

## SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA PARA LA TRANSFORMACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE UN POLÍMERO PARA PRODUCIR MICROFIBRAS

**Ronald Fiallo Rendón\*, Claudia Joana Santamaría Moya**

Programa de Tecnología en Instrumentación Electrónica, Universidad del Quindío, Armenia, Quindío,  
Correo electrónico: Ronald\_428@hotmail.com, jsantamaria@uniquindio.edu.co

*Recibido: Julio 2015; Aceptado: Diciembre 2015*

### RESUMEN

Desde el descubrimiento de los polímeros intrínsecamente conductores se han llevado a cabo gran cantidad de trabajos para el desarrollo de este tipo de polímeros, los cuales ofrecen propiedades altamente llamativas para la industria como la encapsulación de proteínas, antibióticos y dispositivos de asistencia ventricular, por ello el estudio de las fibras poliméricas para el perfeccionamiento de dispositivos biomédicos ha aumentado drásticamente en la última década. En el presente trabajo se muestra la construcción de un sistema de inyección electrónica para la transformación de las propiedades físicas de un polímero a microfibras por medio de un campo electromagnético, el cual se desarrolló en 4 fases que consisten en: Fase 1) Inyección electrónica, Fase 2) Acople del *Fly Back* como fuente de alta tensión, Fase 3) Cambio del polímero a micro fibra, y Fase 4) Recolección del polímero. Como resultado se obtuvieron micro fibras desde los 4 hasta los 17  $\mu\text{m}$ . El sistema construido sólo produce micro fibras dado que los parámetros aplicados (concentración de la solución del polímero, tensión superficial y conductividad de la solución) fueron condicionados para esto.

**Palabras claves:** campo electromagnético, microfibras, polímero, inyección.

### ABSTRACT

The discovery of conductive polymers has many applications: encapsulation of proteins, antibiotics and ventricular assist devices. The study of polymer fibers for biomedical devices has increased in the last decade. This work proposes the construction of an electronic injection system for transformation of polymer physical properties to microfibers, in four phases. Phase 1) Injection Electronics. Phase 2) Copling the Fly Back as source of high voltage. Phase 3) Change the polymer to micro fiber, and Phase 4) Polymer Collection. Obtained micro fibers sizes were between 4 and 17  $\mu\text{m}$ . The parameters applied to produce micro fibers were: concentration of the polymer solution, surface tension and conductivity of the solution.

**Keywords:** electromagnetic field, microfibers, polymer, injection.

### INTRODUCCIÓN

La conductividad es una propiedad física que poseen los materiales para realizar la conducción de la electricidad, metales como: la plata, el cobre, el latón, el aluminio entre otros presentan las mejores propiedades conductivas, estas también se han encontrado en los polímeros que se producen por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas denominadas monómeros [1].

Los polímeros en la industria en general, son malos conductores eléctricos, así que se utilizan normalmente como materiales aislantes; éstos han sido materiales altamente útiles, ejemplo de ello es que han sustituido las porcelanas y el vidrio en la construcción de las váquelas. Actualmente se utilizan en termoplásticos y en la fabricación de cables eléctricos, llegando a tensiones de aplicación

superiores a los 20 kV. Este tipo de polímeros son conocidos en términos más científicos, como polímeros extrínsecos. Sin embargo, hay otro tipo de polímeros como los intrínsecos que poseen moléculas capaces de conducir la electricidad, ya que estas presentan una estructura similar a la del silicio [2].

Aprovechando las características de los polímeros intrínsecos, se construyó un sistema que produce un campo electromagnético de alta tensión para el cambio de las propiedades físicas de los polímeros a microfibras; donde la fuerza electromagnética hace que la tensión superficial actúe eliminando el disolvente, convirtiéndose en un hilo eléctricamente cargado direccionándolo hacia el colector; el cual tiene forma de rodillo para realizar una recolección mucho mejor del polímero, todo este proceso se conoce como electro spinning, aunque originalmente para este proceso se utilizan dos modelos para realizarlo el horizontal y el vertical, hemos escogido el vertical para tener mayor control de la expulsión del líquido polimérico. En la Figura 1 se muestra el esquema del dispositivo.

