



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MEXICO®

Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga
Departamento de Ingenierías

REPORTE FINAL PARA ACREDITAR LA RESIDENCIA PROFESIONAL DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PRESENTA:
MICHELL ALEJANDRA SALAS VÁZQUEZ

CARRERA:
INGENIERÍA INDUSTRIAL

***[APLICACIÓN DE DISEÑOS EXPERIMENTALES EN EL PROCESO DE
FABRICACIÓN A NIVEL LABORATORIO DE UN POLÍMERO DE
APLICACIÓN TEXTIL QUE CONTIENE POLIACRILONITRILO]***

Laboratorio de Conversión de la Energía
Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga



ING. ALEJANDRO PUGA VARGAS
Asesor externo

DR. JOSÉ ALONSO DENA AGUILAR
Asesor interno

Junio de 2021

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco al Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga por abrirme las puertas y ser parte de ella para poder concluir mis estudios y obtener mi carrera como Ingeniera Industrial, uno de mis más grandes sueños, así como a mis formadores a lo largo de esta carrera por darme su apoyo y confianza.

Agradezco también a mis Padres, quienes me dieron la vida por darme una oportunidad más de estudiar y tener una carrera, quienes me han brindado su apoyo ante toda adversidad y me han impulsado para no desistir durante esta trayectoria. De igual forma agradezco a mis hermanos que me han motivado a ser un ejemplo para ellos y me dan las fuerzas para continuar con mis metas.

Agradezco infinitamente a mi esposo Jesús Ortega Jara, quien me ha brindado todo su apoyo incondicional para lograr esta meta, por siempre estar ahí tomándome de la mano y no dejarme caer, por darme día a día alientos de continuar y hacerme ver las cosas diferentes, gracias por confiar y creer en mí.

Agradezco de forma muy particular, al Dr. José Alonso Dena Aguilar, por darme su confianza y por hacerme parte de este proyecto, por el apoyo recibido y toda la atención brindada, así como a mi compañera Viviana Vega por ser parte de este proyecto y por su apoyo, les agradezco de todo corazón por todo su apoyo, confianza y dedicación brindada.... gracias...

RESUMEN

“APLICACIÓN DE DISEÑOS EXPERIMENTALES EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN A NIVEL LABORATORIO DE UN POLÍMERO DE APLICACIÓN TEXTIL QUE CONTIENE POLIACRILONITRILO”

Por: **MICHELL ALEJANDRA SALAS VÁZQUEZ**

El Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga es una institución de educación superior que se localiza en el Municipio de Pabellón de Arteaga al norte del Estado de Aguascalientes y es perteneciente al Tecnológico Nacional de México (TecNM). Actualmente cuenta con una oferta educativa de 5 programas de Licenciatura y 1 programa de Posgrado con una matrícula superior a los 1500 estudiantes.

Dentro de sus instalaciones se encuentra el laboratorio de Conversión de la Energía adscrito al programa de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica donde se desarrollan proyectos de posgrado, investigación e innovación relativos a la línea de generación y aplicación del conocimiento “conversión de la energía”. Uno de estos proyectos se refiere a la fabricación de polímeros de aplicación textil para su posible uso como estructuras de soporte de materiales fotovoltaicos. Se estudia, como una primera etapa, la capacidad de sintetizar y de poder someter a extrusión a un polímero que contiene poliacetato de vinilo.

Típicamente, la síntesis de un polímero por la metodología de polimerización por radicales libres se realiza en solución, se emplea el monómero precursor del polímero, se utilizan iniciadores que propician los sitios de activación y se establecen variables de operación sujetas a control. Por otro lado, un proceso de extrusión se puede llevar a cabo mediante la técnica de hilatura en húmedo donde se deben definir los volúmenes de solvente, la cantidad de polímero y demás variables de operación sujetas a control.

Por tanto, es conveniente, establecer un diseño experimental que permita relacionar todas estas condiciones de operación para llegar a proponer un método con suficiencia de validez estadística experimental.

En este trabajo se aplicaron técnicas y metodologías de la Ingeniería Industrial para establecer un diseño experimental de arreglo ortogonal $L8(2^7)$ que permita llevar a cabo la síntesis de un copolímero que contenga poliacrilonitrilo (PAN), poliacetato de vinilo (PAV) y almidón (ALM) en su matriz polimérica. Específicamente, se emplearon técnicas de polimerización en solución por radicales libres, iniciadores de persulfato de amonio y bisulfito de sodio, agua como medio de solución, además del registro y monitoreo de las variables de temperatura de la reacción, tiempo de la reacción y velocidad de agitación. Todas las anteriores condiciones representan los niveles y factores del arreglo ortogonal seleccionado. Adicionalmente todas las corridas de síntesis fueron llevadas hasta su extrusión para obtener fibras poliméricas del material polimérico empleando una técnica de hilatura en húmedo a nivel laboratorio empleando agua como medio coagulante y un equipo de extrusión por embolo insertado en tubo (jeringa desechable 5 mL, 21G x 32 mm). Para obtener la solución coloidal o fluido de hilatura se empleó un solvente orgánico de dimetilformamida para disolver el material polimérico. Todas las pruebas fueron sometidas a caracterización gravimétrica.

La propuesta de solución consistió en sintetizar un copolímero que contenga PAN-PAV-ALM y obtener a partir de ellos fibras poliméricas por medio de un proceso de extrusión simple.

Se logró sintetizar y extruir copolímeros de PAN-PAV-ALM. Los logros permiten establecer trabajo a futuro para nuevos proyectos de investigación relativos al tema.

Este trabajo es parte de un proyecto global de obtención de fibras poliméricas de aplicación textil para posibles aplicaciones en el campo de las energías renovables. Por lo que esté estudio se desarrolló de manera grupal por los requerimientos, condiciones y características del proyecto de residencia especificados por la Institución proponente del proyecto. Por tanto, los reportes de residencia de los participantes comparten las mismas secciones básicas y logros del documento de residencia. Lo anterior bajo autorización y aprobación de la Academia de Ingeniería Industrial del ITPA.

Dirigido por:

Ing. Alejandro Puga Vargas

Dr. José Alonso Dena Aguilar

ÍNDICE

	Pág.
I. GENERALIDADES DEL PROYECTO	1
1.1 Introducción.....	2
1.2 Descripción de la empresa u organización y del puesto o área de trabajo del residente.....	2
1.3 Problema(s) a resolver.....	4
1.4 Justificación.....	5
1.5 Objetivos.....	6
1.5.1 Objetivo general.....	6
1.5.2 Objetivos específicos.....	6
II. MARCO TEÓRICO	7
2.1 POLÍMEROS Y COPOLÍMEROS.....	7
2.2 REACCIONES DE POLIMERIZACIÓN.....	8
2.3 POLIMERIZACIÓN EN SUSPENSIÓN.....	10
2.4 EXTRUSIÓN DE POLÍMEROS.....	11
2.5 HILATURA EN HÚMEDO.....	12
2.6 POLIACRILONITRILO.....	12
2.7 CARACTERIZACIÓN POR GRAVIMETRÍA.....	13
2.8 ARREGLOS ORTOGONALES DE TAGUCHI.....	14
III. DESARROLLO	17
3.1 PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS.....	17
3.1.1 Síntesis de Polímeros.....	17
3.1.2 Extrusión de Polímero.....	19
3.1.3 Ecuaciones de Gravimetría.....	19
3.1.4 Diseño experimental ortogonal de TAGUCHI.....	19
3.2 Cronograma de actividades.....	21

	Pág.
IV. RESULTADOS	22
4.1 SÍNTESIS DE POLÍMEROS.....	22
4.2 EXTRUSIÓN DE POLÍMEROS.....	23
4.3 PRUEBAS DE GRAVIMETRÍA.....	32
V. CONCLUSIONES	36
VI. COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS	37
VII. FUENTES DE INFORMACIÓN	38
Anexo 1. Carta de aceptación por parte de la empresa para la residencia profesional.....	39
Anexo 2. Carta de terminación por parte de la empresa para la residencia profesional.....	40

