

## **Escuela de Ingeniería**

Ingeniería Biomédica | 6º semestre



**UNIVERSIDAD  
MODELO**

**Expotrónica 2024**

**“Maquina de electrohilado de PVA”**

**Ordinario**

Elaborado por: Navarrete Martínez Marianne Alejandra, Valdez Pillado Itzel Juniva,  
Gonzalez Bautista Diego Alejandro

Fecha de entrega: 12 Junio 2024

# Índice

<b>Introducción.....</b>	<b>2</b>
<b>Objetivos.....</b>	<b>2</b>
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos.....	3
<b>Antecedentes.....</b>	<b>3</b>
Nanofibras y el electrohilado.....	3
La breve historia de alcohol polivinílico.....	3
<b>Marco Teórico.....</b>	<b>3</b>
1. Diseño del Prototipo.....	4
2. Selección de Materiales.....	4
3. Construcción de Componentes.....	4
4. Ensamblaje del Prototipo.....	4
5. Pruebas y Ajustes.....	4
6. Validación y Optimización.....	5
<b>Materiales e Instrumentos.....</b>	<b>5</b>
Materiales Utilizados.....	5
Componentes del Sistema.....	5
<b>Parámetros de Operación.....</b>	<b>5</b>
Seguridad y configuración.....	6
<b>Proceso.....</b>	<b>6</b>
● Preparación de la Solución Polimérica.....	6
<b>Desarrollo.....</b>	<b>7</b>
Proceso de electrohilado.....	7
Condiciones del ambiente, el proceso y de la disolución.....	7
<b>Evidencias.....</b>	<b>10</b>
<b>Conclusión.....</b>	<b>13</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>14</b>

## **Introducción**

El electrohilado es un proceso de fabricación avanzado que ha ganado considerable interés en diversas áreas de la ciencia y la ingeniería debido a su capacidad para producir fibras ultrafinas con propiedades únicas y aplicaciones versátiles. Este proceso, también conocido como electrospinning en inglés, implica la aplicación de un alto voltaje a una solución polimérica, lo que genera un campo eléctrico intenso capaz de inducir la formación de fibras a partir del material líquido. Desde su descubrimiento, el electrohilado ha experimentado un rápido desarrollo, impulsado por avances en materiales, instrumentación y técnicas de control. Hoy en día, se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, que van desde las más sencillas como los filtros de aire hasta otras más complejas como en la ingeniería de tejidos y la liberación controlada de fármacos hasta la fabricación de materiales nanoestructurados para dispositivos electrónicos y sensores.

La elaboración de un sistema de electrohilado requiere una comprensión base de los principios físicos y químicos involucrados en el proceso, así como la selección cuidadosa de materiales y componentes adecuados. El uso de un determinado polímero o solvente en el proceso de electrohilado depende de varios factores clave que influyen en la formación de nanofibras y en la calidad del producto final, en el caso del polímero entre ellos se encuentran: la solubilidad, peso molecular, propiedades mecánicas, biocompatibilidad, costo o disponibilidad; mientras que para el solvente se encuentra la capacidad de disolución, propiedades físico químicas, seguridad y toxicidad. La elección del polímero y el solvente adecuados es esencial para el éxito del proceso de electrohilado y para la obtención de nanofibras con las propiedades deseadas para aplicaciones específicas.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Desarrollar un prototipo de electrohilado a partir de un sistema funcional y eficiente que pueda producir fibras ultrafinas con propiedades específicas a partir de una solución polimérica.

## Objetivos específicos

- Determinar los valores óptimos de voltaje aplicado y velocidad de alimentación de la solución polimérica.
- Analizar y definir los materiales más adecuados.
- Evaluar la influencia de los parámetros de operación.

## Antecedentes

### Nanofibras y el electrohilado

Se tiene registro de que durante el siglo XVII, William Gilbert (físico y médico inglés) observó por primera vez la atracción electrostática de un líquido. No fue hasta casi el siglo XX, en 1846, que Christian Friedrich Schönbein (químico germano-suizo) produjo nitrocelulosa (celulosa altamente nitrada). Posteriormente, Charles Vernon Boys (físico inglés) publicó un manuscrito acerca del desarrollo y producción de las nanofibras en 1887.

La primera patente de electrohilado fue presentada en 1900 por John Francis Cooley y 14 años después, John Zeleny publicó varias investigaciones sobre cómo se comportan las gotas de fluido en los capilares metálicos, iniciando así el intento de modelar matemáticamente el comportamiento de los fluidos bajo fuerzas electrostáticas.