## METODOLOGÍA

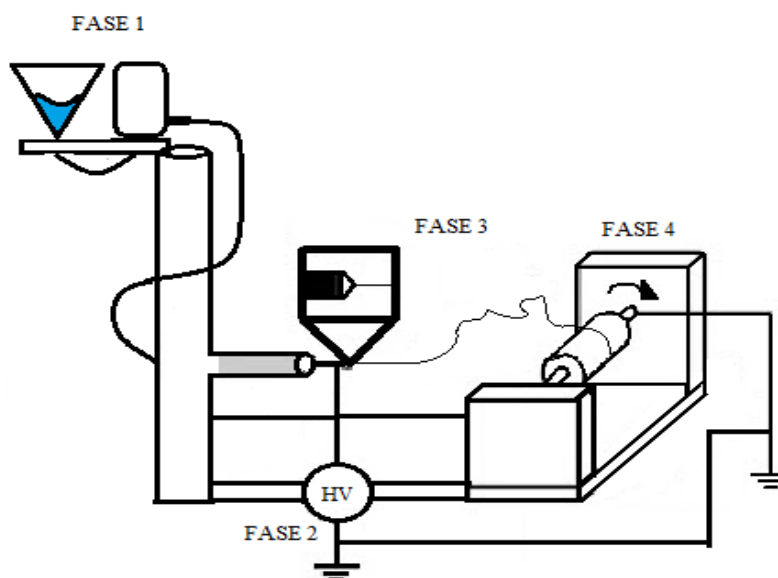


Figura 1. Fases del sistema de inyección electrónica para la generación de fibras.

El sistema de inyección electrónica para la generación de fibras a nivel micro, se realizó en 4 fases:

**Inyección electrónica.** El objetivo de esta fase es minimizar la interacción de un ser humano con la inyección del polímero, ya que los altos voltajes de la fuente de tensión, podrían ocasionar sobre éste una descarga considerable.

La inyección electrónica se compone de una electroválvula para la expulsión del líquido polimérico, la cual se controla mediante el micro controlador arduino, que es programado como se muestra en el diagrama de bloques de la Figura 2 donde la salida digital (pin 11), permite controlar el apagado y encendido de la electroválvula. Al encenderse la electroválvula el líquido polimérico se dirige hacia el regulador médico de líquidos donde es controlada su salida.

