Material	Reactivos	Equipo
1 vaso de precipitados de 50 mL	Poliestireno	Viscosímetro Ubbelohde
1 matraz volumétrico de 100 mL	Tolueno	Parrilla de agitación magnética
1 pipeta volumétricas de 5 mL		
1 pipeta volumétrica de 6 mL		Baño de temperatura constante

1 pipeta volumétrica de 7 mL		
1 pipeta volumétrica de 8 mL		
1 pipeta volumétrica de 9 mL		
1 pipeta volumétrica de 10 mL		

Procedimiento experimental

Preparación de la solución patrón de poliestireno

1. Preparar 100 mL de una solución de poliestireno de concentración 1250 mg/L, usando tolueno como disolvente.

Calibración del viscosímetro con el tolueno

1. Colocar 20 mL de tolueno en el viscosímetro Ubbelohde.
2. Poner el viscosímetro en un baño de temperatura constante, esperar 5 minutos para que alcance el equilibrio térmico.
3. Tome el tiempo en el que el tolueno recorre las líneas graduadas en uno de sus bulbos. Realice la medición por triplicado y regístrela.

Realización de los sistemas para medir el tiempo en el viscosímetro de Ubbelohde

Realice los siguientes sistemas a partir de la solución patrón de poliestireno, llevando al aforo cada sistema con tolueno. En cada sistema, se deberá medir el tiempo en que la solución recorre las marcas del viscosímetro de Ubbelohde, cada medición deberá realizarse por triplicado. Es importante que entre cada lectura no queden restos de la solución anterior.

Tabla 3.3. Preparación de los sistemas de poliestireno

Sistema	A	B	C	D	E	F
Volumen de la solución patrón de poliestireno (mL)	5	6	7	8	9	10
Volumen de aforo (mL)	25					

DATOS EXPERIMENTALES

Tiempo que tarda el tolueno en recorrer las marcas del viscosímetro Ubbelohde (s):

Réplica 1: _____, réplica 2: _____, réplica 3: _____

Tabla 3.4. Recolección de los datos experimentales

Sistema		A	B	C	D	E	F
Volumen de la solución patrón de poliestireno (mL)		5	6	7	8	9	10
Volumen de aforo (mL)		25					
Concentración de poliestireno (mg/L)							
Tiempo (s)	Réplica 1						
	Réplica 2						
	Réplica 3						

TRATAMIENTO DE DATOS EXPERIMENTALES Y PUNTOS MÍNIMOS PARA EL INFORME EXPERIMENTAL

1. Calcule las nuevas concentraciones de las soluciones de poliestireno en cada determinación del viscosímetro Ubbelohde.
2. Calcule η_r .
3. Calcule η_{sp} .
4. Determine el valor de la viscosidad intrínseca $[\eta]$, mediante la ecuación de Huggins-Kraemer así como M_v .

ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

1. ¿Por qué el *peso molecular* encontrado es llamado *peso molecular promedio*?
2. ¿Qué son las literales α y K en la ecuación de Mark-Houwink?
3. ¿Por qué se utilizó tolueno en la práctica? ¿Es posible usar otro disolvente polar?
4. Según la ecuación de Poiseuille, la viscosidad se puede determinar de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\frac{\Delta V}{t} = \frac{\pi r^4}{8\eta l} \Delta P$$

¿Cómo se puede hacer la siguiente suposición?

$$\eta_r = \frac{t_{solución}}{t_{disolvente}}$$

BIBLIOGRAFÍA

Billmeyer, F. W. (2004). *Ciencia de los polímeros*. México: Reverté.

Rodríguez. F. (1984). *Principios de sistemas de polímeros* (2.ª ed.). México: Manual moderno.

Castellan, W. G. (1987). *Fisicoquímica* (2.ª ed.). México: Addison-Wesley Iberoamericana.

Seymour, R. B. (2002). *Química de polímeros*. (2.ª ed.). México: Reverté.



HOJA DE DATOS PARA EL PROFESOR

Fecha: _____

Temperatura: _____

Práctica 3: Viscosidad de soluciones de polímeros y peso molecular viscosimétrico						
Materia	Laboratorio de polímeros					
Carrera						
Profesor						
Alumnos						
Sistema	A	B	C	D	E	F
Volumen de la solución patrón de poliestireno (mL)	5	6	7	8	9	10
Volumen de aforo (mL)	25					
Concentración de poliestireno (mg/L)						
Tiempo (s)	Réplica 1					
	Réplica 2					
	Réplica 3					
Tiempo en el que el tolueno (s) tarda en recorrer las marcas del viscosímetro	Réplica 1:					
	Réplica 2:					
	Réplica 3:					



ACTIVIDAD EXPERIMENTAL 4

Determinación experimental de los enlaces cabeza-cola del alcohol polivinílico, mediante medidas viscosimétricas

INTRODUCCIÓN

Los fluidos tienden a resistir el gradiente de flujo. Esta resistencia produce una fuerza llamada **fuerza tangencial**, la cual es proporcional al área de contacto (A) entre las regiones de flujo y el gradiente de velocidad (dv/dx). La constante de proporcionalidad se llama **coeficiente de viscosidad** o **viscosidad (η)**. La viscosidad es la propiedad de los fluidos de resistirse a la fuerza normal de flujo.

$$F = \eta A \frac{dv}{dx}$$

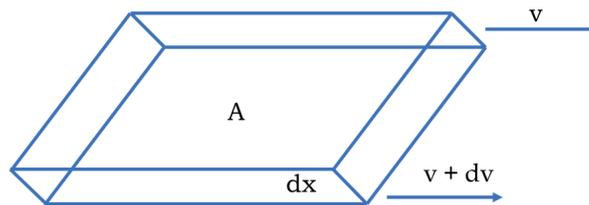
Donde:

$F =$ fuerza tangencial [N]

$\eta =$ viscosidad [poise], $\left[\frac{Kg}{m \cdot s} \right]$

$\frac{dv}{dx} =$ gradiente de flujo $\left[\frac{1}{s} \right]$

$A =$ área de contacto [m^2]



Para medir la viscosidad, se debe determinar el flujo en presencia de un gradiente de velocidad. Poiseuille derivó una fórmula para el volumen (ΔV) de un fluido incompresible de viscosidad (η), que se mueve a través de un tubo de longitud l y radio (r), en un tiempo (Δt), sujeto a una caída de presión (ΔP), lo que resultó en la siguiente ecuación:

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{\pi r^4}{8\eta l} \Delta P$$

A partir de esta ecuación, se ve que una medida del tiempo que tarda un volumen específico para moverse a través de un tubo (generalmente con un diámetro de



no más de unos pocos milímetros), bajo una caída de presión constante, es una medida directa de la viscosidad.

Hay muchas otras maneras de medir el comportamiento viscoso. Otra medición de la viscosidad se basa en la ley de Stokes, que relaciona el arrastre viscoso en un objeto que cae con la viscosidad del medio a través del cual cae: **viscosímetro de caída de bola**.

Orígenes de la viscosidad

Para los líquidos, la viscosidad está determinada por fuerzas intermoleculares atractivas de corto alcance, cuyos efectos son difíciles de modelar. Para los gases, la viscosidad surge de la transferencia de momento entre las capas de las moléculas en movimiento. La teoría de la cinética de los gases da la siguiente ecuación para la viscosidad de un gas:

$$\eta = \sqrt{\frac{MRT}{\pi^3 \sigma^4 L^2}}$$

Donde M es la masa molar, R es la constante de los gases, σ es el diámetro molecular y L es el número de Avogadro. Por ejemplo, para el helio a 298.15 K, esta ecuación predice una viscosidad de 189 micropoise. Tal vez, el resultado más importante de la derivación de la teoría cinética es la predicción de que la viscosidad de un gas aumenta con la temperatura y la masa molar.

Es bien conocido que la viscosidad de los líquidos típicamente disminuye con la temperatura.

Viscosidad de soluciones de polímeros

Las propiedades de las soluciones no dependen únicamente de los materiales mezclados, también dependen de las cantidades de cada uno de los materiales presentes en la mezcla, como muestra la teoría de Eyring. Un ejemplo particularmente importante es la viscosidad de una solución de un material polimérico en un solvente de molécula pequeña. La base de la explicación de la dependencia de la viscosidad de una solución de un polímero con la concentración es la relación de Einstein para la viscosidad de una solución diluida de partículas esféricas.

$$\frac{\eta}{\eta_o} = 1 + 2.5\phi$$

Donde η es la viscosidad de una solución de fracción de volumen; ϕ , de las esferas; y η_o es la viscosidad del disolvente puro de molécula pequeña. Para partículas de otras formas, es válida una relación similar, pero el coeficiente numérico de la fracción de volumen es diferente.

Es usual definir la **viscosidad específica** (η_{sp}) de una solución de un polímero por la siguiente ecuación:

$$\eta_{sp} = \frac{\eta - \eta_o}{\eta_o}$$

La viscosidad específica es el aumento fraccional de la viscosidad sobre la del disolvente puro, provocado por la adición del polímero. Según la ecuación de Einstein, para una solución teórica de esferas perfectas, la viscosidad específica se puede relacionar con la concentración, de acuerdo con la ecuación siguiente:

$$\eta_{sp} = \frac{10\pi r^3}{3m} C_m$$

Donde r es el radio de la molécula "esférica", m es su masa, y C_m es la concentración de la masa. Así, por esta simple teoría, se predice que la viscosidad específica es lineal, con respecto a la concentración de la masa.

Para soluciones poliméricas reales, la dependencia de la viscosidad específica suele ser más compleja de lo que predice esta simple teoría. La molécula de un polímero no necesariamente es esférica ni es grande, en comparación con una molécula de disolvente, por lo que es apropiado tratarla como una esfera en continuo. Para parametrizar la dependencia con la concentración de la viscosidad específica, se define la **viscosidad intrínseca** $[\eta]$, como:

$$[\eta] = \lim_{C_m \rightarrow 0} \frac{\eta_{sp}}{C_m}$$

Al igual que otros parámetros extrapolados a dilución infinita, la viscosidad intrínseca describe la interacción de una única molécula de polímero promedio con un mar de disolvente. Para una molécula esférica, $[\eta]$ debe ser proporcional al

volumen molecular. Para muchos polímeros en solución diluida, las cadenas tienden a adoptar una configuración en forma de bola apretada, la estructura promedio de dichos polímeros se define por un **radio de giro (R_G)**. Para tales moléculas, se predice que:

$$[\eta] = K' \frac{R_G^3}{M}$$

Donde M es la masa molar y K' es una constante. Para polímeros que adoptan una conformación enrollada aleatoria, la teoría predice que $R_G \propto M^{1/2}$. Por lo tanto, la dependencia de la viscosidad intrínseca en función de la masa molar, se define de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$[\eta] = KM^{1/2}$$

Esto generalmente se aplica a soluciones poliméricas, en lo que se conoce como condiciones "theta". En la práctica, se puede describir con mayor precisión la dependencia de la viscosidad intrínseca con la ecuación empírica de **Mark-Houwink**:

$$[\eta] = KM^{\alpha}$$

Donde K y α son dos parámetros que dependen del polímero y su disolvente. Algunos valores para estos coeficientes de algunos polímeros y disolventes, se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 4.1. Parámetros de la ecuación de Mark-Houwink para distintos polímeros y disolventes

Polímero	Disolvente	Temperatura (° C)	K	α
Poliestireno atáctico	Benceno	25	0.034	0.65
Poliestireno atáctico	Tolueno	25	0.00848	0.748
Poliestireno atáctico	Ciclohexano	28	0.108	0.479
Poli (isobutileno)	Benceno	25	0.083	0.53
Poli (isobutileno)	Tolueno	25	0.087	0.56

Poli (isobutileno)	Ciclohexano	25	0.04	0.72
Polipropileno atáctico	Benceno	25	0.027	0.71
Polipropileno atáctico	Tolueno	30	0.0218	0.725
Polipropileno atáctico	Ciclohexano	25	0.016	0.8
Alcohol polivinílico	Agua	25	0.0002	0.76

Una vez que K y a son conocidos, para una combinación de polímero y disolvente, se puede usar la viscosidad intrínseca para calcular la **masa molecular viscosa promedio** de un material (M_v).