Todos estos avances e investigaciones dieron pie a que entre los años 1964 y 1969, Sir Geoffrey Ingram Taylor realizara importantes avances teóricos en el electrohilado al modelar matemáticamente la forma del cono (conocido como cono Taylor) formado por la gota de fluido bajo la influencia de un campo eléctrico. En la década de 1990, varios grupos de investigación demostraron la viabilidad de las nanofibras hechas por medio de electrohilado. A partir de 1995 se han realizado muchas más investigaciones relacionadas al electrohilado y las diversas aplicaciones que tiene en distintos campos y al día de hoy su popularidad sigue creciendo de manera exponencial.

### La breve historia de alcohol polivinílico

El alcohol polivinílico fue preparado por primera vez en 1924 por los científicos Hermann y Haehnel, quienes hidrolizan el acetato de polivinilo con hidróxido de potasio y en presencia de etanol.

Años después, en la década de 1950 fue comercializado por una marca japonesa en forma de la materia prima, para posteriormente convertirse en líder mundial en la producción de alcohol polivinílico para uso comercial.

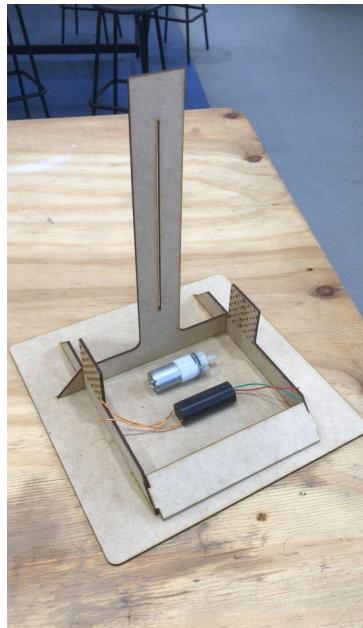
## Marco Teórico

El proceso de fabricación de un sistema de electrohilado implica una comprensión profunda de los principios físicos y químicos subyacentes, así como la selección cuidadosa de materiales y componentes para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro.

## 1. Diseño del Prototipo

Define los requisitos y especificaciones del prototipo, incluidos los parámetros de operación, los materiales a utilizar y las aplicaciones previstas.

Crear un diseño detallado del sistema de electrohilado, incluyendo los componentes principales como el generador de alto voltaje, los electrodos, el sistema de alimentación de solución polimérica y la base de recolección.



## 2. Selección de Materiales

Elegir cuidadosamente los materiales para cada componente del prototipo, asegurándose de seleccionar materiales compatibles con los solventes y polímeros a utilizar, así como materiales que sean eléctricamente conductores y no reactivos químicamente.

## 3. Construcción de Componentes

Fabricar o adquirir los componentes individuales del prototipo, jeringas, base de recolección y sistema de bombeo, de acuerdo con el diseño previamente establecido.

Asegúrate de que los componentes estén construidos con precisión y calidad para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro del prototipo.



## 4. Ensamblaje del Prototipo

Ensambla los componentes del prototipo de acuerdo con el diseño establecido, asegurándose de seguir las instrucciones y especificaciones técnicas para cada componente.

Realiza pruebas preliminares durante el ensamblaje para verificar la integridad y funcionalidad de cada parte del sistema.

## 5. Pruebas y Ajustes

Realiza pruebas exhaustivas del prototipo para evaluar su funcionamiento y rendimiento en condiciones de laboratorio.

Ajusta los parámetros de operación según sea necesario para optimizar la calidad y las propiedades de las fibras producidas.

## 6. Validación y Optimización

Validar el prototipo mediante pruebas comparativas con sistemas comerciales o con resultados reportados en la literatura.

Realizar ajustes adicionales en el diseño y los parámetros de operación para optimizar el rendimiento y la eficiencia del prototipo.

## Materiales e Instrumentos

### Materiales Utilizados

- Polímero: Alcohol Polivinílico
- Solventes: Agua destilada
- MDF de 3 mm
- Plástico acrílico de 3 mm
- Transformador de bajo voltaje a alto voltaje (400 kV)
- 1 Mini bomba de agua DC 12V
- Silicon
- Kola loka
- Cilindro de unicel (5 cm de diámetro)
- Papel aluminio
- Manguera transparente (  $\frac{1}{4}$  de pulgada)
- 2 Fuentes de voltaje
- Caimanes
- 1 Liga de hule
- 1 Motor DC 5V
- Cable revestido (1 ml de diámetro)
- 1 Cánula
- Pintura acrílica
- Pintura primer
- 3 switchs
- Cautín
- Estaño
- 3 Potenciómetros (10k Ohms)
- 3 Led's

### Componentes del Sistema

- Generador de voltaje (capacidad hasta 400kV).
- Mini bomba de agua (sistema de alimentación de solución polimérica).
- Cilindro de unicel recubierto con aluminio (base de recolección).
- Controlador de parámetros.

