

# Prototipo de máquina de electrohilado para la elaboración de andamios poliméricos

Abisai E. CANUL-CHAN<sup>1</sup>, Rodrigo J. CAUICH-AYALA<sup>1</sup>, José E. DOMÍNGUEZ-UGARTE<sup>1</sup>,

Axel E. POOL-JUAN<sup>1</sup>, Carlos E. RUIZ-GALICIA<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Escuela de Ingeniería. Universidad Modelo, Mérida, Yucatán, 97305, México.

## 1. RESUMEN

Palabras clave: *electrohilado, biomateriales, andamios poliméricos*

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA MÁQUINA DE ELECTROHILADO

#### 2.1.1. Máquina de electrohilado

En el trabajo de Herrero (2015) se menciona que la técnica de electrohilado permite obtener nanofibras de forma continua de una gran cantidad de materiales y geometrías (cilíndricas, porosas, alineadas, helicoidal, entre otras). Además, se tiene la ventaja de ser un método de bajo coste con un equipamiento sencillo, utilizando una fuente de alta tensión, una bomba de inyección, una jeringuilla, una aguja conductora eléctrica y un colector conductor eléctrico [1]. Además, permite crear andamios, en escala micro y nanométrica, aportando a las fibras diversas características como amplia superficie por unidad de área, porosidad y buenas propiedades mecánicas, siendo atractivas a nivel biotecnológico para una gran variedad de aplicaciones biomédicas (Ingeniería de tejidos, funcionalización de superficies, fibras, liberación de fármacos, ELM's que responden a estímulos luminosos) [2,1].

#### 2.1.2. Fenómeno físico que permite la formación de fibras

Calzón (2016), en su trabajo menciona que la técnica consiste en aplicar consiste en aplicar suficientes cargas eléctricas que superen las fuerzas de la tensión superficial en la disolución de polímero cargado, de esta forma a un voltaje determinado (umbral), finos chorros de solución son expulsados desde el

capilar hasta el plato colector. Posteriormente el chorro se mueve en la dirección del campo eléctrico, elongándose de acuerdo con las fuerzas externas e internas y experimentando inestabilidad en algunas ocasiones. El disolvente se evapora (fase de elongación del chorro del polímero) y los segmentos de fibras son depositados al azar en un sustrato colector. Normalmente, el electrohilado es llevado a cabo a temperatura ambiente, bajo condiciones atmosféricas [3]. La disposición característica del aparato en conjunto se muestra en la ilustración 1:

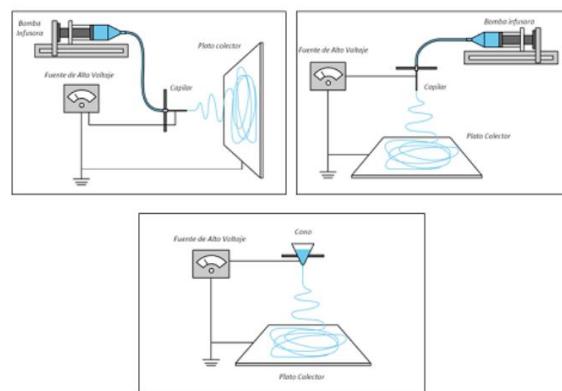


Ilustración 1. Disposición de un sistema de electrohilado y configuraciones habituales

Mediante el proceso de electrohilado no siempre es posible obtener resultados positivos, ya que, en ocasiones, según la naturaleza del disolvente empleado para solución del polímero, la concentración de éste o las variables de la máquina de electrohilado (tiempo de suministro de la disolución, voltaje requerido) se puede observar que el polímero no se transforma en nano fibra, simplemente se queda como polímero en forma de gotas (electrospraying) o

fibras mezcladas con gotas[1] como se muestra en la ilustración 2.



