



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA FÍSICA

**SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE FIBRAS POLIMÉRICAS
DE POLI (METACRILATO DE METILO) MEDIANTE ROTARY
JET SPINNING, CON UNA POROSIDAD ENTRE 60 A 400 NM**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

FÍSICO

AUTOR: ANTONIO MIGUEL CASTILLO COFRE

DIRECTOR: Biof. MARÍA FERNANDA HEREDIA MOYANO MSc.

Riobamba – Ecuador

2022

©2022, Antonio Miguel Castillo Cofre

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, ANTONIO MIGUEL CASTILLO COFRE, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.




Riobamba, 20 de mayo de 2022

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Antonio Miguel Castillo Cofre', is centered on a light blue rectangular background.

Antonio Miguel Castillo Cofre
172728807-6

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA FÍSICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular, Tipo: Proyecto de Investigación, **SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE FIBRAS POLIMÉRICAS DE POLI (METACRILATO DE METILO) MEDIANTE ROTARY JET SPINNING, CON UNA POROSIDAD ENTRE 60 A 400 NM**, realizado por el señor **ANTONIO MIGUEL CASTILLO COFRE** ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Mat. Luis Marcelo Cortez Bonilla, Mgs. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-05-20
Biof. María Fernanda Heredia Moyano, MSc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-05-20
Lic. Alexander Alfredo Morocho Amboya, MSc. MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-05-20

DEDICATORIA

El presente Trabajo de Integración Curricular realizado con arduo esfuerzo y sacrificio, dedico en primera instancia a Dios, en segundo lugar, a mi abuelita y segunda madre María Manuela Cando Cáceres, por ser quien desde un principio me motivó a salir adelante a pesar de las dificultades y aunque ahora ya no se encuentre conmigo, sé que desde algún lugar estará orgullosa de mí. Finalmente, a mi familia, Antonio Castillo, Anabela Cofre, Ana María Castillo, Juan Diego Castillo, Andrés Mateo Castillo y Luis Cofre, por ser el pilar y fortaleza en toda mi vida estudiantil.

Antonio

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por esta meta cumplida que debido a sus planes ahora soy un profesional, también a mi abuelita y segunda madre María Manuela Cando Cáceres la cual con sus últimos esfuerzos supo darme el mejor de los ejemplos para ser un hombre de bien, de igual manera a mi familia Antonio Castillo, Anabela Cofre, Ana María Castillo, Juan Diego Castillo, Andrés Mateo Castillo y Luis Cofre, quienes a pesar de la distancia estuvieron conmigo dándome apoyo en todo momento, con el ejemplo y la unión me brindaron el mejor de los ánimos a lo largo de mi vida estudiantil, de igual manera a mi familia de Riobamba, Diego Castillo, Rosa Castillo, Lorena Castillo, Jacobo Castillo por su apoyo incondicional y su compañía como familia en todo este trayecto, y en especial quiero agradecer a mi abuelito Jacobo Antonio Castillo Arguello por brindarme la acogida necesaria para lograr este objetivo, quiero agradecer también a mi enamorada Joselin Guananga por su apoyo incondicional, sus consejos y compañía lo cual fue muy importante para poder llegar a la meta. Y para finalizar quiero agradecer a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por abrirme las puertas e iluminarme con su camino no solo en la parte académica, sino más bien, en la parte humana y enseñándome a ser mejor persona para mi futuro.

Antonio

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	x
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xi
RESUMEN.....	xii
SUMMARY.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO.....	5
1.1. Nanofibras Poliméricas.....	5
1.1.1. <i>PMMA (polimetilmetacrilato o metacrilato de metilo)</i>	6
1.1.2. <i>Difluoruro de polivinilideno (PVDF)</i>	6
1.2. Rotary Jet Spinning.....	6
1.3. Proceso del electrospinning.....	7
1.4. Electrospinning Coaxial.....	7
1.5. Microscopía electrónica de barrido (SEM).....	8
1.6. Electrospinning vs Rotary Jet Spinning.....	9
1.7. Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR).....	11

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO.....	12
2.1. Materiales utilizados para el desarrollo del método de creación de fibras.....	12
2.1.1. <i>Amoladora</i>	12
2.1.2. <i>Agujas Hipodérmicas</i>	13
2.1.3. <i>PMMA</i>	13
2.1.4. <i>Agitador Magnético con calentamiento</i>	14
2.1.5. <i>Sorbona o campana de extracción</i>	14
2.2. Proceso de Sintetización del polímero (PMMA+DCM).....	15
2.3. Proceso de Sintetización del polímero (PMMA+2-propanol+agua destilada).....	15
2.4. Hipótesis e identificación de las variables.....	16
2.4.1. <i>Hipótesis</i>	16

2.4.2. <i>Demostración de la Hipótesis</i>	16
2.4.3. <i>Identificación de las variables</i>	16
2.5. Tipo y diseño de la investigación	16
2.5.1. <i>Tipo de investigación</i>	16
2.5.2. <i>Diseño de la investigación</i>	17

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	18
3.1. Resultados de la caracterización de PMMA+DCM	18
3.1.1. <i>FTIR DE PMMA + DCM</i>	18
3.1.2. <i>SEM de PMMA+DCM</i>	20
3.2. Resultados de la caracterización de PMMA+2-propanol+agua destilada	23
3.2.1. <i>FTIR de PMMA+2-propanol+agua destilada</i>	23
3.2.2. <i>SEM de PMMA+2-propanol+agua destilada</i>	25
3.3. Comparación de resultados con investigaciones publicadas	27

CONCLUSIONES.....	30
-------------------	----

RECOMENDACIONES.....	31
----------------------	----

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Nanofibras poliméricas.....	5
Figura 2-1: Representación esquemática del RJS.....	6
Figura 3-1: Ensamble del Sistema del Electrospinning.	7
Figura 4-1: Electrospinning Coaxial.	8
Figura 5-1: Espectroscopía electrónica de barrido de una mascarilla procesada de nivel 5.....	9
Figura 6-1: SEM, variación de la morfología de las fibras.....	10
Figura 7-1: Diámetro de fibra Electrospinning (Arriba), RJS (Abajo).	10
Figura 8-2: Amoladora utilizada para el giro.	12
Figura 9-2: Agujas Hipodérmicas	13
Figura 10-2: PMMA	13
Figura 11-2: Agitador Magnético.....	14
Figura 12-2: Campana de extracción	15
Figura 13-3: FTIR de PMMA+DCM.....	18
Figura 14-3: SEM de PMMA+DCM a x550.....	20
Figura 15-3: SEM de PMMA+DCM a x1.200.....	21
Figura 16-3: SEM de PMMA+DCM a x2.000.....	21
Figura 17-3: SEM de PMMA+DCM a x6.500.....	22
Figura 18-3: FTIR de PMMA+2-propanol+agua destilada	23
Figura 19-3: SEM de PMMA+2-propanol+agua destilada a x200.....	25
Figura 20-3: SEM de PMMA+2-prpanol+agua destilada a x700.....	26
Figura 21-3: SEM de PMMA+2-propanol+agua destilada a x1.200.....	26
Figura 22-3: Imagen SEM de fibras de PMMA con 1.5% en peso de 2-propanol y agua.	28
Figura 23-3: SEM de gránulos de PA6	29

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-3: Tabla de medidas SEM de PMMA+DCM (largo-length)	22
Tabla 2-3: Tabla de medidas SEM de PMMA+2-propanol+agua destilada (largo-length)	27

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: MEDICIÓN DE LAS FIBRAS CON IMAGEJ DE LA PRIMERA MUESTRA

ANEXO B: MEDICIÓN DE LAS FIBRAS CON IMAGEJ DE LA SEGUNDA MUESTRA

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ESPOCH: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

PMMA: Poli (Metacrilato de Metilo)

DCM: Diclorometano

SEM: Microscopía electrónica de barrido

FTIR: Espectroscopia de transmisión de infrarrojo con transformada de Fourier

PVDF: Fluoruro de polivinilideno

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue determinar si la técnica conocida como Rotary Jet Spinning es viable al momento de crear fibras a base de polímeros; para lo cual se realizó una correcta sintetización y caracterización de la fibra obtenida arrojando resultados muy favorables, al momento de mezclar el PMMA (Metacrilato de Metilo) con el diclorometano en la primera muestra, se colocó en agitación magnética a 60 grados Celsius durante 24 horas, esto sirvió para que se obtenga un material viscoso, el cual permitió poder ingresar en el Rotary creando así la fibra, también se realizó la segunda prueba con el PMMA, 2-propanol y el agua oxigenada dejando en agitación magnética durante 24 horas a 60 grados Celsius, este material también fue satisfactorio y se colocó de manera correcta en el Rotary, dando paso a la obtención de la fibra necesaria; estas se sometieron a dos diferentes tipos de caracterización con las cuales mediante el software ImageJ se determinó la porosidad y longitud de las fibras obteniendo de manera satisfactoria con la primera muestra de PMMA y diclorometano valores que oscilan entre 200 a 800 nanómetros, de esta forma aproximándose a la porosidad buscada en el trabajo de investigación. Con la otra muestra se obtuvo una longitud que oscila entre 11000 y 27000 nanómetros, estos valores son más grandes a los requeridos, sin embargo, esto no implica que la técnica no sea viable al momento de crear fibras, pues hay que tener en cuenta los factores que intervienen al momento de realizar la parte experimental. Al trabajarse con materiales volátiles, se recomienda utilizar la mayor protección y evitar los cambios bruscos de temperatura ya que esto afecta a la muestra y a su vez a la técnica dificultando así el resultado final.

Palabras clave: <METACRILATO DE METILO>, <DICLOROMETANO>, <SINTETIZAR>, <ROTARY JET SPINNING>, <FIBRAS>, <CARACTERIZACIÓN>. <IMAGENJ (SOFTWARE)>.



1132-DBRA-UTP-2022

SUMMARY

The aim of this work was to determine whether the technique known as Rotary Jet Spinning is viable when creating polymer-based fibres; for which a correct synthesis and characterisation of the obtained fibre was carried out, giving very favourable results, at the moment of mixing the PMMA (methyl methacrylate) with the dichloromethane in the first sample, it was placed in magnetic agitation at 60 degrees Celsius for 24 hours, this served to obtain a viscous material, the second test was also carried out with PMMA, 2-propanol and hydrogen peroxide, leaving it in magnetic agitation for 24 hours at 60 degrees Celsius, this material was also satisfactory and was placed correctly in the Rotary, giving way to obtain the necessary fibre; these were subjected to 2 different types of characterisation with which, using ImageJ software, the porosity and length of the fibres were determined, obtaining satisfactorily with the first sample of PMMA and dichloromethane values ranging from 200 to 800 nanometres, thus approaching the porosity sought in the research work. With the other sample a length ranging between 11000 and 27000 nanometres was obtained, these values are larger than those required, however this does not imply that the technique is not viable when creating fibres, as it is necessary to take into account the factors involved when performing the experimental part, when working with volatile materials it is recommended to use the highest protection and avoid sudden changes in temperature as this affects the sample and in turn the technique thus hindering the final result.

keywords: <METHYL METHACRYLATE>, <DICHLOROMETHANE>, <SYNTHETISATION>, <ROTARY JET SPINNING>, <FIBRES>, <CHARACTERISATION>, <IMAGENJ (SOFTWARE)>.

A handwritten signature in blue ink, reading "Carmita Rojas". The signature is written in a cursive style with a large, sweeping initial 'C'.

Dra. Carmita Eulalia Rojas Castro. Mgs.

0602890469

1132-DBRA-UTP-2022

INTRODUCCIÓN

En los momentos de actualidad la creación de nanos materiales, fibras y nano fibras ha llevado al mundo a una conversión extrema en la realización de objetos los cuales han servido al momento de fabricar diferentes tipos de instrumentos o materiales provenientes de fibras, para lo cual existe un sinnúmero de métodos para crear estas fibras, pues bien, en este trabajo de integración curricular se implementa un método semi nuevo, el cual se basa en una hiladura de chorro a base de giros, pues en los últimos años se ha realizado publicaciones que afirman que es una forma más ágil y practica de realizar fibras a base de polímeros, pues esta técnica consiste en la sintetización de un polímero el cual al ser sometido a un giro sumamente rápido expulsa la fibra mediante agujas a un contenedor de metal lo cual es muy similar a la técnica de realización de algodón de azúcar (Rogalski, Bastiaansen y Peijs, 2017, p. 3). Pues bien, en el Capítulo I encontraremos la información necesaria sobre esta técnica al igual que los fundamentos que respaldan el trabajo de investigación lo cual nos servirá como conocimientos previos al momento de sintetizar y caracterizar las fibras, en el Capítulo II encontraremos la parte metodológica la cual consiste en la explicación de manera amplia de cómo se sintetizo el polímero antes de ser sometido a las pruebas de caracterización demostrando si se cumplen o no las hipótesis planteadas en un principio y finalmente en el Capítulo III se presentan los resultados obtenidos de los dos distintos tipos de caracterización los cuales nos ayudan a demostrar si la aplicación de la técnica es satisfactoria y si se podría aplicar para la creación de fibras poliméricas de PMMA o no en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Identificación del problema

En la actualidad la física de materiales junto con la ciencia de materiales y el estudio de bionanomateriales basados en biopolímeros, presentan nuevas opciones para emplear nuevas técnicas de síntesis y obtener fibras que dan como resultado un menor tamaño de la porosidad, el electro hilado de las fibras y el ajuste de parámetros como voltaje, temperatura, peso molecular, velocidad y tiempo en Rotary Jet Spinning, Electrospinning, Coaxial Electrospinning, entre otros, permiten fabricar fibras cuyas unidades de medidas están alrededor de los nanómetros.