## Parámetros de Operación

Configuración del voltaje: 5kV

Distancia de la base de recolección: 1.5cm

Medidas de la estructura

- Base cuadrada de 30 x 30 cm
- Altura de 33 cm

Medidas del capacete

- Altura de 33cm
- 25 cm de lado y lado

Medidas del rodillo

- 15 RPM
- Diámetro de 5 cm
- 20 cm de largo

Medidas de bisagras

- 2 bisagras de 1 pulgada c/u

## Seguridad y configuración

El PVA es seguro y no tóxico, lo que lo hace adecuado para uso doméstico.

Se disuelve en agua, eliminando la necesidad de solventes orgánicos volátiles y peligrosos.

- Montar la bomba de jeringa y cargarla con la solución de PVA.
- Conectar la aguja hipodérmica a la bomba de jeringa.
- Colocar el colector a una distancia adecuada de la punta de la aguja.
- Conectar la fuente de alto voltaje a la aguja y al colector.

## Proceso

- Preparación de la Solución Polimérica
  - Disolver el PVA en agua destilada en una concentración típica de 10-15% en peso.
  - Calentar el agua a aproximadamente 60-80 °C para acelerar la disolución.
  - Agitar la solución hasta que el PVA esté completamente disuelto y se forme una solución homogénea.
- Proceso general
  - Ajustar el flujo de la solución de PVA mediante la bomba de jeringa.
  - Encender la fuente de alto voltaje y ajustar a 20-30 kV.
  - Observar la formación del chorro de Taylor en la punta de la aguja y la deposición de las fibras en el colector.
  - Ajustar la distancia entre la aguja y el colector, así como la velocidad del flujo de la solución, para optimizar la producción de fibra.

## Desarrollo

### Proceso de electrohilado

Para poder realizar el electrohilado se aplica un voltaje elevado de corriente continua que oscila habitualmente entre los 5 y 25 kV a la aguja capilar. Esta tensión genera un campo eléctrico el cual interactúa con las cargas presentes en la disolución con la que se haya elegido trabajar, así como con las fuerzas de atracción entre ésta y el colector.

La interacción que existe entre la fuerza del campo y las fuerzas de repulsión provoca que la superficie de la gota de la disolución se transforme de semiesférica a cónica, creando así el famoso “cono de Taylor”. El incremento en el campo eléctrico provoca que la fuerza electrostática contrarreste la tensión superficial, lo que resulta en la expulsión del polímero en forma de un hilo (zona estable).

Conforme el hilo de disolución baja o avanza hacia el colector, se puede observar que ocurre una inestabilidad la cual se manifiesta en forma de un movimiento oscilante o de flexión. Este fenómeno provoca una elongación del hilo haciendo que la fibra tarda más tiempo en llegar al colector. Este proceso favorece a una rápida evaporación del disolvente y una deposición adecuada de la fibra en el colector.

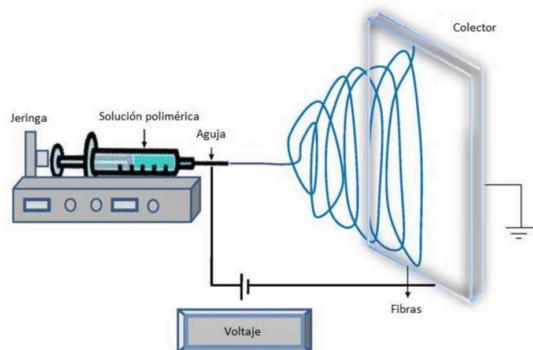


Imagen 1. Esquema de equipo de electrohilado

### Condiciones del ambiente, el proceso y de la disolución

Los procesos de electrohilatura se encuentran sujetos a una gran cantidad de variables y a las interacciones entre ellas, lo cual a su vez repercute en las propiedades morfológicas del material obtenido. El proceso de electrohilado depende únicamente de una serie de parámetros, que pueden ser clasificados de una manera general en:

- Parámetros de la disolución
- Parámetros del proceso
- Parámetros ambientales

Entre estas interacciones se encuentran las condiciones ambientales las cuales son el conjunto de factores físicos que en el caso del electrohilado pueden estar sucediendo e influyendo en su proceso. Estas condiciones pueden tener un impacto significativo en la calidad y las propiedades de las fibras

producidas, por lo que es importante controlar y ajustar adecuadamente estos factores para garantizar resultados óptimos.