**Ilustración 2. Imagen de varios jets cuando se produce electrospraying**

### **2.1.3. Partes del equipo de electrohilado**

En la realización del prototipo es necesario conocer su orden de magnitud para poder establecer los recursos necesarios que permitan llevarlo a cabo. Dicho lo anterior, el sistema de electrohilado consta de tres componentes principales:

1. Fuente de alimentación de alta tensión.

El proceso de electrohilado se lleva a cabo gracias a la generación de un campo electrostático elevado, esto se consigue creando una diferencia de voltaje entre la aguja y el colector, estando la aguja entre 10 kV y 30 kV mientras que el colector está conectado a tierra (tensión 0). Por todo esto, se hace necesario el empleo de una fuente de alta tensión que sea capaz de generar una tensión desde los 10 kV hasta los 30 kV, además de tener un electrodo de alta tensión con una alta conductividad eléctrica, así como una resistencia a la corrosión, (desde los 10 kV hasta los 30 kV) y otro de tensión 0 para poderse conectar a la aguja y al colector, respectivamente [1].

2. Colector

Es el elemento en el que se depositan las nanofibras debido a que está conectado a tierra (tensión 0) y para ello tiene que ser un material conductor eléctrico. Herrero

(2014) utilizó una placa de acero inoxidable ya que se visualizó buenas formaciones de hilos.

Es el elemento en el que se depositan las nanofibras gracias a que está conectado a tierra (tensión 0). Para poder estar a tensión 0, tiene que ser de un material conductor eléctrico. En el trabajo de Herrero (2014) se utilizó una placa de acero de acero inoxidable ya que se visualizó buenas formaciones de hilos.

3. Inyectores. Lo habitual es que sean accionados por una bomba de flujo programable que permita mantener un caudal constante. [1].

La jeringuilla es el elemento que alberga la disolución polimérica, es por donde se impulsa la mezcla.

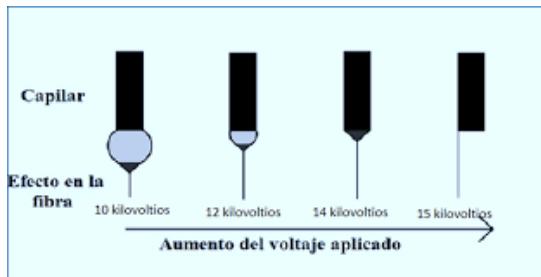
La jeringuilla es el elemento que alberga la disolución polimérica, además es el elemento por el que se impulsa la solución polimérica durante el proceso. La aguja de la jeringa, debe ser metálica, para poder transmitir el voltaje hacia la disolución. Se recomienda el uso de agujas con diámetros internos de 0.6mm y de 1.36mm.

### **2.1.4. Proceso de formación de mallas electro hiladas**

Se utiliza una fuente de alto voltaje para cargar la solución polimérica con una polaridad específica. Esta solución cargada se dirige hacia un colector con polaridad opuesta, que está conectado a tierra. Los polímeros son disueltos en un disolvente volátil, que ha de evaporarse durante el proceso, formando la disolución polimérica que fluye por el tubo capilar. En el procedimiento, la salida de la disolución depende de su tensión superficial en el final del tubo capilar.

Se somete a un campo eléctrico para inducir una carga eléctrica en la superficie del líquido. Cuando el campo eléctrico aplicado alcanza un valor crítico, las fuerzas eléctricas de repulsión superan a las fuerzas de tensión superficial del líquido [5]. Existe un concepto asociado al electrospinning el cono de Taylor, es una

forma estable de la suspensión de la disolución polimérica en la punta de la aguja. Esta surge como resultado del equilibrio entre las fuerzas eléctricas aplicadas y la tensión superficial en los casos de líquidos no viscosos, newtonianos y viscoelásticos. Entonces, el cuerpo líquido adquiere una forma cónica (ilustración 3), que se refiere como cono de Taylor. El cono cambia de forma a medida que se modifica el potencial, partiendo de una gota con bajos potenciales hasta la forma cónica bien definida en los potenciales mayores. Finalmente, un hilo cargado de la disolución es expulsado por la punta del cono de Taylor como una rápida sacudida inestable que ocurre entre la punta del capilar y el colector, lo que permite la evaporación del disolvente, obteniendo únicamente una fibra de polímero. Es por ello por lo que el proceso de electrohilado ofrece una técnica simplificada para la formación de fibras [1].