Rotary Jet spinning como técnica para fabricar fibras, muestra una mayor ventaja debido a la elevada producción de fibras en menor tiempo. El objetivo de este tema de investigación es sintetizar fibras poliméricas mediante la técnica del Rotary Jet Spinning, que a su vez busca realizar comparaciones y observar que tan factible es la técnica al momento de sintetizar, utilizando un polímero en especial, poli (metacrilato de metilo), al hablar de una técnica nueva como el Rotary Jet Spinning (RJS) debemos tomar en cuenta cuál es su funcionamiento, ya que, principalmente se basa en un depósito que contiene dos perforaciones, el cual realiza giros a una velocidad sumamente alta a lo largo del eje de simetría, a consecuencia de esto se impulsa un chorro del polímero sintetizado a las perforaciones del depósito, los cuales se solidifican y se estiran formando fibras poliméricas a nano escala (Mellado et al, 2011, p. 2).

Justificación del problema

En la actualidad nuevas técnicas están siendo estudiadas para sintetizar nuevos materiales especialmente el Rotary Jet Spinning, esta técnica tiene por objetivo sintetizar diferentes tipos de fibras a base de polímeros. Este proyecto de integración tiene por finalidad sintetizar fibras a base de poli (metacrilato de metilo), lo cual permitirá realizar un filtro con una porosidad aproximadamente entre 60-400 nm, con el fin de prevenir el paso de partículas de similar medida que entren en el rango planteado, esto permitirá dar un aporte a la investigación científica al momento de realizar o crear filtros. Rotary Jet Spinning es una técnica bastante utilizada en la industrialización de polímeros ya que ofrece una alta producción a un bajo costo ofreciendo mayor cuidado al medio ambiente (Rogalski, Bastiaansen y Peijs, 2017, p. 99) lo cual, convierte al proyecto de investigación en algo viable al momento de realizarlo.

Como se comentó con anterioridad, en el presente trabajo de investigación se utilizará un polímero factible de solicitar bajo pedido, pues bien el poli (metacrilato de metilo) es un polímero muy utilizado en la industria gracias a sus propiedades, las cuales son de mucha utilidad, PMMA tiene una leve dispersión cromática, un porcentaje alto de transmitancia, dureza y estabilidad, gran estabilidad química y un excelente rendimiento al momento de ser procesado (Ma et al, 2015, p. 498). Este polímero al trabajarse con reactivos específicos puede llegar a ser tóxico y no amigable con

el medio ambiente, sin embargo, estudios demuestran que al trabajar con agua y propanol este polímero no resulta ser dañino para ninguno de los dos, todo esto varía según el uso que se le quiera dar a cada una de las sintetizaciones y caracterizaciones (Chang, Chang y Cheng, 2019, p. 2).

Antecedentes de la investigación

Según *Tebyetekerwa et al*, asegura que las unidades de construcciones básicas para distintos tipos de materiales son las fibras, sea cual sea su material, comprobando la capacidad y singularidad de las fibras como capas en mascarillas, lo cual es una herramienta muy útil al momento de combatir al COVID-19, asegura que mediante la determinación de la porosidad y el área de superficie en las fibras se puede controlar, modificar y equilibrar los poros en las distintas capas de filtraciones activas de las mascarillas, el objetivo es controlar estas propiedades mediante la síntesis de las nanofibras utilizando el electrohilado, basándose en funcionamientos de filtros activos y en la facilidad para la creación de mascarillas, obteniendo como resultado filtros con una fibra muy pequeña, esto es por debajo de 100nm los cuales aseguran ser duraderos y viables ya que promueve a la reutilización mediante métodos y protocolos de desinfección (*Tebyetekerwa et al*, 2020, p. 162).

Otro estudio realizado en el año 2021 por *Shen et al*, asegura que para la prevención y protección pública desarrollaron filtros de aire nano fibrosos electrohilados, los cuales debido al electrohilado tenían una porosidad mucho más pequeña (~300 nm), fueron comparadas con las mascarillas comerciales (quirúrgicas), para poner a prueba estas fibras se creó aerosoles para realizar pruebas de filtración que pueden llegar a compararse con el SARS-CoV-2, con el objetivo de determinar si el método utilizado rindió de manera esperada a las pruebas, como resultado obtuvieron que los filtros de aire electrohilados capturan hasta un 99.9% del aerosol, superando de manera satisfactoria a muchas mascarillas comerciales, creando una vía nueva para la filtración del aire, desarrollando filtros de aire nano fibrosos electrohilados (*Shen et al*, 2021, p. 548).

En otra investigación del año 2021, según *Armentano et al*, menciona que las mascarillas crean una barrera para los virus y bacterias dando paso a un proceso de reducción al momento de usarlas, filtrando de manera eficaz situaciones infecciosas en el aliento exhalado, aseguran que las mascarillas se desarrollan principalmente de polímeros termoplásticos, mencionan además, que el difluoruro de polivinilideno (PVDF) permite el desarrollo de una morfología mucho más suave, que permite la síntesis de nanoporos, gracias a su estructura y dimensión, actuando como un mejor filtro en las mascarillas, el objetivo que conllevó la investigación fue determinar que nanomaterial o polímero tiene la mayor eficiencia de filtración al momento de usarse, lo cual se comprueba con la siguiente expresión conocida como la prueba de eficiencia de filtración de partículas (PFE).

$$PFE(\%) = \frac{C - T}{C} * 100 \quad (1)$$

Donde C = corriente de alimentación del recuento de partículas y T = filtración de partículas (Armentano et al, 2021, p. 538).

Un estudio realizado en el 2020 por *Zhang et al*, asegura que actualmente las mascarillas comerciales son de uso rápido, limitando a varias horas y después se proceden a desechar, lo que conlleva a una escasez mundial por lo cual se realizan estos estudios de nanofibras, sin embargo las fibras ultrafinas tienen un gran acogimiento en las distintas aplicaciones de filtración de aire, ya que al tener un tamaño pequeño entre fibras y poros y tener una gran área de superficie prevén de mejor manera las filtraciones, asegura que los filtros fibrosos ultrafinos electrohilados han demostrado una gran eficiencia al momento de filtrar partículas finas de aerosoles, y como conclusión menciona que al incorporar polímeros apropiados se puede convertir en un material reutilizable combatiendo así un problema a la escasez mencionada al inicio (Zhang et al, 2020, p. 7). En el 2021 en la investigación de *Miranda, Boya y Obaldía 2021, p. 8* realizaron una síntesis de membranas poliméricas con diferente caracterización utilizando el fluoruro de polivinilideno (PVDF), el cual es un polímero termoplástico, se creó membranas de microfibras piezoeléctricas realizadas por la técnica del electrospinning, las cuales fueron sometidas a una prueba de hipótesis de los efectos de parámetros y creación de las membranas, utilizando diferentes técnicas de caracterización como: rayos X, microscopía por barrido electrónico, espectropía infrarroja por la transformada de Fourier, y la espectropía Ramman, con estos distintos tipos de caracterización concluyeron que mientras más pequeño el diámetro de las fibras mayor es la concentración de la fase (Miranda, Boya y Obaldía, 2021, p. 8).

Objetivos

Objetivo general

Sintetizar y caracterizar una fibra polimérica de poli (metacrilato de metilo) con una filtración menor entre 60 – 400 nm aproximadamente, mediante Rotary Jet Spinning (RJS).

Objetivos específicos

- Sintetizar por Rotary Jet Spinning fibras poliméricas de PMMA para implementar una nueva metodología.
- Caracterizar la estructura y tamaño de las fibras poliméricas mediante FTIR Y SEM
- Comparar los resultados con otras investigaciones experimentales ya realizadas para destacar el método de RJS.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Nanofibras Poliméricas

Llamamos nanofibra a una fibra con un rango menor a 500 nm, la cual puede ser creada mediante cualquier polímero, ahora el estudio de la tecnología de las nanofibras está relacionado completamente con una rama de la nanotecnología. Gracias a distintos estudios se puede resaltar una característica principal de las nanofibras, la cual es la disponibilidad de área superficial por unidad másica (Espinoza González, 2008, p. 196).

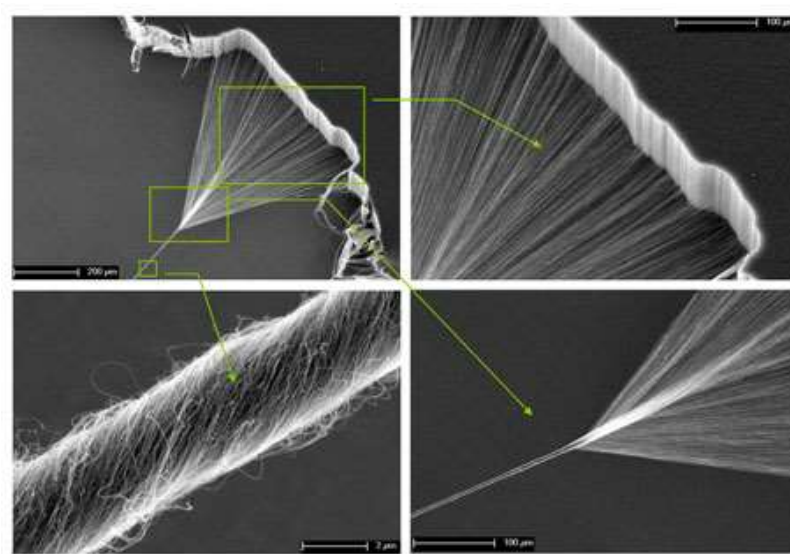


Figura 1-1: Nanofibras poliméricas

Fuente: (Estrada 2013,p. 12).

Existen diferentes técnicas para la obtención de las nanofibras, entre las cuales resaltan (Espinoza González, 2008, p. 196):

- Dibujado
- Síntesis en plantillas
- Separación de fases
- Auto-Ensamblado
- Electrohiliado

1.1.1. PMMA (*polimetilmetacrilato o metacrilato de metilo*)

Material muy utilizado en la industria gracias a sus propiedades, las cuales son de mucha utilidad, PMMA tiene una leve dispersión cromática, un porcentaje alto de transmitancia, dureza y estabilidad, gran estabilidad química y un excelente rendimiento al momento de ser procesado (Ma et al, 2015, p. 498).

1.1.2. Difluoruro de polivinilideno (PVDF)

Homopolímero que se procesa mediante fusión la cual debe ser procesada a una temperatura superior a 150° C (302° F) manejada de forma constante, PVDF contiene una excelente resistencia eléctrica, alta fuerza dieléctrica, pureza e inercia química, también son hidrófobas y se relacionan de mejor manera con la unión entre ácidos nucleicos y proteínas ofreciendo una buena retención al momento de absorber proteínas (Pierce, 2017, p. 2).

1.2. Rotary Jet Spinning

También conocido como hiladura por chorro giratorio, consiste en la fabricación de nanofibras tridimensionales completamente alineadas, su proceso reside en explotar una boquilla giratoria a una gran velocidad para dar paso a un chorro de polímeros, que se solidifican al momento de estirarse. Gracias a este proceso es posible modificar su morfología, porosidad y diámetro de la fibra siempre y cuando varíe la velocidad de rotación, las propiedades de los polímeros y la geometría de la boquilla (Keservani, Sharma y Kesharwani, 2020, p. 628).

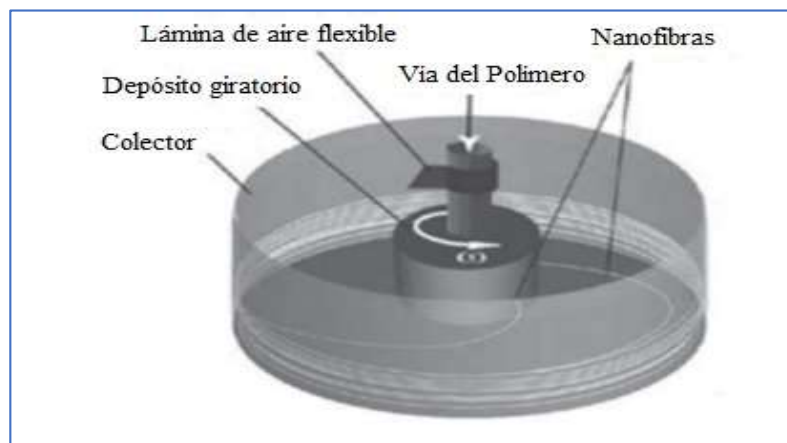


Figura 2-1: Representación esquemática del RJS.

Fuente: (Keservani, Sharma y Kesharwani 2020, p. 628).

1.3. Proceso del electrospinning

Es un proceso de electrohilado en donde se debe aplicar a un voltaje sumamente alto a un polímero, de tal manera que ingresan cargas dentro del fluido, llegará un punto en donde las cargas en el interior del polímero lleguen a una cantidad crítica, lo cual produce un chorro que saldrá de la punta de la aguja obteniendo un cono de Taylor como resultado final, al momento que se obtenga el chorro del electrohilado, este tendrá que llegar a la zona de menor potencial, que comúnmente es un colector que está conectado a tierra, existen diferentes tipos de caracterizaciones de las fibras, esto se consigue variando cada uno de los parámetros que influyen en el proceso, como son: temperatura, velocidad, geometría, voltaje ente otras, esto permite obtener fibras con distinta morfología (Ramakrishna, 2005, p. 102).

