

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

**DISEÑO DE PROTOTIPO COLECTOR TIPO TAMBOR PARA LA  
OBTENCIÓN DE FIBRAS DE NANOCELULOSA**

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Nombre de la titulación**  
**Ingeniero en Telecomunicaciones**

Presentado por:

Julián Antonio Tobar Quimis

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

**Año: 2019**

## **DEDICATORIA**

Le agradezco a mis Familiares que me aportaron sus conocimientos y habilidades para llegar hasta aquí, a mis Padres que me guiaron en mi camino personal y profesional, alentándome a seguir adelante en durante toda la vida estudiantil.

A los profesores que dieron su tiempo y paciencia impartiendo sus enseñanzas durante todo el avance de mi carrera.

**Julián Tobar Quimis**

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi agradecimiento a Dios por permitirme estar aquí y darme la fuerza para seguir adelante.

A mis Abuelitas por brindarme su cariño y amor desde mi niñez.

A mis conocidos, amigos y compañeros que me brindaron su apoyo, puesto que sin ellos no estaría aquí.

**Julián Tobar Quimis**

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Julián Antonio Tobar Quimis* doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

.....  
Julián Antonio Tobar Quimis

## **EVALUADORES**

---

**Washington Medina Moreira**

PROFESOR DE LA MATERIA

---

**Francis Loayza Paredes**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

Este proyecto consiste en la elaboración del colector tipo tambor que forma parte del equipo de electrohilado para el Laboratorio de Mecatrónica de la ESPOL, así como la fuente de alto voltaje que junto con la bomba tipo jeringa del laboratorio puedan realizar pruebas en la obtención de fibras de nanocelulosa.

Como primera parte se establecieron las herramientas necesarias para la elaboración del sistema colector donde se utilizó un tubo cilíndrico de aluminio, se elaboraron piezas de soporte donde se instalaron rodamientos y se utilizó un motor AC el cual cuenta con un sistema de control que maneja la velocidad de giro del motor

Por último, se diseñó y elaboró a través de herramientas de electrónica una fuente de alto voltaje que permitirá mediante campo eléctrico, que el fluido de celulosa de la jeringa llegue al tubo colector en forma de hilo y se puedan obtener fibras muy finas, donde se destaca que estos tipos de dispositivos son muy sensibles y requieren el mayor cuidado posible al momento de manipularlo.

**Palabras Clave:** Electrohilado, tubo cilíndrico, fuente de alto voltaje, nanocelulosa.

## **ABSTRACT**

*This project consists in the elaboration of the drum type collector which is part of the electro-spinning equipment for the ESPOL Mechatronics Laboratory as well as the high voltage source that together with the laboratory syringe pump can perform tests in obtaining fibers of nanocellulose.*

*The first part established the necessary tools for the elaboration of the collector system where an aluminum cylindrical tube was used, support pieces where bearings were installed and an AC motor was used which has a control system that handles the speed motor rotation.*

*Finally, a high-voltage source was designed and developed through electronic tools that will allow the cellulose fluid in the syringe to reach the collector tube in the form of a wire and very fine fibers can be obtained, where highlights that these types of devices are very sensitive and require the greatest possible care when handling it.*

*Keywords: Electro-spinning, cylindrical tube, high voltage source, nanocellulose.*

## ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	5
RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS .....	VI
SIMBOLOGÍA .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE PLANOS.....	XI
CAPÍTULO 1 .....	1
1.    Introducción .....	1
1.1    Descripción del problema .....	3
1.2    Justificación del problema.....	4
1.3    Objetivos.....	6
1.3.1    Objetivo General .....	6
1.3.2    Objetivos Específicos .....	6
1.4    Alcance .....	6
1.5    Metodología .....	8
CAPÍTULO 2.....	10
2.    Marco teórico .....	10
2.1    Celulosa.....	10
2.2    Nanofibras .....	10
2.3    Estado del arte.....	11
2.4    Métodos de obtención de nanofibras .....	12



2.4.1	Drawing .....	14
2.4.2	Síntesis de Plantilla .....	14
2.4.3	Fase de separación.....	15
2.4.4	Auto Ensamblaje .....	16
2.4.5	Electrohilado .....	16
2.4.6	Colectores .....	17
2.5	Elementos del electrohilado.....	22
2.6	Teoría del funcionamiento .....	23
CAPÍTULO 3.....		24
3.	DISEÑO DEL PROTOTIPO .....	24
3.1.	Requerimientos de Diseño.....	25
3.2.	Alternativas en el diseño del colector .....	25
3.2.1.	Colector y varilla.....	25
3.2.2.	Soporte lateral y acople del colector .....	27
3.2.3.	Base .....	28
3.3.	Criterio de la mejor alternativa .....	30
3.4.	Diseño parcial del equipo colector .....	31
3.5.	Control de velocidad .....	32
3.6.	Fuente de alto voltaje.....	36
CAPÍTULO 4.....		41
4.	RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	41
4.1	Diseño final del colector.....	41
4.2	Resultados en el control de la salida del voltaje .....	41
4.3	Análisis de la fuente.....	43
4.3.1	Método 1 .....	43
4.3.2	Método 2 .....	43

4.4	Resultados de la fuente de alto voltaje .....	45
Conclusiones Y RECOMENDACIONES .....		46
Conclusiones .....		46
Recomendaciones .....		47
BIBLIOGRAFÍA .....		48
ANEXOS .....		50

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
NACE	National Association of Corrosion Engineer
SSC	Electrodo de Plata Cloruro de Plata
CSE	Electrodo de Cobre Sulfato de Cobre
HWL	High Water Level
LWL	Low Water Level
CIS	Inspección pasó a paso, medición de potenciales de encendido
MPY	Milésimas de pulgadas por año
ESPE	Universidad de las Fuerzas Armadas
FIMCP	Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción
IDE	Integrated Development Environment
BCA	Bagazo de la caña de azúcar

## SIMBOLOGÍA

mil	Milésima de pulgada
mg	Miligramo
pH	Potencial de Hidrógeno
m	Metro
mV	Milivoltio
Cu	Cobre
Ni	Níquel
C	Carbono
Mn	Manganeso
P	Fósforo
RPM	Revoluciones por minuto
kV	Kilovoltio
V	Voltio

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Obtención de nanofibras por Drawing [19].....	14
Figura 2.2 Obtención de nanofibras por Síntesis de Plantilla [19].....	15
Figura 2.3 Obtención de nanofibras por Fase de separación [19] .....	16
Figura 2.4 Obtención de nanofibras por Auto Ensamblaje [20].....	16
Figura 2.5 Obtención de nanofibras por Electrohilado [20] .....	17
Figura 3.1 Diagrama de la metodología del proyecto .....	24
Figura 3.2 Tambor .....	26
Figura 3.3 Varilla.....	26
Figura 3.4 Acople mecanico de aluminio [23] .....	27
Figura 3.5 Soporte .....	27
Figura 3.6 Pilar.....	28
Figura 3.7 Base.....	28
Figura 3.8 Base para motor .....	32
Figura 3.9 Sistema colector completo.....	32
Figura 3.10 Archivo .hex .....	34
Figura 3.11 Archivo de programa.....	34
Figura 3.12 Funcionamiento del circuito en Proteus .....	35
Figura 3.13 Montaje parcial del control de velocidad .....	35
Figura 3.14 Esquemático Fuente 1 .....	36
Figura 3.15 Montaje Fuente 1 .....	36
Figura 3.16 Esquemático 555 .....	37
Figura 3.17 Montaje 555 .....	37
Figura 3.18 Cooler disipador.....	38
Figura 3.19 Flyback .....	38
Figura 3.20 Esquemático voltaje de Thévenin.....	39
Figura 3.21 Montaje voltaje de Thévenin .....	39
Figura 3.22 Esquemático LCD .....	40
Figura 4.1 Diseño final del sistema colector .....	41
Figura 4.2 Sistema de control funcional.....	42
Figura 4.3 Pendiente de la recta .....	43

Figura 4.4 Fórmula en Excel .....	44
Figura 4.5 Cálculo en Excel .....	44
Figura 4.6 Arco eléctrico .....	45
Figura 4.7 Voltaje obtenido .....	45

## *ÍNDICE DE TABLAS*

Tabla 2.1 Comparación de métodos [19] .....	13
Tabla 2.2 Ventajas y desventajas [19] .....	13
Tabla 2.3 Diagrama esquemático de varios colectores[3] .....	21
Tabla 3.1 Tabla de alternativas.....	30
Tabla 3.2 Tabla de componentes.....	33
Tabla 4.1 Tabla de porcentajes de errores 1 .....	42
Tabla 4.2 Tabla de porcentajes de errores 2 .....	44

## *ÍNDICE DE PLANOS*

PLANO 1 BASE DEL MOTOR

PLANO 2 BASE DEL COLECTOR

PLANO 3 CHUMACERA

PLANO 4 EMSAMBLE DEL COLECTOR ELECTROHILADO



# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

La nanocelulosa es de vital importancia puesto que es un material renovable y que se puede cultivar, además de sus usos múltiples desde combustibles no fósiles, órganos humanos para trasplantes [1], y hasta insumos médicos, por lo que su estudio permitirá la obtención de productos amigables con el medio ambiente.

El laboratorio de microscopía óptica de la FIMCP – ESPOL tiene como objetivo el estudio de nanofibras y producir bio-materiales basados en fibras de origen vegetal; los productos como la Tagua, Bambú, Palosanto, paja Toquilla, Muyuyo y Barbasco son comercializados a través de la fabricación de artesanías sin ningún valor añadido por lo que se busca por medio de los objetivos del laboratorio, beneficiar a las comunidades del litoral ecuatoriano que viven de la cultivación y fabricación de artesanías, e indirectamente al sector comercial y exportador del país.

Para lograr estos objetivos el laboratorio, requiere de un equipo de electrohilado que es el proceso de separar una sustancia fija de un líquido volátil; al someter el líquido a un campo eléctrico, gracias al alto voltaje DC en el orden de los kV con el que se trabaja, este se evapora y se obtiene la sustancia en forma de hilo delgado con espesores en el rango de nanómetros que se adhieren y solidifican en una superficie conocida como colector de fibras [2]. El método de electrohilado se enfoca en el desarrollo de nuevos materiales, donde el tema de nanocelulosa es una aplicación que el Laboratorio de Mecatrónica desea abordar mediante esta técnica, y es reconocido como un proceso fácil para la obtención de fibras en comparación con las técnicas de auto ensamblaje, “drawing” que es el realizar contacto entre una gota de solución y una pipeta, separación de fase y síntesis por molde. También existen diversas configuraciones de colectores para el sistema de electrohilado siendo algunas de estas la del colector plano de disco y la de electrodos paralelos, donde la del colector cilíndrico es más ventajosa puesto que es reconocida por su proceso rápido y fácil para fabricar fibras de tamaño

nanométrico que presentan filamento sólido y diámetros deseados, siendo un campo de estudio extenso [3].

Esta técnica viene de una patente del año 1902 “Apparatus for electrically dispersing fibers”[4], que se convirtió en la primera descripción de un proceso de electrohilado (electrospinnig) presentada por J.F.Cooley, donde se formaban hilos delgados mediante fuentes de alimentación y en la actualidad se observa estudios recientes de técnicas de electrohilado en empresas y universidades para el desarrollo de fibras sintéticas, además esta técnica es muy utilizada en la industria textil, así como en el desarrollo aplicaciones médicas, electrónicas, energéticas, andamios celulares para lograr reparar o regenerar huesos a partir de células madre, entre otras; a pesar de las múltiples ventajas que presenta esta técnica, su bajo rendimiento de producción, altos costos en el desarrollo del equipo y tiempos altos de fabricación de nanofibras, han sido un verdadero problema que limita su aplicación en el país, lo que resulta en que laboratorios de investigación no trabajen con esta técnica.

La obtención de nanocelulosa a base de celulosa natural requiere modificación de los parámetros en la técnica de electrohilado tanto de la bomba como del colector; el colector debe ser ajustado para obtener fibras de nanocelulosa uniformes, esa nanocelulosa tiene un valor agregado en el mercado global, porque reemplaza a los productos sintéticos que contaminan el ambiente y que ponen en riesgo la salud de la población reduciendo costos utilizando materias primas de recursos naturales del país y son productos amigables con el ambiente. Es la meta que se plantean varias empresas y universidades que trabajan con la técnica de electrohilado.

## **1.1 Descripción del problema**

A pesar de que exista información variada sobre esta técnica, existen pocas investigaciones con respecto a la nanocelulosa en la última década; siendo así una principal motivación para el desarrollo de este proyecto, donde se plantea la importancia de los procesos de electrohilado en la fabricación de fibras de nanocelulosa y visualizando además el aumento del diámetro de la fibra a partir del colector.

Elementos como el colector, la bomba de jeringa y la fuente de alto voltaje necesaria para el proceso, no se encuentran en el mercado local y poseen un alto costo de importación para su adquisición por lo que no se ven muchos de estos equipos en los laboratorios y por ende no se visualizan muchas investigaciones a base de esta técnica en el país, perdiendo de esta manera la oportunidad de experimentar con esta técnica.

La obtención de nanocelulosa a base de celulosa natural requiere modificación de los parámetros en las técnicas de electrohilado tanto de la bomba como del colector; el colector debe ser ajustado para obtener fibras de nanocelulosa. Esta nanocelulosa tiene un valor agregado en el mercado global, porque reemplazan a los productos sintéticos que contaminan el ambiente y que ponen en riesgo la salud de la población; reducen costos utilizando materias primas de recursos naturales del país y son productos amigables con el ambiente. Es la meta que se plantean varias empresas y universidades que trabajan con la técnica de electrohilado.

Además, este proyecto plantea describir el comportamiento del colector cilíndrico y la razón del uso de este colector en comparación con otros colectores de diversas configuraciones que también forman parte en un proceso de electrohilado como colector plano de disco, electrodos paralelos, Matriz de contra-electrodos, entre otros [4].

Las diversas investigaciones para obtener estructuras ordenadas plantean que se requiere de mayor velocidad angular en el colector cilíndrico para la alineación de las fibras, pero un aumento excesivo puede conllevar a que las fibras se dispersen y no lleguen a depositarse en el cilindro por lo que será una característica importante al momento de desarrollar el colector [5].

También es importante establecer las condiciones que el diseño cumplirá con la necesidad creada por el Laboratorio de Mecatrónica sin aumentar la complejidad de las piezas, manufactura y procedimiento de ensamblaje, donde puedan abordar la morfología de los productos y cumplir las necesidades del cliente. Esto además servirá de base para una mejora en los siguientes proyectos de carrera; la creación de un colector cilíndrico para la obtención de nanocelulosa usando nuevas técnicas.

## **1.2 Justificación del problema**

El presente proyecto pretende contribuir con la producción de nanocelulosa a base de celulosa mediante un sistema de electrohilado a través del diseñado e implementación del colector de fibras para el Laboratorio de Mecatrónica, abordando de esta manera la necesidad de hacer estudios con esta técnica.

