

**TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE TIANGUISTENCO  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

*“Fibras Electrohiladas Compuesto de PEO (Oxido de Polietileno)  
con Butóxido de Titanio para Aplicaciones Energéticas”*

# TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO INDUSTRIAL**

PRESENTA:

*“Antonio Sosa Reza”*

**DIRIGIDA POR:**

*“Dra. Maribel González Torres”  
Dra. Elena Colín Orozco*

Tianguistenco, Estado de México, junio 2023

## Agradecimientos

Al ININ (Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares) por la hospitalidad, por prestar sus instalaciones para poder realizar los análisis de este trabajo.

A la UAEMex (Universidad Autónoma del Estado De México) por prestar las instalaciones del Laboratorio de Sistemas Energéticos de la Facultad de Ingeniería para la obtención de las muestras y las diferentes pruebas realizadas en este proyecto.

A la Dra. Elena Colin Orozco por el material facilitado y sus sugerencias, consejo y experiencia para realizar el presente trabajo.

A la Dra. María Guadalupe Olayo González por su amabilidad y tiempo para la obtención del análisis SEM.

A la Dra. Maribel González Torres por la revisión cuidadosa del texto y sus valiosas sugerencias en el momento de duda, así como la ampliación de conocimiento que me impartió.

A los docentes de mi institución por impartirme sus conocimientos.

Gracias a mis padres y hermanas por apoyarme en todo este trayecto de mi vida y en los distintos retos, así como mis amigos por compartir momentos de diversión y trabajo.

## Resumen

En este trabajo se obtuvieron materiales compuestos de PEO-TiOx para su posible aplicación en almacenamiento de energía solar y uso en celdas solares. Para la obtención de las fibras se utilizó el electrohilado con los parámetros de operación: 5 cm de distancia entre el rodillo y la aguja de la solución, cantidades de 1 mililitro de polietilenglicol y 5 mililitros de butóxido de titanio. Se obtuvieron 5 muestras de PEO-TiOx a diferentes voltajes: 7.7 kV, 8.8 kV, 9.9 kV, 11 kV y 12.2 kV.

Las muestras se analizaron con diferentes técnicas: microscopía óptica, su repuesta a diferentes longitudes de onda, la Microscopía Electrónica de Barrido y se realizó el mapeo elemental para observar la distribución del titanio en la superficie de las fibras.

De acuerdo al análisis morfológico que se realizó a 500X, 2000X y 2500X, se observaron morfologías con aglomeraciones en la superficie a los diferentes voltajes. A 2500X la superficie de las fibras presentaron placas de aglomerados. Al realizar el mapeo elemental se observan los elementos de Carbono, Oxígeno y Titanio los cuales se encuentran distribuidos de manera homogénea en toda la superficie del material, por lo que estos podrían ser funcionales para el desarrollo de celdas solares.

Palabras clave: fibras, electrohilado, celdas solares, PEO, TiOx

## Abstract

In this work, PEO-TiOx composite materials will be acquired for their possible application in solar energy storage and use in solar cells. To obtain the fibers, electrospinning was produced with the operating parameters: 5 cm of distance between the roller and the needle of the solution, quantities of 1 milliliter of polyethylene glycol and 5 milliliters of titanium butoxide. 5 PEO-TiOx samples were obtained at different voltages: 7.7 kV, 8.8 kV, 9.9 kV, 11 kV and 12.2 kV.

The samples were analyzed with different techniques: optical microscopy, its response to different wavelengths, Scanning Electron Microscopy and elemental mapping was performed to observe the distribution of titanium on the surface of the fibers.

According to the morphological analysis that was carried out at 500X, 2000X and 2500X, morphologies with agglomerations on the surface were observed at different voltages. At 2500X the surface of the fibers agglomerated plates appeared. When performing the elemental mapping, the elements of Carbon, Oxygen and Titanium are observed, which are distributed homogeneously throughout the surface of the material, so they could be functional for the development of solar cells.

Keywords: fibers, electrospinning, solar cells, PEO, TiOx

## Índice

Resumen .....	2
Abstract.....	3
Capítulo 1 Generalidades .....	12
Introducción .....	13
Planteamiento Del Problema.....	14
Justificación .....	15
Hipótesis .....	16
Objetivo general.....	17
Objetivos específicos.....	17
Capítulo 2 Marco teórico .....	18
2.1 Electrohilado .....	19
2.1.1 Parámetros de Electrohilado.....	19
2.1.1.1 Parámetro de operación.....	19
2.1.1.2 Parámetros de solución.....	21
2.1.1.3 Parámetro Ambiental.....	21
2.2 Principales Métodos de Obtención de Fibras .....	22
2.3 Etilenglicol.....	23
2.3.1 Estructura química .....	23
2.3.3 Síntesis .....	24
2.3.4 Propiedades eléctricas.....	25
2.3.5 Aplicaciones.....	25

2.4 PAN (Polianilina).....	25
2.4.1 Estructura Química .....	25
2.4.2 Síntesis .....	26
2.4.3 Propiedades Eléctricas.....	27
2.4.4 Aplicaciones.....	28
2.5 Butóxido De Titanio.....	29
2.5.1 Estructura Química .....	29
2.5.2 Síntesis.....	30
2.5.3 Propiedades Eléctricas.....	31
2.5.4 Aplicaciones.....	31
2.6 Energías sustentables.....	31
2.7 Espectro Electromagnético .....	32
2.8 Celdas solares .....	34
2.8.1 Clasificación de las celdas solares .....	35
2.9 Uso de PEO y butóxido de titanio en construcción de celdas solares.....	37
2.9.1 Técnicas de análisis .....	38
2.9.2 Conductividad eléctrica .....	38
2.9.3 Microscopia Óptica.....	38
2.9.4 Microscopia electrónica de barrido (SEM).....	38
2.9.5 Espectroscopia de Energía Dispersiva (EDS) .....	39
2.9.6 Hidrofilicidad .....	39

2.9.7 Ángulo de contacto .....	39
Capítulo 3 Metodología .....	41
3.0 Metodología .....	42
3.1 Investigación bibliográfica .....	43
3.2 Propiedades de los materiales .....	43
3.3 Conocer el área de trabajo.....	43
3.4 Identificar los componentes de la máquina de electrohilado.....	43
3.5 Conocer el proceso de fabricación de fibras.....	44
3.6 Realización de pruebas.....	48
3.7 Análisis de las fibras obtenidas .....	48
Capítulo 4 Resultados y discusión. ....	50
4.0 Resultados y discusiones.....	51
4.1 Análisis Morfológico .....	53
4.1.1 Microscopia óptica.....	53
4.1.1.1 PEO-TIOx 7.7 kV .....	53
4.1.1.2 PEO-TIOx 8.8 kV .....	53
4.1.1.3 PEO-TIOx 9.9 kV .....	54
4.1.1.4 PEO-TIOx 11 kV .....	54
4.1.1.5 PEO-TIOx 12.2 kV .....	55
4.2 Respuesta a diferentes longitudes de onda.....	56
4.2.1 PEO-TIOx 7.7 kV .....	56

4.2.2 PEO-TiOx 9.9 kV.....	57
4.2.3 PEO-TiOx 9.9 kV.....	57
4.2.5 PEO-TiOx 12.2 kV.....	59
4.3 Morfología (Microscopia Electrónica de Barrido SEM) .....	60
4.3.1 PEO-TiOx 7.7 kV.....	60
4.3.2 PEO-TiOx 8.8 kV.....	61
4.3.3 PEO-TiOx 9.9 kV.....	61
4.3.4 PEO-TiOx 11 kV.....	62
4.3.5 PEO-TiOx 12.2 kV.....	63
4.4 Mapeo elemental.....	64
4.5 Contenido Elemental.....	67
4.6 Ángulo de contacto .....	68
Conclusiones .....	71
Recomendaciones .....	73
Referencias.....	76

## Índice de tablas

Tabla 1. Aplicaciones y sus propiedades .....	28
Tabla 2. Especificaciones de pruebas, fuente, elaboración propia .....	52
Tabla 3. Contenido elemental de las muestras obtenidas por electrohilado a diferentes voltajes. .....	68
Tabla 4. Los incrementos de 2 $\mu\text{L}$ y los ángulos obtenidos .....	69
Tabla 5. Competencias aplicadas .....	74

## Índice de figuras

Figura 1.Montaje experimental con colector rotatorio de alta velocidad para la técnica de electrohilado.(Jiménez, 2018) .....	20
Figura 2.Estructura química del oxido de polietileno, (elaboración propia) .....	23
Figura 3.Estructura química de la Polianilina, (elaboración propia). .....	26
Figura 4.Las diferentes aplicación de la polianilia dependiendo de sus propiedades(Boeva & Sergeyev, 2014) Polyaniline: Synthesis, properties, and application. Polymer Science - Series C, 56(1), 144–153. ....	29
Figura 5.Estructura química del titanio, (elaboración propia).....	30
Figura 6.Grafica de radiación solar Khatiboun, D. F. (2019). Fuente de Iluminación de Solar de Espectro Sintetizable. ....	33
Figura 7.Radiación promedio de México Saucedo, M. C. (2022). “Síntesis Y Caracterización De Películas Semiconductoras De Cusbse2 Por La Técnica De Ablación Láser Para Aplicaciones Fotovoltaicas.....	34
Figura 8. Configuración normal e invertida en celdas de perovskita. (2020). Celdas solares de tercera generación a base de puntos cuánticos y perovskitas. Investigación Científica, 14(2), 310–315.....	37
Figura 9.Angulo de adherencia menor a 90°, (elaboración propia).....	40
Figura 10.Angulo de adherencia mayor a 90°, (elaboración propia).....	40
Figura 11.Actividades para realizar para la obtención de fibras electrohiladas, fuente, elaboración propia. ....	42
Figura 12.Componentes de la máquina de electrohilado, (elaboración propia). ....	44
Figura 13.Diagramas de preparación de materiales para la realización del electrohilado fuente, (elaboración propia). ....	45
Figura 14.Diagrama de procesos del proceso de preparación (elaboración propia) .....	46

Figura 15.Diagrama obtención e inspección de fibras electrohiladas,(elaboración propia).....	47
Figura 16.Mezcla de Etilenglicol y butoxido de titanio,(elaboración propia).....	51
Figura 17.a) Máquina de electrohilado, b) adaptación de la solución y aluminio para la obtención de fibras, (elaboración propia).....	51
Figura 18.PEO-TiOx 7.7 kV a) 500X, b) 2000X, (elaboración propia).....	53
Figura 19.PEO-TiOX a 8.8 kV a) 500X, b) 2000X, (elaboración propia).....	54
Figura 20.PEO-TiOx a 9.9 kV a) 500X, b) 2000X, (elaboración propia).....	54
Figura 21.PEO-TiOx a 11 kV a) 500X, b) 2000X, (elaboración propia).....	55
Figura 22.PEO-TiOx a 12.2 kV a) 500X, b) 2000X, (elaboración propia).....	55
Figura 23.PEO-TiOx 7.7 kV a) luz blanca, b) 402 nm (azul), c) 532 nm (verde), d) 650 nm, (elaboración propia).....	56
Figura 24. PEO-TiOx 8.8 kV a) luz blanca, b) 402 nm (azul), c) 532 nm (verde), d) 650 nm, (elaboración propia).....	57
Figura 25.PEO-TiOx 9.9 kV a) luz blanca, b) 402 nm (azul), c) 532 nm (verde), d) 650 nm, (elaboración propia).....	58
Figura 26.PEO-TiOx 11 kV a) luz blanca, b) 402 nm (azul), c) 532 nm (verde), d) 650 nm, (elaboración propia).....	58
Figura 27.PEO-TiOx 12.2 kV a) luz blanca, b) 402 nm(azul), c) 532 nm (verde), d) 650 nm, (elaboración propia).....	59
Figura 28.Micrografía de la muestra PEO-TiOx 7.7 kV con un aumento de 2500X ,(elaboración propia).....	60
Figura 29.Micrografía de la muestra PEO-TiOx 8.8 kV con un aumento de 2500X, (elaboración propia).....	61
Figura 30.Micrografía de la muestra PEO-TiOx 9.9 kV con un aumento de 2500X, (elaboración propia).....	62

Figura 31. Micrografía de la muestra PEO-TiOx 11 kV con un aumento de 2500X, (elaboración propia). .....	63
Figura 32. Micrografía de la muestra PEO-TiOx 12.2 kV con un aumento de 2500X, (elaboración propia). .....	64
Figura 33. Mapeos Elementales de C, N y O de las muestras de PEO-TiO, (elaboración propia). .....	67
Figura 34. Mediciones de 2 a 30 $\mu$ L, (elaboración propia).....	69
Figura 35. La evolución del ángulo de contacto estático, (elaboración propia).....	70

# Capítulo 1

## Generalidades

## Introducción

El presente proyecto de investigación pretende desarrollar un material que cumpla con las características de conductividad eléctrica para su posible uso como un componente de una celda solar. Uno de los materiales que adquiere interés para este objetivo se encuentra el dióxido de titanio ( $TiO_2$ ), ya que tiene un costo relativamente bajo y una gran accesibilidad, además de que su proceso de fabricación es sencillo. (Alberto et al., 2020)

Se ha reportado que la morfología que presente este tipo de materiales para aplicaciones fotovoltaicas se vuelve de particular interés debido a que se ha reportado que estructuras fibrosas pueden formar canales de conducción que favorecen el comportamiento eléctrico. En este sentido, las fibras compuestas de un polímero con un óxido metálico pueden mejorar la interacción electro-óptica favoreciendo la absorción de la radiación electromagnética.

Sin embargo, para obtener fibras de longitudes y diámetros adecuados dependerá de las condiciones de electrohilado y de las características fisicoquímicas de la solución. Considerando lo anterior, el PEO es un polímero que se ha usado para la encapsulación de proteínas entre otras aplicaciones adquiere interés en este trabajo debido a que se pretende encapsular el  $TiO_x$  y mejorar la conductividad eléctrica que es el objetivo que se pretende cumplir con este proyecto.

## Planteamiento Del Problema

En el 2019, el consumo de energía eléctrica en el mundo proviene en un 84% de energías fósiles y el resto principalmente de energía nuclear. El uso de este tipo de energías genera principalmente  $CO_2$ , el cual es emitido y contribuye a la acumulación de GEI (Gas de Efecto Invernadero) convirtiéndose en un importante factor que contribuye al cambio climático. (Piña Verdejo, 2022).

Según el INEGI el 99% de las viviendas en México tienen electricidad; en las viviendas del país hay 226.4 millones de focos de los cuales solo el 30% usa focos eficientes, mientras que solo el 0.25% utiliza fuentes alternativas de energía. (INEGI, 2018)

Uno de los objetivos que se tiene en la Comisión de Desarrollo Sustentable de las Naciones Unidas, es el uso de las energías limpias, es decir aprovechar la energía de los rayos solares mediante un módulo fotovoltaico que convierte la energía del sol en energía eléctrica (corriente continua). Para ello, se han construido diferentes celdas solares que tienen en su estructura diferentes componentes destacando marco de aluminio, jutas de silicio, vidrio, encapsulantes y plástico además de un soporte para darle rigidez y soporte adecuado, los otros materiales que son requeridos son un regulador de carga y un inversor que convierte la corriente continua del sistema a corriente alterna y una batería esta solo proporciona energía en los periodos sin luz solar.(Muñoz, 2021). Sin embargo, dado que estas celdas están compuestas de materiales semiconductores y otros componentes después de su vida útil también se vuelven una problemática debido a que se generan residuos que provocan daño al medio ambiente.

De acuerdo a lo antes mencionado, el objetivo que se tiene es obtener fibras a partir de la conjugación de propiedades entre el PEO (Óxido de polietileno) y Butóxido de Titanio para su posible aplicación como un componente de una celda solar.

## Justificación

Una de las problemáticas en México es la contaminación generada por la producción de energía eléctrica, ya que se obtiene principalmente, a partir de la combustión de energéticos fósiles y de procesos nucleares, sin embargo, hay diferentes energías sustentables que ayudan a minimizar la contaminación como son: energía eólica, solar, dentro de la energía solar se puede obtener la energía fotovoltaica (aprovecha la luz del sol) y la solar térmica (aprovecha el calor del sol) esta energía no emite gases de efecto invernadero, por lo cual ayuda a combatir el cambio climático.

Una forma de aprovechar esta energía es por medio de las celdas solares, elaboradas principalmente usando silicio y combinaciones de materiales semiconductores, en la actualidad hay diversos estudios dedicados a la investigación y obtención de materiales poliméricos para generar electrodos que permitan mejorar las características y almacenamiento de las celdas actuales, además de que se puedan ampliar las aplicaciones que se tienen actualmente.

Entre los materiales que se proponen para el desarrollo de celdas solares se encuentra el PEO (Oxido de Polietileno), usado principalmente para la elaboración de electrolitos de polímero sólido. Una de las principales formas de presentación de estos polímeros es por medio de fibras electrohiladas cuyas características apoyan en la conversión de energía solar a eléctrica. En las baterías de litio-azufre, las fibras obtenidas como matriz son colocadas a modo de recubrimiento en el cátodo, esto incrementa su estabilidad.

En este proyecto se pretende obtener fibras compuestas de PEO (Óxido de Polietileno) con butóxido de Titanio para su posible aplicación en sistemas energéticos, todo esto con el fin de desarrollar materiales que contribuyan a la disminución de contaminantes.

## Hipótesis

Las fibras electrohiladas obtenidas de la solución polimérica de PEO-Butóxido de Titanio pueden ser usadas para aplicaciones de almacenamiento de energía solar.

## Objetivo general

Obtener fibras electro hiladas de PEO-TiOx para su posible aplicación en almacenamiento de energía solar.

## Objetivos específicos

1. Realizar investigación bibliográfica sobre los temas que se relacionen con la formación de compuestos, electrospinning, polímeros, energía sustentable.
2. Establecer la metodología para obtener fibras electrohiladas de PEO y Butóxido de Titanio de forma individual a diferentes voltajes y manteniendo constante la distancia entre la aguja y rodillo, viscosidad y concentración.
3. Proponer el procedimiento para obtener fibras electrohiladas de compuestos de PEO/PAn.
4. Estudiar las propiedades de los materiales PEO/PAn.
5. Analizar y plantear las posibles aplicaciones de las fibras obtenidas

# Capítulo 2 Marco teórico

## 2.1 Electrohilado

El aumento mundial poblacional y el consumo de energía ha ocasionado el crecimiento relevante de  $CO_2$  y otros gases de impacto invernadero que ocasionan el calentamiento global y la contaminación del medio ambiente. (Dou et al., 2020)

El electrohilado es una de las maneras para generar fibras poliméricas porosas de tamaño nanométrico que poseen un área superficial alta. Gracias a su proceso fácil y bajo precio de construcción, esta técnica es un procedimiento eficaz para formar medios porosos funcionales. Esta técnica se usa en bastantes campos de aplicación, como fotocatalizadores, sensores e ingeniería de tejidos. Para aplicaciones más concretas, se añaden nanomateriales a las soluciones de polímeros que permiten mejorar las características físicas y funcionalidades extras de los polímeros puros. (Kang & Kang, 2016)

El mecanismo del proceso de electrohilado se fundamenta en la expulsión y elongación de una solución polimérica por medio de un campo electrostático. Una vez que un elevado voltaje se aplica a la solución polimérica a través de una aguja aplanada, las cargas dentro del fluido son sometidas a inducción. Cuando alcanzan una cantidad crítica de energía la solución en la punta de la aguja forma un chorro que viaja hasta llegar al colector conectado a la tierra. Durante la trayectoria del chorro al colector el solvente en la solución polimérica se evapora. Esto ocasiona que el chorro se elongue de manera continua como un filamento delgado que se deposita en un colector y una vez solidificado resulta en las fibras. Hay ciertas condiciones que tienen que ser controladas para obtener el material. (Kijeńska & Swieszkowski, 2017)

### 2.1.1 Parámetros de Electrohilado

#### 2.1.1.1 Parámetro de operación

Para realizar el electrohilado es necesario contar con un equipo especializado que permita modificar parámetros de operación.