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Serie de arreglos para experimentos con factores a 2 niveles.....	15
Tabla 2. Arreglo L8(2 ⁴), (4 ¹)	16
Tabla 3. Factores y niveles experimentales empleadas en un arreglo L8(2 ⁴), (4 ¹).....	20
Tabla 4. Tabla de pérdidas de polímero seco a triturado.....	32

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Organigrama de la institución y del área de residencia.....	4
Figura 2. Polímeros.....	7
Figura 3. Copolímeros con 2 unidades repetitivas distintas.....	8
Figura 4. Polímeros y Copolímeros.....	8
Figura 5. Cadenas de reacciones de polimerización	9
Figura 6. Reacción de polimerización de adición (A) y Condensación (B).....	10
Figura 7. Polimerización en Suspensión.....	11
Figura 8. Esquema de una Extrusora.....	11
Figura 9. Proceso de Hilatura en Húmedo	12
Figura 10. Estructura Química del Poliacrilonitrilo.....	13
Figura 11. Sistema de Polimerización: (1) reactor (2) Alimentación (3) Agitador (4) Control de temperatura.....	18
Figura 12. Filamentos de Polimerización.....	19
Figura 13. Cronograma de actividades General.....	21
Figura 14. Resultados de las corridas.....	22

	Pág.
Figura 15. Solución 1.....	23
Figura 16. Solución 2.....	23
Figura 17. Solución 3.....	24
Figura 18. Solución 4.....	24
Figura 19. Solución 5.....	24
Figura 20. Solución 6.....	25
Figura 21. Solución 7.....	25
Figura 22. Solución 8.....	25
Figura 23. Fibra 1 (Húmeda/Seca).....	26
Figura 24. Fibra 2 (Húmeda/Seca).....	26
Figura 25. Fibra 3 (Húmeda/Seca).....	27
Figura 26. Fibra 4 (Húmeda/Seca).....	27
Figura 27. Fibra 5 (Húmeda/Seca).....	27
Figura 28. Fibra 6 (Húmeda/Seca).....	28
Figura 29. Fibra 7 (Húmeda/Seca).....	28

	Pág.
Figura 30. Fibra 8 (Húmeda).....	28
Figura 31. Fibra 1 (Microscopia Óptica).....	29
Figura 32. Fibra 2 (Microscopia Óptica)	29
Figura 33. Fibra 3 (Microscopia Óptica)	30
Figura 34. Fibra 4 (Microscopia Óptica)	30
Figura 35. Fibra 5 (Microscopia Óptica)	30
Figura 36. Fibra 6 (Microscopia Óptica)	31
Figura 37. Fibra 7 (Microscopia Óptica)	31
Figura 38. Corrida 1.....	32
Figura 39. Corrida 2.....	33
Figura 40. Corrida 3.....	33
Figura 41. Corrida 4.....	33
Figura 42. Corrida 5.....	34
Figura 43. Corrida 6.....	34
Figura 44. Corrida 7.....	34

I. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 Introducción

El INSTITUTO TECNOLÓGICO DE PABELLÓN DE ARTEAGA es una institución de educación superior ubicada en el Municipio de Pabellón de Arteaga del Estado de Aguascalientes y como parte de sus objetivos se encuentra el desarrollo de proyectos de innovación e investigación a través de residencias profesionales que den soluciones a problemas de la industria, de ciencia aplicada o de desarrollo tecnológico. Su laboratorio de Conversión de la Energía inicio operaciones en enero de 2019 dentro del programa de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica que se oferta en el plantel y donde se promueven proyectos de posgrado, investigación e innovación acordes a la línea de investigación de conversión de la energía. Esta línea de investigación se enfoca a procesos de conversión de la energía y energías renovables mediante el diseño e integración de procesos orientados para la generación, almacenamiento y uso eficiente de la energía.

Uno de estos proyectos se refiere a la fabricación de polímeros de aplicación textil para su posible uso como estructuras de soporte de materiales fotovoltaicos. Se estudia, como una primera etapa, la capacidad de sintetizar y de poder someter a extrusión a un polímero que contiene poliacetato de vinilo.

Típicamente, la síntesis de un polímero por la metodología de polimerización por radicales libres se realiza en solución, se emplea el monómero precursor del polímero, se utilizan iniciadores que propician los sitios de activación y se establecen variables de operación sujetas a control. Por otro lado, un proceso de extrusión se puede llevar a cabo mediante la técnica de hilatura en húmedo donde se deben definir los volúmenes de solvente, la cantidad de polímero y demás variables de operación sujetas a control.

Por tanto, es conveniente, establecer un diseño experimental que permita relacionar todas estas condiciones de operación para llegar a proponer un método con suficiencia de validez estadística experimental.

Considerando lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue sintetizar y extruir un copolímero de poliacrilonitrilo con poliacetato de vinilo con almidón bajo un diseño experimental de arreglo ortogonal $L8(2^4)$, (4^1) . En particular se llevaron a cabo actividades

de síntesis en solución por radicales libres y extrusión de fibras poliméricas mediante técnicas de hilatura en húmedo.

La presente propuesta permitió establecer trabajo a futuro para nuevos proyectos de investigación relativos al tema

Este proyecto es parte de un proyecto global de obtención de fibras poliméricas de aplicación textil para posibles aplicaciones en el campo de las energías renovables (demás etapas de proyecto no presentados en este trabajo).

1.2 Descripción de la empresa y del puesto o área de trabajo del residente

El ramo económico de la institución es la educación, específicamente la educación superior, así como el desarrollo de proyectos de innovación e investigación con la industria (desarrollo tecnológico) o académicos (ciencia aplicada).

Sus políticas de misión, visión, objetivos (retos) y valores de la institución son:

Misión

Brindar un servicio de educación superior de calidad comprometido con la generación, difusión y conservación del conocimiento científico, tecnológico y humanista, a través de programas educativos que permitan un desarrollo sustentable, conservando los principios universales en beneficio de la humanidad.

Visión

Ser una institución de educación superior reconocida a nivel nacional e internacional, líder en la formación integral de profesionistas de calidad y excelencia, que promueve el desarrollo armónico del entorno.

Objetivos de la empresa

Asegurar la calidad de todos los procesos académicos, entre los que se encuentran:

- El diseño de especialidades
- Asesoría de residencias profesionales
- Desarrollo de proyectos de innovación

- Servicios de educación continua
- Investigación educativa
- Acreditaciones de planes de estudio

Valores

A fin de guiar y orientar las acciones cotidianas de todo su personal, la institución define los siguientes valores institucionales:

- Compromiso. - lograr propósitos comunes mediante el trabajo responsable y en equipo, mejorando permanentemente el ser, hacer y tener mediante la participación activa y el liderazgo compartido.
- Responsabilidad. - decidir y actuar conforme al análisis previo de las consecuencias inmediatas o mediatas de las acciones.
- Respeto. - actitud personal y colectiva hacia la conservación, mejoramiento y protección de las diversas formas de vida, además de la aceptación de la diversidad propia de lo humano.
- Cooperación. - facilitar condiciones que allanen el trabajo de los demás, y capacitar a toda la gente para propiciar su desarrollo personal y profesional dentro y fuera de la institución.
- Honestidad. - liderazgo que toma decisiones con base en una información completa, retroalimentando directamente con resultados e impacto mutuo, dando transparencia a cada una de las acciones personales e institucionales.
- Equidad. - crear un ambiente que permita establecer un sistema de reconocimiento al esfuerzo individual y de grupo en la institución.

En la Figura 1 se presenta el organigrama de la institución, así como el área de trabajo del residente. Las funciones del residente son propias del proyecto de residencia y se enfocan al diseño, construcción, control y automatización de un concentrador solar para una maquina extrusora.