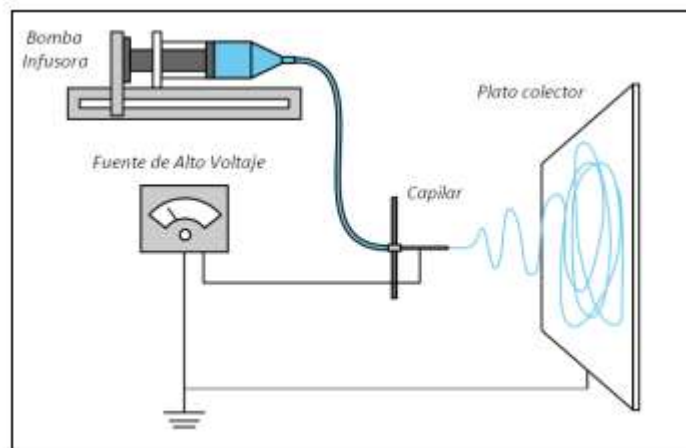


Figura 3-1: Ensamble del Sistema del Electrospinning.

Fuente: (Duque Sánchez, Rodríguez y López 2014,p. 17).

1.4. Electrospinning coaxial

Es un procedimiento que modifica la técnica normal del electrospinning, ya que permite electrohilar polímeros de forma simultánea en el interior de una distribución con núcleo y nanofibras formando una corteza, esta técnica ha permitido la obtención de distintos tipos de nanofibras sin importar su naturaleza, su base estructural está prácticamente conformada por una boquilla de menor tamaño que la original la cual se encuentra contenida dentro de otro más grande (Duque Sánchez, Rodríguez y López, 2014, p. 15).

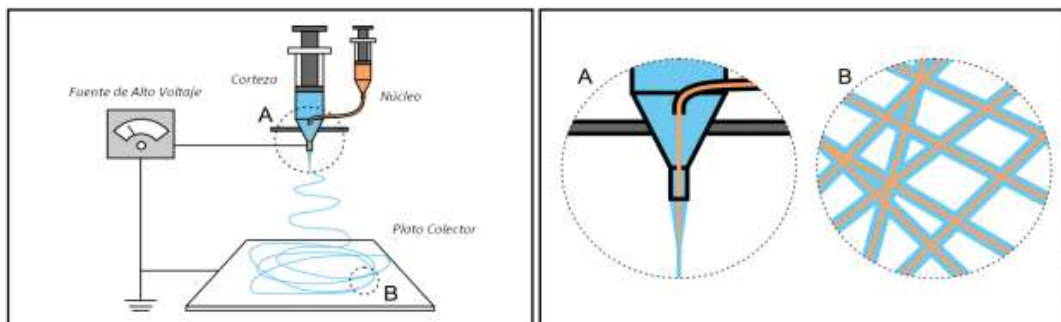


Figura 4-1: Electrospinning Coaxial.

Fuente: (Duque Sánchez, Rodríguez y López 2014, p. 15).

Una de las más grandes ventajas de utilizar el electrospinning coaxial es, que el núcleo al formar una solución no necesariamente tiene que cumplir con todas las condiciones y propiedades dieléctricas para entrar en proceso y la solución que sirve como corteza se utiliza como transporte para la solución principal, permitiendo la encapsulación de fármacos de distintas morfologías, características y de distinta naturaleza (Wang y Zhao, 2018, p.6). En la parte A y B de la imagen de la izquierda se puede apreciar como esparce la boquilla el polímero ya sintetizado, mientras que en la imagen de la derecha vemos de forma amplia la funcionalidad entre el núcleo y la corteza juntándose en el plato colector.

1.5. Microscopía electrónica de barrido (SEM)

La Espectroscopía electrónica de barrido, es una técnica para observar comportamientos superficiales en muestras de biomateriales o materiales compuestos, por lo general esta técnica brinda imágenes a escalas de micrómetros (μm), tanto de alta resolución superficial como de profundidad en un campo tridimensional. Los biomateriales pueden ser una sustancia o la combinación de varias de ellas, las cuales pueden ser sintéticas o naturales, por otro lado, un material compuesto es el acoplamiento de macro o microconstituyentes que varían en su estado y composición química para conformar un solo sistema.

Cada muestra debe ser conciliable bajo vacío y de tipo conductor eléctrico, en cuanto a si se trata de una muestra no conductora la recomendación es realizar un recubrimiento fino de algún material conductor aproximadamente de $10 \mu\text{m}$ y $40 \mu\text{m}$ (Ledea Lozano et al, 2010, p. 5), esto se debe a que la técnica permitirá que los electrones primarios viajen con una energía tal que les permita trasladarse desde la fuente emisora a la superficie de la muestra, donde tras la colisión realizada se generarán electrones secundarios o dispersos, los cuales serán receptados por detectores para brindar la imagen que refleje dicho comportamiento en estudio (Aitken, 2014, p. 6).

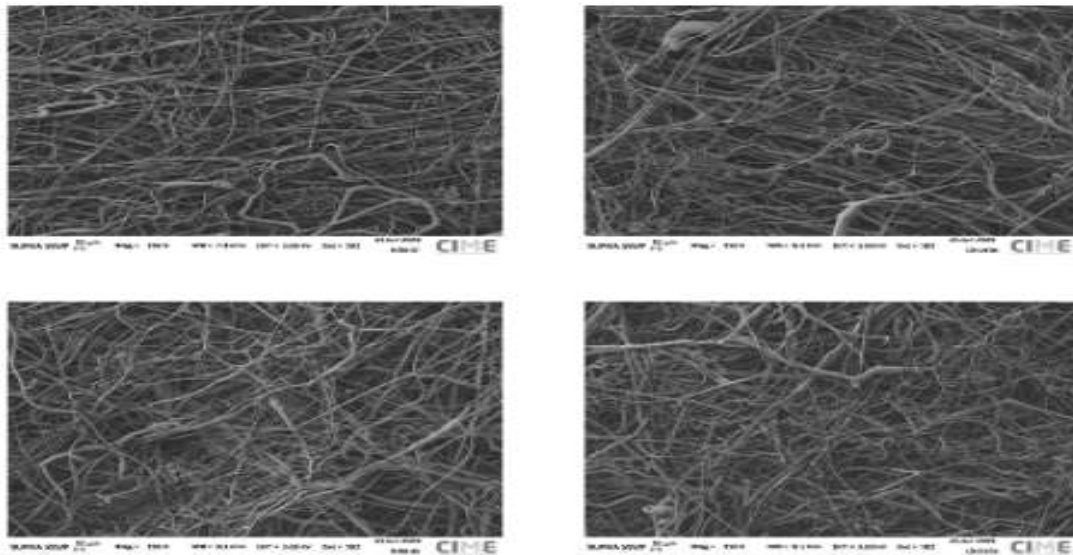


Figura 5-1: Espectroscopía electrónica de barrido de una mascarilla procesada de nivel 5.

Fuente: (Lo Forte 2020, p. 4).

1.6. Electrospinning vs Rotary Jet Spinning

Existen diferentes tipos de estudios al momento de comprar estas dos técnicas, las cuales su finalidad es el crear fibras a base de polímeros. Según *Rogalski, Bastiaansen y Peijs* se llegó a la conclusión de realizar estudios comparativos y estadísticos, que el RJS a pesar de que produce fibras más rápido que el electrospinning, su morfología fue levemente diferente tanto en diámetros como en porosidad, dependiendo totalmente de la solución en peso que se le daba a cada uno de los polímeros sintetizados (Rogalski, Bastiaansen y Peijs, 2018, p. 6).

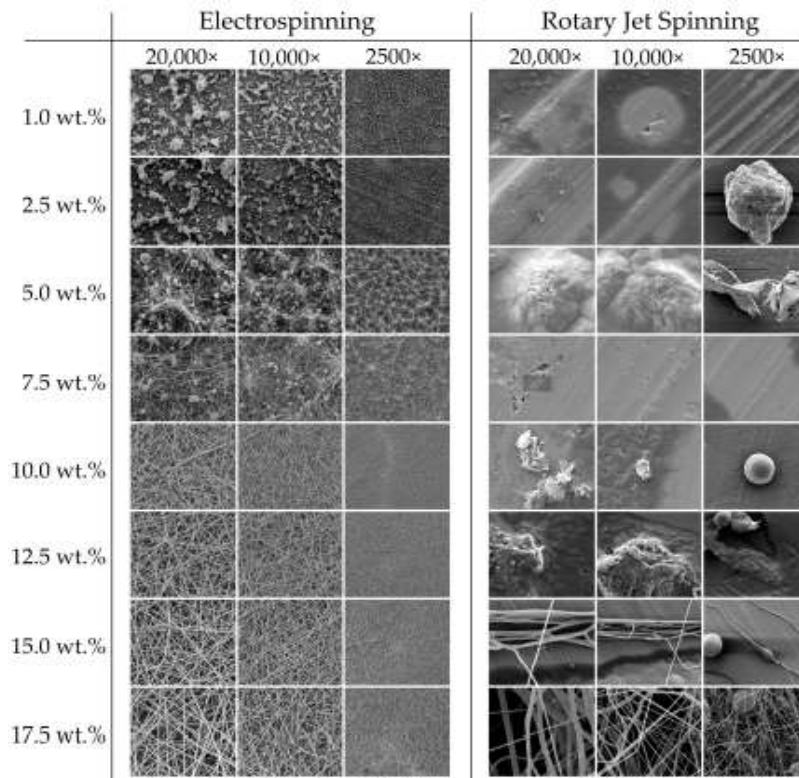


Figura 6-1: SEM, variación de la morfología de las fibras.

Fuente: (Rogalski, Bastiaansen y Peijs 2018,p. 6).

Los diámetros de las fibras varían según la concentración de cada una de las soluciones, y lo que es obvio, varía también según el método de sinterización y caracterización que se aplique, pues el mismo estudio muestra que debido a la velocidad de evaporación de la solución, las soluciones capaces de producir fibras son ligeramente menor para el RJS que para el electrospinning (Rogalski, Bastiaansen y Peijs 2018, p. 7).

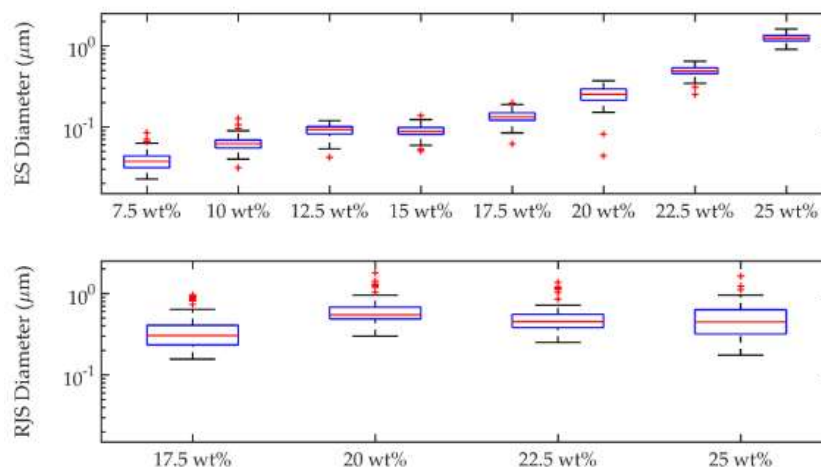


Figura 7-1: Diámetro de fibra Electrospinning (Arriba), RJS (Abajo).

Fuente: (Rogalski, Bastiaansen y Peijs 2018,p. 7).

1.7. Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

Es un método de caracterización para fibras, al ser empleado se obtienen huellas dactilares de cada una de las moléculas de la muestra que se coloque en la máquina, esto absorbe una onda o luz infrarroja producida por la muestra según se analicen sus componentes o enlaces químicos que conforman la estructura molecular, este estudio demuestra de manera clara la composición específica de cada biomolécula que compone la fibra, detallándolos como:

- Lípidos
- Proteínas
- Carbohidratos
- Ácidos nucleicos

Este estudio muestra a través de bandas que se identifican fácilmente con cada uno de los grupos funcionales, la correspondiente región electromagnética del infrarrojo (Mata-Miranda et al, 2017, pp.227-228).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

Se utilizó un método de creación de fibras adaptándolo a las condiciones del laboratorio de electromagnetismo, en el cual se utiliza la velocidad de giro para producir fibras del polímero sintetizado PMMA, se armó el equipo con una adaptación de distintos tipos de instrumentos para realizar la técnica, siendo su característica principal la producción de un campo electromagnético, el cual se produce al realizar el giro. Se colocó la sustancia sintetizada en la abertura principal de la pieza de nailon impresa en 3D, el polímero salió a través de dos agujas adaptas en los costados de la misma, esta es atraída por un colector de aluminio y con la ayuda del campo magnético formado se adhiere al aluminio formando la fibra necesitada.

2.1. Materiales utilizados para el desarrollo del método de creación de fibras

Los materiales que se utilizaron para este método se utilizaron a continuación:

2.1.1. Amoladora

Este es un instrumento de construcción manual y eléctrica (ver figura 8-2), el cual tiene un motor de potencia variada pero sumamente alta (Insemac Darío, 2016, p. 1), en este caso se utilizó una amoladora de 11000 rpm como pieza de rotación para la estructura del equipo la cual cuenta con un voltaje de 120v y una frecuencia de 60Hz.