Un equipo tradicional tiene los siguientes componentes: fuente de poder de alto voltaje, colector metálico y una jeringa con aguja metálica, como se muestra en la figura 1.

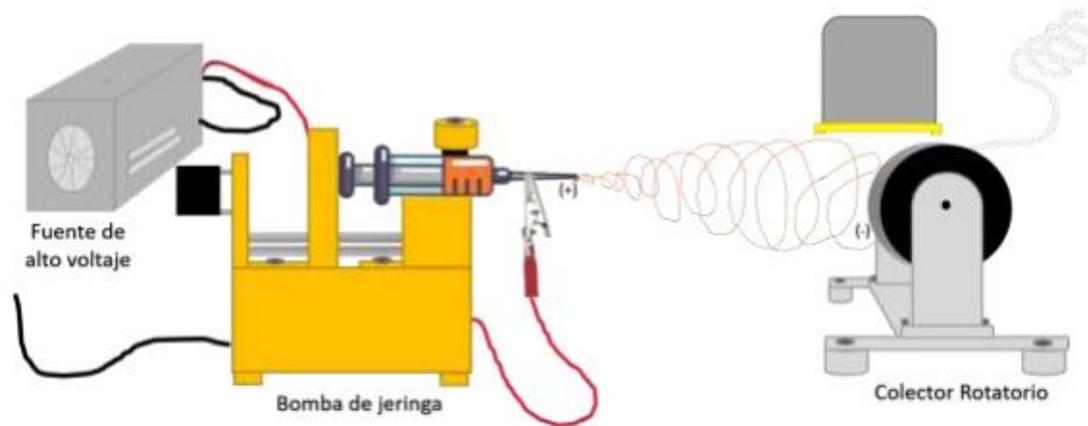


Figura 1. Montaje experimental con colector rotatorio de alta velocidad para la técnica de electrohilado. (Jiménez, 2018)

Los parámetros del proceso electrohilado que se pueden modificar son: el voltaje aplicado, la distancia y la velocidad del flujo de la solución, la conductividad, la tensión de la superficie, viscosidad y temperatura como humedad.

- Voltaje aplicado

Al aumentar el voltaje aplicado se obtendrá una aceleración del chorro lo que provoca una mayor cantidad de la solución polimérica de la punta de la aguja, un beneficio del aplicar mayor voltaje es el estiramiento de la solución polimérica por lo que se obtendrán fibras de menor diámetro.

- La distancia entre la punta de aguja y el recolector

La distancia que existe entre la aguja y el recolector tiene gran influencia pues de estos componentes dependerá la trayectoria de la solución y el tiempo que tarde en caer el material, la distancia de una configuración típica varía entre los 10 y 15 cm lo que va permitir que se pueda evaporar el solvente y al formarse la fibra esta quede seca.

- Velocidad Del Flujo De La Solución

El incremento en la velocidad del flujo de alimentación provoca que las fuerzas sean repulsivas debido a las cargas de la solución y esto no permite extraer la solución de la punta de la aguja, provocando un goteo periódico de la solución, toda esta interacción produce fibras húmedas junto con diámetro de fibra mayor, por otro lado si la alimentación del flujo disminuye puede llegar a ser insuficiente para alcanzar la velocidad de estiramiento de la fibra, por lo que es necesario un equilibrio entre la velocidad a la que estará la solución además de la velocidad que se extrae la punta de la aguja.(Faizah, 2018)

### 2.1.1.2 Parámetros de solución

Uno de los parámetros de las soluciones del electrohilado es: la conductividad; a mayor conductividad aumenta la capacidad de flexión y permite un mayor estiramiento del chorro de la solución debido al alto nivel de cargas transportadas por esta, también la viscosidad es un parámetro que se debe cuidar ya que es la que determina el diámetro de las fibras,

El último parámetro depende los materiales que se utilicen en el electrohilado para la creación de fibras ya que no todos son iguales algunos reactivos requieren parámetros específicos como la humedad ,composición del aire ,temperatura y la viscosidad.(Jiménez, 2018)

### 2.1.1.3 Parámetro Ambiental

Para poder controlar los parámetros en el electrohilado es primordial conocer los parámetros ambientales ya que depende de la humedad; en caso de laborar con disoluciones acuosas, se recomienda mantener un grado de humedad constante para facilitar la formación de fibras, como también no debe de ser nunca inferior al 30%, ni superior al 50%. otro parámetro es la temperatura ya que afecta la viscosidad de la disolución y la proporción del

disolvente evaporado, si hay un aumento de temperatura permitirá el aceleramiento del proceso de formado de las fibras.

Otro punto importante es la limpieza del lugar en dónde se esté realizando el electrohilado se debe evitar que haya polvo ya que la presencia de este provoca deformidades en las fibras obtenidas.(Vladimir et al., 2021)

## 2.2 Principales Métodos de Obtención de Fibras

Se presentan algunos métodos de obtención de fibras.

Un método para la obtención de fibras es la de PVDF/grafeno la cual consiste en la incorporación de óxido de grafeno a través de una dispersión de GO en ftalato de Di-metilo (DMPH) , es un plastificante polimérico que permite obtener un óxido de grafeno bien disperso en la matriz polimérica, las fibras que se obtienen por este método se caracterizan por tener óxido de grafeno y reducido homogéneamente disperso sin aglomeraciones.(Ramírez Segundo, 2019)

El siguiente método para la obtención de fibras es la adiabática (no se produce un intercambio de calor del sistema con el entorno, de forma que ese calor permanece constante) usando hidrogeno/oxigeno, es una técnica de cepillado con llama. La llama barre a lo largo del material, esta simultáneamente es estirada por dos etapas de transición por lo que también se presenta un equipo de cepillado en la parte inferior del material con diversos parámetros.(Ward et al., 2019)

Otro método es la obtención de fibras de corona de piña se utilizó una reacción de hidrolisis acida; consiste en la destrucción y remoción de componentes amorfos quedando únicamente segmentos cristalinos, durante su proceso es requerido controlar algunos parámetros como la temperatura ,el tiempo de reacción y el tipo de ácido , ya que la variación

de estos influyen mucho en la obtención de fibras, para obtener las fibras también ocuparon el CNC lo definen como el cristalino en forma de aguja o varilla ya que tiene un ancho de 1 a 10 nm y una longitud de cientos de nanómetros. (Pereira et al., 2020)

Electrohilado consiste en bombear la solución polimérica por medio de una jeringa con aguja metálica. Después ejercer elevado voltaje entre la punta de la aguja y el plato colector. Gracias a la fuerza del campo eléctrico y la tensión superficial, la gota finalmente del capilar se prolonga para conformar una composición cónica llamada cono de Taylor. Una vez que la fuerza del campo eléctrico supera la tensión superficial de la gota, se expulsa un chorro cargado que, a lo largo del recorrido hacia el colector está sometido a fuerzas electrostáticas que le permiten alargarse hasta conformar una fibra extensa y delgada que va a ser depositada en el colector. Finalmente, el solvente se evapora y las fibras se solidifican y acumulan en el área colectora. (Cervantes Mendiola, 2021)

## 2.3 Etilenglicol

### 2.3.1 Estructura química

El óxido de polietileno su reactivo base es el etileno, contiene dos C, dos O y 6 hidrógenos, en la figura 2 se muestra su estructura química.

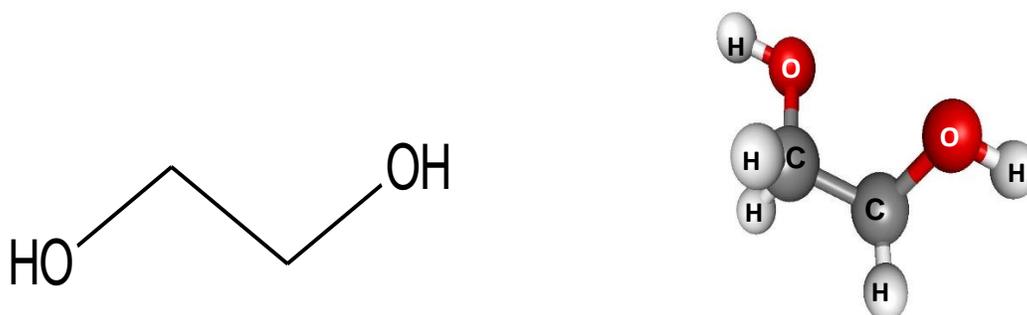


Figura 2. Estructura química del óxido de polietileno, (elaboración propia)

Es un compuesto de poliéster con una estructura química de  $H-(O-CH_2-CH_2)-OH$ , el PEO un polímero con un peso molecular mayor a 20 000 g/mol. El PEO se elabora constantemente por medio de la polimerización de óxido de etileno con apertura de anillo catiónica o aniónica, de acuerdo con el tipo de catalizador. El óxido de polietileno es un polímero cristalino, termoplástico y soluble en agua que es utilizado en una amplia gama de aplicaciones, también el PEO es un producto disponible comercialmente con muchas aplicaciones a partir de la industrial hasta la medicina. El PEO tiene una baja toxicidad y, por consiguiente, se usa en una diversidad de productos químicos, biológicos, comerciales e industriales. (Río de Vicente, 2019)

### 2.3.2 Síntesis

Algunas de las formas actuales de obtener el PEO son las siguientes:

**Síntesis Sol-Gel:** se parte de una solución coloidal (fluido), conocida como sol, esta evoluciona para formar un gel, se somete a proceso de secado resultando en el material que se desea. Para lograr que el PEO y el gel se combinen es una transición de líquido a sólido, para que estos materiales combinados formen interacciones hidrofóbicas gracias a los enlaces de hidrogeno o interacciones electroestáticas para la síntesis de geles físicos basados en PEO. (Murakami et al., 2018)

**Síntesis en suspensión:** se obtiene dispersando un monómero en agua se añade un iniciador que es soluble en el monómero, se agrega un agente de suspensión, el material obtenido es en forma de partículas.

**Polimerización en emulsión:** se necesita un iniciador que se solubilice en agua, se añade el monómero en fase acuosa y se añade un emulsificante al final se obtienen partículas.

Polimerización de plasma: se lleva a cabo en forma gaseosa por medio de presiones bajas aplicando ( $10^{-1}$  mbar) descargas eléctricas, los materiales obtenidos no tienen impurezas.

Electrohilado: Se utiliza una solución de PEO- granate que es sometida a un incremento de voltaje, lo que provoca la generación de membranas compuestas de PEO para la generación de baterías de litio de estado sólido. ( Zhuang et al., 2020)

### 2.3.3 Propiedades eléctricas

La conductividad eléctrica del PEO tiene una función directa con la temperatura en un intervalo de 45 °C a 100 °C, tiene una ligera tendencia a ser semiconductor orgánico, tiene una conductividad de  $10^{-6}$  a  $10^{-7}$  S/m, lo que lo coloca en el intervalo de los polímeros semiconductores orgánicos que oscilan entre  $10^5$  a  $10^{-7}$  S/m ,el PEO presenta de 0.09 a 1.36 eV .(GÓMEZ, 2020) (Torres-Cerón et al., 2020)

### 2.3.5 Aplicaciones

Las aplicaciones del PEO: se utiliza comercialmente en surfactantes, en alimentos, cosméticos, productos farmacéuticos, en biomedicina, como agentes dispersantes, como disolventes, ungüentos y laxantes gracias a que es líquido y sólido dependiendo de su punto de fusión.(Morales, 2009)

## 2.4 PAN (Polianilina)

### 2.4.1 Estructura Química

La Polianilina pertenece a los más versátiles polímeros conjugados, su composición elemental está dada por 6 átomos de carbono, unidos a un átomo de Nitrógeno como se muestra en la figura 3. (Arceo, 2010)

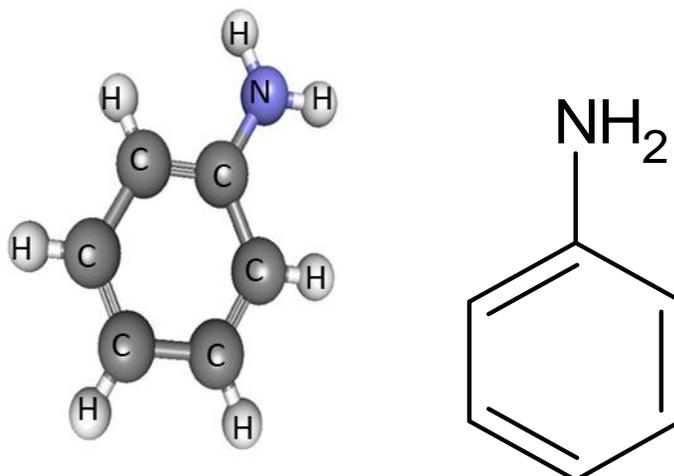


Figura 3. Estructura química de la Polianilina, (elaboración propia).

#### 2.4.2 Síntesis

La síntesis de la Polianilina se realiza por dos métodos por electroquímica contiene una disolución formada por un disolvente los cuales son el ácido sulfúrico, nítrico, clorhídrico, y un monómero Anilina, que es sometido a altos voltajes. (Larios, 2019)

Otra síntesis de la Polianilina es la química clásica que utiliza Anilina, un oxidante y un ácido normal como dopante, existen métodos físicos, como el electro-spinning y estiramiento mecánico esta pueden producir poliméricas conductoras sin plantillas (Huang et al., 2004)

Hay más métodos de síntesis polimerización como son:

- La polimerización hetero fase: esta técnica consiste que el estabilizador debe apoyar el proceso de emulsificación y la estabilidad de las gotas, esta se utiliza para producir polímeros de alta calidad con propiedades especialmente adaptadas desde una escala de volumen pequeñas a grandes

- Polimeración en emulsión e inversa de anilina :este proceso la anilina junto con un ácido protonico y un oxidante se convinan con una mezcla de agua y un solvente no polar ,para la inversa implica una formación acuosa
- Polimerización en microemulsión directa e inversa de anilina:este método es eficaz para producir partículas de polímero en rango de tamaño de 5 a 100 nm
- Polimeración interfacial de anilina :esta técnica es utilizando una mezcla de dos disolventes inmiscibles como son el agua y el cloroformo en presencia de diferentes ácidos que actúan como dopantes
- Siembra de polimerización de anilina :en esta se utiliza la anilina en polvo que actúa como semilla utilizando diferentes disolventes
- Polimerización por plasma :se va haciendo con una dispersión de gotas ,después se le inyecta directamente en una corriente plasma inducida por un reactor de descargas de CC incandescentes .(Bhadra et al., 2009)

### 2.4.3 Propiedades Eléctricas

Una forma que se conoce a la conductividad de electricidad de la polianilina se conoce como el estado de oxidación, lo que también la conductividad de polianilina aumenta con el dopaje de la forma base de esmeralda aislante sin dopar ( $\sigma < 10^{-10}$  scm) a la forma de sal de esmeraldina totalmente dopada y conductora, también cualquier interacción con la polianilina que altere cualquiera de sus procesos afectan también la conductividad.(Huang et al., 2004)

## 2.4.4 Aplicaciones

Tabla 1. Aplicaciones y sus propiedades

Aplicaciones relacionadas	Propiedades
Conductor eléctrico intrínseco	Adhesivos conductores, tintas y pinturas
Cambia la viscosidad reversiblemente bajo un campo eléctrico	Materiales plásticos y tejidos antiestáticos
Cambia de conductividad eléctrica y color según sea expuestos a ácidos, bases o sustancias neutras	Circuitos electrónicos por inkjet printing
Cambia de morfología por procesos de protonación-desprotonación y oxidación-reducción	Cambia la viscosidad reversiblemente bajo un campo eléctrico
Presenta altos valores de capacitancia	Sensores químicos (NH <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , CO, Cl <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> ...)
Habilidad para absorber y reflejar la radiación electromagnética	Membranas para separación de gases y solutos neutros
Pueden cambiar de estado altamente conductor a aislante	Actuadores de cambio de pH
Respuesta electromecánica	Capacitadores y dispositivos de almacenamiento de memoria
Habilidad para acumular y transformar	Dispositivos de apantallamiento de interferencias electromagnéticas
Energía	Dispositivos de memoria digital
Cambia de dador a aceptor electrónico según su estado de oxidación	Músculos artificiales
Emite color bajo excitación	Electrodos en baterías recargables
	Ventanas electrocrómicas e inteligentes
	Uniones p-n
	Celdas solares
	Diodos emisores de luz orgánicos (OLEDs)

Tabla 1. Diseño de polianilinas nanoestructuradas para aplicaciones termoelectricas y sensores. (Horta-Romarís, 2018).

En la siguiente figura 4 se muestra las diferentes aplicaciones de la polianilina

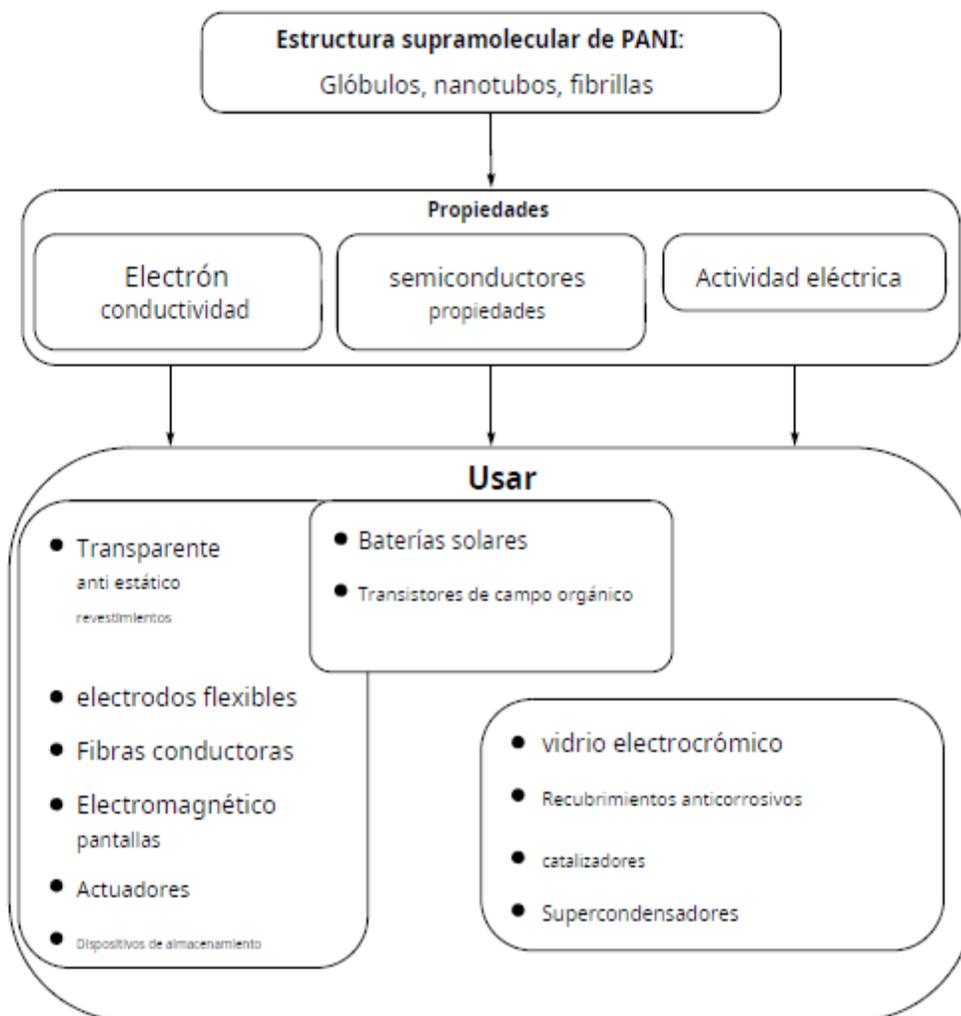


Figura 4. Las diferentes aplicaciones de la polianilina dependiendo de sus propiedades (Boeva & Sergeyev, 2014) Polyaniline: Synthesis, properties, and application. Polymer Science - Series C, 56(1), 144–153.