Entre algunas de las condiciones que favorecen a la producción de fibras durante el proceso de electrohilado se encuentra:

- **Temperatura.** Una temperatura ambiente controlada puede ayudar a mantener la viscosidad adecuada de la solución polimérica. La temperatura óptima puede variar según el tipo de polímero utilizado y las condiciones específicas del proceso de electrohilado.
- **Humedad.** La humedad relativa que se encuentra en el aire por naturaleza, influye en la evaporación del solvente de la solución polimérica; mantener una humedad relativa equilibrada puede ayudar a evitar que la solución polimérica se seque demasiado rápido o demasiado lento, lo que podría afectar la formación de las fibras.
- **Ventilación.** Una buena ventilación en el área de trabajo puede ayudar a mantener condiciones ambientales estables y prevenir la acumulación de solventes o vapores que puedan afectar la calidad de las fibras.
- **Iluminación.** Una iluminación adecuada en el área de trabajo facilita la observación y el control del proceso de electrohilado, lo que puede ayudar a detectar problemas potenciales y realizar ajustes necesarios en tiempo real.
- **Limpieza.** Mantener el área de trabajo limpia y libre de contaminantes como polvo, partículas u otros materiales extraños puede contribuir a la producción de fibras de mayor calidad y reducir la posibilidad de defectos en el proceso

Las condiciones del proceso y de la disolución que favorecen en el proceso de electrohilado pueden variar según el material utilizado y las especificaciones deseadas para las fibras. Sin embargo, algunas condiciones generales que suelen ser beneficiosas incluyen:

- **Viscosidad adecuada del disolvente.** La viscosidad del disolvente puede influir en la formación de las fibras durante el proceso de electrohilado. Un disolvente con una viscosidad adecuada puede facilitar la formación de hilos finos y uniformes.
- **Concentración óptima de la solución.** La concentración de la solución del polímero en el disolvente debe ser adecuada para garantizar una buena extrusión de las fibras y una rápida evaporación del disolvente durante el proceso.
- **Propiedades de la solución.** Las propiedades del polímero y del disolvente, como la solubilidad, la tensión superficial y la conductividad eléctrica, pueden afectar la formación y la calidad de las fibras durante el electrohilado.
- **Adecuado voltaje y distancia de hilado.** El voltaje aplicado y la distancia entre la boquilla de hilado y el colector pueden ajustarse para controlar el diámetro, la morfología y la alineación de las fibras electrohiladas.
- **Temperatura y humedad controladas.** Mantener condiciones ambientales controladas, incluyendo la temperatura y la humedad, puede ayudar a prevenir problemas como la condensación de vapor de agua en las fibras, lo que podría afectar su calidad y propiedades finales.

Parámetros ambientales	Efecto en las fibras
Mayor temperatura	Reducción del diámetro de la fibra

Mayor humedad	Formación de poros
---------------	--------------------

Tabla 1. Parámetros y efectos

Parámetros del proceso	Efecto en las fibras
Distancia del hilado	Fibras uniformes
Caudal	A mayor flujo, mayor generación de perlas. A menor flujo, reduce el diámetro de la fibra.
Mayor voltaje	Reducción del diámetro de la fibra

Parámetros de la solución	Efecto en las fibras
Mayor concentración y viscosidad	Aumenta el diámetro de la fibra
Mayor tensión superficial	Inestabilidad del hilo
Mayor peso molecular	Reducción del número de perlas
Mayor conductividad	Reducción del diámetro de la fibra

## Evidencias







## Conclusión

En conclusión, armar un prototipo de electrohilado es un proceso desafiante pero gratificante que requiere una comprensión profunda de los principios de funcionamiento y la interacción de los diversos componentes involucrados. Desde la selección cuidadosa de materiales hasta la optimización de parámetros de operación, cada paso es crucial para el éxito del prototipo. La experimentación iterativa y la atención meticulosa a los detalles son fundamentales para lograr la producción de nanofibras de alta calidad con las características deseadas. A través de este proceso, se sientan las bases para el desarrollo de sistemas de electrohilado más avanzados y su aplicación en una variedad de campos, lo que abre nuevas posibilidades en la fabricación de materiales a escala nanométrica y el avance de la tecnología.

Durante la operación del prototipo, es importante monitorear cuidadosamente el proceso y realizar ajustes según sea necesario. La formación de las nanofibras puede ser influenciada por una variedad de factores, incluyendo la temperatura, la humedad y la velocidad de extrusión, por lo que es fundamental mantener un control preciso sobre estas variables.