El enfoque al que se apunta es el estudio de diferentes recursos naturales para obtener fibras de nanocelulosa, en especial la tagua que es ecuatoriana puesto que se desea observar cómo se comporta a nivel nano, luego ver sus propiedades de nanocelulosa y utilizarla en muchas aplicaciones o también como alternativa de productos existentes en el mercado que pueden contaminar el ambiente.

Por lo tanto, se diseñará el prototipo de colector cilíndrico giratorio que forma parte del proceso de electrohilado y que permita al usuario realizar estudios de las propiedades de algún solvente que se vaya a utilizar en ese instante. Siendo fundamental para su desarrollo la selección de materiales, diseño de elementos, análisis y simulación [6].

De esta manera se pretende contribuir a la investigación de las propiedades químicas de las fibras naturales del Ecuador con la ayuda de la bomba y el colector, factores necesarios para el planteamiento de cualquier proyecto de electrohilado. Esto representa una alternativa sólida puesto que da un valor agregado a los materiales de origen vegetal y a través de su posterior investigación obtener fibras de nanocelulosa por medio del electrohilado y generando una creciente demanda en el uso de estos [7]

Además, los estudios de las carreras de Ingeniería permitirán la invención, desarrollo y mejoramiento de las técnicas existentes a fin de satisfacer las necesidades del cliente, siendo así uno objetivo más en el desarrollo del proyecto colector para la obtención de fibras de nanocelulosa por el método de la técnica de electrohilado con un sistema de inyección, por lo que es importante la utilización de los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera para conseguir los resultados esperados.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar y construir un colector de fibras de nanocelulosa para el sistema de electrohilado que se implementará en el Laboratorio de Mecatrónica.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Revisar los componentes de un sistema de colector de electrohilado.
- Diseñar el colector de fibras de nanocelulosa usando el programa inventor.
- Diseñar tubo cilíndrico a partir de lámina de aluminio.
- Construir el prototipo de colector para el Laboratorio de Mecatrónica.
- Diseñar el acoplamiento del prototipo del colector a la bomba de jeringa.
- Diseñar el circuito de control de velocidad para el colector.
- Diseñar fuente de alimentación de alto voltaje.
- Realizar pruebas y análisis de resultados.

## **1.4 Alcance**

Este trabajo se caracteriza por el desarrollo completo del sistema de electrohilado mediante la elaboración del colector tipo tambor o cilíndrico que contará con velocidad variable y que se ajustará al presupuesto, para su posterior implementación en la obtención de fibras de nanocelulosa mediante materia prima nacional, además de satisfacer la demanda del Laboratorio de Mecatrónica de la ESPOL de producción de estas mediante proceso de electrohilado.

Entre las características que debe presentar el colector tenemos:

- Diseño del colector cilíndrico que se ajuste al presupuesto y limitantes en el mercado.
- Circuito electrónico que permita controlar la velocidad del colector.
- El colector debe girar a velocidades angulares mayores a 500 rpm.
- Voltajes en kV entre la aguja y el colector para comenzar el proceso de electrohilado.

A partir de estas características, se empezará a trabajar en la fabricación del colector para el laboratorio de común acuerdo con el cliente y que permita reducir tiempos de fabricación y costos de materiales. También se aclara que este prototipo presentara limitaciones por el hecho de que es una alternativa a bajo costo y se pretende que sea una mejora a futuro de este modelo cilíndrico [7].

Se ha optado como primera etapa en buscar las medidas adecuadas de los componentes y de los valores económicos que presentan en el mercado nacional para el desarrollo del equipo colector, con el objetivo de reducir los costos en la fabricación.

La segunda etapa se centrará en el diseño del prototipo en base a las mediciones realizadas en un programa de diseño gráfico como inventor y diseñar aquellos componentes que hagan falta para reducir gastos, puesto que la importación de materiales puede ser de días a meses y presentan altos costes de adquisición.

La tercera y última etapa contará con la construcción del prototipo que debe soportar altas velocidades; el colector requerirá además de un circuito eléctrico de

control de velocidad que varía la velocidad del motor conectado al colector, con el propósito de obtener fibras cuyo diámetro este en el orden nanométrico.

Puesto que no existen muchos colectores comerciales que se puedan conseguir en el mercado nacional y que sean utilizados en laboratorios, así como fuente de alimentación de alto voltaje y bomba de inyección, los resultados obtenidos en la evaluación del colector permitirán mejorar sus características a futuro como también la de los otros equipos y además afectaran el proceso de electrohilado.

## **1.5 Metodología**

La metodología empleada se puede resumir a través del colector de fibras que ayudará a obtener resultados experimentales provenientes de la bomba de jeringa, por lo que se parte de una necesidad para determinar el trabajo, así como el diseño y el desarrollo conceptual del proyecto.

Basándose en tesis y los objetivos planteados para el desarrollo del colector se procedió a recolectar información sobre los componentes que ayuden a elaborar el colector; se realiza el diseño del colector en el programa inventor en el que se verifican los componentes revisados en tiendas y hojas de datos de concesiones técnicas para darle forma al colector, se diseñan los componentes que hagan falta para lograr el objetivo del desarrollo del equipo siendo uno de estos el tubo cilíndrico a partir de lámina de aluminio debido a que se requiere un tubo de al menos 80 mm de diámetro, además de diseñar dos tapas circulares para tapar el tubo y que se conecten a varilla que por un lado conecta a la tierra y por el otro lado conecta al motor; metacrilato o plancha de acrílico para la base y piezas de soporte del material, rodamientos para el movimiento del tubo, entre otros que se irán agregando a medida que se va desarrollando el colector [5].

Además de la etapa de desarrollo del colector cilíndrico, se diseñará y elaborará un circuito de control de velocidad para el motor y su correspondiente código de



conversión de analógica-digital para controlar las revoluciones del colector cilíndrico, realizando las pruebas en Proteus con elementos que existen en el mercado, ejecutándolo en Arduino donde se configuran las variables, pines y velocidad del colector, y finalizando con su posterior fabricación e implementación en el colector, cuyo diseño sea de menor tamaño para que se acople a la base donde estará ubicado el colector cilíndrico y la bomba de jeringa [2].

Debido a que no se cuenta con una fuente de alto voltaje en los laboratorios de electrónica, cuyas especificaciones son en el orden de los kV y se optara por diseñarla y construirla mediante transformador, capacitores, transistores, entre otros elementos, cumpliendo los parámetros de seguridad.

Posterior a la construcción, se realizarán las pruebas correspondientes para identificar posibles defectos en el diseño del colector y de la fuente, ambos destinados a fines educativos y experimentales; recordando que la fuente solo debe ser usada para uso experimental en laboratorio y aunque produce voltaje alto con corriente extremadamente pequeña, aún puede ser peligrosa.

# CAPÍTULO 2

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Celulosa

La celulosa es un polisacárido natural compuesto de moléculas de glucosa y que se halla en fibras vegetales. Además, se encuentra en las paredes celulares y siendo el esqueleto que soporta las planta. No es toxico y proviene de fuentes renovables puesto que se encuentran en las paredes de las células de las plantas [8].

Está estructurada por la unión de moléculas de  $\beta$ -glucosa mediante enlaces  $\beta$ -1,4-O-glucosídico y en cuya composición química se establece que es insípida, insoluble al agua y rígida [8].

La celulosa a través de procesos mecánicos de altas presiones y temperaturas, permite obtener la pulpa que al blanquearla se utiliza para la fabricación de papel, así como también pólvora, explosivos, biocombustibles y tejidos de fibras naturales [9]

### 2.2 Nanofibras

Las nanofibras son fibras tan pequeñas con diámetros en rango de nanómetro por lo que son prácticamente invisibles. Se obtiene por diferentes técnicas por lo que tendrán diferentes propiedades particulares y diversas aplicaciones [10]. El termino fibra tiene que ver con filamentos resultantes de la composición de tejidos orgánicos, que presentan minerales o de productos químicos [11]; nano tiene que ver con cantidades físicas correspondiendo a las mil millonésimas partes del metro.

Uno de los métodos para la obtención de nanofibra es el llamado electrohilado (electrospinning) que produce filamentos continuos que se depositan en un material nanofibroso como una malla o membrana y que puede aportar en diferentes sectores como son la industria textil por lo que tenemos las prendas de vestir que abarca ropa inteligente para deportes, ropa de protección y trajes espaciales; en el campo de la medicina con los fármacos, la ingeniería con tintas magnéticas y sensores químicos, entre otros usos [12].

### **2.3 Estado del arte**

Entre 1934 y 1944 Formhals patentó el proceso de electrohilado mediante varios informes para producir fibras[13]; así el aparato electrostático de electrohilado, el cual aplicaba un campo eléctrico proveniente del electrodo de polaridad negativa a una solución polimérica, formaba fibras delgadas que eran atraídas a un electrodo móvil de polaridad positiva, que eran recogidas por un dispositivo de cinta transportadora y removidas con un cilindro[14].

Existen algunos estudios referentes a las nanofibras de celulosa aplicando la técnica de electrohilado, debido a sus características únicas donde se destaca que es bio-renovable, se lo encuentra en varias formas y es de bajo costo. La madera es la materia prima por excelencia para la producción de nanocelulosa, debido a las ventajas que tienen ciertos países donde los árboles crecen rápidamente debido a condiciones de clima favorables. Pero la obtención de estas nanofibras de celulosa para el Laboratorio de Mecatrónica ha tenido dificultades debido al tiempo de desarrollo del equipo, comenzando con la elaboración del prototipo de la bomba de jeringa como un proyecto de tesis a parte y culminando con el desarrollo del prototipo del colector de fibras en el desarrollo de este proyecto, puesto que se busca ofrecer una alternativa a bajo costo a los equivalentes de alto precio en el mercado[6].

Con el reciente interés en las fibras de base natural, la Universidad Pedagógica y Tecnológica De Colombia tuvo como objetivo la obtención de nanofibras de celulosa a partir del bagazo de la caña de azúcar (BCA) que es el residuo que

queda luego cuando a la caña de azúcar se le extrae el jugo azucarado siendo materia prima de diferentes aplicaciones siendo uno de estos como combustible para alimentar los molinos de azúcar. Con el fin de determinar su comportamiento se obtuvo la celulosa, se la modifico hasta convertirla en acetato de celulosa con propiedades para electrohilarse para luego producir nanofibras funcionales a base de esta. Sus estudios le dieron como resultado fibras de celulosa de diámetro de 261 nanómetros con propiedades que van desde resistencia a altas temperaturas hasta cristalinidad lo que les permitió considerarlas dentro de los materiales para la industria textil [15].

Otro estudio en la Universidad Autónoma de Nuevo León muestra las aplicaciones de la nanocelulosa obtenida del maguey, siendo una de estas en el campo de la medicina para sustituto de tejidos y órganos; para el tratamiento y diagnóstico de enfermedades o padecimientos; así como también para películas con circuitos impresos (hoja foto resistiva) y liberación controlada de fármacos, suministrando una cantidad apropiada en el organismo [16].

La empresa GEA que opera en el sector de alimentos y bebidas procesó la pulpa de la madera para transformarla en nanofibra de celulosa obteniendo un material nuevo sustituto del plástico siendo producto natural y amigable con el medio ambiente, lo que le valió para un premio a la innovación[17].

El laboratorio de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE construyó su propio equipo de electrohilado para la experimentación y caracterización de microfibras donde obtuvieron resultados positivos permitiéndoles recolectar mayor cantidad de fibras, promoviendo de esta manera la obtención de fibras a partir de materia prima proveniente del país[18].

## **2.4 Métodos de obtención de nanofibras**

Las nanofibras pueden ser obtenidas mediante una serie de técnicas tales como Drawing, Síntesis de Plantilla, Fase de separación, Auto Ensamblaje y

Electrohilado, en las que cada una cumple diferentes procesos, ventajas y desventajas para la obtención de nanofibras.

<b>Proceso</b>	<b>Avances tecnológicos</b>	<b>¿Se puede escalar el proceso?</b>	<b>Repetitividad</b>	<b>¿Conveniente para procesar?</b>	<b>Control sobre las dimensiones de la fibra</b>
Drawing	Laboratorio	NO	SI	SI	NO
Síntesis de Plantilla	Laboratorio	NO	SI	SI	SI
Fase de separación	Laboratorio	NO	SI	SI	NO
Auto Ensamblaje	Laboratorio	NO	SI	NO	NO
Electrohilado	Laboratorio(Con potencial para procesamiento industrial)	SI	SI	SI	SI

**Tabla 2.1 Comparación de métodos [19]**

<b>Proceso</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Drawing	Mínimo equipamiento requerido	Proceso discontinuo
Síntesis de Plantilla	La fibra de diferentes diámetros se obtener fácilmente usando diferentes plantillas	
Fase de separación	Requerimiento mínimo de equipo. El proceso puede fabricar directamente una matriz de nanofibras.	Polímeros específicos limitados.
Auto Ensamblaje	Bueno para obtener nanofibras más pequeñas.	Proceso complejo.
Electrohilado	Económico. Largas, nanofibras continuas pueden ser producidas.	Inestabilidad del chorro.

**Tabla 2.2 Ventajas y desventajas [19]**

### 2.4.1 Drawing

Este método como se ve en la Figura 2.1, consiste en una micropipeta con diámetro de micrómetros que entrara en contacto con una gota de solución, una vez realizado el contacto, la micro-pipeta es retirada de la gota de líquido y movida a una velocidad de  $1 \times 10^{-4} \frac{m}{s}$ , resultando en fibras alargadas en orden nanométrico [19].