## 2.5 Butóxido De Titanio

### 2.5.1 Estructura Química

El  $TiO_2$  puede obtenerse de los precursores con moléculas de C como: 2 (etóxido) hasta 4 (butóxido) y su reactividad se incrementa de acuerdo con la longitud de la cadena. Las

moléculas llenan las vacantes de oxígeno en el área de  $TiO_2$  donde se distorsionan hasta que se tornan inestables y después se disocian para conformar átomos de oxígeno en el área y grupos OH, que podrían reaccionar con las moléculas de ozono, lo cual lleva a la generación de especies oxidantes inestables que reaccionan con moléculas orgánicas no quimisorción así sea en solución o en la superficie. (Véase en figura 5) (Song et al., 2010)

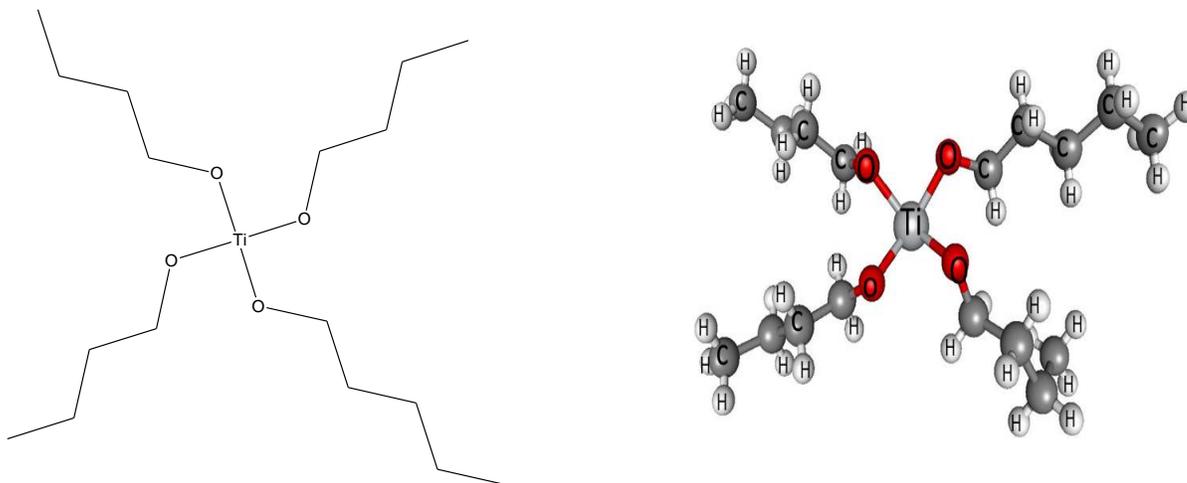


Figura 5. Estructura química del titanio, (elaboración propia).

### 2.5.2 Síntesis

Las síntesis del butóxido de titanio son las siguientes:

**Síntesis de los pre-catalizadores:** En este método se inicia pesando el compuesto de fenólico y se lleva a un recipiente, posteriormente se le agrega una cantidad de solvente y se agita hasta que esté completamente disuelto, después se le va agregando el Ti, se deja agitando a temperatura ambiente durante 12 horas, ya que se cumpla el tiempo se evaporan el solvente mediante vacío, se obtiene un compuesto sólido.

**Síntesis del co-catalizador:** se lleva a cabo este método en un recipiente con dos moles de aluminio, siguiente paso se conecta a un condensador que se encuentra acoplado a un

recirculador termostático con una temperatura de  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , después se sumerge a un baño de ultrasónico durante 30 minutos, se realiza un vacío para remover el exceso, lo que se obtiene un líquido transparente. (Mendoza et al., 2018)

### 2.5.3 Propiedades Eléctricas

El titanio, es un semiconductor no tóxico y rentable con una banda prohibida ancha ( $\sim 3,2\text{ eV}$ ) es un material muy utilizado y conocido, aunque el titanio también tiene actividad fotocatalítica pero es limitada, el titanio es activo en región ultravioleta de la radiación electromagnética es solo  $\sim 4\%$  de la luz del sol que llega a la tierra. (Darvishi & Seyed-Yazdi, 2016)

### 2.5.4 Aplicaciones

El dióxido de titanio es un compuesto llamativo gracias a la variedad de aplicaciones en las que se usa, debido a las propiedades físicas y químicas que tiene, combinadas con su baja toxicidad y alta seguridad, unas aplicaciones son:

- Se utilizan como pigmento blanco en pinturas, papel, cerámicos, vidrios, cosméticos.
- En la fabricación de aparatos eléctricos como son sensores de gas, células fotovoltaicas, dispositivos lógicos y de memoria.
- También se utilizan en construcción de superficies autolimpiadoras, para estilizar espacios cerrados o fines estéticos como son: recubrimiento de salas de hospitales, fachadas de edificios.
- Se utiliza para fotocatalizadores para la purificación de corrientes gaseosas o líquidos contaminantes de fábricas. (Navarro, 2019)

## 2.6 Energías sustentables

Las energías sustentables o renovables son las siguientes:

- La hidroeléctrica: fue una de las primeras fuentes de energías renovables utilizadas, que se basa en el aprovechar el principio de la conservación de la utilización de la energía, esta funciona cuando el agua se encuentra a una altura superior respecto al punto de descarga, después el eje de una turbina está unida al generador eléctrico que al girar convierte la energía rotativa en electricidad.
- Eólica: energía basada en usar el viento para producir el giro de un motor, el cual mueve un generador eléctrico.
- Geotérmica: energía basada en el aprovechamiento de los fluidos de alta temperatura que se encuentren en el interior de la corteza terrestre.
- Biomasa: esta igual es una de las primeras energías que el hombre utilizo, al combustionar madera u otros residuos para obtener calor /cocinar, y que hoy se utiliza para producir electricidad.
- Mareomotriz: energía basada en el movimiento de las olas.
- Concentración solar de potencias: esta energía es basada en la radiación solar que utilizan espejos para calentar un fluido de trabajo, el cual se puede almacenar o usar inmediato, con este se alimenta calor y se obtiene electricidad de manera constante a lo largo de un día.
- Solar fotovoltaica: esta energía está basada en el aprovechamiento de la radiación solar que impacta sobre una celda hecha de semiconductores, estos transforman la radiación en flujo de electrones, fue conocida desde la mitad de los siglos XX, se ha expandido gracias a la reducción de precio a comparación con la energía convencional.(Adrián & Vera, 2021)

## 2.7 Espectro Electromagnético

A la radiación electromagnética emitida por el Sol se le denomina radiación solar. Es una mezcla de tres tipos de radiación electromagnética: luz visible, radiación ultravioleta (UV) y

radiación infrarroja como se muestra en la figura 6. No toda la radiación solar llega a la tierra aproximadamente el 47% de la radiación solar incide sobre la Tierra, el 53% que resta es en parte absorbida por la atmósfera terrestre, mientras que otra parte se refleja o transmite a través de ella. En términos de energía solar, la proporción de energía que obtiene una área de área expresada metros<sup>2</sup> se llama irradiancia y es expresada como W/m<sup>2</sup>; donde W es una medida de potencia y m<sup>2</sup> es una medida de área.(Villavicencio, 2021)

La radiación solar se separa en tres rangos principales los cuales son:

- La luz ultravioleta: está a su vez esta dividida en tres que son ultravioleta C, ultravioleta B y ultravioleta A esta región abarca desde los 100nm hasta los 400nm
- El rango visible: el ojo humano puede percibirlo y va de los 400nm hasta los 700nm.
- El infrarrojo :llega de los 700nm hasta 1mm. (Khatiboun, 2019)

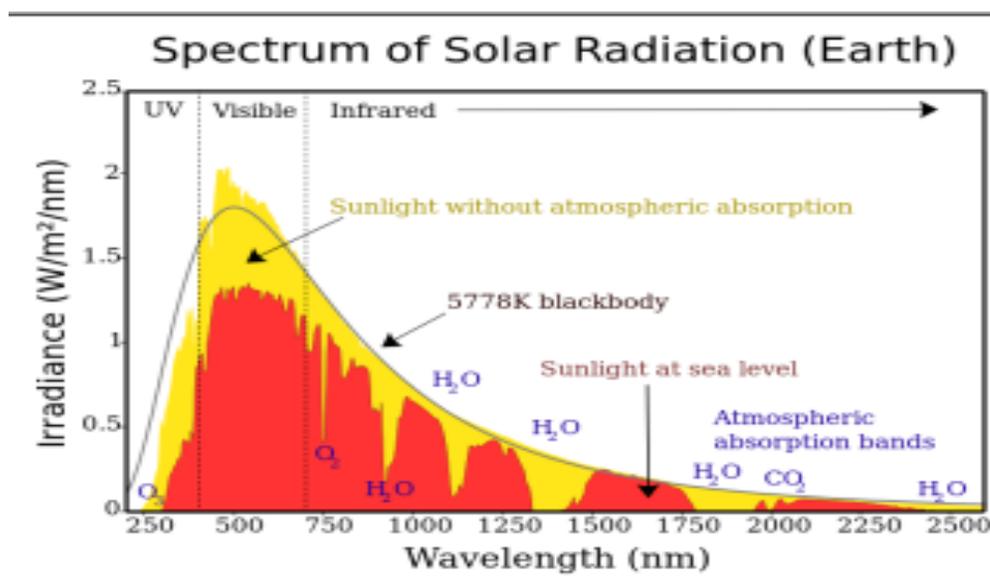


Figura 6.Grafica de radiación solar Khatiboun, D. F. (2019). Fuente de Iluminación de Solar de Espectro Sintetizable.

México está en la llamada franja solar debido a su localización geográfica, donde la radiación solar es la más alta en todo el mundo; en promedio el territorio nacional recibe en promedio 5.56 kWh/m<sup>2</sup> por día, en algunas zonas hasta 6 kWh/m<sup>2</sup> por día, lo cual representa un potencial energético fundamental y renovable que puede aprovecharse en beneficio de la nación; el reparto de radiación solar en el territorio como se muestra en la figura 7. (Saucedo, 2022)

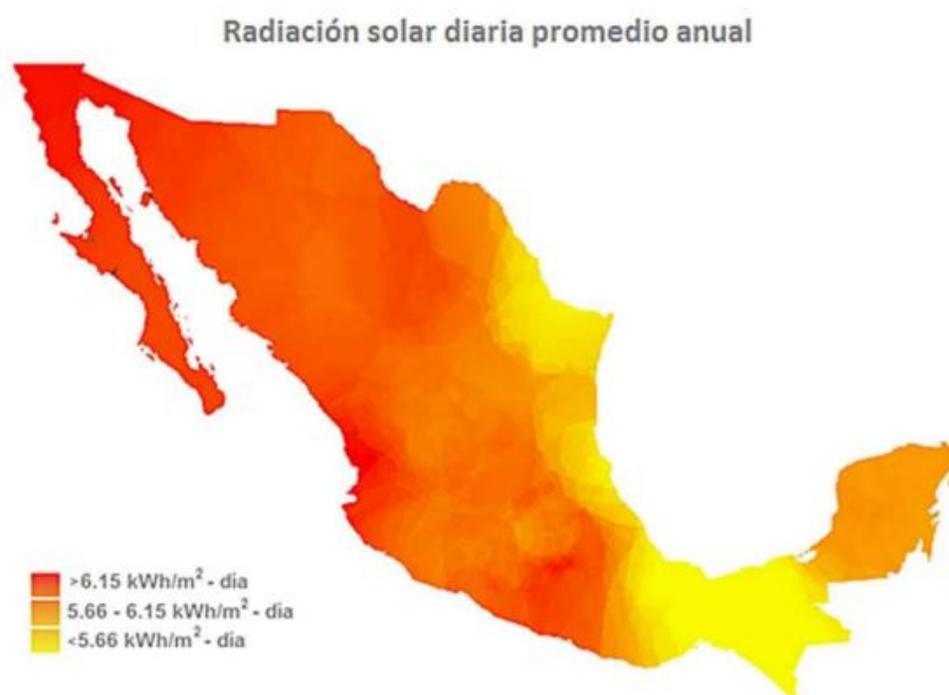


Figura 7. Radiación promedio de México Saucedo, M. C. (2022). "Síntesis Y Caracterización De Películas Semiconductoras De Cusbse2 Por La Técnica De Ablación Láser Para Aplicaciones Fotovoltaicas.

## 2.8 Celdas solares

Se definen celdas solares a una lámina delgada que no supera 10  $\mu\text{m}$  de espesor total. Las celdas solares pueden ser clasificadas de acuerdo con el espesor total de los materiales que lo conforman. Las celdas de lámina delgada usan un conjunto de materiales

semiconductores que poseen elevados coeficientes de absorción, lo que posibilita que una capa de pocos micrones absorba casi la integridad de la luz que éstos son capaces de absorber. Así, la proporción de material primordial para la construcción de estas celdas solares es bastante baja, por lo cual los procesos de preparación y técnicas de deposición tienen la posibilidad de involucrar una reducción de los precios de construcción de los módulos solares. Además de la buena absorción, la calidad electrónica de los materiales seleccionados debería ser lo suficientemente alta, permitiendo que la eficiencia con la que transforma la energía de la luz absorbida en energía eléctrica sea alta.(Troviano, 2020)

### 2.8.1 Clasificación de las celdas solares

La clasificación de las celdas solares influye una serie factores que son: el material celular, el tamaño de las celdas, en la figura 8 se puede observar la clasificación.(Rosa, 2019)

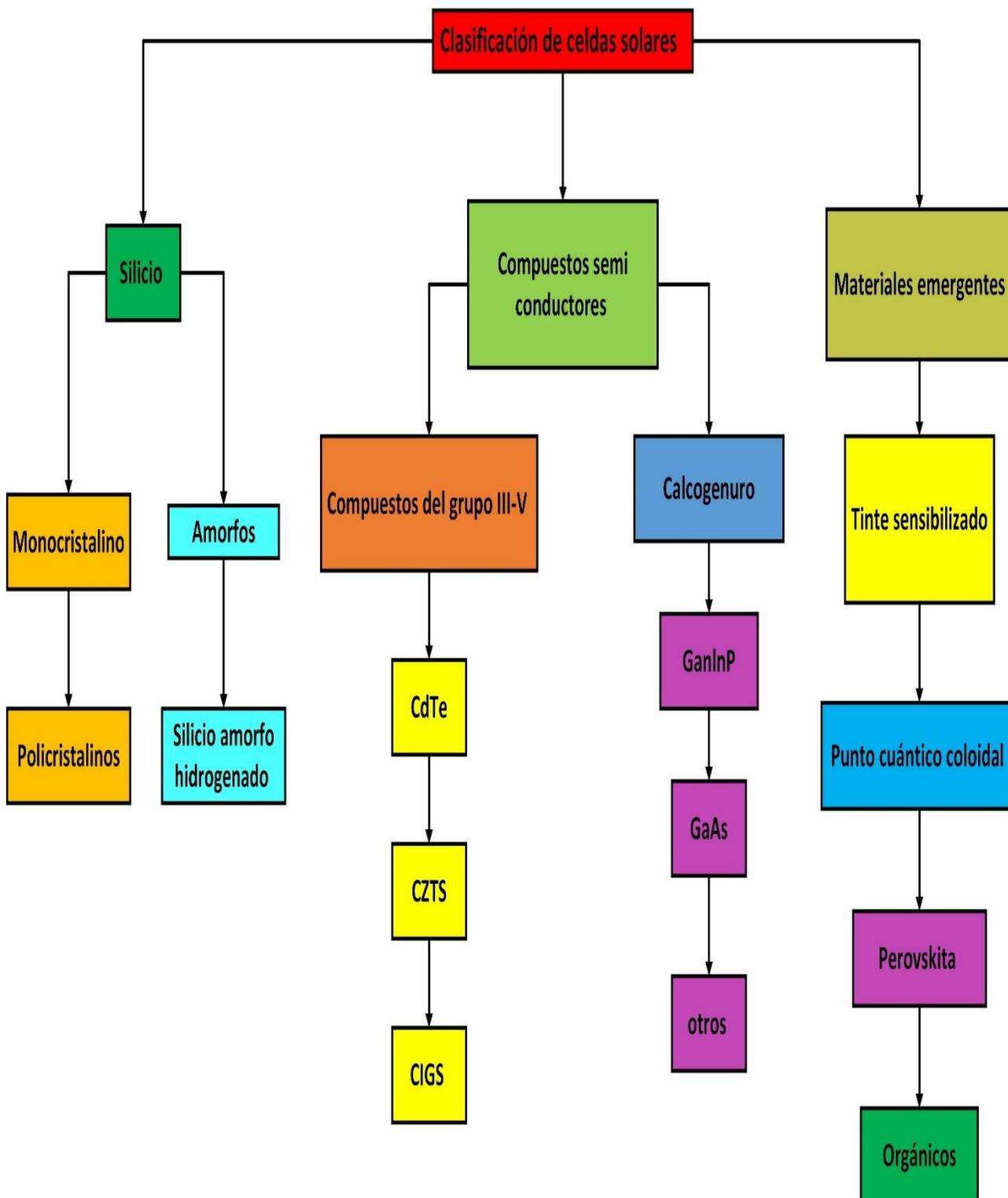


Figura 8 clasificación de celdas solares basada en el material. (2019). Diseño y desarrollo de un sistema de adquisición de datos para el análisis de paneles solares. Azcapotzalco, Unidad.

En la figura 9 se muestra un ejemplo de una estructura normal e invertida de una celda perovskita y sus diferentes capas que tienen. (Esparza et al., 2020)

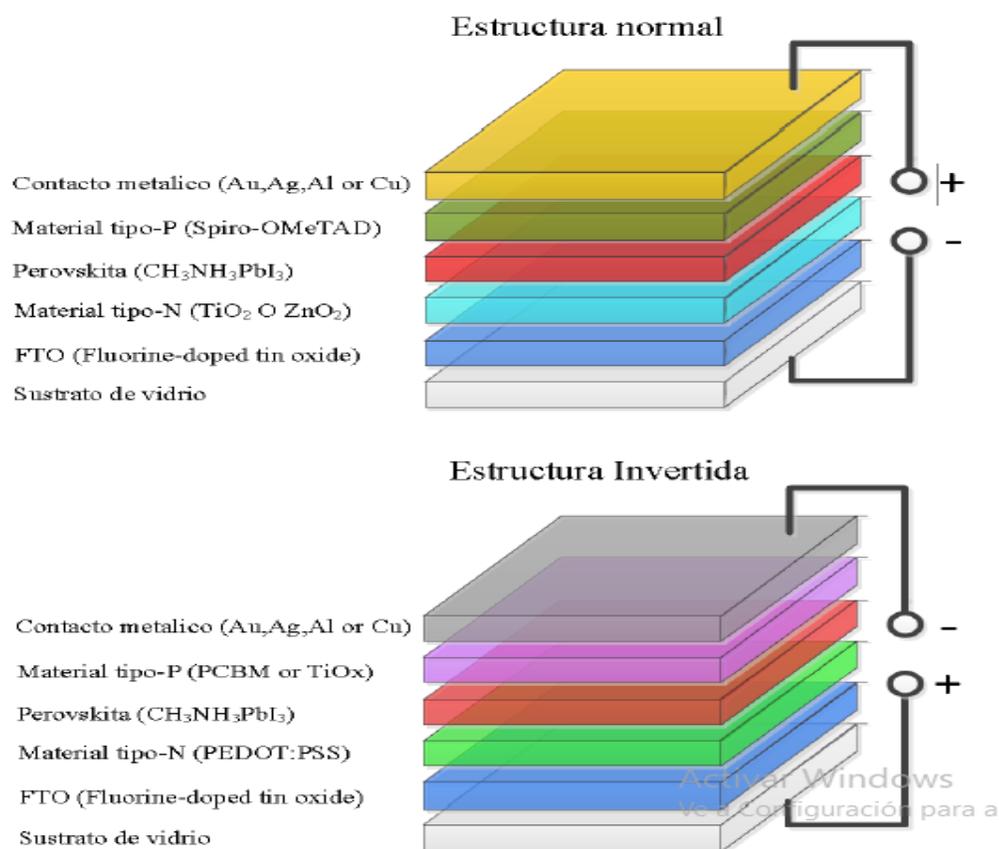


Figura 9. Configuración normal e invertida en celdas de perovskita. (2020). Celdas solares de tercera generación a base de puntos cuánticos y perovskitas. Investigación Científica, 14(2), 310–315.