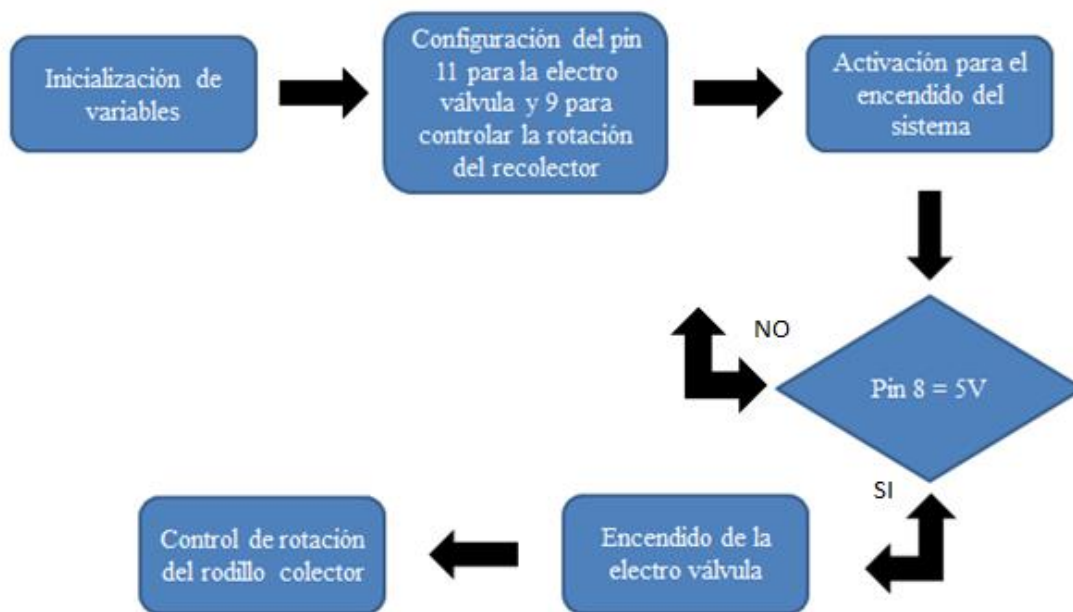


Figura 2. Diagrama de bloques de la programación en arduino.

**Fuente de alta tensión.** La fuente de alta tensión está compuesta por un transformador de alto voltaje (*fly-back*), el cual es acoplado mediante la bobina secundaria, junto a un transistor de deflexión horizontal y circuitos de salida, que elevan el B+ (fuente de bajo voltaje de unos 120 V en los televisores) de la fuente de poder de 20 a 30 kV para el TRC (tubos de rayos catódicos) y provee varios voltajes más bajos para otros circuitos, éste produce la alta tensión que genera el campo electromagnético lo suficientemente intenso para causar la deformidad en el polímero produciendo posteriormente las microfibras [3].

**Cambio del polímero a micro fibra.** El campo electromagnético producido por el *fly-back* realiza el cambio en las propiedades físicas del líquido polimérico, ejerciendo una fuerza electromagnética sobre el líquido, la cual deforma su estado original a un hilo micro eléctricamente cargado cumpliendo con la teoría de *Taylor* [4,7] como se observa en la Figura 3, la cual muestra la deformación de un líquido conductor por la influencia de un campo electromagnético, aunque si la intensidad del campo no es suficiente, la microfibra que se estaría formado se vería expuesta a la

tensión superficial, que es la tensión que tiene un líquido para no dejarse evaporar, interrumpiendo la formación micrométrica del polímero formando gotas poliméricas [5].

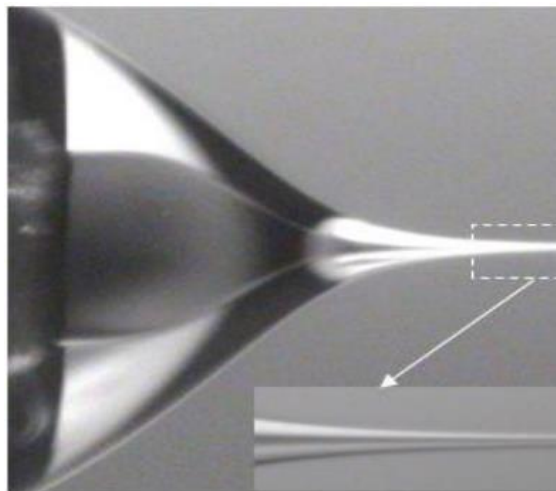


Figura 3. Efecto cono de Taylor y producción de la microfibras.

**Recolección del polímero.** El colector que está conectado a la parte negativa del embobinado de alto voltaje del *fly-back*, garantiza que el polímero cargado de manera positiva se dirija hacia éste, donde el recolector estará girando de una manera controlada para obtenerlo en su forma de fibra, aunque no es necesario que este gire si no se quiere tener una imagen clara de la micro fibra o no se necesita para cualquier otro proyecto, cabe señalar que el material del colector puede ser cualquier material metálico preferiblemente en forma de rodillo para facilitar la recolección del polímero.