Figura 8-2: Amoladora utilizada para el giro.

Realizado por: Castillo Cofre, Antonio, 2022.

2.1.2. *Agujas hipodérmicas*

Se utiliza para la expulsión del polímero y están adaptadas a la pieza de rotación de la amoladora, estas agujas con un diámetro de 0.8mm x 25mm (21G x 1") (ver figura 9-2) se las sujetó fuertemente, para que no se desprendan al momento de realizar el proceso de rotación.



Figura 9-2: Agujas Hipodérmicas

Realizado por: Castillo Cofre, Antonio, 2022.

2.1.3. *PMMA*

Polímero que se utiliza para poder realizar la técnica (ver figura 10-2), ya que sus componentes facilitaron una mejor sintetización y por lo cual, se procedió a someter de manera semi-líquida al interior del rotary, expulsando así la fibra requerida.



Figura 10-2: PMMA

Realizado por: Castillo Cofre, Antonio, 2022

2.1.4. Agitador magnético con calentamiento

Instrumento que realiza la agitación y mezcla de sustancias viscosas (ver figura 11-2), conformado por una plancha de calentamiento. Este instrumento fue fundamental para el proceso de sintetización (Cislab Admin, 2018, p. 2).



Figura 11-2: Agitador Magnético.

Realizado por: Castillo Cofre, Antonio, 2022.

2.1.5. Sorbona o campana de extracción

Al trabajar con sustancias muy volátiles y sumamente tóxicas, se tiene que utilizar una Sorbona o campana de extracción, la cual permite realizar mezclas o procedimientos con este tipo de sustancias, pues al contener un sistema de filtración de aire, sirve como extractor de la toxicidad de ciertos materiales y los expulsa al exterior previniendo futuros accidentes. (ver figura 12-2)



Figura 12-2: Campana de extracción

Realizado por: Castillo Cofre, Antonio, 2022

2.2. Proceso de sintetización del polímero (PMMA+DCM)

En esta primera prueba se realizó la mezcla de 1g de PMMA con 10ml de DCM para intentar formar una solución viscosa, lo cual dió un resultado favorable al momento de dejarle en agitación magnética durante 24h a una temperatura de 60°C. La mezcla se dejó enfriar por 3h y al momento de tener la solución lista, fue absorbida con una jeringa y se trasladó a la Sorbona para poder realizar la técnica del Rotary Jet Spinning, la cual consiste en aplicar con una jeringa el material sintetizado sobre la boca superior de la pieza modificada mientras la amoladora está girando, esto provocara que la velocidad de giro produzca la fibra que se necesita expulsándola así por las agujas adaptadas a la pieza de nailon, este procedimiento dio resultados altamente favorables al momento de crear la fibra, pues para trabajarse con poco material se consiguió una pequeña muestra de fibra la cual fue sometida a los análisis de caracterización.

2.3. Proceso de sintetización del polímero (PMMA+2-propanol+agua destilada)

Para este segundo proceso se tomó una muestra de 1.5g de PMMA y una mezcla entre 2-propanol y agua destilada (7,8:2) en una proporción volumen/volumen los cuales mezclando dió una solución viscosa, la cantidad de material fue satisfactorio se obtuvo un total de 9.8ml con lo cual es suficiente para hacer pruebas con la mezcla. Se dejó 24h en agitación a una temperatura de 60°C, posteriormente se enfrió por 3 horas y se dio paso a la técnica en la Sorbona, lo cual nuevamente consiste en colocar la solución obtenida con la ayuda de una jeringa en la boca de la pieza adaptada a la amoladora, esto mientras esta en giro la amoladora, provocando así la expulsión de la fibra por las agujas adaptadas. Dando paso así a la caracterización de la fibra ya que los resultados también fueron favorables.

2.4. Hipótesis e identificación de las variables

2.4.1. Hipótesis

H₀: ¿Es posible crear y sintetizar una fibra de PMMA logrando una porosidad que oscile entre 60-400 nm utilizando la metodología adaptada en el laboratorio de la facultad de ciencias?

H₁: ¿Al momento de variar los parámetros en Rotary Jet Spinning, cambia la textura y la morfología de la fibra creada teniendo en cuenta la adaptación del equipo?

2.4.2. Demostración de la hipótesis

La hipótesis H₀ Al momento de realizar la SEM se demostró que es posible crear y sintetizar la fibra de PMMA, para lo cual y ayuda del programa ImageJ se logró medir la porosidad de cada una de las fibras, esto se discutirá en la sección de resultados en el capítulo 3.

La hipótesis H₁ Al variar la cantidad y el tipo de disolvente se comprobó que cambia la textura y la morfología de la fibra, lo cual se discute en el capítulo 3.

2.4.3. Identificación de las variables

Las variables por utilizar en esta investigación son:

Variables dependientes: Implementación del Rotary Jet Spinning como alternativa para crear fibras.

Variables independientes: Síntesis y caracterización del PMMA.

Variables intervinientes: Variación de diámetros de las agujas, cantidad de material y tiempo.

2.5. Tipo y diseño de la investigación

2.5.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación propuesto abarca un método cualitativo y cuantitativo, permitiendo un estudio a profundidad de cada uno de los polímeros a utilizarse, siendo así, un proyecto que abrirá distintas ramas en el estudio de los nanomateriales con Rotary Jet Spinning. Para poder llevar a cabo el proceso investigativo, se utilizará fuentes legales y seguras de: artículos científicos, fuentes bibliográficas, revistas de investigación, entre otras. Las cuales proporcionan información confiable al momento de extraer las respectivas ideas principales, cada uno de los procesos investigativos que se realizará en este proyecto de investigación se lo realizará en un transcurso

de tiempo aproximadamente de 6 a 7 meses, variando distintos parámetros físicos como el tiempo, distancia, voltaje, etc. Logrando ver con claridad si se cumple el objetivo de crear fibras poliméricas entre un rango de 60-400nm, dando apertura a nuevos métodos de sintetización en la ESPOCH como es el RJS.

2.5.2. *Diseño de la investigación*

2.5.2.1. Diseño experimental

En esta investigación se desea estudiar un nuevo método de creación de fibras poliméricas (RJS) el cual funcionaría como alternativa al momento de estudiar y caracterizar polímeros sintetizados variando la cantidad de material, el diámetro de las agujas, la temperatura y el tiempo de agitación, entre otros factores que intervienen en la creación de la fibra.

2.5.2.2. Localización del estudio

El proyecto integrador se lo realizará en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo específicamente en la Facultad de Ciencias, en los laboratorios de Óptica, electromagnetismo, etc. Durante el período académico 2021-2022.

2.5.2.3. Técnicas de recolección de datos

Bibliografías documentales.

2.5.2.4. Análisis estadístico inferencial

Se aplica, se usará para las diferencias estadísticamente significativas entre grupos de muestras mediante ANOVA unidireccional seguido de la prueba post hoc tukey y los valores de $p < 0,05$ que se consideran estadísticamente significativo

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados que se obtuvieron al momento de realizar la caracterización del polímero sintetizado de las 2 formas, lo cual dirá si es favorable o no el uso de la técnica del Rotary.

3.1. Resultados de la caracterización de PMMA+DCM

A la fibra de PMMA+DCM se la sometió a dos tipos de caracterización FTIR y SEM con el fin de encontrar su porosidad y sus grupos funcionales.

3.1.1. FTIR DE PMMA + DCM

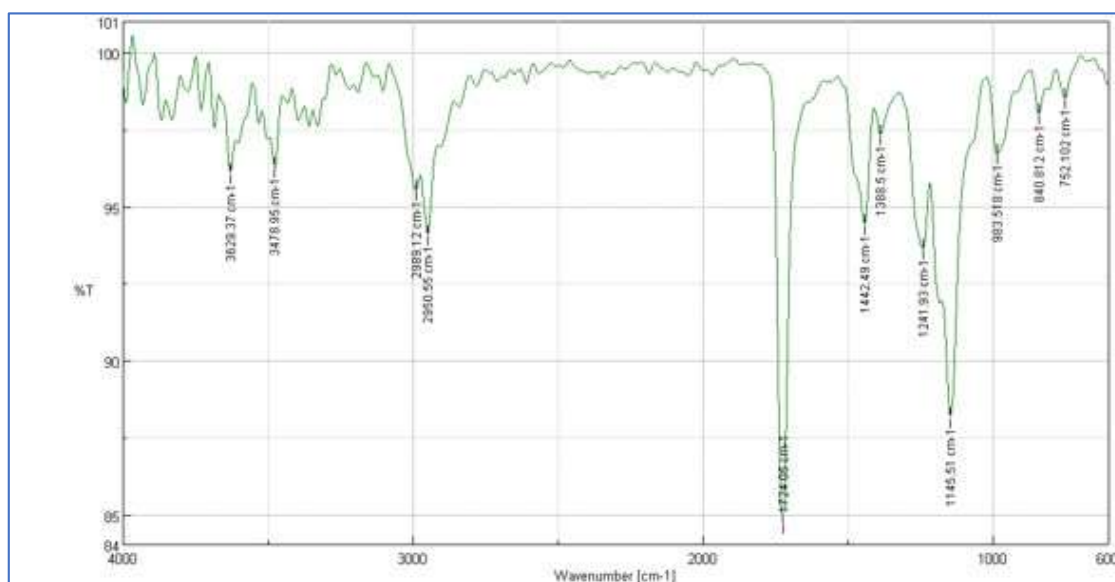


Figura 13-3: FTIR de PMMA+DCM

Realizado por: Castillo Cofre, Antonio, 2022.

Para poder realizar un análisis de esta caracterización tomamos en cuenta valores determinados en función del número de onda, lo cual está estipulado en tablas y esto ayuda a conocer cada uno de los grupos funcionales que existen en cada pico de la gráfica.

- Como punto N°1 tenemos 3629.37(cm-1) teniendo un -OH en alcoholes y fenoles, estiramiento OH (solución diluida), teniendo una transmitancia aproximada de 96.05%.

- Como punto N°2 tenemos 3478.95(cm-1) teniendo un $-NH_2$ en aminas aromáticas, aminas primarias y aminas, estiramiento NH (solución diluida), teniendo una transmitancia aproximada de 96.23%.
- Como punto N°3 tenemos 2989.12(cm-1) teniendo un $-CH_3$ y $-CH_2-$ en compuestos alifáticos, estiramiento CH simétricos y anti simétricos, teniendo una transmitancia aproximada de 95.49%.
- Como punto N°4 tenemos 2950.55(cm-1) teniendo un $-CH_3$ y $-CH_2-$ en compuestos alifáticos, estiramiento CH simétricos y anti simétricos, teniendo una transmitancia aproximada de 94.04%.
- Como punto N°5 tenemos 1724.05(cm-1) teniendo un $C = O$ en aldehídos, estiramiento $C = O$; 30cm-1 más bajo si no está saturado, teniendo una transmitancia aproximada de 84.66%.
- Como punto N°6 tenemos 1442.49(cm-1) teniendo un CH_3 en compuestos alifáticos, deformación anti simétrica de CH_3 , teniendo una transmitancia aproximada de 94.39%.
- Como punto N°7 tenemos 1388.5(cm-1) teniendo un SO_2 en cloruros de sulfonilo, estiramiento anti simétrico de SO_2 , teniendo una transmitancia aproximada de 97.31%.
- Como punto N°8 tenemos 1241.93(cm-1) teniendo un SO_3H en ácidos sulfónicos, estiramiento $S = O$, teniendo una transmitancia aproximada de 93.59%.
- Como punto N°9 tenemos 1145.51(cm-1) teniendo un $C - OH$ en alcoholes secundario o terciarios, estiramiento $C - O$, teniendo una transmitancia aproximada de 88.11%.
- Como punto N°10 tenemos 983.518(cm-1) teniendo un $CH = CH_2$ en compuestos de vinilo, = CH deformación fuera del plano, teniendo una transmitancia aproximada de 96.68%.
- Como punto N°11 tenemos 840.812(cm-1) teniendo un $CH = C$ en alquenos trisustituídos, CH deformación fuera del plano, teniendo una transmitancia aproximada de 97.96%.
- Como punto N°12 tenemos 752.102(cm-1) teniendo un $C - Cl$ en cloruros de alquilo, estiramiento $C - Cl$, teniendo una transmitancia aproximada de 98.49%.

3.1.2. SEM de PMMA+DCM

En la (figura 14-3) podemos observar la SEM con un lente x550 y a una escala de 20 μm realizado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en los laboratorios de la facultad de mecánica. Pues como se observa en la figura las fibras están separadas entre sí con lo cual se podría decir que la porosidad es muy alta en la pequeña muestra caracterizada.

