

IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE TRANSFORMACIÓN DE  
BIOPOLÍMEROS BAJO LA TÉCNICA DE *ELECTROSPINNING* CON  
APLICACIONES NANOMÉTRICAS

Estudiantes:

SERGIO DAVID TRUJILLO FRANCO  
DIEGO ALEJANDRO ROMERO LEÓN

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA MECATRÓNICA  
BOGOTÁ D.C.  
2022

IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE TRANSFORMACIÓN DE  
BIOPOLÍMEROS BAJO LA TÉCNICA DE *ELECTROSPINNING* CON  
APLICACIONES NANOMÉTRICAS

Estudiantes:  
SERGIO DAVID TRUJILLO FRANCO  
DIEGO ALEJANDRO ROMERO LEÓN

Proyecto de grado para optar por el título de:  
INGENIERO MECATRÓNICO

Directores:  
Mg. ANDREA KATERINE PINEDA TORRES  
Dr. JAVIER DARÍO HOYOS LEYVA

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA MECATRÓNICA  
BOGOTÁ D.C.  
2022

## AGRADECIMIENTOS

Primero, gracias a Dios por permitirnos llegar tan lejos.

A nuestros padres y familiares que impulsaron, mantuvieron y motivaron en el proceso de aprendizaje y formación durante los años de carrera, a quienes les debemos tanto.

A los compañeros de quienes aprendimos y a quienes enseñamos, con los que compartimos tantos momentos de dificultad, alegrías y risas, a esos compañeros que nunca fueron egoísta y compartían sus conocimientos y explicaciones para crecer en conjunto como verdaderos profesionales.

A todos nuestros maestros por su paciencia, dedicación, entrega y sabiduría a la hora de transmitir tanto conocimiento, por sus lecciones académicas y sus lecciones de vida, por su ayuda y colaboración.

A todos los que hicieron parte de esta etapa tan importante y maravillosa en nuestras vidas. A las personas que nos motivaron a continuar en el proceso de formación, a quienes siempre extendieron su brazo.

A todos ustedes, gracias por permitirnos crecer como personas y profesionales en Ingeniería Mecatrónica. Todos fueron importantes en este proceso de formación académica.

## CONTENIDO

	Pág.
1. RESUMEN .....	12
2. INTRODUCCIÓN .....	14
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	16
4. JUSTIFICACIÓN .....	19
5. OBJETIVOS .....	22
5.1. OBJETIVO GENERAL .....	22
5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
6. MARCO REFERENCIAL .....	23
6.1. ESTADO DEL ARTE .....	23
6.2. MARCO HISTÓRICO .....	26
6.3. MARCO TEÓRICO .....	30
6.3.1. Técnica de <i>electrospinning</i> .....	30
6.3.2. Diseño mecánico.....	33
6.3.3. Diseño electrónico.....	37
6.3.4. Diseño computacional .....	43
6.4. MARCO CONCEPTUAL.....	44
6.4.1. Técnica de <i>electrospinning</i> .....	44
6.4.2. Diseño mecánico.....	45
6.4.3. Diseño electrónico.....	46
6.4.4. Diseño computacional .....	47
6.5. MARCO LEGAL.....	47
6.6. MARCO GEOGRÁFICO .....	50
7. DISEÑO METODOLÓGICO.....	51
7.1. TIPO Y ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN .....	51
7.2. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN .....	51
7.3. POBLACIÓN Y MUESTRA .....	51
7.4. PROCEDIMIENTO .....	52
7.4.1. Fase diagnóstica .....	52
7.4.2. Fase diseño mecánico .....	52
7.4.3. Fase diseño electrónico .....	53
7.4.4. Fase diseño software .....	53
7.4.5. Fase validación .....	53
8. EJECUCIÓN, RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	54
8.1. CRITERIOS DE DISEÑO.....	54
8.1.1. DISEÑO MECÁNICO .....	54
8.1.2. DISEÑO ELECTRÓNICO.....	61
8.1.3. FILOSOFÍA DE FUNCIONAMIENTO, PROGRAMACIÓN .....	74
8.2. EJECUCIÓN DEL PROYECTO .....	80
8.2.1. DISEÑO CAD.....	80
8.2.2. DISEÑO CAM .....	83

8.2.3.	MONTAJE ESTRUCTURAL.....	89
8.2.4.	DISEÑO ELECTRÓNICO.....	90
8.2.5.	VALIDACIÓN PROTOTIPO .....	96
8.3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	104
9.	RECURSOS UTILIZADOS.....	115
10.	CONCLUSIONES .....	118
11.	RECOMENDACIONES.....	120
12.	BIBLIOGRAFÍA.....	122
13.	ANEXOS.....	128

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Estado del arte.....	23
Tabla 2 Propiedades de los materiales de la ingeniería .....	33
Tabla 3 Propiedades de posibles materiales .....	34
Tabla 4 Tipo de sensores .....	38
Tabla 5 Tipo de actuadores .....	39
Tabla 6 Arquitectura de un microprocesador .....	42
Tabla 7 Placas de desarrollo .....	43
Tabla 8 Interfases gráficas.....	44
Tabla 9 Normas y leyes aplicables .....	48
Tabla 10 Características del acero laminado en caliente vs. laminado en frío.....	55
Tabla 11 Componentes proceso inyección .....	57
Tabla 12 Componentes proceso colector .....	59
Tabla 13 Datos nominales motor paso a paso Nema 17 .....	70
Tabla 14 Características drivers .....	71
Tabla 15 Conexión micro pasos en el driver.....	73
Tabla 16 Datos para determinación de caudal .....	76
Tabla 17 Datos recolectados, pruebas caudal.....	100
Tabla 18 Recursos utilizados .....	115
Tabla 19 Recursos presupuestados en anteproyecto.....	116
Tabla 20 Comparación presupuestal .....	116

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Línea de tiempo .....	27
Ilustración 2 Técnica electrospinning .....	30
Ilustración 3 Técnica electrospinning .....	33
Ilustración 4 Clasificación de los materiales .....	34
Ilustración 5 Procesos de manufactura .....	36
Ilustración 6 Simulador CAD .....	37
Ilustración 7 Sensores .....	37
Ilustración 8 Actuadores .....	39
Ilustración 9 Microcontroladores .....	40
Ilustración 10 Arquitectura Von Neumann .....	41
Ilustración 11 Arquitectura Harvard.....	41
Ilustración 12 Microprocesadores .....	42
Ilustración 13 Interfaz gráfica de usuario (GUI).....	44
Ilustración 14 Ubicación geográfica .....	50
Ilustración 15 CAD de la estructura .....	56
Ilustración 16 CAD Proceso inyección .....	57
Ilustración 17 Malla metálica utilizada.....	58
Ilustración 18 CAD Sistema colector.....	59
Ilustración 19 CAD proceso electrospinning .....	60
Ilustración 20 Fuente de alta tensión .....	60
Ilustración 21 Cono de Taylor y Jet.....	61
Ilustración 22 CAD ubicación parte electrónica .....	62
Ilustración 23 Arduino en Proteus .....	63
Ilustración 24 CAD ubicación sensores S1 y S2.....	63
Ilustración 25 CAD ubicación sensor S0.....	64
Ilustración 26 Montaje sensores finales de carrera en Proteus .....	64
Ilustración 27 CAD ubicación sensor DHT22 .....	65
Ilustración 28 Conexión sensor DHT22 en Proteus .....	65
Ilustración 29 CAD ubicación actuadores .....	66
Ilustración 30 Conexiones del sistema de activación en Proteus .....	67
Ilustración 31 Conexión pulsadores en Proteus.....	67
Ilustración 32 Conexión leds indicadores en Proteus .....	68
Ilustración 33 Conexiones LCD y KBD en Proteus .....	68
Ilustración 34 CAD ubicación componentes de interacción usuario - máquina.....	69
Ilustración 35 Campo magnético rotatorio en el motor con señales discretas de corriente .....	73
Ilustración 36 Conexión física en el driver DRV8825 .....	74
Ilustración 37 Funcionamiento varilla roscada .....	76
Ilustración 38 Medidas mecanismo inyector .....	79
Ilustración 39 CAD perfil acero .....	81
Ilustración 40 CAD acrílico.....	82
Ilustración 41 CAD componentes electrónicos.....	82

Ilustración 42 CAD Máquina de electrospinning diseñada .....	83
Ilustración 43 Perfiles de acero y acrílicos maquinados .....	85
Ilustración 44 Configuración piezas en el software Cura .....	86
Ilustración 45 Simulación en software Cura .....	86
Ilustración 46 Simulación pieza horizontal .....	87
Ilustración 47 Simulación piezas vertical .....	87
Ilustración 48 Diseño CAM impresiones 3D.....	88
Ilustración 49 Piezas impresas en 3D.....	88
Ilustración 50 Sistema inyector y colector construidos.....	89
Ilustración 51 Montaje perfiles y acrílico .....	89
Ilustración 52 Montaje estructural final.....	90
Ilustración 53 Simulación visualización LCD.....	91
Ilustración 54 KBD utilizado vs simulado .....	91
Ilustración 55 Pantallazos LCD .....	92
Ilustración 56 Simulación encendido actuador.....	92
Ilustración 57 Recomendación en LCD para llenado de jeringa .....	93
Ilustración 58 Toma de datos.....	93
Ilustración 59 Simulación proceso activo .....	94
Ilustración 60 Simulación secado de fibras LCD.....	94
Ilustración 61 Ubicaciones componentes.....	95
Ilustración 62 Montaje electrónico.....	95
Ilustración 63 Conexión fuente alto poder.....	96
Ilustración 64 Prototipo construido final .....	96
Ilustración 65 Motor paso funcionando .....	97
Ilustración 66 Validación interacción usuario - máquina .....	98
Ilustración 67 Validación sensores puertas.....	98
Ilustración 68 Validación toma de datos .....	99
Ilustración 69 Validación proceso activo .....	99
Ilustración 70 Encendido fuente alto voltaje.....	102
Ilustración 71 Cono de Tylor y Jet.....	102
Ilustración 72 Fibras a 30, 50 y 90 ml/h .....	103
Ilustración 73 Fibras a 15, 8 y 6 ml/h .....	104
Ilustración 74 Secada y empackado de fibras .....	104
Ilustración 75 Fibras estudiadas bajo microscopio.....	106
Ilustración 76 Microscopio utilizado .....	107
Ilustración 77 Biopolímero antes del proceso de electrospinning .....	107
Ilustración 78 Imágenes comparadas .....	108
Ilustración 79 Resultados Software ImageJ.....	108
Ilustración 80 Fibras biopolímero 6ml/h, 10% densidad aumento 40X .....	109
Ilustración 81 Fibras biopolímero 8ml/h, 10% densidad aumento 40X .....	110
Ilustración 82 Fibras biopolímero 15ml/h, 8% densidad aumento 10X .....	110
Ilustración 83 Fibras biopolímero 15ml/h, 8% densidad aumento 40X .....	111
Ilustración 84 Fibras biopolímero 20ml/h, 8% densidad aumento 40X .....	112
Ilustración 85 Fibras biopolímero 90ml/h .....	112

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Relación revoluciones vs torque.....	69
Gráfica 2 Tendencia caudal .....	77
Gráfica 3 Caudal real y caudal medido .....	101

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Ley de Ohm.....	70
Ecuación 2 Corriente máxima motor Nema 17 .....	71
Ecuación 3 Voltaje referencia A4988 .....	72
Ecuación 4 Voltaje referencia DRV8825.....	72
Ecuación 5 Voltaje referencia motor Nema 17.....	72
Ecuación 6 Pasos nominales de motor paso utilizado .....	75
Ecuación 7 Pasos del motor por vuelta con resolución de 1/32.....	75
Ecuación 8 Tendencia caudal calculado .....	78
Ecuación 9 Distancia a recorrer .....	79
Ecuación 10 Distancia a recorrer en pasos .....	79
Ecuación 11 Formula usada para determinar caudal.....	100
Ecuación 12 Porcentaje de error.....	101
Ecuación 13 Cantidad de biopolímero para fabricar biopolímero liquido .....	105
Ecuación 14 Cantidad de diluyente para fabricar biopolímero liquido.....	105
Ecuación 15 Mp necesaria para fabricar 80g de biopolímero al 15% .....	105
Ecuación 16 Ma necesaria para fabricar 80g de biopolímero al 15% .....	106
Ecuación 17 Determinar diámetro fibras.....	108
Ecuación 18 Diámetro fibra de ejemplo .....	109

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A Planos finales .....	128
Anexo B Hoja de datos DHT22 .....	154
Anexo C Hoja de datos motor paso Nema 17 .....	165
Anexo D Manual de usuario del prototipo .....	168
Anexo E Esquema diseño electrónico .....	181
Anexo F Programación Arduino .....	185
Anexo G Video prototipo .....	206

## 1. RESUMEN

Ha llamado la atención en la comunidad científica e investigadora la creación de material micrométrico y nanómetros a partir de material biológico, debido a la gran variedad de aplicaciones que traería consigo en nuevas industrias o industrias ya establecidas, lo cual puede abrir paso a nuevas tecnologías en diferentes áreas de investigación, sin embargo, la adquisición de las fibras para estudios y aplicaciones es costosa, ya que estas fibras son fabricadas en máquinas especiales, construidas en el extranjero y con gran valor monetario, además, la creación de estas fibras lleva consigo un sistema complejo que eleva su precio, impidiendo así, nuevas investigaciones o tecnologías en el país haciendo uso de material en escalas micrométricas y nanométricas.

Por tal motivo se planteó en este proyecto el objetivo de realizar un prototipo de transformación de biopolímeros bajo la técnica de electrospinning capaz de fabricar fibras micrométricas y nanométricas a partir de un sistema mecatrónico automatizado confiable que integre aspectos mecánicos, electrónicos y de desarrollo de software. Para cumplir esto, se realizan indagaciones acertadas acerca de la técnica elegida, su funcionamiento, ventajas, características más importantes e historia y se realiza una indagación estratégica teniendo en cuenta los conocimientos adquiridos en la carrera para construir una máquina apropiada generadora de microfibras a partir de un material biológico.

Una vez se tiene planteados dichos aspectos en una metodología establecida, se realiza la implementación de todo el proyecto y se documenta toda la información relevante saliente del proceso de fabricación de la máquina. Se establecieron pruebas en la máquina para validar su funcionamiento mecánico, electrónico y de software no sin antes simular cada etapa y asegurar el funcionamiento de la máquina cuando esté generando las fibras.

Se crean fibras haciendo uso del prototipo una vez ya este implementado, las cuales son estudiadas para validar la creación de fibras a partir del sistema mecatrónico construido y concluir sobre el estudio realizado.

La información más relevante de las pruebas realizadas y de la investigación llevada a cabo, así como el funcionamiento de la máquina y las recomendaciones que se deben tener en cuenta para el uso de ésta, fue documentado y plantado en este informe.

*Abstract:*

*The creation of micrometric and nanometer material from biological material has attracted attention in the scientific and research community, due to the great variety of applications that it would bring with it in new industries or already established industries, which can open the way to new technologies in different research areas, however, the acquisition of fibers for studies and applications is expensive, since these fibers are manufactured in special machines, built abroad and with great monetary value, in addition, the creation of these fibers carries with it a complex system that raises its price, thus preventing new research or technologies in the country using material on micrometric and nanometric scales.*

*For this reason, the objective of making a prototype for the transformation of biopolymers under the electrospinning technique capable of manufacturing micrometric and nanometric fibers from a reliable automated mechatronic system that integrates mechanical, electronic and software development aspects was raised in this project. To accomplish this, accurate inquiries are made about the chosen technique, its operation, cons, most important characteristics and history, and a strategic inquiry is made considering the knowledge acquired in the race to build an appropriate microfiber-generating machine from a biological material.*

*Once these aspects have been raised in an established methodology, the implementation of the entire project is carried out and all the relevant information from the manufacturing process of the machine is documented. Tests were established on the machine to validate its mechanical, electronic and software operation, but not before simulating each stage and ensuring the operation of the machine when it is generating the fibers.*

*Fibers are created using the prototype once it is implemented, which are studied to validate the creation of fibers from the built mechatronic system and conclude on the study carried out.*

*The most relevant information from the tests carried out and the research carried out, as well as the operation of the machine and the recommendations that must be considered for the use of it, was documented and planted in this report.*

## 2. INTRODUCCIÓN

Los investigadores de este proyecto son estudiantes de Ingeniería Mecatrónica de la Fundación Universitaria Agraria de Colombia. Mediante este informe se establecen pautas y se realiza la investigación necesaria para fabricar un prototipo de máquina de *electrospinning* con el fin de encontrar una manera más asequible para la fabricación de nano fibras de biopolímeros de materia orgánica. Se busca incentivar y aumentar los procesos investigativos en diferentes áreas haciendo uso de material biopolimérico en escalas micro y nanométricas. El proyecto contó con la colaboración de personal de la institución que posee los conocimientos adecuados acerca de la fabricación de nano fibras.

El prototipo de máquina de *electrospinning* que se llevó a cabo está diseñado para realizar nano fibras de materia vegetal a base de almidón. Para la construcción adecuadas de las fibras se tuvieron en cuenta las variables más relevantes dentro de los procesos del *electrospinning*: temperatura de ambiente, humedad del ambiente, carga eléctrica que se administra al polímero y velocidad de inyección del polímero (caudal). Igualmente se hizo la correcta selección de los actuadores encargados de ayudar a controlar las variables anteriormente nombradas, se incluyen sensores finales de carrera como sistemas de protección al tener en cuenta las altas tenciones que se manejan. Este grupo de elementos hacen parte del sistema mecatrónico implementado en la máquina.

De igual manera para garantizar un buen funcionamiento y seguridad del usuario se realizaron pruebas en los laboratorios que se encuentran en la universidad las cuales consistían en administrar diferentes polímeros con variación de velocidad para observar el comportamiento del prototipo de máquina de *electrospinning* y la del polímero final, también se realizan observación del sistema completo para garantizar la seguridad de usuario debido a las altas tenciones que se llegan a generar.

Este proyecto se realizó utilizando la metodología de investigación mixta donde se recolectaron datos de manera cualitativa y cuantitativamente; se tenía como base principal el estudio realizado por el director del proyecto ingeniero Javier Hoyos que brindo su conocimiento y experiencia en el campo para el desarrollo de la etapa investigativa y de validación del prototipo. Para el proceso de ejecución del proyecto se definieron etapas que permitieron desarrollarlo de manera constante teniendo en

cuenta los análisis del desarrollo de cada etapa propuesta y de esta manera brindarle solución a cada uno de los objetivos planteados.

En el documento el lector podrá encontrar 12 secciones, divididas de tal manera que la información se encuentre de manera organizada. En las primeras sesiones se establece la necesidad o problema principal por el cual se construyó la máquina, además de la justificación y los objetivos de esta investigación. Posteriormente, se encuentra la investigación preliminar, la metodología que se tuvo en cuenta para la fabricación del prototipo, la ejecución del proyecto y la documentación de la construcción. Además, se plantea un análisis apropiado y se concluye sobre todo el proceso realizado. Por último, puede encontrar la bibliografía estudiada y documentación extra necesaria para entender ciertos aspectos descritos a lo largo del informe.

Por último, se exponen los resultados obtenidos en las diferentes etapas establecidas, siendo estos analizados y explicados al detalle al avanzar por cada apartado del informe. El documento cuenta con una serie de recomendaciones y análisis redactadas en las conclusiones que a su vez tiene correlación con las etapas de desarrollo del proyecto expuesto en la metodología, los objetivos propuestos, la ejecución y los resultados obtenidos.

### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En ingeniería, los tejidos obtenidos bajo la técnica de *electrospinning* se reconocen como procesos de manufactura muy utilizados para la fabricación de andamios celulares formados por redes de micro y fibras poliméricas. La facilidad de implementación y el amplio catálogo de materiales que pueden utilizarse han permitido introducir al *electrospinning* dentro de una gran cantidad de laboratorios de investigación. (Liliana et al., 2019)

Sin embargo, la técnica cuenta con desventajas, entre las que se encuentran: los altos tiempos de fabricación, la baja precisión morfológica y las dificultades técnicas asociadas a la obtención de andamios tridimensionales al no poder controlar la velocidad y difusión de las capas de hilo de biopolímero. Adicionalmente, se sabe que mediante la técnica de *electrospinning* se obtiene una baja precisión en los diámetros de las fibras generadas. (Liliana et al., 2019)(Duque Sánchez et al., 2014)

La necesidad del buen uso de los materiales de origen biológico para la disminución de desperdicios generados en la agroindustria, en la cual se encontró que la mayoría de los desechos son generados por las industrias alimenticias y que es de un 50% aproximadamente sobre el total del alimento recolectado (Duque Sánchez et al., 2014). En el país los cultivos transitorios y permanentes presentan una alta producción de biomasa residual la cual puede ser considerada como materia prima para la obtención de subproductos. Según un artículo del tiempo, llega a generar una pérdida de 750.000 dólares. Para reducir esta cifra el producto desechado se debe utilizar para el compostaje o aplicar a la técnica para la producción de nano fibras, proceso denominado *electrospinning*, patente tecnológica la cual se dio a conocer en el siglo XIX, propuesta para separar una sustancia fija de un líquido volátil permitiendo la formación de hilos super delgados formada por redes de microfibras poliméricas, constituyendo un material que puede llegar a tener una variedad de usos. (Faba et al., 2014)

La separación de una sustancia fija de un líquido volátil, para obtener un hilo super delgado y llegar a coleccionar las fibras de una manera constante generando mayor calidad, aportando a las fibras desarrolladas diversas características como amplia superficie por unidad de área, porosidad y buenas propiedades mecánicas, siendo atractiva a nivel biotecnológico parece una tarea difícil de realizar, pero que abriría

puertas a la investigación tecnológica en las fibras nanométricas para distintas aplicaciones. (Lee Ivester & Neefus, n.d.)

En el país no se fabrican o construyen este tipo de máquinas, normalmente se encuentran en el extranjero, por medio de tiendas online donde se ofrece diversidad de máquinas de transformación de biopolímeros, y de un alto costo. El valor de venta ronda desde US\$6.000 hasta US\$43.000 aproximadamente (Alibaba, n.d.), sin envío y ningún pago de aduanas, así que ese valor incrementara generosamente para poder ingresar al país y llegar a su punto de destino. Así, adquirir una máquina generadora de nano fibra con las calidades requeridas para su buen uso, estudios, investigaciones y/o aplicaciones, es muy complicado.

En los últimos años, se ha producido un aumento significativo en la investigación sobre la técnica de electrospinning y las aplicaciones directas de las nano-fibras. Esto ha generado un gran interés científico en la técnica de electrospinning debido a sus múltiples aplicaciones en diferentes ámbitos de investigación. Sin embargo, es importante destacar una desventaja importante de esta técnica: el uso de solventes orgánicos nocivos para la salud y el medio ambiente si no son manejados adecuadamente o por personal capacitado. (Duque Sánchez et al., 2014)

Existen otras maneras o técnicas por la cuales se puede realizar la extracción de fibras nanométricas, algunas presentan mejor producto, más fino y con mejor morfología, sin embargo, estas tienden a ser mucho más costos y más complicadas para controlar y manipular, además de que utilizan solventes orgánicos nocivos, alto gasto de recursos y generan desechos perjudiciales para la salud; Estas técnicas serán explicados en siguientes apartados. (Duque Sánchez et al., 2014)

Desde la Facultad de Ingeniería de la Fundación Universitaria Agraria de Colombia, sede Bogotá D.C., se propone la creación de un prototipo de máquina para la transformación de biopolímeros utilizando la técnica de electrospinning. El objetivo de este proyecto es ofrecer un buen producto a un precio más accesible, centrándose en el estudio y la fabricación desde la ingeniería mecatrónica. De esta forma, se busca contribuir al avance tecnológico en diferentes áreas de investigación, como la medicina, la ingeniería y la producción, mediante la optimización de los procesos de transformación y aplicación de biopolímeros nanométricos. (Quintana Quintana, 2016)

Para terminar, el grupo de investigación se plantea la siguiente pregunta: ¿Es posible desarrollar un prototipo mecatrónico funcional y rentable para la transformación de biopolímeros bajo la técnica de *electrospinning* que sea útil para los avances científicos en las diferentes áreas de investigación, y además, el producto cuente con buenas propiedades físicas?

#### 4. JUSTIFICACIÓN

Las tecnologías innovadoras utilizadas para construir materiales de origen biológico son muy importantes para disminuir la dependencia al combustible fósil en estos tiempos de contaminación. Entre estas nuevas implementaciones de tecnología se encuentra que los biopolímeros que se derivan de materia natural como: conchas de crustáceos, hongos o madera son recursos renovables, pero también exhiben actividad antibacteriana, biodegradabilidad y biocompatibilidad intrínsecamente que los hacen excelentes materiales para la fabricación de micro y nano fibras. (Andres et al., 2019)

Estos materiales se usan como materia prima para obtención de tejidos nanométricos por medio de la técnica del *electrospinning*, proceso industrial en el que se utiliza una carga eléctrica alta para crear fibras de filamento de polímero cuando dicho polímero líquido cargado eléctricamente cambia su estado a un filamento sólido, usando una fuente de alimentación de alta tensión, una pipeta de vidrio, una jeringa, y una bomba de dosificación para entregar el líquido cargado eléctricamente con determinado caudal significativamente pequeño. (Pataquiva Mateus & Coba Daza, 2018)

Durante el desarrollo del prototipo de máquina de *electrospinning* para generar nano fibras y la investigación llevada a cabo se tuvo en cuenta las 9,76 millones de toneladas al año de desperdicios alimenticios en el país. El 40,5 por ciento de estas pérdidas se ocasionan en la etapa de producción, el 19,8 por ciento en las etapas de postcosecha y almacenamiento, el 3,5 en la etapa de procesamiento industrial, el 20,6 por ciento se pierde en distribución y el 15,6 restante es desechado en los hogares. (DNP, 2016) Los desperdicios generados en las industrias y durante las etapas de producción, postcosecha y almacenamiento pueden ser utilizados como materia prima para la fabricaciones de las nano fibras, de esta manera se estaría beneficiando una buena parte de personas involucradas dentro de los procesos de procesamiento alimenticio ya que fortalecería la economía de los productores y comercializadores de alimentos del país. Además de esto, al utilizar estos desperdicios contribuimos que necesita el planeta.

La utilidad que generaría usar desperdicios creados por una o varias actividades industriales dentro de otra u otras actividades pueden ser del mismo proceso o uno completamente diferente aumenta la productividad de las industrias y las empresas

en general, frena la contaminación y con ello el calentamiento global y genera nuevos empleos y mejor economía. Algunas industrias se encuentran en la búsqueda de nuevas alternativas de producción mediante la técnica del *electrospinning*, un ejemplo reciente y claro es la industria papelera. La empresa Nippon Paper, segunda más grande del país de Japón, puso en marcha en octubre de 2013 en su planta de Iwakuni una línea piloto con una capacidad de producción anual de 30 toneladas empleando los residuos generados de su actividad principal y en octubre del 2015 fue pionera mundial en la comercialización de pañales para adultos en los que se emplean nano fibras de celulosa. (Nippon, 2016)

Se han llevado a cabo investigaciones aplicando la técnica del *electrospinning* para producción de microfibras dentro del mundo medicinal en diversos campos, por ejemplo: polímeros empleados como matrices extracelulares (ECM) para la regeneración cutánea, polímeros empleados como uniones entre los puntos terminales de un nervio afectado, polímeros implementados para guiar el contacto y adición de las células hospederas para mejorar la regeneración vascular, polímeros empleados como scaffolds para el sembrado celular de condrocitos y la regeneración de tejido cartilaginoso, polímeros empleados para guiar la regeneración espontánea de neuronas y axones, entre muchas otras investigaciones. (Pataquiva Mateus & Coba Daza, 2018) Así que la construcción e investigación de las microfibras traería consigo avances medicinales significativos que mejoraría la calidad de vida de las personas de todo el mundo, únicamente hace falta mejores investigaciones en campo. Con la ayuda de la máquina construida será posible abrir el campo de investigaciones medicinales utilizando las fibras generadas a partir de la técnica del *electrospinning*.

Desde la Fundación Universitaria Agraria de Colombia, los investigadores de este proyecto buscan construir esta máquina generadora de fibras nanométricas por la técnica de *electrospinning*. Se espera realizar y formalizar el proyecto en general en trascurso de uno a dos años, el tiempo suficiente para investigar lo suficiente antes de realizar la máquina, por esto, se tiene en cuenta la asesoría de algunos expertos en ámbitos del *electrospinning* en la Fundación Universitaria Agraria de Colombia.

Igualmente, es importante tener en cuenta el enfoque agrario y partidario con el medio ambiente con el que se ha crecido profesionalmente al ser parte de la Fundación Universitaria Agraria de Colombia, por eso se hace encamino al uso de biopolímeros completamente naturales dentro de estos procesos anteriormente explicados, exponiendo que: Los biopolímeros naturales son completamente

biodegradables y no afectan el cuerpo humano, animal o vegetal al contacto directo; Y sus usos son ilimitados dentro de cualquier área de investigación donde se requiera de usos nanométricos. (Duque Sánchez et al., 2014)

Para finalizar, este prototipo brindará una ayuda a los investigadores interesados en las nanofibras y sus posibles aplicaciones, siendo esto relevante para la sociedad académica e investigativa tanto de la Fundación Universitaria Agraria de Colombia como externa a esta.

## 5. OBJETIVOS

### 5.1. OBJETIVO GENERAL

Implementar un prototipo mecatrónico de transformación de biopolímeros bajo la técnica de *electrospinning* para aplicaciones nanométricas.

### 5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las características de construcción de un prototipo que transforme biopolímeros bajo la técnica de *electrospinning*.
- Desarrollar un sistema mecatrónico que integre el diseño mecánico, electrónico y de software en el proceso de transformación de biopolímeros.
- Validar el correcto funcionamiento del prototipo ante parámetros de caudal, densidad y distancia entre inyector y colector en el proceso del *electrospinning*.

## 6. MARCO REFERENCIAL

### 6.1. ESTADO DEL ARTE

A continuación, se evidencia los artículos y documentos de investigación referentes al proyecto desde los tipos y aplicaciones de polímeros, sus técnicas de transformación, resaltando la técnica de *electrospinning*, y estudios realizados por algunas instituciones académicas en el marco del proyecto.

Tabla 1 Estado del arte

Tipo de documento	Año	Resumen
Artículo científico	2007	Enfoca el uso de la técnica del <i>electrospinning</i> a la industria farmacéutica, afirmando un diámetro de 50 nanómetros de las fibras apto para encapsular proteínas y antibióticos. (Gamboa et al., 2007)
Artículo científico	2011	Se establece el equilibrio de las fuerzas eléctricas aplicadas en la solución para conseguir fibras correctamente formadas. (Manuel & Oliveira, 2011)
Tesis	2011	La tesis demuestra el uso de las nano fibras para crecimiento celular a partir de polimerización interfacial. (Roa Ardila, 2011)
Artículo científico	2011	A partir de la nanotecnología se purifica agua usando fibras nanométricas fabricadas por la técnica del <i>electrospinning</i> . (Huamaní Rivera, 2011)
Artículo científico	2014	Establece usos e investigaciones utilizando la técnica del <i>electrospinning</i> y declara que los alcances logrados se establecen solo en ámbitos académicos. (Duque Sánchez et al., 2014)
Artículo científico	2015	Determina las características óptimas y composición molecular de la exposición de las fibras en medios celulares y en colonias bacterianas. (Rodrigo Arcay, 2015)
Artículo científico	2015	Enseña las características favorables de las fibras que las hacen óptimas para usar en diferentes aplicaciones. (Caicedo et al., 2015)
Artículo científico	2016	Obtienen fibras optimizando sus propiedades, se evalúa la compatibilidad de las redes poliméricas producidas para aplicaciones en la ingeniería de tejidos. (Calzón Gutiérrez, 2016)
Artículo científico	2018	Resalta la técnica del <i>electrospinning</i> en comparación con otras técnicas de obtención de nano fibras y microfibras. (Pataquiva Mateus & Coba Daza, 2018)
Artículo científico	2020	Utilizan la fibroína de seda para obtener nano fibras y son evaluadas para usar en biomédica y en la industria farmacéutica teniendo en cuenta ciertas condiciones y propiedades. (Gaviria Arias & Caballero Mendez, 2020)
Artículo científico	2021	Establece algunas aplicaciones importantes en diferentes áreas de investigación utilizando fibras electrohiladas. (Moreira et al., 2021)

Fuente: relacionada en la tabla

Un estudio realizado sobre síntesis y biodegradación de polihidroxicanoatos plásticos de origen microbiano. (Gamboa et al., 2007) En el Congreso de la

Sociedad de Bioingeniería en la Habana Cuba se llevó a cabo una investigación de producción de micro y nano fibras a partir de la técnica del *electrospinning* enfocado a usos farmacológicos, correspondiente a 3 investigadores de la Fundación Cardiovascular de Colombia, en esta, afirman que la técnica del *electrospinning* usa las fuerzas electromagnéticas para producir biopolímeros con 50 nanómetros de diámetro aproximadamente, una fibra con la que se puede encapsular proteínas, antibióticos y otros compuestos de uso farmacéutico.

Según Luis Manuel Barroso, en su tesis de maestría: Automatización y control de *electrospinning* (Manuel & Oliveira, 2011), la nanotecnología adopta diferentes difuminaciones, pero abarca todo proceso tecnológico que adopte procesos físicos, químicos y de biología; esta tecnología unida con la técnica del *electrospinning* permite la producción de fibras muy delgadas a través de un campo eléctrico, logrando un equilibrio entre la fuerza electrónica aplicada a la solución y su respectiva superficie de tensión, llamada cono de *Taylor*, esto conlleva a la correcta formación de las fibras, si llegase a ver más energía eléctrica que la permitida, este cono de *Taylor* se alargaría, derivando a la malformación de las fibras biopoliméricas.

En la Universidad Politécnica de Catalunya se desarrolló una investigación que usa el proceso de las nano fibras para realizar crecimiento celular (Roa Ardila, 2011). Poliesteramidas (PADAS) es una derivación de 1,12-dodecanodiol, L-alanina y ácido sebáceo, que se obtiene con buen rendimiento mediante polimerización interfacial. Al ser un material biodegradable, esta puede ser usada como biomaterial que de soporte y favorezca el crecimiento celular. Por medio de las pruebas in-vitro se ha podido comprobar la biocompatibilidad mediante ensayos de microscopía óptica y electrónica. A las nano fibras que contienen Nitrato de plata y Clorhexidina se les ha evaluado su actividad antibacteriana frente a bacterias gram positivo y gram negativo.

Un estudio para realizar nano fibras para la purificación de agua en la Universidad Nacional de Ingeniería (Huamaní Rivera, 2011), las cuales están compuestas de nanopartículas de plata en una matriz polimérica y fabricadas por la técnica *electrospinning* obteniendo exitosamente un nuevo tipo de fibras poliméricas (con diámetro en el rango nanométrico), conteniendo nanopartículas de plata, con el objetivo de tener membranas nanométricas incrustadas con nanopartículas metálicas de tal forma que funciones como filtros desinfectantes de agua contra las bacterias.

Sobre síntesis y biodegradación de polihidroxicanoatos plásticos de origen microbiano (Duque Sánchez et al., 2014), investigadores, financiados por Colciencias, realizaron estudios sobre los polímeros y la técnica descrita

anteriormente, además, especifica que los usos dentro del área estudiada y demás áreas de investigación aporta importantes desarrollos en diversas aplicaciones. En su indagación, declaran que el uso de la técnica solo se ha estudiado para fines académicos en todas las áreas de estudio, es decir, el proceso de fabricación de biopolímeros solo ha sido posible estudiarlo en laboratorios especializados, con la excepción de algunas empresas de fabricación de filtros de líquidos y aire.

Para la incorporación de bacteriófagos (Rodrigo Arcay, 2015), crear fibras coaxiales con BF (bacterio-fagos) con análisis con técnicas de espectroscopía para determinar el carácter cristalino de las muestras óptimas, así como su composición molecular. Tanto la biocompatibilidad como el carácter bactericida (inhibición del crecimiento, ciclos de vida y escalas de tiempo) será definido de la exposición de las fibras en medios celulares y en colonias de bacterias respectivamente.

Obtener nano fibras poliméricas que presenten una gran área superficial y alta porosidad; estas características demuestran favorecer una variedad de aplicaciones que han sido alcanzadas dentro de las que se destaca la protección ambiental. La obtención de membranas fibrosas como medio de filtración, que las fuerzas de Vander Waals son responsables de la adherencia entre las fibras y los compuestos químicos capturados. Algunos polímeros como el quitosano muestran capacidad complejante a través de interacciones concretas de los grupos -NH<sub>2</sub> con metales pesados. (Caicedo et al., 2015)

Se desarrollo un equipo de electro hilado, llevadas a cabo en el grupo de materiales avanzados y nano biotecnología de la Universidad de Valladolid (Calzón Gutiérrez, 2016), se centra en el desarrollo experimental de un equipo de *electrospinning* o electro hilado para obtención de fibras con alineamiento y optimización de las propiedades de las muestras. Para ello, se han introducido una serie de modificaciones a los métodos que se venían aplicando, permitiendo evaluar la compatibilidad de la red de fibras poliméricas producida, así como el comportamiento y la capacidad de respuesta desde la simulación de las condiciones de la matriz extracelular. Estas superficies revestidas de nano fibras tienen una amplia gama de posibilidades para usarlas en el campo de la ingeniería de tejidos.

En el año 2018, estudiantes colombianos describieron el uso potencial de las nano fibras desarrolladas por la técnica del *electrospinning* comparadas con otras técnicas de producción de micro y nano fibras, técnicas explicadas en la justificación de este trabajo, especificando la técnica del *electrospinning* como la más económica, de fácil procesamiento, facilidad de uso y excelente producto terminado, con la única desventaja relacionada con el uso de solventes orgánicos nocivos para

la salud y el medio ambiente si no se usa con prudencia. (Pataquiva Mateus & Coba Daza, 2018)

Se puede utilizar fibroína de seda como materia prima para la obtención de nano fibras (Gaviria Arias & Caballero Mendez, 2020), se analizó la influencia en la morfología y el tamaño de fibra de materiales electrohiladas de SF (obtenida de la seda del capullo del gusano), a partir de residuos fibrosos, mediante un arreglo experimental que evalúa el campo eléctrico, el flujo de alimentación de la solución y el trayecto de la punta de la jeringa al colector que esta fijo; con el fin de plantear unas condiciones de proceso que permitan la obtención de nano fibras a escala micro y nanométrica, con propiedades geométricas y funcionales específicas, lo que permite diversificar las aplicaciones de la SF en el área biomédica para la liberación de fármacos controlada y para la regeneración de tejidos.

Sobre el avance de la biomedicina a partir de la técnica del *electrospinning* (Moreira et al., 2021), explora ampliamente en la ciencia para aplicaciones que incluyen sistemas de administración de fármacos, diagnóstico por imagen, teranóstica e ingeniería de tejidos, revelando que una amplia gama de componentes funcionales, incluidos fármacos de molécula pequeña, productos biológicos y nanopartículas se pueden incorporar en fibras electrohiladas, y es posible preparar materiales con arquitecturas compartimentadas complejas.

Los estudios mencionados muestran la importancia y las posibilidades que ofrece la técnica del electrospinning en la producción de fibras biopoliméricas de dimensiones nanométricas con diferentes aplicaciones en áreas como la farmacología, la ingeniería biomédica, la purificación de agua, entre otras. Los resultados obtenidos a través de esta técnica son alentadores, ya que se ha logrado producir fibras de alta calidad y biocompatibles, capaces de encapsular proteínas, antibióticos y otros compuestos de uso farmacéutico, con actividad antibacteriana y con propiedades para favorecer el crecimiento celular. Además, se ha demostrado que las membranas fibrosas producidas mediante electrospinning pueden utilizarse como filtros de líquidos y aire para la purificación de agua. A pesar de que la técnica aún se estudia solo con fines académicos, los resultados obtenidos son prometedores para el desarrollo de aplicaciones comerciales en el futuro.