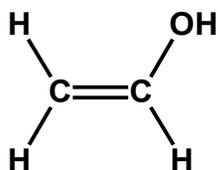
Las muestras de polímero tienden a ser mezclas de moléculas de diferente masa (es decir, son poli dispersos). La cantidad promedio que representa la masa molar depende de cómo se calcula el promedio. La cantidad calculada con la ecuación de Mark-Houwink es la **masa molecular viscosa promedio** (M_v). Otra medida es la **masa molecular en número promedio** (M_n). La relación de estos dos parámetros depende de la distribución de las moléculas de distintas masas en una muestra. Para una distribución normal de ellas, se tiene la siguiente ecuación:

$$\frac{M_v}{M_n} = [(1 + \alpha) \Gamma(1 + \alpha)]^{1/\alpha}$$

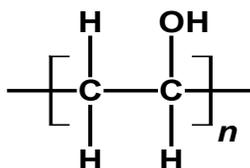
Donde $\Gamma(x)$ es la función gama evaluada en x . Otra clasificación es la **masa molecular en promedio en peso** (M_w). Resulta que las masas moleculares viscosa promedio y en peso promedio son similares. De hecho, serán idénticas si $\alpha=1$.

Degradación del polímero, y viscosidad de las soluciones

Los polímeros de adición, están formados por la unión de moléculas con dobles enlaces. Como lo son el polietileno, el polipropileno, el poliestireno y el policloruro de vinilo (PVC). Un material particularmente interesante y útil es el alcohol vinílico:



Los polímeros hechos del alcohol polivinílico son comercialmente útiles. En este experimento, se mide la viscosidad de soluciones de alcohol polivinílico y soluciones de productos de degradación de este material. La estructura del alcohol polivinílico es la siguiente:



La fórmula entre corchetes es la unidad monomérica, la cual tiene una *cabeza* (el CHOH) y una *cola* (el grupo CH₂). Esta fórmula no indica cómo los grupos de monómeros adyacentes están orientados uno con respecto al otro. Se podrían suponer cadenas regulares, la cabeza de un monómero se une a la cola de su vecino y así sucesivamente, por toda la cadena polimérica. Nada es perfecto, por lo que las cadenas a menudo contienen series de monómeros dispuestos irregularmente. En ocasiones, los defectos se dan de cabeza a cabeza. Se pueden encontrar cadenas donde el enlace central es cabeza-cabeza, como se muestra a continuación en la cadena del 1,2-glicol:



Una media de la estructura del polímero es la fracción (Δ) de enlaces monoméricos que son de cabeza a cabeza. En este experimento, el tratamiento con peryodato corta los enlaces del 1,2-glicol, formando cadenas más pequeñas. El tamaño de las cadenas más pequeñas dependerá de la cantidad de enlaces cabeza-cabeza en la muestra, particularmente de alcohol polivinílico, los cuales pueden estimarse a partir de la masa molecular en número promedio del polímero y sus productos de ruptura.

Tabla 4.2. Valores numéricos de la función gamma

x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$
1	1	1.52	0.88703878
1.04	0.9784382	1.56	0.8896392
1.08	0.95972531	1.6	0.89351535
1.12	0.94359019	1.64	0.89864203
1.16	0.92980307	1.68	0.90500103
1.2	0.91816874	1.72	0.91258058
1.24	0.90852106	1.76	0.92137488
1.28	0.90071848	1.8	0.93138377
1.32	0.89464046	1.84	0.94261236
1.36	0.89018453	1.88	0.95507085
1.4	0.88726382	1.92	0.96877431
1.44	0.88580506	1.96	0.98374254
1.48	0.88574696	2	1

Así, se examina la estructura indirectamente a través de una reacción química. Una reacción que actúa específicamente en los enlaces 1,2-glicol para escindir un polímero lo rompe en unidades más pequeñas, cuyo tamaño está determinado por el número de unidades monoméricas entre estos sitios. El tratamiento con peryodato puede causar esta escisión. En el supuesto que todos los enlaces del 1,2-glicol se dividen y que ninguno de los enlaces es de cabeza a cola, se rompen durante el tratamiento con peryodato. Δ es igual al aumento en el número de moléculas después de la ruptura, dividido por el número total de unidades monoméricas, teniendo así la siguiente ecuación:

$$\Delta = M_m \left[\frac{1}{M'_n} + \frac{1}{M_n} \right]$$

Donde M_m es la masa molar del monómero, M_n es la masa molar en número promedio del polímero antes de la ruptura, y M'_n es la masa molar en número promedio del polímero después de la ruptura. Usando la ecuación de Mark-Houwink, se puede calcular la masa molar en número promedio, a partir de la masa molar viscosa promedio, para obtener el valor de la fracción cabeza-cabeza para una muestra de un polímero.

OBJETIVOS

1. Medir la viscosidad de una serie de soluciones de alcohol polivinílico.
2. Determinar la viscosidad de una serie de soluciones de alcohol polivinílico, la cual se ha sometido a condiciones de ruptura de los enlaces que no son cabeza-cola.
3. Determinar la viscosidad intrínseca de las soluciones de PVA y de PVA que se ha sometido a ruptura.
4. Calcular la masa molecular viscosa promedio (M_v) y la masa molecular promedio en número (M_n) para el alcohol polivinílico.
5. Obtener de manera experimental la fracción de enlaces monoméricos que son cabeza-cabeza (Δ).

ACTIVIDADES PREVIAS AL EXPERIMENTO

1. ¿Por qué es necesario utilizar una distribución de pesos moleculares al hablar de un polímero?
2. Investigue qué tipos de pesos moleculares tienen los polímeros. Discuta la interpretación de cada peso molecular.
3. Escriba la ecuación que relaciona el peso molecular de un polímero, en función de la viscosidad de su disolución.
4. La ecuación de Huggins y Kraemer permite conocer la viscosidad intrínseca para soluciones diluidas. Investigue las ecuaciones que funcionan para soluciones concentradas.
5. Describa a qué se refieren los términos *enlaces cabeza-cola* en polímeros.
6. Ejemplifique los enlaces cabeza-cola en la polimerización del alcohol polivinílico.
7. ¿Son estables los enlaces *cabeza-cabeza* y *cola-cola* formados en la polimerización del alcohol polivinílico?

8. Elabore el diagrama de flujo de la experimentación.
9. Investigue la ficha de seguridad de los reactivos a utilizar en esta práctica.

MÉTODO EXPERIMENTAL

Material, reactivos y equipo

Material	Reactivos	Equipo
2 vasos de precipitados de 10 mL	Alcohol polivinílico	1 viscosímetro
1 vaso de precipitados de 600 mL	Peryodato de potasio	Parrilla de agitación magnética con calentamiento
1 vaso de precipitados de 250 mL		
1 matraz aforado de 500 mL		Balanza analítica
7 matraces aforados de 25 mL		
1 pipeta volumétrica de 4 mL		
1 pipeta volumétrica de 5 mL		
1 pipeta volumétrica de 6 mL		
1 pipeta volumétrica de 7 mL		



1 pipeta volumétrica de 8 mL		
1 pipeta volumétrica de 9 mL		
1 pipeta volumétrica de 10 mL		
1 piseta con agua destilada		
1 barra magnética		

Procedimiento experimental

Preparación de la solución stock

Preparar una solución stock de PVA (alcohol polivinílico), cuya concentración sea de 1 g de PVA por 100 mL. La preparación de la solución stock toma cerca de una hora.

1. Colocar 200 mL de agua destilada en un vaso de precipitados de 600 mL y añadir una barra magnética.
2. Calentar el agua hasta 90 °C, con agitación lenta.
3. Agregar lentamente 5 g de PVA (agregar la masa de PVA diferida en 30 minutos), agitar esporádicamente para evitar la formación de espuma o aglomerados. Cuando la solución es transparente (lo cual puede tomar alrededor de una hora), el polímero se ha disuelto por completo.
4. Detener el calentamiento y permitir que la solución alcance la temperatura ambiente.
5. Trasferir cuantitativamente la solución fría de PVA a un matraz aforado de 500 mL y llevar al aforo con agua destilada.

Preparación de la solución para ruptura de enlaces

1. Agregar 1 g de KIO_4 en un vaso de precipitados de 250 mL, que contenga 200 mL de la solución stock de PVA bajo calentamiento a 70 °C y con agitación suave.
2. Almacenar la solución de ruptura en un frasco de vidrio.

Preparación de las soluciones diluidas

Preparar los sistemas de acuerdo con las siguientes tablas:

Tabla 4.3. Preparación de los sistemas diluidos de la solución de PVA

Sistema	A	B	C	D	E	F	G
V solución patrón de PVA (mL)	4	5	6	7	8	9	10
V aforo (mL)	25 mL						

Tabla 4.4. Preparación de los sistemas diluidos de la solución para ruptura

Sistema	A'	B'	C'	D'	E'	F'	G'
V solución patrón para ruptura de PVA (mL)	4	5	6	7	8	9	10
V aforo (mL)	25 mL						

Llevar cada sistema al aforo con agua destilada.

Medida de la viscosidad

Se deberá medir la viscosidad de cada sistema. Es importante que, al momento de vaciar la muestra a la celda del viscosímetro, no se formen burbujas de aire en la solución. Además, entre cada medición, se debe asegurar que la celda se encuentre limpia, sin restos de las soluciones anteriores.

DATOS EXPERIMENTALES

Tabla 4.5. Datos experimentales de la viscosidad de los sistemas de PVA

Sistema	A	B	C	D	E	F	G
Concentración de PVA (g/100 mL)							
Tiempo (s)							

Tabla 4.6. Datos experimentales de la viscosidad de los sistemas para ruptura

Sistema	A'	B'	C'	D'	E'	F'	G'
Concentración de PVA (g/100 mL)							
Tiempo (s)							

TRATAMIENTO DE DATOS EXPERIMENTALES Y PUNTOS MÍNIMOS PARA EL INFORME EXPERIMENTAL

1. Elabore el gráfico de η_{sp}/c vs. c para la solución de PVA.
2. Obtener la viscosidad intrínseca para cada material.
3. Calcular M_v y M_n para la solución de PVA y de la solución para ruptura.
4. Para los resultados de la masa molar, obtener el valor de Δ .

ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

1. ¿Cuál es el principal uso comercial del alcohol polivinílico?
2. Escriba un esquema general de la ruptura de los enlaces del alcohol polivinílico, indicando sobre qué enlaces se efectúa la ruptura.

BIBLIOGRAFÍA

Billmeyer, F. W. (2004). *Ciencia de los polímeros*. México: Reverté.

Rodríguez. F. (1984). *Principios de sistemas de polímeros* (2.^a ed.). México: Manual moderno.

Castellan, W. G. (1987). *Fisicoquímica* (2.^a ed.). México: Addison-Wesley Iberoamericana.

Seymour, R. B. (2002). *Química de polímeros*. (2.^a ed.). México: Reverté.



HOJA DE DATOS PARA EL PROFESOR

Fecha: _____

Temperatura: _____

Práctica 4: Determinación experimental de los enlaces cabeza-cola del alcohol polivinílico, mediante medidas viscosimétricas							
Materia	Laboratorio de polímeros						
Carrera							
Profesor							
Alumnos							
Sistemas de alcohol polivinílico							
Sistema	A	B	C	D	E	F	G
Concentración de PVA (g/100 mL)							
Tiempo (s)							
Sistemas de las soluciones para ruptura							
Sistema	A'	B'	C'	D'	E'	F'	G'
Concentración de PVA (g/100 mL)							
Tiempo (s)							



ACTIVIDAD EXPERIMENTAL 5

Polimerización en perlas (suspensión) de metilmetacrilato (MMA) y divinilbenceno (DVB)

INTRODUCCIÓN

Técnicas de polimerización

Muchos monómeros, como el estireno, el acrilonitrilo y el cloruro de vinilo, son tóxicos, además de dar lugar a reacciones de polimerización muy exotérmicas. Por tanto, deberán tomarse las precauciones necesarias para minimizar el contacto con estos compuestos y para controlar la temperatura de la reacción de polimerización. Los métodos principales son las polimerizaciones en bloque, en disolución y en emulsión (véase tabla 5.1). Cada uno de estos tiene sus ventajas y sus inconvenientes (tabla 5.2).