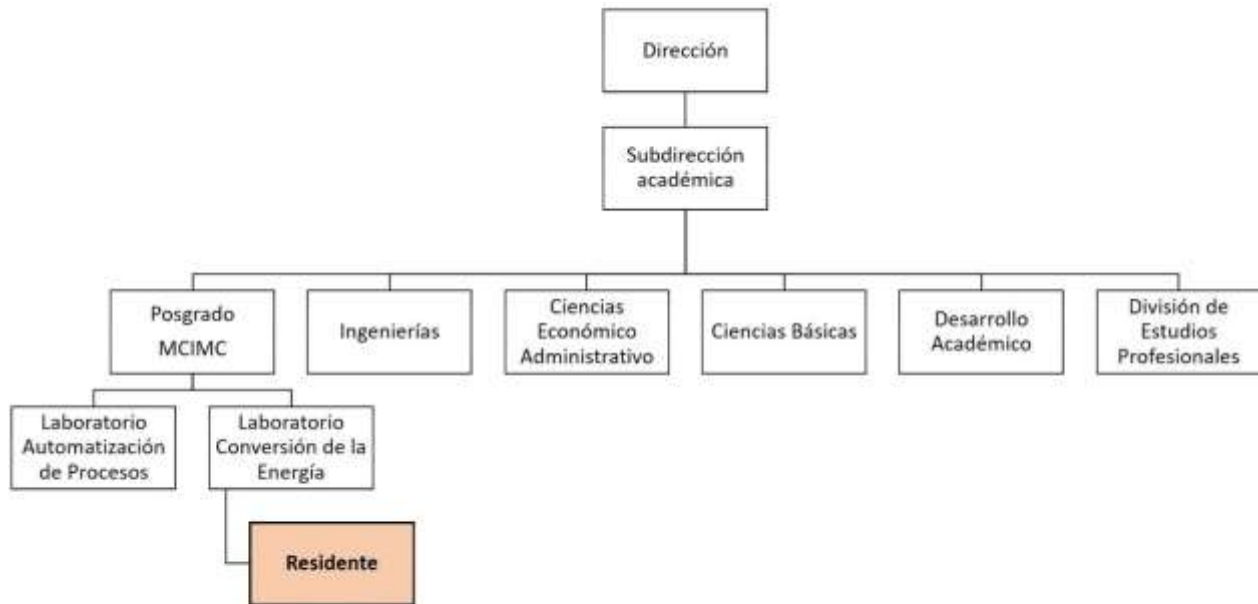


Figura 1. Organigrama de la institución y del área de residencia.

1.3 Problema(s) a resolver

El campo de aplicación de fibras poliméricas de tipo textil dentro del ámbito de las energías renovables ha sido poco estudiado. El poder emplear fibras poliméricas como soportes para fabricar estructuras flexibles donde se logren montar, por ejemplo, células fotovoltaicas luce como un campo prominente de investigación aplicada. Si aunado a lo anterior, añadimos propiedades de biodegradación a las estructuras textiles logradas, se coadyuva a complementar el ciclo de vida de este tipo de materiales.

Derivado de lo anterior, se han detectado las siguientes áreas de oportunidad:

1. Síntesis de copolímeros con propiedades de aplicación textil:
 - Empleo de un diseño experimental ortogonal para optimizar las variables de operación implicadas.
 - Caracterización gravimétrica de los productos sintetizados.
2. Extrusión de fibras poliméricas con propiedades de aplicación textil:
 - Realizar la extrusión de fibras poliméricas bajo un proceso de extrusión por embolo en tubo simple empleando técnicas de hilatura en húmedo.

- Caracterización gravimétrica de los productos extruidos.

Las fibras poliméricas finales resultantes pueden someterse a demás procesos futuros para mejorar sus propiedades mecánicas.

1.4 Justificación

En la industria textil las fibras acrílicas son fibras sintéticas que en forma de hilo son empleadas en un gran número de productos textiles como colchas, tapetes, guantes, entre otros. Su aspecto es similar a la lana natural, pero son de mayor suavidad y de mantenimiento más simple. La síntesis de fibras acrílicas se realiza empleando monómero de acrilonitrilo y/o acetato de vinilo en soluciones acuosas con empleo de temperatura para facilitar la reacción de polimerización.

Dado el amplio margen de aplicación de las fibras acrílicas, se reportan escasos estudios sobre el uso de estas fibras dentro del campo de las energías renovables como puede ser su empleo como estructuras de soportes de células fotovoltaicas.

El poder emplear fibras poliméricas como soportes para fabricar estructuras flexibles donde se logren montar, por ejemplo, células fotovoltaicas luce como un campo prominente de investigación aplicada. Si aunado a lo anterior, añadimos propiedades de biodegradación a las estructuras textiles logradas, se coadyuva a complementar el ciclo de vida de este tipo de materiales

El alcance del proyecto es sintetizar y extruir fibras poliméricas acrílicas como una primera etapa de estudio y donde se pueda establecer las bases para demás trabajo futuro.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Establecer un proceso a nivel laboratorio para sintetizar y extruir un polímero mediante un diseño experimental ortogonal para fabricar fibras poliméricas de poliacrilonitrilo con poliacetato de vinilo.

1.5.2 Objetivos específicos

- Definir un diseño experimental mediante la declaración de factores y niveles de variables de operación para sintetizar un material polimérico.
- Sintetizar un copolímero mediante la injercción de monómeros de acrilonitrilo, acetato de vinilo y almidón para sintetizar material polimérico.
- Establecer un proceso simple de extrusión mediante un equipo de extrusión manual para obtener fibras poliméricas.
- Realizar la caracterización de los materiales poliméricos mediante gravimetría para determinar el porcentaje de eficiencia y de injercción de la reacción.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 POLÍMEROS Y COPOLÍMEROS

Los polímeros son un tipo particular de macromolécula, que se caracteriza por tener una unidad que se repite a lo largo de la molécula. Las pequeñas moléculas que se combinan entre sí mediante un proceso químico, llamado reacción de polimerización, para formar el polímero se denominan monómeros. (figura 2) La unión de todas estas pequeñas moléculas dan lugar a una estructura de constitución repetitiva en el polímero y la unidad que se repite regularmente a lo largo de toda la molécula, se conoce con el nombre de unidad constitucional repetitiva(ucr) o unidad monomérica. La longitud de la cadena del polímero viene determinada por el número de ucr que se repiten en la cadena. Esto se llama grado de polimerización (X), y su peso molecular viene dado por el peso de la unidad constitucional repetitiva multiplicado por el grado de polimerización.¹

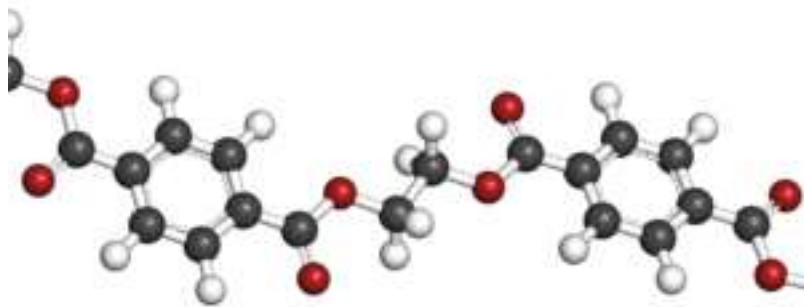


Figura 2. Polímeros.

Existen muchas formas de cambiar las propiedades de un material polimérico. La manera más simple para lograrlo es mezclar dos polímeros para dar un material con propiedades mecánicas geológicas diferentes a las de cada homopolímero individual. Sin embargo, ya que pocos polímeros son miscibles, tienden a separarse en fases en muchas de las mezclas, consecuentemente, se tienen pobres propiedades físicas debido a la inadecuada fuerza interfacial entre las fases.

Una alternativa es copolimerizar diferentes monómeros dentro de un material polimérico. (figura 4) Por lo tanto, un copolímero es definido como una macromolécula

que contiene más de un tipo de monómero dentro de la cadena polimérica. Así, la copolimerización es la mejor manera de producir un polímero con propiedades que son intermedias entre las propiedades respectivas de cada homopolímero. Esto es un proceso importante, desde el punto de vista comercial, ya que se pueden producir polímeros nuevos con propiedades completamente diferentes. Una manera para clasificar el tipo de copolímero, se basa en su arquitectura.²



Figura 3. Copolímeros con dos unidades repetitivas distintas.