## 6.2. MARCO HISTÓRICO

Se realizó un estudio cronológico que evidencia los eventos más relevantes e importantes en el aprovechamiento de orgánicos transformados bajo técnicas

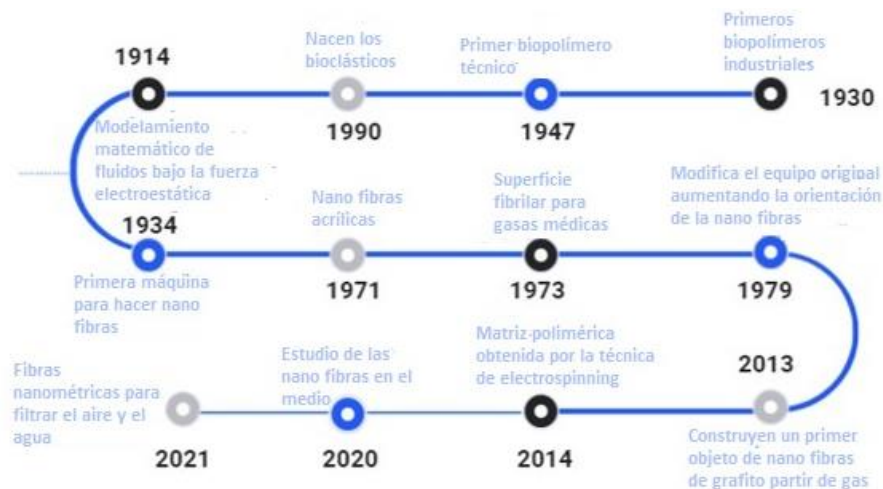
industriales que dieron sus inicios en la nanotecnología. Se puede observar dicha cronología a través de la ilustración 1.

Los primeros bioplásticos utilizados por la humanidad en la industrial eran de origen natural. Antes de dominar los monómeros procedentes del refinado del petróleo a partir de la década de 1930, los recursos utilizados eran entonces el caucho natural. (NaturePlast, n.d.)

El primer biopolímero técnico fue desarrollado en el año 1947 el cual fue nombrado poliamida 11 o *Rilsan* en Serquigny por tres químicos franceses de la empresa Orgánico. Se le dio el nombre de *Rilsan* en honor al río *Risle* que cruza por la ciudad. Su morfología era de gránulos, polvo o fibra textil. (ETIGO, 2019). Fue utilizado primeramente en forma de fibras, usadas para crear tejidos ligeros. Pero por sus costos elevados no se volvieron a fabricar, siendo remplazados por el nailon en los años 70. (Faba et al., 2014)

En los años 90 surgieron los bioplásticos (PHA), resultado de los estudios de Lemoigne en la bacteria *Bacillus megaterium*. Durante la investigación observó que, al degradarse, el material desconocido liberaba ácido 3-hidroxibutírico y que describió como un homopoliéster de 3-hidroxibutirato, o poli-3-hidroxibutirato (P3HB), clasificándolo como un material de reserva.(García et al., 2013) Se producen mediante fermentación de una materia prima vegetal con ciertas cepas de bacterias, se utilizan en moldeado por inyección para construir piezas de automóviles y muchas otras aplicaciones. (Cardona Echavarría et al., 2013)

Ilustración 1 Línea de tiempo



Fuente: De los autores, derivado de la información del apartado del marco histórico.

En 1897, Rayleigh, primer científico en observar la técnica del *electrospinning*, evaluó la inestabilidad asimétrica del flujo del jet al inducir cargas a un chorro de agua, más tarde Zeleny estudió en detalle la inestabilidad en 1914, observando el comportamiento de las gotas de solución en los extremos de un capilar con fluidos bajo fuerzas electroestáticas, al momento, era la primera documentación que se conocía de la técnica. (Duque Sánchez et al., 2014)

El primer equipo para fabricar nanofibras fue construido por Formhals en 1934, construyó un equipo para fabricar nano fibras por la técnica de *electrospinning*, para esto expuso la solución del polímero a un campo eléctrico muy elevado. La disolución empleada fue acetato de celulosa en etilenglicol. El electrodo positivo cargado fue conectado a esta disolución y la superficie colectora se aplicó el electrodo con carga negativa. Baumgarten en 1971, produjo nano-fibras acrílicas. El polímero empleado fue un copolímero de acrilonitrilo 93,6% y 6% acrilato de metilo y 0,4% sulfonato de sodio. La aguja capilar usada en este caso era de acero inoxidable. (Cano et al., 2010)

Martin y su equipo en 1973 produjeron una superficie fibrilar de nano fibras para gasas de uso médico, Talbot y Logan llegaron a producir una tela dónde las nano fibras fueron depositadas orientadas longitudinal y transversalmente empleando una tecnología especial, para obtener esta orientación se aplicaba un campo electromagnético para controlar la orientación de las nano fibras sobre la superficie colectora. En 1978, Simm describe un procedimiento para la fabricación de filtros manipulando poliestireno, la disolución preparada es esparcida por medio de un electrodo giratorio angular finalizando de este modo con el problema del bloqueo del tubo capilar por el secado del disolvente. El proceso de hilatura es llevado a cabo en una cámara cerrada donde una cinta transportadora recoge las nano fibras producidas, con este proceso, al realiza varias pruebas, se llegó a la conclusión que sobre el diámetro de las nano fibras afecta la conductividad de la solución del polímero. En 1979 Bormat utilizó jeringas y agujas capilares dispuestas en paralelo y la superficie colectora fue un cilindro giratorio donde las nano fibras fueron recolectadas orientadas en dirección longitudinal. Este acontecimiento modifica el equipo original aumentando la orientación de las nano fibras sobre la superficie colectora. (Cano et al., 2010)

En 1995, Doshi y Reneker reintrodujeron el proceso de electrohiladas, con ayuda del microscopio electrónico de barrido (SEM). Identificaron claramente un sinnúmero de aplicaciones para las nano fibras electrohiladas en campos tan diversos como estructuras, textiles, membranas e ingeniería biomédica. Cuando Doshi y Reneker reintrodujeron el proceso centenario de "hilado eléctrico", también acuñaron el término más conveniente "electrohiladas". (Echeverri Holguin & Reyes Pineda, 2013)

En el año 2013 construyen el primer objeto a base de nano fibras de grafito a partir de blogs sin tener que modificar su composición original, con proporciones de volumen de metano entre el 40% y el 80% y de dióxido de carbono entre el 60% y 20%, además, usando materiales activos en ánodos. El objeto fabricado fue una batería recargable de ion-litio. (Cameán Martínez et al., 2013)

Se desarrollo en el 2014 una matriz polimérica obtenida por la técnica de *electrospinning* para regeneración ósea, fue posible desarrollar membranas electrohiladas de PLA y PCL que fueron susceptibles de ser usadas como andamios para dar bases en el proceso de regeneración de tejido óseo. Este comportamiento fue verificado a partir de la realización de pruebas in-vitro basadas en la evaluación de la citotoxicidad y la viabilidad del crecimiento celular en los andamios estudiados.(Sánchez Cepeda et al., 2016)

En el año 2020, en un estudio publicado en la revista De Gruyter, establece que parámetros ambientes como la temperatura y humedad son determinantes para la fabricación de fibras nanométricas. En la investigación se argumenta, por medio de un estudio para determinar la influencia de la humedad relativa, que la morfología de una fibra nanométrica producida a 75°C con una humedad relativa de 5 no es de buena calidad, ya que se rompe con facilidad o sencillamente no se produce continúa.(Martínez-Pérez, 2020)

Las aplicaciones más recientes en la ingeniería biológica y médica se desarrollaron para la administración de fármacos y vendajes para heridas. En la farmacología, las fibras electrohiladas son utilizadas para administrar los fármacos ayudando a controlar posibles sobredosis y reduciendo la capacidad de toxicidad para los pacientes, por otro lado, las fibras nanométricas sirven como vendajes más efectivos.(Bhardwaj & Kundu, 2020)

Para finalizar, en el año 2021, un estudio de aplicaciones del *electrospinning* en el campo antibacterial, establece el uso de las fibras nanométricas para filtrar el aire y el agua debido a su pequeño diámetro a comparación de las fibras normalmente utilizadas para estos procesos, hasta 800 veces más pequeñas, lo que facilitaría el proceso de filtrado, además de ser más económico y consumir menos energía. Las fibras ayudarían a absorber el polvo del ambiente y las sustancias toxicas, por el parte del agua, las fibras ayudarían a evitar la oxidación y floculación de nanopartículas metálicas.(Li et al., 2021)

En conclusión, los bioplásticos de origen natural se utilizaron antes de la década de 1930, donde se comenzó a dominar los monómeros procedentes del petróleo. En

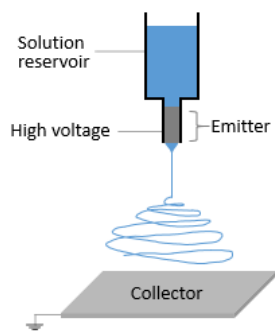
1947 se desarrolló el primer biopolímero técnico llamado poliamida 11 o Rilsan, que fue utilizado en forma de fibras, pero debido a sus costos elevados, se dejó de fabricar. En los años 90 surgieron los bioplásticos PHA, producidos mediante fermentación de materia prima vegetal con ciertas cepas de bacterias, utilizados en moldeado por inyección para construir piezas de automóviles y otras aplicaciones. En cuanto a las nanofibras, en 1934, Formhals construyó el primer equipo para fabricar nanofibras por la técnica de electrospinning. En 1973, Martin y su equipo produjeron una superficie fibrilar de nanofibras para gasas de uso médico. En 1995, Doshi y Reneker reintrodujeron el proceso de electrohiladas con ayuda del microscopio electrónico de barrido (SEM), identificando un sin número de aplicaciones para las nanofibras electrohiladas en campos tan diversos como estructuras, textiles, membranas e ingeniería biomédica.

### 6.3. MARCO TEÓRICO

#### 6.3.1. Técnica de *electrospinning*

La técnica de *electrospinning* es una tecnología antigua, fue observada por Rayleigh en 1897, al inducir cargas eléctricas en chorros de agua y evaluar su comportamiento, el laboratorio de Rayleigh se asemeja a lo observado en la ilustración 2, es un sistema para producir fibra ultrafina con diámetro de 20nm-1000um (Duque Sánchez et al., 2014).

*Ilustración 2 Técnica electrospinning*



Fuente: (*Electrospinning - Nanoscience Instruments*, n.d.)

Las nanofibras generadas por este sistema de electrohilado, como fue establecido por Rayleigh y confirmado por los estudios planteados en el estado del arte de este informe, donde se establece que las fibras generadas por una máquina de electrospinning tiene aproximadamente 50 micrómetros, tienen un área superficial

específica muy alta, diámetro pequeño y gran porosidad (nanociencia), en los cuales se puede llegar a obtener catálisis, ingeniería de tejidos, textiles, filtración, cuidado personal, biotecnología, farmacia o ingeniería medio ambiental. En la cual se da uso a la nanotecnología, el cual es el arte de producir dispositivos, máquinas y sistemas pequeños que tienen propiedades muy específicas. Esto incluye dispositivos electrónicos y circuitos extremadamente pequeños construidos a partir de átomos o moléculas individuales, computadoras de ADN, sistemas microelectromecánicos, motores, nanosensores, nano cables, nano satélites, entre otros, algo a escala atómica, molecular o macromolecular (Piñon Arjona, n.d.).

La patente del “*electrospinning*” fue registrada en 1934 por Formhals. En ella, se describía un dispositivo experimental para la producción de hilados de polímero usando un campo electroestático, en la producción de nano fibras es utilizada en múltiples aplicaciones para la fabricación de materiales a partir de polímeros, ofreciendo diversas aplicaciones prácticas para el área de biomedicina: cirugía, curación de heridas y sistemas controlados de liberación de droga (Manuel & Oliveira, 2011).

El equipo básico de *electrospinning* se compone de cuatro componentes: Un reservorio de solución o material fundido que se conecta a un tubo capilar (aguja de diámetro interno del orden de los 400  $\mu\text{m}$  a 800  $\mu\text{m}$ ), una bomba de infusión conectada a una jeringa, que permite suministrar, un flujo constante y determinado, una fuente de alto voltaje y, una placa metálica conectada a tierra para coleccionar el material del *electrospinning* (ABRAHAM et al., 2008).

Las fibras producidas mediante la técnica de *electrospinning* son evaluadas por características tales como porosidad alta, gran área superficial por unidad de masa, alta permeabilidad a gases y tamaño de poro pequeño (Duque Sánchez et al., 2014). Estas características se pueden ver afectadas por diferentes factores, como de la solución (concentración, conductividad eléctrica, viscosidad, tensión superficial y propiedades dieléctricas), como del proceso (campo eléctrico, velocidad de flujo, distancia de la jeringa a la placa coleccionadora) y de parámetros ambientales como la humedad y la temperatura (Okutan et al., 2014).

La concentración de polímero en una solución determina si puede formar fibras y tiene un efecto importante en la morfología de estas. Se requiere una concentración óptima para evitar que el jet colapse y forme gotas antes de que el solvente se evapore, teniendo como consecuencia la formación de defectos denominados perlas (Soto Martinez, 2014).

Generalmente, un aumento de la concentración de la solución aumenta el diámetro de la fibra y su uniformidad (Álvarez & Sánchez, 2006), evaluaron el efecto de un

tensoactivo no catiónico (Tween 20) y la acidez en la formación de fibras de quitosano y óxido de polietileno. Demostraron que la presencia del tensoactivo ayuda a formar fibras lisas, ya que disminuye la tensión superficial de la solución, también observaron que a medida que la acidez disminuía, se comenzaban a formar perlas, en el estudio encontraron que la mejor concentración de ácido acético fue de 90 % v/v. (Homayoni et al., 2009) demostraron que la viscosidad y concentración del disolvente en soluciones de quitosano, afectaba la creación de fibras de este material (Duque Sánchez et al., 2014).

Otros parámetros importantes, como la concentración del polímero, potencial eléctrico, densidad de la solución, la frecuencia de la perturbación y la presión de vapor del disolvente, no tienen efectos anormales sobre el radio de las fibras, mientras que los parámetros de humedad relativa, tensión superficial y difusividad de vapor tienen efectos menores sobre el radio (Pulido-Díaz et al., 2016).

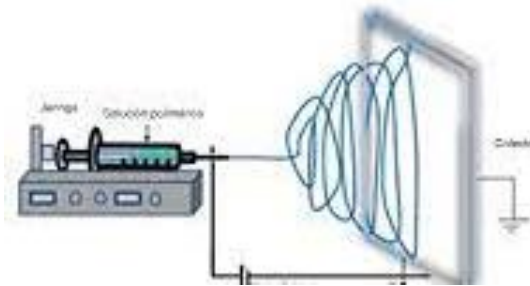
Por último, cuando la técnica de *electrospinning* funciona adecuadamente se debe generar una repulsión en el extremo de la aguja polarizada superficialmente con cargas positivas generadas por la fuente de alta tensión en sentido contrario a la contracción de la gota debido a que las fuerza generada por las cargas en la superficie son superiores a la fuerza de tensión superficial. Este proceso se le denomina cono de Taylor y prácticamente se observa un cono inverso en la punta de la aguja y después de él un haz de polímero delgado alongándose. Esto genera que el diámetro se reduzca y se evapore el solvente utilizado al fabricar el polímero. (Roa Rodríguez, 2017)

La técnica de electrohilado fue observada por Rayleigh en 1897, y es una tecnología para producir fibras ultrafinas con un diámetro de 20nm-1000um. Las nanofibras generadas por el electrohilado tienen una alta superficie específica, un pequeño diámetro y una gran porosidad, lo que las hace útiles en catálisis, ingeniería de tejidos, textiles, filtración, cuidado personal, biotecnología, farmacia e ingeniería ambiental. El electrohilado es una parte crucial de la nanotecnología, que produce dispositivos, máquinas y sistemas que tienen propiedades muy específicas a escala macromolecular. El equipo consta de un depósito, un tubo capilar, una bomba de infusión, una fuente de alto voltaje y una placa de metal conectada a tierra para recolectar el material. Los factores que afectan el proceso de electrohilado son la concentración de la solución, el campo eléctrico, la velocidad de flujo, la distancia de la aguja al colector, la humedad y la temperatura. Aumentar la concentración de la solución generalmente aumenta el diámetro y la uniformidad de las fibras.

En la ilustración 3 se puede observar el montaje de un sistema de electrohilado donde se puede controlar la distancias entre el colector e inyector, además de

controlar el caudal de salida de biopolímero haciendo uso de una bomba de inyección. En general, las máquinas existentes, siguen este montaje.

*Ilustración 3 Técnica electrospinning*



Fuente: (Universidad Autónoma de Querétaro, n.d.)

### 6.3.2. Diseño mecánico

#### 6.3.2.1. Materiales

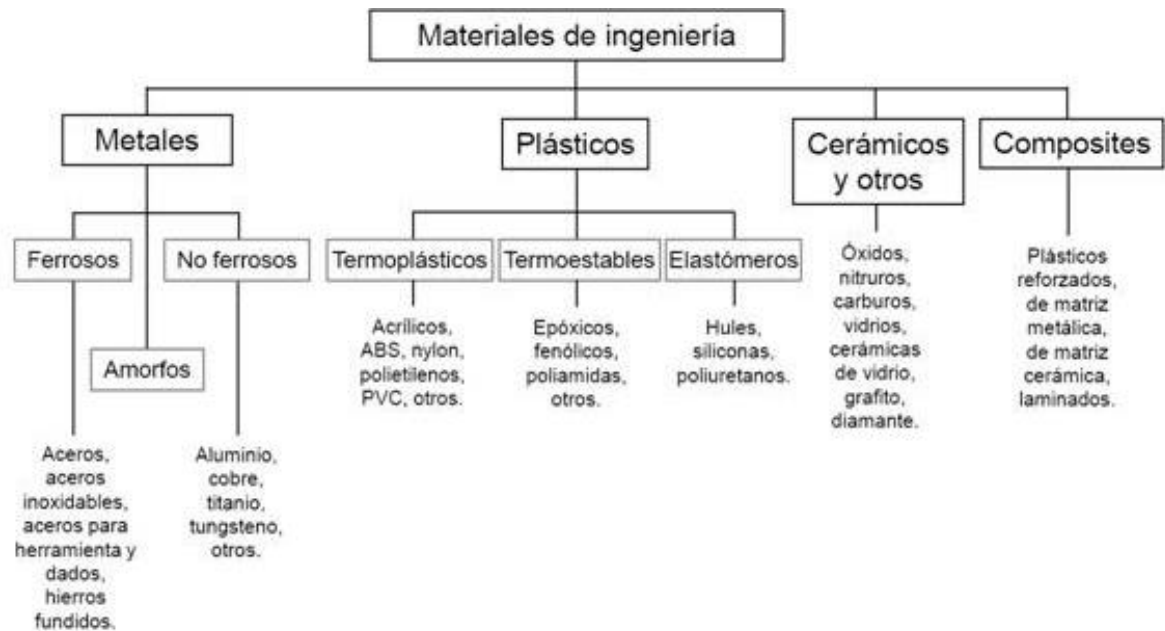
En esta investigación se implementaron materiales adecuados que cumplan con buena resistencia, no sean afectados por corrosión, permitan la visualización en todo momento del proceso llevado a cabo y su adquisición se económica y fácil, para la elección de los materiales usados se tiene en cuenta ciertos aspectos de las propiedades de cada material. Con base en la ilustración 4, en la tabla 2 “Propiedades de los materiales de la ingeniería” se destacan las propiedades fundamentales de los materiales que se tuvieron en cuenta a la hora de elegir un material dependiendo de ciertos aspectos.

*Tabla 2 Propiedades de los materiales de la ingeniería*

Aspecto evaluado	Propiedades y comportamientos
Estructura del material	Enlaces atómicos, estructura metálica, covalente e iónica, cristalino amorfo, cadenas de polímeros.
Propiedades mecánicas	Resistencia, ductilidad, elasticidad, dureza, fatiga, cedencia, tenacidad, fractura
Propiedades físicas y químicas	Densidad, punto de fusión, calor específico, conductividad térmica, expansión térmica, conductividad eléctrica, propiedades magnéticas, oxidación, corrosión
Modificación de propiedades	Tratamiento térmico, endurecimiento por precipitación, recocido, revenido, tratamiento superficial, aleación, refuerzos, composites, laminados, rellenos.

Fuente: (Frax, n.d.)

Ilustración 4 Clasificación de los materiales



Fuente: (Frax, n.d.)

De la gran brecha de materiales presentados anteriormente, se estudió la información de los materiales presentados en la Tabla 3, siendo estos los más aptos para usarlos dentro del prototipo ya que cumplen con las condiciones presentadas al principio de este apartado. En la tabla 3 “Propiedades de posibles materiales” se hacen un análisis superficial de los materiales que servirían como materia para la construcción estructural del prototipo.

Tabla 3 Propiedades de posibles materiales

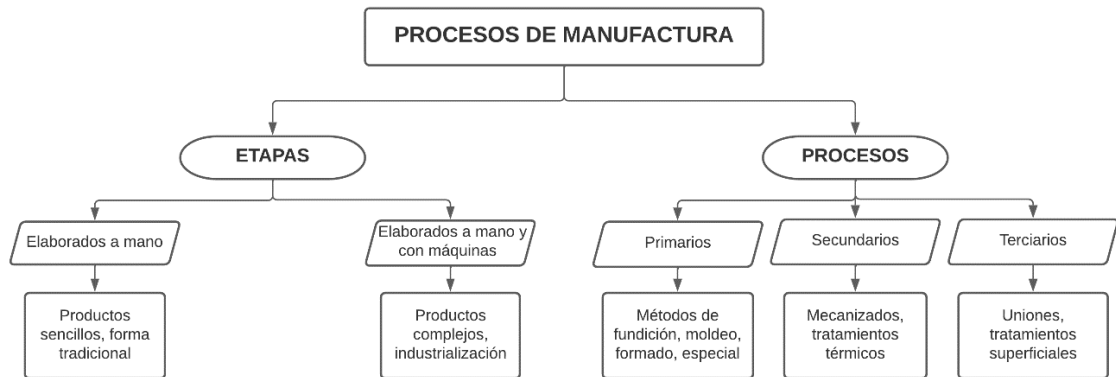
Material	Propiedades
Acrílico	Es un material plástico, tiene una apariencia brillante, clara y transparente semejante al vidrio, presenta resistencia a la intemperie, es decir que puede soportar sol, lluvia, frío y calor extremo, es 17 veces más resistente que un vidrio con espesor de 3 a 6 milímetros, es resistente a variedad de químicos, presenta excelentes propiedades eléctricas como aislante, se expande o contrae cuando se expone a cambios de temperatura, es 100% reciclable, se presenta en diferentes variedades de color, es de fácil adquisición y económico, es termoformado, siendo esta última una de sus características más relevantes. (Arkiplus, n.d.)
Vidrio	Es un material duro, sólido, amorfo, frágil, transparente e inerte, es 100% reciclable, tiene una temperatura de fusión muy alta, es de fácil adquisición y económico, es un material maleable, tiene una densidad de $2500 \text{ kg/m}^3$ , se corroe cuando se expone a cierto ácidos, como el ácido fosfórico, puede romperse a temperaturas altas, esta compuesto por componentes

	minerales como el carbonato de sodio, el dióxido de silicio, la caliza, el óxido de aluminio, es un buen aislante de la corriente. (Uriarte, 2021)
Acero	Compuesto conformado por hierro y carbono, esta aleación compone un porcentaje de carbono entre 0,03% y 1,075%. (Alacero, n.d.) Tiene excelentes propiedades mecánicas como su durabilidad, fuerza, resistencia a la tracción y a la fluencia, presenta una excelente conductividad térmica y conductividad eléctrica. Dependiendo de la aleación que presente el acero mejorará ciertas propiedades, como la dureza, resistencia, estrés, módulo de Young, entre otras propiedades físicas y químicas, por medio de tratamientos se puede mejorar las propiedades del acero, haciéndolo más resistente. Existen variedad de aleaciones en el mercado, algunas fáciles de adquirir otras no tanto, otras muy costosas y otras no tanto, dependerá del lugar, cargas, disposición, entre otras características importantes a evaluar antes de elegir el acero a utilizar. (Total Materia, n.d.)
Aluminio	Es un metal prácticamente muy ligero, presentado un peso del tercio del acero. Cambia dependiendo de las aleaciones en las que se presenta, sin embargo es un material resistente, dúctil y resistente a la corrosión por la capa de óxido de aluminio que crea al contacto con el aire, es un excelente conductor de electricidad y calor, presenta un punto de fusión bajo y una densidad baja, a comparación con otros metales, es impermeable e inodoro, 100% reciclable, Su adquisición y valor dependerá de la aleación sin embargo, es el tercer material más abundante sobre la superficie terrestre. (AEA, n.d.) Se encuentra mayormente combinado con otros minerales, como la bauxita y la criolita. (Alu-Stock, n.d.)
PLA	Polímero que se fabrica a partir de recursos naturales como las raíces de tapioca, caña de azúcar o almidón de maíz, presenta resistencia al flujo a ser un pseudoplástico no newtoniano lo que significa que cambia su viscosidad dependiendo de la tensión sometida, se considera polímero semicristalino, con una temperatura de fusión de 180°C, es resistente y flexible, aunque no tanto como el ABS pero tiene mayor resistencia a factores externos como calor y frío, aunque es 100% de recursos naturales su descomposición puede durar hasta 80 años, es de fácil adquisición y es económico. (C. Lucía, 2019)
ABS	Polímero amorfo hecho a base de petróleo más resistente y duro que el PLA, resistente a calor y a impactos, rígido, con excelente resistencia química, es más difícil de manufactura en impresiones 3D en comparación al PLA debido su punto de fusión de 260°C y viscosidad, es más costoso, pero de fácil adquisición, es fácil de moldear. Es resistente a ácidos, alcoholes y aceites, soluble en ésteres, cloruro de etileno y acetona. (C, 2019; Resinex, n.d.)

Fuente: Relacionadas en la tabla

Teniendo en cuenta los materiales que se utilizarán en la construcción de un objeto, se deben llevar a cabo procesos para darle formas específicas a los materiales con el fin que cumplan una función, para esto se utilizan los procesos de manufactura, métodos utilizados para convertir la materia prima en productos manufacturados. (Quiroa, 2020) Los procesos de manufactura se dividen en etapas y procesos, para ello, se trajo la siguiente imagen donde se enseña cada etapa y cada proceso que hacen parte de los procesos de manufactura.

Ilustración 5 Procesos de manufactura



Fuente: (Quiroa, 2020)

Las etapas representan la manera en la que se procesan los productos manufacturados, por otro lado, los procesos representan los diferentes métodos existentes para procesar la materia prima en los productos terminados, existen varios de estos métodos y son usados dependiendo de lo que se requiere realizar con el material a tratar, dentro de estos métodos se encuentra, entre muchos otros: fundición, moldeo por soplado, extrusión, torneado, fresado, taladrado, eléctricos, pulido, templado, recocido, esterificación, etc. (Quiroa, 2020)

### 6.3.2.2. CAD (Diseño Asistido por Computador)

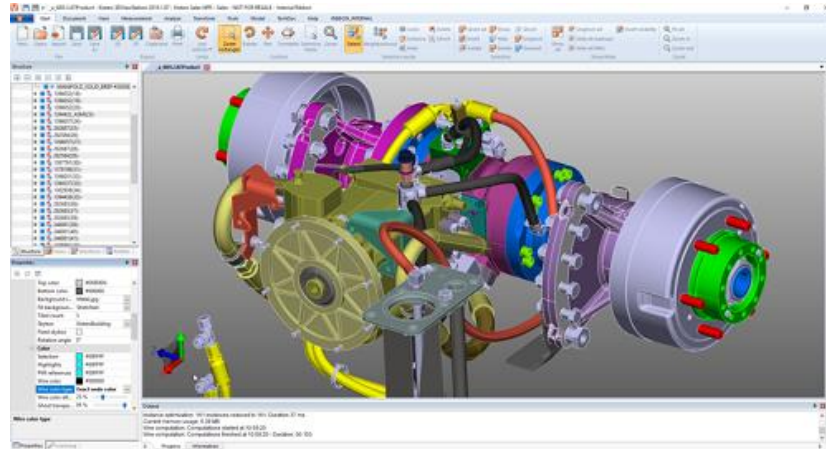
El diseño asistido por computador se utiliza como alternativa a borradores dibujados con papel y lápiz, con la ventaja que el software permite: realizar estudios de movimientos y fuerzas; reducir costos, mejorar productividad, mayor precisión, documentación sólida y sencilla, mejorar visualizaciones de los elementos, reutilizar los datos y diseños, entre otras y muchas ventajas. (SIEMENS, n.d.)

En el mercado existe variedad de software CAD, algunos más completos que otros, también se ofrecen con licencia gratuita o software libre y otros con modalidad de pago, sin embargo, todos tienen la misma función de ejecución: diseño asistido por computador. Algunos de los software utilizados por industrias e ingenieros son: TinkerCAD, SolidWorks, AutoCAD, FreeCAD y Blender. (C, 2019)

Para la interacción usuario-maquina, el prototipo presentará un interfaz visual que le indicará al usuario el estado de los procesos que se están llevando a cabo, esto

mediante una LCD, que se dispondrá, como ya se denominó anteriormente, parte externa de la máquina con el material traslucido opaco más apropiado.

### *Ilustración 6 Simulador CAD*



Fuente: (3DViewStation de Kisters, 2020)

## 6.3.3. Diseño electrónico

### 6.3.3.1. Sensórica

El prototipo cuenta con varios componentes eléctricos, entre ellos motores y sensores que permitirá arrancar la maquina únicamente cuando se encuentre correctamente cerrada, asimismo dispone de un circuito electrónico diseño e implementado en un baquela. Para el correcto funcionamiento de la máquina es necesario usar sensores finales de carrera que brindan seguridad al operario, este sensor se encargará de detener el proceso ejecutado cuando la puerta se abra.

### *Ilustración 7 Sensores*



Fuente: (HBK Company, n.d.)

Bajo la palabra de sensores se entiende tanto las unidades que emite una señal analógica, como las unidades que emiten una señal binaria; convierte una magnitud física en una magnitud eléctrica. Se encuentra variedad de sensores para diferentes magnitudes físicas: sensores de temperatura, sensores medidores de presión, indicadores de nivel, sensores de fuerza y así en gran variedad. (PCE Inst., n.d.)

*Tabla 4 Tipo de sensores*

Variable	Característica
Temperatura	Recoge información del medio donde se encuentra y esa debe ser transducida, son resistencia que aumenta o disminuyen su valor dependiendo de la temperatura.
Luz	Dispositivos que responde a la intensidad de la luz, transforma la energía lumínica en energía eléctrica a través del efecto fotoeléctrico.
Distancia	Permiten medir distancias, utiliza diferentes sistemas, por ejemplo, el infrarrojo basado en emisión y recepción de la señal.
Proximidad	Detectan presencia de objetos por medio del contacto directo o si el objeto se encuentra muy cerca al sensor.
Posición	Determinan la ubicación de un objeto por medio de sistemas electrónicos únicos, por ejemplo, con el ultrasonido.
Color	Convierten la luz en frecuencia y determina el color a partir de la radiación que refleja.
Humedad	Miden la humedad relativa en el ambiente en el que se encuentra, pueden también medir temperaturas.
Velocidad	Usando electrónica o magnetismo, detectan la velocidad de un eje o un sistema completo.
Sonido	Captan los sonidos exteriores que se propagan en el ambiente y estimulan al sensor para generar una señal electrónica.
Ópticos	Detectan la presencia de un objeto cuando interrumpe un señal de luz o infrarroja, las más comunes son las fotorresistencias.
Magnéticos	Actúan dependiendo del campo magnético presente en proximidad al sensor, esto genera corrientes que al final en la señal estudiada o analizada.

Fuente: (Ruiz, 2018)

### 6.3.3.2. Actuadores

Los actuadores toman energía de una determinada fuente (que puede ser energía creada por aire, líquido o electricidad) y la convierte en el movimiento deseado. Los dos tipos de movimiento básico deseados son lineal y rotativo, pero también es común el movimiento oscilatorio. Se utilizan típicamente en aplicaciones industriales y de manufactura. Los dispositivos como válvulas o motores son un tipo de actuador mayor mente utilizado en toda tipo de proyectos.(TMB Publications, n.d.)

### Ilustración 8 Actuadores



Fuente: (Editorial Control, 2019)

Entre los actuadores se encuentran: los mecánicos que transforman el movimiento en otro movimiento combinando, engranes, poleas, cadenas, entre otros; los neumáticos, que utiliza aire comprimido para mover diferentes sistemas; los hidráulicos, que utilizan líquidos comprimidos, como el aceite, para generar movimientos; los eléctricos, siendo más fáciles de usar, convierten la energía eléctrica en fuerza mecánica; y los térmicos que utilizan energía térmica o magnética para generar movimiento. (Revista Especificar, 2021)

Tabla 5 Tipo de actuadores

Energía	Característica	Ejemplos
Mecánicos	Conversión de un tipo de movimiento mecánico a otro tipo de movimiento mecánico.	Bloque de cadena con engranes para elevar cargas.
Neumáticos	Utiliza aire comprimido para mover pistones conmutados por válvulas.	Cilindros neumáticos, motores hidráulicos, válvulas hidráulicas.
Hidráulicos	Con líquidos a presión, en su mayoría aceites, generan el movimiento de sistemas con cargas grandes.	Motores hidráulicos, cilindros hidráulicos, válvulas hidráulicas.
Eléctricos	Por medio de campos magnéticos y por campos eléctricos genera el movimiento.	Motores paso a paso, motores de CA, motores de CC.
Térmicos	Con energía térmica o magnética producen movimiento, son de alta potencia.	Usados en sistemas de calefacción o refrigeración.

Fuente: (Revista Especificar, 2021)

#### 6.3.3.3. Microcontroladores

Los microcontroladores, componente fundamental para aplicaciones en sistemas embebidos, incluyen los sistemas que posteriormente controlara elementos de salida dependiendo de ciertos elementos de entrada, como motores y sensores respectivamente. (E-Marmolejo, 2017)

### Ilustración 9 Microcontroladores



Fuente: (Robots Didácticos, n.d.)

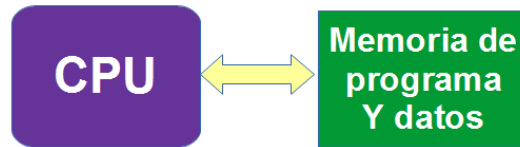
Los microcontroladores contienen por lo menos un microprocesador, encargado de realizar las operaciones lógico-aritméticas; existen diferentes tipos de microcontroladores diferenciados por su arquitectura, tamaño de bits, microprocesador, periféricos y memoria *FLASH*, *RAM* y externa, características que determinan la velocidad de procesamiento y complejidad. (E-Marmolejo, 2017)

Al seleccionar un microcontrolador se tiene en cuenta los siguientes requisitos según su aplicación, que permitirá la correcta ejecución de tareas y procedimientos en la *ALU*: Procesamiento de datos, entrada, salida, consumo, memoria, ancho de palabra y diseño de la placa; por su parte, existen diferentes fabricantes dentro de los que se encuentra: Intel, Motorola, Toshiba y Microchip. (Coronel, n.d.)

Existen dos arquitecturas para los microcontroladores diferenciadas por su funcionamiento y procesamiento de datos, además de esto, pueden tener dos tipos distintos de microprocesador. (Hernández, n.d.)

La arquitectura de *Von Neumann* circula los datos e instrucciones por el mismo bus de datos, ahorrando líneas de entrada y salida pero eso significa una menor velocidad en los procesos y operaciones realizadas, esto sucede ya que todos los datos e instrucciones se guardan en la misma memoria y es común tenerlas en los computadores personales; por otro lado, la arquitectura *Harvard* posee una memoria para guardar datos y otra para guardar las instrucciones lo que refiere a una mayor velocidad a la hora de ejecutar procesos, es común verla en los microcontroladores. (Hernández, n.d.)

*Ilustración 10 Arquitectura Von Neumann*



Fuente: (Hernández, n.d.)

*Ilustración 11 Arquitectura Harvard*



Fuente: (Hernández, n.d.)

Los dos tipos de procesador usados son: Procesador de tipo CISC y procesador de tipo RISC. CISC (ordenador con juego de instrucciones complejas) requiere el dominio de instrucciones en gran cantidad para conseguir una programación adecuada en la arquitectura del microcontrolador, por su parte, RISC (ordenador con juego de instrucciones reducido) permite programar con mayor facilidad y presenta mayor velocidad al procesar, ejecutando cada instrucción con la misma velocidad, de esta manera, se logra ejecutar el ordenador sin afectar la función predispuesta. (Hernández, n.d.)

#### 6.3.3.4. Microprocesadores

Los microprocesadores llevan a cabo las operaciones lógicas y aritméticas (cálculos) para permitir la ejecución de los programas, desde el sistema operativo hasta el software de aplicación. Es un circuito electrónico que actúa como Unidad Central de Proceso (CPU) de una computadora. Llamados por muchos como el "cerebro", constituido por millones de transistores integrados en una única pieza plana de poco espesor, encargándose de realizar todas las operaciones de cálculo y de controlar lo que pasa en la computadora recibiendo información y dando órdenes para que los demás elementos trabajen. (Vásquez Jiménez, n.d.)

En la siguiente tabla se puede observar la arquitectura, estos componente son básicos en cualquier microprocesador. (Aulavirtual, n.d.)

*Tabla 6 Arquitectura de un microprocesador*

Componente	Función
Unidad de control	Localiza los datos de los programas y los problemas con las instrucciones en ejecución y los analiza.
Memoria caché	Contiene datos cargados previamente determinantes para la respuestas frente a los datos de entrada
Unidad de captura previa	Portal de datos. Por este medio entra la información, decide como procesarlos y almacenar todo los datos nuevos.
Unidad de decodificación	Decodifica los datos del código binario para ser entendibles por los demás componentes del microprocesador.
Unidad aritmética lógica (ALU)	En este componente se realizan todas las operaciones y se ejecutan todas las instrucciones del código.
Registro de memoria RAM y ROM	RAM es la memoria accesible para añadir o eliminar datos, ROM es la memoria permanente solo de lectura.

Fuente: (Aulavirtual, n.d.)

En el mercado existen distintos fabricantes de microprocesadores y procesadores utilizados, en su mayoría, en computadores, sin embargo, los más conocidos son Intel y AMD. (Computer Hoy, n.d.) El gran problema con los microprocesadores es la temperatura, generada por los disparos de los transistores funcionando en su interior, sí se llegase a subir la temperatura en un microprocesador los datos pueden ser erróneos o puede llegar a dañarse. Por ello se debe disipar el calor mediante disipadores metálicos y sistemas de refrigeración por aire o líquido. (Aulavirtual, n.d.)

*Ilustración 12 Microprocesadores*



Fuente: (Computer Hoy, n.d.)

#### 6.3.3.5. Placas de desarrollo

Las placas de desarrollo disponen de un chip dispuesto en su placa base, compuesto por microprocesadores programable con el que se podrán ejecutar

distintas funciones según los requerimientos del programador, (Fernández, 2020) también son compuestas por memoria y entradas y salidas, lo que las hace un ordenador funcional. En el mercado existen varias marcas que fabrican placas de desarrollo para hardware y software. (Solectro, n.d.)

*Tabla 7 Placas de desarrollo*

Fabricante / Marca	Característica
Arduino	Cuenta con flexibilidad y compatibilidad con otras placas y componentes, conocido por tener un código de programación sencillo, además de esto, es económico, de código abierto y hoy en día tiene bastante presencia en la internet. Es la placa ideal para realizar proyectos electrónicos de baja escala donde no se requiere de mucha velocidad gracias a su fácil adquisición.
Raspberry Pi	Tiene más funciones que la placa anterior presentada, ha mejorado en accesorios y funcionamiento. Esta tarjeta es un miniordenador completo ya que es funcional con su propio sistema operativo y entiende varios lenguajes de programación.
Lilypad	Es diseñado con el mismo entorno de Arduino, construido para proyectos textiles electrónicos
Micro:bit BBC	Un ordenador programable muy compacto codificado en varios idiomas de programación como JavaScript o Python.
SparkFun	Brinda facilidad para hacer prototipos rápidos y seguros, ideal para proyectos donde no se utilice muchos recursos.
Grove Kit Py	Una tarjeta compacta compatible con otras plataformas como Arduino y Raspberry

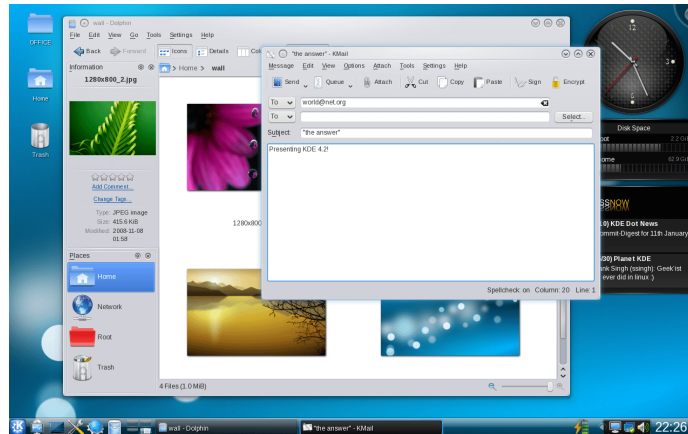
Fuente: (Solectro, n.d.)