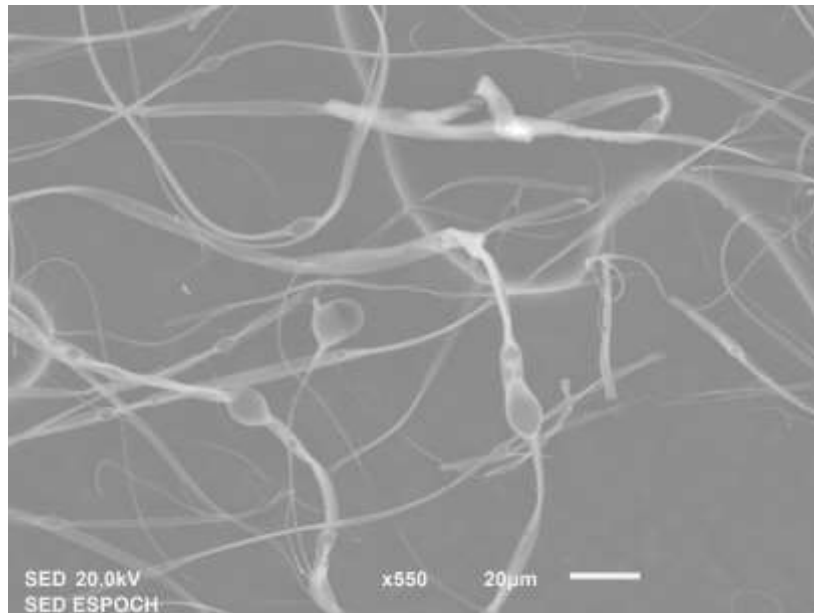


Figura 14-3: SEM de PMMA+DCM a x550

Realizado por: Castillo Cofre, Antonio, 2022.

En la (figura 15-3) podemos observar la SEM con un lente x1,200 y a una escala de 10 μm realizado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en los laboratorios de la facultad de mecánica. Pues como se observa en la figura las fibras están un poco menos separadas entre sí con lo cual se podría decir que la porosidad va disminuyendo un poco en la pequeña muestra caracterizada.

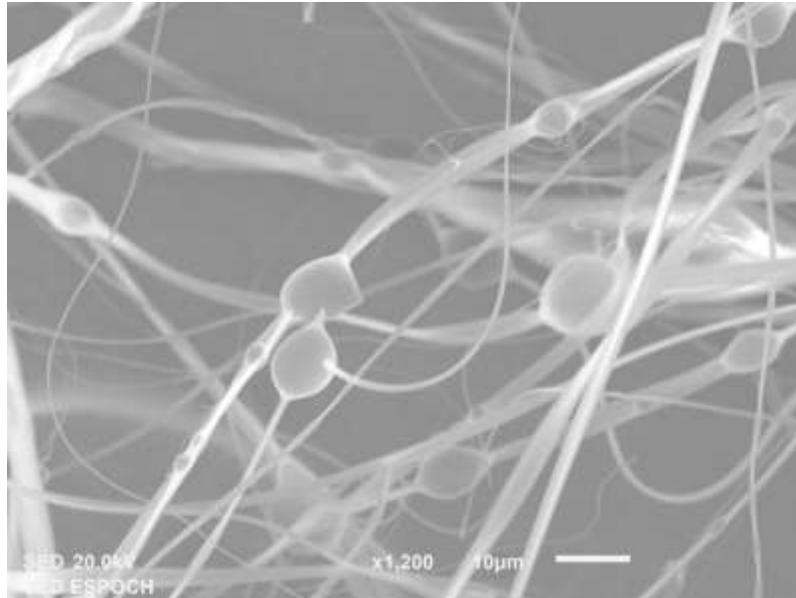


Figura 15-3: SEM de PMMA+DCM a x1.200

Realizado por: Castillo Cofre, Antonio, 2022.

En la (figura 16-3) podemos observar la SEM con un lente x2,000 y a una escala de $10\ \mu\text{m}$ realizado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en los laboratorios de la facultad de mecánica. Pues como se observa en la figura las fibras están no están tan separadas entre sí con lo cual se podría decir que la porosidad es levemente menor en la pequeña muestra caracterizada.

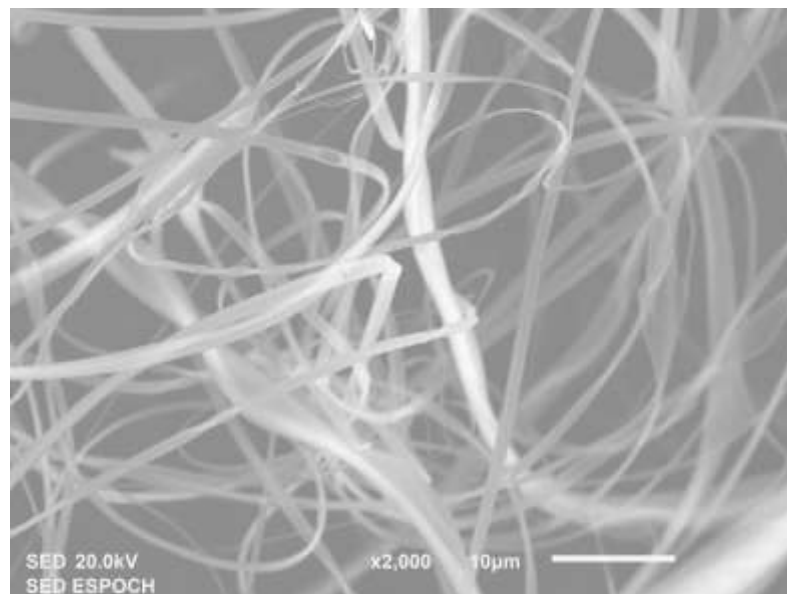


Figura 16-3: SEM de PMMA+DCM a x2.000

Realizado por: Castillo Cofre, Antonio, 2022.

En la (figura 17-3) podemos observar la SEM con un lente x6,500 y a una escala de 2 μm realizado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en los laboratorios de la facultad de mecánica. Pues como se observa en la figura las fibras están más unidas entre sí con lo cual se podría decir que la porosidad disminuye en la pequeña muestra caracterizada.

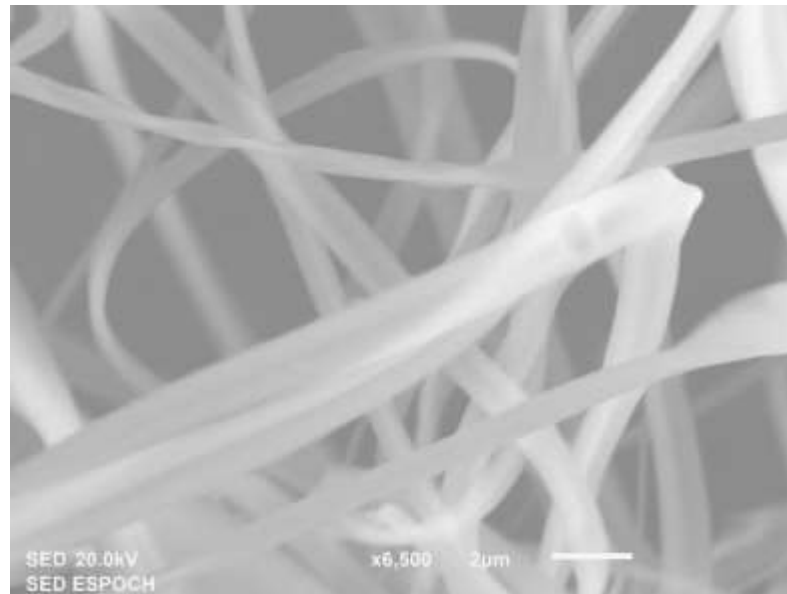


Figura 17-3: SEM de PMMA+DCM a x6.500

Realizado por: Castillo Cofre, Antonio, 2022.

Para poder determinar una longitud de las fibras aproximada se tomará 6 distintos tipos de medidas y se procederá a realizar un promedio con lo cual podremos disminuir el error y aproximarnos a un valor real de longitud de las fibras, con lo cual se determinará la porosidad aproximada de la fibra.

Tabla 1-3: Tabla de medidas SEM de PMMA+DCM (largo-length)

Medida de la SEM	largo (nm)	largo (nm)	largo (nm)	largo (nm)	largo (nm)	largo (nm)	Promedio (nm)
x550	454	473	805	1856	1883	2128	1266,500
x1.200	847	930	1177	1556	1716	3139	1560,833
x2.000	883	971	1387	2124	2574	1472	1568,500
x6.500	559	739	744	968	988	1082	846,667

Realizado por: Castillo Cofre, Antonio, 2022.

En la (Tabla 1-3.) podemos visualizar los valores de la longitud de la fibra que varía con el lente de x550 entre 454 nm y 2128 nm, de x1200 entre 847 nm y 3129 nm, de x2000 entre 883 y 1472 nm y con x6500 entre 559 y 1082nm. Entonces tenemos una muestra con fibras no uniformes en

longitud, esto representa que la porosidad de la muestra no es viable para fines de aplicación con el método utilizado.

3.2. Resultados de la caracterización de PMMA+2-propanol+agua destilada

A la fibra de PMMA+2-propanol+agua destilada se le sometió a dos diferentes tipos de caracterización con las cuales determinaremos los grupos funcionales y su porosidad.

3.2.1. FTIR de PMMA+2-propanol+agua destilada

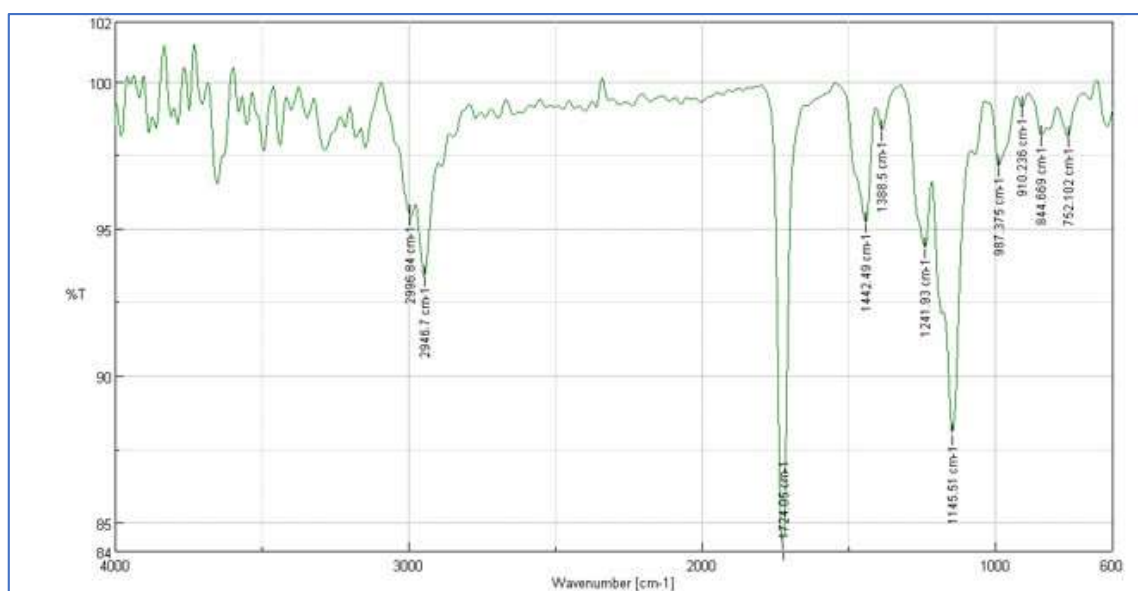


Figura 18-3: FTIR de PMMA+2-propanol+agua destilada

Realizado por: Castillo Cofre, Antonio, 2022.

Para poder realizar un análisis de esta caracterización tomamos en cuenta valores determinados en función del número de onda, lo cual está estipulado en tablas y esto ayuda a conocer cada uno de los grupos funcionales que existen en cada pico de la gráfica.

- Como punto N°1 tenemos 2996.84(cm-1) teniendo $-CH_3$ y $-CH_2$ – en compuestos alifáticos, estiramiento CH simétricos y anti simétricos, teniendo una transmitancia aproximada de 95.43%.
- Como punto N°2 tenemos 2946.7(cm-1) teniendo $-CH_3$ y $-CH_2$ – en compuestos alifáticos, estiramiento CH simétricos y anti simétricos, teniendo una transmitancia aproximada de 93.33%.
- Como punto N°3 tenemos 1724.05(cm-1) teniendo un $C = O$ en aldehídos, estiramiento $C = O$; 30cm-1 más bajo si no está saturado, teniendo una transmitancia aproximada de 84.05%.

- Como punto N°4 tenemos 1442.49(cm-1) teniendo un CH_3 en compuestos alifáticos, deformación anti simétrica de CH_3 , teniendo una transmitancia aproximada de 95.16%.
- Como punto N°5 tenemos 1388.5(cm-1) teniendo un CH_3 en compuestos alifáticos, deformación anti simétrica de CH_3 , teniendo una transmitancia aproximada de 98.30%.
- Como punto N°6 tenemos 1241.93(cm-1) teniendo un SO_3H en ácidos sulfónicos, estiramiento $S = O$, teniendo una transmitancia aproximada de 94.29%.
- Como punto N°7 tenemos 1145.51(cm-1) teniendo un $C - OH$ en alcoholes secundario o terciarios, estiramiento $C - O$, teniendo una transmitancia aproximada de 87.96%.
- Como punto N°8 tenemos 987.375(cm-1) teniendo un $CH - CH -$ en alquenos trans disustituidos, = CH fuera del plano de deformación, teniendo una transmitancia aproximada de 97.08%.
- Como punto N°9 tenemos 910.236(cm-1) teniendo un $CH = CH_2$ en compuestos de vinilo, meneo fuera del plano de CH_2 , teniendo una transmitancia aproximada de 99.10%.
- Como punto N°10 tenemos 844.669(cm-1) teniendo un $CH = C$ en alquenos trisustituidos, CH deformación fuera del plano, teniendo una transmitancia aproximada de 98.13%.
- Como punto N°11 tenemos 752.102(cm-1) teniendo un $CH = C$ en alquenos trisustituidos, CH deformación fuera del plano, teniendo una transmitancia aproximada de 98.13%.