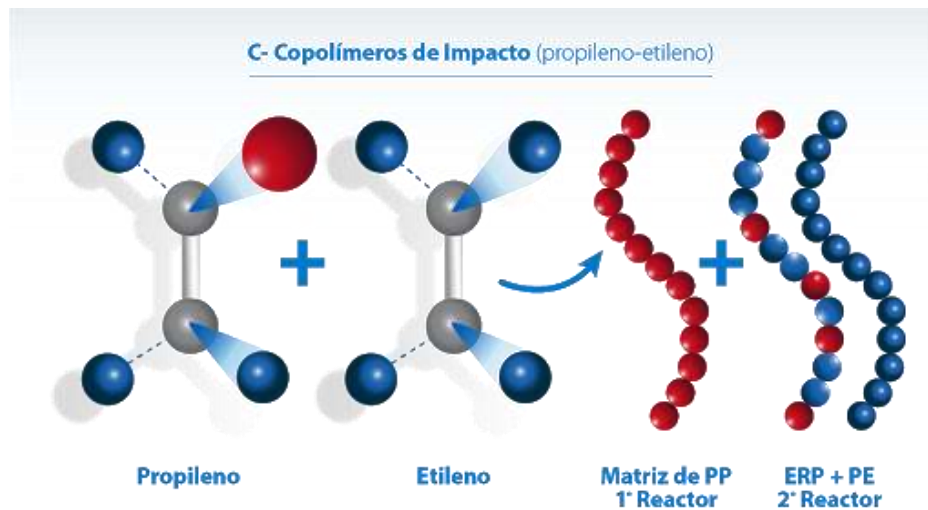


Figura 4. Colímero y copolímero.

2.2 REACCIONES DE POLIMERIZACIÓN

Las reacciones de polimerización son ampliamente investigadas y han llevado a materiales de ingeniería de gran valor y rendimiento que se encuentran en nuestros hogares, automóviles e incluso en nuestros cuerpos. En el caso de estos polímeros, para producir un material que cumpla con los requisitos y especificaciones del uso final, resulta

fundamental disponer de un conocimiento profundo de las reacciones de polimerización y del control de todas las variables de reacción. En la Figura 5 se presenta una reacción de polimerización.

Los polímeros son macromoléculas que están formadas por subsegmentos monoméricos repetitivos más pequeños que se unen para formar cadenas. Los polímeros que existen en la naturaleza, como los polipéptidos y los polisacáridos, constituyen componentes fundamentales de los organismos vivos. Los polímeros sintéticos, como el nailon y el poliuretano, han transformado la forma en que fabricamos y usamos los productos comerciales. Estos últimos polímeros se forman, por lo general, añadiendo segmentos de monómeros mediante procesos de adición de radicales libres o uniendo los segmentos mediante reacciones de condensación que producen el polímero junto con el agua u otra molécula pequeña.³

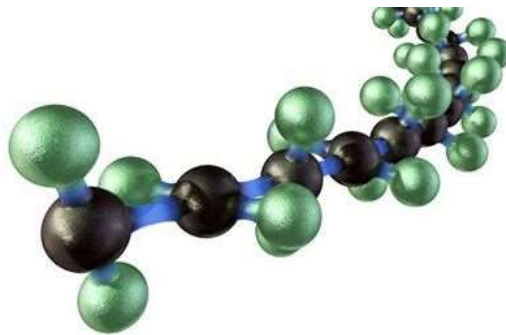


Figura 5. Cadena de reacción de polimerización.

Las dos clases generales de las polimerizaciones son las reacciones de adición y las de condensación. En las reacciones de adición, también conocidas como polimerizaciones de crecimiento en cadena, el monómero intacto se une para formar cadenas lineales o ramificadas. En la Figura 6, Se muestran las dos clases de reacciones de polimerización.

Los polímeros de adición(A) se forman a través de varios mecanismos diferentes, entre los que se incluyen las polimerizaciones radicales libres, las aniónicas, las catiónicas, etc. Entre los polímeros comunes formados por polimerizaciones de adición se encuentran las poliolefinas, el polietileno y el policloruro de vinilo.

En las reacciones de condensación (B), tanto el polímero como la molécula del producto secundario, por ejemplo, agua o HCl, se forman cuando los monómeros se unen. Si los monómeros tienen dos o más grupos funcionales reactivos, se formarán más polímeros ramificados. Las reacciones de condensación, por lo general, se describen como polimerizaciones por crecimiento en etapas porque primero se forman los dímeros y después los trímeros, que finalmente dan lugar a los oligómeros de cadena larga.³

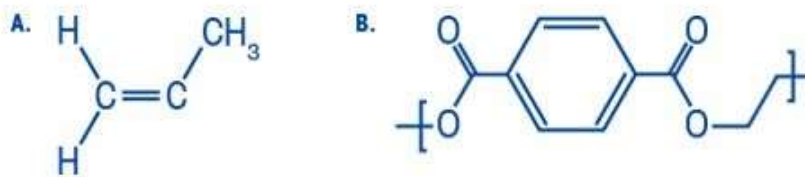


Figura 6. Reacción de Polimerización de adición (A) y condensación (B).

2.3 POLIMERIZACIÓN EN SUSPENSIÓN

También conocida como polimerización en perlas, en la cual monómero y el iniciador se dispersan en el medio de reacción que en general es agua en el cual no son solubles. El iniciador debe ser soluble en fase orgánica (tipo azo- o peróxidos). El proceso se caracteriza por un buen control térmico y la facilidad para extraer las partículas discretas del polímero. El Tamaño de partícula es difícil de controlar. La coalescencia de las gotas se evita usando pequeñas cantidades de polímeros hidrosolubles (agente de estabilización o suspensión que no forman micelas como alcohol polivinílico, gelatina, metilcelulosa. En la Figura 7 se muestra el proceso de la polimerización en suspensión.

La polimerización tiene lugar dentro de las partículas en SUSPENSIÓN, las cuales tienen tamaño medio entre 10 a 1000 nm, y donde se encuentran el monómero y el iniciador. Las gotas de monómero se convierten en partículas esféricas sólidas de polímero (termoplásticos), con diámetros de partícula entre 20 y 1000 μm (“bead polymerization”) que son poco solubles en el medio de dispersión. La agitación del sistema es un factor muy importante en esta técnica, pues según la velocidad de agitación empleada, varía el tamaño de las partículas. En esta reacción se requiere mantener el líquido en suspensión.⁴

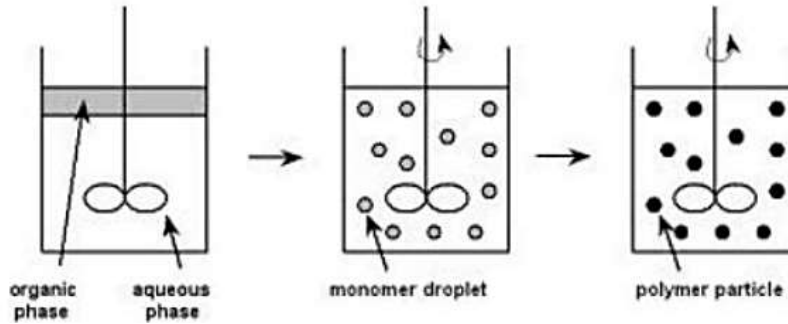


Figura 7. Polimerización en suspensión.