Tabla 5.1. Tipos de sistemas de polimerización

Relación de la fase monómero-polímero	Posición del monómero	
	Continuo	Disperso
Homogénea (misma fase)	En disolución en estado sólido, en bloque	En suspensión
Heterogénea (fases distintas)	En bloque con precipitación del polímero	En emulsión En suspensión con precipitación del polímero

Tabla 5.2. Comparación de los sistemas de polimerización

Tipo	Ventajas	Inconvenientes
Homogéneo		
En bloque limitado	Equipos sencillos	<p>Puede ser necesaria la disolución y posterior precipitación para la purificación o la fabricación</p> <p>Puede ser necesaria la reducción a un tamaño de partícula utilizable.</p> <p>Control térmico difícil</p> <p>Amplia distribución de pesos moleculares</p>
En bloque continuo	<p>Control térmico más fácil</p> <p>Distribución de pesos moleculares más estrecho</p>	<p>Necesita el reciclado del reactivo</p> <p>Puede ser necesaria la disolución y posterior precipitación para la purificación o la fabricación</p> <p>Requiere equipos más complicados</p> <p>Puede ser necesaria la reducción a un tamaño de partícula utilizable</p>

En disolución	<p>Agitación fácil</p> <p>Puede permitir la formación de cadenas poliméricas más largas</p> <p>Control térmico fácil</p>	<p>Es necesaria una cierta agitación</p> <p>Es necesaria la eliminación y el reciclado del disolvente</p> <p>Requiere la recuperación del polímero</p> <p>La transferencia de cadena con el disolvente puede ser nociva (es decir, reacción con el disolvente)</p>
Heterogéneo		
En emulsión	<p>Control térmico fácil</p> <p>Agitación fácil</p> <p>El látex producido puede ser de utilización directa</p> <p>Es posible que haya rapidez de polimerización altas</p> <p>Es posible controlar el peso molecular</p> <p>Es posible que los tamaños de partícula sean pequeños</p> <p>Utilizable para producir productos pegajosos, blandos y sólidos</p>	<p>El polímero puede requerir una limpieza y purificaciones adicionales</p> <p>La precipitación puede limitar el peso</p> <p>Es difícil eliminar los coagulantes incrustados, los emulsificadores, los surfactantes, etc.</p> <p>A menudo, es necesaria una agitación rápida</p>

Precipitación	El peso molecular y la distribución de pesos moleculares son controlables, mediante el control del entorno de la polimerización	Puede requerir la disolución y reprecipitación del producto para eliminar materias no deseadas La precipitación puede limitar el peso molecular, lo que no permite la formación de productos de peso molecular muy elevado
En suspensión	Agitación fácil Producto de mayor pureza que el obtenido por emulsión	Sensible a la agitación Tamaño de partícula difícil de controlar

Polimerización en suspensión

Si el monómero es insoluble en agua, se puede llevar a cabo la polimerización en masa, en gotas suspendidas. La fase acuosa se vuelve el medio de transferencia de calor. Puesto que es la fase continua, la viscosidad cambia muy poco con la conversión, de manera que la transferencia de calor hacia las paredes del recipiente de reacción puede ser eficiente. El comportamiento dentro de las gotitas es muy semejante a la polimerización en masa. Pero, debido a que las gotitas tienen solamente de 10 a 100 μm de diámetro, pueden tolerarse rapidez de reacción mayores, sin que hierva el monómero. Para evitar la coalescencia, a medida que cambian del estado líquido al sólido, pasando por una fase adhesiva, se utiliza un coloide protector (agente de suspensión); así como una agitación cuidadosa. El alcohol polivinílico disuelto en la fase acuosa, es un agente típico de suspensión. Se introducen cargas electrostáticas en las partículas suspendidas de monómero-polímero en suspensión. Estas cargas no evitan que las partículas suban, si la agitación se detiene. El tamaño de la partícula y la distribución de tamaños se afectan por el agente de suspensión y la rapidez de agitación. Fondy y Bates (1963) encontraron que, para un rango de diámetro de partícula de 10 a 1000 μm , el diámetro varía inversamente con la velocidad del extremo impulsor elevada a la potencia 1.8, para una diversidad de diseños de impulsores.

El término polimerización en suspensión hace referencia a la polimerización en un sistema acuoso con un monómero en fase dispersa, que da lugar a un polímero

como sólido en fase dispersa. En una polimerización en suspensión típica, el iniciador está disuelto en la fase monómero. La dispersión del monómero en gotitas se mantiene por una combinación de la agitación y el uso de estabilizadores en agua. Entre ellos, pueden incluirse materiales orgánicos e inorgánicos solubles que intervienen en la aglomeración de las gotitas del polímero, que puede existir por agitación mecánica. La tendencia a aglomerarse puede hacerse crítica cuando la polimerización ha avanzado hasta el punto en que las perlas de polímero se hacen pegajosas. Al completarse la reacción, se libera al polímero del estabilizador, se lava y se seca. Para algunas aplicaciones, las perlas de polímero pueden usarse directamente, mientras que, para otras, es necesaria su compactación. Este método se utiliza comercialmente para preparar polímeros vítreos, duros, tales como el poliestireno, el polimetilmetacrilato, policloruro de vinilideno y el poliacrilonitrilo.

Los polímeros en forma de perlas tienen diámetros que van desde los 10 micrones hasta varios milímetros. Estos polímeros son usados en las cintas reflectoras en el pavimento, en resinas de intercambio iónico y como empaque para columnas cromatográficas. Para cada uso, el diámetro debe ser controlado. En esta experiencia de laboratorio, el alumno será capaz de comprender y estudiar las variables involucradas en el tamaño del diámetro del polímero, así como saber cuándo la polimerización se completó.

En la primera parte experimental, se involucra la iniciación redox de la polimerización de metilmetacrilato, en forma de gotas suspendidas en una solución acuosa, para formar perlas de polimetilmetacrilato. La fase orgánica dispersa tiene como componentes el monómero y el iniciador, mientras que, la fase acuosa continua tiene agua y alcohol polivinílico (PVA). En este proceso, existen dos parámetros clave, los cuales son: a) **la agitación mecánica** y b) **la "fortificación" de la interfase agua-disolvente**, y se deben tener en cuenta ambas variables.

La segunda parte del experimento involucra la polimerización del divinilbenceno (DVB), mediante la técnica de polimerización por suspensión. La fase orgánica contiene el monómero DVB (65%) y etil vinil benceno (EVB) (35%), y el iniciador disuelto en un disolvente orgánico no reactivo (octano). En la fase acuosa, se encuentra el alcohol polivinílico. En el proceso de polimerización, se forman cadenas cruzadas reticulares de polidivinilbenceno (PDVB). Sin embargo, el PDVB no es soluble en octano (aunque el monómero sí lo es) y, por lo tanto, ocurre la

separación de las fases. Por consiguiente, lo que quedan son diminutas esferas de PDVB porosas, las cuales tienen contenido octano dentro de los poros. Al final, el volumen del poro depende del volumen de octano usado, así como del volumen de DVB.

$$\text{Porcentaje de porosidad} = \frac{\text{Volumen de octano}}{\text{Volumen de octano} + \text{Volumen de DVB}} \times 100$$

Las perlas porosas de DVB (como las que se obtendrán en esta experiencia de laboratorio) son usadas en columnas cromatográficas de permeación en gel (GPC). Las perlas porosas de PDVB se usan en GPC para la determinación del peso molecular promedio en peso de polímeros, por ello, es esencial que los poros internos tengan diámetros efectivos para que las moléculas de polímeros puedan ser separadas.

Después de la polimerización, las perlas de PDVB contienen octano atrapado en los poros, la masa total de la perla húmeda es M_w ; después de secar la perla, el octano escapa de los poros, entonces se define la masa de cada perla seca como M_d . Ahora se define la densidad del octano ρ_s , y la densidad del polímero como ρ_p . Como ya se definió, el porcentaje de porosidad es:

$$\text{Porcentaje de porosidad} = \frac{\text{Volumen de octano}}{\text{Volumen de octano} + \text{Volumen de DVB}} \times 100$$

Sustituyendo los volúmenes en función de la masa y la densidad, se obtiene la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje de porosidad} = \frac{\frac{M_w - M_d}{\rho_s}}{\frac{M_w - M_d}{\rho_s} + \frac{M_d}{\rho_p}} \times 100$$

OBJETIVOS

1. Realizar y comprender la técnica de polimerización en suspensión.
2. Estudiar la polimerización de MMA en soluciones acuosas de alcohol polivinílico, a diferentes velocidades de agitación, para medir el diámetro de las perlas formadas.

3. Determinar la influencia de las variables que se involucran en el tamaño de la perla, en la polimerización de MMA.
4. Determinar la importancia de la utilización del PVA en el proceso de la formación de las perlas de MMA.
5. Estudiar distintas etapas de polimerización del divinilbenceno, por la técnica de polimerización en suspensión.
6. Calcular el porcentaje de porosidad experimental de las perlas de DVB.

ACTIVIDADES PREVIAS AL EXPERIMENTO

1. Investigue las distintas técnicas de polimerización y describa qué polímeros se producen industrialmente mediante cada técnica. Describa las ventajas y desventajas de cada técnica.
2. Defina qué es la polimerización en suspensión, también conocida como polimerización en perlas.
3. Discuta la importancia el uso el alcohol polivinílico en la polimerización por suspensión.
4. ¿De qué variables depende la formación de las perlas en la polimerización de polimetilmetacrilato?
5. ¿Qué usos industriales tiene el polimetilmetacrilato?
6. Investigue las variables que determinan el grado de entrecruzamiento (porosidad) del polidivinilbenceno.
7. Discuta la importancia industrial del polidivinilbenceno.
8. ¿Por qué se desea que las perlas de DVB sean porosas? ¿Cuál es la utilidad de la porosidad del PDVB?
9. ¿Cómo se puede determinar el peso molecular promedio en peso de los polímeros mediante la técnica cromatográfico de permeación en gel?

10. Elabore el diagrama de flujo de la experimentación de la actividad experimental.

11. Investigue las fichas de seguridad de los reactivos a utilizar en esta práctica.

MÉTODO EXPERIMENTAL

Materiales, reactivos y equipo

Material	Reactivos	Equipo
2 matraces de bola de fondo plano de 250 mL	Alcohol polivinílico	Balanza analítica
2 matraces Erlenmeyer de 50 mL	Metilmetacrilato	Micrómetro dial
1 probeta de 250 mL	Divinilbenceno	
1 probeta de 50 mL	Etilvinilbenceno	
1 pipeta graduada de 5 mL	Isooctano (o n-octano)	
1 pipeta graduada de 1 mL	Peróxido de benzoilo	
1 vidrio de reloj	Dimetil p-toludina	
1 parrilla de agitación magnética		
1 barra de agitación magnética		
1 termómetro de mercurio de 0 °C-100 °C		
Lana de vidrio		
Papel filtro de poro pequeño		

Procedimiento experimental

A. Controlando el diámetro de las perlas de polimetilmetacrilato y el grado de polimerización

1. Coloque un matraz de bola de fondo plano de 250 mL sobre una parrilla de agitación magnética y añada una barra de agitación. A los costados del matraz, coloque lana de vidrio como aislante del sistema.



Figura 5.1. Montaje experimental de la parte A

2. Añada 120 mL de la solución acuosa de alcohol polivinílico a temperatura ambiente, como se especifica en la siguiente tabla.

Tabla 5.3. Condiciones para la parte experimental A

Ensayo	Fase acuosa	Agitación
1	1 % Alcohol polivinílico	Lenta, sin formar vórtex
2	1 % Alcohol polivinílico	Rápida, formando vórtex

3. Preparar la solución iniciadora de la reacción. En un matraz Erlenmeyer de 50 mL, coloque 35 mL del monómero metilmetacrilato. Mientras agita, añada 1.8 g de peróxido de benzoilo (pulverice antes de ser añadido) y agite hasta su disolución. Después, agregue 0.75 mL de dimetil p-toludina, agite brevemente.
4. Vierta la solución iniciadora al matraz de bola de fondo plano, ajuste la agitación de manera que se forme un vórtex. Introduzca el termómetro.

5. Manteniendo aislado el matraz, registre la temperatura vs. el tiempo, hasta que la temperatura deje de aumentar; hasta este punto, permita que la reacción proceda por otros 15 min.
6. A lo largo de la polimerización, retire 2 mL de la suspensión (cada 15 min). Coloque la suspensión sobre papel filtro para retirar el agua. Cubra el papel filtro con servitoallas. Registre lo que se depositó en el papel filtro; ej. gotas aceitosas, gotas pegajosas, perlas suaves, perlas duras, etc.
7. Una vez completada la reacción, vacíe el contenido del matraz y enjuague con agua destilada para remover las perlas adheridas a las paredes.
8. Repita los puntos anteriores, usando las condiciones del ensayo 2.
9. Estimación del diámetro de las perlas.
 - a) Usando el micrómetro dial: coloque una capa de perlas sobre una superficie. Mida el diámetro de la perla más grande, usando el micrómetro dial.