A continuación se muestra una tabla con los parámetros tenidos en cuenta para el proceso de *electro spinning* [6].

Tabla 1. Parámetros para el proceso del *electrospinning*.

Tensión superficial	+	Aparición de gotas poliméricas
	-	Formación de microfibras, es importante disolventes con buena conducción , en este caso el etanol para disminuir la tensión superficial
Concentración de la disolución polimérica	+	Dificulta el paso de la solución a través del capilar
	-	Las fibras se rompen en gotas antes de llegar al rodillo colector
Conductividad de la disolución	+	Mayor transporte de cargas, fibras delgadas
	-	Menor transporte de cargas, menos distancia recorrida. Fibras gruesas

## RESULTADOS

Teniendo en cuenta los siguientes parámetros: la concentración de la solución del polímero, tensión superficial y voltaje aplicado; el ácido poliláctico se disolvió en cloroformo para intensificar su conducción dando como resultado la formación de la microfibra. Sin embargo, para encontrar los parámetros correctos se hicieron diferentes pruebas arrojando diferentes cambios como se evidencia en las pruebas 1, 2, y 3.

**Prueba 1:** Análisis del comportamiento del sistema bajo los siguientes parámetros:

- Voltaje de operación: 21,5 kV
- Distancia entre la aguja de inyección electrónica y el rodillo colector: 6 cm
- Automatizado: el sistema cumple con todas las fases sin necesidad de un operador
- Concentración: 30% cloroformo en 1,2 g de ácido poliláctico (tipo de polímero utilizado).

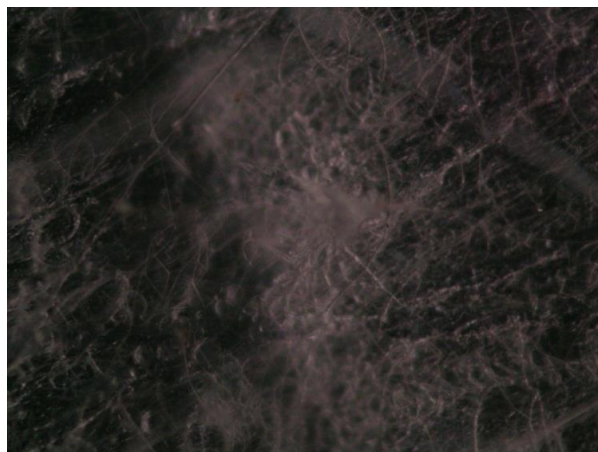


Figura 4. Microfibras resultantes en la prueba 1-1.

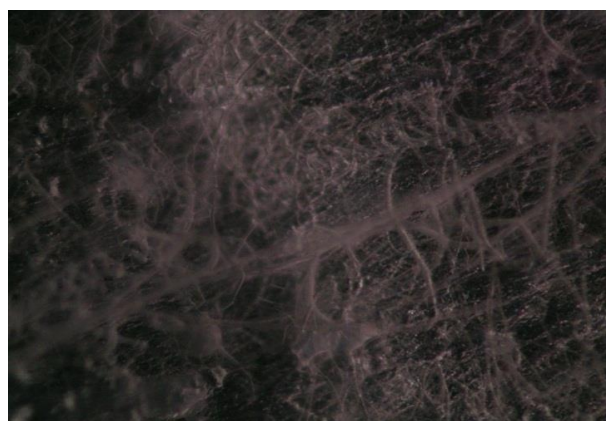


Figura 5. Microfibras resultantes en la prueba 1-2.



Figura 6. Microfibras resultantes en la prueba 1-3.

Las imágenes anteriores permiten realizar un análisis del comportamiento del sistema bajo los parámetros ya mencionados, brindando una respuesta casi perfecta porque a pesar de que no se evidenciaron gotas poliméricas las microfibras obtenidas no son muy claras.