#### 6.3.4. Diseño computacional

La interfaz gráfica de usuario es un entorno amigable donde un usuario interactúa directamente con una máquina o algún tipo de tecnología, se le conoce como GUI y permite que dicha interacción con la tecnología sea más dinámica sencilla e intuitiva. Son utilizadas con símbolos, imágenes, graficas que desarrollan la función de dar a comprender a un usuario la actividad y funcionamiento de una máquina. Los GUI deben tener ciertas caracterices que las hace resultar como buena interfaz gráfica: (Workana, n.d.)

- Debe ser sencilla y fácil de usar,
- Su funcionamiento debe ser intuitivo,
- Las acciones que ejecute la máquina deben ser comprensibles desde la interfaz,
- Sus operaciones son rápidas,
- Deben brindar ayuda,
- Y se debe navegar a través de ella fácilmente. (Workana, n.d.)

### Ilustración 13 Interfaz gráfica de usuario (GUI)



Fuente: (Picajoso, 2009)

Sin embargo, no es la única interfaz gráfica que existe, aunque si la más usada. En el mundo tecnológico existen las siguientes interfaces gráficas:

Tabla 8 Interfases gráficas

Tipo de interfaz	Característica
Interfaz perceptual de usuario (PUI)	Utilizando inteligencia artificial y por medio de una cámara el usuario interactúa con una máquina a través de gestos, movimientos y reconocimientos. (Gonza, 2009)
Interfaz orgánica de usuario (OUI)	El usuario interactúa a través de un objeto tridimensional de forma física y real, esta interacción es relacionada por un máquina. (Techopedia, 2022)
Interfaz natural de usuario (NUI)	Solo con movimientos gestuales y con un mando de control un sistema o aplicación toma ciertas variables como entradas. (Guanuchi, 2021)
Interfaz de línea de comandos (CLI)	Utilizada para dar instrucciones a una máquina a través de líneas de texto cortas. (Guanuchi, 2021)
Interfaz gráfica de usuario (GUI)	Explicada anteriormente, utiliza dispositivos electrónicos y un entorno visual sencillo. (Guanuchi, 2021)

Fuente: Relacionada en la tabla

## 6.4. MARCO CONCEPTUAL

### 6.4.1. Técnica de *electrospinning*

**Ácido acético:** denominado también como ácido metano carboxílico, es un compuesto líquido y orgánico sin color utilizado como reactivo químico que impide

la proliferación de bacterias y hongos. Se presenta en forma diluida entre el 4% y el 8% para cocinar y limpiar (Vinagre) además de otros usos como solvente. (Thermo Fisher Scientific, n.d.)

**Catálisis:** es el proceso que aumenta la velocidad de reacción química con ayuda de un catalizador. Los catalizadores intervienen para realizar un trabajo perfecto de reacción sin gastarse lo más mínimo y eligiendo adecuadamente las moléculas a reaccionar entre sí, este procesos acelera las trasformaciones en procesos químicos. (Innovadores, 2015)

**CIC:** la capacidad de intercambio catiónico hace referencia a las cargas totales negativas en una superficie de partículas que genera una capacidad de intercambiar o retener nutrientes. (Buechel, 2021)

**Electrospinning:** es un método moderno que, usando los campos electrónicos generados por un alto voltaje, genera fibras delgadas que puede llegar al orden de los nanómetros; es utilizada en diferentes áreas de investigación con el fin de implementar y complementar nuevas tecnologías, como, por ejemplo: en la medicina, salud humana y biología para la impresión de una proteína fibrosa que se asemeje a su matriz extracelular. (Gonzales Molfino et al., 2020)

**Monómero:** una molécula pequeña, con masa molecular infinitesimal que por medio de enlaces covalente se une con otros monómeros para formar enlaces químicos covalentes llamados polímeros y denominados como macromoléculas. Son moléculas orgánicas simples con estructura definida y específica. (Quimica.es, n.d.)

#### 6.4.2. Diseño mecánico

**Composite:** material formado por dos o más elementos diseñados para mejorar sus propiedades mecánicas, físicas o químicas. (Ka Coverings, n.d.)

**Elastómeros:** polímeros con estructura elástica que carecen de elementos metálicos y sobresalen por la amplia tolerancia de estiramiento. Conformado por cadenas de monómeros, se identifican dependiendo de su comportamiento a temperaturas elevadas y a su composición química. (Sana Store, 2020)

**Ésteres:** compuesto orgánico en el cual se reemplaza un átomo de hidrogeno por otro grupo orgánico una o más veces en un ácido oxigenado. Esta cadena se rompe por el enlace sencillo entre el oxígeno o el alcohol. (Química Delta, n.d.)

**Esterificación:** conversión de un ácido carboxílico en un éster. (UniBetas, n.d.)

**Ferroso:** en química se entiende como ferroso a una mezcla de compuestos del hierro que demuestra la presencia de este por sus características y propiedades. (Definiciona, n.d.)

**Módulo Young:** parámetros que establece el comportamiento de un material según su elasticidad por medio de una fuerza aplicada con el fin de determinar la eficiencia de un material en cierto proceso. Este parámetro se tiene en cuenta para compararlo con el de otros materiales y se determina a partir de su deformación y tensión aplicada en un área determinada. (Servosis, 2020)

**Pseudoplástico:** fluido que al aumentar la velocidad de deformación aplicada disminuye la viscosidad. (*Fluido No Newtoniano*, n.d.)

#### 6.4.3. Diseño electrónico

**CPU:** Unidad centro de procesamiento es denominado el cerebro de un ordenador o dispositivo. Es un componente complejo que se encarga de realizar todas las operaciones de procesamiento de datos e instrucciones, encargado que todo funcione bien dentro de un sistema embebido. (Fernández, 2021)

**Exactitud:** Se refiere a la capacidad de ser muy exacto con algo en específico, matemáticamente y en los instrumentos de medición, se dice que tiene exactitud cuando los resultados obtenidos o mediciones son reales o están muy cercanos al valor real. (Etecé, 2021)

**Precisión:** En la matemática, hace referencia a la cercanía que tienen las muestras o resultados obtenidos de una misma prueba realizada en repetidas ocasiones con el mismo instrumento, por su parte, un sensor será preciso cuando en su salida existan el mismo valor o cercano tomado en diferentes oportunidades, pero con las mismas condiciones de operación. (*Significado de Precisión*, n.d.)

**Sensor:** es un dispositivo electrónico que al detectar cambios en su entorno responde entregando una salida análoga o digital medible con el fin de representar algún fenómeno de su entorno, esta señal entregada por el sensor debe ser analizada y procesada para cumplir con un actividad en conjunto con más elementos. (DEWESoft, 2020)

**Sistema embebido:** Sistema computacional muy compacto capaz de realizar funciones específicas por medio del procesamiento de datos e instrucciones llevadas a cabo por uno o varios microprocesadores o microcontroladores. Las placas de desarrollo como Arduino o Raspberry Pi son consideradas sistemas embebidos. (Luchetti, 2021)

**Tarjetas integradas:** son dispositivos que cuenta con un microcontrolador o microprocesador reprogramable utilizadas para ejecutar una serie de instrucciones para cumplir con un propósito determinado, estas placas cuentan con entradas y salidas digitales y análogas con el fin de interactuar con un entorno por medio de sensores y actuadores. (Placas de desarrollo, 2020) Estas placas son generalmente programadas por medio de lenguajes de programación conocidos como: Python, C, C++, JavaScript, Arduino, etc. Son de fácil adquisición y existen diferentes tipos de placas en el mercado, sus diferencias radican en precio, portabilidad, velocidad de procesamiento, número de entradas y salidas, entre otros factores importantes. (Placas de desarrollo, 2020)

#### 6.4.4. Diseño computacional

**Interfaz:** es un conjunto de elementos visualizados en una pantalla que le permite a un usuario interactuar sobre una máquina y realizar acciones sobre ella. Toda interfaz tiene elementos de identificación, navegación y acción que le brindan a un usuario facilidad en el manejo de la máquina. (Guía Digital, n.d.)

**Tridimensional:** representación de nuestra realidad por medio de tres dimensiones: longitud, altura y profundidad. (Ilerna, 2019)

### 6.5. MARCO LEGAL

Se realizó la indagación de las normas que aplican y rigen en la construcción del prototipo de máquina de transformación de nano fibras. En la tabla 9 se presentan las normas o leyes más relevantes que se involucran en este proyecto.

Esta proyecto cuenta con un sistema de elevación de voltaje alterno el cual se encarga de solidificar el biopolímero, por ello, la instalación eléctrica se debe regir bajo el reglamento RETIE y la norma NTC 2050 al ser un proceso de generación, transmisión, transformación, distribución y/o utilización de la energía eléctrica dentro de la tensión nominal de 24V o mayor en corriente continua, o más de 25V en corriente alterna con una frecuencia de servicio nominal menor a 1KHz, caso que se cumple en este proyecto. (RIG, 2020)(MinEnergía, 2013)

*Tabla 9 Normas y leyes aplicables*

Norma	Año	Descripción
ISO 12100	2012	Describe como realizar los procesos de evaluación y reducción de riesgo en la fase de diseño. (Ingertec, n.d.)
ISO/TR 12885	2008	Se centra en los aspectos de seguridad ocupacional relacionados con la fabricación y manipulación uso de los nanomateriales manufacturados. (AENOR, 2010)
ISO/TS 27687	2008	Trata de facilitar la comunicación entre organizaciones e individuos en la industria (AENOR, 2010)
ISO/DIS 29701	2009	Proporciona consideraciones para la aplicación de la prueba LAL a muestras de nanomateriales destinadas a pruebas biológicas in vitro. (INACAL, n.d.)
LEY 40	2015	La utilización de los medios electrónicos han de ser lo habitual, como en intercambio electrónico de datos en entornos cerrados de comunicación. (Ley 40/2015, de 1 de Octubre, de Régimen Jurídico Del Sector Público., 2015)
NTC 2050	2013	En el podemos encontrar los parámetros más importantes que deben ser tenidos en cuenta al momento de diseñar, construir, mantener y modificar una instalación eléctrica. (RIG, 2020)
Norma Técnica Colombiana	1994	Se busca proteger la vida y salud humana, animal y vegetal, al igual que preservar el medio ambiente y prevenir prácticas que puede inducir en accidentes o incidentes. (RIG, 2020)
RETIE	1996	Documento expedido por el ministerio de Minas y energía en Colombia, de orden obligatorio que rife sobre las instalaciones técnicas eléctricas en todo el territorio colombiano. (RIG, 2020)

Fuente: Relacionada en la tabla

Por medio del reglamento RETIE y la Norma Técnica Colombiana se busca proteger la vida y salud humana, animal y vegetal, al igual que preservar el medio ambiente y prevenir prácticas que puede inducir en accidentes o incidentes. La certificación plena del RETIE aplica en algunas instalaciones como: Construcciones nuevas especiales, residenciales, industriales, comerciales, en minas, líneas por encima de 57.5kV y equipos de uso final que usa sistemas de transformación de potencia y pueden entrar 20kVA o más.(RIG, 2020)

Se puede lograr una excepción del reglamento RETIE siempre y cuando no se clasifique como instalación especial determinada en la NTC 2050 y cumpla con: Distancias mínimas de seguridad a partes energizadas, polo a tierra, protección contra sobre corrientes, conductores aislados, enceramiento que no faciliten expuesta a contacto directo.(MinEnergía, 2013)

La norma UNE-EN ISO 12100 consiste en una guía aplicable durante el proceso de fabricación de una máquina, instaurando procedimientos específicos orientados a la seguridad en el diseño de las máquinas, así como sentando las bases en cuanto a terminología, principios de evaluación y reducción del riesgo. (Ingertec, n.d.)

Norma ISO/TR 12885 se centra en la fabricación y el uso ocupacional de nanomateriales de ingeniería. En el uso de la información en ISO/TR 12885:2008 podría ayudar a las empresas, investigadores, trabajadores y otras personas a prevenir consecuencias adversas para la salud y la seguridad durante la producción, manipulación, uso y eliminación de nanomateriales fabricados. Este consejo es ampliamente aplicable a una variedad de nanomateriales y aplicaciones. (AENOR, 2010)

Norma ISO/TS 27687 corresponde con la adopción de la especificación técnica de ISO sobre terminología y definiciones para nano-objetos. Esta norma, elaborada en el comité técnico internacional ISO/TC 229 con la contribución española generada en el órgano de normalización de AENOR, AEN/GET 15 “Nanotecnologías”, lista términos y definiciones relativas a partículas en el campo de las nanotecnologías y trata de facilitar la comunicación entre organizaciones e individuos en la industria y con aquellos con quienes interactúan. (AENOR, 2010)

Norma ISO/DIS 29701 internacional describe la aplicación de una prueba que utiliza el reactivo de lisado de amebocitos de Limulus (LAL) para la evaluación de nanomateriales destinados a sistemas de pruebas biológicas in vitro basadas en células. La prueba es adecuada para su uso con muestras de nanomateriales dispersas en medios acuosos, por ejemplo, agua, suero o medio de reacción, y para dichos medios incubados con nanomateriales durante un tiempo adecuado a 37 °C. Se encuentra restringida a muestras de prueba para sistemas in-vitro, pero los métodos también se pueden adaptar a nanomateriales que se administrarán a animales por vía parenteral. (INACAL, n.d.)

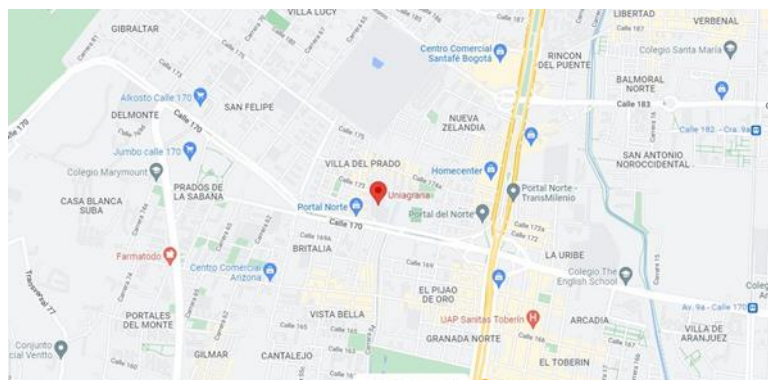
La Ley 40 recoge, con las adaptaciones necesarias, las normas hasta ahora contenidas en la Ley 11/2007, de 22 de junio, en lo relativo al funcionamiento electrónico del sector público, y algunas de las previstas en el Real Decreto

1671/2009, de 6 de noviembre, por el que se desarrolla parcialmente la anterior. Se integran así materias que demandaban una regulación unitaria, como corresponde con un entorno en el que la utilización de los medios electrónicos ha de ser lo habitual, como la firma y sedes electrónicas, el intercambio electrónico de datos en entornos cerrados de comunicación y la actuación administrativa automatizada. Se establece asimismo la obligación de que las administraciones públicas se relacionen entre sí por medios electrónicos, previsión que se desarrolla posteriormente en el título referente a la cooperación interadministrativa mediante una regulación específica de las relaciones electrónicas entre las administraciones. Para ello, también se contempla como nuevo principio de actuación la interoperabilidad de los medios electrónicos y sistemas y la prestación conjunta de servicios a los ciudadanos. (*Ley 40/2015, de 1 de Octubre, de Régimen Jurídico Del Sector Público.*, 2015)

## 6.6. MARCO GEOGRÁFICO

El área de estudio y trabajo se localiza en la Fundación Universitaria Agraria de Colombia ubicada en la capital de Colombia (Bogotá D.C.) localidad de Suba, se encuentra en la parte norte tomando una de las avenidas más transitada de la ciudad: la Avenida Calle 170 al occidente con coordenada geográfica de latitud 4,7533, longitud -74,053 y elevación 2.557msnm.

*Ilustración 14 Ubicación geográfica*



Fuente: (Google Maps)

## 7. DISEÑO METODOLÓGICO

### 7.1. TIPO Y ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN

Para realizar un prototipo de máquina de *electrospinning*, se definió el **tipo investigación aplicada bajo la metodología científica mixta**, puesto a que se realiza una indagación estratégica ya que se determinó que puede ser aplicada de manera cualitativa y cuantitativa en el proceso del proyecto. (Mendoza, 2014)

### 7.2. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Por medio de hojas de datos, documentos técnicos de los elementos a utilizar, bases de datos, entrevistas a personal especializado y familiarizado con la técnica, revistas de investigación científica, artículos de investigación de expertos en el tema, tesis y documentos de apoyo, leyes y toda la documentación relacionada con la normatividad de la técnica del *electrospinning* y las variables más relevantes e importantes, se realizó una investigación y análisis de la información, determinando de esta manera el conjunto de variables y características relevantes para la implementación y correcto funcionamiento del prototipo de máquina.

Para llegar a ese objetivo y entender toda la información recolectada con las técnicas anteriores, se realiza el estudio exhaustivo sobre las distintas técnicas de generación de microfibras y nano fibras, profundizando en el *electrospinning* y sus características más importantes.

### 7.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

Como ya se explicó en apartados anteriores, esta técnica de *electrospinning* está enfocada al desarrollo de nano fibras a base de biopolímeros, extraídos de desechos agrícolas, como la caña de azúcar o el maíz, sin embargo, existen más productos, compuesto o elementos de donde se puede sacar el biopolímero. Estos biopolímeros a base de desechos alimenticios será la muestra estudiada y analizada utilizando las variables más importantes determinadas con esta investigación.

Los biopolímeros que serán estudiados y aplicados en esta investigación son a base de maicena (almidón), alimento con el cual de forma eficaz y rápida se puede realizar biopolímeros debido a su fácil adquisición y bajo precio; La forma en que se

verá afectado el producto (fibras de biopolímero) dependerá de las variables explicadas en anteriores apartados debido a que su intervención cambia la morfología y formación de las fibras generadas: caudal, densidad y distancia entre inyector y colector.

Concluyendo, la población estudiada son los biopolímeros, extraídos de desechos agrícolas, mientras que la muestra corresponde al biopolímero extraído del almidón.

## 7.4. PROCEDIMIENTO

Este proyecto se desarrolla bajo investigaciones de las observaciones cuantitativas y cualitativas conforme al desarrollo experimental y la aplicación del conocimiento específico y científicos del ingeniero mecatrónico. Posteriormente, se presenta un diagrama de operación y aplicación del prototipo en procesos de creación de nano material.

### 7.4.1. Fase diagnóstica

La obtención de nano fibras por medio de polímeros es un método que en los últimos años se ha llevado a cabo para la producción de diferentes materiales, sin embargo, la fabricación de estas fibras no se puede realizar de forma manual garantizando una buena calidad y el equipo requerido posee unas características especiales, por lo cual tiene un costo elevado.

Este tipo de trabajo de investigación orientado a proporcionar una manera más económica de realizar este proceso, por medio de un prototipo, dando una solución al problema planteado de forma factible, dividiéndose en dos etapas, la evaluación de la situación existente con la finalidad de determinar las necesidades que se requiere en el trabajo a realizar y posteriormente con los datos obtenidos pasar a hacer un modelo físico que cumpla con las demandas de la solución abordada.

### 7.4.2. Fase diseño mecánico

El prototipo realizado es una versión de sobremesa, con un tamaño asequible para ser ubicado en espacios pequeños, su estructura es de perfil de acero inoxidable, la parte de trabajo está cubierta de acrílico dando visibilidad al usuario del trabajo que se está realizando, cuenta en la parte baja con un compartimiento para cubrir

los elementos de segundo plano del mecanismo, en la parte de trabajo se tiene ubicado una jeringa, donde será almacenado el polímero el cual con la ayuda de un motor y un sistema mecánico será expulsado por una aguja y recolectado en una placa, la cual está ubicada de frente a la aguja, la jeringa y la placa deberán poderse extraer para su debida limpieza y recolección de las nano fibras.

#### 7.4.3. Fase diseño electrónico

El circuito se maneja en dos etapas debido a la alta tensión manejada. La parte de potencia que depende de una fuente de alto voltaje encargada de polarizar la aguja y la placa recolectora con el biopolímero para la fabricación de la fibra, y la parte de control que se realizó por medio de un circuito utilizando sensores y actuadores que se encargan de medir las variables físicas y tomar decisiones; estas señales llegaran al procesador y con ayuda del operario encargado del prototipo la programación se encargara del proceso de fabricación de las nano fibras.

#### 7.4.4. Fase diseño software

Por medio de una pantalla digital que está a la vista del operario se muestran las opciones y diferentes configuraciones con las que cuenta el prototipo, se realizó una interfaz amigable con el usuario y de fácil entendimiento; vinculada con la fase de diseño electrónico, el sistema embebido correspondiente realiza la tarea descrita anteriormente por medio de una LCD y la interacción con la máquina por medio de un teclado matricial.

#### 7.4.5. Fase validación

Para cumplir con los objetivos propuestos se realiza esta fase del proyecto donde se estudia y determinar la capacidad del prototipo para producir fibras nano y micrométricas, esta validación se realiza con el uso de microscopios para determinar la longitud de las fibras generadas, evaluadas teniendo en cuenta las variables más determinantes que son estudiadas en esta investigación, algunas de ellas son: Velocidad de salida del biopolímero (caudal), distancia aguja – colector, diferencia de potencial entre los terminales, continuidad del hilo de fibra generada, humedad relativa del ambiente, entre otras. Sin embargo, las más relevantes serán: Caudal, distancia aguja colector, densidad del biopolímero y humedad, debido a que estas variables pueden ser modificadas en este prototipo. De esta manera se puede validar el funcionamiento del prototipo de máquina y dejar establecidos ciertos parámetros para la obtención de las fibras funcionales.

## 8. EJECUCIÓN, RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 8.1. CRITERIOS DE DISEÑO

En este apartado se plasman los criterios empleados para realizar el prototipo de la máquina de *electrospinning* presentando los materiales y equipos utilizados además de cada una de sus funciones. Se hace representación del diseño de las partes mecánicas de los componentes utilizando el software Solid Works, de igual manera el diseño de los circuitos eléctricos empleando el software Proteus, así como del sistema automatizado, se realiza la elección de los sensores, actuadores y de más componentes requeridos tanto para la parte de armado estructural como instalación eléctrica explicando la funcionalidad dentro de todo el sistema mecatrónico.

#### 8.1.1. DISEÑO MECÁNICO

##### 8.1.1.1. Diseño estructural

El equipo de *electrospinning* tiene un diseño mecánico que está constituido por una placa colectora donde se recogerán las fibras generadas y sistema de inyección con un actuador que por medio de un tornillo sin fin genera un movimiento que permitirá el control del caudal. Se utilizaron principalmente dos materiales concisos para la construcción de la estructura que resaltaron sobre los demás materiales posibles a utilizar por dos razones principalmente: Economía y disponibilidad. Puede revisar el anexo A “Planos finales” donde se pueden encontrar las dimensiones del prototipo, materiales utilizados, cantidades y componentes.

##### 8.1.1.1.1. Estructura

Dentro de los posibles materiales que se hubiesen podido utilizar para la estructura construida resaltaron principalmente el aluminio y el acero, ambos materiales conductores y de fácil adquisición, sin embargo, el acero contó con propiedades físicas y químicas más apropiadas y determinantes dentro del proceso de selección.

El aluminio a diferencia del acero es un material mucho más ligero y es la razón principal por la que se ha utilizado en varias industrias automovilísticas, además de su facilidad de transportar y disponibilidad en la tierra. (Alsimet, 2020) Sin embargo, no es una propiedad que tuviera peso significativo en la elección del material para

construir la estructura ya que debía contar con resistencia y durabilidad ante diferentes parámetros como temperaturas, tensiones eléctricas y presiones sujeto de los equipos y procesos llevados al interior de la estructura, características que brinda el acero además de ser más económico y maleable (fácil de soldar). (Jnablog, 2018)

Los perfiles en L de acero más comunes se fabrican por medio de la técnica de manufactura laminado en caliente, usando acero 1018, también se fabrican laminados en frío, que cuentan con mejores propiedades fisicoquímicas, pero llegan a ser más costosos, en la siguiente tabla se puede ver la comparación del acero 1018 laminado en caliente y en frío. (Equipo Ferros Planes, 2018)

*Tabla 10 Características del acero laminado en caliente vs. laminado en frío*

Característica	Laminado en caliente	Laminado en frío
Resistencia a la tracción	67.000 psi	85.000 psi
Limite elástico	45.000 psi	70.000 psi
Reducción volumétrica	58	55
Estiramiento en 2"	36	28
Dureza Brinell	137	167

Fuente: (Equipo Ferros Planes, 2018)

A pesar de que el acero laminado en frío posee mejores características, se optó por el uso del perfil en L de acero 1018 laminado en caliente ya que es más económico, igualmente, la estructura no recibirá presiones considerables más que las del peso de los componentes, su función, como ya fue explicado anteriormente, básicamente es la de servir como esqueleto de todo el sistema.

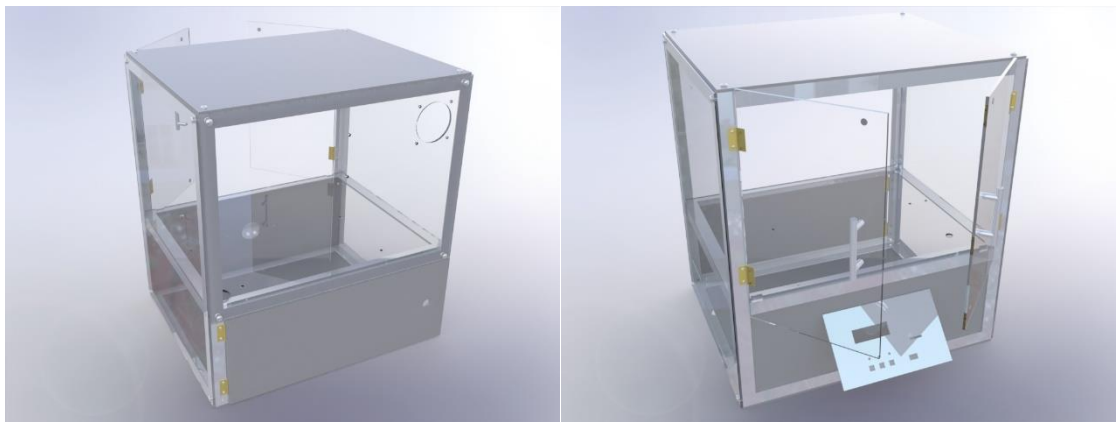
#### 8.1.1.1.2. Visualización

Para visualizar el proceso al interior de ella y con el fin de aprender de este, se dispuso como paredes de la estructura el acrílico, ya que es un material maleable, fácil de usar y cumple con la función principal: permite visualizar correctamente el interior de la máquina. Igualmente posee características como mayor transparencia que la del cristal, pesa menos de la mitad que el vidrio y su superficie es tan dura como la del aluminio (entre 10 y 20 veces más resistente al impacto que el cristal). Es el plástico más fuerte a la intemperie que existe, margen de temperaturas desde -90°C hasta +85°C. El acrílico cuenta con mejor dureza y resistencia relacionándolo con el vidrio, es resistente a la corrosión al igual que el vidrio pero su manipulación y

transporte es más sencillo, además es un material 100% reciclable.(Servei Estació, n.d.)

Por estas razón descritas anteriormente se eligió el acrílico y el acero como los mejores candidatos para la construcción del prototipo de máquina de *electrospinning* sobre el aluminio y el vidrio. En la siguiente ilustración se observa la máquina realizada en CAD:

*Ilustración 15 CAD de la estructura*



Fuente: De los autores

#### 8.1.1.2. Proceso de *electrospinning*

El prototipo consta de las siguientes partes o sistemas encargados de realizar el proceso mecánico que hace posible la generación de fibras nanométricas por medio de la técnica de *electrospinning*:

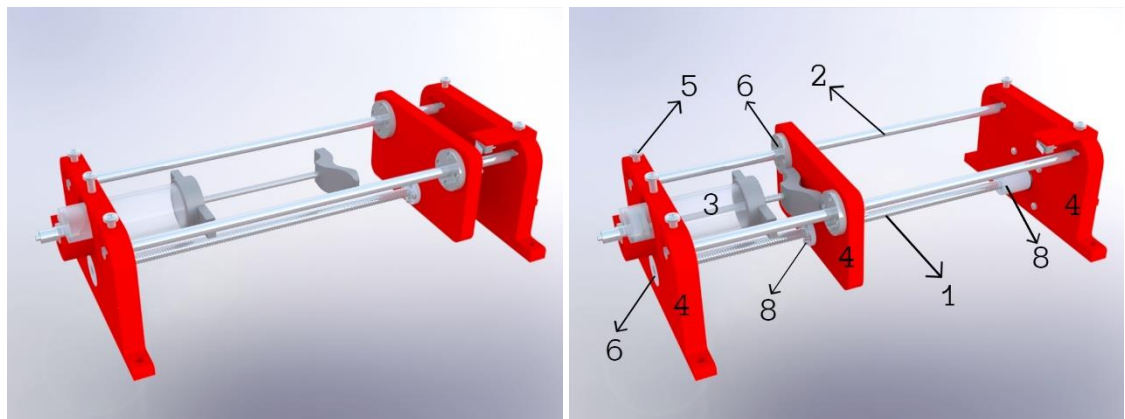
##### 8.1.1.2.1. Inyector

El inyector es el proceso encargado de impulsar el líquido (biopolímero) por medio de una jeringa, manguera y aguja, este último, lugar donde se genera el cono de Taylor y el líquido se carga positivamente antes de la generación de las fibras nanométricas. Consta de varias partes mecánicas que en conjunto transforman un movimiento radial impulsado por un motor paso en un movimiento lineal impulsado por una varilla roscada que a su vez oprimirá la jeringa con cierta velocidad y generará un flujo constante a la salida de la aguja. Se optó por un motor paso ya

que es posible realizar un desplazamiento muy lento, constante y preciso, de manera que el flujo inyectado cuente con un caudal considerablemente bajo y sea constante a lo largo del experimento.

El diseño CAD realizado del sistema de inyección del biopolímero se puede observar en la imagen 16. Y de dicha ilustración se deriva la tabla 11 donde se pueden observar las descripciones y funciones de los componentes que conforman el sistema de inyección.

*Ilustración 16 CAD Proceso inyección*



Fuente: De los autores

*Tabla 11 Componentes proceso inyección*

ítem	Nombre	Descripción	Función
1	Varilla roscada	Construida con acero inoxidable 304, 8mm de diámetro, y desplaza un objeto 8mm por cada vuelta	Genera estabilidad y precisión en el sistema de inyección debido a los 4 hilos con los que cuenta. Determinante para elegir la velocidad a la que debe ir el motor para moverse cierta distancia en un tiempo establecido.
2	Varillas lisas	Hecha con acero plata con un diámetro de 8mm es resistente.	Genera estabilidad de todas las piezas sujetas.
3	Jeringa, manguera y aguja	Quirúrgica o no, adaptable	Encargada de almacenar el biopolímero y realizar el recorrido hasta el colector.
4	Soportes en PLA	Diseñados e impresos en PLA en 3D	Mantienen fijo todo el sistema
5	Tornillos, tuercas y arandelas	Diferentes elementos	Necesario para unir las piezas entre sí y sujetarlas

ítem	Nombre	Descripción	Función
6	Rodamientos	Anillo interno y externo con juego de bolas radiales de precisión, opera a altas velocidades, hechos en acero cromado con una carga dinámica posible de 957N	Sujeta las varilla roscada y lisas permitiendo el movimiento radial y lineal respectivamente.
7	Motor paso a paso	Motor paso Nema 17, con torque de 5,6kg.cm y gira 1,8° por cada paso.	Encarado de dar la fuerza, velocidad y movimiento al sistema de inyección
8	Acoples	Hecho por medio de una aleación de aluminio, flexible	Utilizado para producir el desplazamiento en Z correctamente entre el motor y la varilla roscada.

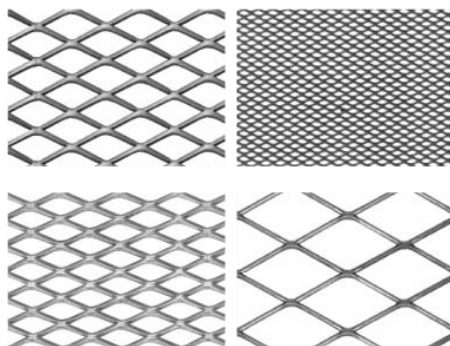
Fuente: De los autores

En la ilustración 16 se puede observar el movimiento que se generaría para que la jeringa fuera oprimida y el biopolímero pueda liberarse, el biopolímero después de la jeringa cruzaría una manguera y llegaría hasta la correspondiente aguja. En posteriores apartados de este informe se explica cómo se determinó el caudal y el proceso que se llevó a cabo para hacer dicha determinación.

#### 8.1.1.2.2. Colector

Este proceso consiste en una malla metálica conectada al polo negativo de la fuente de alto voltaje que es sumergida en una buena concentración de alcohol dentro de una caja de Petri. El colector tiene la función de recolectar las fibras nanométricas y almacenarlas, además, debe ser conductor y para obtener buenas fibras, debe tener un buen contacto con el polo negativo de la fuente de alto voltaje. El colector usado en este caso es la malla metálica como la observada en la ilustración 17, sin embargo, se puede usar cualquier material conductor con superficie plana y resistente al ser expuesto en alcohol.

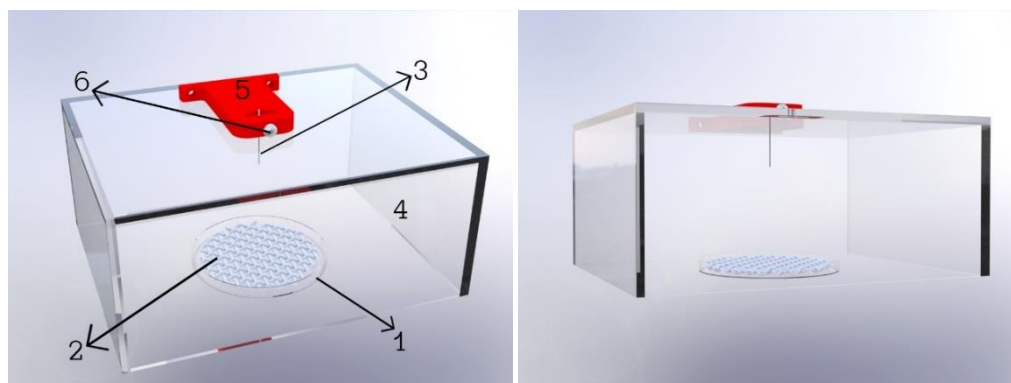
*Ilustración 17 Malla metálica utilizada*



Fuente: (Kalmat, n.d.)

El sistema colector, cuenta con un soporte diseñado en 3D e impreso en PLA de donde se sujeta la aguja para impedir su movimiento y evitar que suceda un corto eléctrico en la fuente al entrar en contacto los polos de la fuente de alto voltaje, esta sujeción se realiza ajustando un tornillo y tuerca delicadamente, ya que, si se prensa demasiado, la aguja se puede doblar, romper o impedir el paso continuo del biopolímero. En la siguiente ilustración podemos ver el diseño CAD:

*Ilustración 18 CAD Sistema colector*



Fuente: De los autores

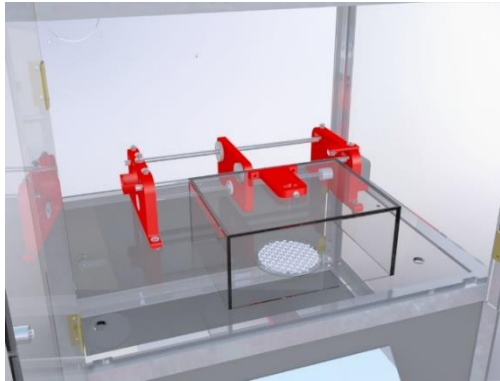
*Tabla 12 Componentes proceso colector*

ítem	Nombre	Descripción	Función
1	Caja Petri	Base circular de baja altura elaborada en vidrio para uso de laboratorio	Permite la recolección de las fibras conteniendo el alcohol necesario para la formación de éstas.
2	Malla metálica	Hecha con un material conductor, no necesariamente debe ser una malla	Polarizada con el polo negativo de la fuente de alto voltaje permitiendo la formación del cono de Tylor.
3	Aguja	Quirúrgica, debe ser en un material conductor	Polarizada con el polo positivo de la fuente de alto voltaje permitiendo la formación del cono de Tylor.
4	Caja acrílica	Hecha por los autores, en acrílico	Necesaria para fijar la aguja en la parte superior y proteger el sistema contra alguna impureza que pueda caer desde el exterior, además de proteger, no en gran escala, de la posible estática que se genere en el ambiente y pueda irrumpir en la conducción de la fibra generada y en la formación del cono de Taylor.
5	Soporte PLA	Diseñados e impresos en PLA en 3D	Necesario para fijar la aguja en la parte superior.
6	Tornillo y tuerca	Tornillo pequeño con tuerca de fácil acceso	Ajusta la aguja y permite modificar la distancia en el colector.

Fuente: (De los autores)

En la siguiente imagen se puede observar la estructura con la implementación de los dos sistemas mostrados anteriormente.

*Ilustración 19 CAD proceso electrospinning*



Fuente: De los autores

Los planos los de todos estos materiales utilizados para la estructura y el proceso se puede ver en el Anexo A. Describen con detalle los tamaños de las piezas y materiales usados para su construcción.

#### 8.1.1.2.3. Fuente alta tensión

Para que las fibras se generen correctamente se debe generar el cono de Taylor como ya se ha explicado anteriormente, para ello, se utiliza una fuente de alta tensión encargada de polarizar la aguja positivamente y generar la formación de las fibras en la malla metálica. Conseguir o construir una fuente con tan alto voltaje es muy costoso y tedioso, más si es una fuente con voltaje variable. Se optó por conseguir una fuente de 25kVDC fijos capaz de mantener el voltaje y generar la polarización correcta con alimentación a 12VDC.

*Ilustración 20 Fuente de alta tensión*

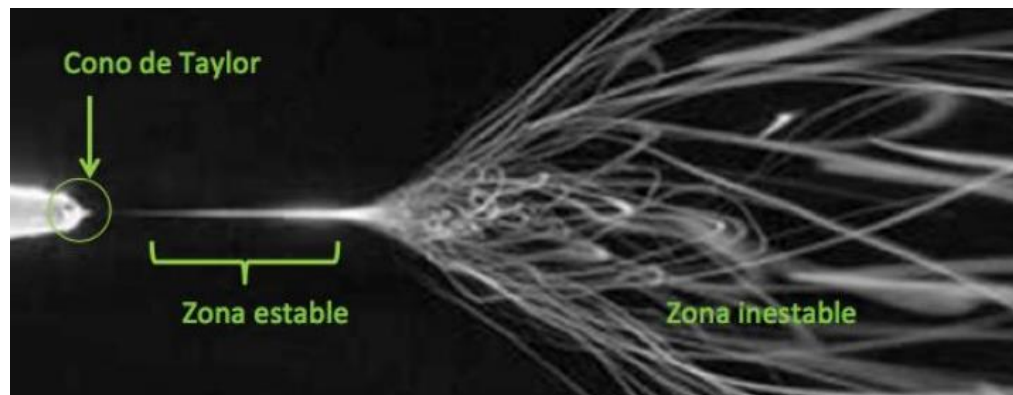


Fuente: (United Nuclear, n.d.)