B. Polimerización de DVB

1. Preparar la fase orgánica, disolviendo 8 mL de octano en 30 mL de DVB. Después, añada 1.8 g de peróxido de benzoilo y permita que se disuelva.
2. La fase acuosa es una solución del 1 % de alcohol polivinílico en agua. Colocar 100 mL en un matraz de balón de fondo plano y mantener en un baño de temperatura constante a 80 °C.
3. Verter 38 mL de fase orgánica cuando la solución acuosa esté a 80 °C, la agitación debe ser lo suficiente para que se forme un vórtex. Permitir que el sistema alcance 80 °C después de la adición del monómero. Una vez alcanzada la temperatura, retirar el sistema reaccionante del baño de temperatura constante.
4. Monitorear y registrar la temperatura vs. el tiempo (la temperatura debe aumentar de 90 °C a 95 °C, como indicio de que está ocurriendo la polimerización).

5. Extraer 2 mL de suspensión cada 15 minutos, usando una pipeta desechable. Colocar sobre una placa de papel filtro para que absorba el agua. Cubrir el papel filtro con servitoallas. Registrar las observaciones de lo que se depositó sobre el papel filtro, ej. gotas aceitosas, gotas viscosas, perlas suaves, perlas duras. También, anote cualquier variación de la temperatura.
6. Cuando se obtengan perlas duras, detener la reacción y enfriar el matraz. Colectar las perlas por filtración al vacío. Lavar las perlas con 200 mL de agua caliente. Secar las perlas, haciendo pasar aire a través del embudo Büchner.
7. Pesar las perlas. Colocar las perlas en vacío a 80 °C. Pesar de nuevo y calcular el rendimiento. Así, se estima la porosidad.

DATOS EXPERIMENTALES

Tabla 5.4. Resultados experimentales para la polimerización de MMA

Ensayo 1. Agitación lenta (sin vórtex)		
Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Observaciones
Ensayo 2. Agitación rápida (con vórtex)		
Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Observaciones
Diámetro de las perlas (mm)		
Agitación lenta		
Agitación rápida		

Tabla 5.5. Resultados experimentales para la polimerización de DVB

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Observaciones
Peso de las perlas (g)		
Perlas húmedas		
Perlas secas		

TRATAMIENTO DE DATOS EXPERIMENTALES Y PUNTOS MÍNIMOS PARA EL INFORME EXPERIMENTAL

1. Realice una tabla de los tamaños de las perlas para cada método usado en la polimerización de PMMA, en la que se incluyan las observaciones de las perlas obtenidas, así como el tiempo de reacción y la temperatura de cada observación.
2. Discuta los tamaños de perla obtenidos mediante la agitación lenta y la agitación rápida. Infiera si la velocidad de agitación influye en los tamaños obtenidos.
3. Discuta las observaciones cualitativas que realizó para la polimerización de DVB, en los distintos tiempos y las temperaturas registradas.
4. Calcule el porcentaje de porosidad experimental obtenido para las perlas de DVB.
5. Determine el porcentaje de porosidad experimental, compare con el obtenido en la experimentación y discuta si hay diferencias entre ellos.
6. Compare los tamaños de las perlas de MMA y DBV obtenidos en la experimentación.

7. Discuta la función que tiene el alcohol polivinílico en la polimerización por suspensión.

ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

1. Realice una información bibliográfica detallada de la técnica de polimerización por suspensión, en la que incluya ejemplos industriales de polímeros obtenidos por esta técnica.



BIBLIOGRAFÍA

Bicerano, J. (2002). *Prediction of Polymer Properties* (3.^a ed.). New York: Marcel Dekker, Inc

Billmeyer, F. W. (2004). *Ciencia de los polímeros*. México: Reverté.

Celina, M. C., Billingham, N. C. y Wiggins, J. S. (2009). *Polymer Degradation and Performance*. Washington, D.C.: American Chemical Society.

Fondy, P. & Bates, R. (1963). Agitation of liquid systems requiring a high shear characteristic. *A.I.Ch.E. Journal* volume 9, issue 3, 338-342.

Fried, J. R. (2003). *Polymer Science and Technology* (2.^a ed.). México: Prentice-Hall Hispanoamericana.

Hiemenz, L. (2007). *Polymer chemistry* (2.^a ed.). EUA: CRC Press.

Instituto Mexicano del Plástico (2000). *Enciclopedia del plástico*. México: Centro empresarial del plástico.

Odian, G. (2004). *Principles of Polymerization*. (4.^a ed.). New York: John Wiley and Sons, Inc.

Rodriguez, F., Cohen, C. y Ober, Ch. K. (2003). *Principles of Polymer Systems*. (5.^a ed.). New York: Taylor and Francis.

Seymour, R. B. (2002). *Química de polímeros*. (2.^a ed.). México: Reverté.

Sperling, L. H. (2001). *Introduction to Physical Polymer Science* (3.^a ed.). New York: Wiley-Interscience.

Strobl, G. R. (2010) *The Physics of Polymers: Concepts for Understanding Their Structures and Behavior* (3.^a ed.). Berlin: Springer Science.

Zaikov, G. E. y Jimenez, A. (2005). *Polymer Analysis, Degradation, and Stabilization*. New York: Nova Science Pub Inc.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

Hamid, I. y Halim, S. (2000). *Handbook of Polymer Degradation (Environmental Science & Pollution)*. New York: Marcel Decker Inc.

Osswald, T. A. y Menges, G. (2003). *Materials Science of Polymers for Engineers* (2.ª ed.). Munich: Hanser Gardner Publication Inc.

Platt, D. K. (2006). *Biodegradable polymers: market report*. UK: Rapra Technology, Shropshire.

Ribes-Greus, A. (2008). *Aspectos fundamentales de los polímeros: degradación y reciclaje de plásticos*. Valencia España: Editorial UPV.

Wypych, G. (2010). *Handbook of UV Degradation and Stabilization*. Chem Tech Publishing.

CIBERGRAFÍA

<http://www.textoscientificos.com/polimeros>

<http://www.plasticoslevinson.com/>

http://www2.dupont.com/Plastics/es_US/centro_conocimiento/procesamiento/index.html

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/06/propiedades-termicas.html>



HOJA DE DATOS PARA EL PROFESOR

Práctica 5: Polimerización por suspensión de MMA y DVB		
Materia	Laboratorio de polímeros	
Carrera		
Profesor		
Alumnos		
Polimerización de MMA		
Ensayo 1. Agitación lenta (sin vórtex)		
Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Observaciones
Ensayo 2. Agitación rápida (con vórtex)		
Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Observaciones
Diámetro de las perlas (mm)		
Agitación lenta		
Agitación rápida		

Polimerización de DVB		
Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Observaciones
Peso de las perlas (g)		
Perlas húmedas		
Perlas secas		



ACTIVIDAD EXPERIMENTAL 6

Polimerización en emulsión del acrilato de etilo

INTRODUCCIÓN

Criterio de diseño

Muchos de los problemas que tiene que enfrentar al diseño mecánico de los sistemas de polimerización son comunes a las reacciones orgánicas ordinarias. Rutinariamente, en las plantas químicas y en las refinerías se manejan monómeros tóxicos e inflamables, catalizadores tóxicos, olores nocivos y sólidos pegajosos. Algunos ejemplos notables en el campo de los procesos de polímeros comerciales se ejemplifican a continuación:

Parámetro	Descripción
Toxicidad	Acrilonitrilo (CH_2CHCN) que tiene la toxicidad de los cianuros inorgánicos. Se recomienda una concentración máxima de 20 ppm para exposiciones de 8 horas.
Inflamabilidad	Muchos catalizadores de Ziegler involucran el trietilo de aluminio, el cual es pirofórico (estalla espontáneamente en flamas al exponerlo al aire).
Olores	Los acrilatos inferiores pueden tener olores que son penetrantes y desagradables, aun en bajas concentraciones. Pueden instalarse sistemas catalíticos especiales para destruir las trazas de monómero en efluentes gaseosos.

En la mayoría de los casos, los polímeros no presentan esos problemas. Por otra parte, a diferencia de los productos de bajo peso molecular, los polímeros generalmente no se someten a purificación por extracción, destilación o cristalización después que se han formado. A menudo, los ingredientes que están presentes durante la polimerización quedan como parte del producto final. Para la producción de los polímeros, se usan varias técnicas:

- Polimerización en masa
- Polimerización en solución
- Polimerización por suspensión (también llamado polimerización en perlas)
- Polimerización en emulsión

Algunos de los criterios para el uso de estas técnicas están relacionados con los efectos de la temperatura.

La conversión de un doble enlace a un enlace sencillo se acompaña de una reacción exotérmica (**calor de polimerización**), que oscila del orden de 10 a 20 Kcal/mol. Con monómeros de peso molecular alrededor de 100 g/mol y calor específico de 0.5 cal/°C g, significa una elevación adiabática de temperatura de 200 a 400 °C. A menudo, la eliminación de este calor de polimerización limita la rapidez con que la reacción puede llevarse a cabo, debido especialmente a que la mayoría de los monómeros y polímeros son pobres conductores del calor. Con frecuencia, las temperaturas más altas dan un peso molecular más bajo. Debido a esto, una temperatura variable amplía la distribución de pesos moleculares. También, una elevación de la temperatura aumenta la rapidez de reacción y la rapidez de generación del calor. Los monómeros altamente sustituidos tienen una mayor repulsión por la orientación en la forma del polímero. Esto se refleja en calores más bajos de polimerización, como se ejemplifica en la siguiente tabla:

Tabla 6.1. Calores de polimerización de monómero líquido a polímero amorfo

Monómero	Unidad estructural	$-\Delta H_p$ (Kcal/mol)
Etileno	$-\text{CH}_2\text{CH}_2-$	22.7
Propileno	$-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-$	20.5
Isobutileno	$-\text{CH}_2-\text{C}(\text{CH}_3)_2-$	12.3
1-Buteno	$-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{C}_2\text{H}_5)-$	20
Isopreno	$-\text{CH}_2-\text{C}(\text{CH}_3)=\text{CH}-\text{CH}_2-$	17.4
Estireno	$-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{C}_6\text{H}_5)-$	16.7
α-Metil estireno	$-\text{CH}_2-\text{C}(\text{CH}_3)(\text{C}_6\text{H}_5)-$	8.4
Cloruro de vinilo	$-\text{CH}_2-\text{CHCl}-$	22.9
Acetato de vinilo	$-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)-$	21
Acrilonitrilo	$-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CN})-$	18.4
Metacrilato de metilo	$-\text{CH}_2-\text{C}(\text{CH}_3)(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)-$	13.5
Acrilato de etilo	$-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_2)-$	18.8
Acrilato de metilo	$-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)-$	18.8
Acrilamida	$-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CONH}_2)-$	19.8
Tetrahidrofurano	$-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{O}-$	5.3

A medida que un monómero se convierte en polímero, la viscosidad puede aumentar rápidamente, en un sistema homogéneo. En un medio altamente viscoso, las moléculas pequeñas del monómero todavía pueden difundirse con facilidad hasta las cadenas en crecimiento; pero las grandes cadenas en crecimiento no pueden difundirse fácilmente hacia una y otra.

La polimerización puede llevarse a cabo con solamente el monómero (*en masa*), en un disolvente (*en solución*), como una emulsión en agua (*en emulsión*) o en gotas; cada una comprendiendo una polimerización en masa, suspendidas en agua (*suspensión*). Los cuatro métodos se aplican comercialmente a polímeros en cadena iniciados por radicales, tales como el poliestireno. La mayoría de los sistemas iónicos y de complejos de coordinación se inactivan por el agua, de manera que solamente pueden usarse los métodos en masa o en solución. Además, pocas condensaciones se realizan en suspensión o en emulsión. Sin embargo, el dicloruro

de etileno y polisulfuro de sodio se condensan para dar hule de polisulfuro de etileno, en solución acuosa. La polimerización en fase gaseosa y la condensación interfacial son técnicas especiales.

Polimerización en emulsión

La polimerización en emulsión se diferencia de la polimerización en suspensión en dos aspectos importantes:

- i. El iniciador está situado en la fase acuosa
- ii. Las partículas del polímero formado son de un diámetro típico, del orden de $0.1 \mu\text{m}$, unas diez veces menores que las más pequeñas encontradas en la polimerización en suspensión

Los sistemas de polimerización en emulsión permiten que se produzca un polímero de peso molecular más elevado a velocidades mayores, con respecto a los sistemas en masa o en suspensión.