**Prueba 2:** Análisis del comportamiento del sistema bajo los siguientes parámetros:

- Voltaje de operación: 3 kV.
- Distancia entre la aguja de inyección electrónica y el rodillo colector: 4 cm
- Sin automatizar: el sistema necesita de un operario para finalizar el proceso.
- Concentración: 20% cloroformo 1,2 g de ácido poliláctico (tipo de polímero utilizado).

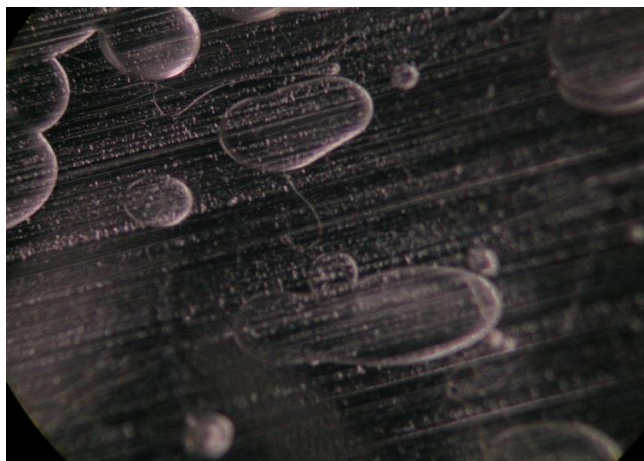


Figura 7. Microfibras resultantes con la formación de gotas poliméricas, prueba 2-1.



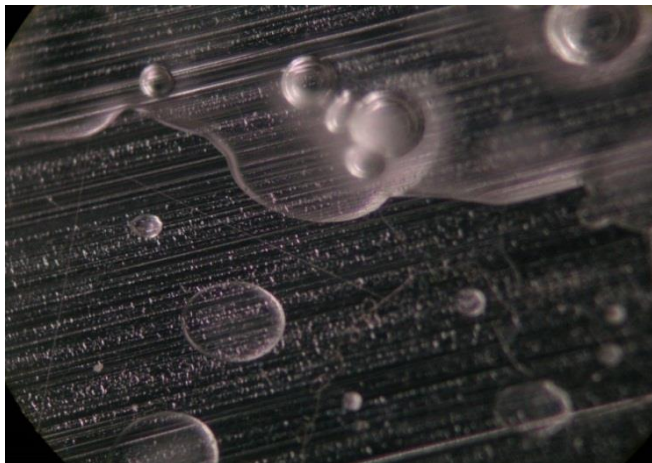


Figura 8. Microfibras resultantes con la formación de gotas poliméricas, prueba 2-2.

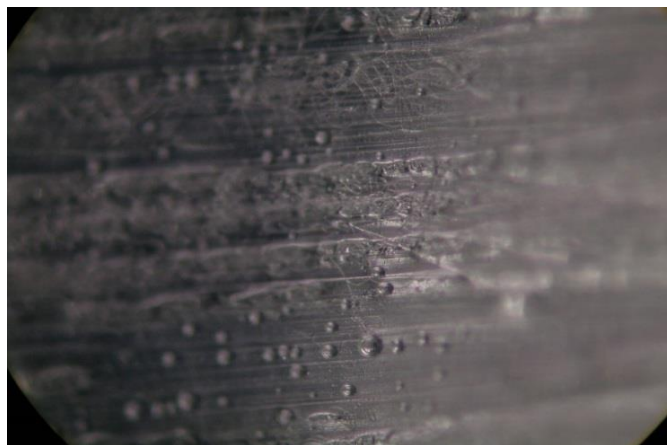


Figura 9. Microfibras resultantes con la formación de gotas poliméricas, prueba 2-3.

Las imágenes visualizadas muestran que el sistema permite la realización de microfibras, pero lo que resalta es la formación de gotas de polímero que dañan el proceso, por lo tanto, los parámetros anteriormente mencionados no son los correctos.