**Ilustración 1. Formación de Cono de Taylor en la punta de la aguja, variaciones del Cono de Taylor con potencial aplicado**

## 2.1.5. Parámetros influyentes en el proceso

Durante el desarrollo del proceso de electrospinning, existen una serie de variables operativas que influyen en las características de los elementos obtenidos, ya sea porque están ligadas a las características del material base o porque su desempeño está relacionado con otros parámetros dentro del proceso. Puesto que se trata de un proceso en el que pretendemos obtener unas características

morfológicas en una escala inferior a lo observable durante la realización de un experimento de electrospinning, es difícil clarificar la influencia e interrelación de todas las variables entre sí y con el resultado final observable en el microscopio, ya que al mismo tiempo, las variables también están ligadas entre sí para el inicio del proceso, el polímero debe estar diluido en el o los disolventes que permitan una dilución y distribución homogénea del mismo, si el polímero no se encuentra correctamente disuelto, puede producirse obstrucción del capilar de la aguja durante el proceso, a la vez, al mismo tiempo se promueve la obtención de fibras homogéneas. [5]

Se pueden clasificar los parámetros que intervienen en el proceso, en base a 3 criterios: características de la disolución, características del proceso y condiciones ambientales.

### 1. Parámetros de la disolución

Existen diversos parámetros que están íntimamente relacionados con las propiedades y características de las fibras obtenidas por medio de electrospinning por lo que su control durante la ejecución del proceso es indispensable. Si bien un número de relaciones generales entre los parámetros de proceso y morfología de las fibras se pueden argumentar, es importante darse cuenta de que la relación exacta será diferente para cada polímero y disolvente utilizado en el sistema. Dependiendo de una serie de variables de la solución se obtendrán diferentes resultados. Por lo tanto, es difícil dar relaciones cuantitativas que se puedan aplicar en una amplia gama de polímeros y sistemas de disolventes. Aclarado esto, hay tendencias generales que son útiles para determinar las condiciones óptimas para un determinado sistema:

- Concentración de la disolución polimérica

es uno de los parámetros determinantes del tamaño y la morfología de las fibras. La

concentración de polímero en la solución influencia tanto la viscosidad como la tensión superficial de esta, la viscosidad de una solución de polímero está relacionada con el enredo de las cadenas poliméricas, si las cadenas son menos enredadas, la solución tendrá una viscosidad baja y viceversa.

- Viscosidad

Se ha demostrado que fibras finas y continuas no pueden ser obtenidas con baja viscosidad debido a que la tensión superficial es el factor dominante y conlleva la formación de cuentas, mientras que niveles muy elevados de viscosidad hacen muy difícil la eyección de fibras por la aguja. [1]

- Tensión superficial

Doshi y Reneker (2000) concluyeron que reduciendo la tensión superficial de una solución de polímero podrían obtenerse fibras sin presencia de grumos.

## 2. Parámetros del proceso

- Voltaje:

Rango óptimo: 10-30 kV.

El voltaje alto genera una fuerza de electrohilado mayor, lo que produce fibras más finas. El voltaje demasiado alto puede generar inestabilidad en el proceso y formación de gotas.

- Caudal de la solución:

Rango óptimo: 0.05-0.5 mL/h.

El caudal bajo genera fibras gruesas y con defectos. El caudal alto puede generar fibras finas, pero con baja densidad en la malla.

- Distancia entre aguja y colector:

Rango óptimo: 10-20 cm.

A distancia corta puede generar fibras gruesas y con gotas. A distancia larga puede generar fibras finas, pero con baja eficiencia de recolección.

- Tipo de colector:

Colectores planos generan mallas con fibras aleatorias. Colectores con patrones pueden generar mallas con estructuras específicas.

## 3. Parámetros ambientales

Los parámetros ambientales, fundamentalmente la humedad relativa y temperatura ambiente, influyen en el proceso.