## 2.9 Uso de PEO y butóxido de titanio en construcción de celdas solares

En este trabajo la propuesta es el PEO con polianilina y butóxido de titanio para la creación de fibras electrohiladas para verificar si las fibras con estos componentes son aptas para la construcción de celdas solares.

### 2.9.1 Técnicas de análisis

Se analizará una muestra del material compuesto de PEO y el butóxido de titanio por medio de microscopía óptica permitiendo observar detalladamente la morfología de los compuestos que a simple vista no es observable.

Microscopía óptica : método de analizar y estudiar en detalle todo un material ,así también relacionado las diferentes estructuras o patrones que se observe, está basada en adquirir imágenes de una muestra que se esté analizando.(Fiotto, 2020)

### 2.9.2 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica se define como la transferencia de una carga eléctrica de una posición a otra, así también dependiendo a su estructura molecular existen 3 tipos de materiales que son los conductores que son de mayores a  $10^2$  S/cm, los semiconductores van de los  $10^2-10^{-14}$  S/cm y los aislantes menores  $10^{-14}$  S/cm.(Shalimova, 1975)

### 2.9.3 Microscopía Óptica

Es una técnica que se utilizable para hacer visible los objetos que por su tamaño no son visibles por el ojo humano, se colocan lentes entre las muestras y el ojo del espectador para poder engrandecer la imagen, esto permite conocer morfología de materiales o en el caso de sistemas biológicos conocer las células y las estructuras de los tejidos.(Nisol, B. y Reniers, F.,2015)

### 2.9.4 Microscopía electrónica de barrido (SEM)

Esta técnica utiliza electrones en vez de luz para así formar una imagen de alta resolución, el equipo cuenta con un dispositivo que genera electrones para que este haz pueda incidir sobre la muestra realizando un barrido en la superficie del material y con detectores se recogen los electrones generados por la interacción con la superficie creando una imagen en la

que se visualice la información de las formas, texturas y composición química que esta contiene. (Quintana Olivares, 2016)

### 2.9.5 Espectroscopia de Energía Dispersiva (EDS)

Es una técnica que permite el análisis químico de un área superficial seleccionada de una muestra, como resultado despliega una gráfica donde se representa energía frente a intensidad, dependiendo de la composición química del material utilizado.

### 2.9.6 Hidrofilicidad

Es la caracterización de los materiales que consiste en un estudio y la obtención de información acerca de las propiedades superficiales del material y como pueden interactuar con otros materiales o líquidos ajenos al material. (Chrissafis, 2009). En otras palabras estudia la afinidad de la muestra con el agua.

### 2.9.7 Ángulo de contacto

El ángulo de contacto es el valor otorgado a la capacidad de un líquido (generalmente agua) a mojar un área determinada del sólido, la forma adquirida por la gota es proporcional a la fuerza de atracción que tiene la superficie de la muestra hacia el líquido. Si el ángulo de contacto es menor de  $90^\circ$ , la atracción del material es alta, mayor que la fuerza adhesiva de la gota como se observa en la figura 10, pero cuando el ángulo es mayor de  $90^\circ$ , la fuerza adhesiva de la gota es mayor que la atracción de la superficie como se puede observar en la figura 11. (Alghunaim, A., Kirdponpattara, S., & Newby, 2016)

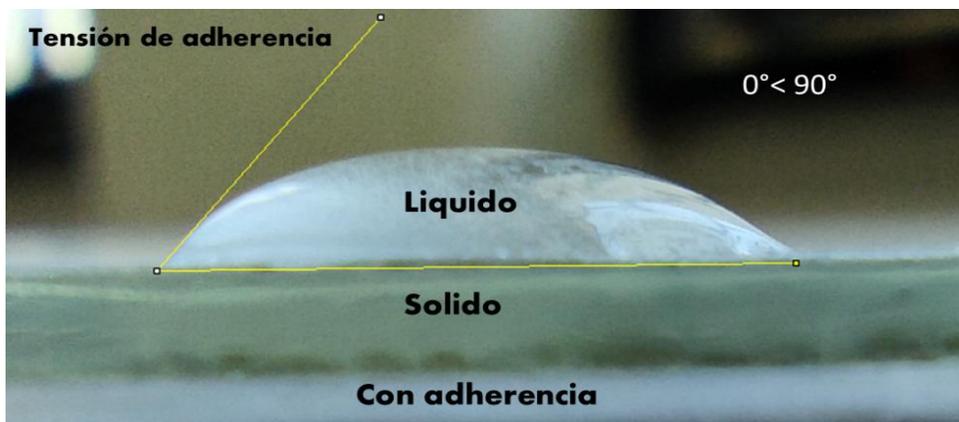


Figura 10. Ángulo de adherencia menor a  $90^\circ$ , (elaboración propia).



Figura 11. Ángulo de adherencia mayor a  $90^\circ$ , (elaboración propia)

# Capítulo 3

# Metodología

### 3.0 Metodología

Para el desarrollo del proyecto de investigación se realizaron las actividades mostradas en la Figura 12.

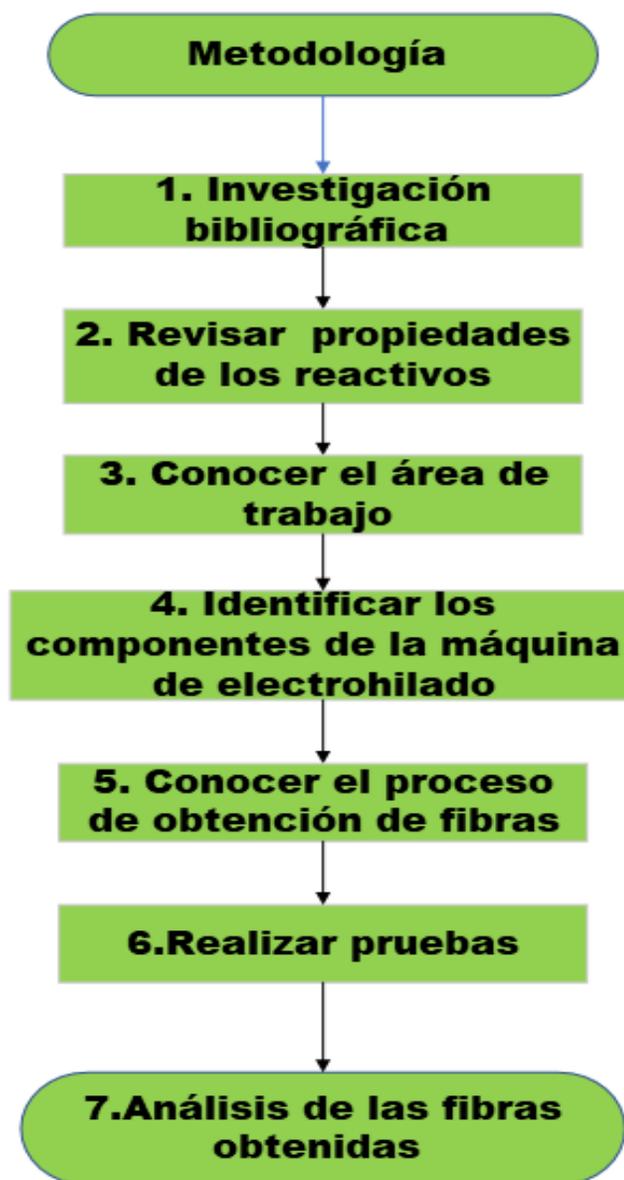


Figura 12. Actividades para realizar para la obtención de fibras electrohiladas, fuente, elaboración propia.

### 3.1 Investigación bibliográfica

Indagar conceptos en revistas tesis y páginas web de conceptos relacionados con electrohilado y materiales conductores.

### 3.2 Propiedades de los materiales

Se investigan en distintas fuentes cibergráficas y bibliográficas sobre los materiales PEO y butóxido de Titanio y Polianilina, sus propiedades y características como conductividad, aplicaciones y estructura química

### 3.3 Conocer el área de trabajo

La experimentación se realiza en el Laboratorio de Sistemas Energéticos de la Facultad de Ingeniería de la UAEMeX ubicada en Toluca donde se encuentran los equipos de electrohilado.

### 3.4 Identificar los componentes de la máquina de electrohilado

Se estudian los componentes de la maquina los cuales son: dos botones de la parte derecha uno para la inyección y el otro para el rodillo, cuenta con otro en la parte baja de la máquina para controlar el voltaje a aplicar se puede observar en la figura 13 b), además, tiene dos sujetadores para asegurar que la solución en la jeringa no se fugue. En la parte trasera hay una caja conectada a un Arduino UNO, este ya está programado con los desplazamientos necesarios para que la inyección vaya de izquierda a derecha, se tiene que realizar dos conexiones una es del Arduino y la otra a la fuente de voltaje, en los lados están dos soportes estos sirven para subir o bajar la distancia de la aguja al rodillo se observa en la figura 13 a).

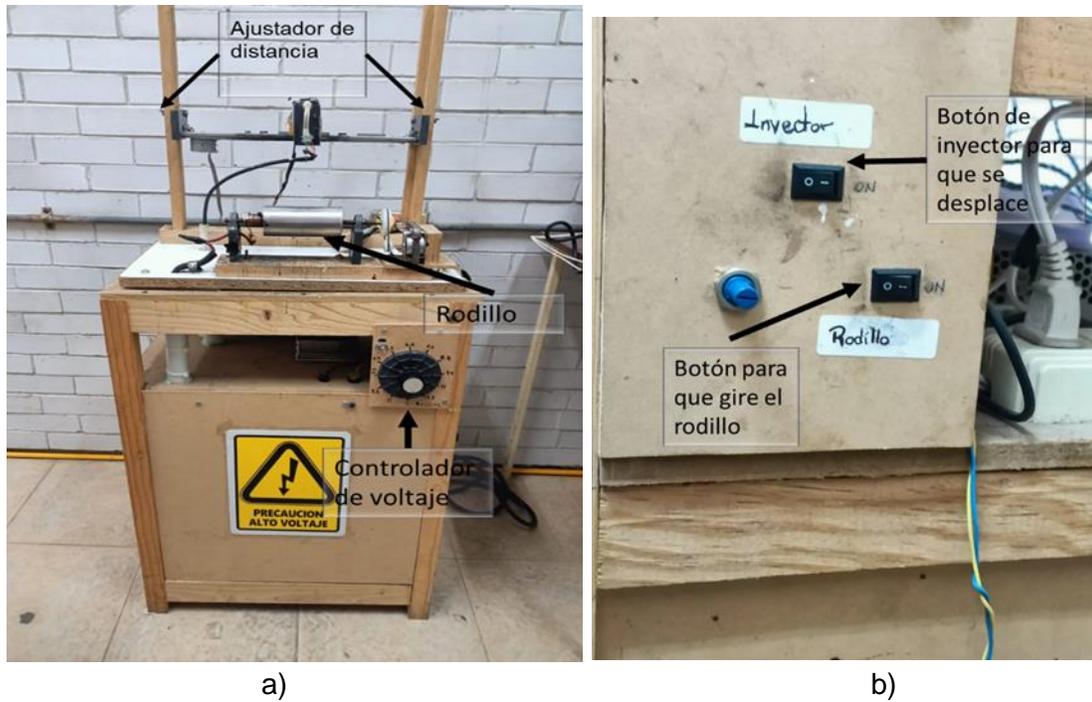


Figura 13. Componentes de la máquina de electrohilado, (elaboración propia).

### 3.5 Conocer el proceso de fabricación de fibras

Se realiza el proceso de electrohilado; es primordial ponerse el equipo de seguridad: bata y zapatos de seguridad.

A continuación, en la figura 14 y 15 se observan los diagramas que mencionan los pasos para el proceso de preparación de papel aluminio y preparación de la jeringa que son los siguientes:

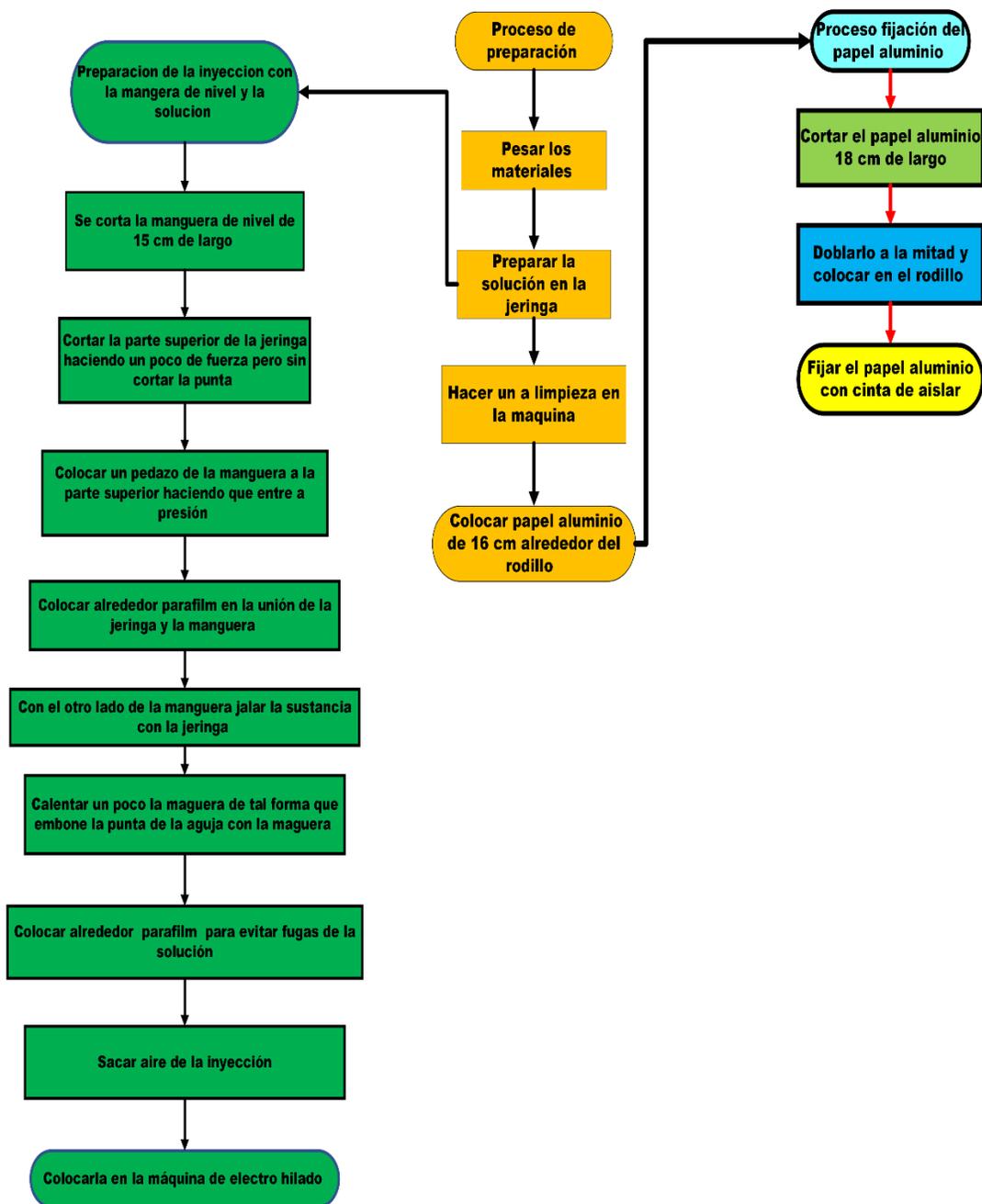
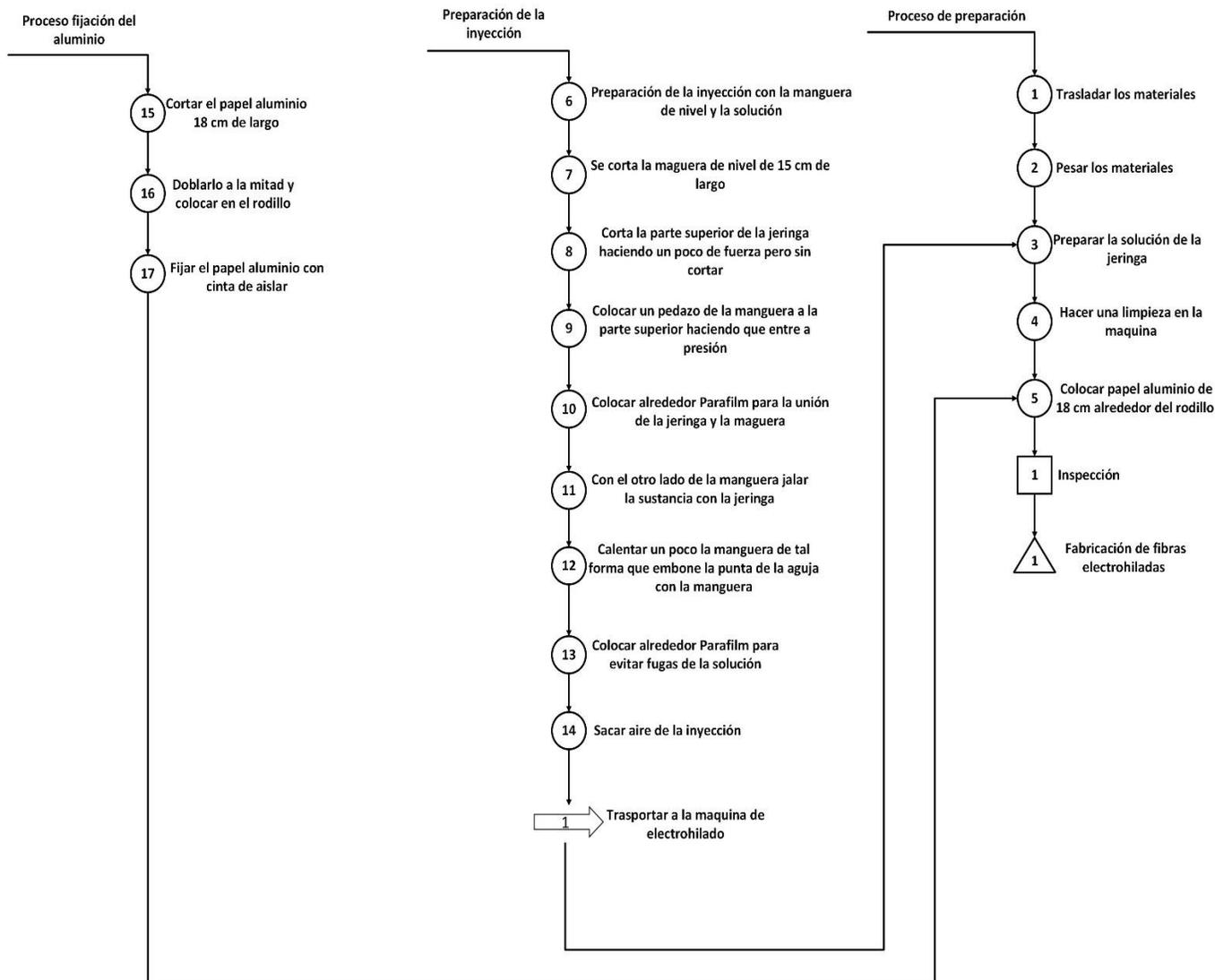


Figura 14. Diagramas de síntesis de materiales para la realización del electrohilado fuente, (elaboración propia).