Para generar correctamente las fibras nanométricas se debe generar primeramente un fenómeno electrostático en la punta de la aguja llamado cono de Taylor. El funcionamiento del electrohilado consiste en vencer la tensión superficial de la solución biopolimérica, que sucede una vez el campo eléctrico consigue llegar a un valor crítico debido a la alta tensión eléctrica, generando una gota alargada saliente de la punta de la aguja, conocido como cono de Taylor por la forma que toma. (Meixueiro, 2016)

Seguido del cono de Taylor se empiezan a generar un hilo delgado conocido como jet, que consta de dos etapas: estable e inestable, que a la vista son poco perceptibles, sin embargo, se puede estudiar. En la etapa estable se puede observar el hilo delgado generado después del cono de Taylor, posteriormente, en la etapa inestable, la solución se empieza a evaporar reduciendo el diámetro de los hilos que posteriormente se depositarán en el colector de forma desordenada y se conoce como zona de latigazo. (Meixueiro, 2016)

*Ilustración 21 Cono de Taylor y Jet*



Fuente: (Meixueiro, 2016)

Teniendo en cuenta las características de cono de Taylor y el jet, se evaluará en primera instancia la correcta formación de las fibras nanométricas antes de observarlas en el microscopio.

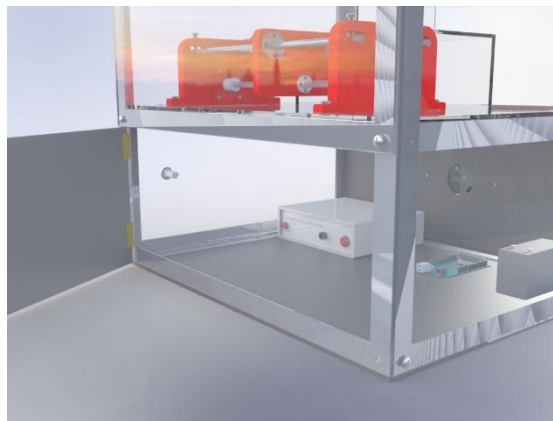
### 8.1.2. DISEÑO ELECTRÓNICO

El diseño electrónico que se realizó en la máquina determino todos los componentes electrónicos que se utilizaron para que el sistema cumpliera con la función de generar fibras nanométricas únicamente con los datos entregados por el operador

de la máquina por medio de una interfaz usuario-máquina. Se realizó un análisis de todos los sensores, actuadores y controladores explicados en el marco teórico y se eligieron los más apropiados para la tarea a realizar.

El sistema electrónico está ubicado en diferentes partes del prototipo, sin embargo, la estructura cuenta con un compartimiento separado del proceso de *electrospinning* donde se ubica la mayor parte de componente electrónicos. Ubicados de esta manera con el fin de proteger los equipos del campo eléctrico generado por la fuente de alta tensión (la cual eleva el voltaje DC de 12C a 25KVDC), evitar lecturas erróneas y con ellos un mal funcionamiento del prototipo realizado.

*Ilustración 22 CAD ubicación parte electrónica*

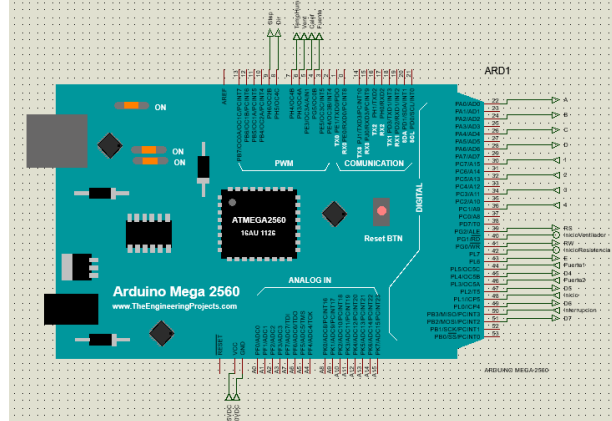


Fuente: De los autores

#### 8.1.2.1. Selección del microcontrolador

Debido a que los procesos no necesitaban de gran almacenamiento de memoria ni utilizaban una cantidad grande de recursos de hardware y teniendo en cuenta la necesidad principal de construir un prototipo funcional y económico, se optó por utilizar un Arduino como el cerebro de todo el proceso de funcionamiento, encargado de tomar lectura de todos los datos presentes en el proceso y en el ambiente y tomar acciones frente a diferentes entradas o variables. El Arduino Mega cuenta con más entradas y salidas que un Arduino Uno y sus precios no son muy diferentes, por ello se optó por utilizar esta referencia de Arduino. A demás de esto, el lenguaje de programación del software de Arduino es intuitivo, fácil de usar y de descarga libre.

Ilustración 23 Arduino en Proteus

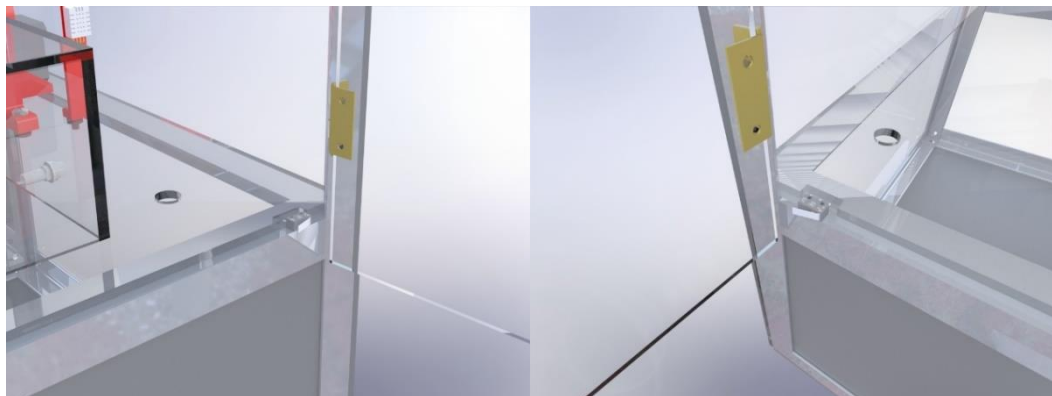


Fuente: De los autores

### 8.1.2.2. Selección elementos electrónicos

El proceso que se lleva a cabo dentro de la máquina requiere de una serie de componentes encargados de dar seguridad al proceso y al operario de la máquina, por ello, se pensó en la necesidad de detener el proceso cuando pueda existir alguna intervención mientras se está ejecutando la generación de fibras. Se utilizaron sensores finales de carrera en las puertas de la máquina encargados de dar señal al microcontrolador de detener el proceso y desconectar la fuente de alta tensión de su alimentación, de esta manera se evitan accidentes mientras se manipula la máquina. Por otro lado, se utilizó un sensor final de carrera que le indica al sistema de inyección su posición 0 y se toma como referencia para la programación realizada. Estos sensores se referencian como S1, S2 y S3 respectivamente.

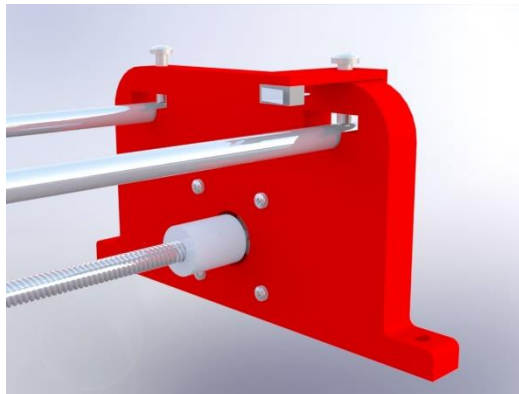
Ilustración 24 CAD ubicación sensores S1 y S2



Fuente: De los autores

La ubicación del sensor S3 correspondiente a la referencia posición 0 en el programa, se puede observar en la ilustración 25. Es sujetado por medio de una pieza diseñada e impresa en 3D.

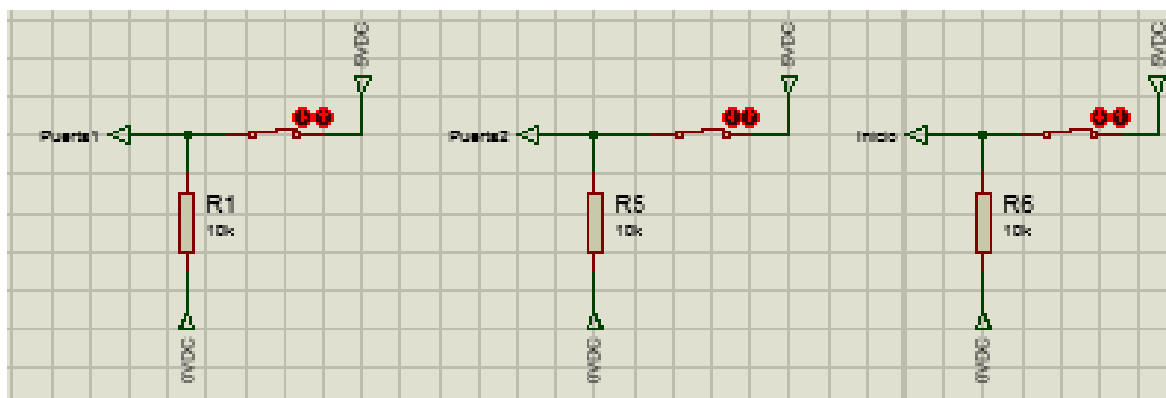
*Ilustración 25 CAD ubicación sensor S0*



Fuente: De los autores

Los sensores son conectados entre los pines común al positivo y NO (Normalmente abierto) a la entrada del Arduino. La conexión física de estos sensores utiliza resistencias comunes de 10k $\Omega$  conectadas al negativo del Arduino con el fin de generar una referencia e impedir que la señal no sea leída correctamente. Los puertos designados para los finales de carrera de las puertas son 44, 46 y un final de carrera adicional que designa el punto cero del desplazamiento que realiza el motor paso a paso, el puerto designado es 48. En la siguiente imagen su puede observar el montaje de dichos sensores simulados por un pulsador en el software Proteus.

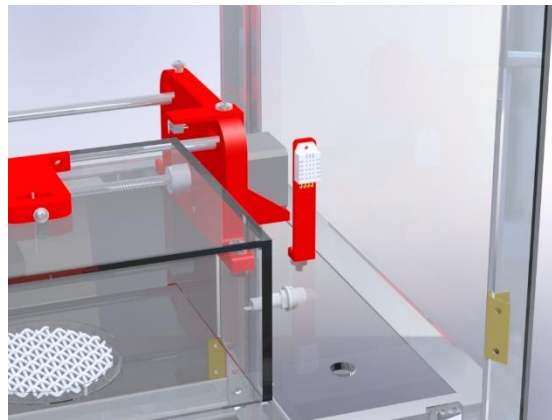
*Ilustración 26 Montaje sensores finales de carrera en Proteus*



Fuente: De los autores

Por otro lado, para determinar la temperatura interna y la humedad dentro de la máquina y tener estas variables como referencias a la hora de estudiar las fibras generadas, se optó por usar un sensor DHT22, el cual tiene una resolución de hasta 0.1% de humedad y 0.1 grados Celsius (Liu, 2013), haciéndolo ideal para aplicaciones que requieren un poco más de precisión, además de ser un sensor de fácil adquisición, económico y sencillo de usar. El puerto 7 del Arduino fue el utilizado para la recepción de información de dicho sensor. La disposición de dicho sensor en el prototipo se puede observar en la ilustración 27, igualmente, véase el Anexo A donde se observa la pieza elaborada en 3D con mayor precisión.

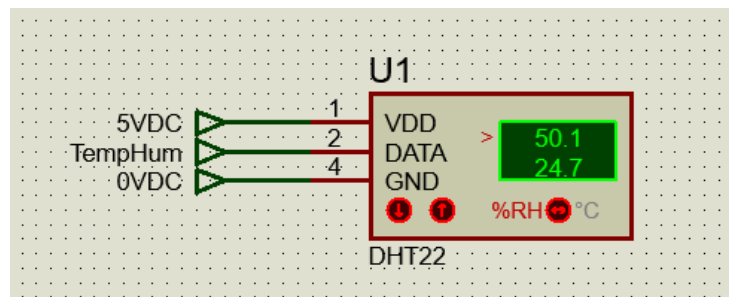
*Ilustración 27 CAD ubicación sensor DHT22*



Fuente: De los autores

En la siguiente ilustración se observa la conexión realizada en el sensor de temperatura y humedad DHT22. Para más información del sensor de temperatura y humedad DHT 22 véase el Anexo B, donde se encuentra toda la información relacionada y pertinente de dicho sensor.

*Ilustración 28 Conexión sensor DHT22 en Proteus*



Fuente: De los autores

Para el control de las variables de humedad y temperatura se optó por utilizar dos actuadores: un ventilador pequeño encargado de circular aire al interior de la estructura y una resistencia calefactora encargada de generar calor internamente, subiendo la temperatura y bajando la humedad interna. Estos actuadores se activan cuando el operario del prototipo lo requiera antes de iniciar con el proceso de generación de fibras por medio de dos pulsadores instalados a simple vista. El pulsador apaga o prende el actuador cuando es requerido y mantiene su estado hasta que el operario haga el respectivo cambio de estado o el proceso inicie, igualmente, durante el proceso de generación de fibras es posible activar o desactivar los actuadores con el fin de que el operario mantenga condiciones internas deseadas. Estos actuadores se ubicaron estratégicamente en el centro de la máquina, de tal manera que el intercambio de calor sea apropiado, como se puede observar en la siguiente ilustración.

*Ilustración 29 CAD ubicación actuadores*

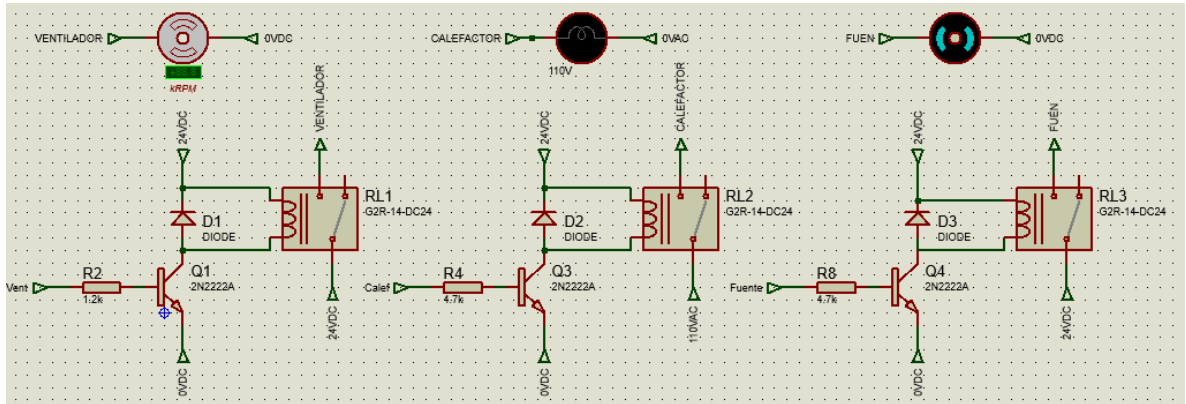


Fuente: De los autores

El circuito consta de un sistema de activación para los actuadores y la fuente de alto voltaje el cual cuenta con tres transistores y tres relés con sus respectivos pilotos. La señal de activación la genera el Arduino mega y se genera por medio de una salida digital, pasando primero por unas resistencias para evitar tensiones altas en la entrada del transistor, protegiendo el microcontrolador y los elementos utilizados. En la siguiente ilustración se puede observar la conexión realizada de los instrumentos nombrados anteriormente.

Las conexiones físicas en el Arduino que se utilizaron para estos elementos fueron los puertos 4, 5 y 6, que los encargados de excitar eléctricamente el transistor para el encendido o apagado de la fuente, la resistencia y el ventilador respectivamente.

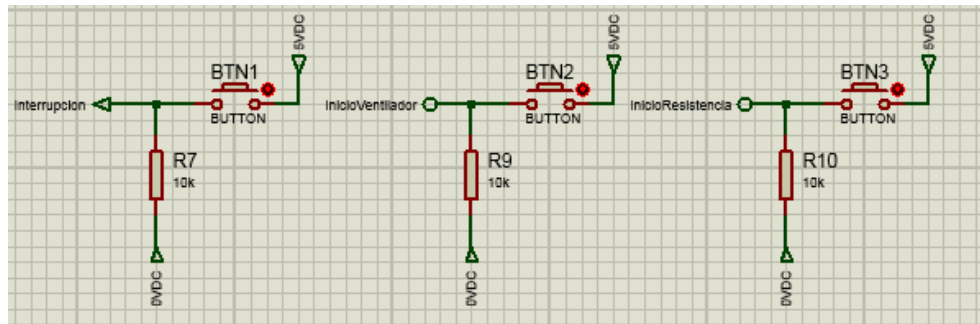
Ilustración 30 Conexiones del sistema de activación en Proteus



Fuente: De los autores

La señal de activación para el ventilador y la resistencia calefactora es emitida por el controlador en el momento que recibe una señal digital de entrada por los puertos 40 y 42 respectivamente, por su parte, la fuente de alto voltaje es activada o desactivada por medio de la programación realizada y está función solo es controlada por el Arduino. El principio de conexión de estos pulsadores fue el mismo utilizado para la conexión de los finales de carrera.

Ilustración 31 Conexión pulsadores en Proteus

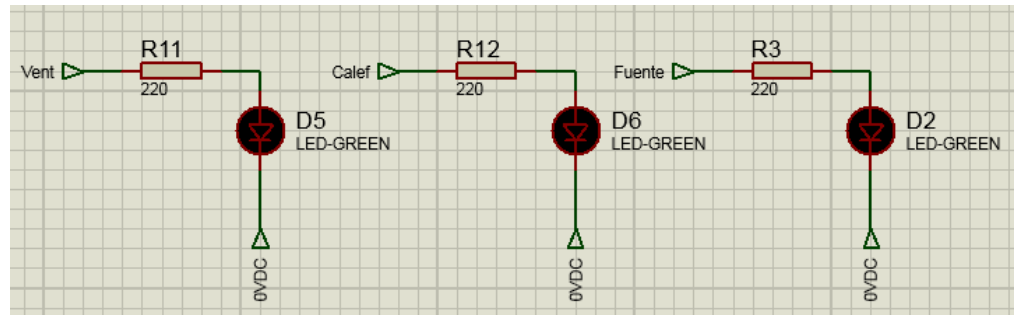


Fuente: De los autores

Cada uno de los tres pulsador instalados cumple una función en específico, el pulsador numero 1 (BTN1) con el puerto designado 50 será el encargado de dar a inicio al proceso de fabricación de las nano fibras y para la navegación en la LCD (explicada posteriormente), el pulsador numero dos (BTN2) con el puerto designado 40 dará la activación y desactivación al ventilador, pulsador numero 3 (BTN3) con el puerto designado 42 dará la activación y desactivación de la resistencia calefactora, como ya se explicó anteriormente.

Se cuentan con tres leds verdes encargados de dar una visualización de la activación de la fuente, ventilador y resistencia designados en los puertos 45, 47 y 49 respectivamente. Se conectaron a estos puertos no sin antes colocar una pequeña resistencia de  $220\Omega$  con el fin de limitar la corriente como se puede observar en la siguiente imagen.

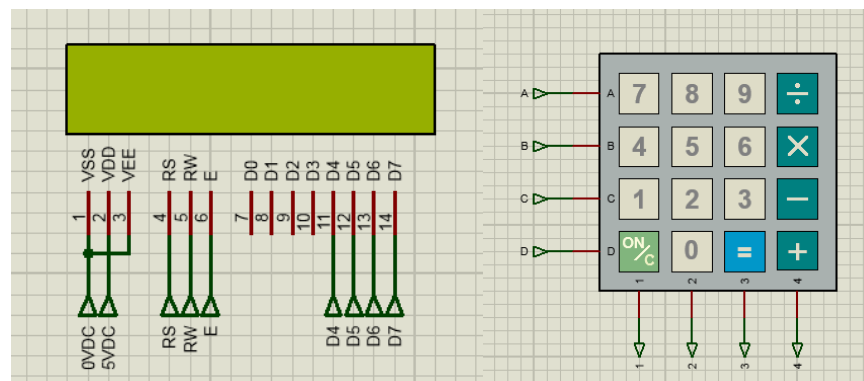
*Ilustración 32 Conexión leds indicadores en Proteus*



Fuente: De los autores

Se utilizó un LCD para dar información y visualización de las variables que se encuentran en el sistema, con el fin de generar una interacción con el usuario y facilitar el funcionamiento del prototipo. Por cada etapa de preparación antes de iniciar el proceso de generación de fibras, la LCD pide el ingreso de variables relacionadas con el funcionamiento del prototipo. Para esta interacción se utilizó un teclado matricial (KBD) cuatro por cuatro. Los puertos utilizados por la LCD en el Arduino son el 39, 41, 43, 45, 47, 49 y 51, para el KBD son los puertos 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34 y 36. En la siguiente imagen se puede observar la conexión de los elementos descritos anteriormente.

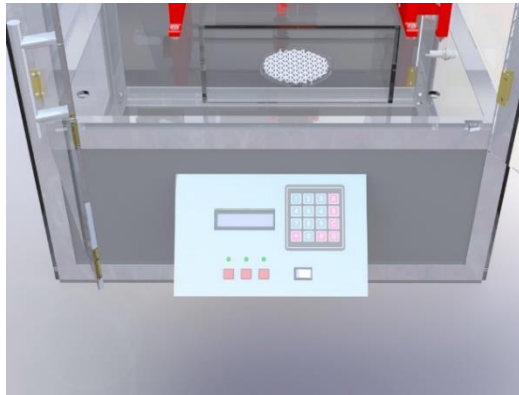
*Ilustración 33 Conexiones LCD y KBD en Proteus*



Fuente: De los autores

Todos estos componentes de interacción, visualización y señalización fueron dispuestos en la parte frontal de la máquina estratégicamente para que el operario puede tomar decisiones fácilmente. En la siguiente ilustración se pueden observar los componentes descritos anteriormente y la ubicación física en el prototipo.

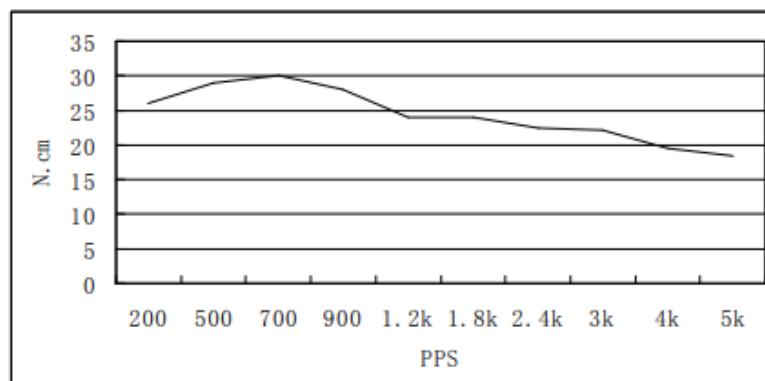
*Ilustración 34 CAD ubicación componentes de interacción usuario - máquina*



Fuente: De los autores

Como se explicó anteriormente se utilizó un motor paso Nema 17 para realizar el sistema de inyección. El motor paso utiliza un driver DRV8825 que limita la corriente y permite configurar micro pasos por medio de una señal digital para hacerlo más lento y/o con mayor torque dependiendo de la aplicación. Para este caso, debido a que el flujo en la jeringa debía ser lo menor posible, se configuro por medio de sus conexiones a 1/36 de paso, que a su vez aumenta el torque ejercido por el motor. La tendencia del torque y los pulsos por segundo o para este caso las revoluciones por segundo se muestran en la siguiente curva.

*Gráfica 1 Relación revoluciones vs torque*



Fuente: (CHANGZHOU SONGYANG, n.d.)

De esta gráfica 1 se deriva que el torque es mayor entre más cerca este a cero revoluciones por segundo, correspondiente a la hoja de datos del motor. El torque es de 5.6 kg\*cm y la aplicación requiere movimientos a muy bajas velocidades por lo que el torque rondaría un valor de torque cercano al máximo. Los datos nominales del motor paso se muestran en la siguiente tabla. Para más información del motor véase el Anexo C, que corresponde a la hoja de datos del motor.

*Tabla 13 Datos nominales motor paso a paso Nema 17*

Característica	Valor nominal
Modelo	SL42STH48-1504A
Ángulo por paso	1.8° por paso
Voltaje nominal	2.8 V
Corriente nominal	1.67 A
Resistencia de fase	1.68 Ω
Inductancia de fase	2.8 mH
Torque nominal	5.6 kg*cm
Inercia de motor	68 g*cm <sup>2</sup>
Peso	350 g

Fuente: (Eltium, n.d.)

En la tabla 13 especifica que el voltaje nominal por bobina es de apenas 2.8V, esto por la simple relación sencilla de la ley de ohm, sí se aplicase más voltaje a la bobina se correría el riesgo de dañar el motor ya que circularía mayor corriente por la bobina, dejando inservible el motor, sin embargo, 2.8V es un voltaje muy pequeño y no es lo suficiente para mover el motor a cada paso solicitado, a estas razones se le atribuye el uso del driver especificado anteriormente. Con este driver se busca limitar la corriente generada al usar una fuente de voltaje superior (12V la utilizada) y dejando circular únicamente la corriente necesaria por el periodo necesario para mover el motor un paso.

#### *Ecuación 1 Ley de Ohm*

$$V = I * R$$

Donde V corresponde a voltaje en voltios, I a intensidad en amperios y R a resistencia en ohmios.

Utilizando la ecuación 1 se puede comprobar que la corriente limite por bobina del motor paso en cuestión no puede superar los 1.68A, despejando la I como incógnita y utilizando los valores nominales de voltaje y resistencia por fase.

## Ecuación 2 Corriente máxima motor Nema 17

$$I = \frac{V}{R} = \frac{2.8V}{1.68\Omega} = 1.67A$$

Siendo así el uso del driver DRV8825 brindaría al motor paso dos características claves para su funcionamiento en el prototipo: limitación de corriente y velocidad. El driver en cuestión dispone de puente H contruidos con transistores MOSFET y cuentan con una electrónica considerable y compleja, gracias a esto, el driver requiere únicamente de dos señales digitales para realizar su respectivo control del motor, una de estas señales le especifica el sentido de giro y la otra señal le especifica el momento en el que debe andar el motor. Estas salidas son conectadas a los puertos físicos 11 y 12 del Arduino respectivamente. Las conexiones del motor paso son realizadas directamente al driver al igual que la configuración de micro pasos. Serán explicadas a continuación.

De los dos drivers más utilizados para el control de estos motores paso, el DRV8825 a diferencia del A4988 es más completo, entrega mayor intensidad de corriente y de tensión para el control, además brinda micro pasos de hasta 1/32 por paso su precio no es diferente por mucho. En la siguiente tabla se puede observar las características de ambos driver. (Luis Llamas, 2016)

Tabla 14 Características drivers

Característica	A4988	DRV8825
Intensidad máxima	2A	2.5A
Tensión máxima	35V	45V
Micro pasos posibles mínimo	1/16	1/32
Rs típico	0.05 $\Omega$ , 0.1 $\Omega$ o 0.2 $\Omega$	0.1 $\Omega$
Precio	0.75 €	1.15 €

Fuente: (Luis Llamas, 2016)

Como el driver se puede utilizar con diferentes motores paso a paso hay que regular la corriente que circulará por el motor elegido. El limitador de corriente interno en el driver genera una señal de pulsos PWM de tal forma que la intensidad que atraviesa la bobina del motor sea la permisible por el mismo, a este sistema de limitación de corriente se le denomina *Chopping*. Para regular la corriente el driver dispone de un potenciómetro que permite ajustar el valor del motor que se utilizará. En ese punto se debe medir el valor de referencia entre el potenciómetro y GND aplicando una de las siguientes formulas: (Luis Llamas, 2016)

*Ecuación 3 Voltaje referencia A4988*

$$V_{ref} = I_{max} * 8 * R_s$$

*Ecuación 4 Voltaje referencia DRV8825*

$$V_{ref} = I_{max} * 5 * R_s$$

Donde, en ambas, ecuaciones, los valores incognitos corresponden a los valores del motor a utilizar y a lo especificado por el fabricante del driver elegido. En este caso en particular, la  $I_{max}$  corresponde a lo descrito en la tabla 11 y el valor de  $R_s$  a lo especificado en la tabla 12.

Si se despeja en la ecuación 3, correspondiente al driver usado, utilizado el valor dado en la ecuación 2 se determina el voltaje de referencia necesario para que cruce suficiente corriente por las bobinas motor paso y el voltaje apropiado sin dañarlo.

*Ecuación 5 Voltaje referencia motor Nema 17*

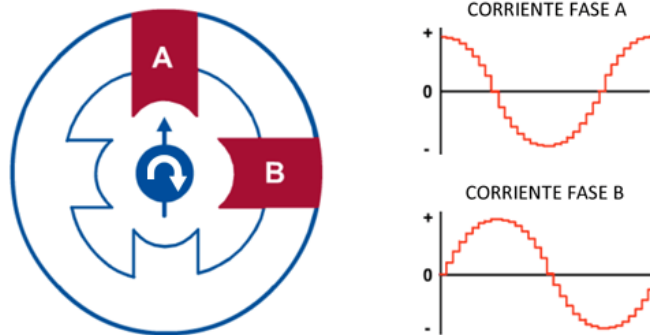
$$V_{ref} = I_{max} * 5 * R_s = 1.67A * 5 * 0.1\Omega = 0.84V$$

Entonces, entre el potenciómetro y la tierra de referencia deben existir 0.84V para que el motor funcione apropiadamente.

Debido a esa electrónica que limita la corriente se genera disipación de energía en forma de calor que podría dañar el driver, por eso es necesario poner un sistema de disipación de calor protegiendo al dispositivos de daños, para esto se utiliza un pequeño disipador encima del microcontrolador que realiza el control respectivo en el chip.

Como se explicó anteriormente, el motor paso fue configurado por micro pasos para obtener una menor velocidad y mayor torque, este sistema permite obtener paso inferiores al paso nominal del motor por medio de unas secuencias de variación de la corriente en cada bobina simulando valores analógicos con señales senoidales discretas desfasadas.

Ilustración 35 Campo magnético rotatorio en el motor con señales discretas de corriente



Fuente: (Luis Llamas, 2016)

Este sistema le permite al controlador aplicar el 100% de la corriente en cada una de las bobinas, por eso es importante realizar correctamente las operaciones de la ecuación 5 y la correcta calibración del valor de voltaje de referencia, si no es así, se podría dañar el motor y el driver utilizado.

Dependiendo de la resolución a la que se requiere que funcione el motor en términos de micro pasos se debe conectar físicamente 3 entradas del driver a 5V o 0V. A estas entradas se les denomina pines M0, M1 y M2, que están puestos a tierra mediante resistencias *Pull-Up*, al no conectarlos tendrán un estado *Low* y se fuerzan a *High* si se requiere de su activación. En la siguiente tabla se pueden ver las distintas combinaciones y resoluciones. (Luis Llamas, 2016)

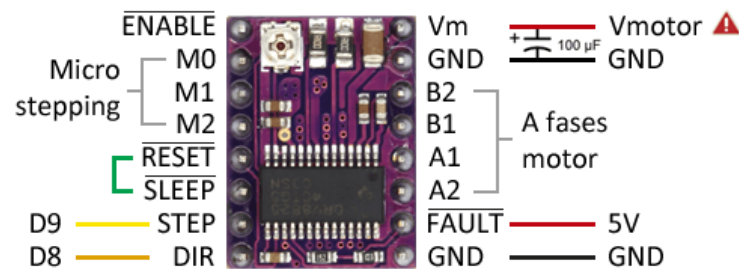
Tabla 15 Conexión micro pasos en el driver

Resolución		Pines de conexión		
A4988	DRV8825	M0	M1	M2
<i>Full step</i>	<i>Full step</i>	<i>Low</i>	<i>Low</i>	<i>Low</i>
$1/2$ step	$1/2$ step	<i>High</i>	<i>Low</i>	<i>Low</i>
$1/4$ step	$1/4$ step	<i>Low</i>	<i>High</i>	<i>Low</i>
$1/8$ step	$1/8$ step	<i>High</i>	<i>High</i>	<i>Low</i>
-	$1/16$ step	<i>Low</i>	<i>Low</i>	<i>High</i>
-	$1/32$ step	<i>High</i>	<i>Low</i>	<i>High</i>
-	$1/32$ step	<i>Low</i>	<i>High</i>	<i>High</i>
$1/16$ step	$1/32$ step	<i>High</i>	<i>High</i>	<i>High</i>

Fuente: (Luis Llamas, 2016)

Y teniendo en cuenta la tabla anterior, dependiendo de la resolución, que en este caso fue de 1/32 de paso, como ya se explicó, la conexión en el driver se establece en la siguiente ilustración.

Ilustración 36 Conexión física en el driver DRV8825



⚠ Vmotor entre 8 y 35V. Al usar alimentación externa SIEMPRE poner con GND común.

Fuente: (Luis Llamas, 2016)

Siendo así, para conseguir los micro pasos deseados, se conectaron los pines M0, M1 y M2 a 5V forzándolos a *High*, los pines D9 y D8 corresponden a las entradas 11 y 12 en el Arduino, encargados de controlar el driver, especificando el paso y la dirección del motor.

### 8.1.3. FILOSOFÍA DE FUNCIONAMIENTO, PROGRAMACIÓN

Posterior a la explicación de los instrumentos utilizados en la construcción del prototipo, se explicará el funcionamiento de todos los sistemas en operación conjunta para la generación de nanofibras.

Como ya se ha explicado durante este informe, la técnica del *electrospinning* consiste generar fibras finas utilizando el campo eléctrico generado por una fuente de alto voltaje, que dependiendo de diferentes parámetros como caudal, temperatura, humedad, voltaje, distancia, entre otros, genera estructuras porosas y versátiles, utilizadas en diferentes campos de investigación. (Molfino et al., 2020) Algunas de estas variables podrán ser modificadas para obtener distintas muestras de biopolímero que se estudiarán y analizarán bajo el microscopio, en los siguientes apartados se explicarán de qué manera, por qué o por qué no comparándolo con los parámetros de la programación realizada.

### 8.1.3.1. Funcionamiento mecánico

Con fin de controlar el caudal y realizar el trabajo automatizado se realizaron los sistemas de inyección y colector explicado apartados arriba. Ambos sistemas trabajando el conjunto con la programación realizada llevan el biopolímero desde una jeringa hasta la aguja donde se genera el cono de Taylor y la fibra correspondiente.

El sistema comienza analizando el funcionamiento del motor paso. Idealmente, el motor paso tiene que dar 200 pasos para dar una vuelta si su resolución se configuro de esa manera, su explicación se da utilizando la teoría expresada en la siguiente formula:

*Ecuación 6 Pasos nominales de motor paso utilizado*

$$\text{Pasos por vuelta} = \frac{360^\circ}{1.8^\circ} = 200$$

A esta solución se concluyó utilizando una sencilla regla de tres directa, ya que si un paso de vuelta es  $1.8^\circ$ ,  $360^\circ$  serán 200 pasos. Sin embargo, en esta aplicación se está utilizando una relación de  $1/32$  de paso, lo que indicaría que los pasos que utilizaba para dar una vuelta ya no serán los mismos 200, ahora tendrá que dar 32 pasos para moverse radialmente  $1.8^\circ$ . En la siguiente formula se expresa la anterior teoría.

*Ecuación 7 Pasos del motor por vuelta con resolución de  $1/32$*

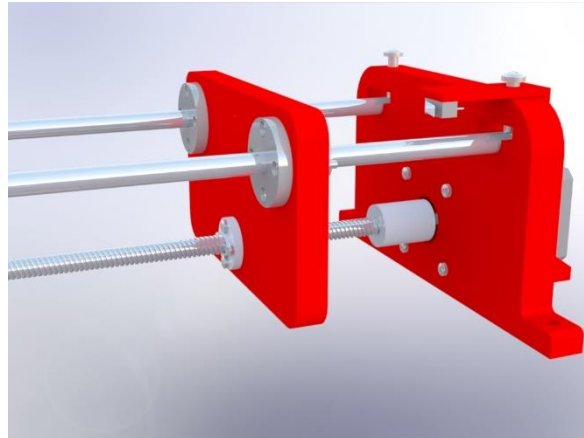
$$\text{Pasos por vuelta} = 200 * 32 = 6400$$

Lo que indica que en la configuración en la programación debe estar establecido que el motor da 6400 pasos por una vuelta de  $360^\circ$

Ahora, el sistema de inyección cuenta con una varilla roscada de 8mm con 4 hilos que cuenta con una excelente precisión, está conectada colineal al motor paso por medio de un acople flexible que hace posible la transmisión de movimiento. El fabricante establece que por cada giro que se dé sobre el eje de la varilla, está moverá linealmente un objeto 8mm, por lo tanto, se tiene una relación de 8mm por vuelta en el sistema de inyección instalado. En la siguiente imagen se puede

observar la varilla y el objeto correspondiente que se moverá 8mm por vuelta en la varilla.

*Ilustración 37 Funcionamiento varilla roscada*



Fuente: De los autores

El objeto en cuestión será el encargado de oprimir la jeringa e impulsar el biopolímero hasta la aguja del colector. Controlando la velocidad por cada paso en el motor, se puede controlar el flujo o caudal a la salida de la aguja al sistema de colector.

Para determinar el caudal se hicieron varias pruebas con el sistema de inyección ya construido, para realizar este trabajo se utilizaron jeringas, un cronometro y una probeta. Consistían en determinar un volumen específico dentro de la probeta con velocidades respectivas, se tomaron los tiempos en que se demoraba en salir el líquido y se comparaba con el volumen medido para determinar el caudal. Todos los valores arrojados fueron digitalizados y se pueden observar en la siguiente tabla.

*Tabla 16 Datos para determinación de caudal*

Tiempo entre pasos ( $\mu$ s)	Tiempo (s)	Volumen medido (ml)	Caudal (ml/h)	Promedio caudal (ml/h)
16383	600,48	0,9	5.39568	5.39555
	600,51	0,9	5.39541	
14000	600,29	1,1	6,59681	6.59681
	600,29	1,1	6,59681	
11617	600,72	1,3	7,79065	7.79273
	600,4	1,3	7,79480	

Tiempo entre pasos ( $\mu\text{s}$ )	Tiempo (s)	Volumen medido (ml)	Caudal (ml/h)	Promedio caudal (ml/h)
9234	600,52	1,6	9,59169	9.59177
	600,51	1,6	9,59185	
6851	630,55	2,3	13,13139	13.15768
	600,73	2,2	13,18396	
4468	600,39	3,4	20,38675	20.38522
	600,48	3,4	20,38369	
2085	525,55	6,5	44,52478	44.52817
	525,47	6,5	44,53156	
1000	150,58	3,8	90,84872	90.89704
	150,42	3,8	90,94535	

Fuente: De los autores

Se analizaron los datos arrojados y se graficaron para determinar si contaban con alguna tendencia que se pudiera programar en el software de Arduino. El resultado fue el siguiente.

*Gráfica 2 Tendencia caudal*



Fuente: De los autores

Observando la gráfica se determinó que tiene una tendencia potencial. Realizando una regresión utilizando las herramientas de Excel, se pudo determinar su comportamiento expresado en la siguiente ecuación.

### *Ecuación 8 Tendencia caudal calculado*

$$\begin{aligned} \text{Tiempo entre pasos} &= 88646 * \text{Caudal}^{-0.992} \\ R^2 &= 0.9989 \end{aligned}$$

#### 8.1.3.2. Funcionamiento electrónico

El prototipo, como se explicó anteriormente, cuenta con una serie de componentes electrónicos que trabajan en conjunto para generar las fibras nanométricas de biopolímero de forma automatizada. Se explicará la función y la importancia de cada uno dentro del proceso de generación de fibras.

Primeramente, la máquina por medio de la LCD indicará que se encuentra encendida y lista para iniciar con el proceso, arrojando advertencias indicando el llenado de la jeringa y el cierre de las puertas, el operario debe interactuar con el prototipo por medio de los pulsadores y el teclado dispuesto en la parte frontal para iniciar con el proceso, debe indicar valores concretos que serán tomados en cuenta dentro de la programación realizada para un correcto funcionamiento.