En la siguiente tabla, se ejemplifica una metodología típica para la polimerización por emulsión. Esta metodología fue utilizada en la polimerización del caucho sintético de estireno-butadieno durante la Segunda Guerra Mundial. Los materiales, además de los monómeros y el agua, son un jabón de ácido graso, un agente de transferencia de cadena tipo mercaptano, y el iniciador: persulfato soluble en agua.

Tabla 6.2. Formulación típica para una polimerización en emulsión del caucho sintético

Ingrediente	Partes en peso
Butadieno	75
Estireno	25
Agua	180
Jabón	5
Lorol mercaptano*	0.50
Persulfato de potasio	0.30

*Dodecilmercaptano en bruto

Micelas y concentración micelar crítica en la polimerización por emulsión

El jabón juega un papel importante en la polimerización por emulsión, ya que es el tensoactivo para que se forme la emulsión. Al comienzo de la reacción, está en forma de **micelas** (agregados de 50-100 moléculas de jabón, probablemente con una estructura en capas, como la que se muestra en la figura 6.1). Parte del monómero entra en las micelas, pero la mayoría permanece como gotitas de un micrómetro o más de diámetro.

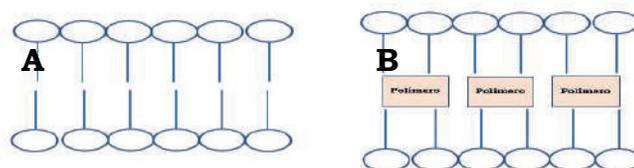


Figura 6.1. Estructura de una micela de jabón (A) sin y (B) con monómero

Cuando la concentración de jabón excede la concentración micelar crítica (CMC), las moléculas de jabón se presentan en forma de micelas, en las que las terminaciones hidrófilas de ácido carboxílicos se orientan hacia la interface agua-micela, y las terminaciones hidrófobas de hidrocarburos se orientan hacia el centro de la micela. Las micelas se presentan como esferas con un diámetro entre 5 y 10 nm, cuando la concentración de jabón es inferior al 2 %. Sin embargo, con las concentraciones más elevadas que se usan normalmente, las micelas adoptan la forma de agregados de barritas de longitudes entre 100 y 300 nm. El monómero no soluble en agua es atraído hacia las terminaciones hidrófobas de las micelas, ocasionando un hinchado de las micelas. El número de micelas hinchadas por mililitro de agua es de 10^{18} . No obstante, en las primeras fases de polimerización (fase I), la mayor parte del monómero se presenta en forma de glóbulos que se parecen a los de la polimerización por suspensión.

Dado que la iniciación de la polimerización tiene lugar en la fase acuosa, prácticamente no se produce polimerización en los glóbulos citados anteriormente. Así, su función principal es la de reservar monómeros que se suministran a las micelas para sustituir al monómero convertido en polímero. El número de gotas por mililitro de agua es del orden de 10^{11} . Por tanto, puesto que hay 10 millones de micelas por gota, la probabilidad de iniciación de un monómero en una gota es muy reducida.

A medida que las micelas aumentan de tamaño por la absorción del monómero y la formación del polímero, se transforman en partículas relativamente grandes que absorben jabón de las micelas que no contienen oligorradicales. Así, en la fase II, cuando aproximadamente un 20 % del monómero ha sido transformado en polímero, las micelas desaparecen y se ven sustituidas por partículas de monómero-polímero, más escasas, pero de mayor tamaño.

La polimerización prosigue en la fase II, continuado el suministro de monómero a las partículas por parte de las gotitas de la fase acuosa. Estas gotitas desaparecen cuando alrededor del 30 % del monómero se ha convertido en polímero. La polimerización continúa en la fase III, después de la transformación del 60 % del monómero, pero éste debe ser suministrado a los macrorradicales, mediante un proceso de difusión en el interior de la micela. La rapidez se incrementa con las concentraciones de jabón (y la concentración inicial de micelas).

Sistemas de emulsión inversa

La polimerización en emulsión puede realizarse también en sistemas que utilizan una disolución acuosa de un monómero hidrofílico, tal como el ácido acrílico o la acrilamida, emulsionando en una fase oleosa continua y empleando un emulsionante de agua en aceite apropiado. Pueden utilizarse iniciadores solubles en el agua o en el aceite. El mecanismo parece ser el de la polimerización en emulsión normal, pero las emulsiones frecuentemente son menos estables.

Iniciación REDOX

La descomposición de los iniciadores de tipo peróxido en sistemas acuosos es enormemente acelerada por la presencia de un agente reductor. Esta aceleración permite alcanzar una elevada rapidez para la formación de radicales a baja temperatura en los sistemas de emulsión.

Un sistema típico es el hierro (II) y el peróxido de hidrógeno. En ausencia de un monómero polimerizable, el peróxido se descompone en radicales libres de la siguiente manera:



Por lo que, la polimerización en sistemas de emulsión puede incrementarse añadiendo agentes reductores, tales como las sales de hierro (II).

Otro iniciador de tipo peróxido extensamente utilizado es el ion persulfato. Con un agente reductor R, la reacción es:



El agente reductor frecuentemente es el ion tiosulfato:



O el ion bisulfito:



Se han utilizado muchos otros sistemas de iniciadores REDOX.

OBJETIVOS

1. Realizar la polimerización en emulsión de acrilato de etilo.
2. Determinar la importancia del agente tensoactivo (jabón) en la polimerización por emulsión.
3. Desestabilizar la emulsión por acción de un coagulante.
4. Determinar el mejor coagulante para la recuperación del polímero.

ACTIVIDADES PREVIAS AL EXPERIMENTO

1. Describa qué es el calor de polimerización e investigue los valores típicos para el proceso de un enlace doble a un enlace sencillo.
2. ¿Por qué una temperatura variable amplía la distribución de los pesos moleculares?
3. A manera de cuadro comparativo, describa las características de la polimerización en masa, solución, emulsión y suspensión.

4. Detalle ampliamente la polimerización por emulsión.
5. Defina qué es un oligorradical y qué es un macrorradical, en la polimerización en emulsión.
6. Investigue las tres fases de la polimerización en emulsión.
7. Defina qué es la concentración micelar crítica y su importancia en la polimerización en emulsión.
8. ¿Qué son los sistemas de emulsión inversa?
9. Describa el proceso de iniciación REDOX, así como los iones utilizados como iniciadores.
10. Mencione al menos tres polímeros que se obtengan de manera industrial por polimerización en emulsión.
11. Realice el diagrama de flujo de la experimentación.
12. Investigue la ficha de seguridad de los reactivos a utilizar en la sesión experimental.

MÉTODO EXPERIMENTAL

Material, reactivos y equipo

Material	Reactivos	Equipo
1 probeta de 100 mL	Acrilato de etilo	Equipo de destilación al vacío
2 probetas de 50 mL	Solución acuosa de NaOH al 5 % en peso, saturada con NaCl	Balanza analítica
Matraz de 3 bocas con tapones	*Sólo en caso de no contar con el equipo de destilación al vacío	
1 termómetro		

1 barra de agitación magnética	Solución de persulfato de potasio 5 % en peso	
4 pipetas graduadas de 10 mL	Solución de bisulfito de potasio 5 % en peso	
4 vasos precipitados de 100 mL	Solución de sulfato de hierro 1 % en peso	

Procedimiento experimental

Eliminación del inhibidor

1. Destilar al vacío 100 mL del monómero de una carga de 130 mL. Almacenar el monómero destilado en agua helada. No verter el acrilato de etilo en el drenaje.
2. Si no es posible realizar la destilación al vacío, lavar 100 mL del monómero en un embudo de separación con unos 20 mL de una solución acuosa de NaOH al 5 %, saturada con NaCl. Después, lavar tres porciones de solución saturada de NaCl en agua, sucesivamente.

Polimerización

1. Adicionar 300 mL de agua destilada al reactor y burbujear nitrógeno durante 5 min, con agitación.
2. Detener el flujo de nitrógeno y agregar 10 mL de una solución al 10 % de tensoactivo.
3. Agregar 80 mL del monómero, bajo agitación continua.
4. Agregar 5 mL de una solución de persulfato al 5 % en peso. Treinta segundos más tarde, agregar 5 mL de una solución al 5 % en peso de bisulfito. Después de otros 30 segundos, agregar 1 mL de una solución al 1 % en peso de sulfato de hierro (II).

5. Registrar la temperatura como una función del tiempo, hasta 5 minutos después de que la temperatura pase por un máximo.

Recuperación del polímero

1. Coagular alícuotas de 50 mL del látex por la adición de:
 - i. Metanol
 - ii. Solución de cloruro de calcio al 5 % en peso
 - iii. Solución de cloruro de sodio al 5 % en peso
 - iv. Solución de sulfato de aluminio al 5 % en peso
2. Anotar el volumen que se necesitó de las soluciones para la coagulación.
3. Lavar el polímero formado con agua destilada, secar a 40 °C, en una estufa con circulación de aire y calcular el rendimiento, basándose en el monómero que se cargó.

DATOS EXPERIMENTALES

Tabla 6.3. Registro de la temperatura en función del tiempo para la polimerización del acrilato de etilo

Tiempo	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
Temperatura (°C)															

Tabla 6.4. Volúmenes para la coagulación del poliacrilato de etilo

Solución coagulante	Volumen (mL)
Metanol	
Cloruro de calcio 5 %	
Cloruro de sodio 5 %	
Sulfato de aluminio 5 %	

TRATAMIENTO DE DATOS EXPERIMENTALES Y PUNTOS MÍNIMOS PARA EL INFORME EXPERIMENTAL

1. Elabore la gráfica de la temperatura en función del tiempo de reacción.
2. Estimar el calor de polimerización.
3. Describa el proceso de la polimerización de acrilato de etilo por emulsión, así como la función del tensoactivo para dicha polimerización.
4. Discuta qué solución es la mejor para la coagulación del látex, con base en los volúmenes necesarios para su coagulación.
5. Convierta el valor experimental de la diferencial de la temperatura con respecto al tiempo ($dT/d\theta$), y a la rapidez de la conversión del monómero con respecto al tiempo ($dM/d\theta$).
6. Reporte el rendimiento.

ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

1. Investigue otros sistemas de polimerización por emulsión.
2. Detalle en un cuadro comparativo las ventajas y desventajas en la polimerización por emulsión.
3. Describa qué otros agentes tensoactivos son utilizados en la polimerización por emulsión.



BIBLIOGRAFÍA

Billmeyer, F. W. (2004). *Ciencia de los polímeros*. México: Reverté.

Hiemenz, L. (2007). *Polymer chemistry* (2.ª ed.). EUA: CRC Press.

Rodríguez. F. (1984). *Principios de sistemas de polímeros* (2.ª ed.). México: Manual moderno.

Seymour, R. B. (2002). *Química de polímeros*. (2.ª ed.). México: Reverté.



HOJA DE DATOS PARA EL PROFESOR

Práctica 6: Polimerización por emulsión de acrilato de metilo															
Materia	Laboratorio de polímeros														
Carrera															
Profesor															
Alumnos															
Temperatura en función del tiempo de polimerización del acrilato de etilo															
Tiempo (min)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
Temperatura (°C)															
Volúmenes para la coagulación del polímero															
Coagulante								Volumen							
Rendimiento porcentual															



ACTIVIDAD EXPERIMENTAL 7

Diodos orgánicos emisores de luz con polímeros semiconductores

INTRODUCCIÓN

OLED's como nuevos materiales

Los semiconductores orgánicos son una nueva clase de materiales que representan un campo novedoso de investigación científica. Proveen de luz eficientemente, un ejemplo de ello son los diodos emisores de luz orgánicos (*OLED*, por sus siglas en inglés), que pronto serán útiles para reducir el consumo mundial de luz. Hoy, los *OLED's* pueden encontrarse en las carátulas de dispositivos modernos ultradelgados y súper-brillantes con aplicaciones de alta tecnología móvil. Esta contribución da un enfoque experimental y conceptual para integrar en el currículo escolar: los polímeros luminiscentes semiconductores.

Un objetivo de la educación química debe ser la integración de los temas actuales de la investigación industrial y científica en los currículos escolares y universitarios. Un ejemplo de esto es el campo innovador de la electrónica orgánica, en particular, los polímeros semiconductores para uso en dispositivos optoelectrónicos, como los diodos orgánicos emisores de luz (*OLED*) y las células fotovoltaicas orgánicas (OPV). Los dispositivos optoelectrónicos basados en polímeros en lugar de semiconductores inorgánicos, como el arseniuro de galio (GaAs) o el telururo de cadmio (CdTe), revelan varias ventajas, costos de producción relativamente menores y aplicaciones de reciente acceso. Hay algunas contribuciones en la literatura didáctica alemana e inglesa que tratan temas relacionados, como los polímeros conductores o las células solares de plástico.