Fabricación de fibras electrohiladas



Actividad	Símbolo	Total
Operación	●	17
Almacenaje	▲	1
Inspección	■	1
Trasporte	➔	1

Figura 15. Diagrama de procesos del proceso de preparación (elaboración propia)

En la figura 16 se visualizan los diagramas que menciona los pasos para la obtención de las fibras y qué hacer si ocurre un paro en el proceso lo cual son los siguientes:

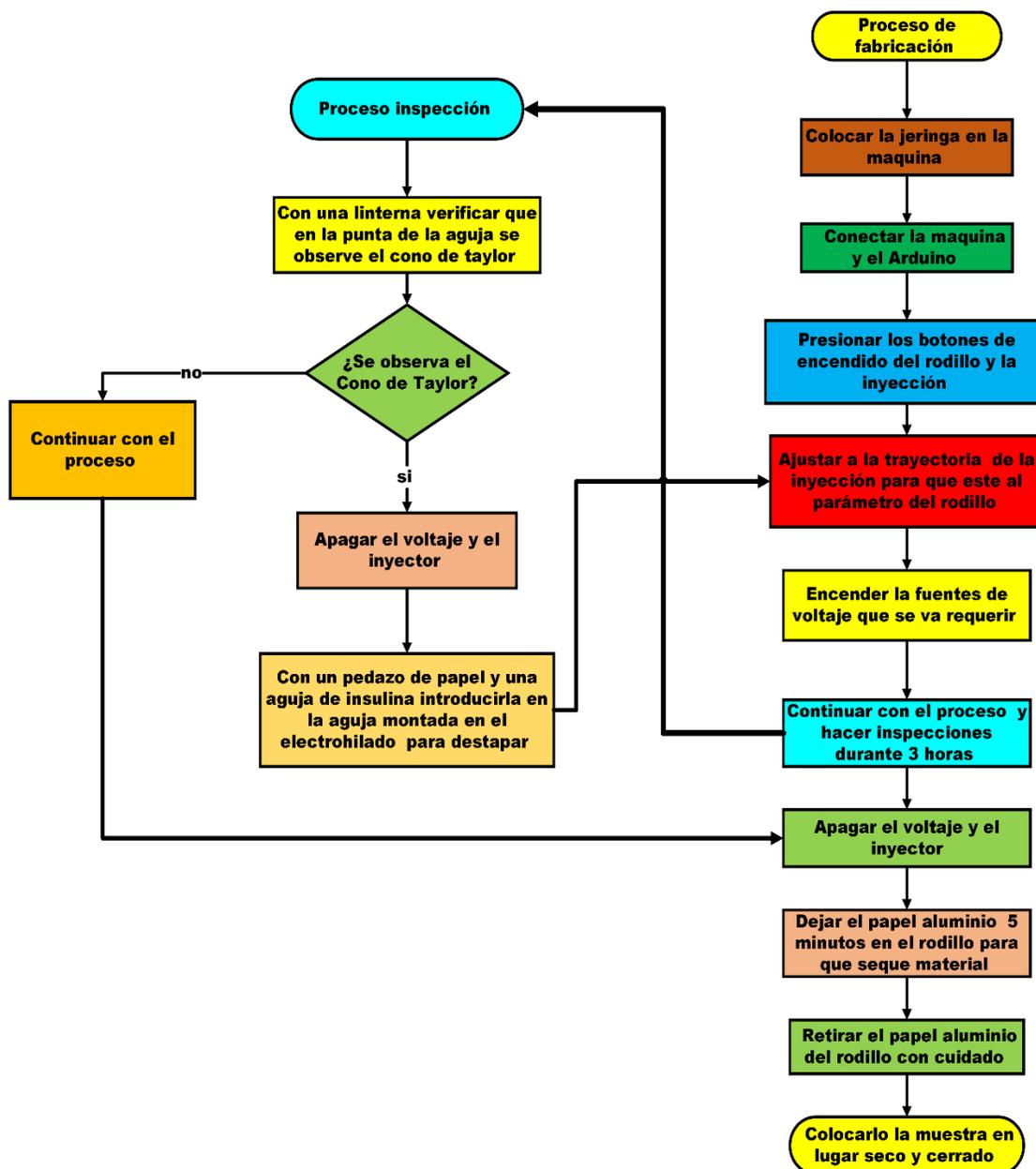


Figura 16. Diagrama obtención e inspección de fibras electrohiladas, (elaboración propia).

### 3.6 Realización y síntesis de fibras

Una vez comprendido el proceso para realizar la obtención de fibras y el funcionamiento de la fuente y máquina de electrohilado se procede a realizar pruebas variando las condiciones.

Las condiciones de obtención fueron:

- La distancia entre la aguja y el rodillo que no puede ser menos de 5cm
- Viscosidad de la solución
- Limpieza en la superficie donde se tiene que electrohilar
- Temperatura ambiente

### 3.7 Análisis de las fibras obtenidas

Análisis Morfológico

a) Microscopía óptica

Mediante la microscopía óptica se analizó la superficie y características que el material obtenido presenta. Se utilizó un microscopio óptico Inskam315w para capturar las imágenes digitales de aumento de 500X y 2000X

b) Microscopía Electrónica de barrido

Se estudia la morfología de los materiales obtenidos por electrohilado. Se realizó en un microscopio electrónico de barrido marca JEOL JSM-5900LV. El material fue recubierto con Au en un sputtering marca Denton Vacuum Desk II a 0.066 mbars, durante 120 s y 50 mA para incrementar la transferencia de cargas eléctricas en la superficie del material y así obtener las características morfológicas con mayor claridad y magnificación. Se utilizaron electrones secundarios para la obtención de las micrografías con amplificaciones entre 500x y 10000x.

c) Espectroscopia de Energía Dispersiva

Se realizó con una sonda modelo ISIS con voltaje de aceleración de 20 kV acoplada en un microscopio electrónico de barrido JEOL JSM-5900LV, permitiendo la identificación cualitativa, el análisis semicuantitativo puntual de los elementos químicos de la muestra con número atómico mayor a 6.

#### d) Angulo de contacto

El ángulo de contacto es un parámetro que caracteriza la humectabilidad del área del material y su entorno. El ángulo de contacto desarrollo durante la experimentación es el llamado método de gota sésil. Se aplicaron gotas de agua destilada con volúmenes de 2 a 30  $\mu\text{l}$  sobre la zona de las muestras, aumentando su volumen en 2  $\mu\text{l}$  con cada medida.

Por cada 2  $\mu\text{l}$  se tomaron fotografías con cámara digital del área teniendo un total de 15 fotografías, los ángulos fueron procesados con el software ImageJ en cada 2  $\mu\text{l}$  tomando en cuenta ambos extremos de la gota y promediándolos para obtener el valor del ángulo de contacto.

# Capítulo 4

## Resultados y discusión.

#### 4.0 Resultados y discusiones

Para hacer las pruebas se realizó una mezcla de Etilenglicol y butóxido de titanio por lo que se tomó un 1 mililitro de Etilenglicol de la marca J.T Baker con un peso molecular 210g/mol y 4 mililitros de butóxido de Titanio líquido, se obtiene una solución de color ámbar ver figura 17.



Figura 17. Mezcla de Etilenglicol y butóxido de titanio, (elaboración propia).

La solución preparada se coloca en una jeringa en la máquina de electrohilado para la obtención del material, en la figura 18 a) se observa la máquina de electrohilado vista superior sin la jeringa y en la figura 18 b) se muestra la jeringa con la solución preparada.

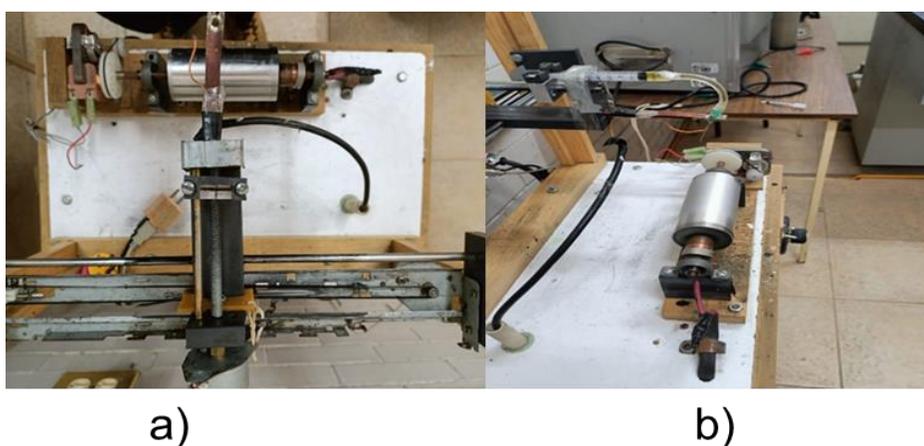


Figura 18. a) Máquina de electrohilado, b) adaptación de la solución y aluminio para la obtención de fibras, (elaboración propia).

En la tabla 2 se muestran la hora de inicio y termino de las pruebas realizadas, así como el volumen inicial de la solución, la otra variable que se controló es la distancia de la aguja al rodillo y el voltaje que fue la variable con la que se estuvieron realizando diferentes pruebas.

Tabla 2. Especificaciones de pruebas, fuente, elaboración propia

	<b>Hora de inicio y termino</b>	<b>Volumen de inicio</b>	<b>Distancia la aguja-rodillo</b>	<b>Voltaje</b>
Prueba 1	7:50am-10:50am	2.8 mL	5 cm	11 kV
Prueba 2	11:06am-2:06pm	1.0 mililitros	5 cm	7.7 kV
Prueba 3	7:40am-10:40am	1.8 mililitros	5 cm	8.8 kV
Prueba 4	10:30am-1:30pm	2.5 mililitros	5 cm	9.9 kV
Prueba 5	10:45 am-1:45pm	1.1 mililitros	5 cm	12.2 kv

El material obtenido se recolecta en el papel aluminio fijado en el rodillo, una vez terminado el proceso de electro hilado este se almacena en un recipiente con tapa para que no se contamine y no se maltrate el material así resguardarlas en un lugar seco a temperatura ambiente.

Una vez obtenido el material, se realiza el análisis de las muestras para identificar las características, similitudes y diferencias entre los diferentes voltajes.

## 4.1 Análisis Morfológico

### 4.1.1 Microscopia óptica

A continuación, se muestran la morfología de los materiales obtenidos por medio de microscopia óptica, usando un Microscopio óptico digital Inskam315w, con aumentos de 500X y 2000X.

#### 4.1.1.1 PEO-TiOx 7.7 kV

En la figura 19 se presenta el material obtenido a 7.7 kV con aumento de 500X, en la figura 19 a) donde se pueden observar aglomeraciones de formas irregulares en toda la muestra también se analizó con un aumento de 2000X figura 19 b) las aglomeraciones se puede ver pequeños reflejos esto sugiere la formación de Oxido de Titanio.

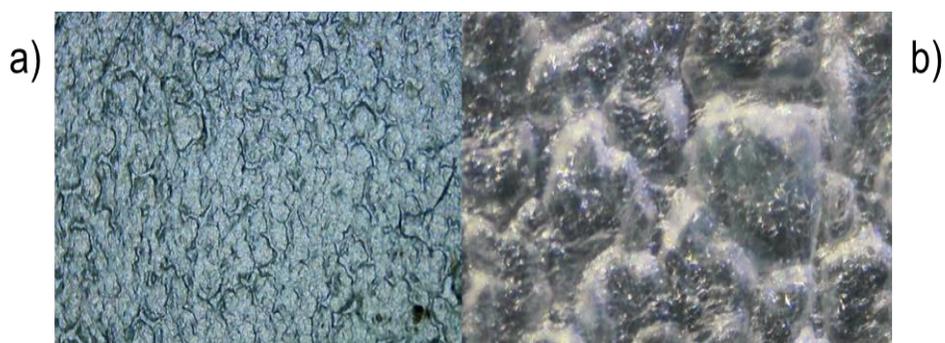


Figura 19. PEO-TiOx 7.7 kV a) 500X, b) 2000X, (elaboración propia).

#### 4.1.1.2 PEO-TiOx 8.8 kV

En la figura 20 se observa el material PEO-TiOx obtenido por electrohilado a 8.8 kV, en la figura 20 a) 500X se pueden ver pequeñas aglomeraciones con separaciones y algunos surcos, en la figura 20 b) a 2000X se observan aglomeraciones con destellos probablemente debidos a la generación de partículas de TiO.

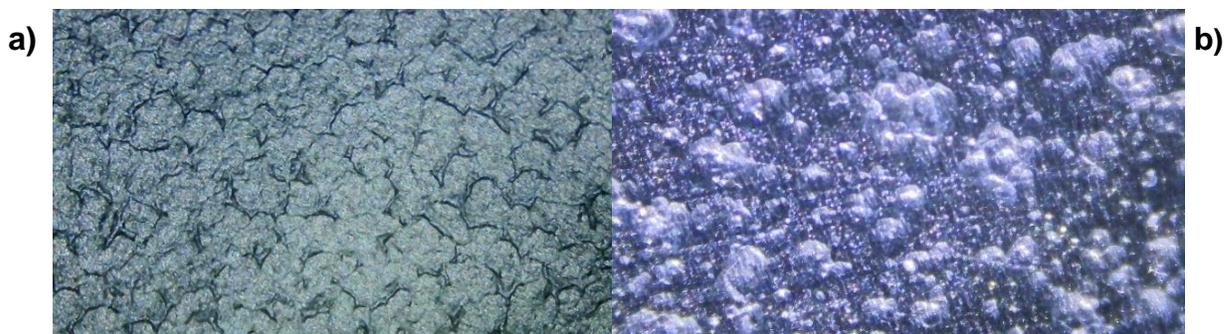


Figura 20. PEO-TiOx a 8.8 kV a) 500X, b) 2000X, (elaboración propia).

#### 4.1.1.3 PEO-TiOx 9.9 kV

En la figura 21 se puede ver el material obtenido de PEO-TiOx con voltajes de 9.9 kV se visualiza en la figura 21 a) con aumento de 500X donde se muestran aglomeraciones con surcos irregulares en toda la superficie, en la figura 21 b) a aumentos de 2000x se presentan surcos con destellos en toda la superficie.

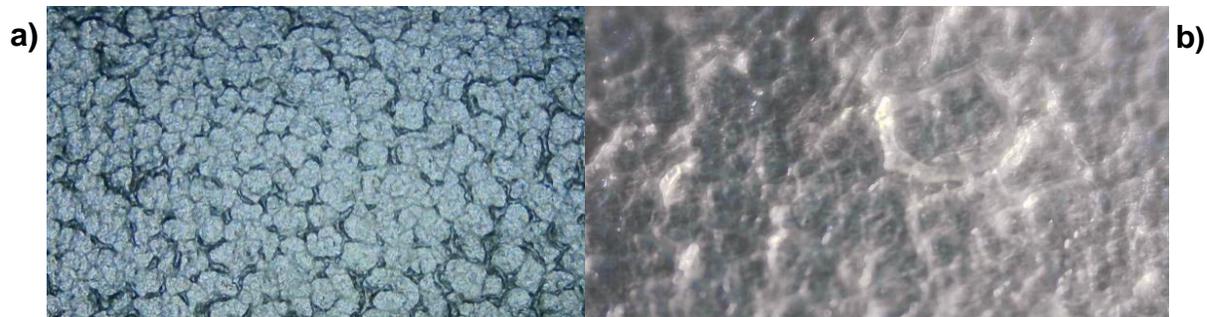


Figura 21. PEO-TiOx a 9.9 kV a) 500X, b) 2000X, (elaboración propia).

#### 4.1.1.4 PEO-TiOx 11 kV

En la figura 22 se presenta la muestra de PEO-TiOx obtenida a 11 kV, figura 22 a) con aumento de 500X, se pueden observar al igual que las pruebas anteriores que se forman aglomeraciones irregulares, sin embargo, en esta prueba los surcos formados son más

definidos en la figura 22 b) 2000X se observa las mismas aglomeraciones con formas irregulares, pero con destellos consecuencia de la probable formación de PEO-TiOx.

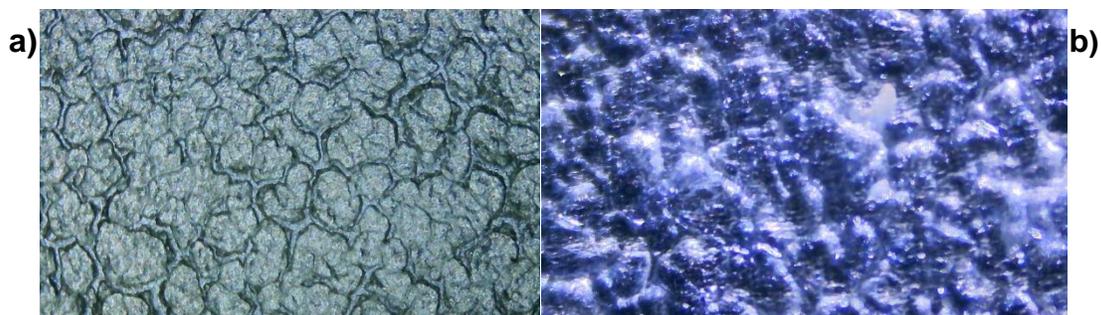


Figura 22. PEO-TiOx a 11 kV a) 500X, b) 2000X, (elaboración propia).

#### 4.1.1.5 PEO-TiOx 12.2 kV

Figura 23 se observa la muestra de PEO-TiOx obtenida por electrohidado a 12.2 kV. Figura 23 a) con un aumento de 500X, se puede ver pequeños fragmentos de fibras formando figuras irregulares, se muestran algunos fragmentos unidos entre sí, las dimensiones de las aglomeraciones son menores que las vistas en las síntesis anteriores. En la figura 23 b) se observa con aumento de 2000x se visualiza aglomeraciones.

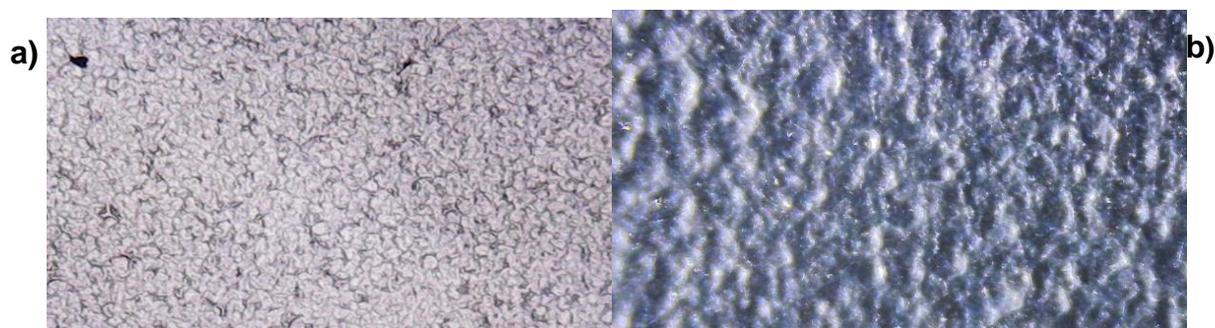


Figura 23. PEO-TiOx a 12.2 kV a) 500X, b) 2000X, (elaboración propia).

## 4.2 Respuesta a diferentes longitudes de onda

Se observaron las muestras por medio del microscopio óptico con luz blanca y se realizaron pruebas con 3 diferentes longitudes de onda: 402 nm (azul), 532 nm (verde) y 650 nm (roja) las cuales fueron colocadas en material obtenido PEO-TiOx a voltajes de 7.7kV, 8.8kV, 9.9 kV, 11kV y 12kV.

### 4.2.1 PEO-TiOx 7.7 kV

Se observa la muestra PEO-TiOx obtenida a 7.7 kV, en la figura 24 a) se le hace incidir luz blanca, en la figura 24 b) se muestra el material al incidir en este una longitud de onda de 402 nm se puede observar que la luz azul es reflejada, en la figura 24 c) se incide longitud de onda de 532 nm de color verde la cual refleja, mientras que en la figura 24 d) se ocupó una longitud de onda de 650 nm la cual se observa que esta es parcialmente absorbida por el material.