**Prueba 3:** Análisis del comportamiento del sistema bajo los siguientes parámetros:

- Voltaje de operación: 4 kV.
- Distancia entre la aguja de inyección electrónica y el rodillo colector: 3 cm
- Sin automatizar: el sistema necesita de un operario para finalizar el proceso.
- Concentración: 20% cloroformo 1,2 g de ácido poliláctico (tipo de polímero utilizado).

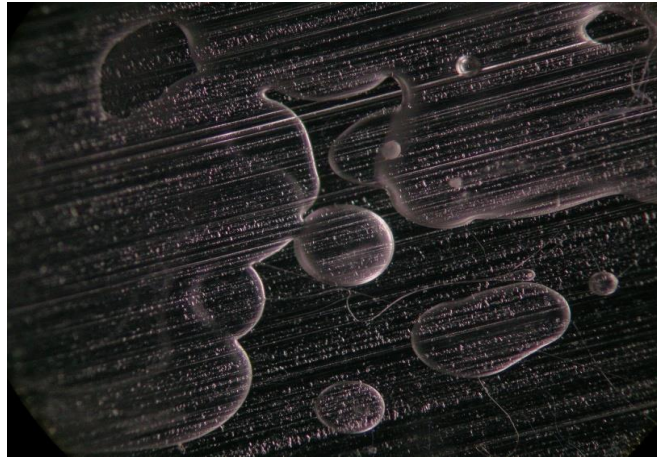


Figura 10. Microfibras resultantes obstaculizadas por la formación de mínimas gotas poliméricas, prueba 3-1.

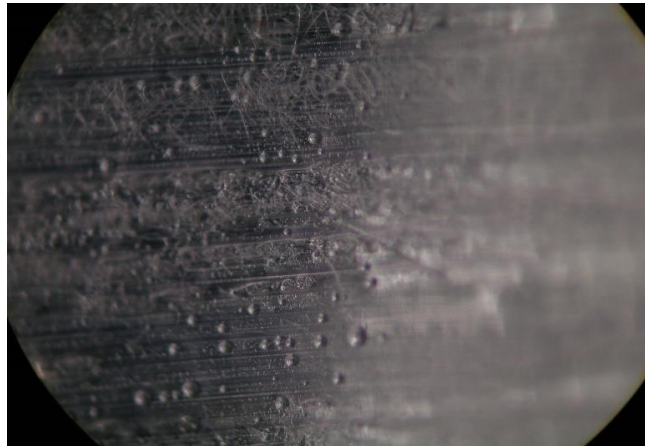


Figura 11. Microfibras resultantes obstaculizadas por la formación de mínimas gotas poliméricas, prueba 3-2.



Figura 12. Microfibras resultantes obstaculizadas por la formación de mínimas gotas poliméricas, prueba 3-3.



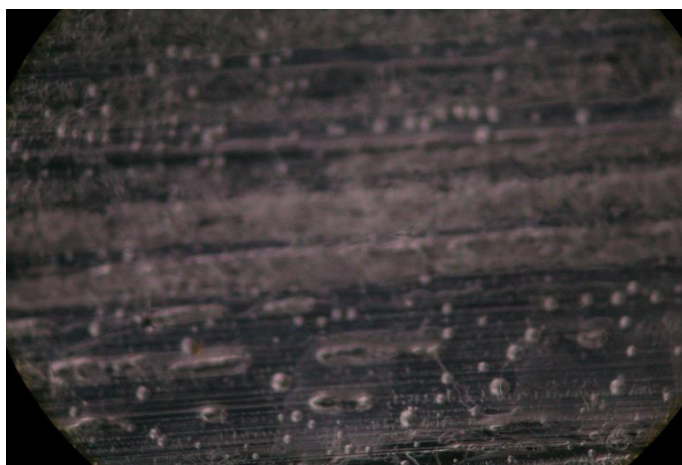


Figura 13. Microfibras resultantes obstaculizadas por la formación de mínimas gotas poliméricas, prueba 3-4.