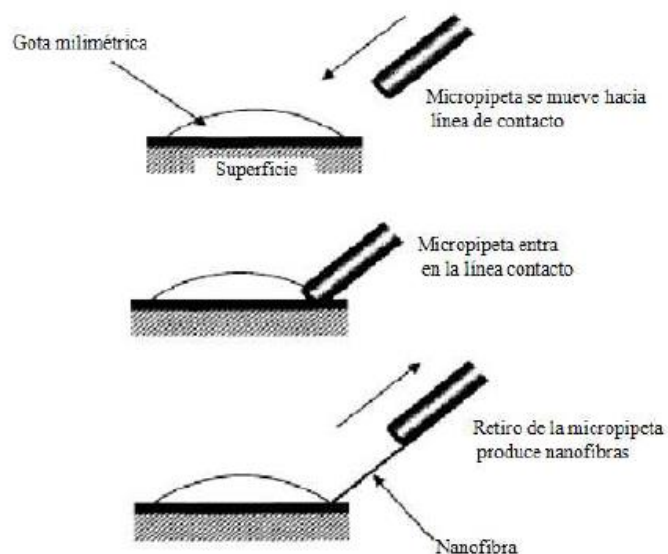
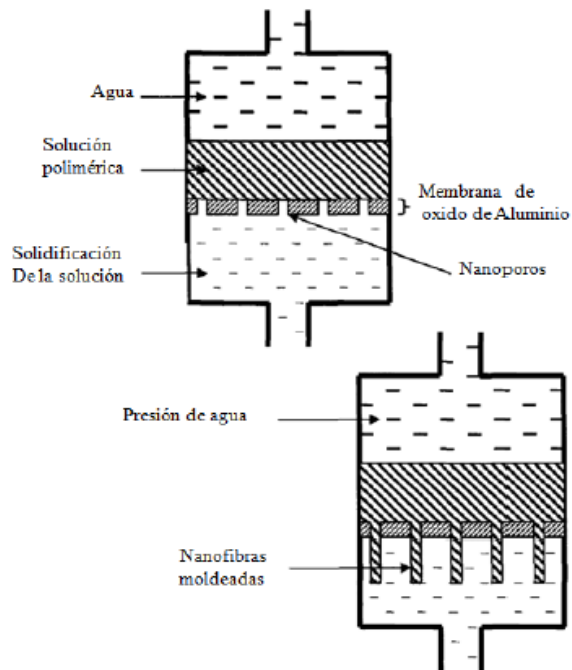


Figura 2.1 Obtención de nanofibras por Drawing [19]

### 2.4.2 Síntesis de Plantilla

Este método consiste en una membrana de óxido metálico con poros de diámetro nanométrico; como se observa en la Figura 2.2, se aplica presión de agua a uno de los extremos de la membrana, se crea extrusión del polímero el cual al entrar en contacto con una solución que solidifica, da origen a las nanofibras cuyo diámetro depende del poro de la membrana [19].

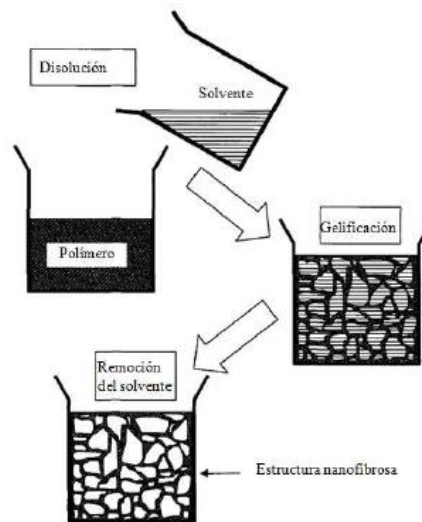


**Figura 2.2 Obtención de nanofibras por Síntesis de Plantilla [19]**

### **2.4.3 Fase de separación**

En este método, un polímero es mezclado con un solvente antes de someterse a la gelación como se aprecia en la Figura 2.3. El principal mecanismo radica en la separación de fases debido a la incompatibilidad física, en una de las fases el solvente es extraído dejando atrás la fase restante. Consiste de 5 etapas:

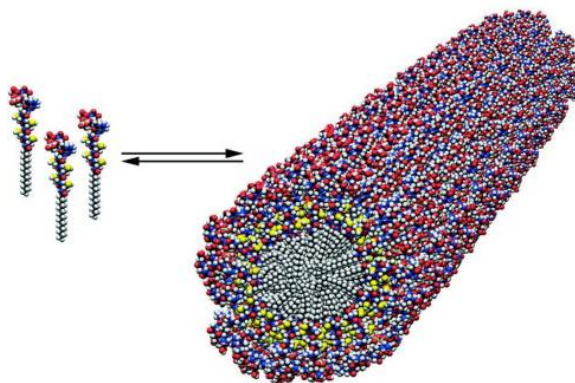
(i) Disolución de polímero, (ii) gelación, (iii) extracción de solvente, (iv) congelación y (v) secado por congelación [19].



**Figura 2.3 Obtención de nanofibras por Fase de separación [19]**

#### **2.4.4 Auto Ensamblaje**

Este método trata de la construcción de nanofibras a base de moléculas pequeñas (Figura 2.4) como bloques de construcción básicos. Para mantener juntas las pequeñas unidades se usa las fuerzas intermoleculares y la forma de estas pequeñas unidades determina la forma excesiva de la fibra macromolecular [19].



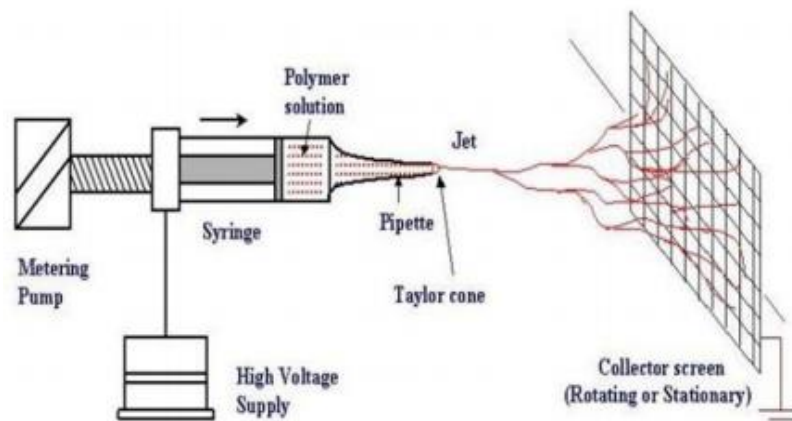
**Figura 2.4 Obtención de nanofibras por Auto Ensamblaje [20]**

#### **2.4.5 Electrohilado**

Patentado por Formhals en 1934, este proceso como muestra la Figura 2.5, genera nanofibras por medio de un campo eléctrico producto de una fuente de alto voltaje en la punta de la aguja donde se haya la gota de líquido que al estar cargada



causa tensión superficial donde la gota toma la forma de un cono que al ser liberado de la punta se dibuja en forma de fibra debido al alto voltaje.

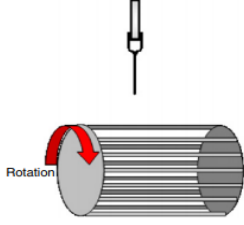
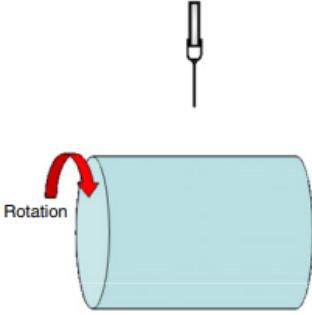
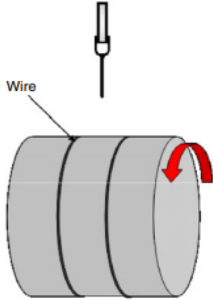
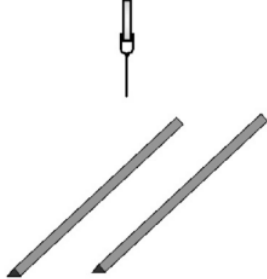


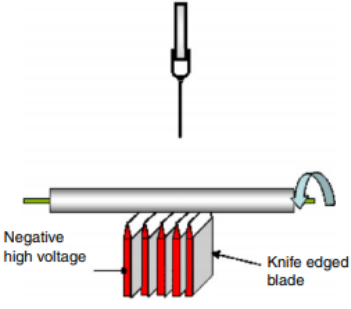
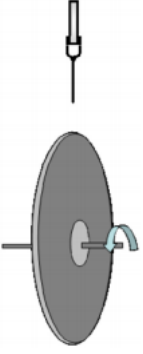
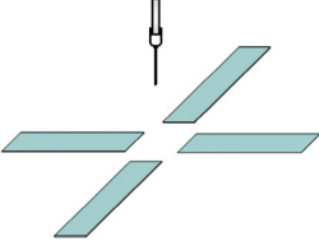
**Figura 2.5 Obtención de nanofibras por Electrohilado [20]**

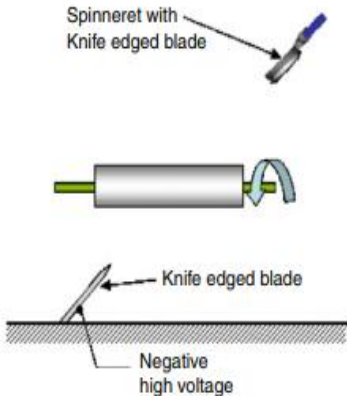
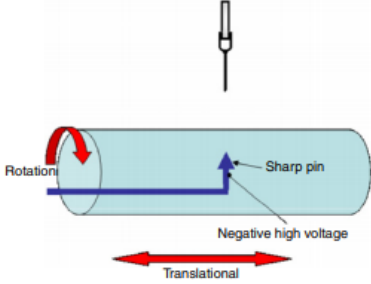
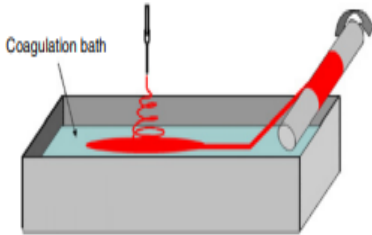
#### **2.4.6 Colectores**

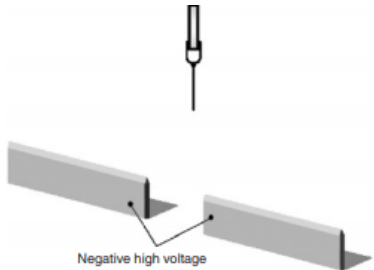
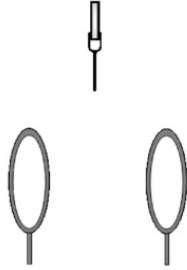
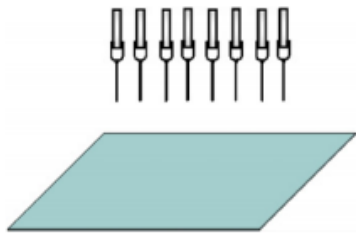
Desde la patente donde se presenta el proceso de electrohilado, se han llevado a cabo estudios de su uso para fabricar nanofibras de acuerdo a diversas configuraciones del electrohilado, por lo que en la siguiente tabla se muestra que mediante el uso de diferentes colectores que forman parte del proceso de electrohilado, se consiguen algunos conjuntos fibrosos.

Diagrama esquemático de varias configuraciones de electrospinning para múltiples hileras y para obtener varios conjuntos fibrosos. (Suponiendo que la hilera tenga una carga positiva a menos que se indique lo contrario).

<p><b>Colector de tambor de alambre giratorio</b></p> 	<p><b>Ventaja</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Configuración simple.</li> <li>• Fibras altamente alineadas son posibles.</li> </ul> <p><b>Desventaja</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capa más gruesa de fibras alineadas no es posible.</li> <li>• Las fibras pueden no estar alineadas en todo el conjunto.</li> </ul>
<p><b>Tambor giratorio</b></p> 	<p><b>Ventaja</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Configuración simple.</li> <li>• Gran área de fibras alineadas puede ser fabricada.</li> </ul> <p><b>Desventaja</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los ensamblajes fibrosos altamente alineados son difíciles de fabricar.</li> <li>• La rotura de la fibra puede ocurrir si la velocidad de rotación es demasiado alta.</li> </ul>
<p><b>Colector de tambores con alambre enrollado</b></p> 	<p><b>Ventaja</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Configuración simple.</li> <li>• Fibras altamente alineadas son posibles.</li> <li>• El área de las fibras alineadas en el alambre es ajustable al variar el grosor del alambre.</li> </ul> <p><b>Desventaja</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Las fibras alineadas se concentran en el alambre en lugar de todo el tambor.</li> </ul>
<p><b>Electrodos paralelos</b></p> 	<p><b>Ventaja</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Configuración simple.</li> <li>• Las fibras altamente alineadas son fáciles de obtener.</li> <li>• Las fibras alineadas son fácilmente transferibles a otro sustrato.</li> </ul> <p><b>Desventaja</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capa más gruesa de fibras alineadas no es posible.</li> <li>• Hay un límite en la longitud de las fibras alineadas.</li> </ul>

<p><b>Colector de tubo giratorio con electrodos de filo de cuchilla debajo.</b></p> 	<p><b>Ventaja</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Posibilidad de fibras altamente alineadas.</li> <li>• Fibras alineadas cubrían todo el tubo.</li> <li>• Capa más gruesa de deposición de fibra alineada es posible.</li> </ul> <p><b>Desventaja</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La configuración requiere un electrodo negativo para ser efectivo.</li> <li>• Solo posible para tubo de diámetro pequeño.</li> </ul>
<p><b>Disco colector</b></p> 	<p><b>Ventaja</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Configuración simple.</li> <li>• Fibras altamente alineadas son posibles.</li> <li>• Capaz de fabricar fibras agrupadas al colocar una mesa giratoria en el borde del disco.</li> </ul> <p><b>Desventaja</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No se puede mantener la alineación de fibra alta en la misma rotación.</li> <li>• Pequeña área de alineación de la fibra.</li> </ul>
<p><b>Arreglo de contra-electrodos.</b></p> 	<p><b>Ventaja</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Configuración simple</li> </ul> <p><b>Desventaja</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El patrón de fibra no es consistente en todo el ensamblaje.</li> <li>• El área de la asamblea es limitada.</li> <li>• Un ensamblaje fibroso más grueso no es posible.</li> </ul>

<p><b>Control del chorro de electrohilado utilizando electrodos de filo de cuchilla.</b></p> 	<p><b>Ventaja</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Posibles fibras altamente alineadas.</li> <li>• Capaz de controlar la dirección de alineación de la fibra en el tubo.</li> <li>• Capa más gruesa de deposición de fibra alineada es posible.</li> </ul>
<p><b>Tambor giratorio con pin afilado en el interior.</b></p> 	<p><b>Ventaja</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gran área de fibras en serie puede ser fabricada.</li> </ul> <p><b>Desventaja</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La configuración es complicada.</li> <li>• No es posible un área más gruesa del conjunto de fibras agrupadas.</li> </ul>
<p><b>Recolección de hilos mediante baño de agua.</b></p> 	<p><b>Ventaja</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Configuración simple.</li> <li>• Se puede fabricar hilo largo y continuo.</li> <li>• Las fibras en el hilo están por lo general bien alineadas.</li> </ul> <p><b>Desventaja</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La velocidad de recogida del hilo es relativamente lenta.</li> </ul>

<p><b>Hoja colocada en línea</b></p> 	<p><b>Ventaja</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Configuración simple.</li> <li>• El hilo se puede quitar fácilmente del colector.</li> <li>• El hilo recogido está altamente alineado.</li> </ul> <p><b>Desventaja</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El hilo fabricado es de longitud limitada.</li> <li>• Las fibras depositadas deben sumergirse en agua antes de que se forme el hilo.</li> </ul>
<p><b>Colector de anillos colocado en paralelo.</b></p> 	<p><b>Ventaja</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Configuración simple.</li> <li>• Hilados retorcidos pueden ser fabricados.</li> </ul> <p><b>Desventaja</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El hilo fabricado es de longitud limitada.</li> <li>• Uno de los anillos debe girarse para retorcer las fibras que se depositan en el hilo.</li> </ul>
<p><b>Múltiples hileras</b></p> 	<p><b>Ventaja</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Configuración relativamente simple</li> <li>• Capaz de mezclar fibras de diferentes materiales de la proporción deseada.</li> </ul> <p><b>Desventaja</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interferencia entre los chorros de electrospinning.</li> </ul>

**Tabla 2.3 Diagrama esquemático de varios colectores[3]**

Todos estos colectores que se han fabricado, lograron resultados prometedores con respecto al alineamiento de las fibras y posterior producción de nanofibras. Pero el que se fabricará para el Laboratorio de Mecatrónica es el tambor giratorio o colector cilíndrico ya que muestra una variedad de experimentos realizados, además presenta una configuración simple y las fibras fabricadas se muestran alineadas.