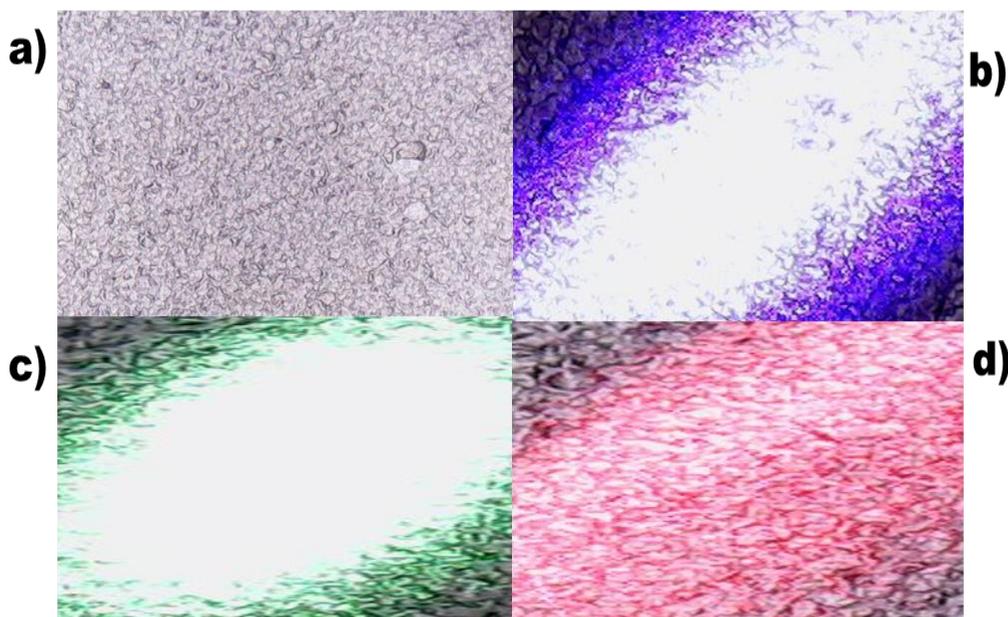


Figura 24. PEO-TiOx 7.7 kV a) luz blanca, b) 402 nm (azul), c) 532 nm (verde), d) 650 nm, (elaboración propia).

#### 4.2.2 PEO-TiOx 9.9 kV

En la figura 25 a) se observa la muestra de PEO-TiOx obtenida a 8.8 kV con luz blanca, figura 25 b) incidiendo longitud de onda de 402 nm se observa que la luz azul es reflejada en algunas zonas, mientras que en otras se absorbe, en la figura 25 c) se incide longitud de onda de 532 nm donde se observa la luz verde se refleja, la última figura 25 d) se observa con luz roja 650 nm, esta es absorbida por el material muy poca es reflejada.

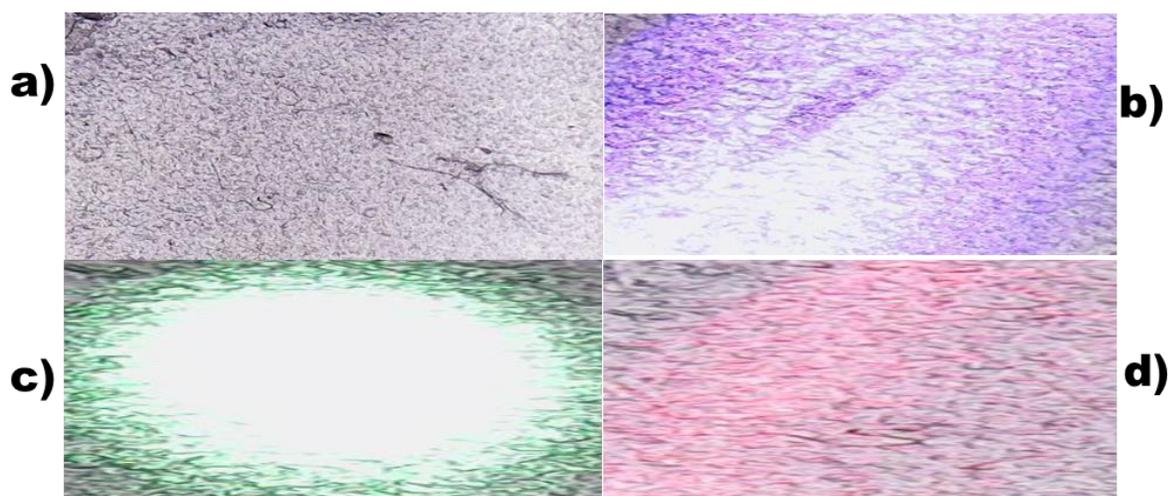


Figura 25. PEO-TiOx 8.8 kV a) luz blanca, b) 402 nm (azul), c) 532 nm (verde), d) 650 nm, (elaboración propia).

#### 4.2.3 PEO-TiOx 9.9 kV

En la figura 26 a) se observa la muestra obtenida a 9.9kV con luz blanca, en la figura 26 b) con la longitud de onda de 402 nm se observa que la luz azul es reflejada, en la figura 26 c) se incide longitud de onda de 532 nm donde se observa que al igual que con la luz azul es reflejada se absorbe, en la figura 26 d) con luz roja con la longitud de onda de 650nm donde de nueva cuenta la luz roja es reflejada.

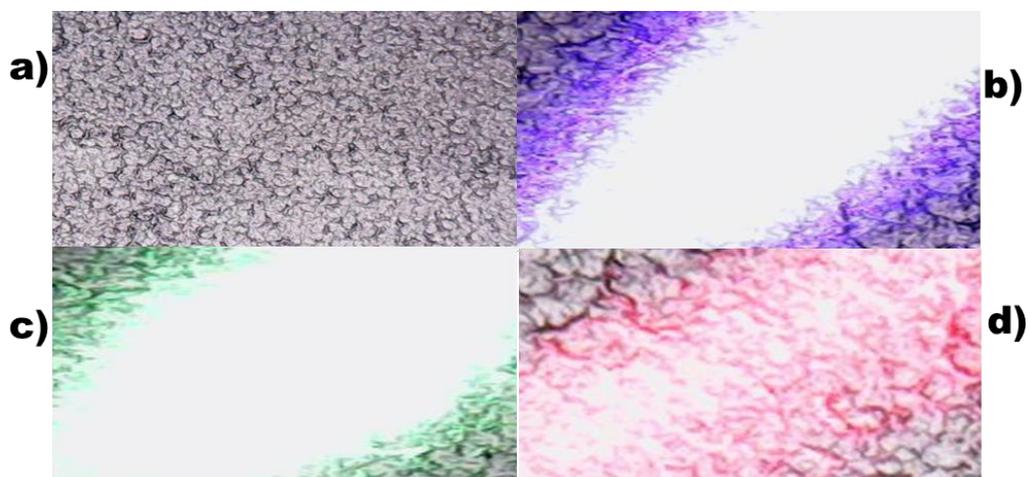


Figura 26. PEO-TiOx 9.9 kV a) luz blanca, b) 402 nm (azul), c) 532 nm (verde), d) 650 nm, (elaboración propia).

#### 4.2.4 PEO-TiOx 11 kV

En la figura 27 a) se observa la muestra PEO-TiOx obtenida a voltaje de 11 kV con luz blanca, figura 27 b) con longitud de onda 402 nm se observa que la luz azul es reflejada y solo un poco de la luz se absorbe, en la figura 27 c) se incide longitud de onda de 532 nm donde se observa que la refleja la luz verde, la última figura 27 d) con luz roja con longitud de onda de 650 nm donde se puede observar que la absorbe de tal forma que se puede ver el material PEO-TiOx.

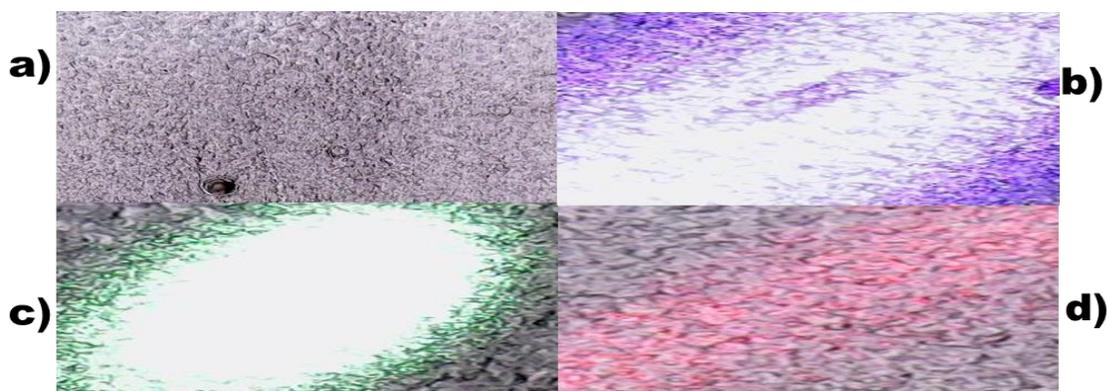


Figura 27. PEO-TiOx 11 kV a) luz blanca, b) 402 nm (azul), c) 532 nm (verde), d) 650 nm, (elaboración propia).

#### 4.2.5 PEO-TiOx 12.2 kV

En la figura 28 a) se observa la muestra obtenida con un voltaje 12.2 kV, con luz blanca, en la figura 28 b) con longitud de onda 402 nm se observa que la luz azul es reflejada, en la figura 28 c) se incide una longitud de onda de 532 nm donde se observa que la no es absorbida, la última figura 28 d) se observa que la luz roja con longitud de onda de 650 nm donde se puede observar que se absorbe una parte de la luz roja.

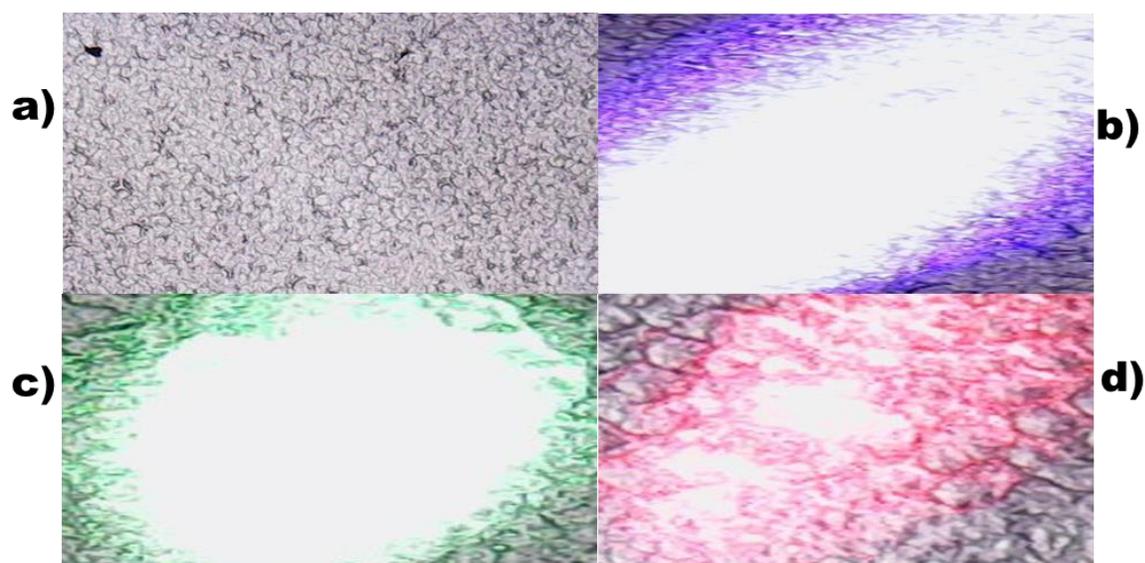


Figura 28. PEO-TiOx 12.2 kV a) luz blanca, b) 402 nm (azul), c) 532 nm (verde), d) 650 nm, (elaboración propia).

En conclusión, las muestras de 9.9 kV y 11 kV son las que absorben las longitudes de onda de 650 nm, esta prueba se realizó con el fin de observar que longitudes de onda son absorbidas o reflejadas por las muestras obtenidas. Al analizar los resultados se observa que las longitudes de 535 nm y 405 nm son reflejadas, esto sugiere que el material obtenido puede usarse principalmente para la absorción de energía en valores cercanos al Infrarrojo como reflejante para las otras dos longitudes de onda.

### 4.3 Morfología (Microscopia Electrónica de Barrido SEM)

Se observa las muestras a voltajes de 7.7 kV, 8.8 kV, 9.9 kV, 11 kV, 12 kV en un microscopio de barrido con un aumento de 2500X para observar la morfología del material obtenido.

#### 4.3.1 PEO-TiOx 7.7 kV

En la figura 29 se observa la superficie de la muestra obtenida a 7.7 kV donde se observan aglomeraciones formadas de fragmentos del material, se observa pequeñas separaciones también además de que todas son irregulares, aunque algunas de ellas comienzan a formar partículas.

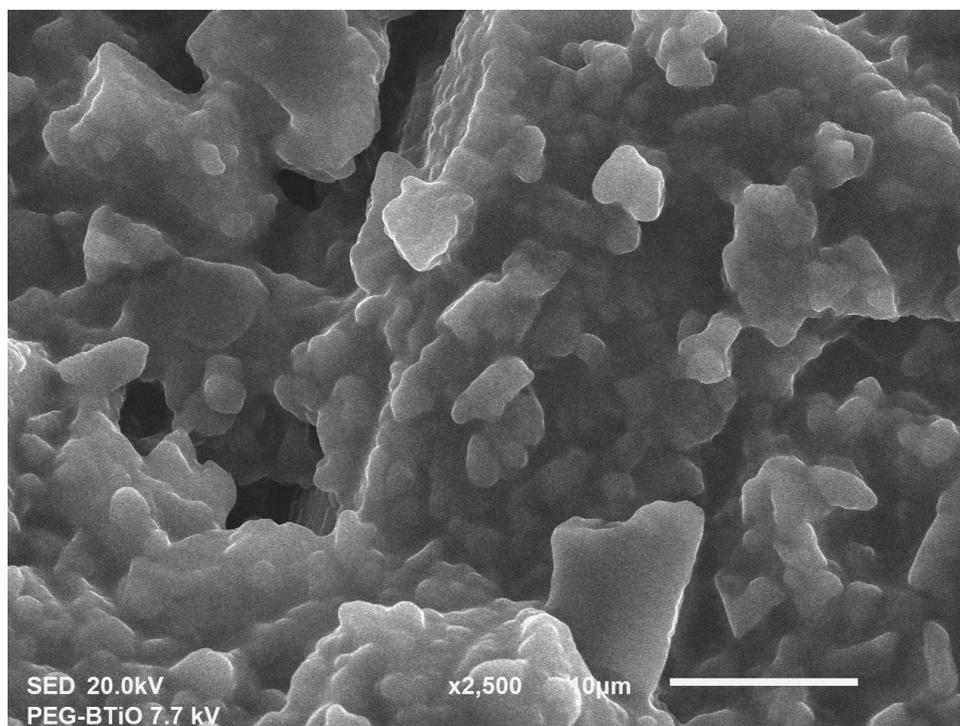


Figura 29. Micrografía de la muestra PEO-TiOx 7.7 kV con un aumento de 2500X ,(elaboración propia).

#### 4.3.2 PEO-TiOx 8.8 kV

En la figura 30 se observa la superficie de la muestra obtenida a 8.8 kV con un aumento de 2500X en esta se puede observar que el material está formado por capas superpuestas, además se puede ver pequeñas fisuras en el material con aglomeraciones en toda la superficie.

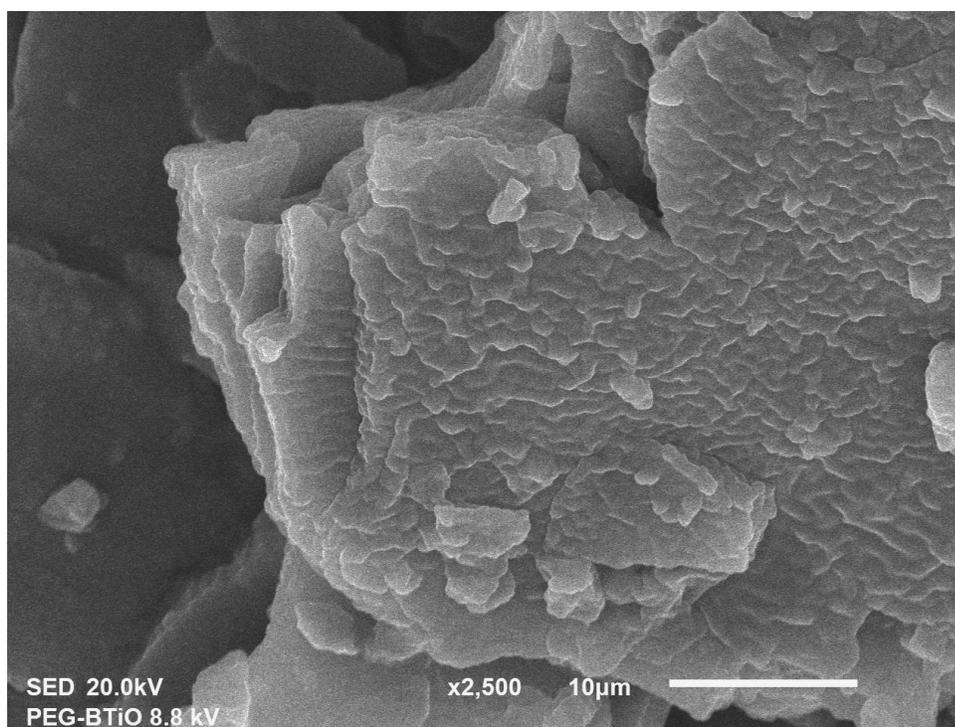


Figura 30. Micrografía de la muestra PEO-TiOx 8.8 kV con un aumento de 2500X, (elaboración propia).

#### 4.3.3 PEO-TiOx 9.9 kV

En la figura 31 se observa la muestra obtenida a 9.9 kV con un aumento de 2500X aquí se observan fragmentos en la superficie del material también se pueden ver pequeños grupos de aglomeraciones distribuidos aleatoriamente en el material.

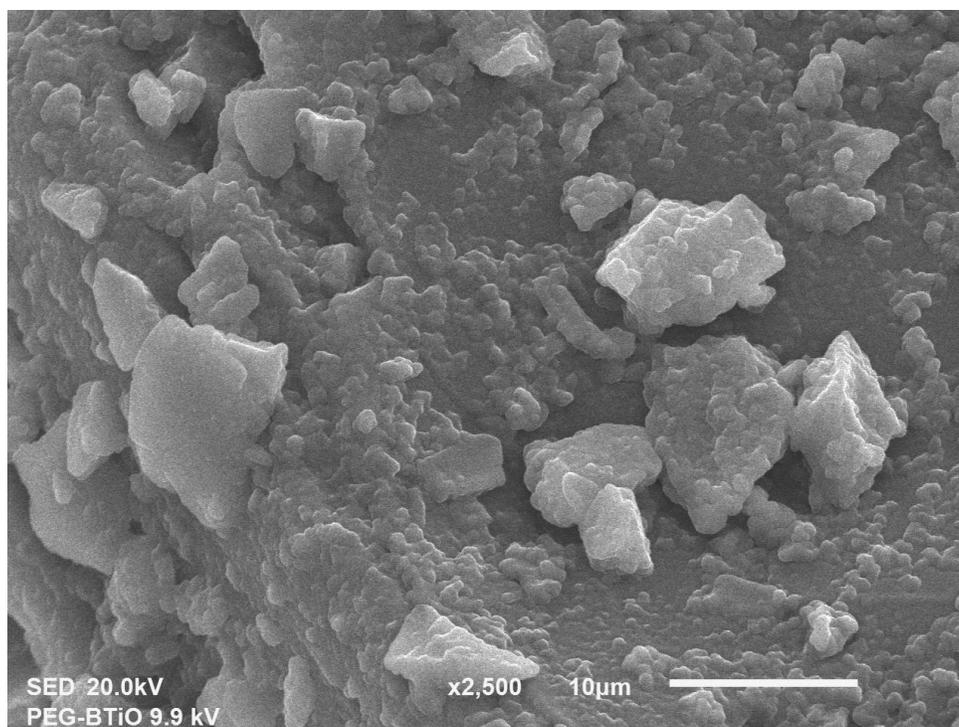


Figura 31. Micrografía de la muestra PEO-TiOx 9.9 kV con un aumento de 2500X, (elaboración propia).