Las imágenes anteriores muestran que los parámetros no son los correctos para el proceso, debido a la aparición de gotas mínimas de polímero entre las pocas microfibras resultantes.

- El mejor resultado se obtuvo de la Prueba 1 con el ácido poliláctico bajo los siguientes parámetros:

Voltaje aplicado: 21,5 kV, distancia entre la aguja de inyección electrónica y el rodillo colector: 6 cm, Concentración: 30% cloroformo en 1,2 g de ácido poliláctico (tipo de polímero utilizado) como se muestra en la Figura 14.

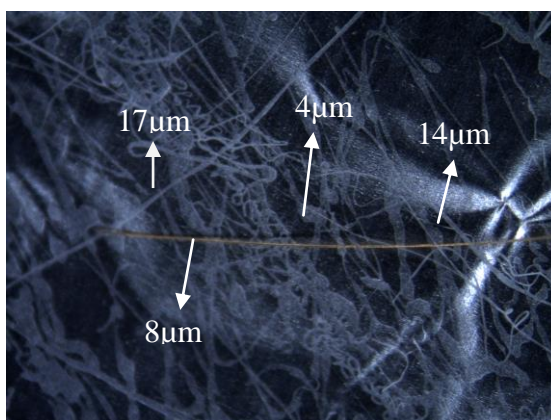


Figura 14. Microfibras resultantes.

A pesar de que la Prueba 1 no arrojó unas microfibras muy claras como se muestra en las Figuras 4, 5, y 6. Sin embargo, eso solo fue en una parte del material, en el resto de la muestra analizada se muestran microfibras más claras como se ve en la Figura 14.

- El modelo escogido para la realización del proceso de electro spinning fue de manera

horizontal dado que facilita mucho mejor su lectura como se muestra en la Figura 1.

## CONCLUSIONES

- Al realizar la técnica de *electrospinning* de una manera vertical que es uno de los modelos de realización de este proceso, se observa que hay gotas del polímero que caen sobre la solución formada a través de hilos dificultando la lectura del resultado.
- El polímero debe estar compuesto por un líquido dieléctrico que cumpla la función de disolver y aumentar la conductividad teniendo los parámetros mencionados en la Tabla 1. para la transformación del polímero.
- Para el paso constante de corriente desde la fuente de alimentación hacia la electroválvula se utilizó un transistor BD135 que soporta el paso de corriente (1 Amperio) para llevar a cabo la expulsión del líquido polimérico.
- La óptima conductividad se logró a través del cloroformo ya que agrega enlaces químicos que la favorecen, a diferencia de la utilización del éter y la acetona que no permiten la disolución adecuada del PLA (ácido poliláctico).

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Groel N “Conductividad”, *Sociedad acuariologica del plata*, **1**, 1 (2006)
- [2] Plaza Pérez et al. “Aplicaciones electroquímicas”, *Rev. Iberoam. Polím.*, **4(4)**, XXX (2003)
- [3] Goldwasser SM “*El flyback principios, funcionamiento y comprobación*”, 2001.
- [4] Lamberts R “*Efecto de cono de Taylor por medio del proceso de electrospinning*”, Instituto de Nueva Zelanda para la Planta y la investigación alimentaria, 2008
- [5] Duque Sánchez et al. “Electrospinning: La era de las Nano Fibras”, *Rev. Iberoam. Polím.*, **14(1)**, 10 (2013)
- [6] Nisel K “*Development of low pressure filter testing vessel and analysis of electrospun nanofiber membranes for water treatment, bachelor of science*”, Wichita state university, 2008, copyright 2011
- [7] Imagen tomada del artículo de Lamberts R “*Efecto de Cono de Taylor por medio del proceso de electrospinning*”, Instituto de Nueva Zelanda para la Planta y la investigación alimentaria, 2008