Se han realizado estudios para investigar el efecto de la temperatura en fibras de poliamida variando de 25 a 60°C y se encontró que con el aumento de la temperatura se producen fibras de menores diámetros. Mit-Uppatham y colaboradores atribuyeron esta reducción en el diámetro a la disminución de la viscosidad de las soluciones poliméricas a altas temperaturas ya que existe una relación inversa entre viscosidad y temperatura [5].

Se ha estudiado además la variación de la humedad durante el electrohilado de poliestireno y se ha demostrado que al aumentar la humedad ambiental se presenta una aparición de pequeños poros circulares en la superficie de las fibras. También se ha encontrado que en ambientes casi secos o de muy poca humedad, un solvente volátil se evapora más rápidamente. A veces la velocidad de evaporación es demasiado rápida, comparada con la eliminación del disolvente en la punta de la aguja, que se crea una deficiencia en el proceso de electrohilado al taparse la aguja después de pocos minutos de haber empezado el proceso. Aunque otros investigadores, también han sugerido que ambientes muy húmedos pueden ayudar a la descarga de las fibras [8].

## 2.1.6. Aplicaciones en Ingeniería

### Biomédica

Herrero (2015), menciona varias aplicaciones, a continuación se sintetizan de manera general cada una de ellas:

1. Vasos sanguíneos: Las nanofibras electrohiladas se utilizan para la ingeniería de tejidos vasculares, ofreciendo un soporte tridimensional para el crecimiento celular. Se han fabricado matrices bicapa que imitan las características de los vasos sanguíneos naturales y se han realizado estudios *in vivo* con resultados prometedores.
2. Huesos: Las nanofibras se emplean en la ingeniería de tejidos óseos, permitiendo la penetración celular y la formación de tejido similar al óseo. Se han estudiado nanofibras de diferentes materiales, como PCL y gelatina, así como la adición de nanopartículas para mejorar las propiedades y la estimulación mecánicas para mejorar la regeneración ósea.
3. Músculos: Las nanofibras de colágeno y polímeros mixtos se utilizan para el cultivo de células musculares, mejorando la elasticidad y la unión celular. Se han realizado estudios sobre la degradación celular en diferentes tipos de nanofibras, con resultados relevantes para la regeneración muscular.
4. Cicatrización de heridas: Las nanofibras electro hiladas se emplean como apósticos para heridas, proporcionando una barrera física permeable que favorece la cicatrización y previene la acumulación de fluidos. Se han realizado estudios sobre diferentes materiales y técnicas de electrohilado para optimizar la eficacia de estos apósticos.
5. Administración de fármacos: Las nanofibras se utilizan para la administración controlada de fármacos, permitiendo una liberación gradual y predecible de la sustancia activa. Se han estudiado diferentes polímeros y técnicas de electrohilado para modular la liberación de los fármacos.
6. Adsorción de iones metálicos: Las nanofibras se utilizan para la adsorción de iones metálicos en soluciones acuosas, contribuyendo a la eliminación de contaminantes. Se han realizado estudios sobre diferentes materiales y técnicas de electrohilado para mejorar la capacidad de adsorción de las nanofibras.
7. Catálisis y enzimas: Las nanofibras se utilizan como portadores de catalizadores y enzimas para acelerar y mejorar reacciones químicas y biológicas. Se han realizado estudios sobre la inmovilización de catalizadores y enzimas en nanofibras para optimizar su actividad y estabilidad.
8. Sensores: Las nanofibras se emplean como sensores para detectar sustancias químicas en diferentes aplicaciones, como el control ambiental y el diagnóstico médico. Se han realizado estudios sobre la incorporación de moléculas sensibles en nanofibras para mejorar su sensibilidad y selectividad.
9. Compuestos: Las nanofibras se utilizan como refuerzo en materiales compuestos para mejorar sus propiedades mecánicas y funcionales. Se han estudiado diferentes tipos de nanofibras y técnicas de

fabricación para optimizar el rendimiento de los compuestos.