Al iniciar con el proceso el usuario podrá cambiar los valores de temperatura y humedad utilizando el ventilador o resistencia calefactora que pueden ser encendidos usando los dos pulsadores dispuestos para tal fin y podrá continuar cuando lo desee, cada actuador tiene asociado un led que encenderá sí el actuador se encuentra activo. Es necesario mantener cerradas las puertas para poder continuar con el proceso, si no es así, no permitirá continuar, igualmente, sí el mecanismo inyector no se encuentra en la posición 0, no iniciará con el proceso, para ello, se programa el motor paso para que retorne automáticamente una vez se inicie con el proceso utilizando el sensor final de carrera S0.

Una vez cerradas las puertas y el mecanismo inyector en posición, la máquina le pedirá que ingrese el largo de la jeringa con el vástago adentro para realizar el cálculo de cuanto debe recorrer o girar la varilla roscada y de esta manera impedir que se fuerce el motor cuando la jeringa se encuentre vacía. El cálculo correspondiente se realiza de la siguiente manera:

La distancia que existe entre el extremo donde se sujetará la jeringa al soporte de PLA que oprime la jeringa es de 288mm aproximadamente, restando la distancia de la jeringa a este valor, se determinará la distancia que debe recorrer el soporte para

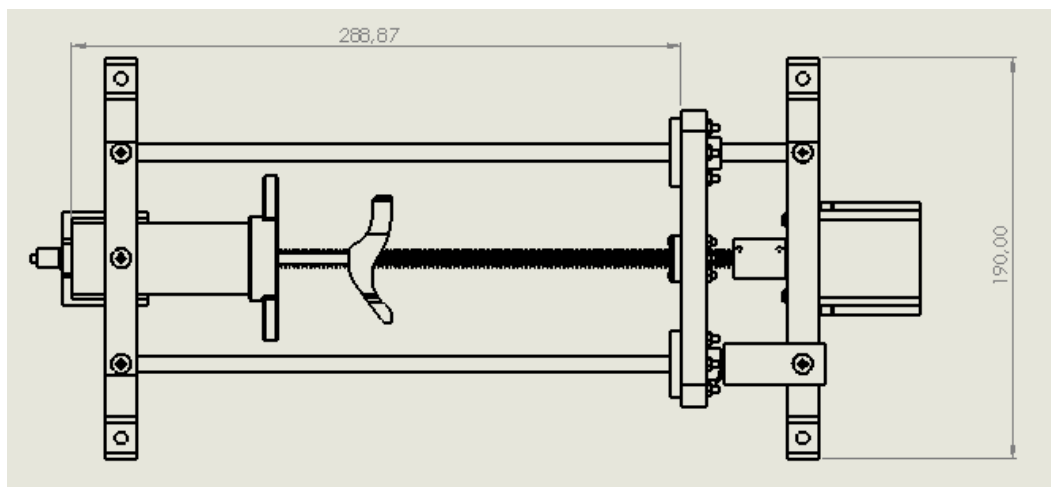
vaciar la jeringa completamente. Con este análisis se determina la siguiente ecuación:

*Ecuación 9 Distancia a recorrer*

$$DR = 288mm - x$$

Donde la variable incógnita es DR correspondiente a la distancia a recorrer en mm y x es el largo de la jeringa con el vástago adentro en milímetros.

*Ilustración 38 Medidas mecanismo inyector*



Fuente: (De los autores) Revise Anexo A correspondiente a los planos

Sin embargo, el valor arrojado de la ecuación 9 no es suficiente, ya que la programación entiende por pasos en el motor, así que en la programación se debe hacer los cálculos para determinar cuántos pasos debe dar el motor para moverse dicha distancia. Trayendo a colisión lo descrito en el apartado anterior en la ecuación 7, teniendo en cuenta que la varilla da 8mm por una vuelta y utilizando la ecuación 9 se determina la siguiente ecuación:

*Ecuación 10 Distancia a recorrer en pasos*

$$Steps = \frac{DR * Pasos\ por\ vuelta}{8} = \frac{DR * 6400}{8}$$

El valor arrojado por la ecuación anterior es el utilizado en la programación que permitirá el movimiento del motor paso hasta la posición deseada. Una vez realizado lo anterior, la máquina le pedirá al operario que ingrese el valor del caudal que requiere. La forma en que se realiza este cálculo ya fue explicada en el apartado anterior con la ecuación 8.

Finalmente, el operario al darle continuar, el proceso de generación de fibras comenzará siempre y cuando las puertas se encuentren cerradas y el mecanismo inyector se encuentre en la posición 0. Si no es así, en la LCD aparecerá un mensaje de alerta indicando el error hasta que las puertas se encuentren cerradas y/o retornará el soporte de PLA hasta la posición establecida.

La fuente de poder de 25kVDC es activada con un relé que quita o permite la alimentación de 12VDC. La fuente permanecerá activa únicamente mientras se desarrolla el proceso y las puertas del prototipo permanecen cerradas, siendo así, si las puertas se abren durante el proceso, la fuente se apagará y permanecerá apagada hasta que se cierren nuevamente o se inicie el proceso de nuevo. El encendido de la fuente se encuentra asociado a un led que indicará el momento en el que se prenda para que así el operario esté alerta del posible riesgo eléctrico.

Durante todo el proceso el sensor DHT22 tomará datos de temperatura y humedad para realizar un promedio de estas variables con fines de análisis de las muestras que mostrará en la LCD una vez acabe el proceso, igualmente, el operario del prototipo podrá parar en cualquier momento el proceso interactuando directamente con el pulsador de continuar.

Este análisis también se puede encontrar en el Anexo D: manual de usuario del prototipo, donde se expresan las pautas de funcionamiento y se explica detalladamente cada uno de los procesos que realiza el prototipo.

## 8.2. EJECUCIÓN DEL PROYECTO

### 8.2.1. DISEÑO CAD

El diseño asistido por computador se utiliza como alternativa a borradores dibujados con papel y lápiz, con la ventaja que el software permite: realizar estudios de movimientos y fuerzas; reducir costos, mejorar productividad, mayor precisión,

documentación sólida y sencilla, mejorar visualizaciones de los elementos, reutilizar los datos y diseños, entre otras y muchas ventajas (Rojas Lazo & Rojas Rojas, 2006)

El software utilizado fue SolidWorks, con él se realizaron los bocetos estructurales en 3D de piezas tanto mecánicas como electrónicas, por otro lado, se realizó el ensamblaje en el software con el fin de observar buena distribución de los equipos y materiales antes de realizar el montaje final. Esto se puede ya observar en las imágenes de los anteriores apartados donde se muestran parte de la estructura por función.

El diseño CAD realizado inició con los materiales que iban a hacer usados para el montaje de la estructura: Perfiles de acero y acrílico, teniendo en cuenta las dimensiones de todos los componentes que debían ser instalados en el interior del prototipo, en primera instancia se pensó en realizar una estructura más pequeña que la finalmente construida, sin embargo, sí hubiese sido así, la capacidad de llenado de las jeringas debía ser reducido y limitado a ciertas medidas o tamaños de jeringa, así que se adaptaron las medidas a una configuración apta para usar jeringas que midan hasta 180 milímetros con el vástago afuera.

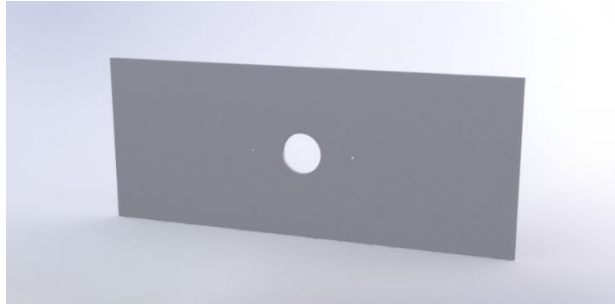
*Ilustración 39 CAD perfil acero*



Fuente: (De los autores)

En el software SolidWorks se diseñaron cada uno de los perfiles de aceros con las medidas a las que debían ser cortados. En la ilustración 39 se puede un perfil correspondiente a las laterales del medio que separa los dos compartimientos con los que cuenta el prototipo. Por su parte, cada corte de acrílico que se debía realizar fue diseñado igualmente en el software. En la ilustración 40 se puede observar el acrílico diseñado en CAD que corresponde al acrílico que fue dispuesto en la parte baja frontal de la máquina, que a su vez, tiene una tonalidad oscura.

*Ilustración 40 CADacrílico*



Fuente: (De los autores)

Una vez se tenía cada uno de los perfiles y láminas deacrílico dibujados, se realizó el ensamble en el software de SolidWorks, el cual se puede validar con la ilustración 15, en el anterior apartado.

Posteriormente se diseñaron las piezas de los mecanismos de inyección y recolección del biopolímero pensando en el funcionamiento que debían llevar. Para el mecanismo inyector se diseñaron 4 piezas (como ya fue explicado anteriormente) que brindarán confiabilidad en el proceso y precisión, y para el mecanismo colector se diseñó una pieza que permite quitar o poner la aguja para limpieza o cambio. Además de esto, se dibujaron en 3D todos los materiales que iban a ser utilizados en dichos mecanismos. En las ilustraciones 16 y 18 se pueden observar claramente el diseño de estas piezas y cada uno de los materiales utilizados.

*Ilustración 41 CADcomponentes electrónicos*

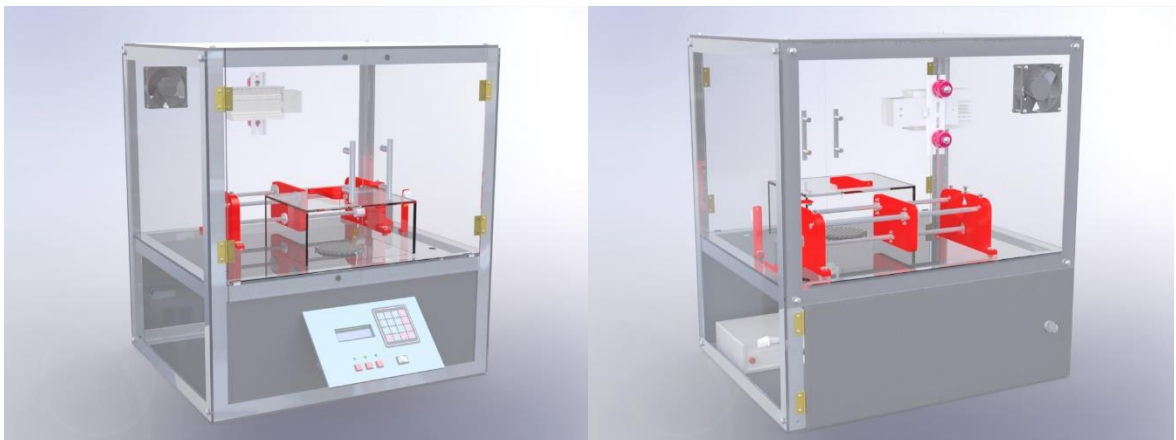


Fuente: (De los autores)

Continuando con el diseño, se realizó el 3D de los componentes electrónicos principales que iban a hacer utilizados en el prototipo, desde la fuente de alto voltaje como los actuadores, sensores y el Arduino. En la ilustración anterior se puede ver el CAD de algunos de estos componentes.

Y para finalizar, se realizó el ensamble de todas las partes diseñadas en el software de SolidWorks, utilizando tornillos, tuercas y arandelas para unir algunos de los componentes entre sí y de esta manera se comprobó que el tamaño elegido era ideal para el proceso que se iba a llevar a cabo internamente ya que todos los materiales se distribuyeron correctamente, además contaba con una buena presentación. En la siguiente ilustración se puede ver el CAD de toda la estructura con los componentes distribuidos.

*Ilustración 42 CAD Máquina de electrospinning diseñada*



Fuente: (De los autores)

Es importante aclarar que los perfiles son soldados en cada una de sus esquinas, por lo tanto, en el software se juntaron cada uno de los perfiles diseñados de forma que asemejase que están soldados. En el anexo A que corresponde a los planos del prototipo, se pueden observar al detalle los piezas diseñadas en 3D, las cantidades de materiales utilizados y las características dimensionales de la estructura.

## 8.2.2. DISEÑO CAM

Los materiales que son utilizados para la construcción de un producto físico final deben ser modificados con el fin de cumplir una función específica dentro de un

sistema ensamblado, estos trabajos de modificaciones se denominan procesos de manufactura, que son métodos utilizados para convertir la materia prima en productos manufacturados. (Guerrero, 2008)

Existen varios de estos métodos y son usados dependiendo de lo que se requiere realizar con el material a tratar, dentro de estos métodos se encuentra, entre muchos otros: fundición, moldeado por soplado, extrusión, torneado, fresado, taladrado, eléctricos, pulido, templado, recocido, esterificación, etc. (Guerrero, 2008)

En la construcción del prototipo se utilizaron varios procesos de manufactura, para la unión de las partes correspondientes al armando de la estructura y los sistemas de inyección y colector, los cuales serán explicados a continuación.

#### 8.2.2.1. CAM estructura

Como ya fue explicado, se utiliza un perfil de acero de ½ pulgada, en el cual se realizan las marcaciones como lo indica el plano (Anexo A), a continuación, se procede a realizar los cortes con ayuda de una tronzadora para así tener cortes rectos, seguidamente se arma y se ajusta los perfiles por medio de soldadura con electrodo.

Para la cubierta se utilizó acrílico de 5 milímetros. Con ayuda del plano se realizaron los cortes de las caras exteriores e interiores, estos se realizaron con pulidora, de igual manera se pulieron los bordes con un mototool además del redondeo de los bordes del acrílico. Se tuvieron en cuenta las ubicaciones respectivas de los componentes eléctricos y electrónicos para sujetar o ubicar realizando perforaciones en el acrílico donde correspondía, siguiendo los planos realizados.

Antes de realizar el ensamblaje final se realizan perforaciones en la estructura metálica con taladro para poder pasar un machuelo y de esta manera crear un punto de sujeción con rosca, este proceso se realiza cuatro veces por cara además de eso se pinta con aerosol metalizado. Se prosigue a realiza un hueco pasante en el acrílico así como pintar el acrílico de color negro tapando con periódico la partes que se querían dejar transparentes

Para realizar la caja de acrílico que cubre el proceso de recolección de la fibra se utilizó un pegante especial para uso exclusivo del acrílico, recortando primeramente

cada una de las caras haciendo uso de la pulidora. Este mismo proceso se realizó para construir el compartimiento saliente de la máquina donde se ubican partes electrónicas como la LCD, el KBD y los pulsadores, posteriormente se procede a limpiar todas estas partes con alcohol y se pintan dado el caso, siguiendo el diseño en CAD que se había realizado anteriormente.

*Ilustración 43 Perfiles de acero y acrílicos maquinados*



Fuente: (De los autores)

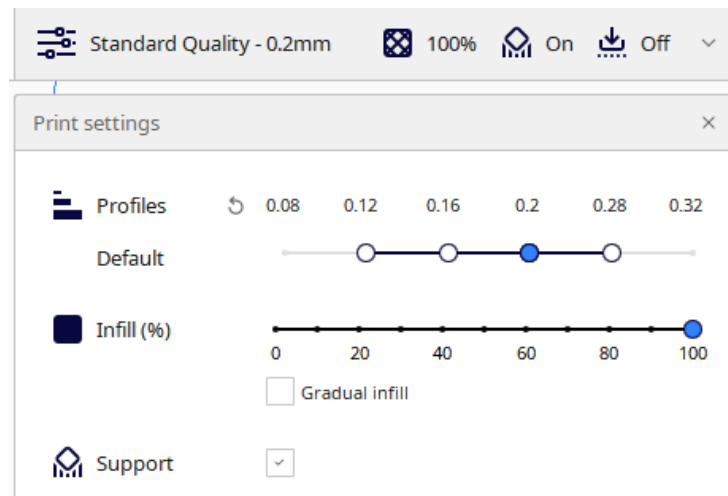
#### 8.2.2.2. CAM impresiones 3D

Como se explicó en anteriores apartados, para el sistema de inyección y colector se diseñaron piezas en 3D en el software SolidWorks que posteriormente fueron impresas utilizando la impresora *Creality CR-10S* dispuesta en la Universidad Agraria. Para realizar esto, por medio del software Cura se analizaron cada una de las piezas impresas configurando una impresión que le brindará a cada pieza resistencia, además de ubicarlas de tal forma que los gastos de material y tiempo fueran lo menos posibles.

Las piezas fueron, en su mayoría, impresas una por una debido al tamaño de la impresora y de las mismas piezas, igualmente, las piezas impresas se configuraron para que se utilizara un relleno del 100%, líneas de relleno con un ancho de 0.4mm y se imprimieran soportes en las partes donde había huecos pasantes. En la ilustración 44 se puede ver la configuración básica de las piezas impresas:

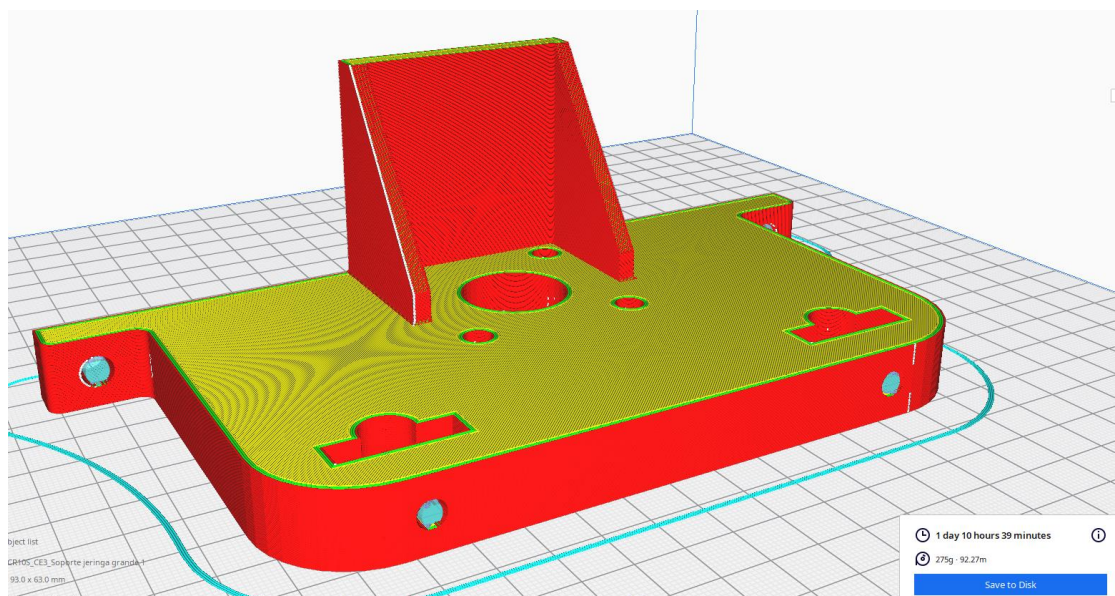
Una vez realizada esta configuración, en el software se simularon las impresiones que iban a ser realizadas con el fin de analizar si el proceso que llevaría sería el correcto sin dañar ninguna parte de la piezas y conocer el tiempo estimado de impresión. Las piezas con estas configuraciones demoraban entre 15 a 35 horas para realizar las impresiones dependiendo del tamaño. En la siguiente ilustración se puede observar dicha simulación.

*Ilustración 44 Configuración piezas en el software Cura*



Fuente: (De los autores)

*Ilustración 45 Simulación en software Cura*

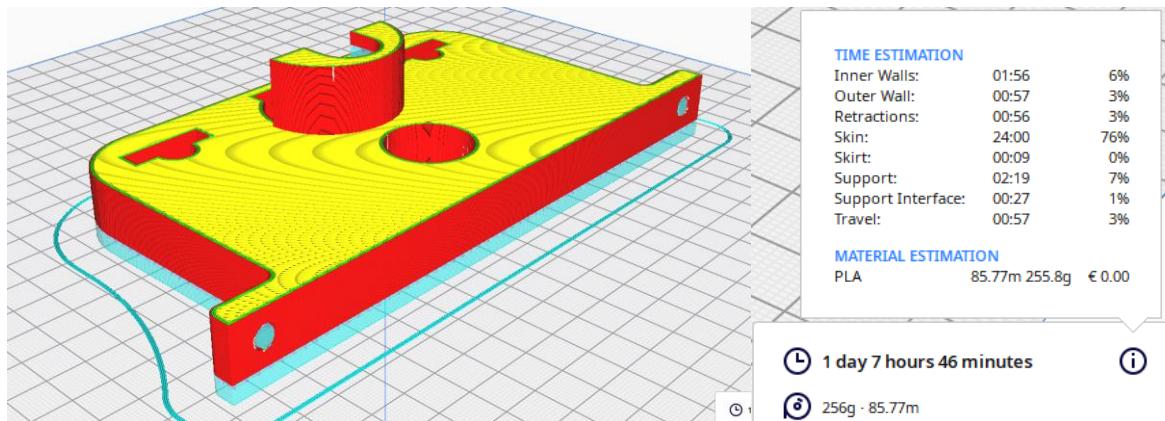


Fuente: (De los autores)

Como se puede observar en la ilustración 45, esta piezas, que fuera el diseño más grande realizado, demoraba imprimiendo 1 día y 11 horas aproximadamente, debido a su complejidad dada la configuración instaurada. Por otra parte, en la misma imagen se pueden observar algunos de los soportes que se deben generar para permitir una correcta impresión de la piezas, estos se pueden distinguir de color azul entre los huecos pasantes.

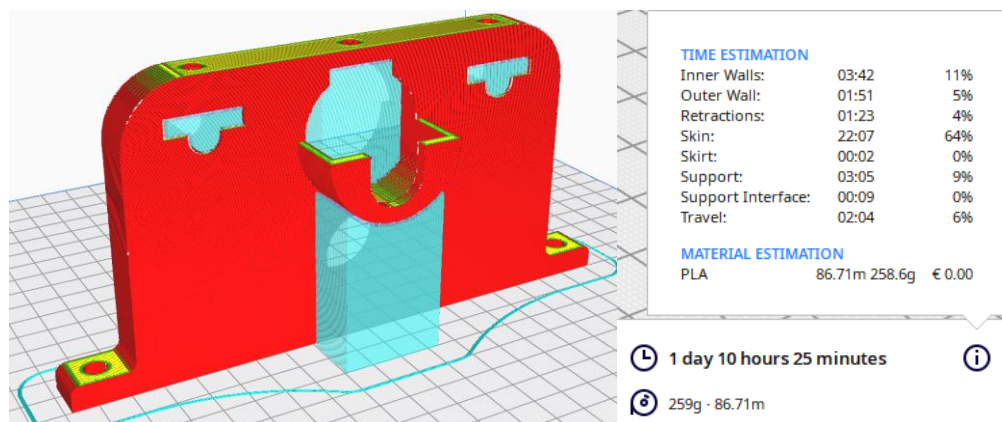
Las piezas fueron dispuestas de tal manera que la perdida de material por los soportes fueran el menor posible, en la ilustración 46 se puede observar la simulación de una de las piezas ubicada horizontalmente, y en la ilustración 47 la misma piezas pero ubicada verticalmente.

*Ilustración 46 Simulación pieza horizontal*



Fuente: (De los autores)

*Ilustración 47 Simulación piezas vertical*

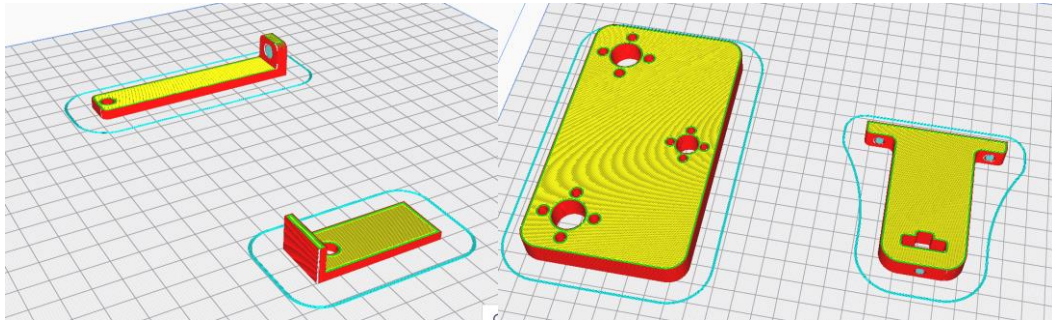


Fuente: (De los autores)

Comparando ambas simulaciones se puede determinar que es más apropiado imprimir esas piezas ubicándola horizontalmente debido al desperdicio de material y el tiempo de impresión, ya que de esta manera se perderían en soportes aproximadamente 10% del material utilizado y no el 15% que presupuesta gastar si se dispone de manera vertical, además de esto, el tiempo de impresión aumenta en aproximadamente 3 horas.

Este análisis se tuvo en cuenta con cada una de las piezas impresas que hacen parte del prototipo construido.

*Ilustración 48 Diseño CAM impresiones 3D*



Fuente: (De los autores)

En la siguiente ilustración se pueden observar las piezas impresas en 3D físicas, que contaban con excelentes características: resistentes, macizas y superficial. Los procesos de manufactura llevados a cabo en la construcción de la estructura y en la impresión 3D de las piezas diseñadas corresponden a la etapa de “Elaborados a mano” ya que son productos sencillos y no hacen parte de una industrialización.

*Ilustración 49 Piezas impresas en 3D*



Fuente: (De los autores)

### 8.2.3. MONTAJE ESTRUCTURAL

Una vez realizado el proceso de manufactura se procede a realizar el montaje en conjunto de todos los elementos, equipos y materiales descritos en los anteriores apartados, comenzando con los sistemas de inyección y colector, validando en su construcción el correcto ensamble de cada una de las partes.

*Ilustración 50 Sistema inyector y colector construidos*



Fuente: (De los autores)

Paralelo a esto, la estructura fue montándose, uniendo y soldando los perfiles uno por uno según lo indicado en los planos y el diseño CAD realizado, posteriormente, se abrieron los huecos en los perfiles y se machuelo para montar los acrílicos usando tornillos para la sujeción, de esta manera se permite retirar las piezas con fines de limpiezas o remplazo de algún elemento si se llegase a dañar.

*Ilustración 51 Montaje perfiles y acrílico*



Fuente: (De los autores)

Finalmente, después de realizar los procesos de CAM y montaje estructural, el prototipo se encontraba listo para realizar el montaje electrónico, el cual se explicará en el siguiente apartado.

#### *Ilustración 52 Montaje estructural final*



Fuente: (De los autores)

### 8.2.4. DISEÑO ELECTRÓNICO

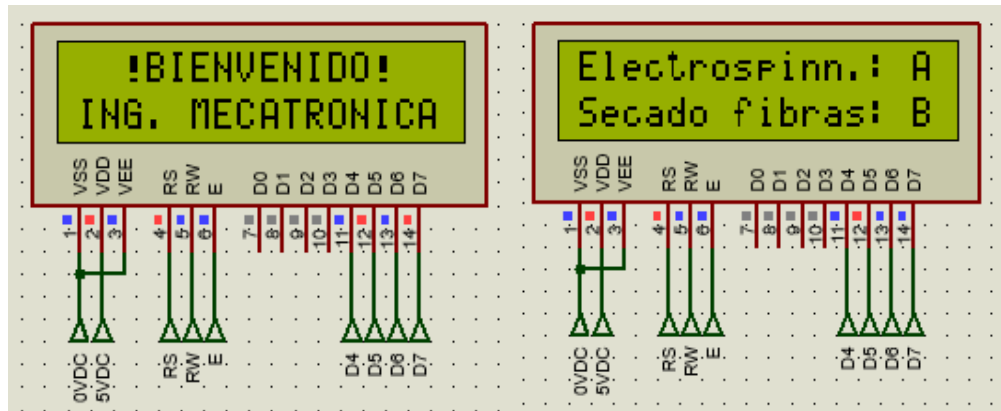
#### 8.2.4.1. Simulación software Proteus

Antes de realizar el respectivo montaje electrónico con los parámetros establecidos en el apartado de los criterios de diseño electrónico se realizó una simulación de funcionamiento en el software Proteus con los sensores y actuadores utilizados con el fin de verificar el correcto funcionamiento del diseño electrónico.

Teniendo en cuenta las ilustraciones dispuestas en el apartado de Diseño electrónico, y las conexiones que se explican en este, se realiza la exportación en binarios cambianos de la programación realizada para ser importada en el Arduino del software Proteus, una vez así, se inicia la simulación con todos los instrumentos conectados.

En primera instancia se verifica que el saludo sea correctamente enseñado en la LCD del software, además, que la visualización se muestre según lo programado. Posteriormente, según las indicaciones de pantalla, se verifica que se pueda mover entre las pantallas programadas haciendo uso del KBD y de los pulsadores.

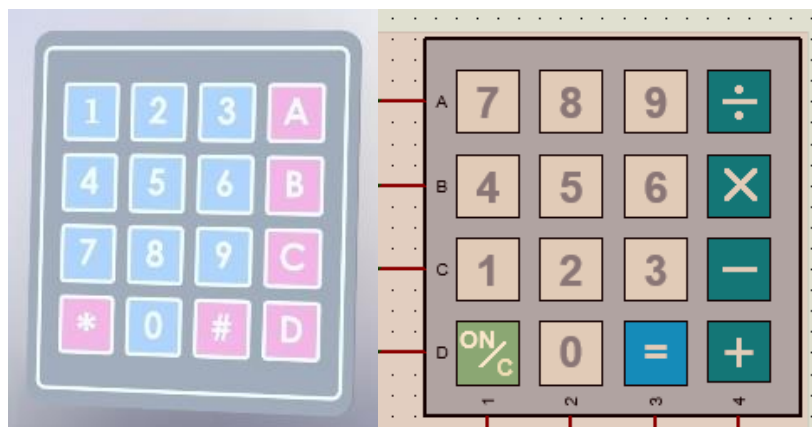
Ilustración 53 Simulación visualización LCD



Fuente: (De los autores)

Como se observa en la ilustración 53, la LCD indica que se requiere la elección de uno de los dos procesos mostrados para poder continuar. Esto se realiza con ayuda del KBD. Cabe resaltar que el KBD utilizado y el KBD de la simulación tienen un orden distinto de las letras, en la siguiente ilustración se muestra las diferencias.

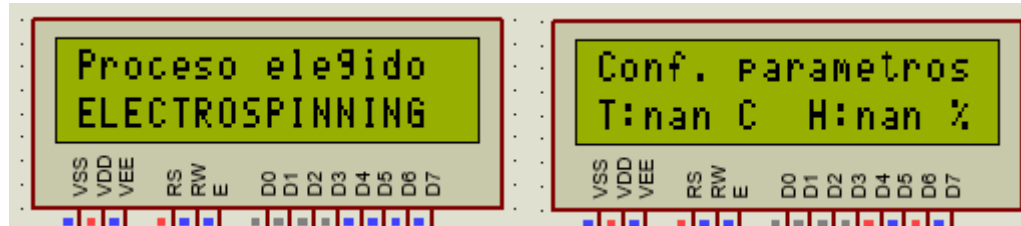
Ilustración 54 KBD utilizado vs simulado



Fuente: (De los autores)

Teniendo en cuenta la ilustración anterior, se procede a elegir el proceso requerido oprimiendo la letra A del KBD en la simulación y se verifica que la navegación entre las pantallas funcione correctamente, como se muestra en los siguientes pantallazos tomados.

Ilustración 55 Pantallas LCD

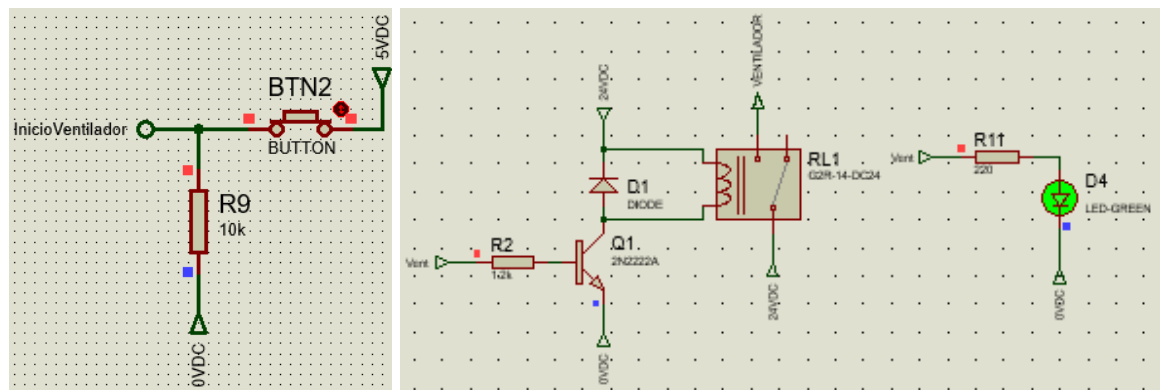


Fuente: (De los autores)

En la ilustración anterior se puede observar un error en el momento de mostrar la temperatura (T) y la humedad (H) real. Este se debe a que el sensor de la simulación no es leído por el Arduino, por lo tanto, este es tomado como si no estuviera conectado o se hubiese dañado.

En este punto, el operario puede decidir si continua con el proceso o prefiere cambiar los parámetros de temperatura y humedad internos haciendo uso de los dos pulsadores predeterminados para dicha tarea. Oprimiendo el botón predeterminado se prenderá el ventilador o la resistencias por el tiempo que el operario quiera y conjunto a ello, un led que indicará que el actuador se encuentra prendido.

Ilustración 56 Simulación encendido actuador

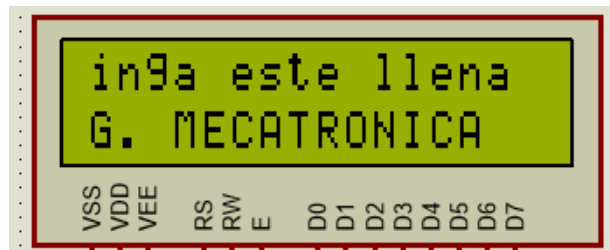


Fuente: (De los autores)

Debido a que el intercambio de calor entre el material y el ambiente es rápido, no es posible realizar un control, ya que interviene parámetros externos en el ambiente que no son posible controlar en este prototipo, sin embargo, esto no afecta la automatización del proceso.

Para continuar con el proceso de *electrospinning* el operario debe oprimir el botón llamado inicio. Una vez, en la LCD le pedirá los datos de tamaño de la jeringa y caudal antes de iniciar el proceso, igualmente, le dará alertas y recomendaciones antes de iniciar el proceso. En primera instancia le recordará al usuario que la jeringa debe estar colocada correctamente y tener biopolímero, posteriormente, deberá insertar los datos necesarios para hacer la respectiva automatización.

*Ilustración 57 Recomendación en LCD para llenado de jeringa*



Fuente: (De los autores)

El mensaje de recomendación al ser tan largo se irá moviendo paulatinamente mostrando: “Asegúrese que la jeringa este llena. Una vez listo oprima botón inicio”

*Ilustración 58 Toma de datos*



Fuente: (De los autores)

Una vez se le da continuar, el proceso iniciará, mostrando en la pantalla el mensaje de “No abrir” debido a que la fuente de alto poder se encenderá por medio de la programación protegiendo la integridad del operario, sí por alguna razón las puertas son abiertas, el proceso se detendrá y apagará la fuente. El motor paso empezará a funcionar a la velocidad ya determinada en la programación y finalizará cuando la jeringa se encuentre desocupada o el operario decida detener el proceso, lo cual

puede hacer oprimiendo el botón de inicio. Se encenderá un led indicando el momento en el que la fuente este prendida para así alertar al operario.

*Ilustración 59 Simulación proceso activo*

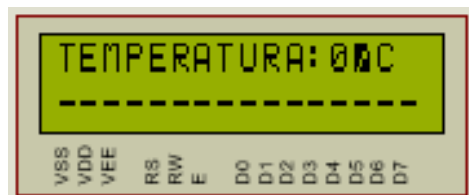


Fuente: (De los autores)

Durante todo el proceso la LCD tomará los valores de humedad y temperatura interna para así, cuando el proceso haya terminado, mostrar en la LCD el promedio de estas variables con el fin de realizar el análisis, posterior a la recolección de fibras. Ya finalizado el proceso, volverá al mensaje de inicio, no sin antes desactivar los actuadores, la fuente de poder y devolver el motor a su posición inicial. En la simulación no se puede obtener una entrada precisa de temperatura o humedad, así que se validará el funcionamiento de registro de estas variables una vez se monté le prototipo

La máquina cuenta con otro proceso aparte, que le brinda un segundo uso al prototipo, el cual costa en el secado de fibras posterior a la recolección. Por medio de los actuadores y el sensor de temperatura y humedad, la máquina llevará la temperatura a un setpoint de 35°C, lo necesario para secar las fibras sin estropear el proceso de generación de fibras para así posteriormente, contar con las fibras secas antes del análisis bajo el microscopio.

*Ilustración 60 Simulación secado de fibras LCD*



Fuente: (De los autores)

Este proceso durará el tiempo que el operario requiera, finalizará cuando se oprima el botón de inicio llevando el programa nuevamente al menú inicial no sin antes desactivar los actuadores.

#### 8.2.4.2. Montaje electrónico

Después de verificar la funcionalidad del proceso mediante la simulación realizada, se prosigue con el montaje de los componentes electrónicos, comenzando a ubicar los actuadores, sensores, fuente de alto voltaje, controlador y las fuentes de poder para el Arduino dentro del prototipo.

*Ilustración 61 Ubicaciones componentes*



Fuente: (De los autores)

Posteriormente a montaje se cableo todos los instrumentos hacía el Arduino y se conectaron en sus respectivas salidas y entradas, maquinando el cable para que se vea organizado y no intervenga en otros procesos, igualmente fue montado el motor paso a paso en el sistema de inyección y el respectivo driver. En la siguiente ilustración se puede observar el montaje electrónico realizado.

*Ilustración 62 Montaje electrónico*



Fuente: (De los autores)

Por último se conectó la fuente de alto poder a la respectiva aguja (Positivo 25kVDC) y a la malla (Negativo 25kVDC). En primera instancia la ubicación sería continuo al Arduino, sin embargo, después de algunas pruebas realizadas, la fuente al prenderse afectaba los componentes electrónicos cuando se encontraban cercanos, por esta razón, se optó por colocarla en la parte superior de la máquina dentro de una caja en acrílico que le brinde protección y con este se prevé que la estática generada por la fuente afecte los procesos de automatización.

*Ilustración 63 Conexión fuente alto poder*



Fuente: (De los autores)

## 8.2.5. VALIDACIÓN PROTOTIPO

*Ilustración 64 Prototipo construido final*



Fuente: (De los autores)

Finalmente, realizado todo el diseño del prototipo se tenía la máquina lista para realizar las pruebas pertinentes, las fibras nanométricas biopoliméricas y la validación del proyecto realizado teniendo en cuenta los objetivos planteados y la investigación realizada.

#### 8.2.5.1. Validación electrónica y programación

En primera instancia se comprueba toda la programación del prototipo, funcionamiento de sensores, actuadores y demás instrumentos que interviene en todo el proceso, conectando en primera instancia la máquina a 110VAC y comprobando que el fusible de 10A que protege todo el sistema electrónico se encuentre instalado y en buen estado, el ventilador que disipa el calor en el driver del motor paso encendiera correctamente y la LCD muestre el mensaje de bienvenida.

Comprobado el encendido, el motor paso a paso debe iniciar en la posición 0 establecida en la programación y que es verificada por medio del sensor final de carrera instalado en el sistema de inyección, por esto, al prender la máquina, el motor paso se moverá hasta encontrar esta señal para así continuar con la programación.

#### *Ilustración 65 Motor paso funcionando*



Fuente: (De los autores)

Posteriormente se prueba la correcta instalación de los instrumentos de intervención usuario-máquina, como lo son: el teclado matricial (KBD), los pulsadores y los indicadores lumínicos (leds). Esta comprobación se realiza iniciando el proceso de *electrospinning*, activando el ventilador y la resistencia calefactora; por su parte, el sensor de temperatura y humedad debe arrojar valores en la LCD e ir cambiando a medida que sube o baja las variables internas del prototipo.

*Ilustración 66 Validación interacción usuario - máquina*



Fuente: (De los autores)

De esta manera se comprobó el correcto funcionamiento de los actuadores, el teclado matricial, la LCD, los pulsadores y los leds mostrados en la ilustración anterior, donde se puede observar los leds encendidos cuando los actuadores se encuentran activos.