3.2.2. SEM de PMMA+2-propanol+agua destilada

En la (figura 19-3) podemos observar la SEM con un lente x220 y a una escala de 100 μm realizado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en los laboratorios de la facultad de mecánica. Pues como se observa en la figura existe una sola fibra que resalta, la cual no asegura para nada una buena porosidad en la pequeña muestra tomada de la sintetización.

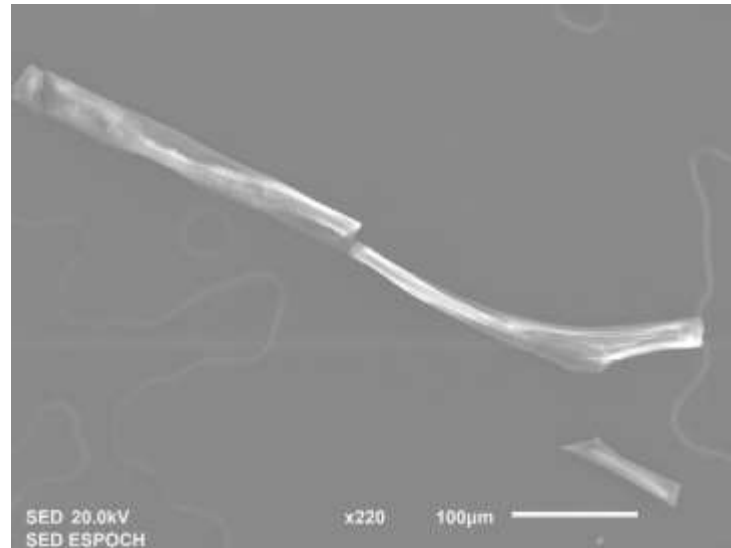


Figura 19-3: SEM de PMMA+2-propanol+agua destilada a x200

Realizado por: Castillo Cofre, Antonio, 2022.

En la (figura 20-3) podemos observar la SEM con un lente x700 y a una escala de 20 μm realizado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en los laboratorios de la facultad de mecánica. Pues como se observa en la figura existe una sola fibra, la cual no asegura para nada una buena porosidad en la pequeña muestra tomada de la sintetización.

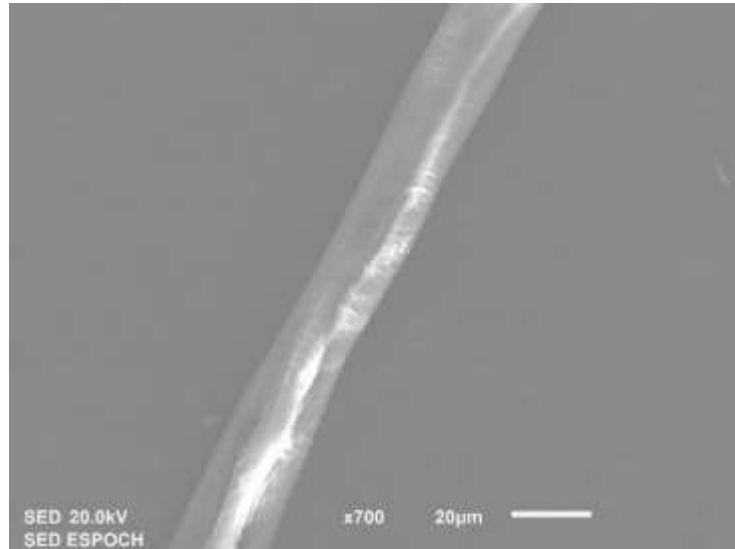


Figura 20-3: SEM de PMMA+2-prpanol+agua destilada a x700

Realizado por: Castillo Cofre, Antonio, 2022.

En la (figura 21-3) podemos observar la SEM con un lente x220 y a una escala de 100 μm realizado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en los laboratorios de la facultad de mecánica. Pues como se observa en la figura existe una sola fibra que resalta, la cual no asegura para nada una buena porosidad en la pequeña muestra tomada de la sintetizacion.

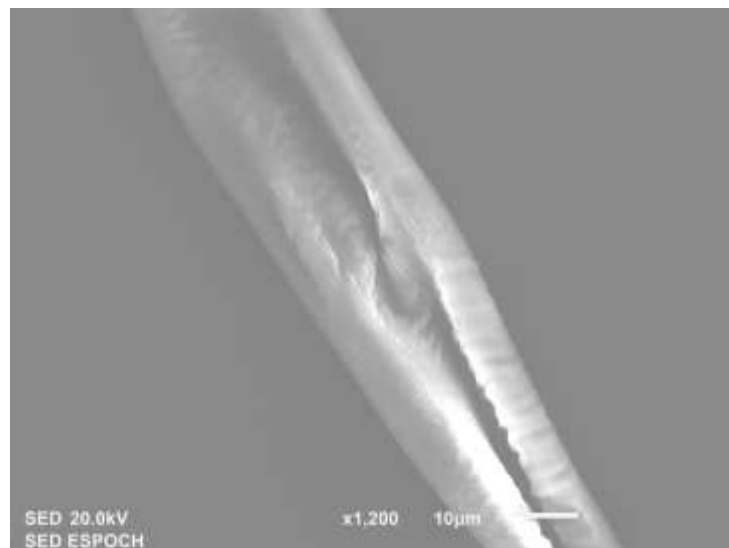


Figura 21-3: SEM de PMMA+2-propanol+agua destilada a x1.200

Realizado por: Castillo Cofre, Antonio, 2022.

Para poder determinar una longitud de las fibras aproximada se tomará 6 distintos tipos de medidas y se procederá a realizar un promedio con lo cual podremos disminuir el error y aproximarnos a un valor real de longitud de las fibras, con lo cual se determinará la porosidad aproximada de la fibra.

Tabla 2-3: Tabla de medidas SEM de PMMA+2-propanol+agua destilada (largo-length)

Medida de la SEM	Largo (nm)	Largo (nm)	Largo (nm)	Largo (nm)	Largo (nm)	Largo (nm)	Promedio (nm)
x220	11865	22758	23539	26333	26975	31156	23771,000
x700	17709	19289	20307	20413	21831	22637	20364,333
x1,200	19416	20859	25309	25823	26430	26538	24062,500

Realizado por: Castillo Cofre, Antonio, 2022.

Como podemos observar en la (Tabla2-3.) los valores de la longitud de la fibra que varía con el lente de x220 entre 11865 nm y 31156 nm, de x700 entre 17709 nm y 22637 nm, con x1200 entre 19416 y 26538 nm. Entonces tenemos una muestra con fibras no uniformes en longitud, esto representa que la porosidad de la muestra no es viable para fines de aplicación con el método utilizado.

3.3. Comparación de resultados con investigaciones publicadas

Según (*Chang, Chang y Cheng 2019,p. 3*) en su publicación comenta que utilizó la técnica del electrospinning como alternativa para crear fibras poliméricas, en este caso la solución se preparó al momento de disolver PMMA en 2-propanol junto con agua (7,8:2, w/w), esto se dejó en agitación magnética durante 1 hora aproximadamente a 60°C, posteriormente se dejó enfriar a temperatura ambiente, el resultado se lo llevo a la máquina del electrospinning utilizando una jeringa de 0.42mm de diámetro y una fuente de alimentación correspondiente a un alto voltaje (7.1kV), posteriormente se caracterizó mediante SEM y se obtuvo lo siguiente:

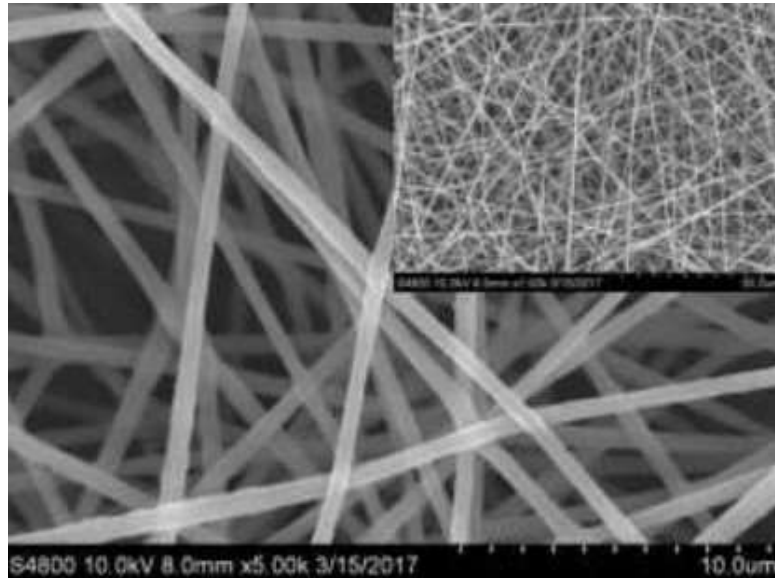


Figura 22-3: Imagen SEM de fibras de PMMA con 1.5% en peso de 2-propanol y agua.

Fuente: (Chang, Chang y Cheng 2019, p. 3).

Como se puede observar la cantidad de fibras es mayor a las que se obtuvo en el presente trabajo de investigación, esto es debido a que el método del electrospinning al ser un método que ocupa la variación alta de voltajes contrarresta la repulsión electrostática a la tensión superficial del material, esto hace que los resultados sean más satisfactorios y al tener mayor cantidad de fibras la porosidad disminuye totalmente en la muestra presentando así una buena resistencia al agua.

En otro trabajo publicado (*Rogalski, Bastiaansen y Peijs 2018, pp. 6-8*) realiza la creación de fibras de gránulos de PA6 mediante la misma técnica del Rotary Jet Spinning variando la metodología, pues él ocupa diferentes tipos de concentraciones y varía principalmente las velocidades de giro, aproximadamente entre 2, 4, 6, 8 y 10 (x1000) rpm obteniendo mayor probabilidad de obtener una gran cantidad de fibras en la caracterización por SEM lo cual disminuye satisfactoriamente la porosidad como podemos ver en la (Figura 23-3). En este caso se utilizó gránulos de PA6 los cuales se dejaron secar a 80°C durante 4h para eliminar la humedad residual, posteriormente se pasó a mezclar con ácido fórmico a temperatura ambiente utilizando placas de agitación y agitadores magnéticos.

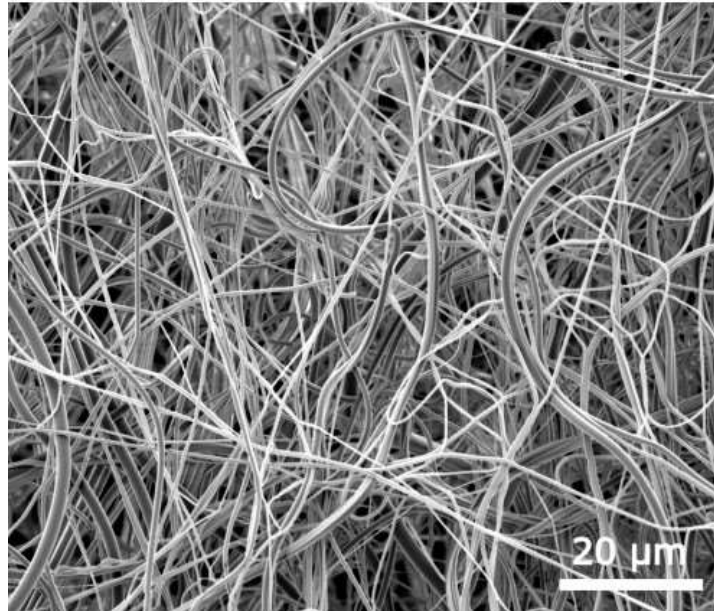


Figura 23-3: SEM de gránulos de PA6

Fuente: (Rogalski, Bastiaansen y Peijs 2018, p. 7).

Como se observa, el método del Rotary Jet Spinning resulta muy satisfactorio al momento de usarse, siempre y cuando la máquina este muy bien adaptada y se pueda variar las velocidades de giro y las concentraciones que se utilizan pues en el presente trabajo de investigación, la velocidad en todo momento se mantuvo constante (11.000 rpm) y la concentración no fue variada por lo cual los resultados obtenidos no fueron totalmente los esperados sin embargo gracias a la caracterización se obtuvo fibras de PMMA.