## 2.1.7. Análisis de polímeros

En los procesos de electrohilado se emplean principalmente dos clases diferentes de materiales poliméricos en la preparación de las estructuras: los naturales y los sintéticos. Los polímeros naturales ofrecen la ventaja de una excelente biocompatibilidad con el cuerpo humano, se usan el colágeno, el ácido hialuronico (HA), la gelatina, el quitosano y la seda. Por otro lado los polímeros sintéticos más utilizados son el policaprolactona (PCL), el poliácido láctico (PLA), poliácido glicólico (PGA) y el copolímero poli (ácido láctico-coglicólico) PLGA, tienen la característica de ser biodegradables y son preferidos porque evitan una segunda cirugía para eliminar dicho soporte. Entre estos, La PCL es un polímero sintético, biocompatible, bioabsorbible que presenta propiedades mecánicas adecuadas para variedad de aplicaciones, como el uso clínico en dispositivos de liberación controlada de fármacos y también como material de sutura utilizado desde 1980 [10].

## 2.2. Proceso de electrohilado con disoluciones de quitosano, PCL, gelatina o PLA

La policaprolactona (PCL) es un polímero biodegradable, no tóxico y con buena biocompatibilidad. El PCL es uno de los materiales ideales para preparar nanofibras mediante un proceso de electrohilado que le proporciona una alta biocompatibilidad. [10].

Diferentes estructuras de nanofibras ya han sido producidos por esa tecnología usando polímeros naturales tales como colágeno, fibroína seda, policaprolactona poliactida y quitosano. Este último material es un polímero con mayor uso en investigaciones relacionadas con la ingeniería de tejido, por su

biocompatibilidad, biodegradabilidad, aceleración en la formación osteoblastos, hemostático, fungistático además que se materializa por ciertas enzimas humanas tales como la lisozima y tiene similitudes estructurales como glucosaminoglicanos importantes en la reparación de heridas. Las propiedades biológicas asociadas con las fibras que contienen quitosano se muestran en la siguiente tabla

**Tabla 1. Propiedades de las nanofibras a base de QS**

Quitosano/Polímeros sintéticos	Biocompatibilidad	Adhesión celular	Degradoación
Policaprolactona	+	-	+/-
Poli (ácido láctico-coglicólico)	+	-	-
Alcohol polivinílico	+	+	-

+: favorece el proceso

-: inhibe el proceso

Las propiedades y las fibras obtenidas por el traslado han recibido una gran atención por parte de la comunidad científica como candidatos adecuados para aplicaciones de ingeniería administración de fármacos biomédicos punto sus propiedades incluyen alta relación a la superficie y volumen, alta porosidad, tamaño de poro ajustable y similitud morfológica la materia extracelular [11].

En un artículo conformado por varios investigadores, denominado “Fabricación de fibras poliméricas a base de PLA obtenidas mediante electrohilado” se presento el método para la fabricación de un andamio a base de ácido poliláctico (PLA) y su caracterización por medio de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) y Espectroscopía de Transmisión de Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR). Al aplicar dicho método de fabricación, se obtuvo un andamio cuyas fibras que oscilan de 7.5-200 nm presentan características favorables para su uso o aplicación en ingeniería tisular o medicina regenerativa [12].

### 3. DESARROLLO

Para el diseño del prototipo de la máquina del electrohilado, se ha dividido en dos partes fundamentales: un sistema para el suministro de la solución polimérica (bomba de infusión) y una fuente de alto voltaje.

#### 3.1. Sistema para el suministro de la solución polimérica (bomba de infusión)

##### 3.1.1. Materiales y componentes

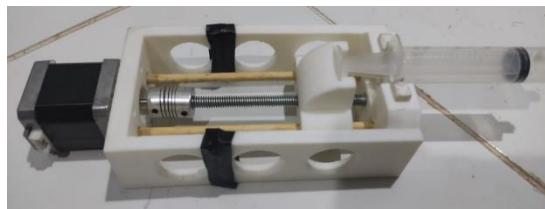
Para la elaboración de la bomba de infusión, fue necesario contar con los siguientes materiales y componentes, en la tabla 2 se mencionan estos, así como una imagen alusiva.