Investigaciones (Jamil A. Matthews, Gary E. Wnek, David G. Simpson, and Gary L. Bowlin) demostraron que la velocidad angular tiene efectos en los colectores cilíndricos, puesto que en experimentos con las fibrillas de colágeno en colectores electrohilados que giraba a una velocidad inferior a 500 rpm produjeron una matriz aleatoria de filamentos mientras que el aumento de la velocidad lineal de colección a 4500 rpm (moviéndose a aproximadamente 1.4 m/s) daban como resultado la deposición de fibrillas a lo largo del eje de rotación [21].

## 2.5 Elementos del electrohilado

La realización del electrohilado consiste de los siguientes componentes básicos: voltaje aplicado, bomba de jeringa y el colector.

**Voltaje aplicado.** Se requiere de una fuente de poder de alto voltaje y baja corriente entre sus terminales de salida (en kV) que proporciona la carga eléctrica en la aguja de la bomba de jeringa. La gota de polímero en la aguja se encuentra inducida por carga eléctrica que, al alcanzar un valor crítico, provocara repulsión entre las fuerzas electroestáticas y generando el cono de Taylor donde la gota se estira formando un hilo hacia el colector [22].

**Bomba de jeringa.** Dispositivo que contiene el polímero en solución y que funciona mediante un pequeño motor; esta bomba tiene fluido de celulosa en la que, al accionarse el sistema, permitirá al émbolo desplazarse por lo que se generará el flujo continuo con mayor precisión [6].

**Colector tipo tambor.** Sirve como un conductor donde las nanofibras se depositan; la velocidad de su motor se controlará mediante un circuito controlador de velocidad para que presente velocidades mayores a 500 rpm para lograr caracterizar la fibra y obtener fibras más o menos uniformes.

## **2.6 Teoría del funcionamiento**

Es importante entender el proceso de electrohilado para aclarar cómo influye el colector. Se inicia cuando se aplica voltaje a la punta la aguja de la jeringa donde se forma una gota de solución de polímero, cuando el campo eléctrico generado es mayor se rompe la tensión superficial de la gota en la punta de la aguja por lo que es enviada al colector en forma de hilo, es decir que experimenta un estiramiento que lleva a la formación de filamentos por lo que la distancia entre las dos tendrá influencia, y en su camino hacia el colector el disolvente se evapora y las fibras cargadas son atraídas al colector donde se depositan a velocidad de 40 m/s o más y forman una especie de tejido enmarañado.

La uniformidad de las nanofibras dependerá del voltaje, diámetro y distancia entre la punta de la aguja al colector donde su ajuste de voltaje y distancia permitirá obtener fibras con diámetros menores que tendrán excelentes propiedades, pero con baja acumulación de fibras; además el colector debe estar cubierto por papel aluminio para que las fibras se puedan depositar y puedan evaluarse por medio de microscopia.

# CAPÍTULO 3

## 3. DISEÑO DEL PROTOTIPO

Para llegar al diseño, se procede a realizar el sistema de trabajo basándonos en varias tesis y artículos científicos que realizaron estudios de la técnica de electrohilado.

A continuación, se detalla el proceso a seguir en el desarrollo del proyecto mediante la Figura 3.1:

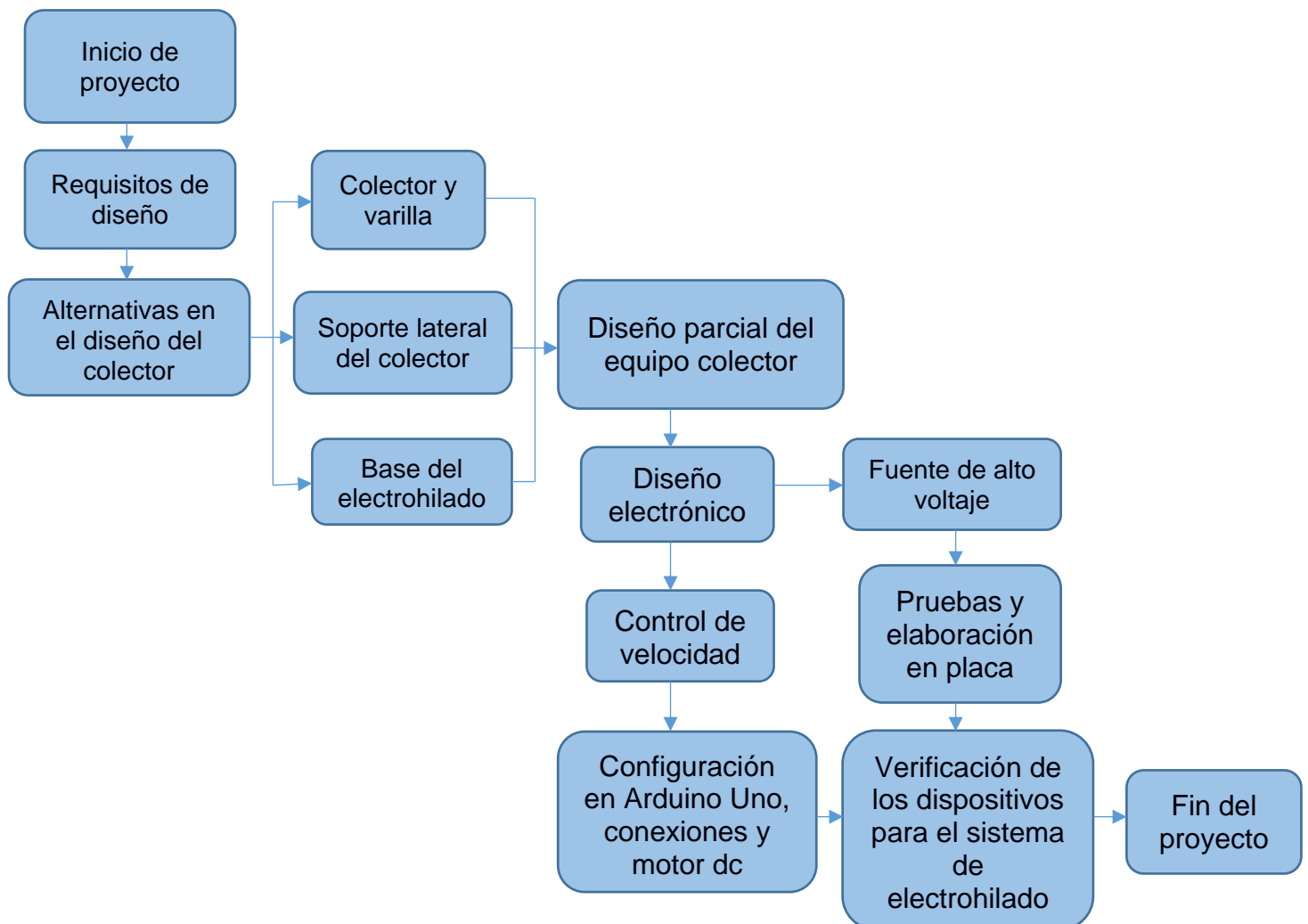


Figura 3.1 Diagrama de la metodología del proyecto



### **3.1. Requerimientos de Diseño**

De acuerdo a las necesidades del cliente, se realizaron entrevistas con el fin de obtener información sobre las características deseadas con el fin de obtener el sistema completo de electrohilado.

Se considerarán los siguientes parámetros:

- Se debe implementar un sistema de control de velocidad en el colector tipo tambor para que regule su velocidad.
- El sistema colector debe ser elaborado según las especificaciones del cliente y a bajo costo. Además, el colector a usarse tiene que tener la forma de tambor rotatorio.
- Elaborar una diferencia de potencial mediante un transformador Flyback para generar voltajes en el orden de los kV, además de un sistema de control que regule el nivel de voltaje.

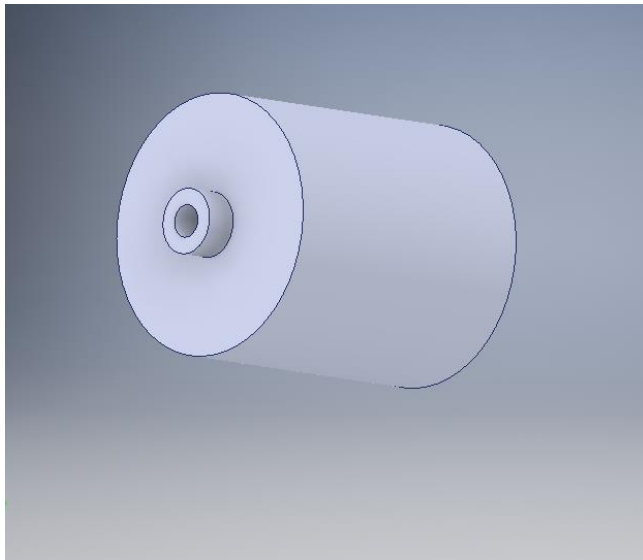
### **3.2. Alternativas en el diseño del colector**

Con el propósito de lograr cumplir con las especificaciones del cliente y basándose en la información recolectada sobre las piezas, se realizará el diseño del estructural del colector en el programa Inventor® en el que se revisan los componentes en distribuidoras, tiendas y hojas de datos de concesiones técnicas que le darán forma final al colector para su posterior implementación en futuros proyectos.

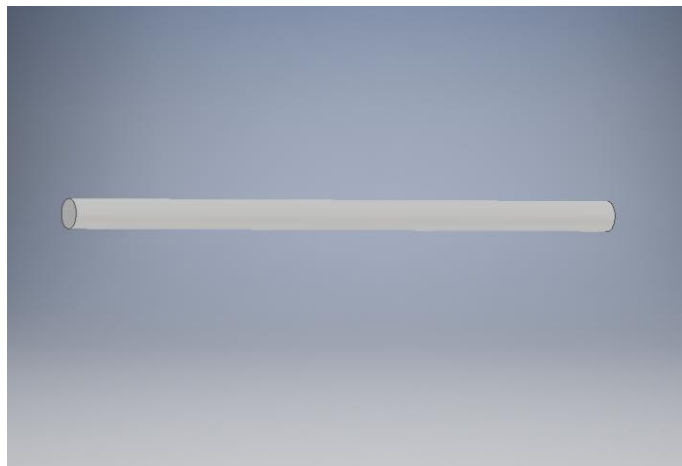
#### **3.2.1. Colector y varilla**

Se requiere un tubo cilíndrico como se muestra en el diseño de la Figura 3.2, además de dos tapas circulares para tapar el tubo y que se conecten a varilla (Figura 3.3) que por un lado conecta a la tierra y por el otro lado conecta al motor junto con acoplamiento mecánico flexible Figura 3.4 ya que permite enviar potencia al eje del motor; la base y piezas de soporte del material, rodamientos

para el movimiento del tubo, entre otros que se irán agregando a medida que se va desarrollando el colector [9].



**Figura 3.2 Tambor**



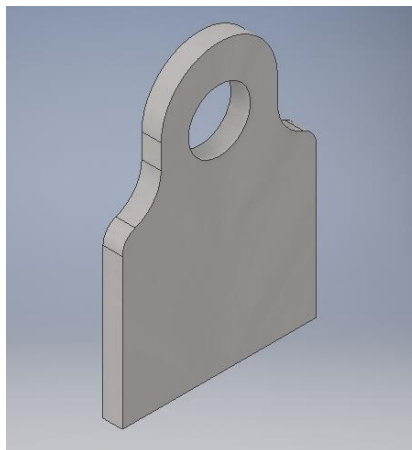
**Figura 3.3 Varilla**



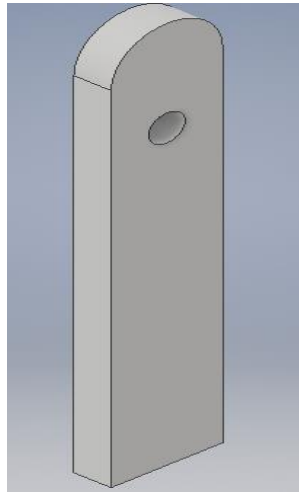
**Figura 3.4 Acople mecánico de aluminio [23]**

### **3.2.2. Soporte lateral y acople del colector**

En la Figura 3.5 adjunta se visualiza el diseño hecho en Inventor® donde tenemos la chumacera para el sistema de acople al colector en ambos lados y se diseña además un pilar como se muestra en la Figura 3.6 para la conexión entre el colector y la tierra que contará con un conector hembra banana para que exista mejor alineación de las fibras depositadas. Además, en el rodamiento a usarse se requiere que abarque los orificios laterales de la chumacera y que no impida el giro al colector.



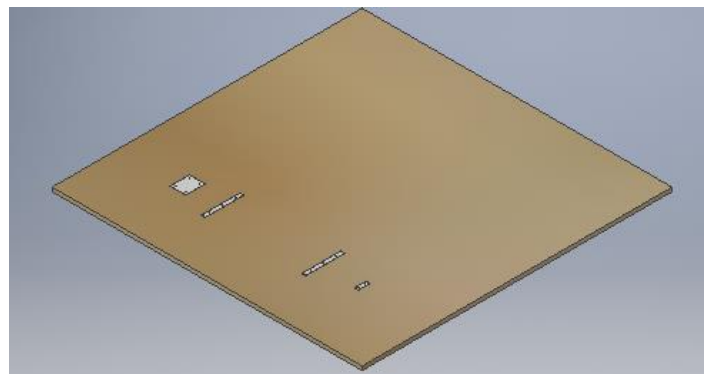
**Figura 3.5 Soporte**



**Figura 3.6 Pilar**

### **3.2.3. Base**

La base para el colector como se muestra en la Figura 3.7 presentara perforaciones para sujetar el colector. Además, en esta base se ubicará la bomba de jeringa que forma parte del equipo de electrohilado.