2.4 EXTRUSIÓN DE POLÍMEROS

En la extrusión de polímeros es un proceso industrial, en donde se realiza una acción de prensado, moldeado del plástico, que, por flujo continuo con presión y empuje, se lo hace pasar por un molde encargado de darle la forma deseada. El polímero fundido es forzado a pasar a través de un dado también llamado boquilla, por medio del empuje generado por la acción giratoria de un husillo (tornillo sinfín) que gira concéntricamente en una cámara a temperaturas controladas llamada cañón, con una separación milimétrica entre ambos elementos. El material polimérico es alimentado por medio de una tolva en un extremo de la máquina y debido a la acción de empuje se funde, fluye y mezcla en el cañón y se obtiene por el otro lado con un perfil geométrico preestablecido. En la figura 8 se muestra el esquema de una extrusora.⁵

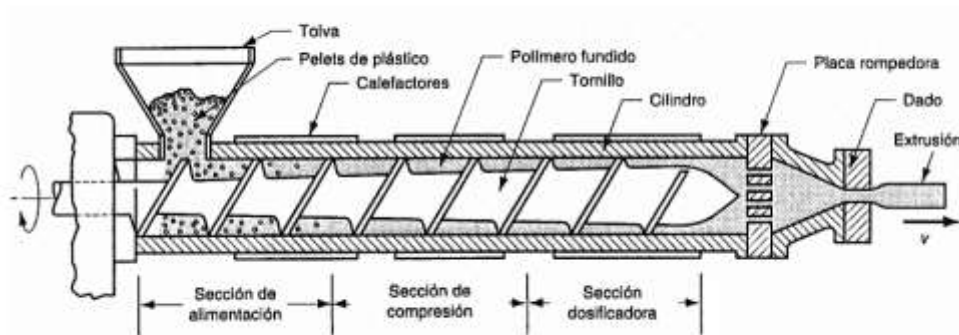
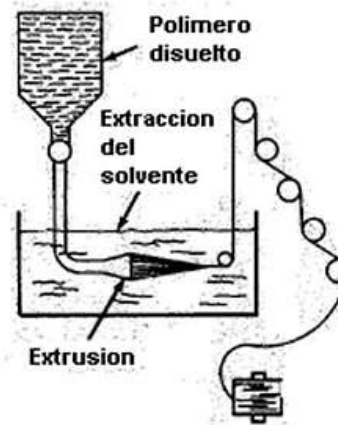


Figura 8. Esquema de una extrusora.

2.5 HILATURA EN HÚMEDO

La solución de hilatura procedente de las bombas de hilatura y filtros individuales es extruida a través de las hileras, las cuales están distribuidas y sumergidas en el baño de coagulación por debajo del nivel del líquido. La solución de hilatura contiene del 10 al 30 % de polímero y el baño de coagulación consiste en una disolución del disolvente de hilatura y su temperatura depende de la naturaleza o tipo de disolvente y oscila entre -5 y 450C. 3 A la salida del baño, los cables pasan por una serie de guías comunes después de ser acompañados por los rodillos guía medio sumergido. Las variables más importantes de un proceso de hilatura en húmedo corresponden al disolvente y coagulante elegidos, y a las condiciones en que tiene lugar la coagulación. Para facilitar la recuperación del disolvente, el baño de coagulación suele consistir en una solución acuosa del mismo disolvente empleado para preparar él dope. Entre los productos utilizados se pueden citar los siguientes: agua, alcoholes, soluciones acuosas salinas, kerosene, xilenos. En la Figura 9, se muestra el proceso a desarrollar de la hilatura en húmedo.^{5, 6}

- Hilatura en húmedo
 - Viscosa
 - Acrílico



Hilatura humeda

Figura 9. Proceso de Hilatura en Húmedo.

2.6 POLIACRILONITRILO

El poliacrilonitrilo (PAN) es una resina polimérica sintética, semicristalina, con la fórmula lineal (C₃H₃N) Aunque es termoplástico, no se funde en condiciones normales. Se degrada antes de la fusión. Casi todas las resinas de poliacrilonitrilo son copolímeros

fabricados a partir de mezclas de monómeros con acrilonitrilo como componente principal. Es un polímero versátil utilizado para producir gran variedad de productos incluyendo membranas de ultra filtración, fibras huecas para ósmosis inversa, fibras para textiles. Las fibras del PAN son el precursor químico de la fibra de carbono de alta calidad. El poliacrilonitrilo (PAN) por sí solo no presenta muchas aplicaciones, pero si se emplea para sintetizar otro polímero, la fibra de carbono, y también interviene en la fabricación de otros copolímeros. 8 El PAN no tiene ninguna de las propiedades peligrosas del monómero, el cual es toxico y carcinógeno. Debido a la formación de fuertes enlaces químicos entre los grupos de nitrilo (CN), las moléculas de polímero resisten la mayoría de los solventes orgánicos y no se funden sin descomponerse. En la mayoría de los casos, el polímero se disuelve en solventes especiales y se hila en fibras acrílicas, que se definen como fibras que contienen 85 por ciento o más de PAN. Debido a que el PAN es difícil de disolver y es altamente resistente a la tintura, se produce muy poca fibra que contenga solo PAN. En la figura 10 se muestra la estructura química del poliacrilonitrilo.⁷

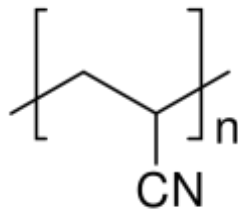


Figura 10. Estructura Química del Poliacrilonitrilo

2.7 CARACTERIZACIÓN POR GRAVIMETRÍA

Los parámetros de injercción típicos como el porcentaje de rendimiento de injercción (%G) y porcentaje de eficiencia de injercción (%E) fueron determinados por medio de una caracterización por gravimetría y empleando las siguientes ecuaciones reportadas en la literatura:⁸

$$\%G = \frac{W_S - W_{Ad}}{W_{Ad}} \times 100 \quad (1)$$

$$\%E = \frac{W_S - W_{Ad}}{W_{PT} - W_{Ad}} \times 100 \quad (2)$$

donde W_{PT} es el peso (g) del copolímero injertado bruto, W_{Ad} es el peso inicial (g) del aditivo empleado en la síntesis y W_S es el peso (g) del copolímero injertado puro, respectivamente.

2.8 ARREGLOS ORTOGONALES DE TAGUCHI

Un diseño de Taguchi es un experimento diseñado que permite elegir un producto o proceso que funciona con mayor consistencia en el entorno operativo. Los diseños de Taguchi reconocen que no todos los factores que causan variabilidad pueden ser controlados. Estos factores que no se pueden controlar se denominan factores de ruido. Los diseños de Taguchi intentan identificar factores controlables (factores de control) que minimicen el efecto de los factores de ruido. Durante el experimento, usted manipula los factores de ruido para hacer que haya variabilidad y luego determina la configuración óptima de los factores de control para que el proceso o producto sea robusto o resistente ante la variación causada por los factores de ruido. Un proceso diseñado con esta meta producirá una salida más consistente. Un producto diseñado con esta meta tendrá un rendimiento más consistente, independientemente del entorno en el que se utilice.⁹

Los métodos de Taguchi son técnicas estadísticas para realizar experimentos que pueden determinar las mejores combinaciones de variables de productos y procesos para fabricar o desarrollar un producto. El método de Taguchi para el diseño de experimentos utiliza técnicas que implican bajos costos y que son aplicables a los problemas y requerimientos de la industria moderna. El propósito que se tiene en el diseño del producto es encontrar aquella combinación de factores que nos proporcione un desempeño más estable y costo de desarrollo más bajo. El método de Taguchi valora la ventaja fundamental de los arreglos ortogonales es que pueden ser aplicados al diseño experimental involucrando un gran número de factores. Es muy frecuente que a la hora de diseñar un producto tengamos múltiples variables (FACTORES) a tener en cuenta. Cada uno de estos factores toma distintos valores (NIVELES) y es necesario elegir el más conveniente, sin embargo, cuando el número de factores y de niveles es elevado, el número de combinaciones posibles es elevado y el número de experimentos a realizar sería muy costoso. En general, para un arreglo a dos niveles, el número de columnas

(efectos o factores) que se pueden analizar, es igual al número de renglones más uno. El método de Taguchi ha desarrollado una serie de arreglos para experimentos con factores a dos niveles, los más utilizados y difundidos según el número de factores a analizar son relacionados en la Tabla 1.¹⁰

Tabla 1. Serie de arreglos para experimentos con factores a 2 niveles.