Para que el programa continúe con el proceso se deben cerrar ambas puertas, si no es así, el programa no continuará, como ya se explicó en apartados anteriores, se debe a la protección que debe tener el usuario al momento de que prenda la fuente de alto voltaje. Una vez se cierran las puertas y se quita el mensaje de alerta, la programación le pedirá los datos de caudal y largo de la jeringa, estos valores deben ser agregados para poder continuar con el proceso. En las siguientes ilustraciones se puede observar la validación de la programación en esta instancia.

*Ilustración 67 Validación sensores puertas*



Fuente: (De los autores)

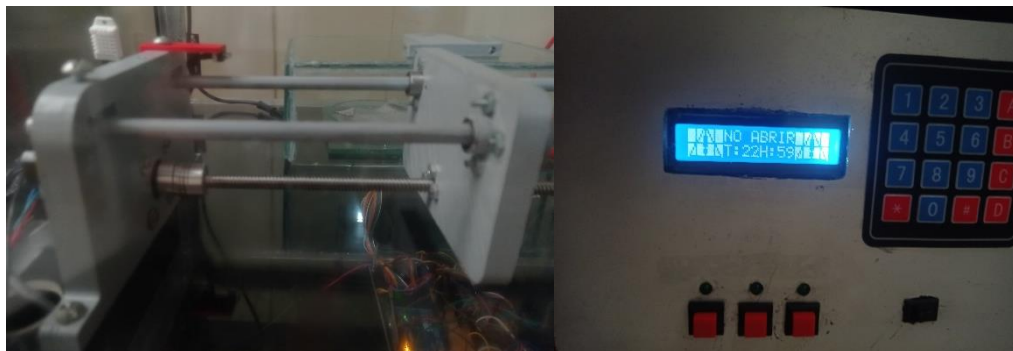
*Ilustración 68 Validación toma de datos*



Fuente: (De los autores)

Una vez los datos son insertados, el programa comenzará a mover el motor paso a velocidad más rápida que la deseada, para ahorrar tiempo en el proceso, a un centímetro antes de que toque la jeringa, posteriormente, el motor paso bajará la velocidad hasta la velocidad necesaria para que en la salida de la aguja exista el caudal insertado anteriormente. Posterior a esto, el motor dará una vuelta antes de encender la fuente de alto voltaje, que corresponden a ocho milímetros, y de esta manera se valida el correcto funcionamiento de la parte electrónica y de programación del prototipo construido.

*Ilustración 69 Validación proceso activo*



Fuente: (De los autores)

Continuando con la validación del prototipo, se realiza una comprobación en la configuraciones mecánicas en el sistema de inyección y de programación con el fin de comprobar el caudal, teniendo en cuenta los datos teóricos tomados y expuestos en el apartado de diseño funcionamiento electrónico y sin prender la fuente de alto poder, se realizaron pruebas con el fin de comprobar el correcto funcionamiento del

sistema con la formula del modelo potencial determinada y aplicada en la programación del microcontrolador. El resultado fue positivo.

Por medio de la LCD fueron elegidos diferentes caudales y con cronometro en mano se calculaba el tiempo que tardaba llenarse una probeta cierto volumen para así calcular el caudal medido y compararlo con el caudal real insertado por KBD al Arduino, los datos recolectados se pueden observar en la siguiente tabla

*Tabla 17 Datos recolectados, pruebas caudal*

Tiempo (s)	Volumen medido (ml)	Caudal real (ml/h)	Caudal requerido (ml/h)	Porcentaje de error
600,51	1	5,9949	6	0,0849%
600,41	1,7	10,1930	10	1,9303%
600,44	3,4	20,3851	20	1,9253%
300,45	2,5	29,9551	30	0,1498%
300,34	3,3	39,5552	40	1,1121%
150,29	2,1	50,3027	50	0,6055%
139,39	2,3	59,4017	60	0,9972%
120,52	2,3	68,7023	70	1,8539%
120,46	2,7	80,6907	80	0,8634%
120,47	3	89,6489	90	0,3901%

Fuente: (De los autores)

Como se puede observar de la tabla anterior, el porcentaje de error no es superado en más de un 2%, lo que indica que el sistema de inyección funciona correctamente con un margen de error aceptable y concuerda con el modelo potencial presentado, donde expresa que la regresión ajustada es de 0.9989, muy próxima a 1 (Gráfica 2).

Para la determinación del caudal, en ambas tablas (Tabla 16 y 17) se tuvo en cuenta la siguiente formula.

*Ecuación 11 Formula usada para determinar caudal*

$$Caudal = \frac{Volumen}{tiempo}$$

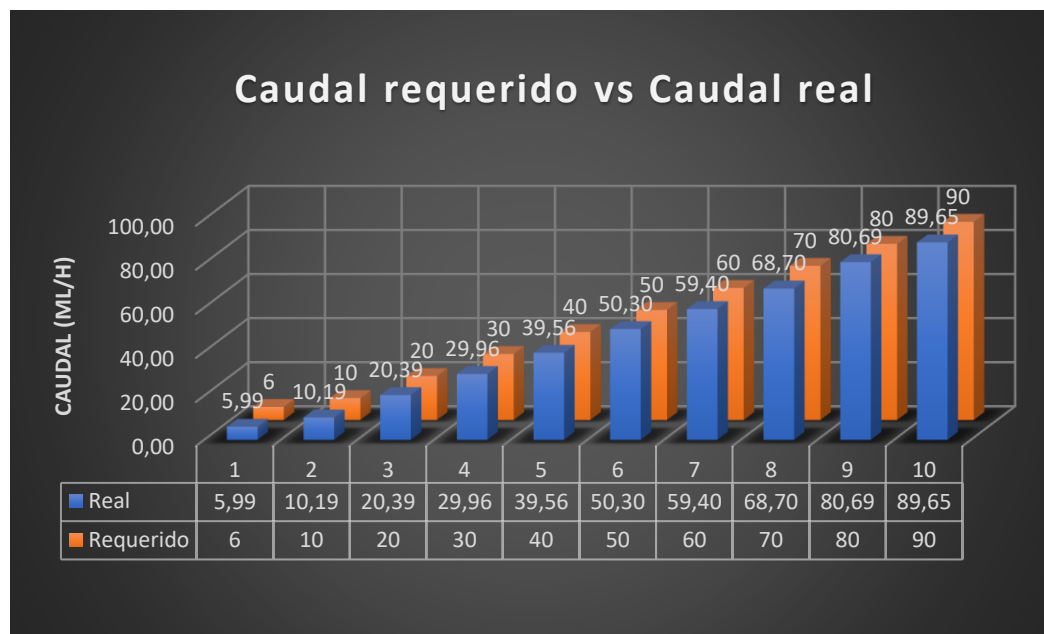
Usando los datos obtenidos de volumen y tiempo expresado en las tablas, el valor arrojado por la fórmula debe ser multiplicado por 3600 para utilizar horas en vez de segundos. Por su parte, para determinar el margen de error, se utilizó la siguiente ecuación.

*Ecuación 12 Porcentaje de error*

$$\% \text{ de error} = \frac{|\text{Valor requerido} - \text{valor real}|}{\text{Valor requerido}} * 100$$

De esta manera se fijaron todos los datos de las tablas anteriores y con ello se verificó la fórmula para establecer el tiempo que debe haber entre pasos para obtener un caudal específico del biopolímero en la salida de la aguja.

*Gráfica 3 Caudal real y caudal medido*



Fuente: (De los autores)

En la gráfica 3 se pueden observar los datos recolectados de las 10 pruebas realizadas, comparando los valores reales y los valores medidos, comprobando así, el correcto funcionamiento del procesos de inyección automatizando la salida de caudal por la aguja.

### 8.2.5.2. Validación técnica de *electrospinning*

En primera instancia lo que se debe validar es el correcto encendido de la máquina por parte de la programación, lo cual se puede observar en la misma fuente como en la máquina, ya que un led se encenderá una vez la fuente se cuente encendida.

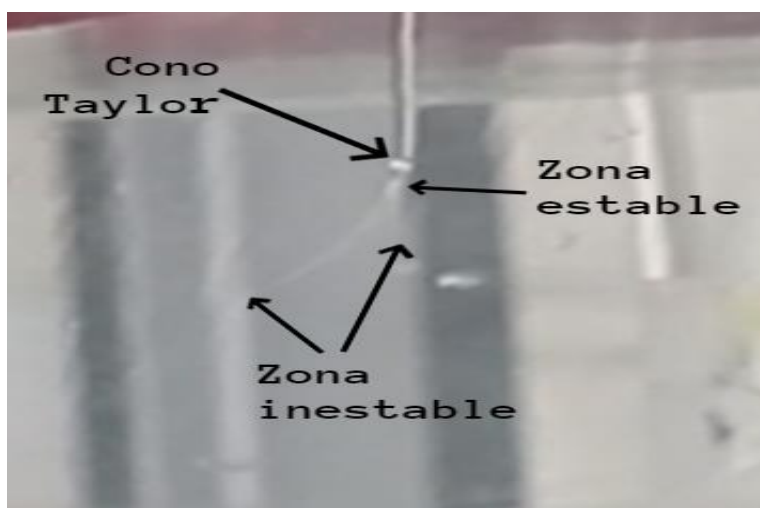
*Ilustración 70 Encendido fuente alto voltaje*



Fuente: (De los autores)

Cuando por la jeringa empieza a salir el biopolímero se puede observar el cono de Taylor formándose en la punta de la jeringa, posteriormente se debe formar el jet en sus dos etapas, estable e inestable. Durante el proceso llevado a cabo se intentó tomar referencias fotográficas lo más precisas posibles, sin embargo, no fue del todo posible debido a que estas fibras y estos fenómenos del Jet son casi imperceptibles para un cámara de celular.

*Ilustración 71 Cono de Tylor y Jet*



Fuente: (De los autores)

En la imagen anterior se pueden observar en la parte superior el cono de Taylor formado y la tendencia del líquido a alargarse para así formar el Jet en la zona estable y zona inestable. Este fenómeno se debe a la atracción de cargas entre los polos de la fuente de alto voltaje.

De este manera se comprobó y verificó el correcto funcionamiento del encendido de la fuente y el proceso que debe llevar el prototipo para la creación de fibras. Siendo así, el siguiente paso a seguir, es crear y validar las fibras generadas por este proceso de *electrospinning*.

### 8.2.5.3. Validación fibras creadas

En este apartado se demostrarán los resultados de las fibras creadas y parámetros superficiales, en el siguiente apartado de resultados y análisis será explicadas estas fibras meticulosamente con ayuda de microscopio.

Como la máquina contaba con la capacidad de cambiar el caudal al cual se inyectaba el biopolímero, se hicieron varias pruebas con el fin de comparar las fibras a diferentes velocidades, igualmente, se cambiaron parámetros de humedad y temperatura antes de iniciar con el proceso.

En primera instancia se muestran las pruebas realizadas con un caudal a 30 ml/h, 50ml/h y 90ml/h respectivamente. Estas pruebas demostraron que el prototipo no es capaz de realizar fibras a caudales superiores a 25ml/h aproximadamente debido a diferentes variables externas que será explicadas en el siguiente apartado.

*Ilustración 72 Fibras a 30, 50 y 90 ml/h*



Fuente: (De los autores)

Posteriormente a estas pruebas, se crearon fibras a caudales más bajos. Estas fibras se muestran a continuación.

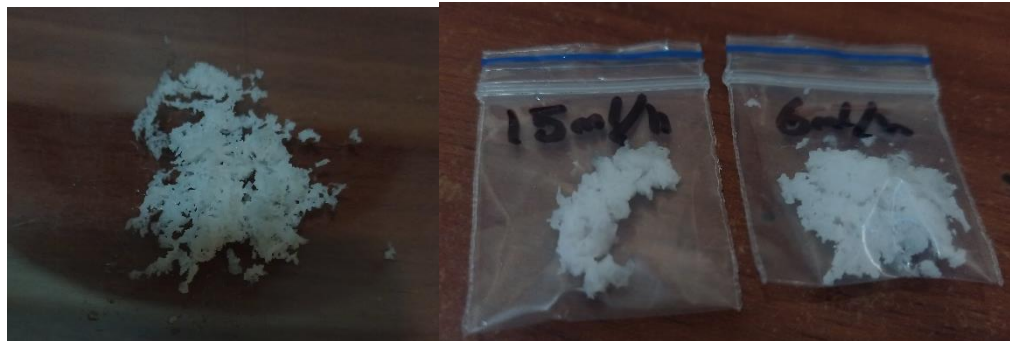
*Ilustración 73 Fibras a 15, 8 y 6 ml/h*



Fuente: (De los autores)

En esta oportunidad las fibras creadas muestran un buen aspecto, por lo que se procede a separarlas de la malla con ayuda de unas pinzas para dejar sacar, posteriormente, son empacadas en una bolsa herméticas que les brinde protección antes de llevarlas al microscopio.

*Ilustración 74 Secada y empaqueo de fibras*



Fuente: (De los autores)

### 8.3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En primera instancia se puede indicar que los resultados de la programación y del sistema mecatrónico montado, que incluía el análisis electrónico, mecánico y de software, se realizó correctamente cumpliendo con el objetivo de brindar un sistema

automatizado para la creación de microfibras y nanofibras usando la técnica de *electrospinning*. Esto se puede comprobar con las distintas simulaciones realizadas y las pruebas congruentes en el prototipo real.

Siguiendo lo anterior, la fase diagnóstica, en la cual se realizó recolección de datos e información importante para la construcción del prototipo, se cumplió correctamente, mostrado en la información teórica descrita en este informe, posteriormente, se da el cumplimiento de la fase de diseño mecánico, electrónico y de software, el cual fue expresado en los anteriores apartados con sustento en simulaciones, datos, tablas, gráficas y fórmulas que respaldan el funcionamiento de toda la máquina montada, por último, la validación de todo el sistema montado trabajando en conjunto para la creación de fibras nanométricas explicado y expresado en el anterior apartado. De esta manera se cumplen dos objetivos planteados al determinar los parámetros de diseño para la construcción del prototipo y la implementación de estos en el sistema mecatrónico. Únicamente faltaría validar las fibras antes los parámetros propuestos en el tercer objetivo específico planteado.

La fabricación de biopolímero utilizado en este proyecto se realiza de la siguiente manera: en primer lugar hay que tener en cuenta la cantidad de biopolímero que se quiere fabricar y la densidad de este, posteriormente, determinar la cantidad de diluyente y polímero utilizando las siguientes fórmulas.

*Ecuación 13 Cantidad de biopolímero para fabricar biopolímero líquido*

$$M_p = MT * P$$

*Ecuación 14 Cantidad de diluyente para fabricar biopolímero líquido*

$$M_a = MT - M_p$$

Donde  $M_p$  y  $M_a$  es la masa en gramos de biopolímero y diluyente respectivamente, necesaria para la fabricación de  $MT$  gramos de biopolímero a una densidad  $P$ . Como ejemplo, si quisiera fabricar 80 gramos de biopolímero al 15% de densidad, la operación sería la siguiente:

*Ecuación 15  $M_p$  necesaria para fabricar 80g de biopolímero al 15%*

$$M_p = MT * P = 80g * 15\% = 80g * 0.15 = 12g$$

*Ecuación 16 Ma necesaria para fabricar 80g de biopolímero al 15%*

$$Ma = MT - Mp = 80g - 12g = 68g$$

Una vez se tienen estos valores se procede a mezclar y calentar la mezcla del biopolímero y el ácido por aproximadamente 5 minutos revolviendo la mezcla constantemente hasta obtener una textura uniforme y sin grumos. Ya se puede guardar el biopolímero líquido en las jeringas correspondientes. Se aclara que para este proyecto se utilizó Maizena como biopolímero, ya que proviene de origen natural, su adquisición es fácil y sirve para el fin propuesto. De esta manera se fabrica el biopolímero utilizado para la creación de las nanofibras en este proyecto en específico.

Cabe resaltar que las muestras tomadas anteriormente, mostradas en el apartado de validación, fueron dispuestas en una lámina de vidrio por unas pocas horas antes de ser guardadas en las bolsas herméticas. Como se puede observar en la ilustración 75, las primeras fibras realizadas (izquierda y centro) se observan más secas que las últimas fibras (derecha), por esta razón, el estudio de las últimas fibras bajo el microscopio fue más complejo ya que no se encontraban completamente secas.

*Ilustración 75 Fibras estudiadas bajo microscopio*



Fuente: (De los autores)

Para validar el funcionamiento del prototipo de máquina de *electrospinning*, se opta por realizar unas pruebas con polímero a base de maíz y dimethyl sulfoxide 99%, como se expuso anteriormente, las pruebas se realizan con diferentes densidades y velocidades. Al tener las fibras se procede a solicitar un laboratorio de la Fundación Universitaria Agraria de Colombia, que cuente con un microscopio. Solicitud que fue aceptada. El microscopio facilitado posee una cámara en la parte superior de 14 MPX con cuatro lentes de 10MPX y 40MPX. Se tomaron fotografías de lo observado las cuales se pueden ver a continuación junto con un análisis.

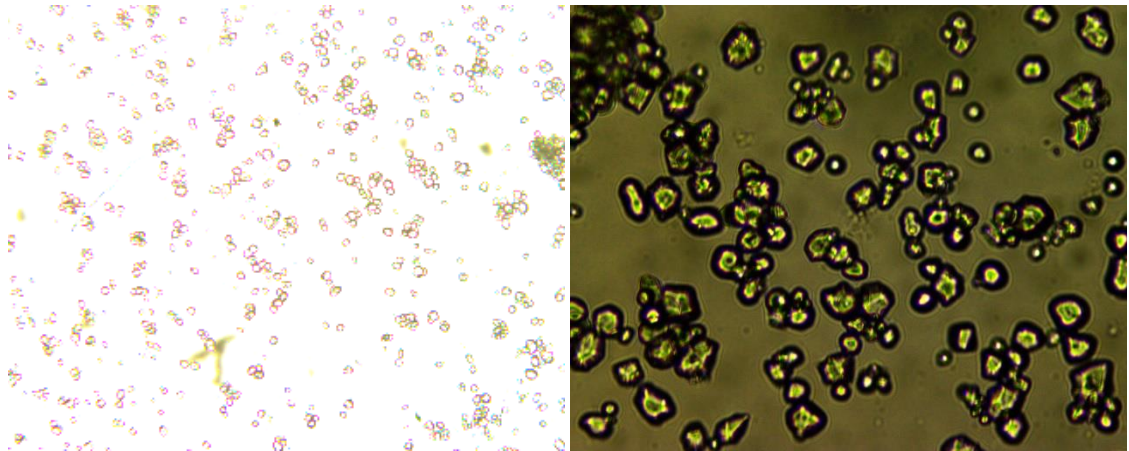
### Ilustración 76 Microscopio utilizado



Fuente: (De los autores)

Se observa el almidón nativo de maíz (ilustración 77) sin haber pasado por la máquina de *electrospinning*, en los cuales se puede observar los pequeños gránulos de maíz, primero con un aumento de 10X (izquierda) y verificando con el aumento de 40X (derecha).

### Ilustración 77 Biopolímero antes del proceso de *electrospinning*



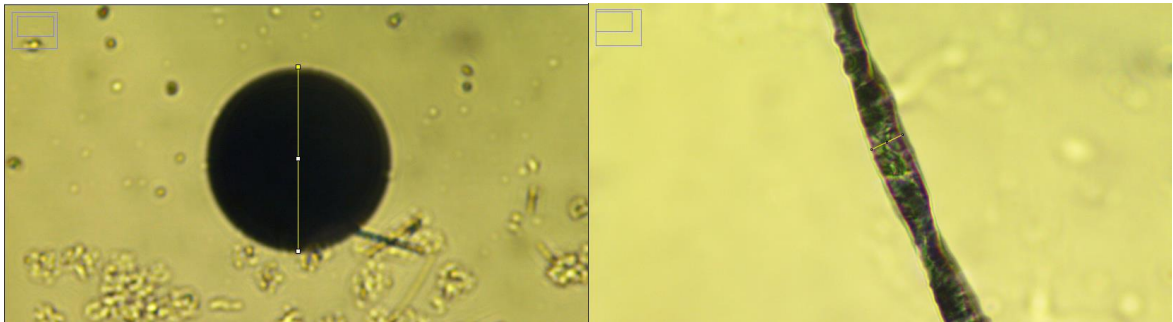
Fuente: (De los autores)

Para determinar el grosor de las fibras generadas se utilizó el software ImageJ en el cual se comparaban las imágenes con una distancia conocida de otra imagen tomada con el microscopio. El proceso para determinar estas distancias se describe a continuación.

Con el microscopio se realizó una captura de una imagen donde en ella aparece un círculo de 0.07mm de diámetro, esta es una medida predeterminada por el microscopio utilizado. Tiendo esta imagen, con el software ImageJ, se realiza una

línea por el diámetro del círculo y otra medida en la imagen tomada de la fibra. Se realiza un análisis en el software el cual arroja el valor del largo de dichas líneas en píxeles. Posteriormente, conociendo el diámetro del círculo y los píxeles de ambas líneas, se realiza un escala matemática sencilla. Un ejemplo a continuación.

*Ilustración 78 Imágenes comparadas*



Fuente: (De los autores)

En la anterior ilustración se puede observar las líneas realizadas en cada una de las imágenes tomadas con el microscopio, la ilustración de la izquierda es el círculo de 0.07mm y la ilustración de la derecha es la fibra generada.

*Ilustración 79 Resultados Software ImageJ*

Results						
File	Edit	Font	Results			
	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length
1	1045	20.005	10.000	129.333	-90.000	1044.000
2	137	70.693	42.826	179.404	28.072	136.000

Fuente: (De los autores)

Como se puede observar en la anterior ilustración, las líneas realizadas en el programa tienen un largo de 1044 píxeles y 136 píxeles respectivamente, análisis realizado con el software. Teniendo estos datos y utilizando la siguiente ecuación, se determina el diámetro de la fibra estudiada.

*Ecuación 17 Determinar diámetro fibras*

$$DF = \frac{PF * DC}{PC}$$

Donde DF es el diámetro de la fibra en mm, PF los píxeles de la fibra, DC el diámetro del círculo en mm y PC los píxeles del círculo. Despejando los valores del análisis mostrados en la ilustración 79 el resultado es el siguiente.

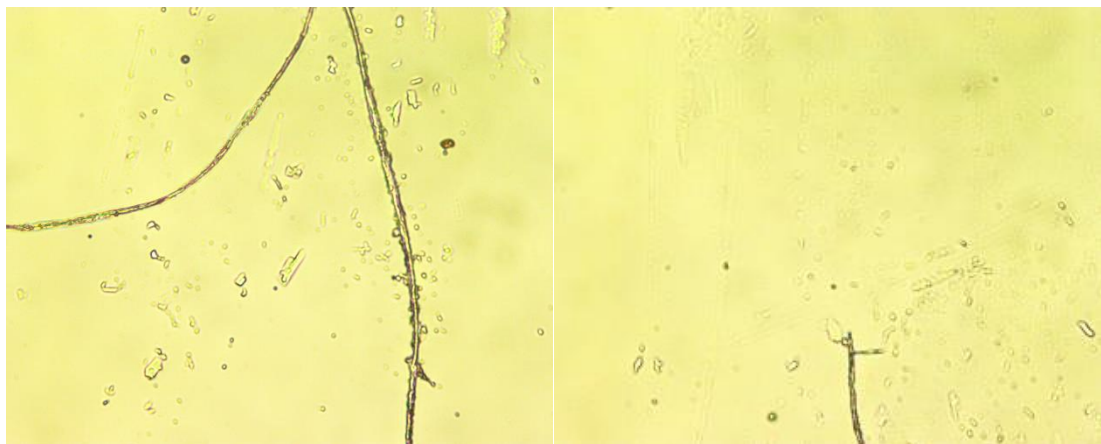
*Ecuación 18 Diámetro fibra de ejemplo*

$$DF = \frac{136 \text{ píxeles} * 0.07\text{mm}}{1044 \text{ píxeles}} = 0.00916\text{mm} \text{ ó } 9.16\mu\text{m}$$

Siendo así, la fibras estudiada en este ejemplo tiene un diámetro aproximadamente de 9.16µm. Se resalta que las operaciones llevadas a cabo corresponden a reglas de tres directas.

Las primera fibras a evaluar fueron creadas a un caudal de 6ml/h con una densidad del 10%, en estas se busca es acumulación de hilos delgados formando unos hilos más gruesos , las dos primeras imágenes tienen un aumento de 40X en los cuales se observan hilos continuos y ya no se observan los gránulos de maíz.

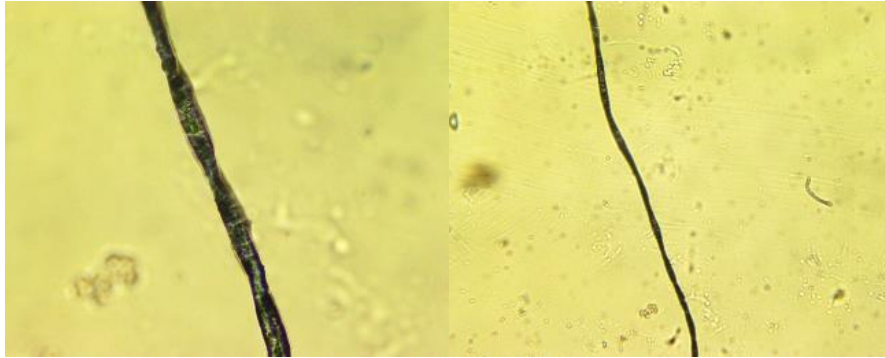
*Ilustración 80 Fibras biopolímero 6ml/h, 10% densidad aumento 40X*



Fuente: (De los autores)

Estas fibras tienen aproximadamente 36,35 píxeles de diámetro realizado el respectivo análisis en el software ImageJ, por lo tanto, se determinó que las fibras de 6ml/h tiene un diámetro aproximado de 0.0024mm, es decir, 2,4µm. Un diámetro significativamente pequeño.

*Ilustración 81 Fibras biopolímero 8ml/h, 10% densidad aumento 40X*



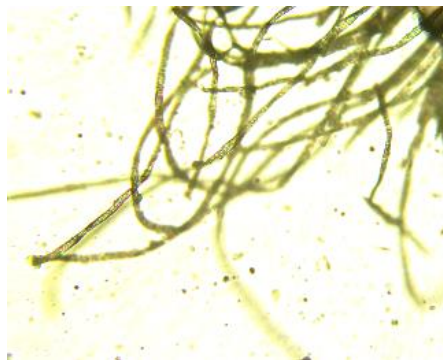
Fuente: (De los autores)

Las fibras de la ilustración 81 corresponden al análisis que sirvió de ejemplo y llevo a la ecuación 18, así que éstas fibras cuentan con un diámetro de  $9.16\mu\text{m}$ .

En la ilustración 81 se pueden observar las fibras generadas por la máquina, realizadas con una densidad de 10% a un caudal de 8ml/h, una temperatura promedio de  $25^{\circ}\text{C}$  y una humedad promedio de 46%. Con estas pruebas se puede validar el correcto funcionamiento de la máquina para generar fibras con estos parámetros.

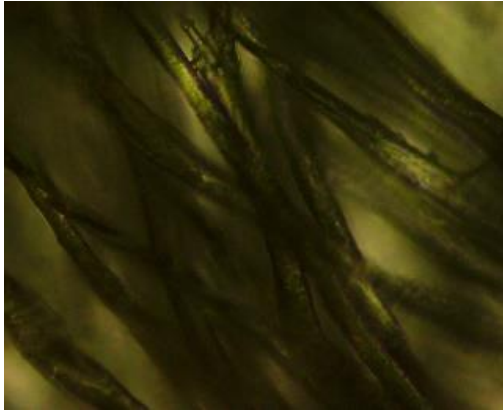
Las siguientes fibras que se evaluaron son las de 15ml/h con una densidad del 15%, de igual manera se busca acumulación de hilos delgados formando unos hilos más gruesos, la primera imagen con un aumento de 10X en la cual se puede observar con mayor facilidad y en más cantidad las fibras generadas y en el aumento de 40X donde se puede observar cómo mayor facilidad el diámetro de las fibras.

*Ilustración 82 Fibras biopolímero 15ml/h, 8% densidad aumento 10X*



Fuente: (De los autores)

*Ilustración 83 Fibras biopolímero 15ml/h, 8% densidad aumento 40X*



Fuente: (De los autores)

De igual manera se puede indicar que las fibras realizadas con los parámetros de las dos anteriores ilustraciones se pueden realizar con el prototipo construido. Estas fibras fueran construidas con una humedad relativa aproximada de 38% y una temperatura de 28°C. Analizando las fibras en el software ImageJ se determina que tienen un diámetro aproximadamente de 13.37 $\mu$ m.

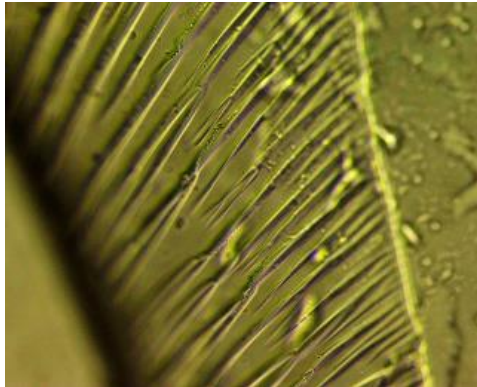
Se puede analizar de los estudios realizados que las fibras de 6ml/h son 6.76 $\mu$ m más delgadas que las fibras de 8ml/h y 10.94 $\mu$ m más delgadas con respecto a las fibras de 15ml/h, comparando las imágenes que cuentan con un aumento de 40X. De esta manera se comprueba lo descrito en el apartado teórico donde establecía que a mayor caudal de inyección de biopolímero las fibras saldrían más gruesas, por su parte, la densidad del líquido no afecto en gran escala (para la visualización en el microscopio) el diámetro de las fibras, ya que las densidades no eran significativamente diferentes. Sin embargo, visualmente, cuando las fibras se generaban en el proceso de electrohilado, le es más fácil al prototipo construido generar fibras con densidad más pequeñas debido a que debe ejercer menor fuerza el motor.

Se puede establecer que es más fácil observar las fibras con velocidad de 15ml/h y una densidad de 15% que las fibras realizadas a una velocidad de 6ml/h con una densidad de 10% esto es debido a la cantidad de inyección que se presenta en el momento de realizar las fibras en la máquina de *electrospinning*.

Continuando con el análisis, como fue explicado anteriormente, dos muestras tomadas aún no se encontraban completamente secas cuando se realizó el estudio

bajo el microscopio. En la siguiente ilustración se observa la imagen tomada de la muestras de 20ml/h correspondiente.

*Ilustración 84 Fibras biopolímero 20ml/h, 8% densidad aumento 40X*



Fuente: (De los autores)

En la ilustración 82 se puede observar partes en el lado derecho en las cuales se observan manchas más claras que corresponden al líquido aún presente en la fibra y que complico la búsqueda de las fibras generadas.

Durante una de las pruebas ejecutadas por los investigadores, se realizó una muestra a un caudal de 90 ml/h con temperatura de 24°C y humedad relativa de 54%, el resultado de dicha muestra a simple vista demuestra que este caudal no es el apropiado para genera fibras delgadas, por el contrario, es demasiado rápido para permitir la formación del cono de Taylor y Jet.

*Ilustración 85 Fibras biopolímero 90ml/h*



Fuente: (De los autores)

Se observa en la ilustración anterior un cumulo del biopolímero de color blanco, diferente al expuesto en las ilustraciones del apartado de validación de fibras, se puede ver que es completamente uniforme y no se observa generación de fibras. Se debe a que la velocidad de inyección de biopolímero es tan rápida que permite el paso constante de biopolímero sin generar los hilos delgados en la zona inestable del Jet y no permite la formación del cono de Taylor. Esta fue una de las primeras pruebas realizadas que les permitió a los investigadores cambiar parámetros de diseño en el software para permitir una correcta ejecución del sistema mecatrónico construido.

Por otro lado, al realizar varias pruebas, el equipo de investigadores da como principio los siguientes análisis y resultados:

El biopolímero cuenta con un ácido que le permite mantenerse líquido en todo momento antes de hacer la prueba, caso contrario que ocurre con el biopolímero a base de agua, el cual se solidifica si no se utiliza rápidamente, este ácido fue el responsable de agrietar los acrílicos utilizados en el prototipo, los cuales, a medida que más se utilizaba la máquina, más se agrietaban, por esta razón, se optó por utilizar una base en vidrio para la malla colectora, al igual que la caja que protege el proceso en el sistema colector, mostrando mejores resultados ya que el vidrio no se daña con la facilidad con la que se daña el acrílico. El acrílico no presentó las fortalezas que se habían planteado. Siendo así, se deja establecido en este informe que el uso del vidrio para cubrir todas las piezas de un proceso de *electrospinning* que utilice este biopolímero es más viable que el uso de acrílico por las razones ya expuestas.

Como ya fue expuesto, el biopolímero es expulsado de la jeringa y llevado hasta la aguja utilizando una extensión de insulina, de un material poco resistente y muy débil. Es recomendado fabricar las piezas de unión entre la jeringa y la aguja de un material más fuerte, resistente y aislante, ya que la extensión utilizada hay que cambiarla constantemente debido a que el ácido del biopolímero la daña hasta romperlo, igualmente, la tensión aplicada de 25kVDC en la aguja carga positivamente todo la maguera y está se rompe cuando entra en contacto con algún punto a tierra, esto implica gasto de recursos constantemente.

Si se requiere un análisis de las fibras más especializado, se recomienda utilizar microscopios que cuenten con mejor tecnología, así de esta manera se puede analizar las fibras teniendo en cuenta más parámetros y más variables. Un mejor microscopio le puede permitir al investigador analizar las diferencias de fibras a unas densidades más próximas o a unos caudales más cercanos entre sí. En esta oportunidad no se obtuvo la posibilidad de analizar las fibras generadas bajo un

microscopio con mejores características debido a la falta de recursos económicos que traería consigo el alquilar de dicho equipo, en su lugar, se utilizó el microscopio de la Universidad el cual era prestado y supervisado por su personal. Sin embargo, fue suficiente para indicar el funcionamiento del prototipo y analizar las muestras bajo los parámetros establecidos en el inicio de la investigación. Sí lo requerido es analizar las fibras teniendo en cuenta la temperatura y humedad, se recomienda el uso de microscopios más avanzados.

## 9. RECURSOS UTILIZADOS

En la Tabla 18 se detallan los costos de los recursos humanos, materiales y técnicos necesarios para llevar a cabo la implementación del prototipo de electrospinning. Por otro lado, en la Tabla 19 se muestra el presupuesto propuesto en el documento del anteproyecto. Finalmente, en la Tabla 20 se presenta un comparativo entre ambas tablas, lo que permitirá realizar un análisis más detallado.

*Tabla 18 Recursos utilizados*

Detalle recurso	Unidad	Cant.	Valor	Valor total	Patrocinio universidad	Estudiantes
<b>Recursos humanos</b>						
<b>Estudiante</b>	Hora	300	\$ 15.000	\$ 4.500.000		\$ 4.500.000
<b>Profesor director</b>	Hora	30	\$ 45.000	\$ 1.350.000	\$ 1.350.000	
<b>Materiales</b>						
<b>Perfil acero</b>	Metro	8	\$ 10.000	\$ 80.000		\$ 80.000
<b>Acrílico 5mm</b>	Lamina	3	\$ 45.000	\$ 135.000	\$ 135.000	
<b>Arduino</b>	Unidad	1	\$ 75.000	\$ 75.000		\$ 75.000
<b>Motor paso Nema 17</b>	Unidad	1	\$ 90.000	\$ 90.000	\$ 90.000	
<b>Driver motor</b>	Unidad	1	\$ 30.000	\$ 30.000		\$ 30.000
<b>KBD</b>	Unidad	1	\$ 12.000	\$ 12.000		\$ 12.000
<b>LCD</b>	Unidad	1	\$ 12.000	\$ 12.000		\$ 12.000
<b>Pulsador</b>	Unidad	7	\$ 1.000	\$ 7.000	\$ 7.000	
<b>Resistencia</b>	Unidad	1	\$ 45.000	\$ 45.000		\$ 45.000
<b>Ventilador</b>	Unidad	2	\$ 10.000	\$ 20.000		\$ 20.000
<b>Relés</b>	Unidad	3	\$ 2.500	\$ 7.500		\$ 7.500
<b>Leds</b>	Unidad	3	\$ 200	\$ 600		\$ 600
<b>Elementos pasivos</b>	Unidad	10	\$ 200	\$ 2.000		\$ 2.000
<b>Cable</b>	Metro	10	\$ 1.000	\$ 10.000		\$ 10.000
<b>PLA</b>	Rollo	1	\$ 75.000	\$ 75.000	\$ 75.000	
<b>Fuente de voltaje 12V</b>	Unidad	2	\$ 25.000	\$ 50.000		\$ 50.000
<b>Varilla roscada 300mm</b>	Unidad	1	\$ 22.000	\$ 22.000		\$ 22.000
<b>Acoples</b>	Unidad	2	\$ 5.500	\$ 11.000		\$ 11.000
<b>Varilla lisa 1 metro</b>	Unidad	1	\$ 22.000	\$ 22.000		\$ 22.000
<b>Rodamiento</b>	Unidad	3	\$ 2.500	\$ 7.500		\$ 7.500
<b>Tornillería</b>	Unidad	30	\$ 600	\$ 18.000		\$ 18.000
<b>Caja Petri</b>	Unidad	1	\$ 6.000	\$ 6.000	\$ 6.000	
<b>Materiales usados para construcción</b>	Unidad	1	\$ 100.000	\$ 100.000		\$ 100.000

Detalle recurso	Unidad	Cant.	Valor	Valor total	Patrocinio universidad	Estudiantes
<b>Técnicos</b>						
<b>SolidWorks</b>	Unidad	1	\$ 21.364.849	\$ 21.364.849	\$ 21.364.849	
<b>Proteus</b>	Unidad	1	\$ 152.598	\$ 152.598	\$ 152.598	
<b>Arduino APP</b>	Unidad	1	\$ 0	\$ 0		
<b>Microscopio</b>	Hora	3	\$ 76.395	\$ 76.395	\$ 76.395	
<b>Office 365</b>	Unidad	1	\$ 220.000	\$ 220.000	\$ 220.000	
			<b>TOTAL:</b>	<b>\$ 28.501.442</b>	<b>\$ 23.476.842</b>	<b>\$ 5.024.600</b>

Fuente: (De los autores)

*Tabla 19 Recursos presupuestados en anteproyecto*

Cantidad	Rubro	Detalle	Unidad	Valor	Valor total
<b>Mano de obra(Mes)</b>					
2	Personal	Estudiante universitario	Hora	\$15.000	\$15.000
1		Profesor director	Hora	\$45.000	\$45.000
<b>Total</b>				<b>\$2'940.000</b>	<b>\$2'940.000</b>
<b>Materiales mecánicos</b>					
<b>Total</b>				<b>\$800.000</b>	<b>\$800.000</b>
<b>Materiales eléctricos</b>					
<b>Total</b>				<b>\$400.000</b>	<b>\$400.000</b>
<b>Materiales electrónicos</b>					
<b>Total</b>				<b>\$200.000</b>	<b>\$200.000</b>
<b>Software(Mes)</b>					
<b>Total</b>				<b>\$21'000.000</b>	<b>\$21'000.000</b>
<b>Otros</b>					
<b>Total</b>				<b>\$170.000</b>	<b>\$170.000</b>
<b>Total general</b>					
<b>Total</b>				<b>\$3'145.000</b>	<b>\$3'145.000</b>

Fuente: (De los autores)

*Tabla 20 Comparación presupuestal*

Detalle	Presupuesto	Ejecutado	Diferencia	Porcentaje
Recursos humanos	\$ 2.940.000	\$ 4.500.000,00	-\$ 1.560.000,00	-53,06%
Recursos materiales	\$ 1.400.000	\$ 850.950,00	\$ 549.050,00	39,22%
Recursos técnicos	\$ 21.000.000,00	\$ 22.033.842,00	-\$ 1.033.842,00	-4,92%
Otros	\$ 170.000,00	\$ 0,00	\$ 170.000,00	100,00%
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 25.510.000,00</b>	<b>\$ 27.384.792,00</b>	<b>-\$ 1.874.792,00</b>	<b>-7,35%</b>

Fuente: (De los autores)

Para sacar una comparativa de costos de presupuesto contra costo de ejecución se procede a obtener los datos de la tabla 19 (Recursos presupuestados en anteproyecto), la cual dará un costo de recurso humano, recurso de materiales, recurso técnicos y otros, se aclara que tanto los recursos humanos y técnicos están calculados por mes, por lo cual para tener un estimado, se saca el total de meses trabajados para tener un presupuesto total, de igual manera se procede a obtener los datos de la tabla 18 (Recursos utilizados) sacando los mismos datos que se obtuvieron de la tabla 19.