**Tabla 2. Materiales y componentes utilizados para el diseño de la bomba de infusión**

MATERIALES Y COMPONENTES	
Arduino Uno	
Motor a pasos (Nema17)	
Puente H (modelo L298N)	
Fuente de 12V	
Keypad 4x4	

##### 3.1.2. Diseño

Las piezas que conforman la bomba de infusión fueron descargadas de un proyecto que se encontró en internet, posteriormente se adecuaron a las medidas que se requirieron [13]. Los cambios efectuados se realizaron en la aplicación de diseño Autodesk Fusion.

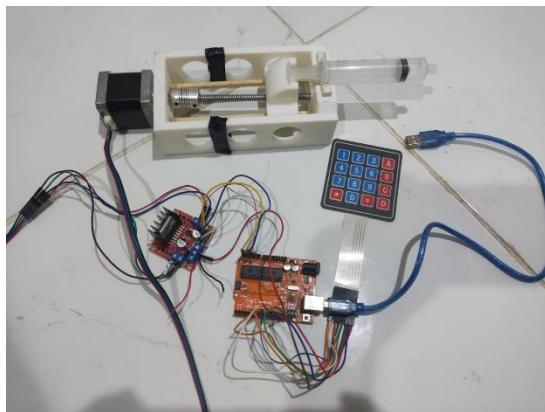


**Ilustración 4. Diseño de la bomba de infusión**

Para controlar la bomba de infusión se decidió utilizar un motor a pasos Nema17, este funciona con un adaptador de 12V, el Arduino solo puede enviar como máximo 5V, por lo que se utilizó un puente H modelo L298N que permitiera conectar una fuente externa de 12V y enviarlo al motor, además se utilizó para controlar al motor desde el puente H en lugar del Arduino. Se decidió realizar este sistema, debido a que en el trabajo de Tedesco (2019) desarrollo de implemento un algoritmo de control para una bomba de insulina, en donde la salida de dicho sistema controló la dosificación de insulina a través de una jeringa, además el movimiento mecánico de dicha jeringa fue gracias a la rotación de un motor de corriente continua, el cual accionaba el desplazamiento de dicha jeringa. [14]

Se programó todo desde el IDE de Arduino, primero se realizaron pruebas con el funcionamiento del Keypad, luego se probó el motor a diferentes velocidades con ayuda del puente H y finalmente se combinaron ambas pruebas para que funcionen como un solo código.

Las pruebas realizadas muestran que la bomba de infusión es capaz de trabajar con 20 ml en un tiempo de 60 minutos, en las pruebas iniciales el usuario ingresa la velocidad a la que el motor funcione mediante el keypad y se puede observar la información mediante el puerto serial del Arduino (ilustración 5).



**Ilustración 5. Sistema para el suministro de la solución (bomba de infusión), controlada por un Keypad 4x4**

Se planea reemplazar el puerto serial del Arduino por una pantalla LCD y en lugar de solicitar que se ingrese la velocidad del motor, se solicite el volumen con el que se quiera trabajar y en cuanto tiempo se necesita, que son parámetros más fáciles de entender para el usuario.

### 3.2. Diseño de la fuente de alto voltaje

Para la formación de las fibras, es necesario un voltaje entre 10kV-30kV, el cual es algo difícil de conseguir, sin embargo, investigando se encontró con un transformador de alto voltaje (ilustración 6), el cual, según las especificaciones del componente, sería capaz de arrojar 50kV. Para lograr hacerlo funcionar, era necesario ocupar un rango de 3.7V-2A o 6V-4A

linealmente, haciendo cálculos se llegó a la decisión de alimentarlo a 5V-3A.