**Figura 3.7 Base**

	<b>Alternativa A</b>	<b>Alternativa B</b>
<b>Colector y varilla</b>	<p>Esta alternativa de tubo cilíndrico presenta una desventaja ya que no todas las distribuidoras y talleres cuentan con ese tamaño de tubo de 3 pulgadas y solo la fabrican a pedido del cliente, además el tubo tiene un costo de \$40.87 la pieza que alcanza los 6 metros y que existen de dos clases, una que mantiene su color con el tiempo y otro que con presencia de sol y agua se va decolorando, y para la varilla de acople puede conseguirse por pieza de al menos 13 mm de diámetro o una de antena de televisión. Las tapas circulares se las consigue a la medida del tubo de aluminio pero requieren perforarse para que atraviese la varilla y al colocarlas en el tubo quedaran pegadas permanentemente.</p>	<p>El tubo cilíndrico de aluminio tiene la desventaja de ser de 50 mm de diámetro (2 pulgadas) y es de 25 cm de largo, la varilla a usarse puede ser por pieza de al menos 13 mm de diámetro o una de antena de televisión.</p> <p>Además, se diseñarán dos tapas circulares fabricadas que serán perforadas en su centro y se colocarán al colector para que por ahí pueda pasar la varilla.</p>
<b>Soporte lateral y acople del colector</b>	<p>Esta alternativa consiste en conseguir una chumacera para el soporte del colector a partir de una distribuidora en la cual su importación demoraría un mes y su precio está entre los \$30, además esto requeriría rediseñar el sistema para que se ajuste al rodamiento, el colector y la varilla.</p>	<p>Consiste en diseñar el soporte lateral de acuerdo a las medidas tomadas del rodamiento a usar que es de aproximadamente 30 mm de diámetro con un orificio de 13 mm, y de la varilla que pasara tanto por el colector como por el rodamiento.</p>

<b>Base</b>	Se plantea usar un tablón de madera para la base en la cual pueda colocarse el colector y la bomba de jeringa debido a su bajo costo y fácil adquisición en el mercado.	En esta alternativa se busca usar plancha de metacrilato/acrílico de 1220x2440 que tiene espesor de 10 mm proporcionada por el tutor para diseñar la base que permita colocar el colector y la bomba de jeringa por concepto de una mejor presentación del sistema, pero su precio es más elevado que el de la madera.
-------------	---	--

**Tabla 3.1 Tabla de alternativas**

### **3.3. Criterio de la mejor alternativa**

A partir de las alternativas mostradas, se presentarán los diferentes criterios respecto al diseño del colector:

- **Costo:** se busca minimizar los gastos en su diseño puesto que se debe considerar la fuente de alto que llegue a kV y el circuito de control de velocidad del colector que requerirán programación y materiales para su diseño e implementación.
- **Adaptabilidad:** se debe considerar que se acoplen con facilidad sus piezas y que no puedan desprenderse fácilmente al momento de usarse.

- Equipos del proceso: fuente de voltaje aplicado, colector tipo tambor y la distancia comprendida entre la bomba de jeringa y el colector servirán para definir el diámetro de la fibra.
- Uso: se requiere que el sistema trabaja constantemente en el laboratorio.

Una vez que se analizan estos criterios y las dos alternativas A y B, procedemos a realizar la selección de la mejor alternativa, donde la alternativa B se impone como la mejor solución debido a que si se tiene el programa para elaborar las piezas, solo necesitaríamos mandar a imprimir las piezas en una taller de fabricación digital donde el bajo costo depende de la sencillez cómo se las elabore y por ultimo comprar los materiales que hagan falta para definir al colector, la plancha de metacrilato/acrílico sería lo más costoso de esta alternativa.

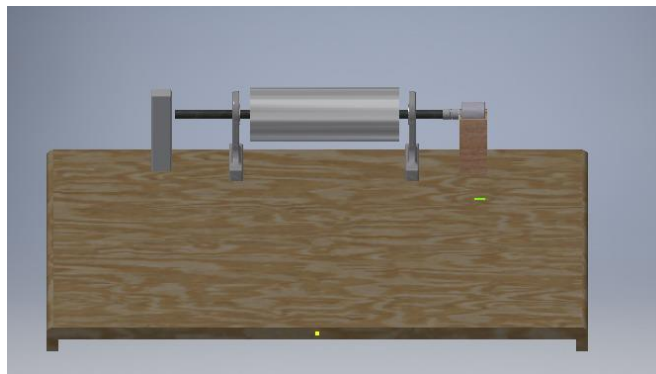
### **3.4. Diseño parcial del equipo colector**

El diseño del colector en 3D en el programa Inventor® para la posterior impresión de las piezas que hagan falta en metacrilato.

La Figura 3.8 y Figura 3.9 muestran el diseño elaborado en Inventor® donde se aprecia en la Figura 3.8 la base para el motor que se ubicará a la misma altura del eje del colector y que a su vez este motor servirá para controlar la velocidad del colector, mientras que la Figura 3.9 muestra el sistema completo donde se aprecia el pilar que llevara el colector hembra banana para la conexión a tierra, los soportes laterales, la varilla, la base del colector y del motor, el motor DC y el colector tipo tambor.



**Figura 3.8 Base para motor**



**Figura 3.9 Sistema colector completo**

### **3.5. Control de velocidad**

Además de la etapa de desarrollo del colector cilíndrico, se diseñará y elaborará un circuito de control que contralara la velocidad del colector y se desarrollara mediante código abierto su correspondiente código de conversión de analógica-digital para controlar las revoluciones del colector cilíndrico, realizando las pruebas en Proteus® con los elementos que se visualizaran en la siguiente tabla:

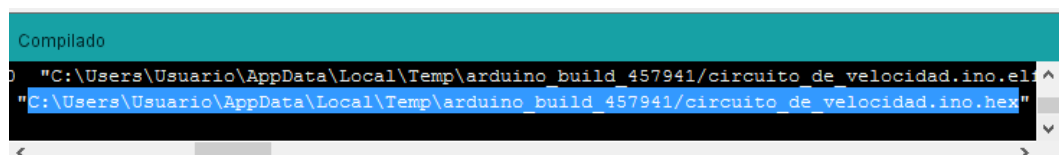


<b>Componentes</b>
Arduino Uno
LCD 16X2
Motor de ventilador de microondas GAL6309U-ZD
Potenciómetro 100k
Integrado L293D
Transistor 2n2222 Npn
Resistencias de 220 ohm y 2.7M
Botón pulsador
Cargador de 12v-1A
Tip31c

**Tabla 3.2 Tabla de componentes**

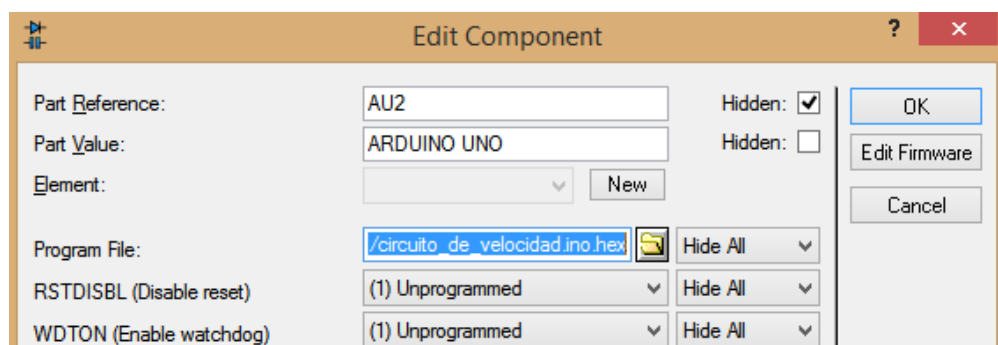
Se emplea el IDE de Arduino® donde se configuran variables y pines, LCD 16x2 para visualizar la información por pantalla, Transistor 2n2222 Npn que permite pasar el flujo de voltaje a un Relé por medio de un botón pulsador que encenderá y apagará el sistema de control, Tip31c que se conecta al potenciómetro de 100k que controlará la velocidad del motor DC GAL6309U-ZD para llegar hasta los 3600 RPM y además el potenciómetro estará unido a resistencias en serie y paralelo para que la información del cambio de velocidad llegue al Arduino Uno sin que este se quemara por los 120 V con los que se alimenta al potenciómetro; tendrá PWM (Modulador por anchura de pulsos) en el que variamos el ciclo de trabajo (anchura del pulso) sin modificar la frecuencia para que se controle la velocidad de giro y finalizando con su posterior fabricación e implementación en el colector, donde se busca que sea de menor tamaño su diseño para que se acople a la base donde estará ubicado el colector cilíndrico y la bomba de jeringa.

El código de Arduino® que se encuentre en el ANEXO A se lo compila para verificar que no existan errores y una vez verificado se obtiene la ubicación del archivo .hex creado como se muestra en la Figura 3.10.



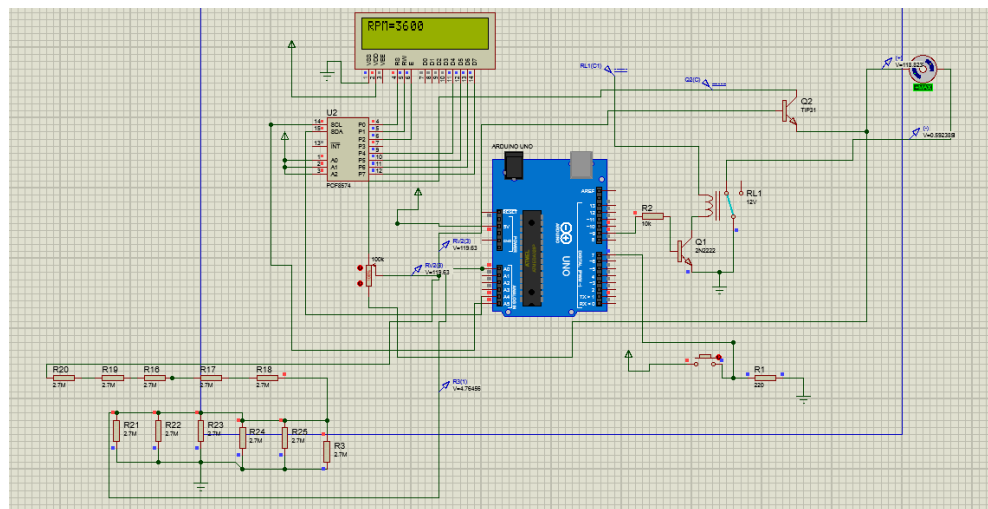
**Figura 3.10 Archivo .hex**

Se copia la ubicación del archivo de Arduino y al hacer doble clic sobre el componente Arduino® se coloca la dirección en Program File como se muestra en el Figura 3.11.

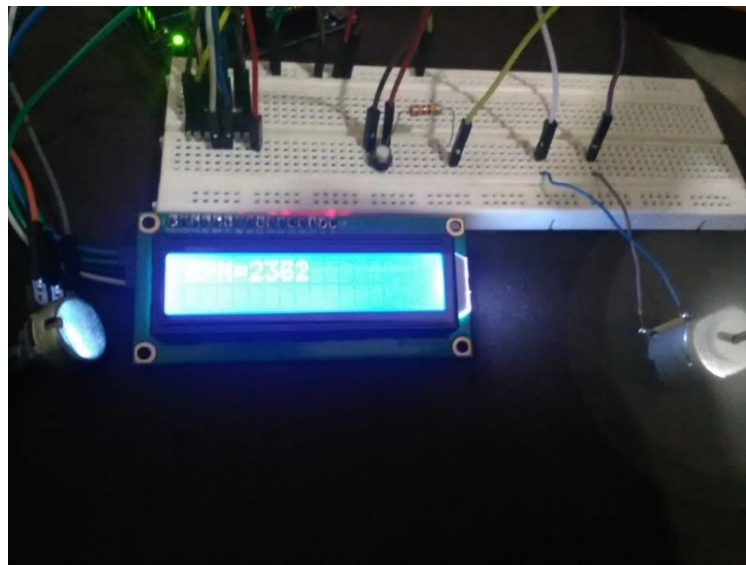


**Figura 3.11 Archivo de programa**

Con esto verificamos el Funcionamiento del circuito en Proteus como se muestra en la Figura 3.12 para su posterior prueba en físico.



**Figura 3.12 Funcionamiento del circuito en Proteus**



**Figura 3.13 Montaje parcial del control de velocidad**

### 3.6. Fuente de alto voltaje

Este parámetro afecta el diámetro de la fibra, así como su productividad, ya que un voltaje más alto produce un incremento del rendimiento en el proceso de electrohilado, un firme campo eléctrico producto de las fuerzas electroestáticas presentes permite que salga un chorro con más fluido de la jeringa por lo que en el colector se recoge fibras con diámetro más grande.

El desarrollo de la fuente cuenta con el siguiente proceso:

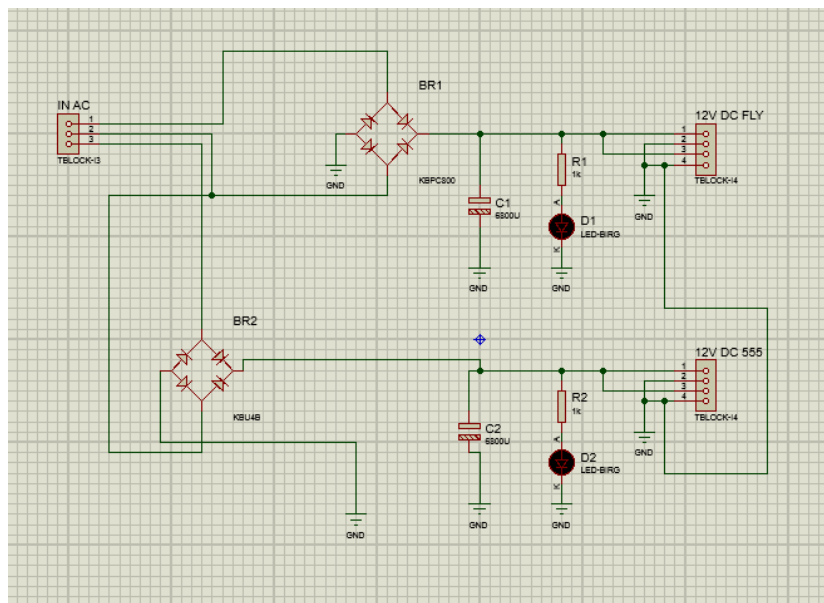
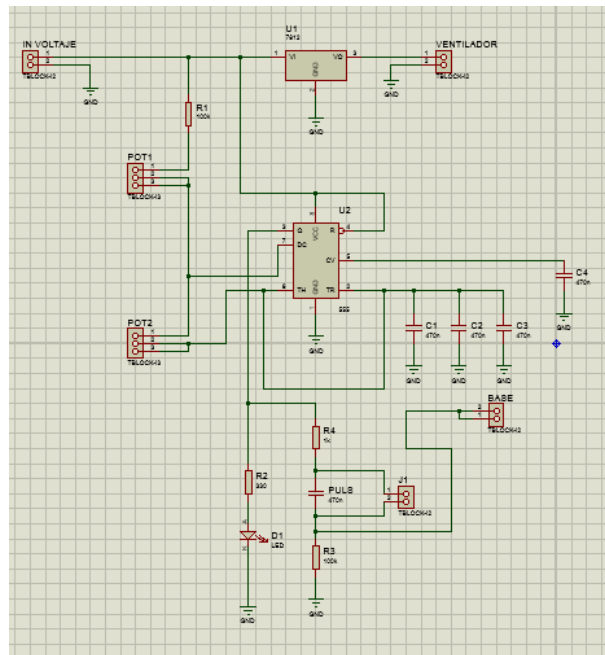


Figura 3.14 Esquemático Fuente 1

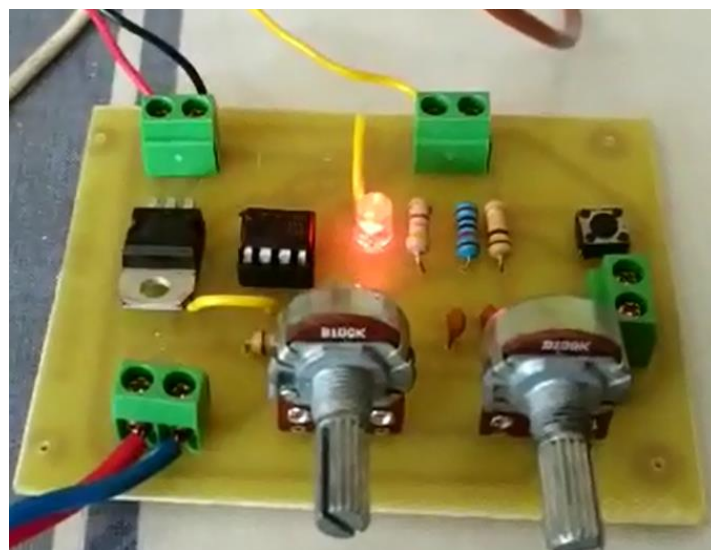


Figura 3.15 Montaje Fuente 1

Como se aprecia en la Figura 3.14 y Figura 3.15 empezamos con la alimentación; se alimenta un transformador y esta va a una fuente que tiene dos puentes de diodos rectificadores, canal 1 y canal 2, dos borneras paralelas que son dos salidas, la del primer puente rectificador y la del segundo puente, cada una tiene su diodo led indicando que hay voltaje en ellos.