Proceso de transferencia electrónica

En los *OLED's*, las moléculas se transfieren eléctricamente al estado excitado, seguido de la desintegración radiactiva de los pares de electrones en el estado fundamental. La longitud de onda y, por lo tanto, el color de la luz emitida se determinan por la brecha de energía, por ejemplo, entre el HOMO (orbital de molécula ocupada

más alta) y el LUMO (orbital de molécula desocupada más baja) de la molécula respectiva. Para obtener información detallada sobre los fundamentos fotoquímicos de la luminiscencia, puede consultarse a O'Hara et al. (2005). Por lo general, el estado excitado en las moléculas orgánicas se alcanza mediante una reacción química o por foto excitación. La excitación eléctrica de las moléculas orgánicas no es frecuente y sólo es posible si la molécula (con lo cual nos enfocamos más en los polímeros) exhibe:

1. Una conductividad intrínseca, tanto para electrones como electrones defectuosos (orificios).
2. Una alineación del nivel de energía, como se encuentra en los semiconductores inorgánicos.

En el 2000, A. Heeger, H. Shirakawa y A. McDiarmid recibieron el Premio Nobel de Química por su "descubrimiento y desarrollo de polímeros conductores" (Shirakawa, 2001). La clave de la conductividad eléctrica en las moléculas de polímero es un sistema de dobles enlaces conjugados. Se puede explicar con el modelo orbital de la molécula (Fig. 7.1).

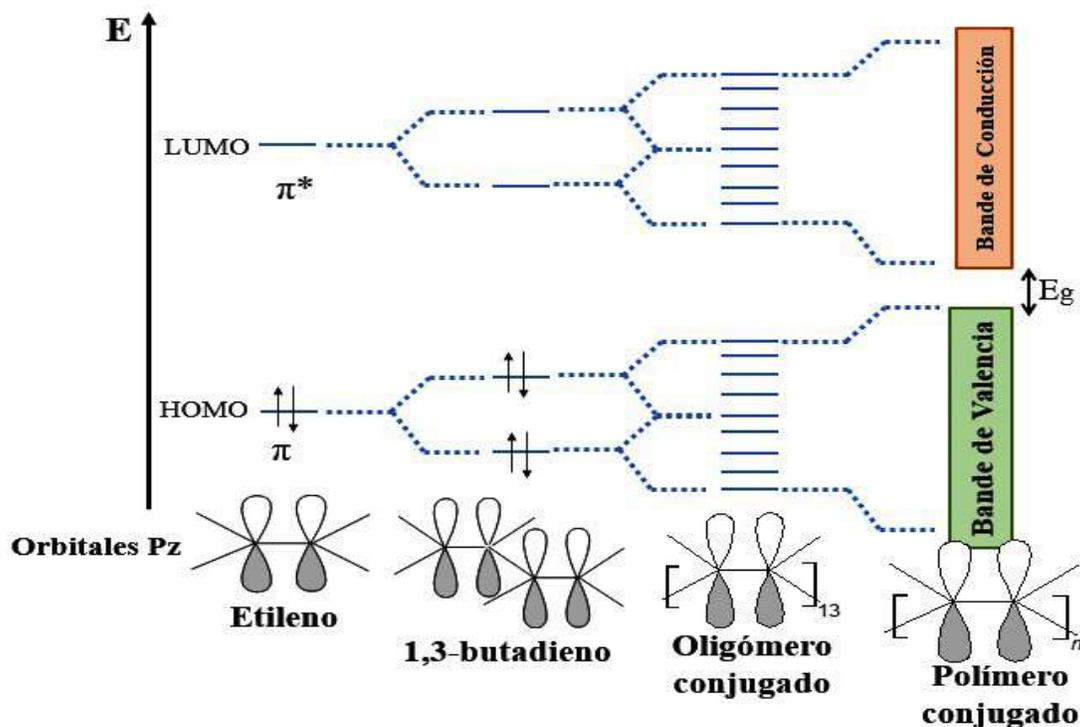


Figura 7.1. Formación de bandas de energía en polímeros conjugados

Dentro de una sección de átomos de carbono híbridos sp (los heteroátomos también pueden estar involucrados), los orbitales p_z se combinan para unirse a los orbitales moleculares (OM) de enlace π y anti enlace π^* , que están deslocalizados. Cuanto más se combinan los orbitales p_z , se forman OM más deslocalizados. Por ejemplo, las brechas de energía entre los OM π y π^* , disminuyen a medida que aumenta el número de dobles enlaces. En los polímeros conjugados, el gran número de orbitales p_z interactivos conduce a la formación de una banda de valencia n (BV) totalmente ocupada y una banda de conducción (BC) π^* vacía y se desplaza a la región de luz visible. Los electrones pueden ser fácilmente excitados desde la BV a la BC, lo que conduce a la conductividad (foto). El polímero se convierte en un semiconductor orgánico. Mediante dopaje químico (oxidación o reducción), los electrones se eliminan de la BV o se inyectan en la BC. Este proceso está acoplado a la formación de estados de intervalo medio. De este modo, la brecha de energía, se cierra y se observa una conductividad eléctrica (Rehahn, 2003). Dos ejemplos de polímeros OLED que funcionan bien son: poli [2-metoxi-5- (2-etilhexiloxi) -1,4-fenileno] (MEH-PPV) y *Superyellow*®, un polímero de tipo PPV de Merck. La figura 7.2 muestra la estructura de ambos polímeros.

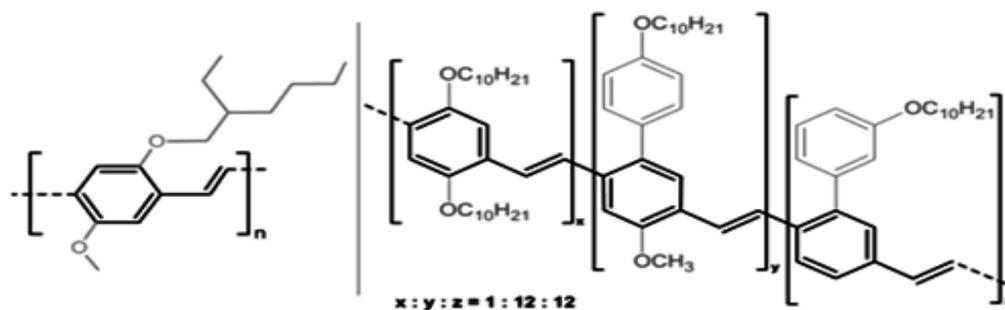


Figura 7.2. Estructura de MEH-PPV (izquierda) y copolímero Superyellow (derecha)

Para la emisión de luz, se debe colocar una capa delgada de polímero electroluminiscente en un diodo entre un ánodo transparente de ITO (óxido de indio y estaño) y un cátodo de metal de baja función de trabajo, como se muestra en la figura 7.3. Cuando se aplica un voltaje de unos pocos voltios, se inician los siguientes procesos elementales:

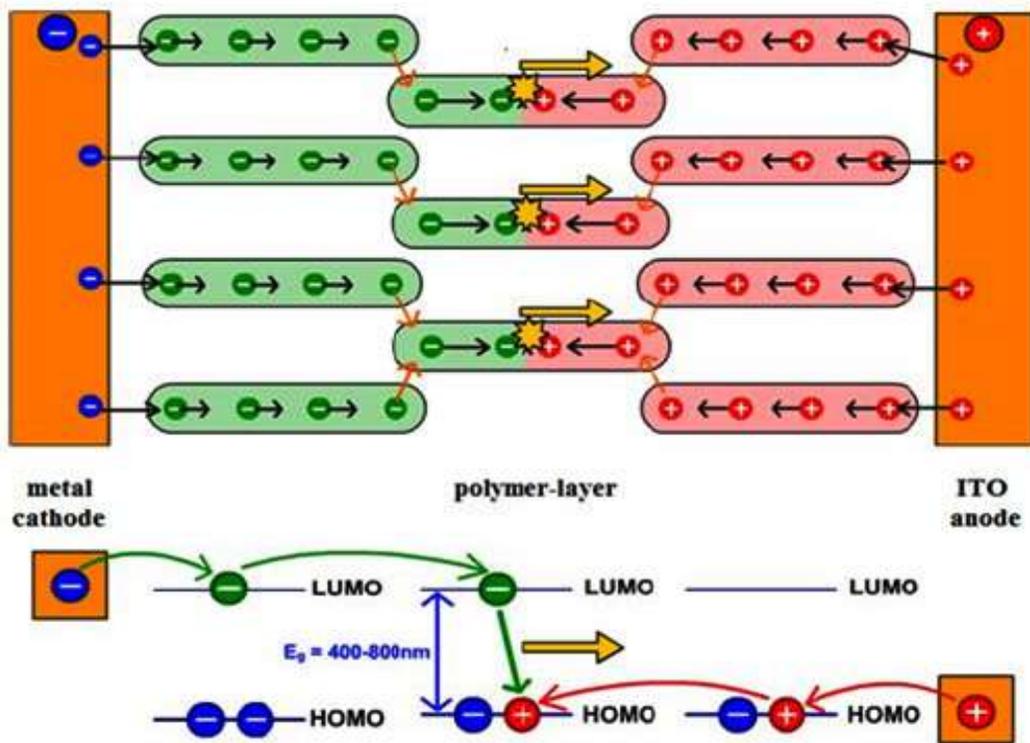


Figura 7.3. Principios de electroluminiscencia en un *OLED*

Inyección de carga

En un primer paso, los electrones son inyectados al LUMO de las moléculas cercanas al cátodo y los huecos son inyectados al HOMO de moléculas cercanas al ánodo. Para este proceso, es crucial que los niveles Fermi de electrodos completen los niveles energéticos del polímero, obteniendo un íntimo contacto entre todas las capas.

Transporte de carga

Mediante el proceso de salto (aros rojos en la figura 7.3), las cargas inyectadas derivan a través de la capa del polímero de molécula a molécula en direcciones opuestas. Esos procesos de salto son necesarios, porque hay barreras energéticas entre las moléculas, que los electrones tienen que superar para un eficiente flujo de corriente (Rehahn, 2003).

Combinación de carga y decaimiento de excitones

Cuando se encuentran un electrón y un hueco dentro de una molécula, se combinan para dar un excitón. Por razones estadísticas del giro, se generan 25 % singletes y 75 % trillizos de total de excitones. En los emisores de polímeros fluorescentes, como se discute aquí, los excitones singletes se desintegran principalmente a través de la fluorescencia; mientras que, los excitones triples se desintegran principalmente a través de la relajación térmica. Esto limita la salida cuántica máxima de *OLED's* fluorescentes a 25 %. La luz emitida (flechas amarillas en la fig. 7.3) abandona el dispositivo a través del ánodo transparente. El color de la luz está determinado por el tamaño del espacio de banda en la molécula, que se controla por la estructura química específica del sistema conjugado π (determinado por la longitud de conjunción eficiente e independiente de la longitud de la macromolécula).

OBJETIVOS

1. Ofrecer un panorama acerca de la especialidad de los polímeros y aplicaciones de los materiales poliméricos.
2. Comprender el proceso de transferencia electrónica de polímeros semiconductores, así como las características de estos materiales para la conducción eléctrica.
3. Realizar *OLED's* y proporcionar materiales semiconductores para la integración acerca de materiales poliméricos nuevos y sus usos.

ACTIVIDADES PREVIAS AL EXPERIMENTO

1. Defina qué es un copolímero.
2. Investigue acerca de los *OLED's*, los materiales utilizados para su construcción y sus usos industriales.
3. En la teoría del orbital molecular (TOM), defina qué es el orbital HOMO y LUMO.
4. Investigue qué es la banda de valencia y qué es la banda de conducción.

5. ¿Qué es el *band gap*, y cómo se relaciona con las propiedades conductoras de un material?
6. Escriba las definiciones de *absorbancia*, *emisión*, *fluorescencia* y *fosforescencia*. Elabore un cuadro comparativo de estas propiedades.
7. Investigue las propiedades, así como las estructuras del MEH-PPV y del Superyellow.
8. Elabore el diagrama de flujo de la práctica.
9. Investigue las fichas de seguridad de los reactivos utilizados en la práctica.