**Ilustración 6. Transformador de alto voltaje empleada.**

La alimentación en las pruebas iniciales, en un principio se intentó realizar con las fuentes AC, al estar ejecutando las pruebas, se percató que con una sola fuente no era suficiente para lograr el amperaje deseado. Una solución a esto, sin modificar el voltaje, fue la conexión de otra fuente en paralelo. Sin embargo, esta no fue del todo una solución exitosa, debido a que seguía sin dar el amperaje necesario, por lo que se tuvo que optar por otra opción. La opción encontrada y accesible, fueron los cargadores de Xiaomi de carga ultra rápida de 33w, el cual tienen un voltaje de salida de 5V-3A.

Para lograr saber cuál era el voltaje de salida real sin morir en el intento, se realizó una resistencia de valor muy alto, colocando 35 resistencias en serie de  $1\text{ M}\Omega, \pm 5\%$  de tolerancia, por lo que se consiguió un valor real de  $34.7\text{ M}\Omega$  (ilustración 7). La finalidad de esto fue para reducir el amperaje de salida, poder medir el voltaje de salida, correr un menor riesgo de una descarga perjudicial para la salud y poder medirlo con un multímetro, ya que un voltaje no tan elevado no es posible medirlo con uno digital.

Se optó medir el amperaje, y con la ayuda de la Ley de Ohm (Ec1), conociendo la resistencia exacta y midiendo la intensidad de salida, se puede determinar el voltaje real de salida despejando la ecuación.

### **Ec1. Ley de Ohm**

$$I = \frac{V}{R}$$

Donde:

I = Corriente (A)

V = Voltaje (V)

R = Voltaje (R)

Con la entrada de alimentación deseada, y sabiendo la manera correcta de medir el voltaje, se realizaron las primeras pruebas obteniendo un valor de 0.00067A y despejando la Ec1 se obtuvo lo siguiente:

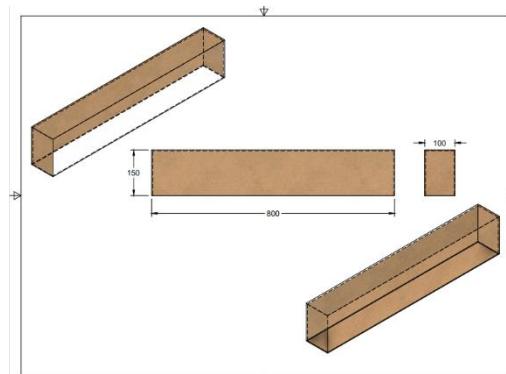
$$I = \frac{V}{R} \rightarrow V = R * I \rightarrow V = (34.7M\Omega * 0.00067A)$$

$$V = 23.2kV$$

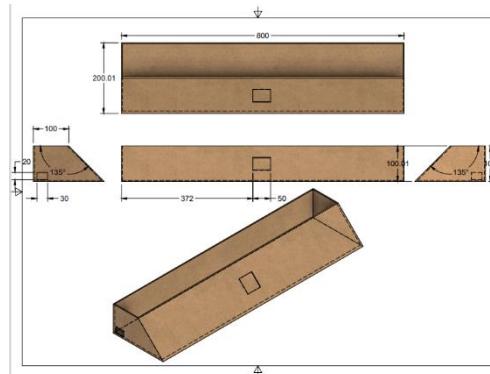
Por lo que se obtuvo un voltaje igual a  $V = 23.2kV$ . Durante las pruebas se percató que el voltaje de entrada se reduce a 3.5V, debido a que la resistencia de salida era muy elevada, y esto exigía una mayor intensidad, por lo que reduce el voltaje, pero en el prototipo no afectaría esta pequeña perdida de voltaje, ya que se obtiene un voltaje mayor a los 20kV.