No. de factores	Arreglo a utilizar	No. de condiciones a probar
Entre 1 y 3	L4	4
Entre 4 y 7	L8	8
Entre 8 y 11	L12	12
Entre 12 y 15	L16	16
Entre 16 y 31	L32	32
Entre 32 y 63	L64	64

Las columnas de los arreglos son balanceadas y ortogonales. Esto significa que, en cada par de columnas, todas las combinaciones de factores ocurren el mismo número de veces. Los diseños ortogonales permiten estimar el efecto de cada factor sobre la respuesta independientemente del resto de los factores.¹¹

La notación L(corridas) (niveles ^ factores) indica lo siguiente:

- L(corridas) = número de corridas
- (niveles ^ factores) = número de niveles para cada factor ^ número de factores

Por ejemplo, un diseño L8 tiene 8 corridas. (2^3) o (2^3) significa 3 factores en 2 niveles. Si su notación es L(corridas) (número ^ exponente número ^ exponente), usted tiene un diseño de niveles combinados. Por ejemplo, un L18 $(2^1 3^7)$ significa que el diseño tiene 18 corridas, 1 factor con 2 niveles y 7 factores con 3 niveles.

En la Tabla 2 se presenta un arreglo L8 (2^4) , (4^1) que significa que el diseño tiene 8 corridas, 4 factores con 2 niveles y 1 factor con 4 niveles.

Tabla 2. Arreglo L8(2⁴), (4¹).

Corrida	1	2	3	4	5
1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2
3	2	1	1	2	2
4	2	2	2	1	1
5	3	1	2	1	2
6	3	2	1	2	1
7	4	1	2	2	1
8	4	2	1	1	2

III. DESARROLLO

3.1 PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

A continuación, se describe la metodología empleada en el desarrollo del presente proyecto. Se desarrollaron tres protocolos de experimentación para la polimerización:

1. En la primera prueba de experimentación se desarrollaron copolímeros con acrilonitrilo (AN), empleando persulfato de amonio (PA) y bisulfito de sodio (BS) como iniciadores.
2. En la segunda prueba de experimentación se desarrollaron copolímeros con acrilonitrilo (AN), ácido acético (AcOH), Chitosan (QT), nitrato de amonio (IV) sustituyendo al (PA-BS) como iniciadores.
3. En la tercera prueba de experimentación se desarrollaron copolímeros con almidón (ALM), acrilonitrilo (AN), acetato de vinilo (AV) empleando persulfato de amonio (PA) y bisulfito de sodio (BS) como iniciadores, los reactivos e iniciadores se emplearon tal como se recibieron sin ninguna ayuda adicional.

El agua destilada (H₂O) se empleó como solvente para las reacciones de polimerización, así como para la remoción de residuos en el matraz de tres bocas.

Comparando las tres pruebas de experimentación, la más factible para el desarrollo de polimerización fue la prueba tres ya que su reacción fue más factible a las dos anteriores.

3.1.1 Síntesis de polímeros

Bajo el desarrollo de polimerización se desarrollaron copolímeros de almidón (ALM) con acrilonitrilo (AN) y acetato de vinilo (AV) empleando persulfato de amonio (PA) y bisulfito de sodio (BS) como iniciadores, la polimerización se llevó a cabo con parámetros de condiciones y porcentajes en peso. Se estudió el comportamiento de la reacción de polimerización. En todas las pruebas realizadas la cantidad requerida de H₂O dependió de la cantidad total de reactivo con una relación 1:8. Es decir todas las reacciones de polimerización se llevaron a cabo en un matraz de tres bocas redondo de

1000 ml equipado con un sistema de agitación automatizada y un controlador de temperatura. En la figura 11 se presenta el sistema de polimerización.

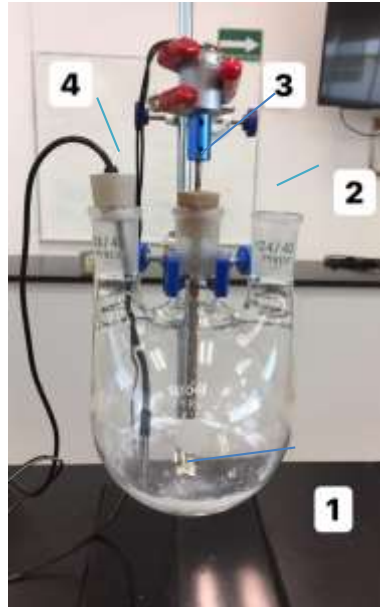


Figura 11. Sistema de polimerización: (1) reactor, (2) alimentación, (3) agitador (4) control de temperatura.

La concentración de almidón(ALM) señalada se agregó a un vaso de precipitado y se precalentó a una temperatura de $50\pm 5^{\circ}\text{C}$. La cantidad de solución se agregó al reactor y se precalentó a una temperatura de 50°C , al llegar a la temperatura deseada se agrega la concentración de almidón (ALM), posteriormente se adicionaron los iniciadores de acrilonitrilo (AN) y acetato de vinilo (AV) determinadas anticipadamente. El PH de la reacción se ajustó a 3.0 empleando H_2SO_4 , se toma tiempo a los 2 min se le agrega Persulfato de amonio(PA) y a los 4 min se agrega Bisulfito de sodio (BS). La reacción fue agitada a 110 rpm a $50\pm 5^{\circ}\text{C}$ durante (120 min – 300min). Al cumplir el tiempo de reacción se filtra con la ayuda de papel filtro, un vaso de precipitado y un embudo de KIMAX 58.

Finalmente, el residuo fue secado en la estufa Binder a una temperatura de 40°C durante 48 hrs, después de las 48 hrs de secado se tritura manualmente para obtener un polvo fino.

3.1.2 Extrusión de polímeros

Para la extrusión de polímeros se coloca una solución 10 ml de Dimetilformamida (DMF) en un vaso de precipitado a una temperatura de 50°C con agitación 110 rpm, se adiciona 1.50g de polímero pulverizado durante (120 min) hasta que tome un color ámbar. Al cumplir el tiempo de reacción se coloca en una jeringa de 5ml, y en un vaso de precipitado de 600ml con agua, (figura 14) se introduce la jeringa y se hace presión para que poco a poco las fibras vayan saliendo.

Finalmente, las fibras son secadas en la estufa Binder a una temperatura de 40°C durante 48 hrs.



Figura 12. Filamentos de polimerización.

3.1.3 Ecuaciones de gravimetría

Se emplearon las siguientes ecuaciones 1 y 2 (sección 2.7) para determinar el porcentaje de injercción (%G) y el porcentaje de eficiencia (%E) de cada reacción.

3.1.4 Diseño experimental ortogonal de TAGUCHI

Se seleccionó un arreglo ortogonal de Taguchi L8(2⁴), (4¹) para llevar a cabo el diseño experimental del proceso de síntesis contemplado y conforme la Tabla 2.

En la Tabla 3, se muestra el arreglo definido de las condiciones de operación de las 8 corridas contempladas.

Para facilitar el desarrollo del diseño experimental, se mantuvieron constantes las siguientes variables de operación:

- Agitación constante a 100 rpm.
- % Almidón constante = 5.0 %.
- Temperatura de reacción constante = 55 ± 3 °C.
- Relación reactivos: medio de solución (agua como solvente) 1:8.

Tabla 3. Factores y niveles experimentales empleadas en un arreglo L8(2⁴),(4¹).

Corrida	Tiempo de reacción (h)	Cantidad de reactivos (g) medio de solución (agua como solvente) (mL)	Relación reactivos:BS	Relación reactivos:PA	% Acrilonitrilo
1	2	10	0.045	0.006	80
2	2	15	0.0675	0.009	85
3	3	10	0.045	0.009	85
4	3	15	0.0675	0.006	80
5	4	10	0.0675	0.006	85
6	4	15	0.045	0.009	80
7	5	10	0.0675	0.009	80
8	5	15	0.045	0.006	85

Para el proceso de extrusión no se aplicó ningún diseño experimental de Taguchi. Simplemente de cada corrida de síntesis se toma una muestra de transforma en fibra polimérica.