CONCLUSIONES

- Se sintetizó fibras poliméricas por el método Rotary Jet Spinnig utilizando las mezclas de PMMA+DCM y PMMA+2-propanol+agua destilada, teniendo en cuenta las proporciones mencionadas en la metodología, obteniendo una contextura viscosa satisfactoria que permitió realizar la metodología Rotary Jet Spinnig a través de la adaptación de la máquina y realizando el proceso correspondiente dentro de la Sorbona, colocando la sustancia en la boca de la pieza de nailon provocando el giro y obteniendo las fibras requeridas.
- Se caracterizó la estructura de la fibra a través de la Microscopía Electrónica de Barrido que entrega datos de la longitud en micrómetros del largo de las fibras presentes en las muestras, se observó que los largos de las fibras varían, con el lente de x550 entre 454 nm y 2128 nm, de x1200 entre 847 nm y 3129 nm, de x2000 entre 883 y 1472 nm y con x6500 entre 559 y 1082nm con la muestra de PMMA+DCM. Para la muestra de PMMA+2-propanol+agua destilada la estructura de la fibra caracterizó para el lente de x220 entre 11865 nm y 31156 nm, de x700 entre 17709 nm y 22637 nm, con x1200 entre 19416 y 26538 nm. Se concluye que la estructura de la muestra de PMMA+DCM es la que presentó más fibras en relación con la muestra de PMMA+2-propanol+agua destilada que en su estructura presentó una única fibra. Mediante la espectroscopia Infrarrojo por Transformada de Fourier se caracterizó las muestras obteniendo los mismos grupos funcionales presentes en la muestra de PMMA+DCM y la muestra de PMMA+2-propanol+agua destilada, lo cual indica la presencia de impurezas en las muestras. En la metodología utilizada no se realizó una limpieza previa del material lo cual se evidencia en los resultados.
- Se comparó el presente trabajo de investigación con otros publicados en revistas y el polímero ocupado (PMMA) tiene diferentes metodologías de sintetizar y a su vez diferentes tipos de disolventes los cuales ayudan a mejorar el material, creando así más cantidad de fibras con mayor o menor porosidad dependiendo el disolvente que se utiliza. Comparando los resultados podemos decir que el método funciona correctamente siempre y cuando se pueda variar los parámetros como la velocidad de giro y la concentración de los disolventes pues en este caso al trabajarse con parámetros constantes se dificultó al momento de obtener resultados de la SEM, además que el PMMA al ser un polímero cuya densidad se encuentra entre los $1.18g/cm^3$ por lo cual no se disuelve con facilidad, sin embargo se logró caracterizar y confirmar que con el DCM (diclorometano) existe una mejor probabilidad de disolvencia lo cual ayudo a evidenciar mayor cantidad de fibras ya que con la muestra de PMMA+2-propanol+agua destilada se obtuvo una única fibra lo cual no asegura una buena porosidad, sin embargo al momento de comparar la metodología que se utilizó para sintetizar se observó que la técnica del electrospinning es más confiable al momento de crear fibras ya que al variar el voltaje contrarresta la repulsión electrostática a la tensión superficial del material, obteniendo bastantes fibras lo cual disminuye la porosidad.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar la sintetización de las fibras utilizando un equipo de Rotary Jet Spinning, para obtener una muestra con mayor cantidad de fibras y que cumpla con la porosidad requerida para aplicaciones.
- Se recomienda utilizar equipos de protección como guantes, gafas, mandil de laboratorio y mascarilla al momento de manipular cada uno de los disolventes ya que son volátiles y pueden ser perjudiciales para el ser humano, de igual forma al momento de aplicar la técnica se la debe realizar dentro de una Sorbona o campana de extracción de gases para evitar la inhalación de los gases.
- Utilizar las cantidades descritas en la metodología al momento de realizar las mezclas del polímero con el disolvente ya que esto ayuda a obtener una muestra viscosa para trabajar. Tener cuidado al momento de retirar del agitador magnético con temperatura alta y dejar enfriar el envase o el disolvente porque al estar en contacto con la piel puede causar incidentes peligrosos.
- Ayudarse de una jeringa al momento de colocar el material en el Rotary y tener cuidado de que el material no este expuesto a corriente de aire, porque esto provocaría que el material se solidifique y pierda sus propiedades viscosas, dificultando así la técnica y tapando los orificios por donde sale la fibra.

GLOSARIO

Agitación Magnética: proceso que contiene un magneto y ayuda a la mezcla de sustancias líquidas. (Zhang et al. 2020, p. 5)

Metacrilato de metilo: Material muy utilizado especialmente en ingenierías ya que tiene propiedades plásticas, también conocido como PMMA o Poli este tiene dispersión cromática. (Ma et al, 2015, p. 498).

Rotary Jet Spinning: Conocido como hilado a rotor este proceso sirve principalmente para la creación de fibras mediante la rotación a alta velocidad (Rogalski, Bastiaansen y Peijs 2017, p. 98)

BIBLIOGRAFÍA

AITKEN, Y. "Utilización de la microscopía electrónica de barrido (SEM) y de Transmisión (TEM) para el análisis de las pastas estudiadas" . [en línea], 2014, pp. 10-16. [Consulta: 14 septiembre 2021]. Disponible en: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6489/15Brv15de20.pdf?sequence=15&isAllowed=y>.

ARMENTANO, I. et al. "Polymer Materials for Respiratory Protection: Processing, End Use, and Testing Methods." [en línea] 2021, pp. 12-15. DOI 10.1021/acsapm.0c01151. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1021/acsapm.0c01151>.

CHANG, H.-Y., CHANG, C.-C. y CHENG, L.-P. "Preparation of hydrophobic nanofibers by electrospinning of PMMA dissolved in 2-propanol and water".[en línea] 2019, pp. 6. [Consulta: 27 noviembre 2021]. DOI 10.1051/mateconf/201926403004. Disponible en: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201926403004>.

CISLAB ADMIN. *Usos y Funciones del Agitador Magnético* [blog]. Cis-Lab Blogs. [Consulta: 31 enero 2022]. Disponible en: <https://www.cislab.mx/usos-y-funciones-del-agitador-magnetico/>.

DUQUE SÁNCHEZ, L. et al. "Electrospinning 10". *Revista Iberoamericana de Polímeros Volumen* [en línea] 2014, vol. 14, no. 1, pp. 10-27. [Consulta: 7 septiembre 2021]. Disponible en: https://researchmgt.monash.edu/ws/portalfiles/portal/303800597/303800295_oa.pdf.

ESPINOZA GONZÁLEZ, C.J. Preparación y caracterización de nanofibras antimicrobianas compuestas de copolímeros asociativos-nanopartículas de plata y PVA, por el proceso de electrohilado. (trabajo de titulación) (Mestría) Centro de investigación en química aplicada, México, 2008. pp. 196.

ESTRADA, M. *NANOFIBRAS, FIBRAS SINTÉTICAS Y ESPECIALES*. [blog] , 2013. [Consulta: 7 septiembre 2021]. Disponible en: <http://todosobrelasfibrassinteticas.blogspot.com/2013/05/nanofibras.html>.

INSEMÁC DARÍO. *¿Qué es una amoladora y para qué sirve?* | El blog del marmolista. [blog] 2016. [Consulta: 28 enero 2022]. Disponible en: <http://www.insemactools.es/blog/index.php/2016/09/08/que-es-una-amoladora-y-para-que-sirve/>.

KESERVANI, R.K., SHARMA, A.K. y KESHARWANI, R.K. *Drug Delivery Approaches and Nanosystems, Volume 2: Drug Targeting Aspects of Nanotechnology.* [en línea]. Washington-USA, 2020. [Consulta: 7 septiembre 2021]. Disponible en: https://books.google.com/books/about/Drug_Delivery_Approaches_and_Nanosystems.html?hl=es&id=IS_3DwAAQBAJ.

LEDEA LOZANO, O.E. et al. *Aplicación de la Microscopía Electrónica de Barrido en la Caracterización de la Poliapatita* ® *Application of Scanning Electron Microscopy on Poliapatita* ® *Characterization*, vol.14, 2010, pp. 1-6.

LO FORTE, S. "FUDESA". *Procesamiento de mascarillas de protección respiratoria para su reutilización en el ámbito sanitario* – [en línea] , 2020. [Consulta: 10 octubre 2021]. Disponible en: <https://fudesa.org.ar/2020/08/22/procesamiento-de-mascarillas-de-proteccion-respiratoria-para-su-reutilizacion-en-el-ambito-sanitario/>.

MA, L, et al. *Synthesis and Properties of Polymethyl Methacrylate/Nanodiamond Composite Material.* [en línea] 2019. Icectt, pp. 497-502. DOI 10.2991/icectt-15.2015.95. Disponible en: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/25842692.pdf>.

MATA-MIRANDA, M. et al. *Componentes Principales mediante Espectroscopia FTIR como Técnica de Caracterización Innovadora durante la Diferenciación de Células Madre Pluripotentes a Células Pancreáticas.* 2017, vol. 38, no. 1, pp. 225-234. DOI 10.17488/RMIB.38.1.17.

MELLADO, P. et al. "A simple model for nanofiber formation by rotary jet-spinning". *Applied Physics Letters* [en línea] 2011. vol. 99, no. 20. [Consulta: 27 noviembre 2021]. ISSN 00036951. DOI 10.1063/1.3662015. Disponible en: <https://arxiv.org/abs/1110.1424v2>.

MIRANDA, A., BOYA, A. y OBALDÍA, E. "Síntesis y caracterización de membranas piezoeléctricas en base al polímero fluoruro de polivinilideno , utilizando la técnica de electrospinning", *Revista I+D Tecnológico* [en línea] 2021. vol. 17, no. 1, pp. 0-9. Disponible en: <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/id-tecnologico/article/view/2989/3686>.

PIERCE, B. "PVDF Transfer Membrane". *Thermo Fisher Scientific* [en línea] , 2017 [Consulta: 4 octubre 2021]. Disponible en: https://assets.thermofisher.com/TFS-Assets/LSG/manuals/MAN0011523_PVDF_Xfer_Memb_UG.pdf.

RAMAKRISHNA, S. *An Introduction to Electrospinning and Nanofibers - Seeram Ramakrishna - Google Libros* [en línea] , 2005. Ilustrada. S.l.: s.n. [Consulta: 7 septiembre 2021]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=QHkyRdb2TicC&pg=PA117&dq=electrospinning&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwj1uJvgje7yAhXHKWoFHQDeCPAQ6AEwAHoECAQQAg#v=onepage&q=electrospinning&f=false>.

ROGALSKI, J. et al. "Rotary jet spinning review—a potential high yield future for polymer nanofibers". [en línea]. 13 octubre 2017. pp. 1-7. S.l.: Taylor & Francis. [Consulta: 7 septiembre 2021]. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/20550324.2017.1393919>.

ROGALSKI, J. "PA6 nanofibre production: A comparison between rotary jet spinning and electrospinning". *Fibers*, vol. 6, no. 2. ISSN 20796439. DOI 10.3390/fib6020037.


SHEN, H. et al. "Development of Electrospun Nanofibrous Filters for Controlling Coronavirus Aerosols". *Cite This: Environ. Sci. Technol. Lett* [en línea] 2021. vol. 8, pp. 545-550. DOI 10.1021/acs.estlett.1c00337. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.1c00337>.

TEBYETEKERWA, M. et al. "Electrospun Nanofibers-Based Face Masks". *Advanced Fiber Materials* [en línea] 2020. vol. 2, pp. 161-166. DOI 10.1007/s42765-020-00049-5. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s42765-020-00049-5>.

WANG, N. y ZHAO, Y. "Coaxial electrospinning". *Electrospinning: Nanofabrication and Applications*, 2018. pp. 125-200. DOI 10.1016/B978-0-323-51270-1.00005-4.

ZHANG, Z. et al. "Electrospun ultrafine fibers for advanced face masks". [en línea] 2020, DOI 10.1016/j.msar.2020.100594. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.msar.2020.100594>.