MÉTODO EXPERIMENTAL

Material, reactivos y equipo

Material	Reactivos	Equipo
Jeringa de 1mL	O,5L PET-flask	Taladro (3000 rpm)
Cinta de doble lado	Vidrio ITO (3 cm x 3cm)	Multímetro con dos cables
Cinta adhesiva	MEH-PPV disuelto en cloroformo de	Dos caimanes
Tijeras	C=3,5 g/L	Fuente de voltaje de 9 volts
Pañuelos desechables	Galio-indio eutéctico	
	Acetona	

Procedimiento experimental

Oled estándar en vidrio ITO con tres puntos de emisión controlable individualmente

1. Preparación del vidrio ITO

Limpiar el vidrio ITO con agua y después con pañuelos de papel y acetona. Tener cuidado de no tocar la superficie del vidrio con los dedos, sujetándolo de las orillas.

Se debe medir la resistencia eléctrica de ambos lados del vidrio, sosteniendo los cables del multímetro a una distancia de 1 cm de la superficie del vidrio. El lado conductor muestra una resistencia aproximada de 30 ohms por centímetro. Colocar una tira de cinta adhesiva en el extremo del lado conductor para marcar el área donde será conectado el ánodo después (Figura 7.4 a).

2. Recubrimiento por centrifugación de MEH-PPV

¡Cuidado! Durante el proceso, el cloroformo se evaporará. Por esta razón, este paso deberá llevarse a cabo en una campana y bajo la supervisión del profesor. Se usa la cinta de doble lado para fijar el vidrio ITO con el lado conductor hacia arriba sobre el taladro. Cortar 0,5L PET-flask para hacer un tubo y colocarlo sobre la construcción, para protegerla de salpicaduras. Inyectar alrededor de 0,15-0,2 mL de la solución de MEH-PPV en medio del vidrio ITO (figura 7.4 b). Cerrar la campana lo más posible. Encender la máquina con la máxima fuerza de rotación (3000 rpm) y recubrir centrífugamente alrededor de 20 segundos. Se debe obtener una capa delgada y homogénea de un polímero naranja sobre el vidrio ITO (figura 7.4 c). Quitar la cinta adhesiva del paso 1.

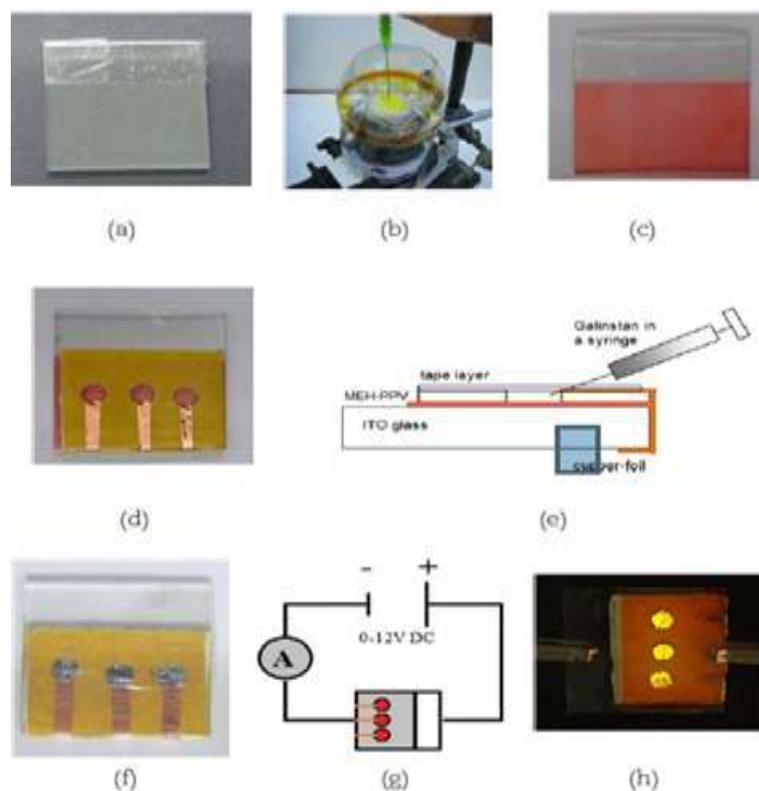


Figura 7.4. Preparación y recubrimiento del vidrio ITO con MEH-PPV

3. Preparación de los cátodos

Pegar tres piezas de la cinta doble (cerca de 3 cm x 2,5 cm) juntas y hacer tres huecos en la capa, usando una perforadora (humedecer con acetona). Poner la cinta sobre la capa de MEH-PPV, pero no remover la sábana protectora posterior. Ahora, fijar tres piezas delgadas de lámina de cobre de la siguiente manera: un extremo debe ser extendido hasta uno de los huecos, mientras el otro extremo es doblado al lado opuesto del vidrio (figura 7.4 d). Encerrar los huecos con un trozo de cinta de adhesiva para generar tres cavidades.

4. Inyección del galinstan (galio-indio eutéctico)

¡Cuidado! Evitar tocar la capa de polímero con la jeringa, esto puede provocar cortos circuitos después. Mover la punta de la jeringa cuidadosamente en la primera cavidad y delicadamente llenarla con galinstan (figura 7.4 e). Si la aleación se derrama, eso indica que el hueco está completamente lleno. Succionar el exceso de aleación de vuelta a la jeringa. Repetir este paso con las otras cavidades. Ahora, cerrar los hoyitos con cinta adhesiva sin presionar fuerte, evitando un derramamiento de galinstan (figura 7.4 f).

5. Conexión de *OLED* y registro de la curva I/V

Usar un clip caimán para conectar el polo positivo de la fuente de voltaje a la parte no recubierta del vidrio ITO. Conectar el multímetro al polo negativo de la fuente de voltaje y ajustar a 2 V. Programar el multímetro a medición de corriente y conectar sucesivamente en las tres alimentaciones de cobre del *OLED* (figura 7.4 g). Disminuir la luz del ambiente e incrementar el voltaje 1 V. Anotar las corrientes correspondientes de los tres lugares de emisión en una tabla. La máxima luminiscencia normalmente se observa en 8 o 9 V (figura 7.4 h). Se detiene la medición al llegar a 12 V. Graficar los diagramas I/V de los tres puntos de emisión.

6. Desarmar el *OLED* y disposición del material

Remover la cinta adhesiva más externa primero y limpiar el galinstan con un pañuelo. Se puede desechar en la basura. Ahora, remover la cinta doble, incluyendo las alimentaciones de cobre y limpiar el vidrio ITO con agua, se pueden usar los

dedos. Secar el vidrio y limpiarlo con acetona. Puede ser reusado varias veces, pero, en cada aplicación, la capa de ITO disminuye. El galinstan puede dejar lugares oscuros, que pueden ser limpiados con agua y jabón.

OLED sencillo en 10 minutos

1. Se prepara el vidrio ITO, como se describe en el experimento 1 y se realiza el *spin-coat* con MEH-PPV o Superyellow.
2. Fijar la lámina metálica a la pinza de tres dedos y colocar los palillos en los bordes como separadores (como se muestra en la figura 7.5 a).
3. Aplicación del galinstan y fijación del vidrio ITO:

Poner unas gotas de galinstan en la lámina de metal entre los dos palillos (figura 7.5 b). Colocar el vidrio ITO con el lado recubierto sobre las gotas, para que se dé un contacto cercano entre el polímero y el galinstan. El lado no recubierto del vidrio ITO debe cubrir la lámina. Ahora, se fija el vidrio con los clips plegables (figura 7.5 c).

4. Conectar el *OLED* sencillo:

Usar los caimanes para conectar el polo positivo de la pila de 9 V con el lado no recubierto de vidrio ITO y el polo negativo con la lámina de metal. Reducir la luz del entorno y observar la luminiscencia por al menos 30 segundos. El punto de contacto entre el galinstan y el polímero debe comenzar a brillar (figura 7.5 d). Se puede conectar el *OLED* sencillo a la fuente de poder y regular el voltaje hasta 12 V, para que se observe un mayor brillo.



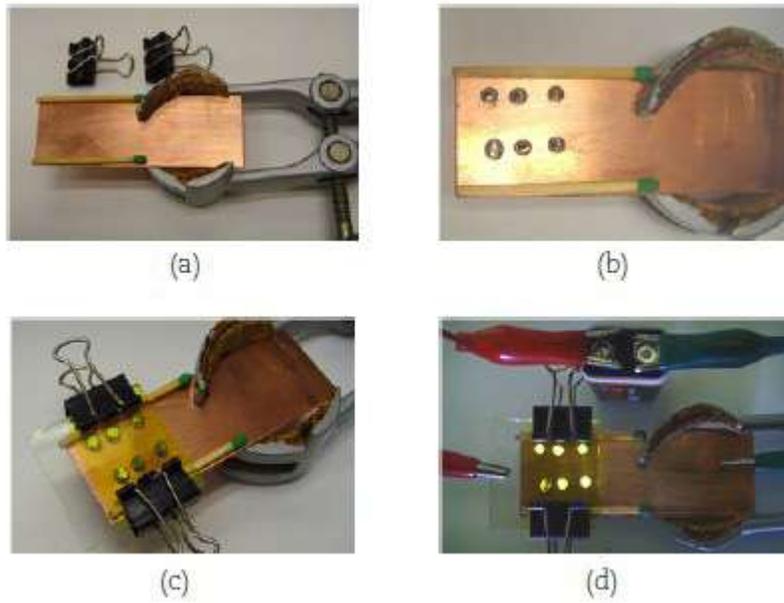


Figura 7.5. Elaboración de un *OLED* sencillo

DATOS EXPERIMENTALES

Tabla 7.1. Datos experimentales para los dos *OLED*'s

Voltaje (V)	Intensidad (A)	
	<i>OLED</i> ITO	<i>OLED</i> Sencillo
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		

TRATAMIENTO DE DATOS EXPERIMENTALES Y PUNTOS MÍNIMOS PARA EL INFORME EXPERIMENTAL

1. Elabore los gráficos de intensidad vs. voltaje aplicado, discuta si hay una relación lineal entre las variables.
2. Determine si se cumple la ley de Ohm para cada caso.
3. Discuta ampliamente acerca de los polímeros semiconductores (MEH-PPV, Superyellow). Haga énfasis en la conducción de éstos a través del modelo del orbital molecular.
4. Incluya fotografías del proceso de la elaboración de los *OLED's*, en las que se describa detalladamente el proceso experimental.
5. Explique a qué se deben las propiedades luminiscentes de los *OLED's* realizados en esta actividad experimental.

ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

1. Explique el uso industrial de los *OLED's*.
2. Aparte del MEH-PPV y el Superyellow, qué otro tipo de polímeros o copolímeros se utilizan en la fabricación de materiales con propiedades luminiscentes. Escriba las estructuras moleculares.



BIBLIOGRAFÍA

Bicerano, J. (2002). *Prediction of Polymer Properties* (3.^a ed.). New York: Marcel Dekker, Inc

Billmeyer, F. W. (2004). *Ciencia de los polímeros*. México: Reverté.

Celina, M. C., Billingham, N. C. y Wiggins, J. S. (2009). *Polymer Degradation and Performance*. Washington, D.C.: American Chemical Society.

Fried, J. R. (2003). *Polymer Science and Technology*. (2.^a ed.). México: Prentice-Hall Hispanoamericana.

Hiemenz, L. (2007). *Polymer chemistry* (2.^a ed.). EUA: CRC Press.

Huheey, J. E. (1981). *Química inorgánica principios de estructura y reactividad* (2.^a ed.). México: Harla.

Instituto Mexicano del Plástico (2000). *Enciclopedia del plástico*. México: Centro empresarial del plástico.

Odian, G. (2004). *Principles of Polymerization*. (4.^a ed.). New York: John Wiley and Sons, Inc.

Rehahn, M. (2003). Elektrisch leitfähige Kunststoffe: Der Weg zu einer neuen Materialklasse. *Chemie in unserer zeit* Volume 37, Issue 1, 18-30.

Rodriguez, F., Cohen, C., Ober, Ch. K. (2003). *Principles of Polymer Systems*. (5.^a ed.). New York: Taylor and Francis.

Seymour, R. B. (2002). *Química de polímeros*. (2.^a ed.). México: Reverté.

Shirakawa, H. (2001). Nobel Lecture: The discovery of polyacetylene film—the dawning of an era of conducting polymers**Reviews of modern physics*, Volume 73, No.3, 713-718 July.

Sperling, L. H. (2001). *Introduction to Physical Polymer Science* (3.^a ed.). New York: Wiley-Interscience.

Strobl, G. R. (2010). *The Physics of Polymers: Concepts for Understanding Their Structures and Behavior* (3.^a ed.). Berlin: Springer Science.