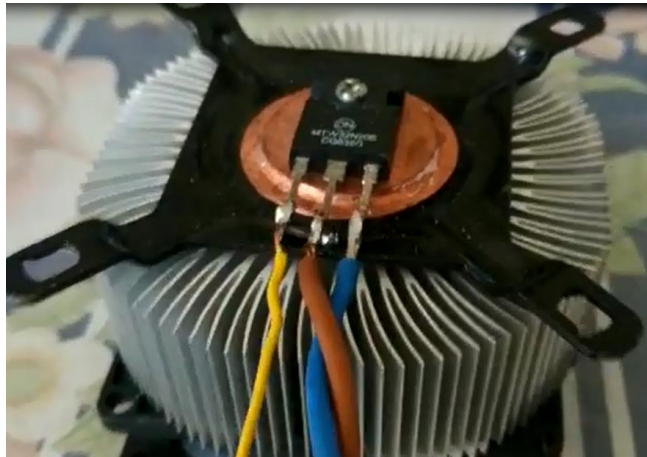


**Figura 3.16 Esquemático 555**



**Figura 3.17 Montaje 555**

La segunda parte va conectada con la fuente, este generador de pulsos que tiene un 555 con dos potenciómetros donde regulo la frecuencia y el ancho de pulso, un pulsador donde genero los pulsos, una bornera donde tendré el pulsador retenido como se muestra en la Figura 3.16 y Figura 3.17.



**Figura 3.18 Cooler disipador**

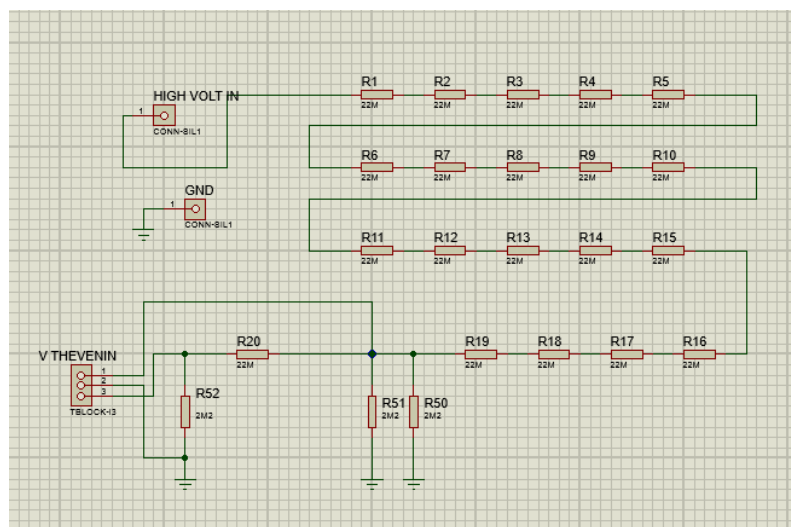
Tendremos un Cooler disipador (Figura 3.18) accionado por la fuente de alimentación para proteger al mosfet Mtw32n20e, además el pulsador del 555 va a generar pulsos cuya salida va a la al pin gate del mosfet con cable amarillo y los cables de los pines drain (café) y source (azul) son los que entran a la bobina primaria del Flyback y a la Fuente respectivamente.



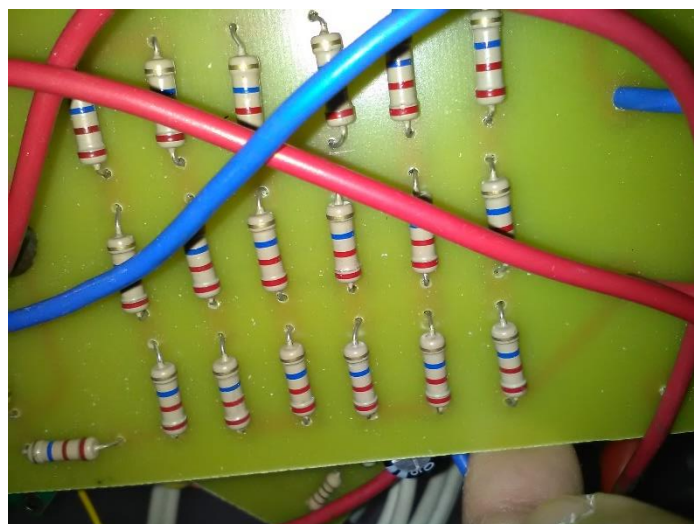
**Figura 3.19 Flyback**

La bobina primaria del Flyback va a estar alimentada, como se aprecia en la Figura 3.19 entra por una bobina con el cable blanco y sale por el cable café que alimenta al pin del source del mosfet y la salida drain que va conectada a la fuente, acá el Flyback va tener su bobina secundaria que tiene un aislante eléctrico y la otra parte de la bobina que es el neutro entre ellas

En la Figura 3.20 y Figura 3.21 se aprecia el voltaje de Thévenin donde entra alto voltaje y sale a bajo voltaje (ya reducido) que es una señal de 0 a 5 voltios y en esta parte lee el voltaje de Thévenin, por lo que entra señal de voltaje y la envía a la entrada del micro para que no queme la LCD y pueda visualizarse el voltaje obtenido.



**Figura 3.20 Esquemático voltaje de Thévenin**



**Figura 3.21 Montaje voltaje de Thévenin**



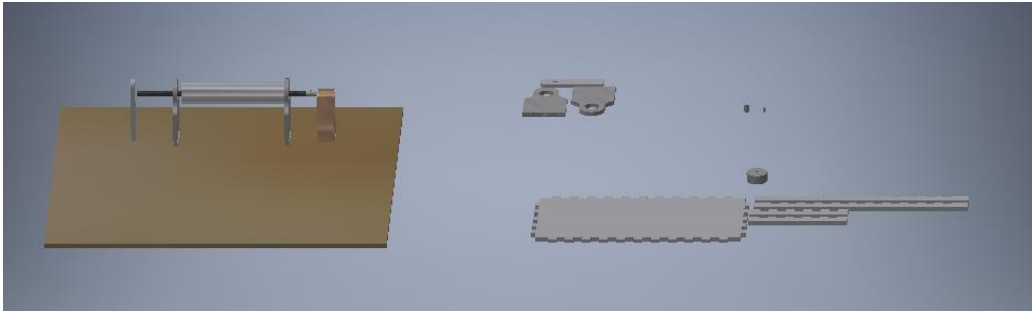
### Figura 3.22 Esquemático LCD



# CAPÍTULO 4

## 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 4.1 Diseño final del colector



**Figura 4.1 Diseño final del sistema colector**

Se aprecia en la Figura 4.1 la forma final del prototipo que pasó por varias modificaciones para llegar a esta etapa final. A partir de este diseño no se considerará los rodamientos ni el tubo, así como el acople mecánico puesto que solo se fabricarán las piezas importantes. Todos los planos del sistema colector se encuentran en el ANEXO C.

### 4.2 Resultados en el control de la salida del voltaje

Se trabaja con voltajes y se determina el valor de potenciómetro que controla el flujo de voltaje en el motor.

**Datos:**

**V<sub>cc</sub> = 120v**

**Voltaje aprox. Del motor = 118 V**

**R<sub>pot</sub> = 100k**

$$\begin{array}{l} 120 \rightarrow 100\% \\ 118 \rightarrow x1 \end{array}$$

$$x1 = \frac{118 \times 100}{120}$$

$$x1 = 98.333\%$$

$$0.98333R_{tot} \rightarrow 118V$$

$$120 \rightarrow 100\% \rightarrow R_{tot} = 100k$$

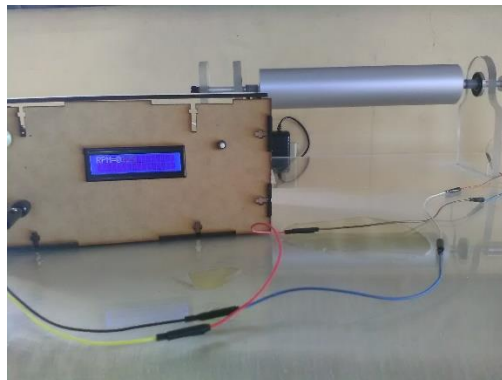
$$98.333k \rightarrow 118v$$

El motivo de este cálculo es demostrar que existe un porcentaje de pérdidas en el voltaje que llega al motor, puesto que el valor del potenciómetro encontrado 9.833k es aparentemente el total utilizado que permite obtener un valor de 118 V en el motor.

	TEORICO	EXPERIMENTAL	ERROR
Voltaje	118 V	120 V	1.69%
	TEORICO	EXPERIMENTAL	ERROR
Potenciómetro	98.333k	100k	1.667%

**Tabla 4.1 Tabla de porcentajes de errores 1**

Las pérdidas están en el rango de lo aceptable puesto que si a la salida no se generara voltaje cercano a estos valores el sistema colector no tendría la suficiente potencia para hacer girar el tubo cilíndrico. Se aprecia en la Figura 4.2 el sistema de control operativo que actuará según el análisis de los resultados obtenidos y permitirá variar la velocidad del motor según se desea.



**Figura 4.2 Sistema de control funcional**

## 4.3 Análisis de la fuente

### 4.3.1 Método 1

Se eligieron datos para el levantamiento de información del Flyback donde obtenemos dos valores de voltajes que lee el microcontrolador de 93 y 222 V.

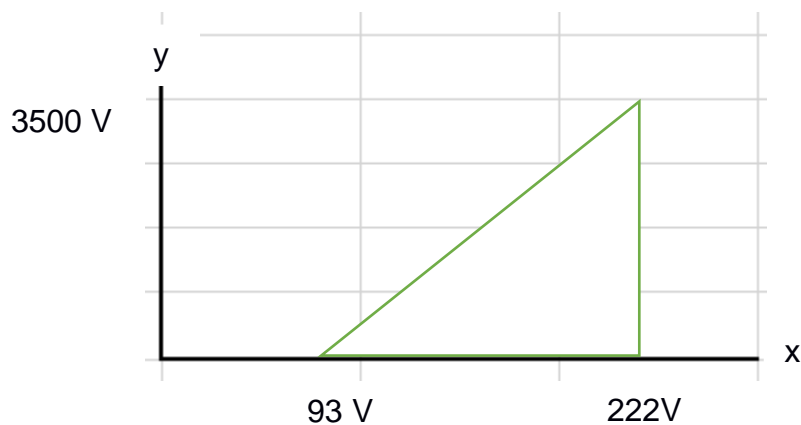


Figura 4.3 Pendiente de la recta

Aplicando la ecuación de la recta tenemos:

$$y = mx + b$$

$$m = \frac{3500}{222 - 93}$$

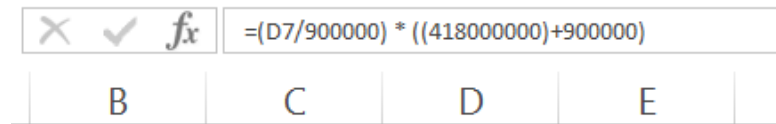
$$y = \frac{3500}{129}x - \frac{108500}{43}$$

Con esta fórmula se corrobora el voltaje que debe generar el sistema

### 4.3.2 Método 2

Del voltaje de Thévenin de 7,5 V a partir del montaje de las resistencias de la Figura 3.21 que es la división de las resistencias en paralelo multiplicado por la suma de todas las resistencias en serie y sumado por las resistencias en paralelo que arroja un valor de 3490,83. En la Figura 4.4 se muestra la fórmula aplicada

en Excel y el valor total del valor medido de 7.5 V para mejor comprensión se encuentra en la Figura 4.5.



**Figura 4.4 Fórmula en Excel**

	V medido	7,5		
				3490,83

**Figura 4.5 Cálculo en Excel**

Por estos dos métodos el valor de voltaje que debe salir a la salida de la fuente realizada debe llegar a los 3500 V, pero en el experimento se obtuvo un valor de 3460 V.

Por lo que existe margen de error para los dos métodos:

	<b>TEORICO</b>	<b>EXPERIMENTAL</b>	<b>ERROR</b>
Método 1	3500 V	3460 V	1.14%
	<b>TEORICO</b>	<b>EXPERIMENTAL</b>	<b>ERROR</b>
Método 2	3490,83 V	3460 V	0.88%

**Tabla 4.2 Tabla de porcentajes de errores 2**

Estos márgenes de error son menores y aceptables puesto que se demuestra que en los dos métodos se llega al valor de voltaje obtenido en los experimentos para demostrar si el sistema en verdad trabaja hasta esa capacidad.



# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## Conclusiones

- La fuente de alto voltaje construida en este proyecto puede llegar hasta los 3460 V y pasó por varias etapas de modificación hasta generar una chispa o arco eléctrico fuerte y constante de unos 5 a 7 mm necesario para el electrohilado de fibras de nanocelulosa, además se puede variar su valor de voltaje así como su frecuencia y mostrar dicho voltaje por pantalla, demostrando así que se puede realizar una fuente económica respecto a las que existen en el mercado, manteniendo las precauciones debidas al momento de elaborarla y compartiendo la información de su construcción para que pueda ser mejorado a futuro.
- Se construyó el colector tipo tambor a base de piezas de metacrilato y de otros elementos en el mercado nacional donde las velocidades que puede alcanzar varían entre 500 a 3600 RPM puesto que el motor funciona a 120 V y 60 HZ por lo que se ubicaría en el rango necesario para producir un electrohilado de fibras tanto de nanocelulosa como de otras fibras naturales que son el objetivo de este proyecto.
- Se fabricó un sistema de control a base de Arduino y varios elementos como transistores y resistencias para controlar la velocidad del motor que paso por varios rediseños a fin de que pueda ser utilizado de la manera más sencilla posible, logrando de esta manera controlar y mantener el movimiento del tubo constante para que pueda ser modificado a futuro a partir de los pasos dejados en el documento.

## Recomendaciones

- Se sugiere estudiar a fondo el tema de alto voltaje si se desea crear este tipo de fuentes para fines de investigación puesto que una mala manipulación o poco conocimiento del mismo puede llevar a daño a los órganos, quemaduras o inclusive la muerte.
- Se recomienda implementar cursos que permitan a los estudiantes aprender cómo elaborar impresiones 3D, diseño y elaboración de maquetas personalizadas en la carrera de telecomunicaciones que incentiven a los estudiantes a realizar proyectos combinados con estas herramientas.
- Incentivar el uso de Arduino y programas derivados que permitan al estudiante usar el mínimo de elementos a la hora de realizar sus proyectos y solo tenga que hacer modificaciones en la programación.

# BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. T.-N. del E. y del mundo, «La nanocelulosa, el material del futuro», *El Telégrafo - Noticias del Ecuador y del mundo*, 08-mar-2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/buen/1/la-nanocelulosa-el-material-del-futuro>. [Accedido: 06-jul-2019].
- [2] C. Briones y G. Pérez, «IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CO-ELECTROHILADO PARA MEJORAR LA FLUORESCENCIA DE FIBRAS POLIMÉRI.pdf». 2016.
- [3] W. E. Teo y S. Ramakrishna, «A review on electrospinning design and nanofibre assemblies», *Nanotechnology*, vol. 17, n.º 14, pp. R89-R106, jul. 2006.
- [4] J. F. Cooley, «Apparatus for electrically dispersing fluids», US692631A, 04-feb-1902.
- [5] M. Torres y C. Rodrigo, «Diseño de Colector Modular Cilíndrico para generar Andamios Celulares de Nanoestructuras Verticales Compuestas.» 2015.
- [6] J. G. Chica Muñoz y S. T. David Ejanier, «(PDF) Desarrollo de un prototipo de bomba de jeringa de bajo costo», 2018. [En línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/332446783\\_Desarrollo\\_de\\_un\\_prototipo\\_de\\_bomba\\_de\\_jeringa\\_de\\_bajo\\_costo](https://www.researchgate.net/publication/332446783_Desarrollo_de_un_prototipo_de_bomba_de_jeringa_de_bajo_costo). [Accedido: 07-jul-2019].
- [7] E. Nava, «Principios de diseño cinemático aplicados a la reinterpretación del colector de fibras de la técnica de electrohilado». 2016.
- [8] «Concepto de celulosa - Definición en DeConceptos.com». [En línea]. Disponible en: <https://deconceptos.com/ciencias-naturales/celulosa>. [Accedido: 07-jul-2019].
- [9] «¿Qué es la celulosa?» [En línea]. Disponible en: <https://lamadera.net/que-es-la-celulosa/>. [Accedido: 07-jul-2019].
- [10] «Pequeñas fibras, grandes aplicaciones». [En línea]. Disponible en: <http://www.cienciahoy.org.ar/ch/ln/hoy121/fibras.htm>. [Accedido: 07-jul-2019].
- [11] «Definición de Fibra», *Definición ABC*. [En línea]. Disponible en: <https://www.definicionabc.com/general/fibra.php>. [Accedido: 07-jul-2019].
- [12] «Nanofibras - Fibrenamics». [En línea]. Disponible en: <https://www.web.fibrenamics.com/es/conocimiento/las-fibras/nanofibras/>. [Accedido: 07-jul-2019].
- [13] F. Anton, «Process and apparatus for preparing artificial threads», US1975504A, 02-oct-1934.
- [14] L. M. D. Sánchez, L. Rodríguez, y M. López, «ELECTROSPINNING: LA ERA DE LAS NANOFIBRAS», p. 18, 2013.
- [15] A. F. O. Larrota, «OBTENCIÓN DE NANOFIBRAS DE CELULOSA CATIONICA A PARTIR DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR Y TEÑIDAS CON COLORANTE REACTIVO ANIONICO PARA LA APLICACIÓN TEXTIL», p. 61, 2015.
- [16] L. CHÁVEZ GUERRERO, «Aplicaciones de la nanocelulosa obtenida del maguey». [En línea]. Disponible en: <http://www.uaslp.mx/Comunicacion-Social/Documents/Divulgacion/Revista/Quince/223/223-03.pdf>. [Accedido: 07-jul-2019].
- [17] «Celulosa de nanofibra», *GEA engineering for a better world*. [En línea]. Disponible en: <http://www.gea.com/es/careers/life-at-gea/nanofiber-cellulose.jsp>. [Accedido: 07-jul-2019].



- [18] J. A. Chugá Mejía y J. R. Polanco Salgado, «Diseño y construcción de una máquina para la obtención de fibras submicrométricas mediante Electrospinning con sistema móvil de inyección y atmósfera controlada». 2018.
- [19] S. Ramakrishna, *An Introduction to Electrospinning and Nanofibers*. World Scientific, 2005.
- [20] Nagarajan y Gayathri, «Production of Nanofibres using Rotary Jet Spinning Method for Tissue Engineering», *IJSR*, vol. 5, n.º 3, pp. 858-864, mar. 2016.
- [21] J. A. Matthews, G. E. Wnek, D. G. Simpson, y G. L. Bowlin, «Electrospinning of Collagen Nanofibers», *Biomacromolecules*, vol. 3, n.º 2, pp. 232-238, mar. 2002.
- [22] L. A. García Yeverino, «Membranas fluorescentes de nanofibras conteniendo oligómeros del tipo fenilnetileno obtenidas por electrohilado para la detección de iones sodio y calcio.» 2008.
- [23] «Acople Acoplamiento flexible - tecmikro Ecuador». [En línea]. Disponible en: <https://tecmikro.com/motores/518-acople-acoplamiento-flexible.html>. [Accedido: 29-ago-2019].

# **ANEXOS**

# ANEXO A

## PROGRAMACION ARDUINO

```
//Librerias
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_PCF8574.h>

//inicializa la biblioteca
LiquidCrystal_PCF8574 lcd(0x27);

//define la rotacion del motor
#define pot    0
//salidas de señal PWM
#define pwm1    9
#define pwm2    10
const int BOTON = 7;//número de la botonera
int val = 0; // emplea para almacenar el estado del boton
int state = 0; // 0 apagado, mientras que 1 encendido
int old_val = 0; // almacena el antiguo valor de val
unsigned int motor_speed;
boolean motor_dir = 0;

void setup(){
  pinMode(pwm1,  OUTPUT);
  pinMode(pwm2,  OUTPUT);
  int error;
  digitalWrite(pwm1,  LOW);

  Serial.begin(115200);
  Serial.println("LCD...");

  while (!Serial)
    ;
  Serial.println("Dose: check for LCD");
  Wire.begin();
  Wire.beginTransmission(0x27);
  error = Wire.endTransmission();
  Serial.print("Error: ");
  Serial.print(error);

  if (error == 0) {
```

```

    Serial.println(": LCD found.");
    lcd.begin(16, 2); // inicializa la LC

} else {
    Serial.println(": LCD not found.");
} // if
lcd.clear();//limpia la pantalla LCD
pinMode(BOTON,INPUT); //Boton como señal de entrada

}

void loop(){
    //antirrebote
    val= digitalRead(BOTON); // lee el estado del Boton
    if ((val == HIGH) && (old_val == LOW)){
        state=1-state;
        delay(10);
    }
    old_val = val; // valor del antiguo estado
    if (state==1){

        lcd.display();//Muestra el texto por pantalla LCD.

        //Se almacena el valor del potenciómetro en la variable motor_speed
        motor_speed = analogRead(pot) / 4;
        digitalWrite(pwm1, HIGH);
        if(motor_dir){
            //Se obtiene el PWM1 de la salida y se la muestra por lcd
            analogWrite(pwm1, motor_speed);

            lcd.clear();

            lcd.setBacklight(255);
            lcd.home();
            lcd.clear();

            lcd.setCursor(0, 0);
            lcd.print( "RPM=" );
            lcd.print(int(motor_speed*14.7566938857));
            delay(100);//Actualiza cada 0.1 segundo
        }
        else{
            //Se obtiene el PWM2 de la salida y se la muestra por lcd
            analogWrite(pwm2, motor_speed);
            lcd.clear();

            lcd.setBacklight(255);
            lcd.home();

```

```

    lcd.clear();

    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print( "RPM=" );
    lcd.print(int(motor_speed*14.7566938857));
    delay(100); //Actualiza cada 0.1 segundo

}
}
else{
    digitalWrite(pwm1, motor_speed);
    //Apaga la LCD y su luz de fondo
    lcd.setBacklight(0);
    lcd.noDisplay();

    //Apaga el motor
    motor_speed = 0;

    if(motor_dir){
        analogWrite(pwm1, LOW);
        delay(100); //Retraso de 0.1 segundo
    }
    else{
        analogWrite(pwm2, motor_speed);
        delay(100); //Retraso de 0.1 segundo
    }
}
}
}

```

# ANEXO B

## PROGRAMACIÓN PIC 16F88

'PROGRAMACION CON PIC 16F88

INCLUDE "MODEDEFS.BAS"  
 OSCCON=%1100100

TRISA =%1  
 trisb=0  
 portb=%00000000  
 ANSEL = %00000000  
 ADCON1 = %00001110  
 dato VAR word ;variable dato con capacidad de 255

DEFINE LCD\_DREG PORTB ;define pines del LCD B4 a B7  
 DEFINE LCD\_DBIT 4 ;empezando desde el Puerto B4 hasta el B7  
 DEFINE LCD\_RSREG PORTB ;define el puerto B para conectar el bit RS  
 DEFINE LCD\_RSBIT 2 ;este es el puerto B3  
 DEFINE LCD\_EREG PORTB ;define el puerto B para conectar el bit Enable  
 DEFINE LCD\_EBIT 3 ;este es el puerto B2

DEFINE ADC\_BITS 8 ;Fija número de bits del resultado (5,8,10)  
 DEFINE ADC\_CLOCK 3 ;Fije EL CLOCK (rc = 3)  
 DEFINE ADC\_SAMPLEUS 50 ;Fije el tiempo de muestreo en uS.  
 ;ADC\_SAMPLEUS es el número de microsegundos que el programa espera  
 ;entre fijar el canal y comenzar la conversión análoga/digital.

PROG:

PAUSE 200 ;retardo para esperar que funcione el LCD  
 LCDOUT \$FE, 1,"JULIAN" ;limpiar pantalla y sacar el texto Hola  
 LCDOUT \$FE, \$C0,"TOBAR" ;pasar al comienzo de la segunda línea  
 PAUSE 1500 ;y escribir microPIC  
 GOTO MEDIR

MEDIR:

ADCIN 0, dato ;leer el canal 0 y guardarlo en datos  
 dato = dato \* 27 - 2523

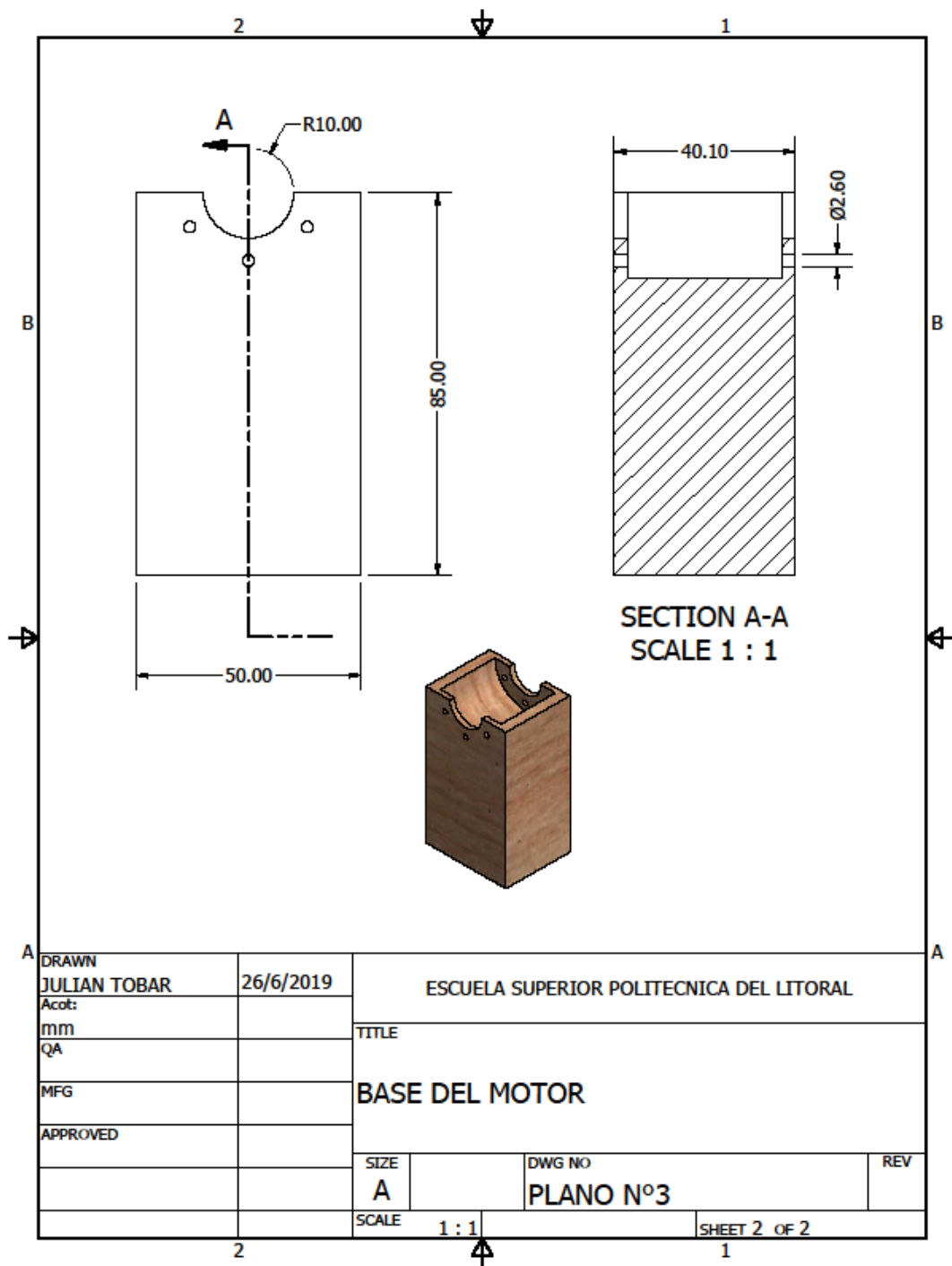
```
if dato>65000 then dato=0
```

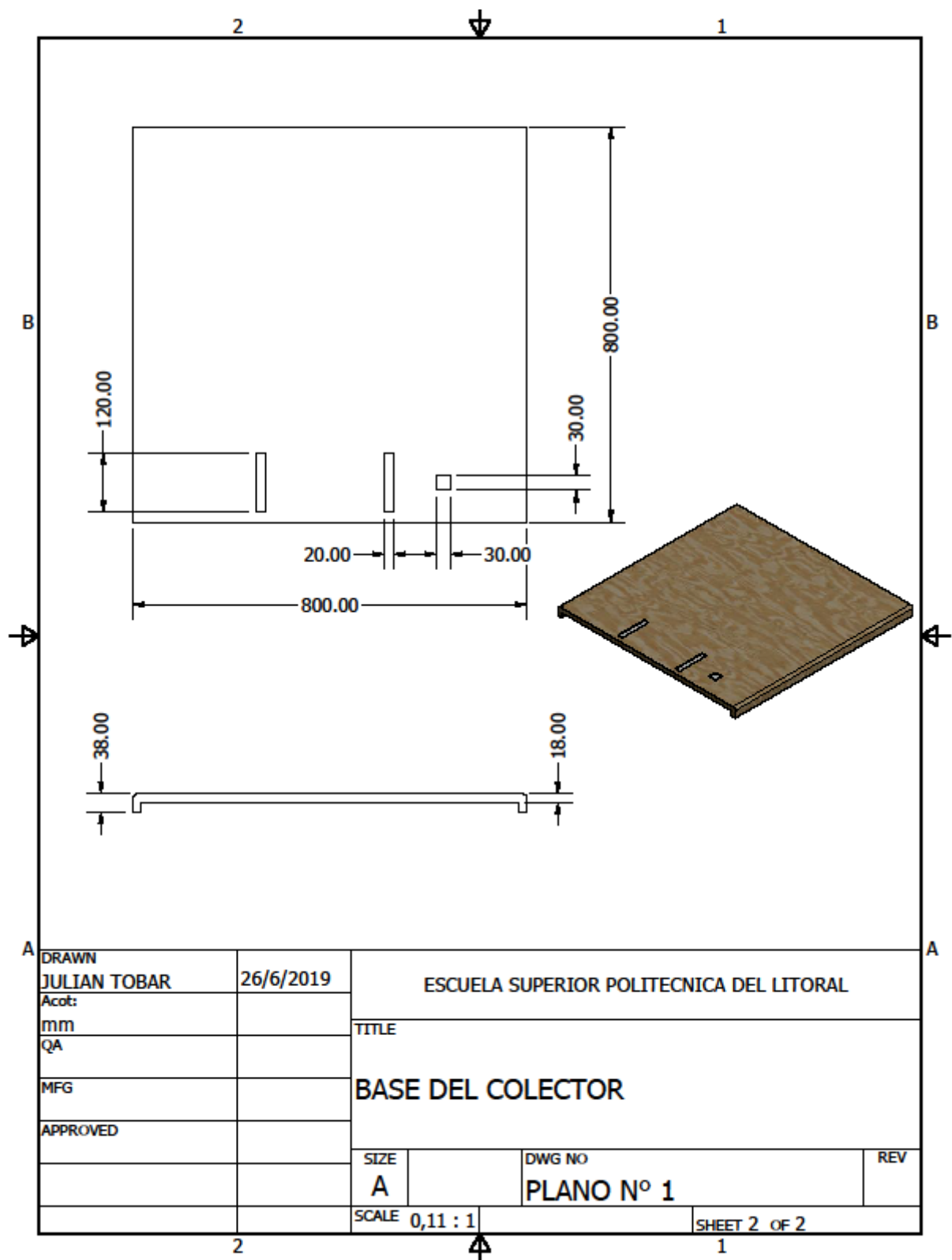
```
LCDOUT $fe, 1, DEC dato , "V"  
PAUSE 300  
GOTO medir
```

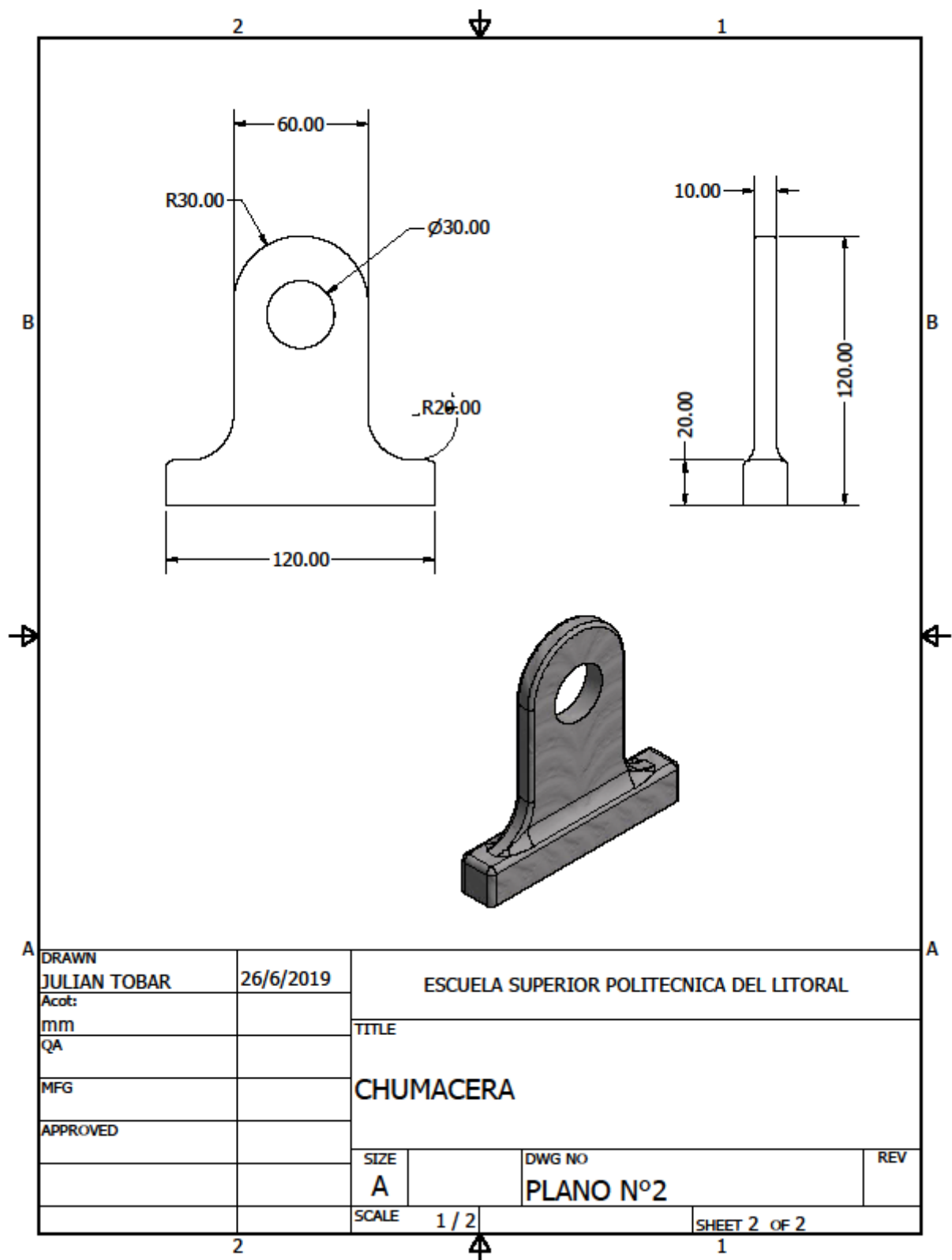
# **ANEXO C**

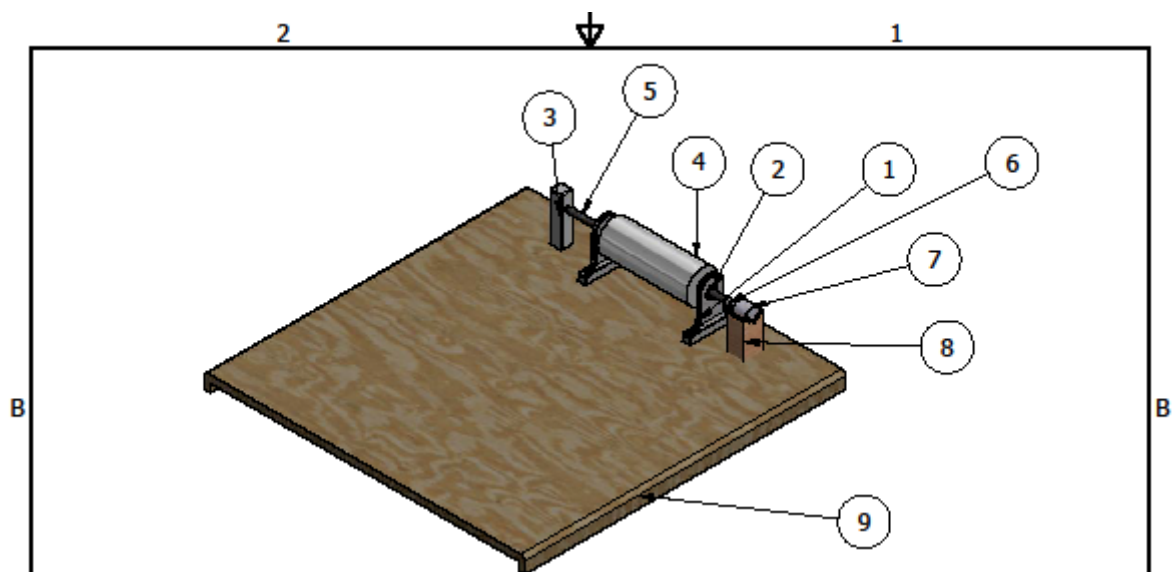
## **PLANOS**











PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	2	Chumacera	
2	2	Rodamiento	
3	1	Pilar 1	
4	1	Cilindro	Aluminio
5	1	EJE	Acero al carbón 1040
6	1	Acople	
7	1	Motor	
8	1	Base del motor	
9	1	Base	

DRAWN		26/6/2019		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL		
Acor:		TITLE		ENSAMBLE DEL COLECTOR ELECTROHILADO		
mm						
QA						
MFG						
APPROVED				SIZE	DWG NO	REV
				A	PLANO N° 4	
		SCALE 0,10 : 1		SHEET 2 OF 2		

# ANEXO D

## COSTOS

Concepto	Cantidad	Precio unitario (\$)	Precio total(\$)
Pieza en 3D impresa	1	20	20
Piezas de metacrilato	9	3.35	30.15
Tubo de aluminio	1	18	18
Varilla de aluminio	1	5	5
Rodamientos	2	2.50	5
Acople mecánico de aluminio, d1 y d2 8 mm, SERIE DR, L 25MM	1	31.40	31.40
Banana hembra chasis aislada 4mm	1	0.50	0.50
Motor galanz gal6309u-zd	1	5	5
<b>Total sistema colector</b>			115.05

**Tabla de costos detallados del sistema colector**

Fuente de Poder			
Concepto	Cantidad	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
Bornera de 3 pines	1	0,35	0,35
Bornera de 2 pines	4	0,25	1
Capacitor 2200 uF	1	1	1
Capacitor 1200 uF	1	0,5	0,5
Retificador KBPC800	1	1	1
Retificador Lineal	1	0,5	0,5
Resistencias 1/2 W	2	0,05	0,1
Diodo led rojo brillante	2	0,15	0,3
Placa PCB	1	20	20
<b>Total fuente de poder</b>			<b>24,75</b>
Generador de Pulsos			
Concepto	Cantidad	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
Bornera de 2 pines	2	0,3	0,6
Potenciómetros 100K	2	0,5	1
Regulador 7812	1	0,5	0,5
Capacitores	3	0,5	1,5
Resistencias	4	0,05	0,2
Pulsador	1	0,1	0,1
MOSFET	1	5	5
Botón pulsador	1	0.50	0.50
Placa PCB	1	20	20
<b>Total generador de Pulsos</b>			<b>29,4</b>
Reductor de alto voltaje			
Concepto	Cantidad	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
Bornera de 3 pines	1	0,35	0,35

Resistencia 2W 22M Ohm	20	0,1	2
Resistencia 2W 1M Ohm	3	0,1	0,3
Placa PCB	1	20	20
<b>Total</b>			<b>22,65</b>
<b>Medidor de alto Voltaje LCD micro</b>			
<b>Concepto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario (\$)</b>	<b>Precio total (\$)</b>
Bornera de 2 pines	2	0,3	0,6
Potenciómetros 5K	1	0,5	0,5
Regulador 7812	1	0,5	0,5
Regulador 7805	1	0,5	0,5
Capacitores	2	0,1	0,2
Resistencias	6	0,05	0,3
Pulsador	1	0,1	0,1
MICROCHIP 16F88	1	4	4
Mosfet	1	5	5
LCD 16X2	1	4,50	4,50
Placa PCB	1	20	20
<b>Total medidor de alto Voltaje LCD micro</b>			<b>36,2</b>
<b>Varios</b>			
Ventilador	1	1.95	1.95
Flyback	1	8	8
Transformador de 12v a 3A	1	12	12
<b>Total Varios</b>			<b>21.95</b>
<b>Total fuente de alto voltaje</b>			<b>134,95</b>

**Tabla de costos de la fuente de alto voltaje**

<b>Concepto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Precio total</b>
Arduino Uno	1	16	16
Baquelita perforada	1	0.50	0.50
Banana hembra chasis aislada 4mm	2	0.50	1
Cargador de 12v	1	3	3
Botón pulsador	1	0.50	0.50
LCD	1	4.50	4.50
Potenciómetro	1	1	0.50
TIP36C	1	2,35	2,35
Módulo Relé 5v 1 Canal	1	2,75	2,75
<b>Total sistema de control de velocidad</b>			<b>31.1</b>

**Tabla de costos del sistema de control de velocidad**

<b>Concepto</b>	<b>Precio (\$)</b>
Total sistema colector	115.05
Total fuente de alto voltaje	134,95
Total sistema de control de velocidad	31.1
<b>Total</b>	<b>281</b>

**Tabla de costo de la producción**



<b>Concepto</b>	<b>Precio total (\$)</b>
Costo de la producción	281
Costo de Mano de Obra	150
<b>Total del producto</b>	<b>431</b>

**Tabla de costos totales**

# ANEXO E

## CAPTURAS