Una vez que se han recolectado las nanofibras, es posible realizar análisis y pruebas para evaluar su calidad y características. Esto puede incluir pruebas de morfología, tamaño de las fibras, distribución de tamaño de partículas y propiedades mecánicas, entre otros.

## Referencias

1. Tucker, N., Stanger, J. J., Staiger, M. P., Razzaq, H., & Hofman, K. (2012). The history of the science and technology of electrospinning from 1600 to 1995. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 7(2\_suppl), 155892501200702. <https://doi.org/10.1177/155892501200702s10>
2. Greiner, A., & Wendorff, J. H. (2007). Electrospinning: A fascinating method for the preparation of ultrathin fibers. *Angewandte Chemie (International Ed. in English)*, 46(30), 5670–5703. <https://doi.org/10.1002/anie.200604646>
3. Haider, S., & Haider, A. (Eds.). (2016). *Electrospinning - Material, Techniques, and Biomedical Applications*. InTech.
4. Wendorff, J. H., Agarwal, S., & Greiner, A. (2012). *Electrospinning: Materials, Processing, and Applications*. Wiley-VCH Verlag.
5. Gaviria, A., Lotero, L., Jaramillo-Quiceno, N., & Restrepo-Osorio, A. (2020). Influencia de los parámetros de electrohilado en la morfología y tamaño de fibras de fibroína de seda. *Materia-rio de Janeiro*, 25(2). <https://doi.org/10.1590/s1517-707620200002.1077>
6. Universidad de Sonora. (s. f.). *Tesis.uson: 4.1 Tecnica de electrohilado*. <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/22289/Capitulo4.pdf>
7. Valle, J. F. R., Puyana, V. M. P., Ángel, M. F., & Romero, A. (s. f.). *Biomateriales: desarrollo de andamios para ingeniería de tejidos*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7173548>
8. Cejudo Carsi, A. & Escuela tecnica superior de ingeniería industrial de Barcelona. (2017, junio). *Integración de nanopartículas para la liberación de fármacos por electroestimulación en andamios poliméricos biodegradables*. [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/108625/Integracion\\_de\\_nanopartículas\\_para\\_la\\_liberacion\\_de\\_fármacos\\_por\\_electroestimulación\\_en\\_andamios\\_poliméricos\\_biodegradables\\_Alberto\\_Cejudo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/108625/Integracion_de_nanopartículas_para_la_liberacion_de_fármacos_por_electroestimulación_en_andamios_poliméricos_biodegradables_Alberto_Cejudo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

9. Iván, A. M. O. (2020). *Diseño y construcción de una máquina de electrohilado vertical de 0 a 15 KV para generar nanofibras a base del polímero polisiloxano.* <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/30661>
10. *Fabricación de membranas de nanofibras electro hiladas.* (2018). <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/576/1/Tesis%20MTP%20Isela%20E.%20Sandoval%20Herrera%202018%202024%20abr%202018.pdf>
11. Sandoval. (2018, marzo). *FABRICACION de membranas de nanofibras electrohiladas de poli (acido Y-glutaminico)/ poli (vinil alcohol) cargadas con acido clorogénico.* <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/576/1/Tesis%20MTP%20Isela%20E.%20Sandoval%20Herrera%202018%202024%20abr%202018.pdf>
12. Roa, M. F. (2017). *Diseño, desarrollo e implementación de un dispositivo de pruebas de electrohilado (electrospinning) para aplicaciones en nanoinstrumentación.* <https://repository.unab.edu.co/handle/20.500.12749/1515>
13. Bolaina, E. (2016). *Estudio de la relación estructura-propiedades en andamios electrohilados a base de quitosano y policaprolactona para su posible uso en ingeniería de tejidos de nervio periférico.* [Doctor en ciencias materiales poliméricos inédita]. Centro de investigación científica de Yucatán A.C.
14. Chi, L. (2015). *Obtención de un andamio bicapa mediante la técnica de electrohilamiento para su potencial aplicación en ingeniería de tejidos de la piel* [Maestro en ciencias materiales polimericos inédita]. Centro de investigación científica de Yucatán A.C.
15. Pech, I. (2018). *Obtención de andamio bi-capa, pla-gelatina, con geometría hexagonal de poro para posible uso en quemaduras profundas* [Maestro en ciencias materiales polimericos inédita]. Centro de investigación científica de Yucatán A.C.
16. Selene, A. (2014). *Obtención de nanofibras modificadas de poli(&-caprolactona) por electrohilado para aplicaciones biomédicas* [Maestra en ciencia e ingeniería de materiales inédita]. Universidad Nacional Autónoma de México.