Con estos datos se realiza la tabla 20 (comparación presupuestal) la cual dirá que diferencia hay entre los costos de presupuestos y los costos de ejecución por medio de porcentajes.

Recursos humanos (-53,06%) tiene un aumento significativo que se debe a los diferentes problemas que se presentaron a la hora del montaje y la ejecución de pruebas, ya que se tuvo que dedicar más tiempo para poder solucionar los diferentes problemas, además que esta técnica cuenta con un campo de investigación extenso y la verificación de información llegó a necesitar más tiempo de lo previsto. Recursos materiales (39,22%) presentó un ahorro debido a varios factores como lo son la compra de las tiras completas de perfil para la estructura de igual manera de los acrílicos en vez de comprarlos ya cortados, en los materiales electrónicos se buscaron proveedores que vendían los componentes más económicos. Recursos técnicos (-4,92%) tuvo un aumento que se debe en su mayoría a que la licencia de los programas utilizados se paga con moneda estadounidense. Total (-7,35%) que se justifica con los gastos adicionales los cuales llegaron a ser de \$1.874.792,00 en mayor respectiva por el aumento del recurso humano.

## 10. CONCLUSIONES

Se implemento un prototipo de electrospinning con el cual se lograron obtener fibras a partir de almidón de maíz gelatinizado. Para la obtención de las fibras, se realizó un análisis y cambios técnicos considerando las variables climáticas que no se pueden controlar. Una de estas variables corresponde a la estática que existen en el ambiente y que interviene en el proceso de creación de fibras directamente, ya que las cargas acumuladas en la jeringa buscan saltar al punto más cercano con el que puedan hacer una tierra, por eso en muchas oportunidades el Jet generado no iba directamente a la malla con el polo negativo, si no que salta a un punto en el ambiente y vuelve rápidamente a la malla. Esto generaba desperdicio de material (biopolímero), menor eficiencia del proceso y muestras inservibles. Otro facto ambiental determinante fue la humedad, que afecta el material durante el proceso de electro hilado.

El diseño de la cabina de vidrio permite mantener el calor interno por más tiempo sin presentar dilataciones. Se deja esto establecido ya que el acrílico se agrietaba o se doblada al pasar del tiempo por el calor que la resistencia calefactora emanaba hacía el ambiente, además de esto, el vidrio le facilita aumentar el rango de temperatura y humedad interna que se puede manejar, ya que el intercambio de calor con el exterior es menor.

Algunos elementos electrónicos se vieron afectados por la fuente de alto voltaje, debido a que esta tiene un campo electromagnético amplio y genera frecuencias que los afecta. Durante las primeras pruebas, la fuente afectó fuentes de poder de 12V, motores, drivers, LCD y el Arduino. Por esta razón se realizaron varios cambios en el diseño, el principal fue ubicar la fuente de alto voltaje en la parte superior de la máquina y encerrarla en una caja construida en acrílico para protegerla de golpes y ubicar los cables que llevaban el voltaje de tal manera en que no afectaran la estructura metálica para no descargar la energía en ella. Sin embargo, el campo electromagnético es tan grande que alcanza a afectar instrumentos y materiales como las varillas o los sensores finales de carrera impidiendo en muchas oportunidades el correcto funcionamiento del prototipo. Por esta razón, se recomienda realizar la estructura en un material no conductor y proteger todos los circuitos electrónicos con jaulas de Faraday.

Debido a los mismo problemas presentados anteriormente relacionados con la estática y la fuente de alto voltaje, las distancia entre la aguja y colector tuvo que ser reducida en mayor medida de lo calculado en un principio, ya que de esta manera, entre más cerca este la aguja del colector, mejor va a hacer la atracción entre las partículas negativas y positivas, por su parte, se recomiendo utilizar en vez

de una caja de Petri un recipiente en vidrio más largo que cubra mayor volumen y de esta manera evitar el desperdicio en gran escala del biopolímero, además, esto brindaría otra protección más al sistema de colector contra mugre o del mismo campo electromagnético.

La máquina construida cuenta con una configuración en la programación que le permite realizar un secado de fibras el cual lleva la temperatura hasta 35°C. Para brindar un mejor uso a esta función se recomienda utilizar materiales que permitan la conservación de calor interna por más tiempo, como puede ser la fibra de vidrio, igualmente, se podrían utilizar mejores actuadores para realizar este proceso con mejor eficiencia.

Las mejores muestras recolectadas se dan con valores de caudal bajo; éstas muestras cumplen con las características de fibras a escala nano y micrométricas. Las variables de temperatura y humedad no reflejaban diferencias en las fibras generadas, aunque si cambia la morfología.

Se concluyó con éxito todas las etapas de la metodología y los objetivos propuestos; se resalta la etapa de validación y diseño de la programación, funcionamiento mecánico y funcionamiento electrónico, en sí, el sistema mecatrónico construido, el cual cumple con todas las características propuestas y es capaz con presión de ejecutar las tareas encomendadas justificado con imágenes, formulas, tablas y graficas a lo largo del informe. Igualmente, las simulaciones realizadas cumplen con las expectativas y dieron base a los investigadores para proceder con la ejecución y construcción del proyecto.

## 11. RECOMENDACIONES

Los materiales que se usaron (acrílico, perfil de acero) no fueron los indicados ya que el acrílico al entrar en contacto con el polímero este se incorporaba por medio de sus partículas dando aspecto de que se cuartara, de igual manera al entrar en contacto la resistencia de calor se pandeaba porque no aguantaba la temperatura que se usaba; en el caso del acero a tener una fuente de alto voltaje la estática que se genera se acumulaba en la estructura generando más problemas de estática al cargarse la estructura.

Por este motivo se aconseja la búsqueda de diferentes materiales como lo puede ser el vidrio templado para facilitar tanto limpieza como aumento de vida útil y para a parte de la estructura buscar un material que cumpla las características de aislante eléctrico para evitar que se cargue la estructura

Es importante tener precaución cuando se trabaja con materiales corrosivos como polímeros. Si se ha observado que el polímero es altamente corrosivo, se recomienda que las partes que entren en contacto con él sean resistentes a la corrosión y tengan características aislantes eléctricas.

Para evitar la corrosión, es posible que se deba recubrir las partes metálicas con materiales resistentes a la corrosión como el acero inoxidable o el titanio. También puede ser necesario utilizar materiales aislantes eléctricos para evitar cortocircuitos y otros problemas eléctricos. Estos materiales pueden incluir plásticos, resinas, cerámicas, entre otros

Para optimizar el rendimiento y cuidado de las partes electrónicas se recomienda dividir el circuito del sistema de inyección y utilizar técnicas de aislamiento y filtros, puede ayudar a optimizar el rendimiento y cuidado de las partes electrónicas en una máquina, reduciendo la interferencia eléctrica y aumentando la fiabilidad del sistema en general.

Los conectores se pueden diseñar de diferentes maneras, dependiendo de los requisitos específicos de la máquina y los componentes. Por ejemplo, se pueden utilizar conectores de tipo Luer, que son ampliamente utilizados en la industria médica y farmacéutica para la conexión de jeringas y agujas. Otra opción es utilizar conectores de rosca que se adapten al tamaño y tipo de la aguja y jeringa que se está utilizando. Estos conectores se pueden diseñar para facilitar el cambio de componentes y reducir el riesgo de fugas de polímero.

Una opción es cambiar el motor por un motor paso a paso más lento que proporcione un flujo de polímero más bajo. Los motores paso a paso tienen la ventaja de ser muy precisos y controlables en términos de velocidad y posicionamiento, lo que puede ser útil para controlar con precisión el flujo de polímero de igual manera la adaptación de una caja reductora puede ser una solución más simple que cambiar el motor completo para lograr un flujo de polímero menor, ya que solo se requiere modificar el sistema de transmisión. Sin embargo, es importante asegurarse de que la caja reductora sea compatible con el motor y la máquina en general

Hay varios tipos de materiales de impresión 3D disponibles en el mercado, cada uno con diferentes propiedades y características. Es importante seleccionar el material adecuado para la aplicación específica y para garantizar que cumpla con los requisitos de seguridad y rendimiento.

Por ejemplo, algunos materiales de impresión 3D comunes como ABS y PLA pueden ser inflamables y no son adecuados para su uso en entornos con altas temperaturas o en presencia de llamas abiertas. En cambio, materiales como el PETG o el nylon son menos inflamables y pueden ser más adecuados para su uso en aplicaciones de inyección de polímeros.

Del mismo modo, algunos materiales de impresión 3D pueden ser conductores eléctricos, lo que puede representar un riesgo para la seguridad de la máquina. Los materiales aislantes, como el PETG o el TPU, pueden ser más adecuados para su uso en aplicaciones de inyección de polímeros.

En resumen, se recomienda evaluar cuidadosamente los materiales de impresión 3D disponibles y seleccionar aquellos que sean adecuados para la aplicación específica y que cumplan con los requisitos de seguridad y rendimiento.

## 12. BIBLIOGRAFÍA

- 3DViewStation de Kisters. (2020, March 12). <https://www.3dcadportal.com/3dviewstation-de-kisters-un-visualizador-cad-que-combina-funciones-sencillas-y-tiene-un-gran-desempeno.html>
- ABRAHAM, P, C., & F, B. (2008). *Matrices poliuretánicas nano fibrosas obtenidas por el proceso de electrospinning*.  
[https://www.conicet.gov.ar/new\\_scp/detalle.php?keywords=&id=20281&congresos=yes&detalles=yes&congr\\_id=977390](https://www.conicet.gov.ar/new_scp/detalle.php?keywords=&id=20281&congresos=yes&detalles=yes&congr_id=977390)
- AEA. (n.d.). *El aluminio*. Retrieved February 16, 2022, from <https://www.asoc-aluminio.es/el-aluminio/el-aluminio>
- AENOR. (2010). *Actualidad Normativa-Nanotecnologías*. [www.aenor.es](http://www.aenor.es)
- Alacero. (n.d.). *Características del Acero*. Retrieved April 2, 2021, from <https://www.alacero.org/es/page/el-acero/caracteristicas-del-acero>
- Alibaba. (n.d.). *Electrospinning-Electrospinning Manufacturers, Suppliers and Exporters on Alibaba.com Metal Coating Machinery*. Retrieved November 13, 2022, from [https://spanish.alibaba.com/trade/search?fsb=y&IndexArea=product\\_en&CatId=&tab=all&SearchText=electrospinning&selectedTab=product\\_en](https://spanish.alibaba.com/trade/search?fsb=y&IndexArea=product_en&CatId=&tab=all&SearchText=electrospinning&selectedTab=product_en)
- Alsimet. (2020, April 21). *7 diferencias entre el aluminio y el acero inoxidable*. <http://www.alsimet.es/es/noticias/7-diferencias-entre-el-aluminio-y-el-acero-inoxidable>
- Alu-Stock. (n.d.). *Aluminio, Información técnica, historia y propiedades* · Alu-Stock S.A. Retrieved February 7, 2022, from <https://www.alu-stock.es/es/informacion-tecnica/el-aluminio/>
- Álvarez, E. E., & Sánchez, P. G. (2006). *La fibra dietética*. [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0212-16112006000500007](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112006000500007)
- Andres, J., Cifuentes, G., Rojas, A. M., Durango, C. J., Blanco, S. I., Gutierrez, E., Laiton, J. C., Avila, Y. P., Marin, O., Garces, A. F., & Quimica, I. (2019). *PRESENTACIÓN El Simposio de Química Aplicada ( SIQUIA ) es un evento bianual realizado por el programa de química de la Universidad del Quindío , en el participan investigadores a nivel nacional e internacional , dando a conocer resultados de investigac.*
- Arkiplus. (n.d.). *Propiedades del acrílico*. Retrieved February 15, 2022, from <https://www.arkiplus.com/propiedades-del-acrilico/>
- Aulavirtual. (n.d.). *Microprocesador*. Retrieved February 17, 2022, from [http://aulavirtual.sld.cu/pluginfile.php/6321/mod\\_imsdp/content/1/microprocesador\\_de\\_una\\_computadora.html](http://aulavirtual.sld.cu/pluginfile.php/6321/mod_imsdp/content/1/microprocesador_de_una_computadora.html)
- Bhardwaj, N., & Kundu, S. C. (2020). Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique. *Biotechnology Advances*, 28(3), 325–347. <https://doi.org/10.1016/J.BIOTECHADV.2010.01.004>
- Ley 40/2015, de 1 de octubre, de Régimen Jurídico del Sector Público.*, (2015) (testimony of BOE). <https://www.boe.es/buscar/pdf/2015/BOE-A-2015-10566-consolidado.pdf>
- Buechel, T. (2021, April 12). *¿Qué es CIC y cuál es su importancia? Parte 1 | PRO-MIX*. <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/que-es-cic-y-cual-es-su-importancia-parte-1/>
- C. Lucía. (2019, August 19). *Guía completa: el filamento PLA en la impresión 3D - 3Dnatives*. <https://www.3dnatives.com/es/guia-filamento-pla-en-la-impresion-3d-190820192/#!>
- C, L. (2019, March 18). *TOP 10 con los mejores softwares CAD para todos los niveles - 3Dnatives*. <https://www.3dnatives.com/es/mejores-softwares-cad-programa-180320192/#!>
- Caicedo, C., Cerda, A., Ospina Orejarena, A., Vázquez, A., & Maturana, H. (2015). Obtención de nanofibras a base de Quitosano y PVA mediante la técnica de electrospinning. *Informador Técnico*, 79, 43–45.
- Calzón Gutiérrez, A. (2016). *DESARROLLO DE UN EQUIPO DE ELECTROSPINNING PARA OBTENCIÓN DE NANOFIBRAS ALINEADAS DE RECOMBINÁMEROS TIPO ELASTINA* [Universidad de Valladolid]. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/18336/TFG-I-430.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Cameán Martínez, I., Cuesta Pedrayes, N., Llobet, S. de, García Suárez, A. B., Moliner Álvarez, R., Pinilla Ibarz, J. L., Ramos Alonso, A., & Suelves Laiglesia, I. (2013). *Procedimiento de preparación de nanofibras de grafito a partir de biogás*.
- Cano, F., Tormero, J. A., & Naik, A. (2010). *PRODUCCIÓN DE NANOFIBRAS A PARTIR DE UN DISEÑO INNOVADOR DE MÁQUINA PROTOTIPO DE ELECTROSPINNING*. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/79470/Cano, F. Producción de nanofibras a partir de un diseño innovador de máquina prototipo de electrospinning.pdf>
- Cardona Echavarría, A. C., Lucía, A., Martínez, M., & Montoya, M. M. (2013). Recibido: Mayo 2 de 2013; aceptado: Julio 30 de 2013. *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín*, 66(2), 7129–7140.
- CHANGZHOU SONGYANG. (n.d.). *Hoja de datos motor paso Nema 17*. Retrieved January 17, 2023, from <https://www.pololu.com/file/0J714/SY42STH38-1684A.pdf>
- Computer Hoy. (n.d.). *Los mejores procesadores gaming del momento*. Retrieved June 7, 2021, from <https://computerhoy.com/noticias/zona-gaming/mejores-procesadores-gaming-del-momento-73601>
- Coronel, L. (n.d.). *Controlador y microcontrolador*. Retrieved June 7, 2021, from <https://docplayer.es/15740694-Microcontroladores-1-controlador-y-microcontrolador.html>
- Definiciona. (n.d.). *Significado y definición de ferroso*. Retrieved February 17, 2022, from <https://definiciona.com/ferroso/>
- DEWESoft. (2020, March 9). *¿Qué es un Sensor y Qué Hace? | Dewesoft*. <https://dewesoft.com/es/daq/que-es-un-sensor#what-do-sensors-do>
- DNP. (2016, March 28). *Colombianos botan 9,76 millones de toneladas de comida al año*. <https://www.dnp.gov.co/Paginas/Colombianos-botan-9,76-millones-de-toneladas-de-comida-al-año.aspx>
- Duque Sánchez, L. M., Rodríguez, L., & López, M. (2014). Electrospinning: La era de las nanofibras. En: Revista Iberoamericana de Polímeros. In *Revista Iberoamericana de Polímeros Volumen* (Vol. 14, Issue 1).
- E-Marmolejo, R. (2017). *Microcontrolador - qué es y para que sirve - HETPRO/TUTORIALES*. <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/microcontrolador/>
- Echeverri Holguin, L. A., & Reyes Pineda, H. (2013). *Comportamiento hidrodinámico de un reactor electroquímico para recuperar residuos en la fabricación de películas semiconductoras*. 35–43. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-11292013000100004&script=sci\\_abstract&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-11292013000100004&script=sci_abstract&tlng=es)
- Editorial Control. (2019, September 19). *'Plug and work' con actuadores eléctricos*. <http://www.edcontrol.com/index.php/elementos/elementos-27/item/189-plug-and-work-con-actuadores-electricos>
- Electrospinning - Nanoscience Instruments*. (n.d.). Retrieved April 5, 2021, from <https://www.nanoscience.com/techniques/electrospin/>
- Eltium. (n.d.). *HYBRID STEPPER MOTOR – NEMA 17*. Retrieved November 19, 2022, from <http://www.eltium.net/Content/upload/files/0e3a37aa85a14e359df74fa77eded3f6.pdf?time=1614051837>
- Equipo Ferros Planes. (2018, June 8). *El laminado en frío y en caliente: diferencias y ventajas*. <https://ferrosplanes.com/laminado-en-frio-en-caliente-ventajas/>
- Etecé. (2021, August 5). *Exactitud - Concepto, ejemplos, instrumentos de medición*. <https://concepto.de/exactitud/>
- ETIGO. (2019, August 20). *Poliamida 11*. <https://www.etigo.fr/es/blog/p-poliamida-11>
- Faba, L., Díaz, E., & Ordoñez, S. (2014). Transformación de biomasa en biocombustibles de segunda generación. *SciElo*, 20(3). [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-04712014000300002](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712014000300002)
- Fernández, Y. (2020, August 3). *Qué es Arduino, cómo funciona y qué puedes hacer con uno*. <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>
- Fernández, Y. (2021, March 17). *CPU: qué es, cómo es y para qué sirve*. <https://www.xataka.com/basics/cpu-que-como-sirve>
- Fluido no newtoniano*. (n.d.). Retrieved February 17, 2022, from [https://www.ucm.es/data/cont/docs/76-2015-03-19-Fluido no newtoniano.pdf](https://www.ucm.es/data/cont/docs/76-2015-03-19-Fluido%20no%20newtoniano.pdf)

- Frax, J. (n.d.). *MATERIALES*. Retrieved February 15, 2022, from <http://joelfrax.com/materiales/materiales.html>
- Gamboa, W., Mantilla, O., & Castillo, V. (2007). *PRODUCCIÓN DE MICRO Y NANO FIBRAS A PARTIR DE LA TÉCNICA “ELECTROSPINNING” PARA APLICACIONES FARMACOLÓGICAS*. <http://cencomed.sld.cu/socbio2007/trabajos/pdf/t053.pdf>
- García, Y. G., Contreras, J., González, O., & Córdova, J. (2013). SÍNTESIS Y BIODEGRADACIÓN DE POLIHIDROXIALCANOATOS: PLÁSTICOS DE ORIGEN MICROBIANO. *Int. Contam. Ambie.*, 29(1), 77–115. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v29n1/v29n1a7.pdf>
- Gaviria Arias, D., & Caballero Mendez, L. C. (2020). Uso de biomateriales a partir de la fibroína de la seda de gusano de seda (*Bombyx mori* L.) Para procesos de medicina regenerativa basada en ingeniería de tejidos. *Revista Médica de Risaralda*, 21(1), 38–47. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0122-06672015000100008&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-06672015000100008&lng=en&nrm=iso&tlng=es)
- Gonza. (2009, April 27). *Diseño de interfaces perceptuales para XO*. <http://puiceibalxo.blogspot.com/2009/04/perceptual-user-interface-pui.html>
- Gonzales Molfino, H. M., Alcalde Yañez, A., Valverde Morón, V. V., & Villanueva Salvatierra, D. V. (2020). Electrospinning: Advances and applications in the field of biomedicine. *Revista de La Facultad de Medicina Humana*, 20(4), 706–713. <https://doi.org/10.25176/rfmh.v20i4.3004>
- Guanuchi, D. (2021). *TIPOS DE INTERFACES GRAFICAS*. <https://www.goconqr.com/es/mindmap/3616541/tipos-de-interfaces-graficas>
- Guerrero, O. E. (2008). *PROCESOS DE MANUFACTURA*. [https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/4998/332571\\_Modulo2011.pdf;jsessionid=D041C4563A6CDAE618B1D04571428D08.jvm1?sequence=1](https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/4998/332571_Modulo2011.pdf;jsessionid=D041C4563A6CDAE618B1D04571428D08.jvm1?sequence=1)
- Guía Digital. (n.d.). *¿Qué es una Interfaz?*. Retrieved February 17, 2022, from <https://www.guiadigital.gob.cl/articulo/que-es-una-interfaz.html>
- HBK Company. (n.d.). *Sensores | HBM*. Retrieved June 7, 2021, from <https://www.hbm.com/es/5501/sensores/>
- Hernández, S. (n.d.). *Arquitectura de microcontroladores*. Retrieved February 17, 2022, from <http://sherlin.xbot.es/microcontroladores/introduccion-a-los-microcontroladores/arquitectura-de-microcontroladores>
- Homayoni, H., Ravandi, S. A. H., & Valizadeh, M. (2009). Electrospinning of chitosan nanofibers: Processing optimization. *Carbohydrate Polymers*, 77(3), 656–661. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.02.008>
- Huamaní Rivera, E. (2011). Síntesis y caracterización de nano y microfibras de PVA/plata fabricados por la técnica de electrospinning para la descontaminación de agua. *Universidad Nacional de Ingeniería*. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/331>
- Ilerna. (2019, June 4). *La representación tridimensional: longitud, altura y profundidad*. <https://www.ilerna.es/blog/fp-a-distancia/3d/representacion-tridimensional/>
- INACAL. (n.d.). *ISO 29701:2010(en), Nanotechnologies — Endotoxin test on nanomaterial samples for in vitro systems — Limulus amoebocyte lysate (LAL) test*. Retrieved February 17, 2022, from <https://inacal.isolutions.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:29701:ed-1:v1:en>
- Ingertec. (n.d.). *UNE-EN ISO 12100 2012 Seguridad de las máquinas*. Retrieved February 17, 2022, from <https://ingertec.com/une-en-iso-121002012-seguridad-de-las-maquinas/>
- Innovadores. (2015, February 25). *¿Qué es y para qué sirve la catálisis? | Innovadores | EL MUNDO*. <https://www.elmundo.es/economia/2015/02/25/54eda7dce2704ed5618b4577.html>
- Jnablog. (2018, December 20). *Principales diferencias entre el aluminio y el acero*. <https://jnablog.com.pe/blog/principales-diferencias-aluminio-acero-inoxidable/>
- Ka Coverings. (n.d.). *¿Qué es un Composite?* Retrieved February 17, 2022, from <https://www.kacoverings.com/que-es-un-composite/>
- Kalimat. (n.d.). *Metal Desplegado Pesado*. Retrieved November 16, 2022, from <https://www.kalimat.com.ar/mallas/577-metal-desplegado-pesado-600-32-6-kg-m2-15-x-3-mts.html>
- Lee Ivester, A., & Neefus, J. D. (n.d.). *INDUSTRIA DE PRODUCTOS TEXTILES INDUSTRIAS TEXTILES Y DE LA CONFECCION*.

- Li, H., Chen, X., Lu, W., Wang, J., Xu, Y., & Guo, Y. (2021). Application of electrospinning in antibacterial field. *Nanomaterials*, 11(7), 1–29. <https://doi.org/10.3390/nano11071822>
- Liliana, L. F., Efrén Vera-Graziano, Camacho Bernardo, Salguero Gustavo, Silva-Cote Ingrid, & Muñoz-Prieto R. (2019). Andamios eletrohilados de poli Electrospun poly( $\epsilon$ -caprolactone)/collagen scaffolds with potential use for skin regeneration. *Ciencia En Desarrollo*, 10(2). <https://doi.org/10.19053/01217488.v10.n2.2019.9841>
- Liu, T. (2013). Aosong Electronics Co ., Ltd. In *Digital-output relative humidity & temperature sensor/module(DHT22)* (Vol. 22, pp. 1–10).
- Luchetti, S. (2021, June 1). *Sistema embebido y sus características*. <https://tech.tribalyte.eu/blog-sistema-embellido-caracteristicas>
- Luis Llamas. (2016, August 23). *Motores paso a paso con Arduino y driver A4988 o DRV8825*. <https://www.luisllamas.es/motores-paso-paso-arduino-driver-a4988-drv8825/>
- Manuel, L., & Oliveira, B. (2011). *Automatização e controlo de um sistema de electrospinning*. <https://core.ac.uk/download/pdf/55617963.pdf>
- Martínez-Pérez, C. A. (2020). Electrospinning: A promising technique for drug delivery systems. *Reviews on Advanced Materials Science*, 59(1), 441–454. <https://doi.org/10.1515/rams-2020-0041>
- Meixueiro, C. D. (2016). *Efectos de la corriente sobre el cono de Taylor durante el electrohilado*. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.
- Mendoza, J. (2014, September 19). *Tipos y Enfoques de Investigacion*. <https://es.slideshare.net/JosMendoza1/tipos-de-investigacion-39300879>
- MinEnergía. (2013). *ANEXO GENERAL DEL RETIE RESOLUCIÓN 9 0708 DE AGOSTO 30 DE 2013 CON SUS AJUSTES ANEXO GENERAL REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS (RETIE)*. <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/1179442/Anexo+General+del+RETIE+vigente+actualizado+a+2015-1.pdf/57874c58-e61e-4104-8b8c-b64dbabedb13>
- Molfino, H. M. G., Alcalde-Yañez, A., Valverde-Morón, V., Villanueva-Salvatierra, D., Molfino, H. M. G., Alcalde-Yañez, A., Valverde-Morón, V., & Villanueva-Salvatierra, D. (2020). Electrospinning: Avances y aplicaciones en el campo de la biomedicina. *Revista de La Facultad de Medicina Humana*, 20(4), 706–713. <https://doi.org/10.25176/RFMH.V2014.3004>
- Moreira, A., Lawson, D., Onyekuru, L., Dziemidowicz, K., Angkawinitwong, U., Costa, P. F., Radacsi, N., & Williams, G. R. (2021). Protein encapsulation by electrospinning and electrospraying. *Journal of Controlled Release*, 329, 1172–1197. <https://doi.org/10.1016/J.JCONREL.2020.10.046>
- NaturePlast. (n.d.). *HISTORIA DE LOS BIOPLÁSTICOS - NaturePlast*. Retrieved April 11, 2021, from <http://natureplast.eu/es/el-mercado-de-los-bioplásticos/historia-de-los-bioplásticos/>
- Nippon. (2016, August 1). *El gran potencial de las nanofibras extraídas de la celulosa*. <https://www.nippon.com/es/behind/100151/>
- Okutan, N., Terzi, P., & Altay, F. (2014). Affecting parameters on electrospinning process and characterization of electrospun gelatin nanofibers. *Food Hydrocolloids*, 39, 19–26. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.12.022>
- Pataquiva Mateus, A., & Coba Daza, S. (2018). Producción de nanofibras poliméricas mediante el proceso de electrospinning y su uso potencial. *MUTIS*, 8(1), 17–33. <https://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/view/1375/1385>
- PCE Inst. (n.d.). *Sensores*. Retrieved April 2, 2021, from <https://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/sistemas/sensores.htm>
- Picajoso. (2009, March 13). *Evolución de la interfaz gráfica de usuario*. <https://www.muylinux.com/2009/03/13/evolucion-de-la-interfaz-grafica-de-usuario/>
- Piñon Arjona, R. (n.d.). *Nanofibras, Fibras Sintéticas y Especiales*. Retrieved February 28, 2021, from <https://fibrassinteticasyespecialesraquel.wordpress.com/153-2/>
- Placas de desarrollo. (2020). *TODO sobre las placas de desarrollo en 2020*. <https://www.placasdedesarrollo.com/>
- Pulido-Díaz, A. P., Forero-Longas, F., & Cabrera-Navarro, S. A. (2016). EVAPORAÇÃO OSMÓTICA: FUNDAMENTOS E APLICAÇÕES NA CONCENTRAÇÃO DE SUCOS DE FRUTAS.

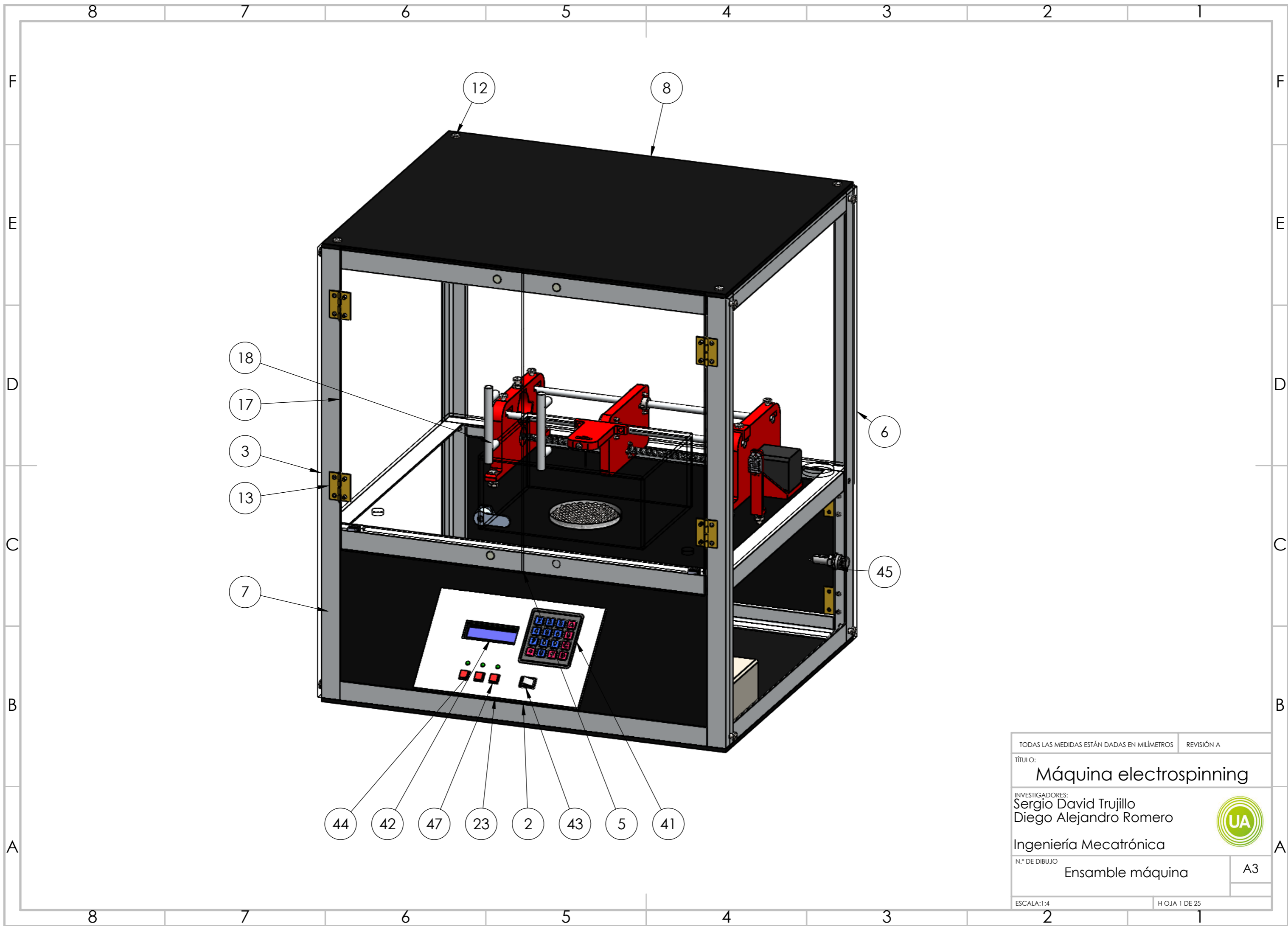
- Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 135–144.  
[https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)135-144](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)135-144)
- Química.es. (n.d.). *Monómero*. Retrieved February 17, 2022, from <https://www.quimica.es/enciclopedia/Monómero.html>
- Química Delta. (n.d.). *Ésteres*. Retrieved February 17, 2022, from <https://www.quidelta.com.mx/list.php?c=19&l=>
- Quintana Quintana, A. M. (2016). *GENERACIÓN DE UN PROTOCOLO PARA LA OBTENCIÓN DE MICRO Y NANOFIBRAS CON MORFOLOGÍA CORE-SHELL A BASE DE BIOPOLÍMEROS ALIÑ MAWEN QUINTANA QUINTANA* [UNIVERSIDAD DE CHILE]. <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/140683/Generacion-de-un-protocolo-para-la-obtencion-de-micro-y-nanofibras-con-morfologia-core-shell-a-base-de-biopolicimeros.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Quiroa, M. (2020, August 31). *Proceso de manufactura - Qué es, definición y concepto* | *Economipedia*. <https://economipedia.com/definiciones/proceso-de-manufactura.html>
- Resinex. (n.d.). *ABS Tipos de polímeros*. Retrieved February 16, 2022, from <https://www.resinex.es/tipos-de-polimeros/abs.html>
- Revista Especificar. (2021, December 13). *Todo sobre los actuadores – Revista Especificar*. <https://especificarmag.com.mx/todo-sobre-los-actuadores-html/>
- RIG. (2020, July 17). *¿Qué es el RETIE?, y porque es obligatoria la NTC 2050*. <https://www.retieingenieriaygestion.com/que-es-el-retie/>
- Roa Ardila, M. F. (2011). *Nanofibras de Poli (L-Alanina-Dodecanodiol-L-Alanina-Acido Sebácico) [PADAS] elaboradas por electrospinning. Actividad antibacteriana*. <http://hdl.handle.net/2099.1/11601>
- Roa Rodríguez, M. F. (2017). *DISEÑO, DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO DE PRUEBAS DE ELECTROHILADO (ELECTROSPINNING) PARA APLICACIONES EN NANOINSTRUMENTACIÓN* [UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA]. [https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/1515/2017\\_Tesis\\_Monica\\_Fernanda\\_Roa.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/1515/2017_Tesis_Monica_Fernanda_Roa.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Robots Didácticos. (n.d.). *El microcontrolador “cerebro” del robot programable*. Retrieved June 7, 2021, from <https://robots-argentina.com.ar/didactica/el-microcontrolador-cerebro-del-robot-programable-basico/>
- Rodrigo Arcay, N. (2015). *Incorporación de bacteriófagos en micro/nanofibras de polietilenglicos y ácido poliláctico mediante electrospinning*. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/77169>
- Rojas Lazo, O., & Rojas Rojas, L. (2006). *Diseño asistido por computador*. *Industrial Data*, 9(1), 7–15. <https://www.redalyc.org/pdf/816/81690102.pdf>
- Ruiz, L. (2018). *Los 12 tipos de sensores: sus características y funciones*. <https://psicologiymente.com/miscelanea/tipos-de-sensores>
- Sana Store. (2020, October 17). *¿Qué son los elastómeros? Características y tipos*. <https://flowtrend.com/es-es/news/que-son-los-elastomeros>
- Sánchez Cepeda, Á. P., Vera Graziano, R., Muñoz Prieto, E. de J., Gómez Pachón, E. Y., Bernad Bernad, M. J., & Maciel Cerda, A. (2016). *Preparación y caracterización de membranas poliméricas electrohiladas de policaprolactona y quitosano para la liberación controlada de clorhidrato de tiamina*. *Ciencia En Desarrollo*, 7(2), 133–151. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0121-74882016000200012&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-74882016000200012&lng=en&nrm=iso&tlng=es)
- Servei Estació. (n.d.). *Vidrio vs acrílico: diferencias básicas*. Retrieved November 16, 2022, from <https://serveiestacio.com/blog/diferencias-entre-el-vidrio-vs-acrilico/>
- Servosis. (2020, June 29). *El módulo de Young o módulo de elasticidad longitudinal*. <https://www.servosis.com/noticias/el-modulo-de-young-o-modulo-de-elasticidad-longitudinal-38>
- SIEMENS. (n.d.). *CAD / Diseño asistido por ordenador | Siemens Digital Industries Software*. Retrieved June 11, 2021, from <https://www.plm.automation.siemens.com/global/es/our-story/glossary/computer-aided-design-cad/12507>
- Significado de Precisión*. (n.d.). Retrieved February 17, 2022, from

- <https://www.significados.com/precision/>
- Solectro. (n.d.). *Placas de desarrollo*. Retrieved February 17, 2022, from <https://solectroshop.com/es/10-placas-de-desarrollo>
- Soto Martinez, K. M. (2014). *La concentración de polímero en una solución determina si puede formar fibras y tiene un efecto importante en la morfología de estas. Se requiere una concentración óptima para evitar que el jet colapse y forme gotas antes de que el solvente se evapore, te*. Universidad autónomo de Querétaro.
- Techopedia. (2022). *¿Qué es una interfaz de usuario orgánica (oui)? - definición de techopedia - Audio - 2022*. <https://es.theastrologypage.com/organic-user-interface>
- Thermo Fisher Scientific. (n.d.). *Ácido acético (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>)*. Retrieved February 17, 2022, from <https://www.fishersci.es/es/es/products/I9C8K53O/acetic-acid.html>
- TMB Publications. (n.d.). *Todo sobre los actuadores*. Retrieved April 2, 2021, from <https://www.especificarmag.com.mx/todo-sobre-los-actuadores.html#gsc.tab=0>
- Total Materia. (n.d.). *Propiedades del Acero*. Retrieved February 15, 2022, from <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=propiedadesdelacero&LN=ES>
- UniBetas. (n.d.). *Formación de esterres a partir de Ácidos carboxílicos*. Retrieved February 17, 2022, from <https://unibetas.com/esterificacion-acidos-carboxilicos/>
- United Nuclear. (n.d.). *High Voltage DC Power Supply*. Retrieved November 17, 2022, from [https://unitednuclear.com/index.php?main\\_page=product\\_info&cPath=105\\_87&products\\_id=459](https://unitednuclear.com/index.php?main_page=product_info&cPath=105_87&products_id=459)
- Universidad Autónoma de Querétaro. (n.d.). *Desarrollo y caracterización de nano fibras electro estiradas de proteína de amaranto y pululano cargadas con dos bacteriocinas*. Retrieved June 7, 2021, from <https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fring.uaq.mx%2Fbitstream%2F123456789%2F546%2F1%2FRI000791.pdf&psig=AOvVaw3EDF4Mf43eqC9iYawigGen&ust=1623171335218000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCOj8zsv-hfECFQAAAAAdAAAAABAD>
- Uriarte, J. (2021, March 16). *Vidrio: qué es, usos, propiedades y características*. <https://www.caracteristicas.co/vidrio/>
- Vásquez Jiménez, L. A. (n.d.). *Arquitectura de computadorass*. Retrieved April 2, 2021, from <https://sites.google.com/site/arquitecturadecomputadorass4a/home>
- Workana. (n.d.). *Interfaz gráfica de usuario o GUI: Qué es y Para qué sirve*. Retrieved February 16, 2022, from <https://i.workana.com/glosario/que-es-la-interfaz-grfica-de-usuario-gui/>

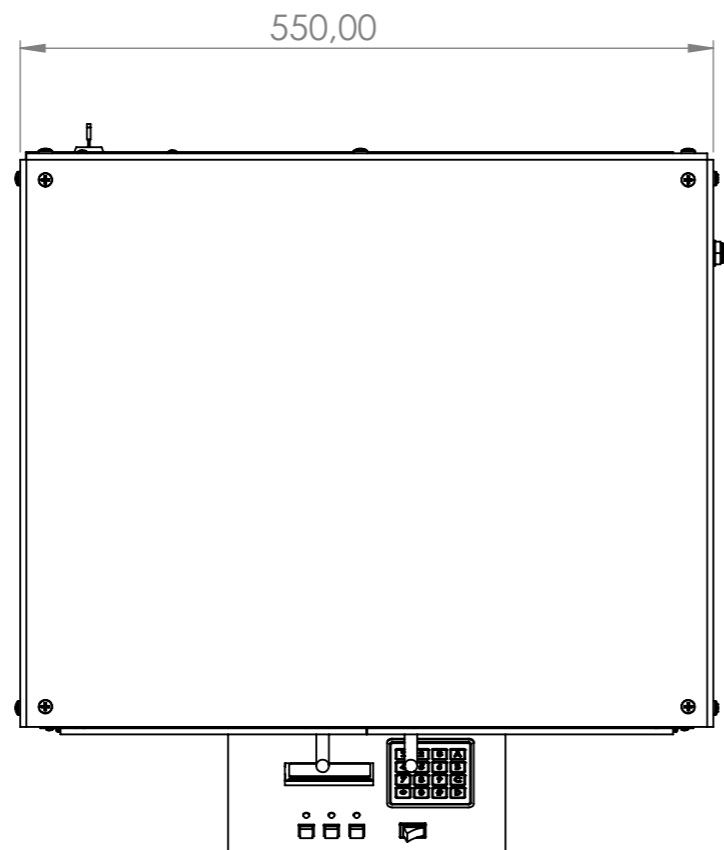
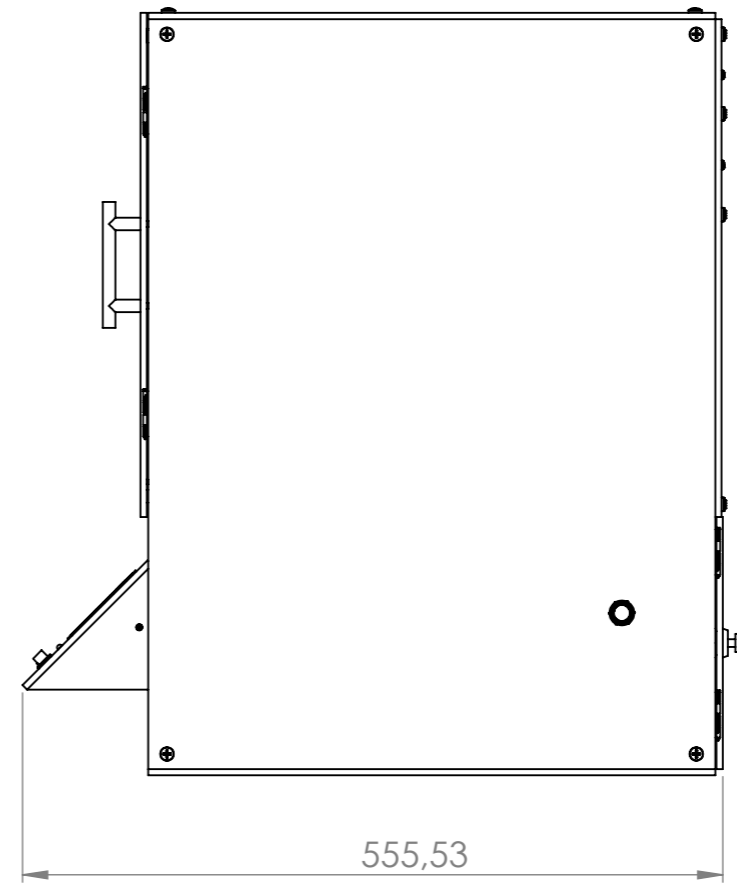
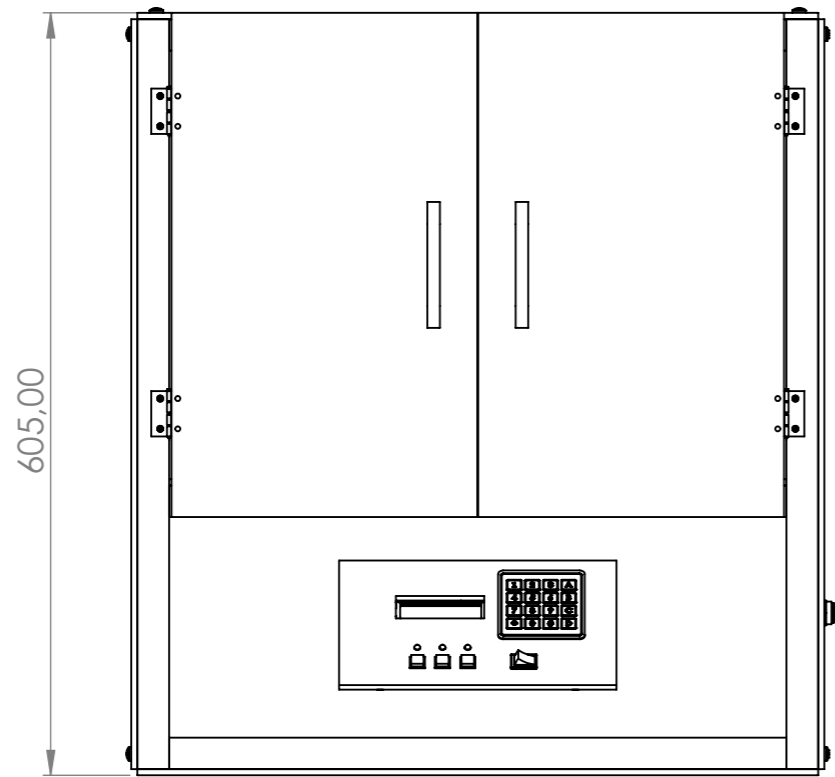
## 13.ANEXOS

### *Anexo A Planos finales*

Diseñados desde el dibujo CAD realizado en 3D de todos las piezas relevantes e importantes utilizadas para la construcción del prototipo.