#### 4.3.4 PEO-TiOx 11 kV

En la figura 32 observa la muestra obtenida a 11 kV con aumento de 2500X esta muestra se puede visualizar fisuras en toda la superficie del material, con menos aglomeraciones y con vacíos y huecos en distintas áreas del material junto con fragmentaciones.

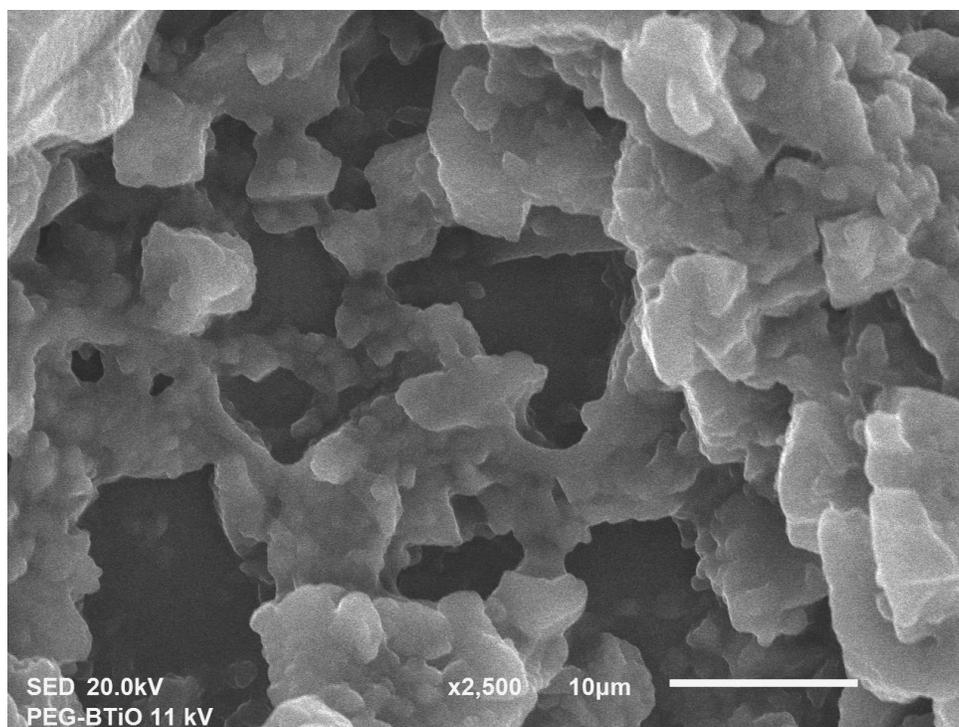


Figura 32. Micrografía de la muestra PEO-TiOx 11 kV con un aumento de 2500X, (elaboración propia).

#### 4.3.5 PEO-TiOx 12.2 kV

En la figura 33 se observa la muestra obtenida a 12.2 kV a aumento de 2500X en esta muestra se observa una superficie con fisuras y fragmentaciones en distintas partes junto con aglomeraciones irregulares y agrupadas, se observa rugosidad en toda la superficie.

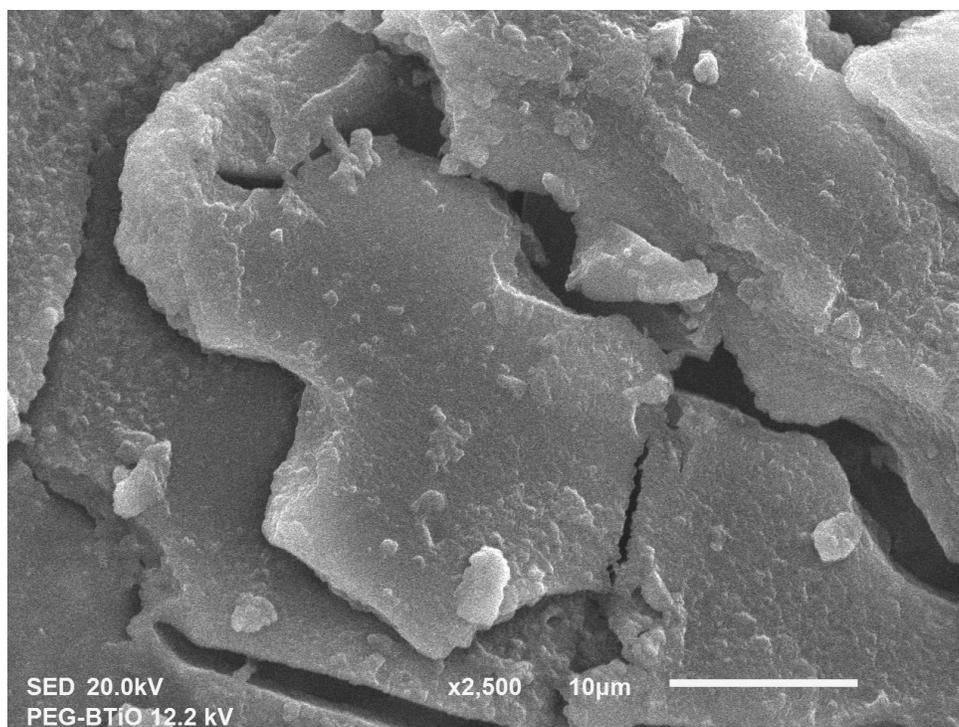


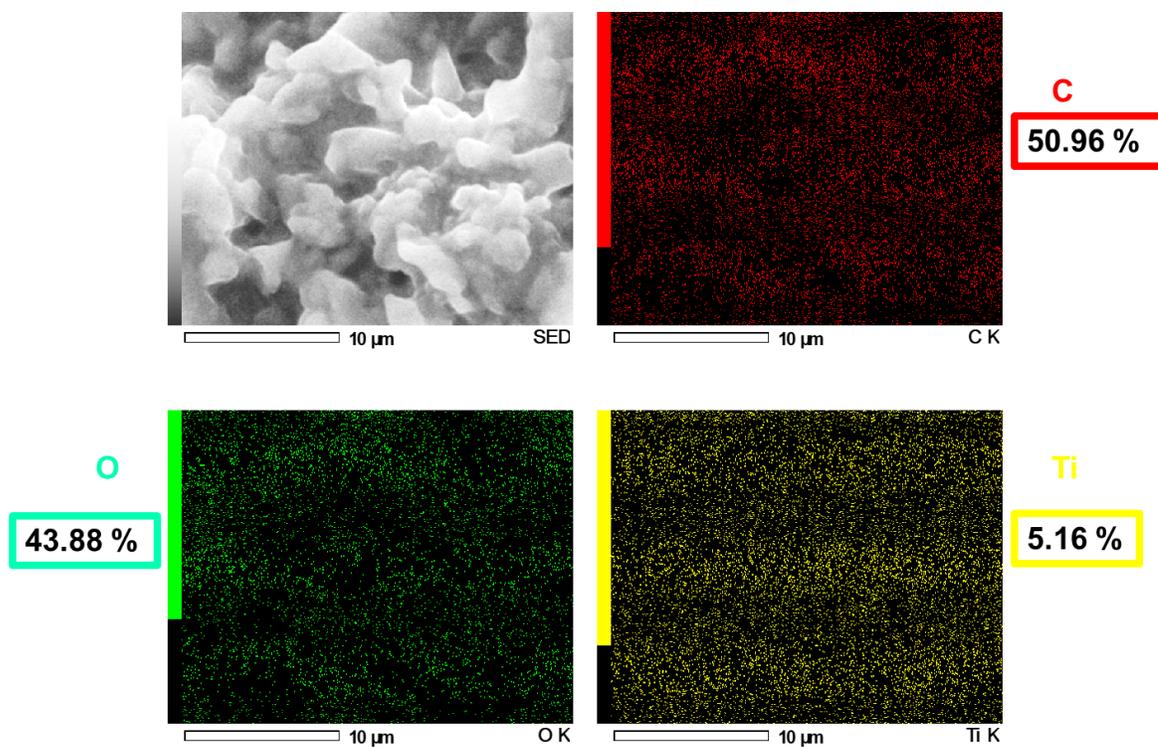
Figura 33. Micrografía de la muestra PEO-TiOx 12.2 kV con un aumento de 2500X, (elaboración propia).

#### 4.4 Mapeo elemental

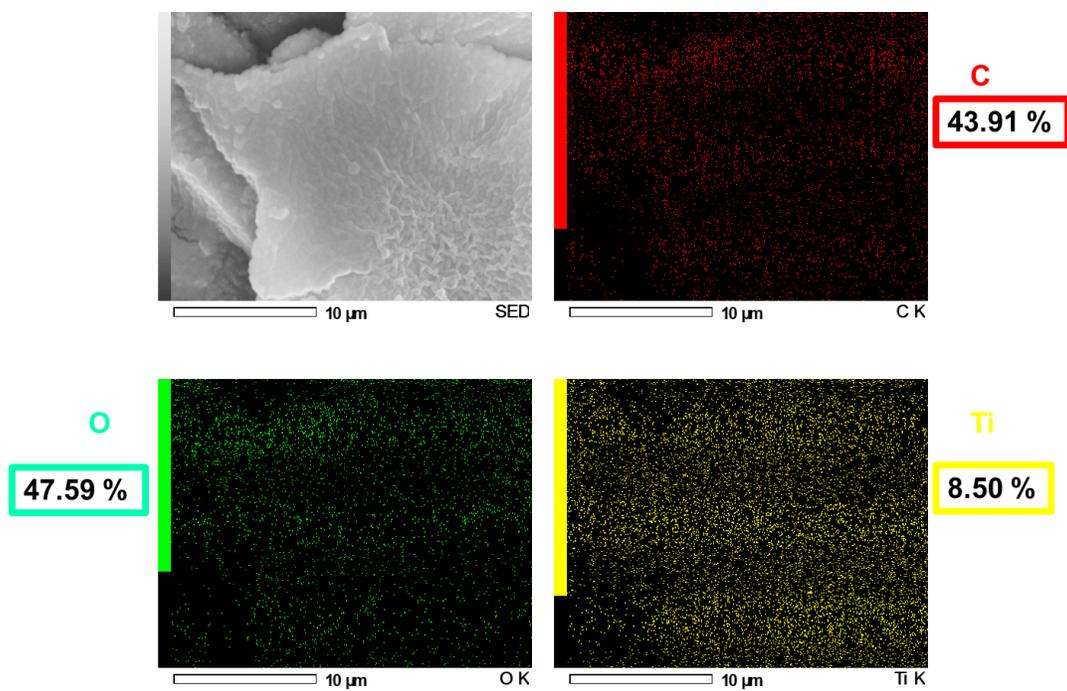
Se realiza el análisis a las muestras mediante mapeos para identificar la distribución atómica de los diferentes elementos del material obtenido de PEO-TiOx.

En la figura 34 se muestra los mapeos, donde se observa en área de análisis del material a 2500X, así como la distribución de los elementos que lo componen que corresponden al Carbono (rojo), Oxígeno (verde) y Titanio (amarillo) respectivamente. Los tres elementos se encuentran distribuidos en toda la superficie de la muestra. Se presenta también los porcentajes de cada uno de los elementos.

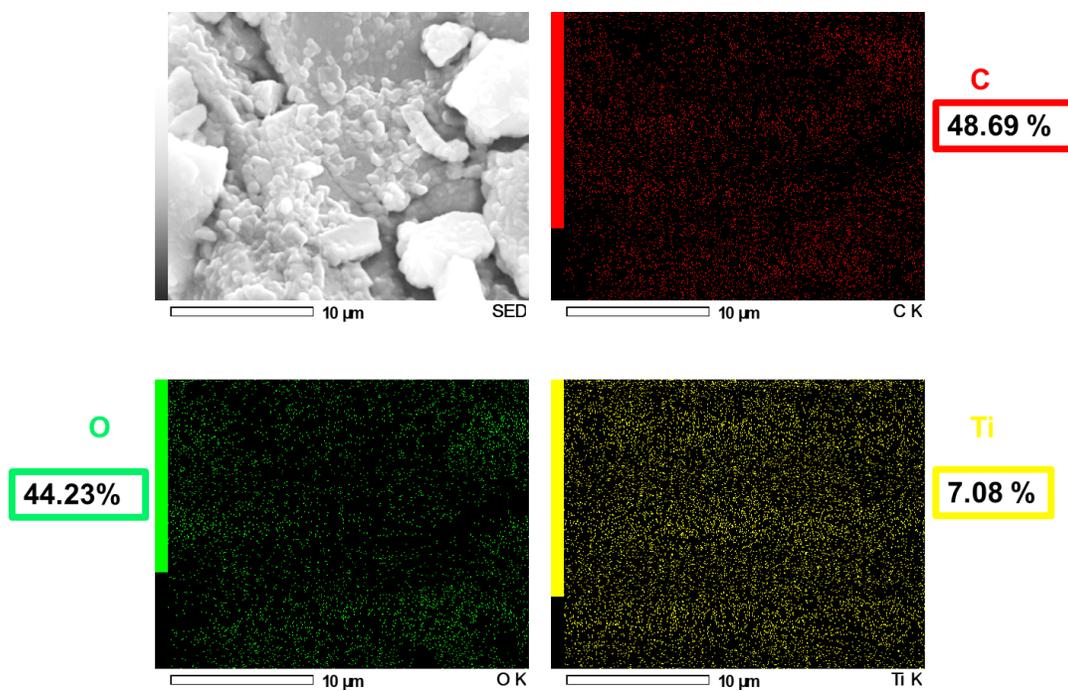
a) PEO-TiOx 7.7 kV



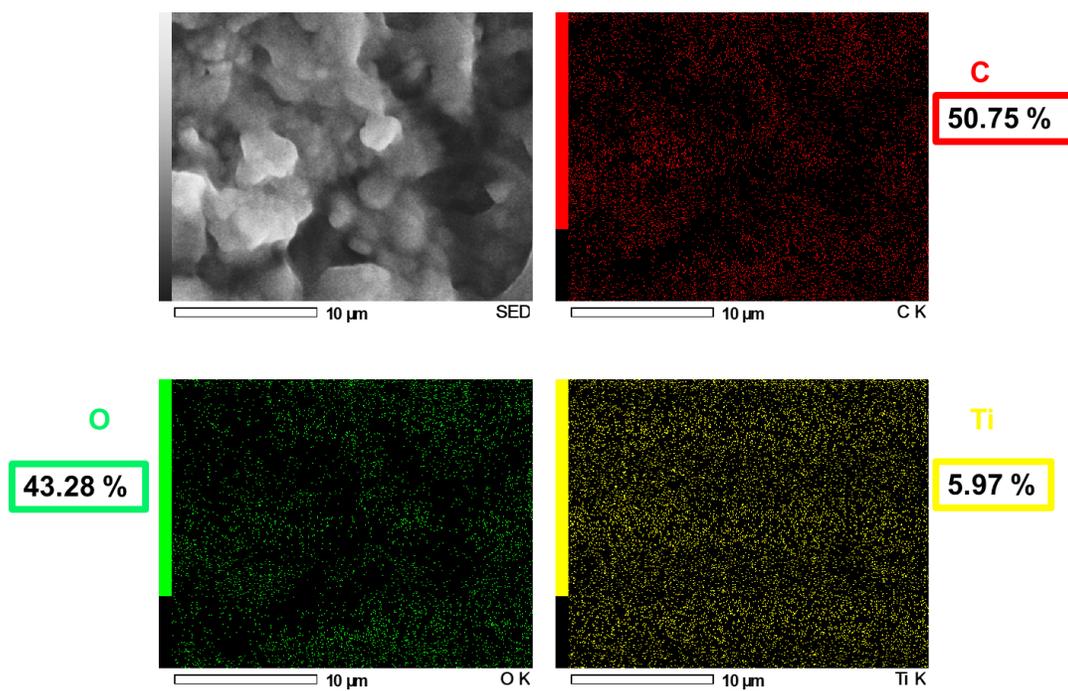
b) PEO-TiOx 8.8 kV



c) PEO-TiOx 9.9 kV



d) PEO-TiOx 11 kV



e) PEO-TiOx 12 kV

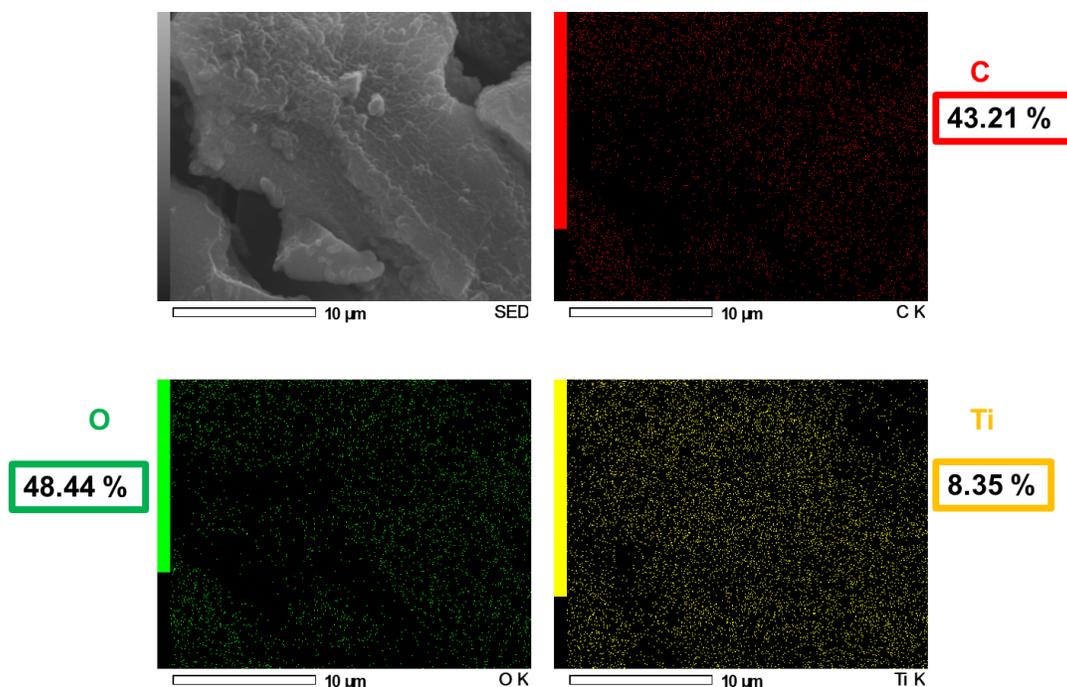


Figura 34. Mapeos Elementales de C, N y O de las muestras de PEO-TiO, (elaboración propia).

Como se observa los porcentajes de los componentes elementales son similares en las 5 diferentes muestras, esto sugiere que las muestras obtenidas tienen una distribución en toda la superficie de los tres elementos principales.

#### 4.5 Contenido Elemental

En la siguiente tabla se muestra el contenido elemental de las muestras mediante Espectroscopia de Energía Dispersiva (EDS) para los materiales obtenidos a diferentes voltajes de 7.7 kV, 8.8 kV, 9.9 kV, 11 kV y 12.2 kV. Se realizó el análisis en varios puntos para cada una de las muestras y se posteriormente se calculan los valores promedios. Se observa que en todos los voltajes existe C, O y Ti; las muestras tienen en mayor cantidad C, y O; Ti es el que tiene menor participación. Analizando la estructura de los precursores se tiene que por parte del Etilenglicol contiene 2 átomos de C, 2 átomos de O y 6 Hidrógenos, mientras que la estructura del Butóxido de Titanio contiene 6 átomos de C, 6 átomos de O y 1 átomo de Titanio.