Zaikov, G. E. y Jimenez, A. (2005). *Polymer Analysis, Degradation, and Stabilization*. New York: Nova Science Pub Inc.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

Hamid, I. y Halim, S. (2000). *Handbook of Polymer Degradation (Environmental Science & Pollution)*. New York: Marcel Decker Inc.

Osswald, T. A. y Menges, G. (2003). *Materials Science of Polymers for Engineers* (2.^a ed.) Munich: Hanser Gardner Publication Inc.

Platt, D. K. (2006). *Biodegradable polymers: market report*. UK: Rapra Technology, Shropshire.

Ribes-Greus, A. (2008). *Aspectos fundamentales de los polímeros: degradación y reciclaje de plásticos*. Valencia España: Editorial UPV.

Wypych, G. (2010). *Handbook of UV Degradation and Stabilization*. Chem Tech Publishing.

CIBERGRAFÍA

<http://www.textoscientificos.com/polimeros>

<http://www.plasticoslevinson.com/>

http://www2.dupont.com/Plastics/es_US/centro_conocimiento/procesamiento/index.html

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/06/propiedades-termicas.html>



HOJA DE DATOS PARA EL PROFESOR

Práctica 7: Diodos orgánicos emisores de luz con polímeros semiconductores		
Materia	Laboratorio de polímeros	
Carrera		
Profesor		
Alumnos		
Voltaje (V)	Intensidad (A)	
	OLED ITO	OLED sencillo
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		



ANEXOS

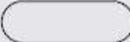
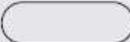
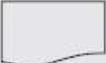
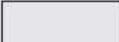
DIAGRAMA ECOLÓGICO DE FLUJO

Un diagrama ecológico de flujo es una figura que visualiza la ejecución de una tarea, expresando acción por acción, con la implementación de una lógica particular, según la información. Estos diagramas se basan en la metodología experimental para su realización, por lo que, un procedimiento sólo debe expresarse una vez dentro del diagrama ecológico.

Los diagramas deben contener el balance de materia de entrada y también el balance de salida de los residuos, mediante una serie de pasos ordenados, con el propósito de analizar la cantidad y el tipo de residuos que se generan en el proceso y el posible tratamiento de estos (Vargas-Rodríguez, Obaya, et. al., 2016).

Es importante mencionar que cada figura dentro del diagrama representa una información específica (Tabla A.1).

Tabla A.1. Simbología del diagrama de flujo (Vargas-Rodríguez, Obaya, et. al., 2016)

Símbolo	Significado	Aplicación en los experimentos de laboratorio
	Inicio del proceso	Indica el inicio de un diagrama; de este solo puede salir una línea de flujo. Lleva el título general o de cada etapa del experimento
	Final del proceso	Indica el final del experimento. El proceso terminará con el tratamiento y disposición de los residuos
	Entrada general	Emplear únicamente para indicar los reactivos que entran al proceso, el volumen, el peso y la concentración
	Salida general	Indica los materiales que salen del proceso (productos, residuos, etc.), su volumen, peso y concentración, así como los componentes y sus composiciones respectivas. Puede tener varias flechas de salida para indicar biodegradabilidad, reutilización, tratamiento y/o disposición de los residuos
	Acción/proceso general	Contiene la instrucción general que el alumno debe realizar para el desarrollo del experimento y del tratamiento y disposición de los residuos. Si es posible debe indicar la transformación de los reactivos
	Decisión	Sirve para comparar dos datos. Dependiendo del resultado (falso o verdadero) se toma la decisión de seguir un camino del diagrama u otro
	Línea de flujo	Indica la dirección de flujo del proceso

Adicionalmente, cada uno de los reactivos, disolventes o productos se clasifica de acuerdo con su reactividad, utilizando la Norma Oficial Mexicana NOM-018-

STPS-2015, *Sistema armonizado para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo*, mostrados en la tabla A.2.

Tabla A.2. Pictograma de peligros físicos y para la salud

Pictograma	Significado
 <p>Llama sobre círculo</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Gases comburentes (categoría 1) • Líquidos comburentes (categorías 1 al 3) • Sólidos comburentes (categorías 1 al 3)
 <p>Llama</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Gases inflamables (categoría 1) • Aerosoles (categorías 1 y 2) • Líquidos inflamables (categorías 1 al 3) • Sólidos inflamables (categorías 1 y 2) • Sustancias y mezclas que reaccionan espontáneamente (tipos B al F) • Líquidos pirofóricos (categoría 1) • Sólidos pirofóricos (categoría 1) • Sustancias y mezclas que experimentan calentamiento espontáneo (categorías 1 y 2) • Sustancias y mezclas que desprenden gases inflamables en contacto con el agua (categorías 1 al 3) • Peróxidos orgánicos (tipos B al F)
 <p>Bomba explotando</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Explosivos (inestables y divisiones al 1.4) • Sustancias y mezclas que reaccionan espontáneamente (tipo A y B) • Peróxidos orgánicos (tipo A y B)

 <p>Botella de gas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Gases a presión (comprimido, licuado, licuado refrigerado y disuelto)
 <p>Corrosión</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sustancias y mezclas corrosivas para los metales (categoría 1) • Corrosión/Irritación cutáneas (categoría 1) • Lesiones oculares graves/Irritación ocular (categoría 1)
 <p>Calavera y tibias cruzadas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda por ingestión, (categorías 1 al 3) • Toxicidad aguda por vía cutánea (categoría 4) • Toxicidad aguda por inhalación (categorías 1 a 3)
 <p>Signo de exclamación</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda por ingestión (categoría 4) • Toxicidad aguda por vía cutánea (categoría 4) • Toxicidad aguda por inhalación (categoría 4) • Corrosión/Irritación cutáneas (categoría 2) • Lesiones oculares graves/Irritación ocular (categoría 2/2A) • Sensibilización cutánea (categorías 1, 1A* y 1B*) • Lesiones oculares graves (categoría 2A) • Toxicidad específica de órganos blanco (exposición única) (categorías 3)
 <p>Medio ambiente</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Este pictograma advierte que el producto puede dañar el medio ambiente acuático y la capa de ozono



Peligro para la salud

- Sensibilización respiratoria (categorías 1, 1A* y 1B*)
- Mutagenicidad en células germinales (categorías 1 [tanto 1A como 1B] y 2)
- Carcinogenicidad (categorías 1 [tanto 1A como 1B] y 2)
- Toxicidad para la reproducción (categorías 1 [tanto 1A como 1B] y 2)
- Toxicidad sistémica específica de órganos blanco (exposición única) (categorías 1 y 2)
- Toxicidad sistémica específica de órganos blanco (exposiciones repetidas) (categorías 1 y 2)
- Peligro por aspiración (categorías 1 y 2)

Una vez realizado el diagrama de flujo del experimento, los pictogramas se colocan en éste para indicar el peligro que representa el uso de los diferentes reactivos; por ejemplo: si se está trabajando con un reactivo inflamable, se indica la precaución con un señalamiento para no trabajar cerca de la llama y así evitar accidentes.

A continuación, a manera de ejemplo, se presenta el diagrama ecológico de la actividad experimental 3: *Viscosidad de soluciones de polímeros y peso molecular viscosimétrico*.



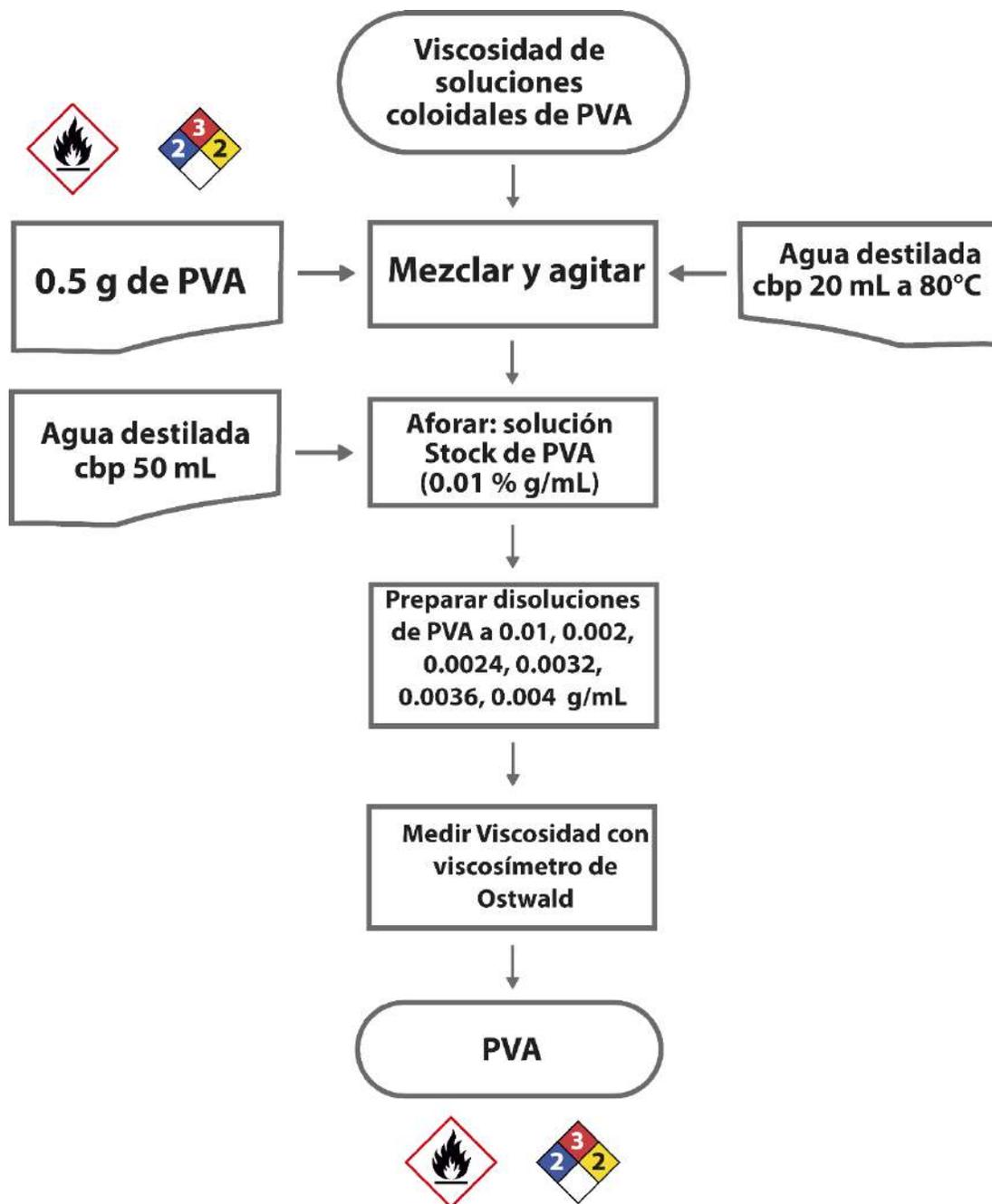


Figura A.1. Diagrama ecológico de la actividad experimental 3: *Viscosidad de soluciones de polímeros y peso molecular viscosimétrico*

BIBLIOGRAFÍA

NOM-018-STPS-2015 (2015). NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-018-STPS-2015, Secretaría de Economía, 2015. <http://www.economia-noms.gob.mx/normas/noms/2010/018stps2015.pdf>.

Vargas-Rodríguez, Y. M., Obaya Valdivia, A., Lima Vargas, S., Hernández Escamilla, A., Miranda Ruvalcaba, R., Vargas Rodríguez, G. I. (2016). El diagrama de flujo como semáforo de seguridad ecológica de los experimentos de laboratorio. *Educación Química*, 27(1) 30-36. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eq.2015.04.013>



Polímeros

Un enfoque constructivista e industrial

La presente publicación está dirigida a quienes están involucrados en los aspectos relacionados con la ciencia y la tecnología de los polímeros. Estas macromoléculas están constituidas por una multitud de unidades de repetición (meros), que presentan distintas propiedades, dependiendo de su naturaleza química y física.

La variedad de medios de análisis para la identificación de un material polimérico es muy extensa, y este texto permite que el estudioso del tema obtenga los conocimientos, las habilidades y las destrezas necesarias para modificar, implementar y aplicar los procesos poliméricos en su actividad profesional, mediante un enfoque constructivista e industrial. Dicho enfoque es muy pertinente, ya que fomenta el aprendizaje activo y su integración con la vida real, por lo general, desde una perspectiva multidisciplinaria.

colección: manuales de ciencias biológicas, químicas y de la salud