3.2 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Actividades	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio	
	1-15	16-31	1-15	16-28	1-15	16-31	1-15	16-30	1-15	16-31	1-15	16-30
Revisión bibliográfica												
Determinación de diseño experimental												
Pruebas experimentales												
Análisis estadístico												
Asesorías												
Evaluación y seguimiento de asesorías												
Evaluación de reporte												
Informe semestral												
Elaboración reporte técnico (productos entregables)												

Figura 13. Cronograma de actividades general.

IV. RESULTADOS

4.1 SÍNTESIS DE POLÍMEROS

Como se describió en la sección anterior, en este apartado se muestran los resultados de polimerización de las corridas realizadas, y así se observaron diferentes cambios por la diferencia tipos de tiempo (120, 180, 240 y 300 min).

Las observaciones fueron, en las corridas de 120 min y 180 min la consistencia fue más espesa, mientras que en las corridas de 240 min y 300 min su consistencia fue más líquida. La temperatura fue en un rango de $50 \pm 5^\circ\text{C}$ pudimos observar que esta no se disparaba, sino que tenía periodos de constancia obteniendo diferentes cantidades de datos según el tiempo de la corrida.

En la corrida 1 y 2 el tiempo fue de 120 min y obtuvimos 267 datos de temperatura.

En la corrida 3 y 4 el tiempo fue de 180 min y obtuvimos 609 datos de temperatura.

En la corrida 5 y 6 el tiempo fue de 240 min y obtuvimos 920 datos de temperatura.

En la corrida 7 y 8 el tiempo fue de 300 min y obtuvimos 1,157 datos de temperatura.

En la figura 14 se presenta el resultado de la reacción.



Figura 14. Resultados de las corridas.

4.2 EXTRUSIÓN DE POLÍMEROS

Para esta sección se tuvo que precalentar en un vaso de precipitado 10 ml de Dimetilformamida con 1.5 gr de polímero a una temperatura de 50°C hasta que tome un color ámbar. Para así poder verter el líquido a la jeringa de 5ml y poder proceder a realizar los filamentos. Una vez ya terminados los filamentos se pesan húmedos y se ponen a secar en la estufa Binder a 40°C para después volver a tomar su peso y saber su peso final. En las Figuras 15 a la 22 se presentan los resultados de la solución para la formación de filamentos. En las Figuras 23 a la 30 se presentan vistas de las fibras obtenidas, con su peso húmedo y seco.



Figura 15. solución 1.



Figura 16. Solución 2.



Figura 17. solución 3.



Figura 18. Solución 4.



Figura 19. solución 5.



Figura 20. Solución 6.

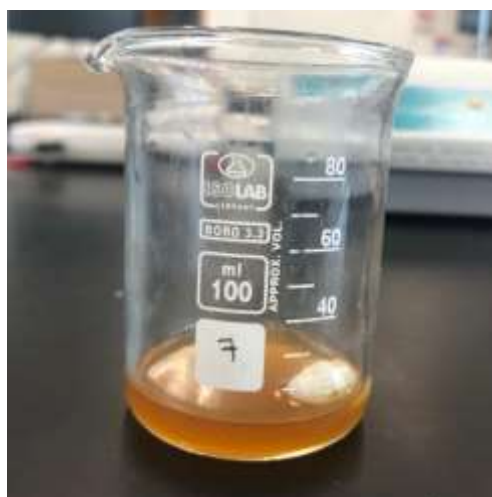


Figura 21. solución 7.



Figura 22. Solución 8.

Como pueden observar cada solución tomo un color ámbar diferente ya que dependió del tiempo de reacción de cada polímero.



Figura 23. Fibra 1 (Húmeda/Seca).



Figura 24. Fibra 2 (Húmeda/Seca).



Figura 25. Fibra 3 (Húmeda/Seca).



Figura 26. Fibra 4 (Húmeda/Seca).



Figura 27. Fibra 5 (Húmeda/Seca).



Figura 28. Fibra 6 (Húmeda/Seca).



Figura 29. Fibra 7 (Húmeda/Seca).



Figura 30. Fibra 8 (Húmeda).

En este apartado podemos observar las vistas de las fibras después de 48 hrs de secado a través de la microscopia óptica y pudimos observar que las fibras tienen una vista diferente ya que tienen porosidad, grumos y algunas con un color ámbar más fuerte que el normal. Se muestran de la Figura 31 a la 37 a través de la microscopia óptica con un aumento de 3x.



Figura 31. Fibra 1 (microscopia óptica).

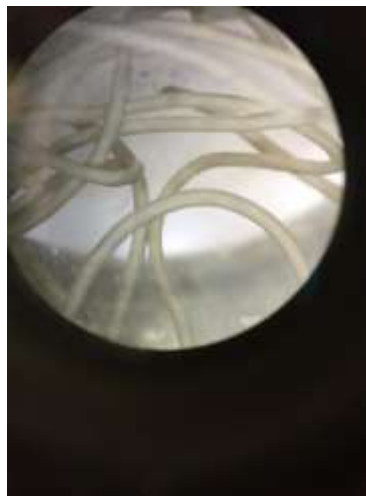


Figura 32. Fibra 2 (microscopia óptica).



Figura 33. *Fibra 3* (microscopia óptica).



Figura 34. *Fibra 4* (microscopia óptica).



Figura 35. *Fibra 5* (microscopia óptica).



Figura 36. *Fibra 6* (microscopia óptica).

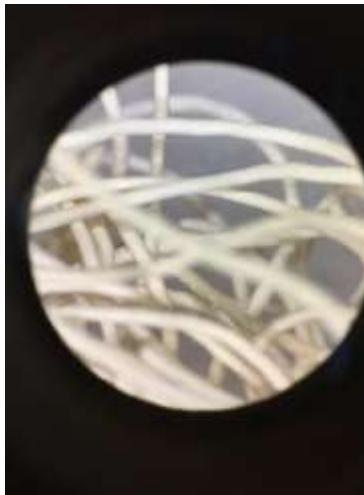


Figura 37. *Fibra 7* (microscopia óptica).

4.3 PRUEBAS DE GRAVIMETRÍA

Como se describió en la sección anterior, en este apartado se muestran los resultados de las corridas realizadas, ya que podemos observar que cada corrida obtuvo diferencia de peso al realizar la trituración, esto se debe a que hubo pérdida durante el secado y la trituración.

En la Tabla 4 se muestra las pérdidas en gramos de polímeros.

En las Figuras 39 a 46 se presentan vistas de los polímeros, con su peso húmedo y triturado.

Tabla 4. Tabla de pérdidas de polímero seco a triturado.

Corrida	Gramos en polímero seco	Gramos en polímero triturado	Perdida.
1	5.30	5.22	0.08
2	13.88	13.53	0.35
3	6.17	6.08	0.09
4	8.26	8.17	0.09
5	6.79	6.80	-0.01(humedad)
6	11	10.90	0.10
7	6.84	6.73	0.11
8	10.67	10.62	0.01



Figura 38. Corrida 1.



Figura 39. Corrida 2.



Figura 40. Corrida 3.



Figura 41|. Corrida 4.



Figura 42. Corrida 5.



Figura 43. Corrida 6.



Figura 44. Corrida 7.



Figura 45. Corrida 8.

V. CONCLUSIONES

La aplicación de las estrategias académicas seleccionadas en conjunto con las actividades relacionadas con el presente proyecto permitió alcanzar los objetivos planteados.

Se logró la síntesis de polímeros y a partir de ellos su extrusión en fibras poliméricas. Así mismo se sientan las bases para demás trabajo futuro para un tema de Tesis.

Se logró definir y aplicar un diseño experimental ortogonal que permiten validar que los resultados obtenidos son coherentes entre sí.