Si se considera que en el material se tiene una relación de 1:1 es decir 1 molécula de Etilenglicol unida a una molécula de Butóxido se tendría que la combinación tendría C=6, O=6, H=6 y Ti=1, al colocarse en % Atómico tiene la tendencia esperada.

Tabla 3. Contenido elemental de las muestras obtenidas por electrohilado a diferentes voltajes.

<b>Voltaje</b>	<b>7.7 kV</b>	<b>8.8 kV</b>	<b>9.9 kV</b>	<b>11 kV</b>	<b>12.2 kV</b>
Elementos	Puntos de muestra				
	5	5	5	6	5
C	49	43	46	48	44
O	46	48	47	46	49
Ti	5	9	7	5	7

#### 4.6 Ángulo de contacto

Se analizó la evolución del ángulo de contacto estático de avance sobre los diferentes materiales obtenidos, este análisis se hace en función del volumen de gota, se realizaron 15 mediciones diferentes (2 a 30  $\mu\text{L}$ ) con incrementos de 2  $\mu\text{L}$ . En la figura 35 se muestran algunas imágenes de la interacción de la superficie del material con el agua destilada y en la tabla de 4 se muestra los ángulos de las 15 mediciones de gotas.

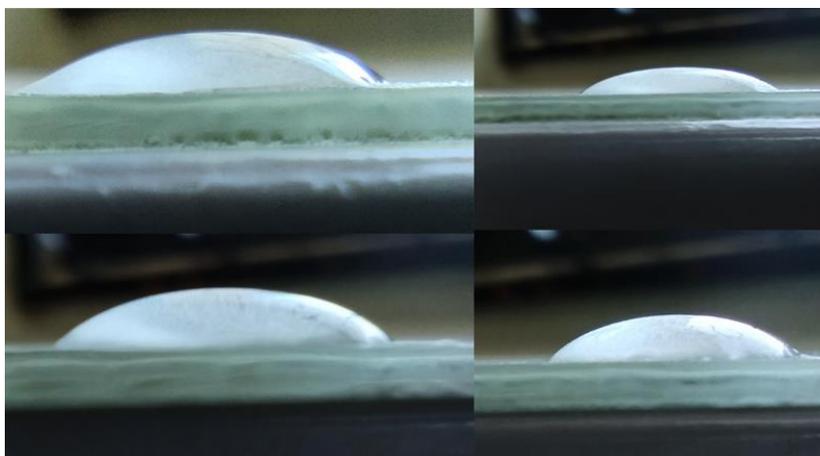


Figura 35. Mediciones de 2 a 30  $\mu\text{L}$ , (elaboración propia).

Tabla 4. Los incrementos de 2  $\mu\text{L}$  y los ángulos obtenidos

<b>Kv/ <math>\mu\text{L}</math></b>	<b>7.7 kV</b>	<b>8.8 kV</b>	<b>9.9 kV</b>	<b>11 kV</b>	<b>12.2 kV</b>
2	48.77	40.441	35.172	32.347	22.791
4	32.476	37.716	21.953	33.159	34.965
6	35.395	50.017	30.978	33.565	44.221
8	38.735	45.779	48.172	47.432	29.691
10	41.228	47.167	36.574	22.473	31.498
12	41.331	46.998	34.241	44.652	48.707
14	48.346	49.183	36.516	29.826	39.946
16	44.503	40.633	35.569	41.161	47.678
18	50.227	44.867	37.733	42.502	39.647
20	40.753	46.651	20.684	30.205	37.148
22	50.044	38.556	37.577	50.288	38.088
24	46.936	44.766	23.771	31.798	23.207
26	42.412	35.958	42.563	31.446	31.569
28	40.44	39.862	28.825	29.367	32.516
30	45.529	30.088	33.746	38.679	26.863

En la figura 36 se observan una gráfica con los ángulos de contacto de las muestras de PEO-TiOx obtenidas a diferentes voltajes. El material obtenido a 7.7 kV (color negro) los cuales van de los 32.3° a 48.3° esto indica que el material obtenido que es hidrófilo porque no supera

los 90°. Se puede observar los ángulos de contacto de la muestra de 8.8 kV (color verde) las cuales tienen un ángulo que va de los 29.73 a 50.1° igual que el material anterior este es hidrófilo. La muestra de 9.9 kV (rojo) tiene un ángulo de contacto de en el intervalo de 20.5° a 48.2° considerando los grados de esta muestra indica que es hidrófilo como las anteriores.

La muestra de 11 kV se distingue con un color azul tiene ángulos de contacto que van de los 22.1° a 50° y por último la muestra de 12.2 kV (color verde) con ángulos de contacto que van de 22.7° a 48.5° lo cual nos indica que son materiales hidrófilos ya que los valores de todas las muestras se encuentran entre 10° a 90°.

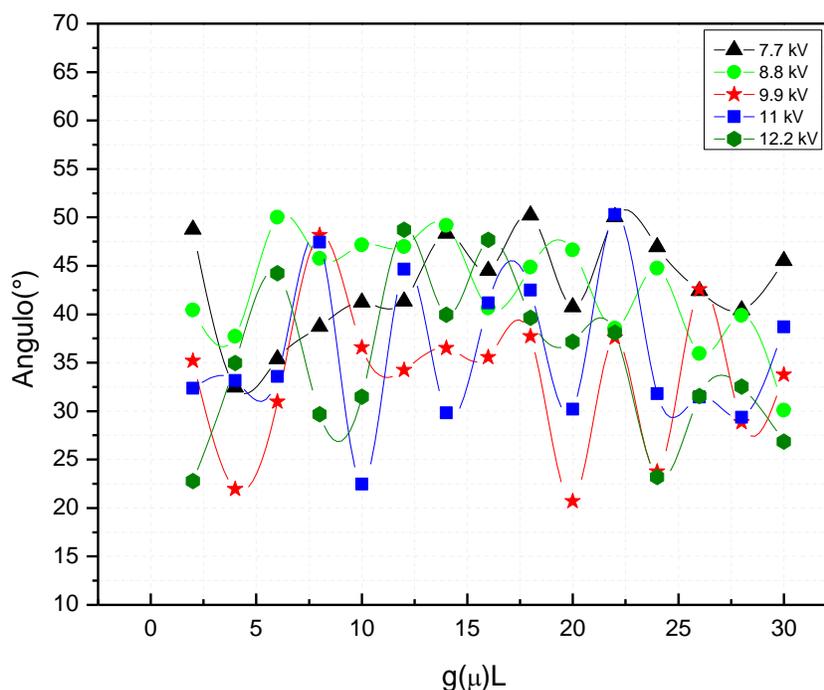


Figura 36. La evolución del ángulo de contacto estático, (elaboración propia)

## Conclusiones

Se conjugaron dos elementos PEO y el butóxido de Titanio para la obtención de materiales electrohilados a intervalos de voltajes de 7.7 kV, 8.8 kV, 9.9 kV, 11 kV y 12.2 kV, para la creación de las fibras, se ocuparon de 1 ml a 2.8 ml de la solución de PEO-TiOx.

En el análisis morfológico realizado por microscopia óptica se usaron dos aumentos de 500X y de 2000X en las muestras de 7.7 kV, 8.8 kV, 9.9 kV se observaron aglomeraciones y en las muestras de 11 kV y 12 kV solo en los 2000X se pudieron observar fragmentos de fibras y aglomeraciones por lo que se concluyó que entre mayor voltaje se podrían formar fibras.

Se utilizaron 3 longitudes de onda de 405 nm azul, 535 nm verde y de 650 nm rojo, solo dos muestras absorbieron una longitud de onda de 650 nm las cuales son de 9.9 kV y 11 kV.

Se realizó una microscopia de barrido SEM esta es una técnica que permite visualizar con mayor calidad la imagen de la muestra a distintos voltajes, en estas imágenes de los voltajes de 7.7 kV a 12.2 kV aglomeraciones y formaciones de partículas, también pequeñas láminas de material las cuales presentaban pequeñas fisuras.

Se obtuvo un mapeo elemental este mapeo ayudo a identificar el porcentaje de elementos que tenía cada muestra y era representado en puntos en cada muestra de voltaje de 7.7 kV a 12.2 kV se prestaron 3 elementos que son el carbono, oxígeno y titanio cada uno de un color para identificarlos donde se encontraba elemento, lo cual se pudo concluir que en el carbono y el oxígeno tenían vacíos sin color lo cual en esas áreas no se encontraba el elemento y en el titanio se encontraba en la mayoría sin vacíos grandes por lo que en toda el material se podía encontrar por lo que se concluye que pueden ser utilizadas para celdas solares gracias a sus propiedades.

Las aplicaciones que se pueden usar son sus propiedades morfológicas y absorción de rayos infrarrojos con una longitud de 650 nm que puede ser utilizado en un sistema PVT no concentrado estos son sistemas fotovoltaico simples, el más óptimo del sistema PTV es un tipo agua este sistema se utiliza como medio de extracción de calor de los módulos fotovoltaicos donde las celdas superiores absorben espectro solar visible y la convierte en electricidad la energía y la capa inferior es sensible a la región de infrarrojo y la convierte en energía térmica es utilizado con silicio amorfo y cristalino puede ser reemplazado el silicio por este material gracias a sus propiedades (Herrera, 2020)

En conclusión, se creó un material hidrofílico de butóxido de titanio con aglomeraciones y que absorben una longitud de 650 nm que es posible su uso en celdas solares de un sistema de PVT como también en celdas perovskita.

## Recomendaciones

- Para tener una buena visibilidad cuando se esté electrohilando y verificar si está el cono de Taylor se recomienda adaptar a la zona de electrohilado una lámpara LuTing 808-246 que permita de manera fácil y práctica observar la formación del cono de Taylor.
- Estandarizar el corte de papel aluminio adaptado a las dimensiones del rodillo en donde se deposita el material electrohilado.
- Cobertura para el área de trabajo del electrohilado para evitar la contaminación de la muestra al momento del proceso
- Tener un contenedor para cada muestra para que no lleguen maltratado el material

Tabla 5. Competencias aplicadas

Materia	Competencia
Química	Esta materia ayudo con el conocimiento a la estructura de los compuestos químicos orgánicos e inorgánicos, así como su nomenclatura, propiedades físicas, reactividad, energía y equilibrio.
Taller de investigación 1 y 2	Esta materia ayudo a dar forma y saber cuáles son los requisitos de un protocolo como también que márgenes y respetando los acuerdos de APA para poder presentar de forma escrita un buen protocolo.
Propiedades de los materiales	Esta materia ayudo a este trabajo con las propiedades de los materiales como es la electricidad y la estructura de cada material, así como el manejo de unidades que se ocuparan.
Ecodiseño	Ayudo a identificar el impacto de que ay en México con la contaminación de la energía eléctrica fósil para poder identificar las distintas alternativas para generar energía eléctrica y minimizando los residuos.
Estudio del trabajo 1 y 2	Identifica, evalúa, diseña y genera propuestas de mejora en los procesos de producción, estaciones de trabajo, distribución de planta, genera métodos de trabajo y establece tiempos estándar con cronómetro para elevar la productividad en las empresas de su entorno.

<p>Seguridad e higiene</p>	<p>Esta asignatura aporta la capacidad de gestionar sistemas de seguridad, higiene y salud ocupacional de manera sustentable, en sistemas productivos de bienes y servicios cumpliendo con los lineamientos legales aplicables.</p>
--------------------------------	---

## Referencias

- Adrián, S., & Vera, C. (2021). *Energía eléctrica sustentable para el siglo XXI*.
- Alberto, B., García, R., Rivas, J. M., & Esparza, D. (2020). *Optimización de celdas solares sensibilizadas por puntos cuánticos de CdS por medio de la fabricación de un prototipo SILAR*. 14(2), 351–355.
- Alghunaim, A., Kirdponpattara, S., & Newby, B. M. Z. (2016). Techniques for determining contact angle and wettability of powders. *Powder Technology*, 201–215. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.10.002>
- Arceo-Reyes, R. (2010). *Análisis de Raman de la Interacción de Polianilina-Carbono*. 1(1428), 12–17.
- Bhadra, S., Khastgir, D., Singha, N. K., & Lee, J. H. (2009). Progress in preparation, processing and applications of polyaniline. *Progress in Polymer Science (Oxford)*, 34(8), 783–810. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2009.04.003>
- Boeva, Z. A., & Sergeyev, V. G. (2014). Polyaniline: Synthesis, properties, and application. *Polymer Science - Series C*, 56(1), 144–153. <https://doi.org/10.1134/S1811238214010032>
- Cervantes Mendiola Adriana Lizeth. (2021). Síntesis in Situ De Óxido De Hierro En Presencia De Fibras De Poli(3-Hexiltioneno) Obtenidas Por La Técnica De Electrohilado. *Tesis*.
- Chrissafis, K. (2009). *Cinética de degradación térmica de polímeros*. 95, 273–283.
- Darvishi, M., & Seyed-Yazdi, J. (2016). Characterization and comparison of photocatalytic activities of prepared TiO<sub>2</sub>/graphene nanocomposites using titanium butoxide and TiO<sub>2</sub> via microwave irradiation method. *Materials Research Express*, 3(8), 1–8. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/3/8/085601>
- Dou, Y., Zhang, W., & Kaiser, A. (2020). Electrospinning of Metal–Organic Frameworks for Energy and Environmental Applications. *Advanced Science*, 7(3). <https://doi.org/10.1002/advs.201902590>
- Esparza, D., Torres, J., Sánchez, J., & Rivas, J. M. (2020). Celdas solares de tercera generación a base de puntos cuánticos y perovskitas. *Investigación Científica*, 14(2), 310–315. <https://revistas.uaz.edu.mx/index.php/investigacioncientifica/article/view/995>
- Faizah, R. et al. (2018). (2018). *Mejora de la Ductilidad de los Ladrillos de Mampostería con Junta de Lecho de Mortero de Migajas de neumáticos de goma: una revisión*. 29(NeurIPS), 396–402.
- Fiotto, S. A. (2020). Estudio y aplicación de registro de imágenes panorámicas en microscopía óptica. *XXIII Concurso de Trabajos Estudiantiles (EST 2020) - JAIIO 49 (Modalidad Virtual)*, 127–136. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/115890>

- GÓMEZ, E. O. P. (2020). *la síntesis de disolventes de electrohilado compuesto de PEO /granate para baterías de litio de estado solido de alta seguridad.*
- Herrera, A. P. (2020). Estado Del Arte De Sistemas Fotovoltaicos Híbridos. In *Cuadernos de educación y desarrollo*. <http://www.eumed.net/rev/ced/24/ghs.htm>
- Horta-Romarís, L. (2018). *Tesis. Diseño de polianilinas nanoestructuradas para aplicaciones termoeléctricas y sensores.*
- Huang, J., Virji, S., Weiller, B. H., & Kaner, R. B. (2004). Nanostructured Polyaniline Sensors. *Chemistry - A European Journal*, 10(6), 1314–1319. <https://doi.org/10.1002/chem.200305211>
- INEGI. (2018). Primera encuesta nacional sobre consumo de energéticos en viviendas particulares (ENCEVI). *Comunicado de Prensa Núm. 541/18*, 28. <http://www.beta.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2018/EstSociodem o/ENCEVI2018.pdf>
- Jiménez, V. (2018). *Maestro en Ciencia y Tecnología en la Especialidad de Ingeniería Ambiental. Vi*, 129.
- José Ignacio del Río de Vicente. (2019). *Síntesis Y Caracterización De Nanofibras De Óxido De Polietileno/Quitano Reticuladas Por Uv Dopadas Con Nanopartículas De Óxido De Zinc* (Vol. 2). Universidad Autónoma de Querétaro.
- Kang, D. H., & Kang, H. W. (2016). Surface energy characteristics of zeolite embedded PVDF nanofiber films with electrospinning process. *Applied Surface Science*, 387, 82–88. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2016.06.096>
- Khatiboun, D. F. (2019). *Fuente de Iluminación de Solar de Espectro Sintetizable.*
- Kijeńska, E., & Swieszkowski, W. (2017). General requirements of electrospun materials for tissue engineering: Setups and strategy for successful electrospinning in laboratory and industry. *Electrospun Materials for Tissue Engineering and Biomedical Applications: Research, Design and Commercialization*, 43–56. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101022-8.00002-8>
- Lizzeth Maldonado Larios. (2019). “Electrodepósito De Polianilina En Sustratos Semiconductores Y Su Aplicación En Procesos De Remediación De Colorantes” Cd. In *Sifonoforos* (Vol. 1, Issue August 2015).
- Mendoza, C., Amaya, S. L., Vivas, J. C., & Echavarría, A. (2018). *Synthesis of Titanium Tetraphenoxides and Their Catalytic*. 30(1), 7–14.
- Morales, Y. G. (2009). *Elaboración De Películas De Pla Por El Método De Evaporación De Solventes.*
- Muñoz, M. E. (2021). *Diseño De Planta De Ensamblaje De Paneles Solares Fotovoltaicos*. 95. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/19530>

- Murakami, T., Kawamori, T., Gopez, J. D., Mcgrath, A. J., Klinger, D., & Saito, K. (2018). *Machine Translated by Google Síntesis de geles físicos basados en PEO con viscoelástico sintonizable Propiedades*. 1–6. <https://doi.org/10.1002/pol.28992>
- Navarro, N. M. (2019). *Reporte técnico de residencia profesional Proyecto : “ Obtención de materiales soportados basados en óxido de Presenta : Asesor interno : Dr . Samuel Enciso Sáenz Tuxtla Gutiérrez Chiapas , Diciembre del 2019.*
- Pereira, P. H. F., Ornaghi Júnior, H. L., Coutinho, L. V., Duchemin, B., & Cioffi, M. O. H. (2020). Obtaining cellulose nanocrystals from pineapple crown fibers by free-chlorite hydrolysis with sulfuric acid: physical, chemical and structural characterization. *Cellulose*, 27(10), 5745–5756. <https://doi.org/10.1007/s10570-020-03179-6>
- Quintana Olivares, C. (2016). *Evaluación de la bioactividad del cemento de silicato de calcio (Biodentine®) del efecto del grabado dentinario previo a su aplicación.*
- Ramírez Segundo, R. (2019). *Obtención de fibras binarias electrohiladas de polianilina semisoluble con óxido de polietileno*. 105793.
- Rosa, G. H. D. La. (2019). *Diseño y desarrollo de un sistema de adquisición de datos para el análisis de paneles solares.*
- Saucedo, M. C. (2022). *“Síntesis Y Caracterización De Películas Semiconductoras De Cusbse2 Por La Técnica De Ablación Láser Para Aplicaciones Fotovoltaicas”.*
- Shalimova, K. V. (1975). *Física de los Semiconductores.*
- Song, S., Liu, Z., He, Z., Zhang, A., Chen, J., Yang, Y., & Xu, X. (2010). Impacts of morphology and crystallite phases of titanium oxide on the catalytic ozonation of phenol. *Environmental Science and Technology*, 44(10), 3913–3918. <https://doi.org/10.1021/es100456n>
- Torres-Cerón, D. A., Restrepo-Parra, E., & Ospina-Ospina, R. (2020). *Producción de recubrimientos de TiO2 mediante oxidación electrolítica por plasma (PEO), para posibles aplicaciones tecnológicas*. 91.
- Troviano, M. (2020). Módulos Fotovoltaicos De Lámina Delgada De Cu (In, Ga) Se2 y CdTe: Estado Del Arte Y Perspectivas. *Asades*, 45, 1–12.
- Villavicencio, H. G. V. (2021). Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo. In *Universidad Católica de Cuenca*. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/7954>
- Vladimir, J., Martínez, T., Vladimir, J., & Martínez, T. (2021). *Centrifugado Para Polímeros Centrifugado Para Polímeros.*
- Ward, J. M., Maimaiti, A., Le, V. H., & Chormaic, S. N. (2019). Contributed review: Optical micro- and nanofiber pulling rig. *Review of Scientific Instruments*, 85(11). <https://doi.org/10.1063/1.4901098>

Zamora Delgado, Mariana. (2022). “ *Optimización De Celda Solar Sensibilizada Con Colorante (DSSC) Utilizando Electroodos De TiO 2 – C.*”