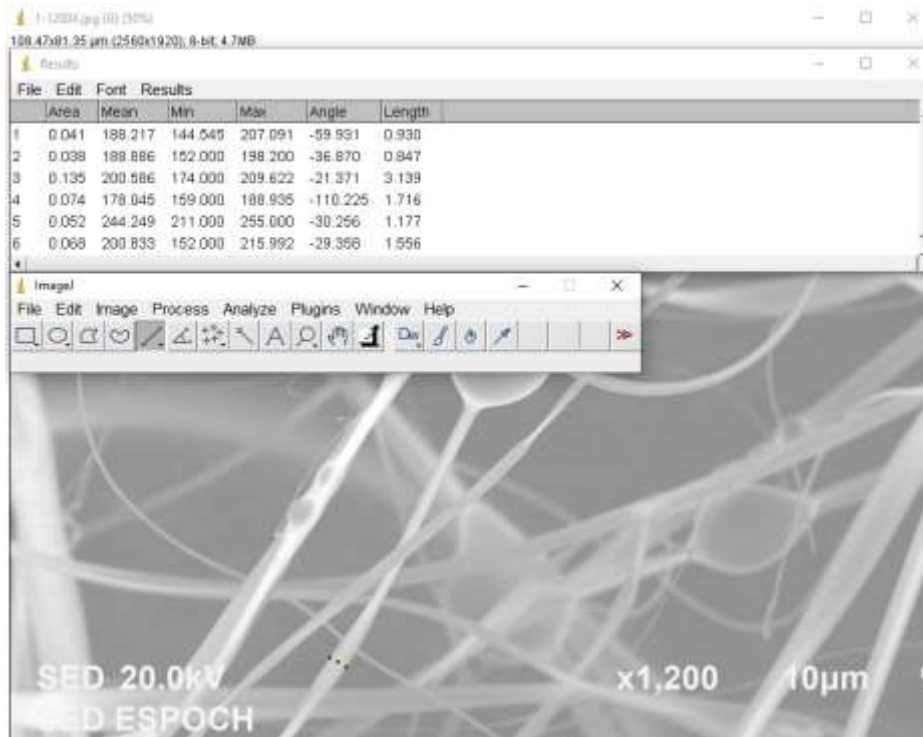


DIRECCION DE BIBLIOTECAS
Y RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE
Y LA INVESTIGACION

Ing. Jonathan Parreño Uquillas MBA
ANALISTA DE BIBLIOTECA 1

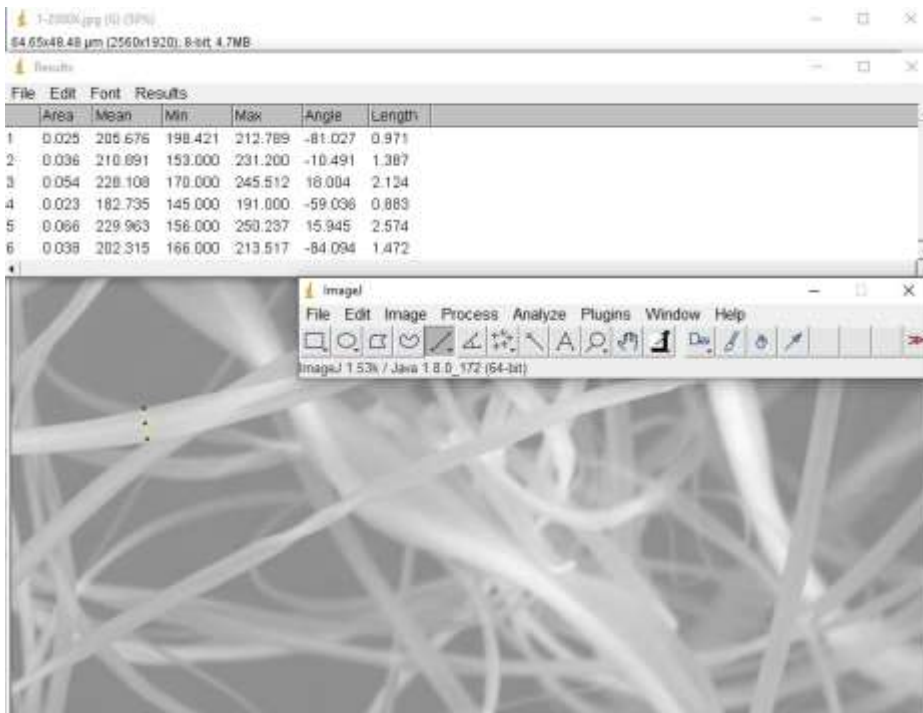
ANEXOS

ANEXO A: MEDICIÓN DE LAS FIBRAS CON IMAGEJ DE LA PRIMERA MUESTRA

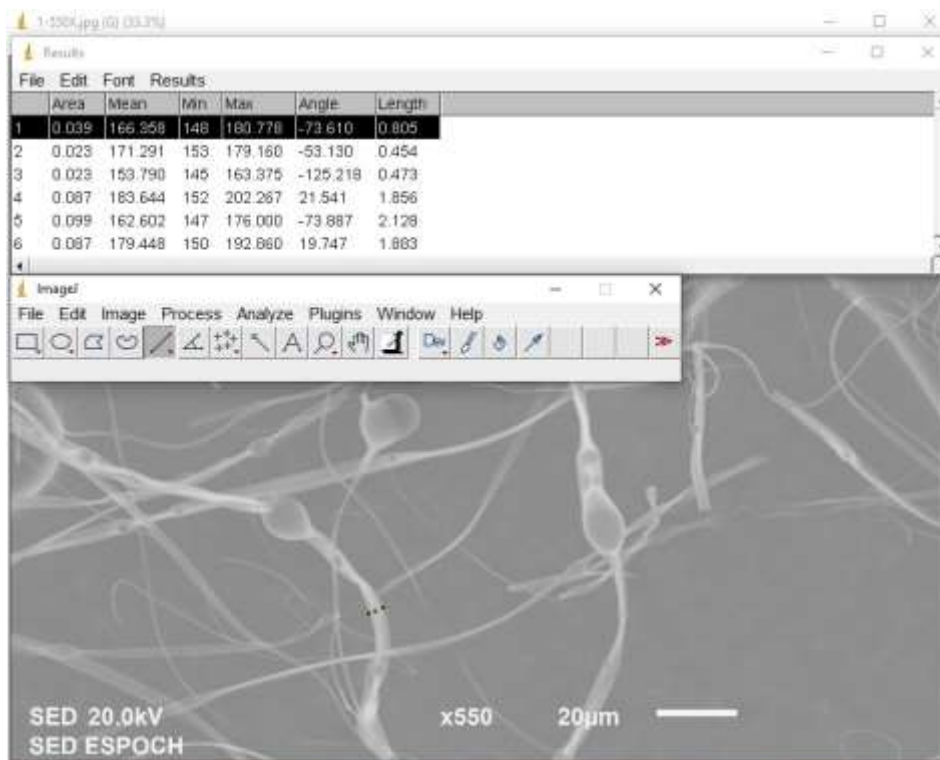
SEM a x1.200



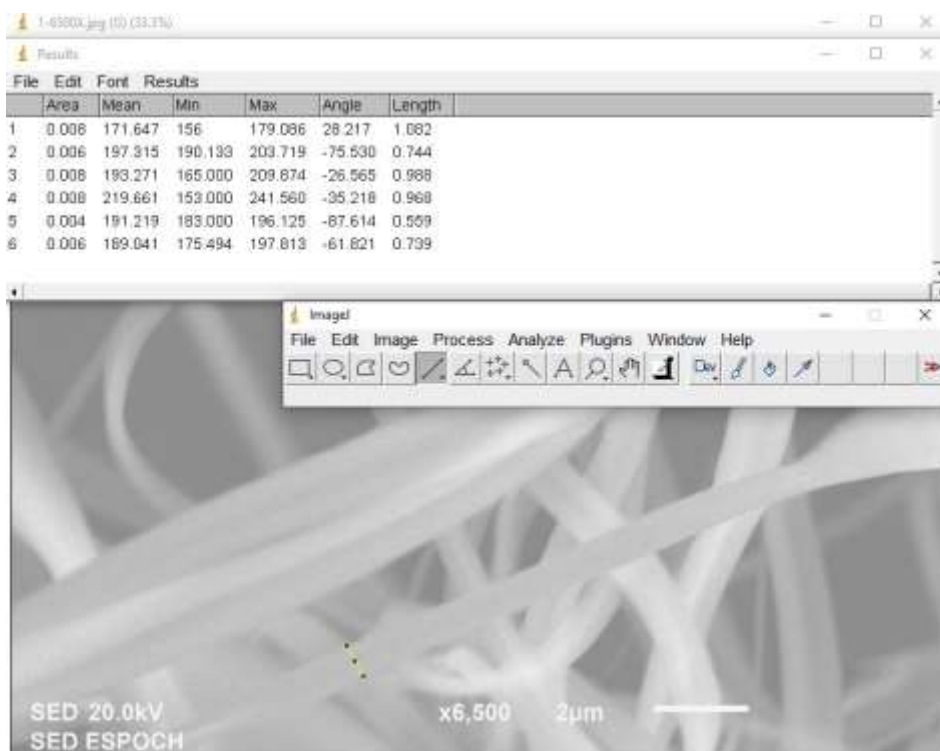
SEM a x2.000



SEM a x550

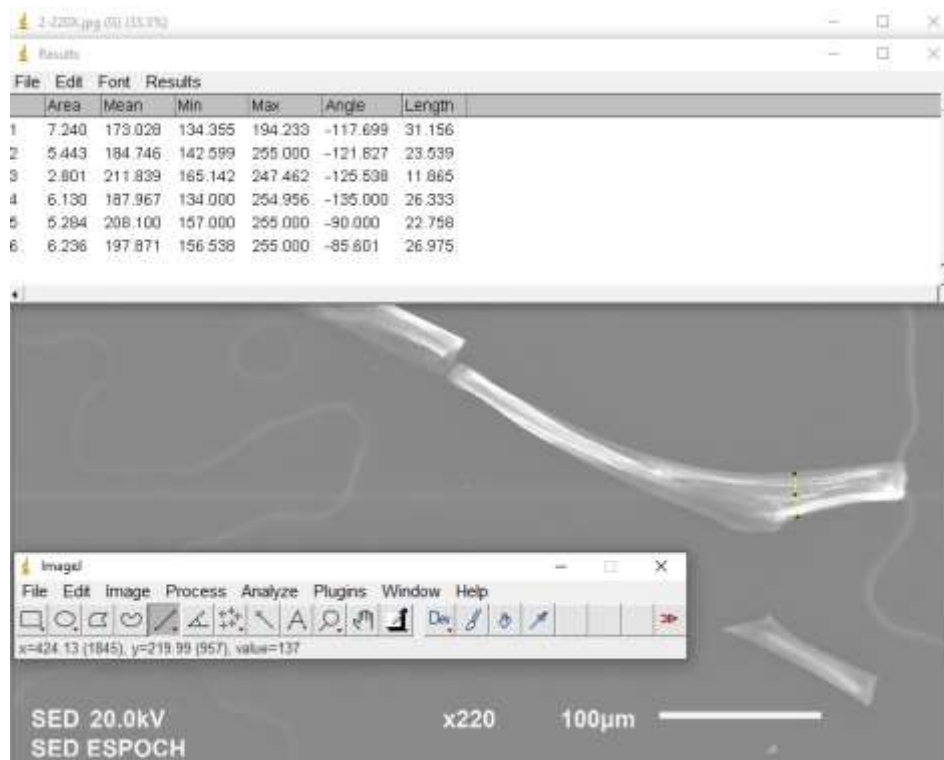


SEM a x6.500

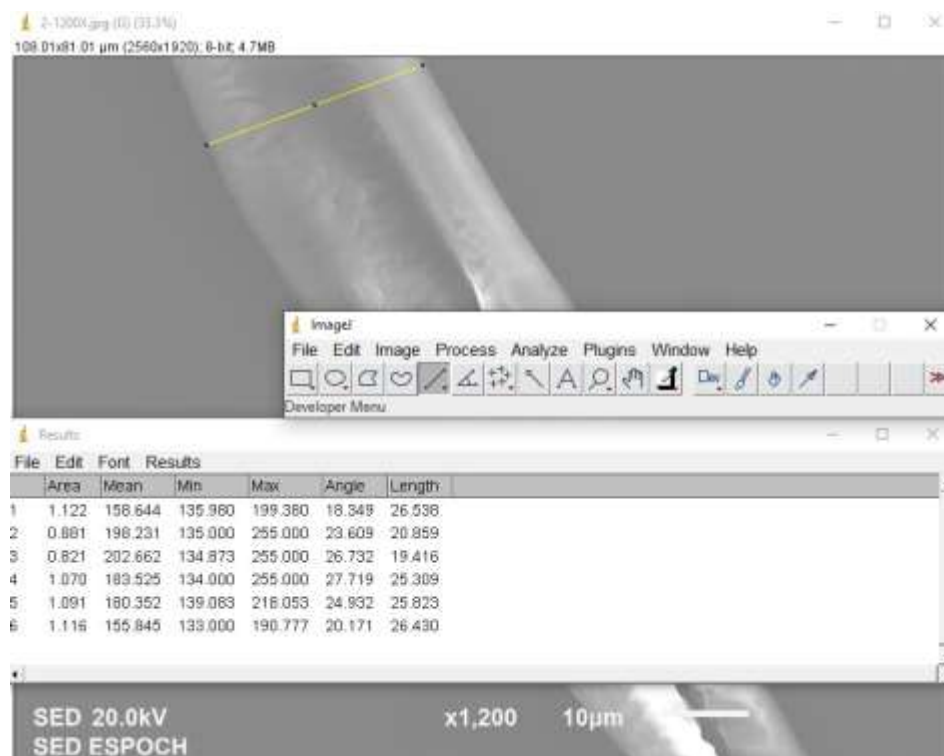


ANEXO B: MEDICIÓN DE LAS FIBRAS CON IMAGEJ DE LA SEGUNDA MUESTRA

SEM a x220



SEM a x1.200



SEM a x700

2-7008.jpg (6) (11.3%)

Results

	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length
1	1.387	182.335	133.589	255	-22.276	19.289
2	1.274	174.241	137.000	219.967	-24.386	17.709
3	1.459	163.557	138.000	185.941	-24.394	20.307
4	1.629	184.974	136.000	255.000	-14.300	22.637
5	1.470	174.596	137.000	254.856	-20.344	20.413
6	1.572	186.463	133.000	255.000	-18.970	21.831

ImageJ

File Edit Image Process Analyze Plugins Window Help

SED 20.0kV
SED ESPOCH

x700 20µm

The image shows a scanning electron microscope (SEM) image of a fiber. A yellow line is drawn across the fiber, indicating a measurement. The image includes a scale bar labeled '20µm' and technical parameters: 'SED 20.0kV' and 'SED ESPOCH'. The magnification is 'x700'. The image is displayed in the ImageJ software interface, which has a menu bar (File, Edit, Image, Process, Analyze, Plugins, Window, Help) and a toolbar with various analysis tools. The 'Results' window above the image displays a table of data for six different regions of interest (ROIs) on the fiber.



esPOCH

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 10 / 06 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Antonio Miguel Castillo Cofre
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Física
Título a optar: Físico
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.


DIRECCION DE BIBLIOTECAS
Y RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE
Y LA INVESTIGACION
Ing. Jonathan Parreño Uquillas MSc.
ANALISTA DE BIBLIOTECA 1

1132-DBRA-UTP-2022