### **3.3. Diseño final de la carcasa**

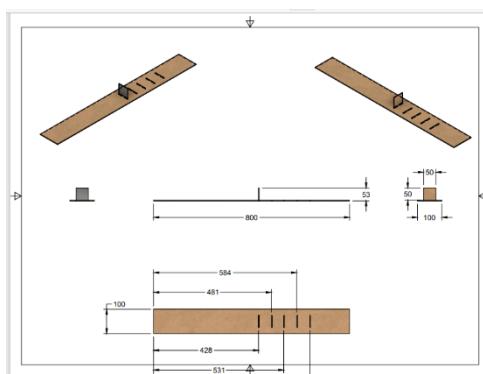
A continuación, se visualiza en las siguientes el diseño final de la máquina de electrohilado, el material empleado para la construcción será MDF:



**Ilustración 7. Diseño del sistema de protección (tapa)**



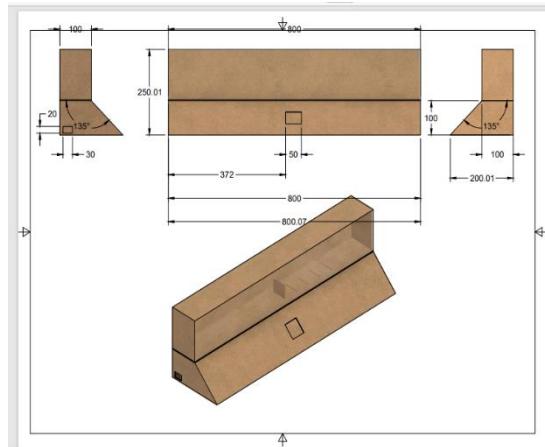
**Ilustración 8. Diseño del portacircuito**



**Ilustración 9. Diseño de la base del colector**

En la ilustración 7 se observa la tapa del prototipo, el cual cuenta con acrílico, esto con el fin de contar con un sistema de seguridad y evitar accidentes no deseados. Seguidamente en la figura 8 se observa el porta circuito, mismo donde irá la bomba de infusión, así como la fuente de alto voltaje y todos los circuitos requeridos. Finalmente, en la figura 9, se realizó un sistema el que proporciona diferentes distancias al colector, el cual está pensado en colocarse a 5, 10, 15, 20 cm a la aguja, esto con el fin de poder mover el colector con facilidad.

A continuación, se muestra una vista general de la unión de las 3 partes:



**Ilustración 10. Vista general de la carcasa del prototipo de máquina de electrohilado**

## 1. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Herrero, (2014). *Diseño y puesta a punto de una cámara de electrohilado con control de temperatura y humedad ambiental*
- [2] Zeleny, (1914). *The electrical discharge from liquid point, and hydrostatic method of measuring the electric intensity at their surfaces*. Physical review, 3(2):69
- [3] Calzón, A, (2016). *Desarrollo de un equipo de electtospinning para obtención de nanofibras alineadas de recombinámeros tipo elastina*.
- [4] Harakas, H. (2018). *Electrospinnig of nanofibers and their applications*.
- [5] Lian, Hsiao (2007). Functional electrospum nanofibrous scaffolds for biomedical applications.  
DOI: [10.1016/j.addr.2007.04.021](https://doi.org/10.1016/j.addr.2007.04.021)
- [6] Montes, et al. (2020). *Efecto de los parámetro de electrohilado en la morfología de las fibras de PVDF y PS*.
- [7] Doshi, Reneker. (2000). *Electrospinning process and applications of electrospun fibers*.
- [8] Chong, Phan. (2007). *Evaluation of electro spun pcl gelatin nanofibrous scaffold for wound healing and layered dermal reconstitution*.
- [9] Torres. (2021). *Diseño de equipo electrohilado por método centrífugo para polímeros*.
- [10] Khandaker, Nomhwange, Progr. (2022). Evaluation of Polycaprolactone Electrospun Nanofiber-Composites for Artificial Skin Based on Dermal Fibroblast Culture.
- [11] Cuahuizo Huitzil. (2018). *Obtención de fibras de quitosano por la técnica de electrohilado y su caracterización*.
- [12] Báez, et al. (2020). *Fabricación de fibras poliméricas a base de PLA obtenidas mediante electrohilado*.

[13] Canal UNC Greensboro Dept. Of Chemistry & Biochemistry. (2018). Flow chemistry: Syringe Pump Assemble Video (Part 2)

[14] Tedesco. (2019). Desarrollo de implementación de algoritmo de control para bomba de insulina.