El proyecto de residencia me permitió validar los conceptos teóricos y prácticos aprendidos durante mi estadía como estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial en proyectos de investigación de ciencia aplicada que simulan situaciones reales dentro de los sectores económicos.

Para llevar a cabo este proyecto se pusieron en práctica los conocimientos y habilidades a lo largo de la carrera, diseño de procesos, investigación de operaciones, experimentación, análisis estadístico, entre otras materias importantes. También se aplicó la investigación y redacción, ya que, al ser un proyecto de esta índole, se necesitan las herramientas básicas para tener un proyecto de calidad, eficiente y eficaz a su vez.

En particular aprendí a adaptarme a trabajos por objetivos. Además de siempre buscar la solución más factible mediante la aplicación de un método analítico y científico para eliminar los problemas desde raíz.

Mi tiempo de residencia profesional interactuando con temas de ciencia aplicada, investigación e innovación tecnológica fue una de las mejores experiencias profesionales que he vivido y donde aprendí lo importante que es llegar a establecer soluciones viables y resolver el problema raíz de la manera más factible.

VI. COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS

1. Aplique metodologías de la Ingeniería Industrial con base en las necesidades del proyecto de investigación de estudio para incrementar sus diversos indicadores de operación.
2. Aplique métodos cuantitativos y cualitativos en el análisis e interpretación de datos e información para diseñar y construir la metodología de operación requerida.
3. Implementé métodos innovadores de solución de problemas de ciencia, los cuales pueden ser replicados a escala industrial.
4. Gestioné la generación del conocimiento específico para evidenciar la capacidad de acción de la Ingeniería Industrial, ejerciendo un liderazgo estratégico y un compromiso ético.
5. Coadyuve a cumplir los retos de la institución en torno al fomento de proyectos de investigación.
7. Utilice las nuevas tecnologías de información y comunicación de la institución, para el estado del arte del proyecto y contar con información actualizada para la mejora de los procesos de estudio y la operación del equipo del proyecto.
8. Promoví el desarrollo de la ciencia e investigación, con el fortalecimiento de las líneas de investigación de la institución.
9. Aplique métodos de investigación para desarrollar e innovar sistemas y/o procesos industriales.
10. Actúe como agente de cambio para facilitar la mejora continua en los procesos de aprendizaje de la carrera de Ingeniería Industrial de la institución.
11. Aplique métodos, técnicas y herramientas para la solución de problemas presentados durante la fase de ejecución del proyecto.

VII. FUENTES DE INFORMACIÓN

- (1) Steinbüchel A., Polyhydroxyalkanoic acids, en: D. Byrom (ed.), Biomaterials: novel materials from biological sources. Stockton, New York, 1991.
- (2) Sonja Krause, Polymer-polymer miscibility, Pure & Appl. Chem., 1986, Vol. 58, No. 12, pp. 1553—1 560.
- (3) Kenson Ambrose, Jennifer N. Murphy, Christopher M. Kozak, “Chromium Amino-bis(phenolate) Complexes as Catalysts for Ring-Opening Polymerization of Cyclohexene Oxide”, Macromolecules 2019, 52, 19, 7403-7412.
- (4) Janssen, L.P.B.M. 1978. Twin Screw Extrusion. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Co.
- (5) Arridge, R.G.C. (1975), Mechanics of Polymers, Clarendon Press, Oxford.
- (6) JANICES, Amaia Butrón; KATIME, Issa. Cinética de polimerización de sistemas bicomponentes. En: Revista Iberoamericana de Polímeros, Vol. 15, No 6 (nov, 2014), p. 346-375
- (7) FIBRAS DE CARBON SINTETIZADAS DESDE FIBRAS DE POLIACRINOLITRILO (PAN). (s.f). Zolotucho H. y Gonzalez O.C, Bariloch, Argentina.
- (8) Dena-Aguilar, J. A. (2011). Síntesis de un copolímero biodegradable para la remoción de iones de Pb^{2+} , Cd^{2+} y Zn^{2+} en soluciones acuosas (Tesis de Doctorado). Universidad Autónoma de Aguascalientes, Aguascalientes, México.
- (9) Minitab.com. (2019). Diseños de Taguchi. Recuperado de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/doe/supporting-topics/taguchi-designs/taguchi-designs/>
- (10) Pentón-Saucedo, A. E. & d.-Castillo-Serpa, A. (2012). Aplicación de la Tabla Ortogonal en el diseño de los casos de prueba de Software. *Revista Avanzada Científica*, 15(2), p12.
- (11) Minitab.com. (2019). Catálogo de diseños de Taguchi. Recuperado de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/doe/supporting-topics/taguchi-designs/catalogue-of-taguchi-designs/>

ANEXO 1

Carta de aceptación por parte de la empresa para la residencia profesional



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga
Maestría en Ciencias en Ingeniería Electrónica

Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, 11/enero/2021

No. de Oficio: SDA/MCIMC-019/2021

Asunto: Carta de aceptación de Residencias Profesionales

MA. MAGDALENA CUEVAS MARTÍNEZ
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA Y VINCULACIÓN
PRESENTE

Por medio del presente se notifica que la **C. MICHELL ALEJANDRA SALAS VÁZQUEZ**, estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial, con número de control 151050286, ha sido aceptada para realizar en esta Institución su proyecto de Residencia Profesional denominado **"Aplicación y desarrollo de diseños estadísticos experimentales para conocer la correlación de variables en el proceso de fabricación de un polímero que contiene poliacrilonitrilo de aplicación textil a nivel laboratorio"** durante el periodo de enero-junio 2021, cubriendo un total de 500 horas en un horario de 10:00 a 17:00 horas de lunes a viernes, bajo la supervisión de los docentes Alejandro Puga Vargas (asesor externo) y José Alonso Dena Aguilar (asesor interno). El proyecto será realizado en el Laboratorio de Conversión de la Energía del área de Posgrado de nuestro plantel.

Sin otro particular por el momento, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica
"Tercer Siempre Faltó"

EDGAR ZACARÍAS MORENO
SUBDIRECTOR ACADÉMICO



ccp. Archivo

EZM/jada



Carretera a la Estación de Rinconón 1, C.P.
20670

Pabellón de Arteaga, Aguascalientes
Tel. (465) 958-2482 y 958-2730, Ext. 44
e-mail: acad_parteaga@tecmm.mx
tecmm.mx | pabellon.tecmm.mx



ANEXO 2

Carta de terminación por parte de la empresa para la residencia profesional



Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga
Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica

Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, 4/ Junio/2021
No. de Oficio: SDA/MCIMC-024/2021
Asunto: Carta de conclusión de Residencias Profesionales

MA. MAGDALENA CUEVAS MARTÍNEZ
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA Y VINCULACIÓN
PRESENTE

Por medio del presente se notifica que la **C. MICHELL ALEJANDRA SALAS VÁZQUEZ**, estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial, con número de control 151050286, concluyo satisfactoriamente en esta institución su proyecto de Residencia Profesional denominado **"Aplicación de diseños experimentales en el proceso de fabricación a nivel laboratorio de un polímero de aplicación textil que contiene poliacrilonitrilo"** durante el periodo de enero-junio 2021, cubriendo un total de 500 horas en un horario de 10:00 a 17:00 horas de lunes a viernes, bajo la supervisión de los docentes Alejandro Puga Vargas (asesor externo) y José Alonso Dena Aguilar (asesor interno). El proyecto fue realizado en el Laboratorio de Conversión de la Energía del área de Posgrado de nuestro plantel.

Sin otro particular por el momento, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
Excellencia en Educación Tecnológica
"Semper Parati"

EDGAR ZACARÍAS MORENO
SUBDIRECTOR ACADÉMICO



ccp. Archivo
EZM/jada



Carretera a la Estación de Rincón Km 1, C.P.
20670
Pabellón de Arteaga, Aguascalientes
Tel. (469) 958-2482 y 958-2730, Ext. xx
e-mail: acad_pa@tecm.mx
tecm.mx | pabellon.tecm.mx