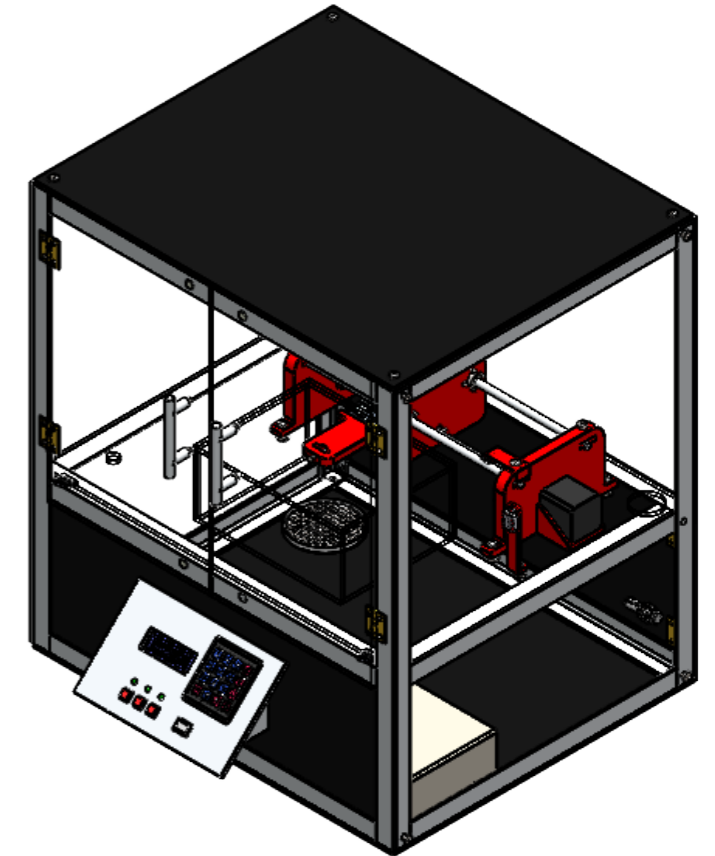
TODAS LAS MEDIDAS ESTÁN DADAS EN MILÍMETROS		REVISIÓN A
TÍTULO: <b>Máquina electrospinning</b>		
INVESTIGADORES: Sergio David Trujillo Diego Alejandro Romero		
Ingeniería Mecatrónica		
N.º DE DIBUJO	Ensamble máquina	A3
ESCALA:1:4	H OJA 1 DE 25	



TODAS LAS MEDIDAS ESTÁN DADAS EN MILÍMETROS		REVISIÓN A
TÍTULO: <b>Máquina electrospinning</b>		
INVESTIGADORES: Sergio David Trujillo Diego Alejandro Romero		
Ingeniería Mecatrónica		
N.º DE DIBUJO	Dimensiones máquina	A3
ESCALA:1:6	H OJA 2 DE 25	

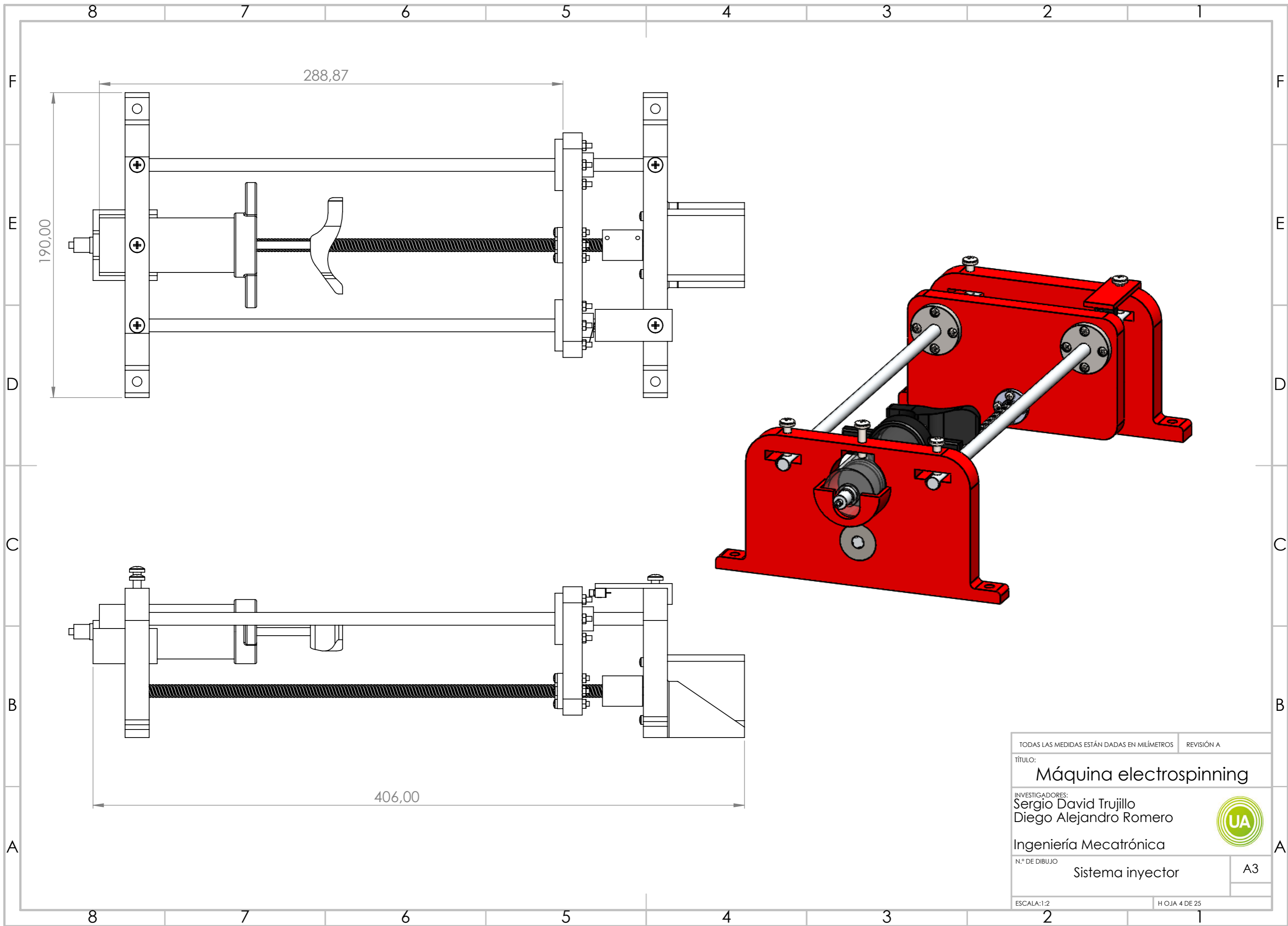
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	Material	CANTIDAD
1	Perfil en L Superior e inferior con aleta	Acero 1018 laminado en caliente	4
2	Perfil en L Superior e inferior sin aleta	Acero 1018 laminado en caliente	4
3	Perfil en L Lateral delantera	Acero 1018 laminado en caliente	2
4	Perfil en L Lateral trasera	Acero 1018 laminado en caliente	2
5	Perfil en L Base proceso	Acero 1018 laminado en caliente	2
6	Acrílico lateral	Acrílico transparente	2
7	Acrílico dalantero	Acrílico oscuro	1
8	Acrílico superior e inferior	Acrílico oscuro	2
9	Acrílico trasero	Acrílico transparente	1
10	Acrílico base proceso	Acrílico transparente	1
11	CR-PHMS 0.216-24x0.3125x0.3125-N		16
12	CR-PHMS 0.216-24x0.75x0.75-N		10
13	MSHXNUT 0.216-24-D-N		6
14	Mitad bisagra	Acero	12
15	Unión bisagra	Acero	6
16	CR-PHMS 0.099-48x0.3125x0.3125-N		20
17	MSHXNUT 0.099-48-D-N		28
18	Acrílico puerta delantera	Acrílico transparente	2
19	Manija puerta	Aluminio	2
20	Imán neodimio	Neodimio	5
21	Acrílico puerta trasera	Acrílico transparente	1
22	Acrílico lateral visualización	Acrílico plateado	2
23	L pequeña	Acero	2
24	Acrílico superior visualización	Acrílico plateado	1
25	Acrílico inferior visualización	Acrílico plateado	1
26	Soporte jeringa grande 1	PLA	1
27	Soporte jeringa grandel 2	PLA	1
28	Rodamiento	Acero	1
29	Varilla lisa	Acero	2
30	Varilla roscada	Acero	1
31	Acople flexible	Acero	1
32	Mecanismo inyector	PLA	1
33	Tuerca T8 para varilla roscada 4 hilos 8mm	Acero	1

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	Material	CANTIDAD
34	Rodamiento lineal	Acero	2
35	Soporte aguja	PLA	1
36	Soporte sensor	PLA	1
37	Soporte final de carrera	PLA	1
38	Sensor temperatura y humedad		1
39	CR-PHMS 0.099-48x0.75x0.75-N		16
40	MSHXNUT 0.138-40-D-N		4
41	Sensor final de carrera		3
42	Keypad		1
43	LCD		1
44	Interreptor		1
45	LED		3
46	Porta Fusible		1
47	Motor paso a paso		1
48	Pulsador		3
49	Ventilador		1
50	CR-PHMS 0.138-40x1.375x1-N		4
51	Aislador	Goma	2
52	CR-PHMS 0.216-24x0.4375x0.4375-N		4
53	Riel	Aluminio	1
54	Resistencia		1
55	Cerradura	Aluminio y plástico	1
56	Fuente de poder		1
57	Bateria		1
58	Arduino Mega		1
59	Perfil en L Base proceso lateral	Acero 1018 laminado en caliente	2
60	Lateral delantera tapa proceso	Acrílico transparente	2
61	Lateral tapa proceso	Acrílico transparente	2
62	Superior tapa proceso	Acrílico transparente	1
63	Caja de Petri	Vidrio	1
64	B18.6.7M - M4 x 0.7 x 20 Type I Cross Recessed PHMS --20N		1
65	B18.2.4.1M - Hex nut, Style 1, M4 x 0.7 --D-N		1
66	Aguja	Acero inoxidable	1
67	Malla	Acero	1

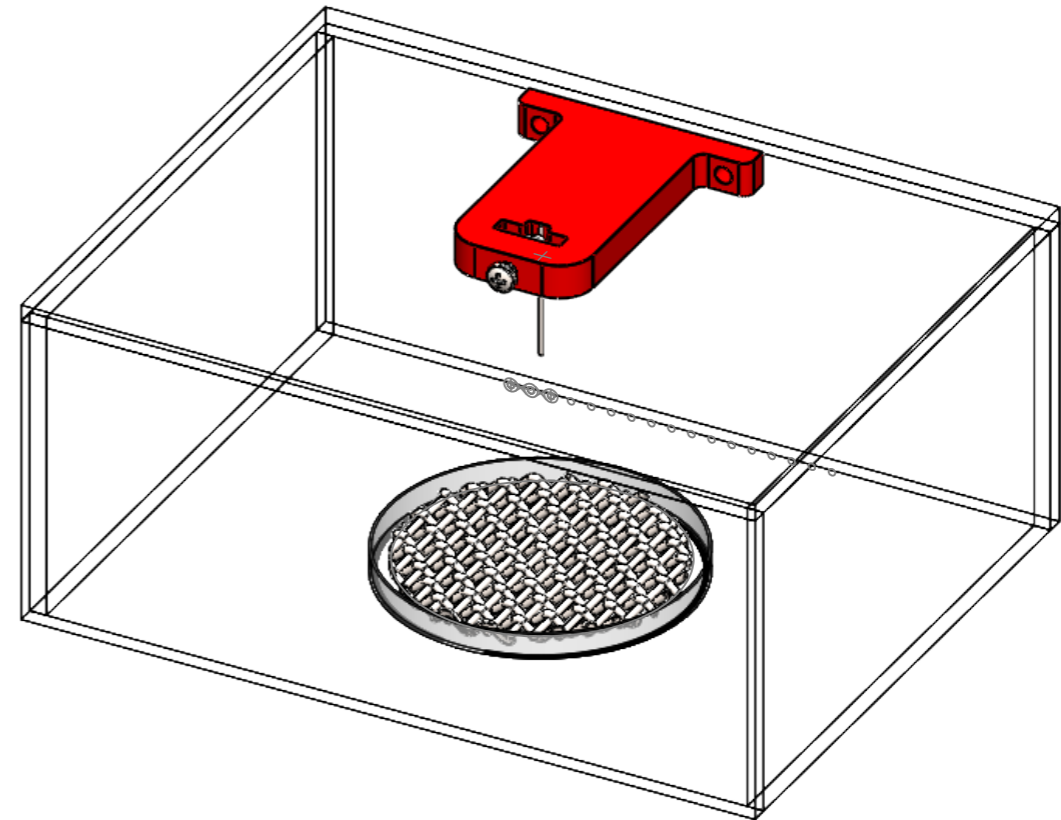
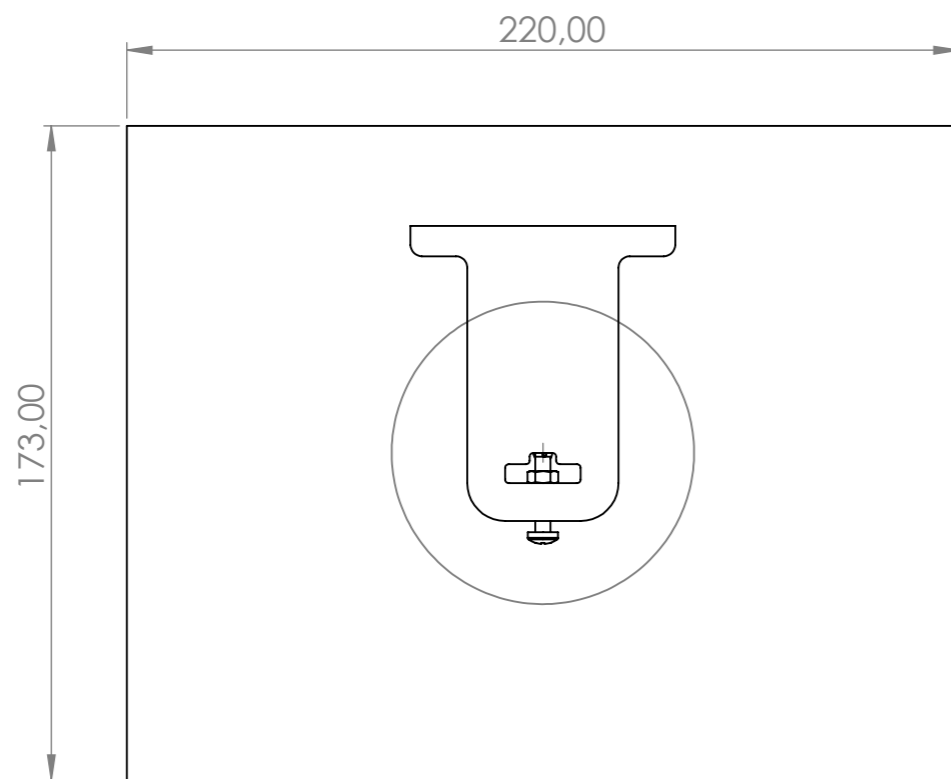
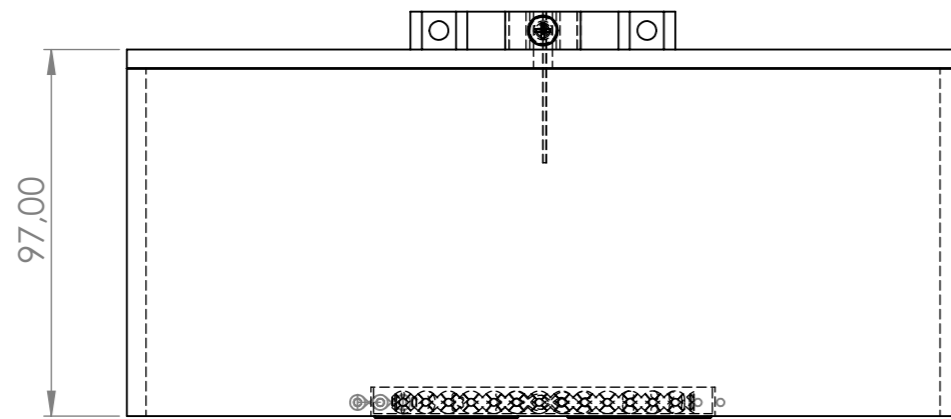


TODAS LAS MEDIDAS ESTÁN DADAS EN MILÍMETROS	REVISIÓN A
TÍTULO: <b>Máquina electrospinning</b>	
INVESTIGADORES: Sergio David Trujillo Diego Alejandro Romero	
Ingeniería Mecatrónica	
N.º DE DIBUJO Listado de materiales y equipos	A3
ESCALA:1:8	H OJA 3 DE 25





TODAS LAS MEDIDAS ESTÁN DADAS EN MILÍMETROS		REVISIÓN A
TÍTULO: <b>Máquina electrospinning</b>		
INVESTIGADORES: Sergio David Trujillo Diego Alejandro Romero		
Ingeniería Mecatrónica		
N.º DE DIBUJO	Sistema inyector	A3
ESCALA:1:2	H OJA 4 DE 25	



TODAS LAS MEDIDAS ESTÁN DADAS EN MILÍMETROS REVISIÓN A

TÍTULO:  
**Máquina electrospinning**

INVESTIGADORES:  
Sergio David Trujillo  
Diego Alejandro Romero



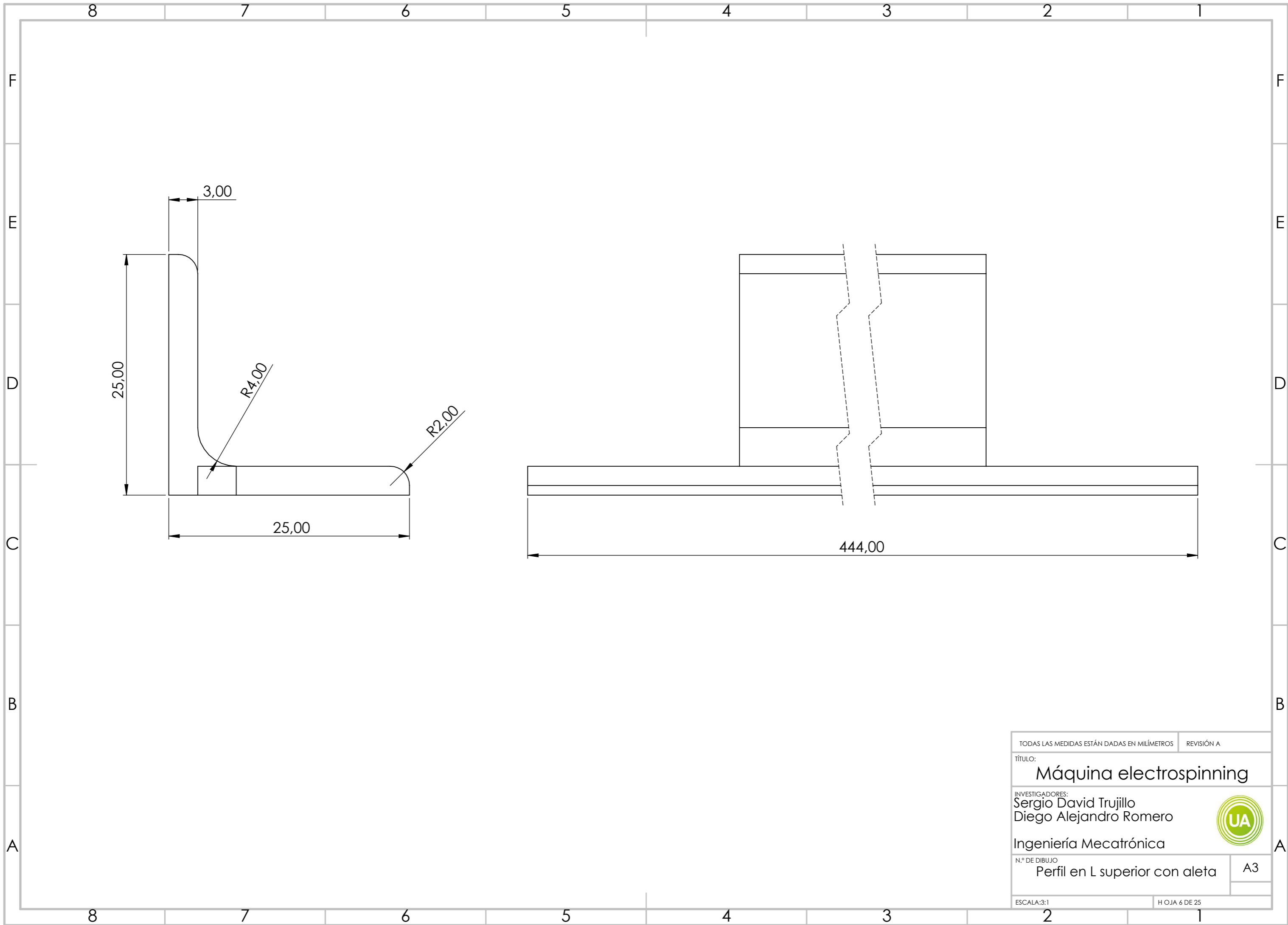
Ingeniería Mecatrónica

N.º DE DIBUJO  
Sistema colector

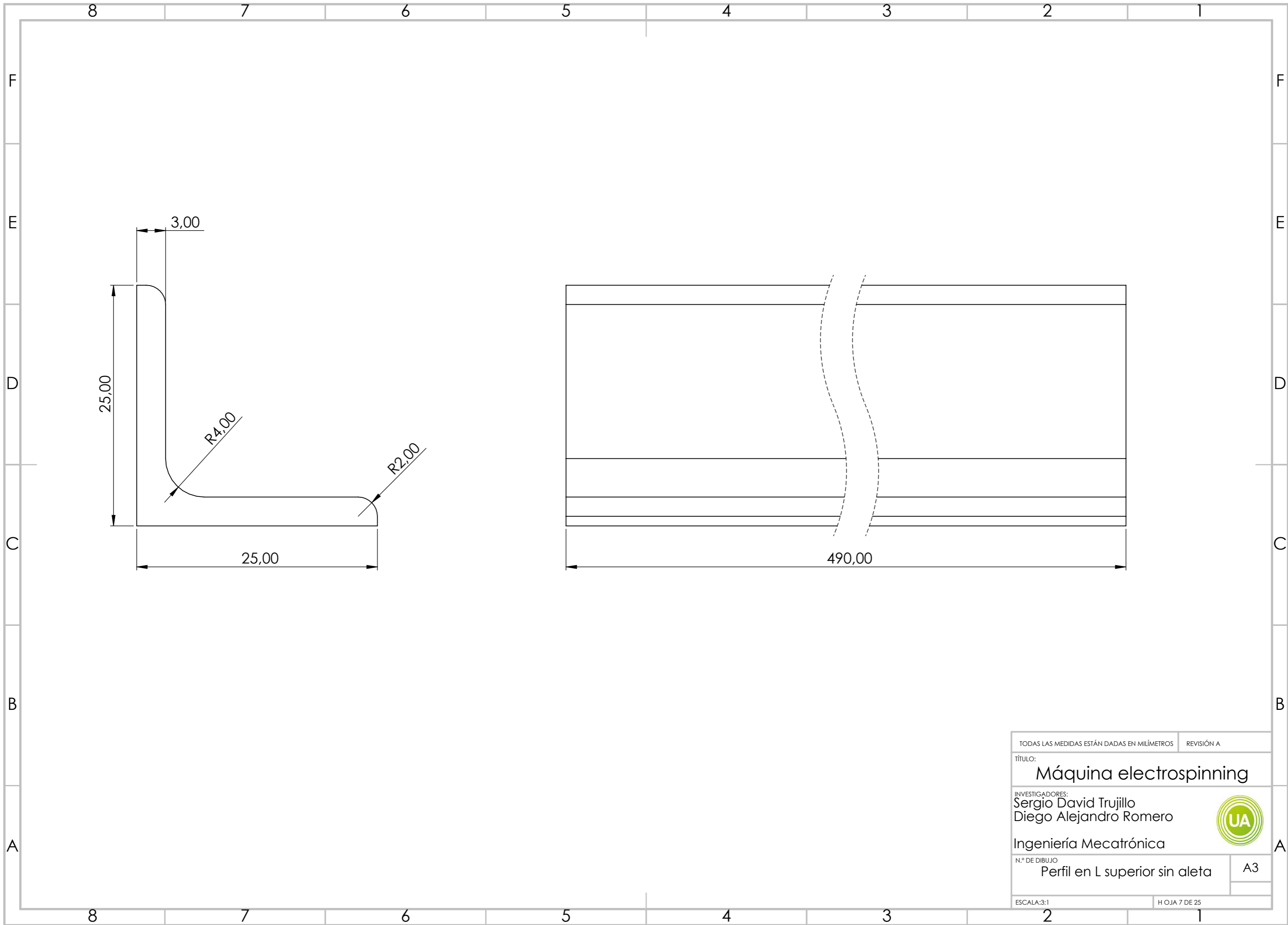
A3

ESCALA:1:2

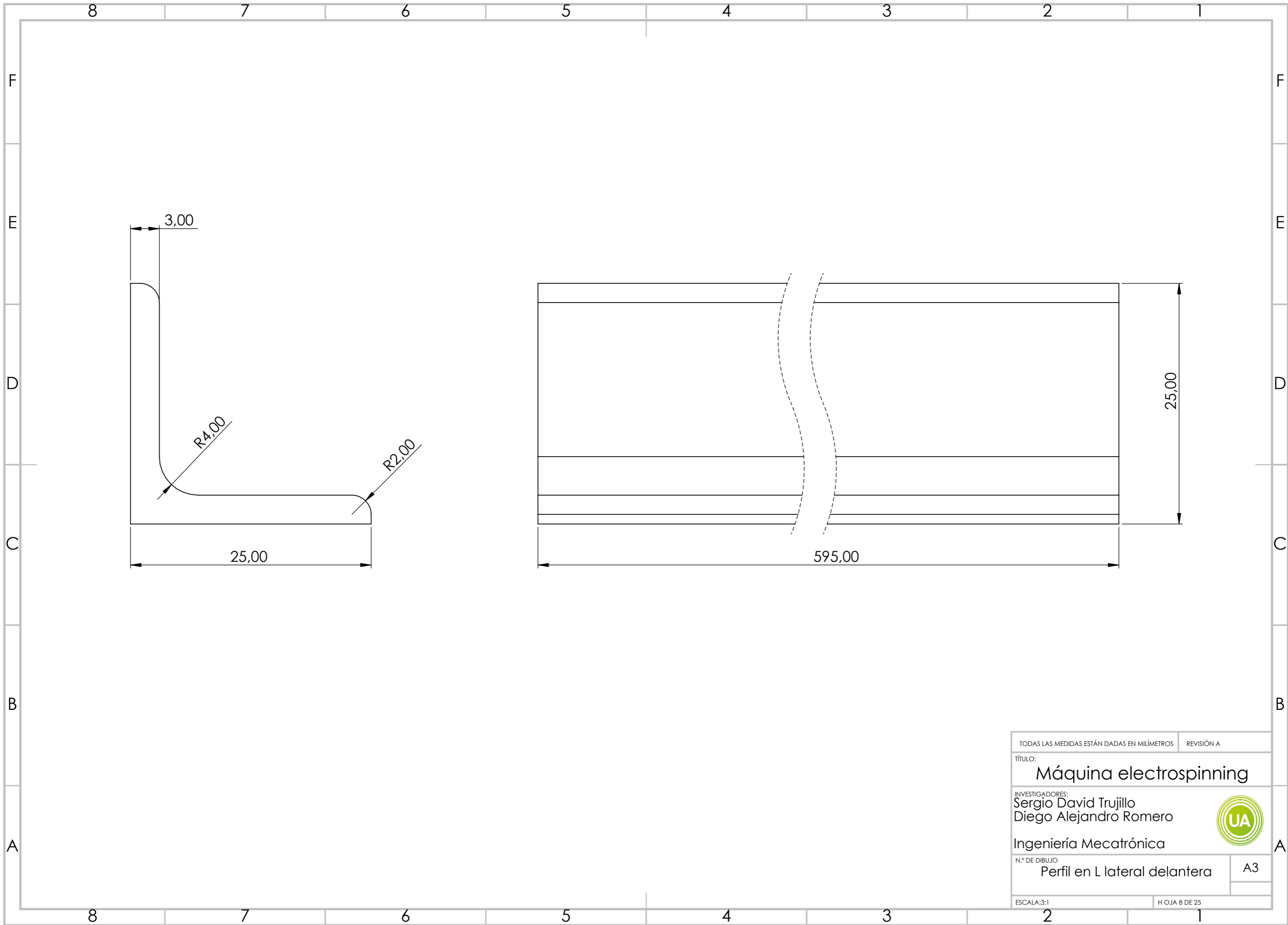
H OJA 5 DE 25



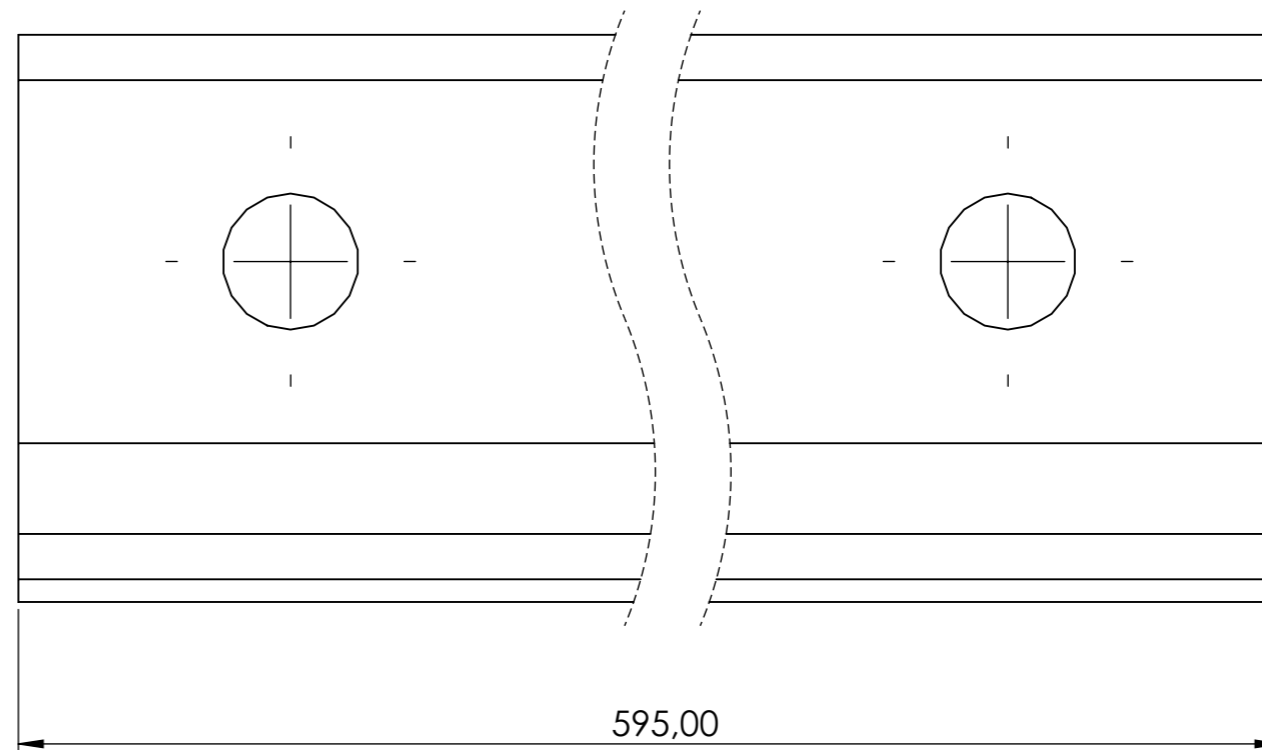
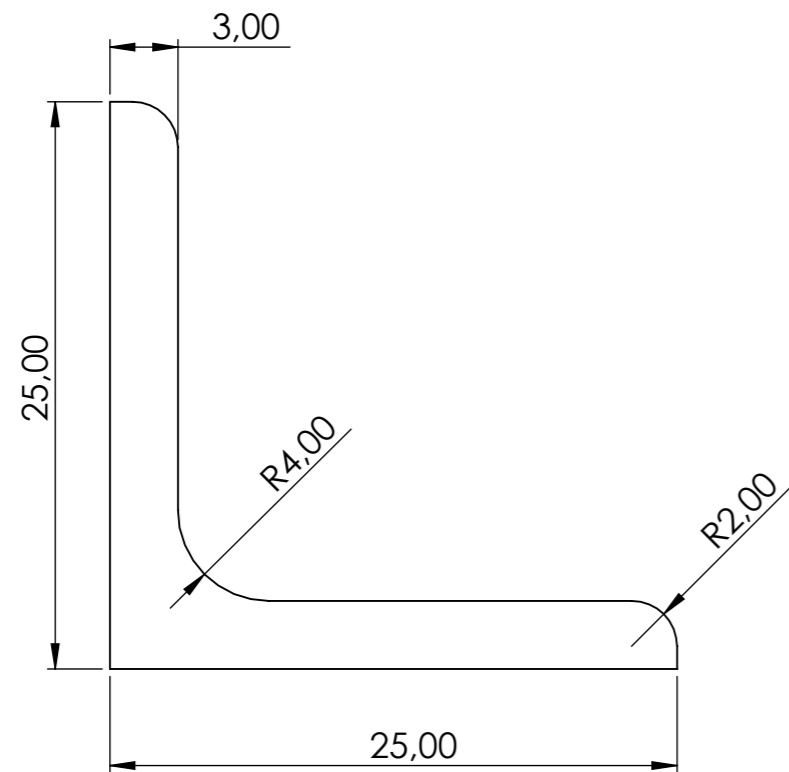
TODAS LAS MEDIDAS ESTÁN DADAS EN MILÍMETROS		REVISIÓN A
TÍTULO: <b>Máquina electrospinning</b>		
INVESTIGADORES: Sergio David Trujillo Diego Alejandro Romero		
Ingeniería Mecatrónica		
N.º DE DIBUJO Perfil en L superior con aleta	A3	
ESCALA:3:1	H OJA 6 DE 25	



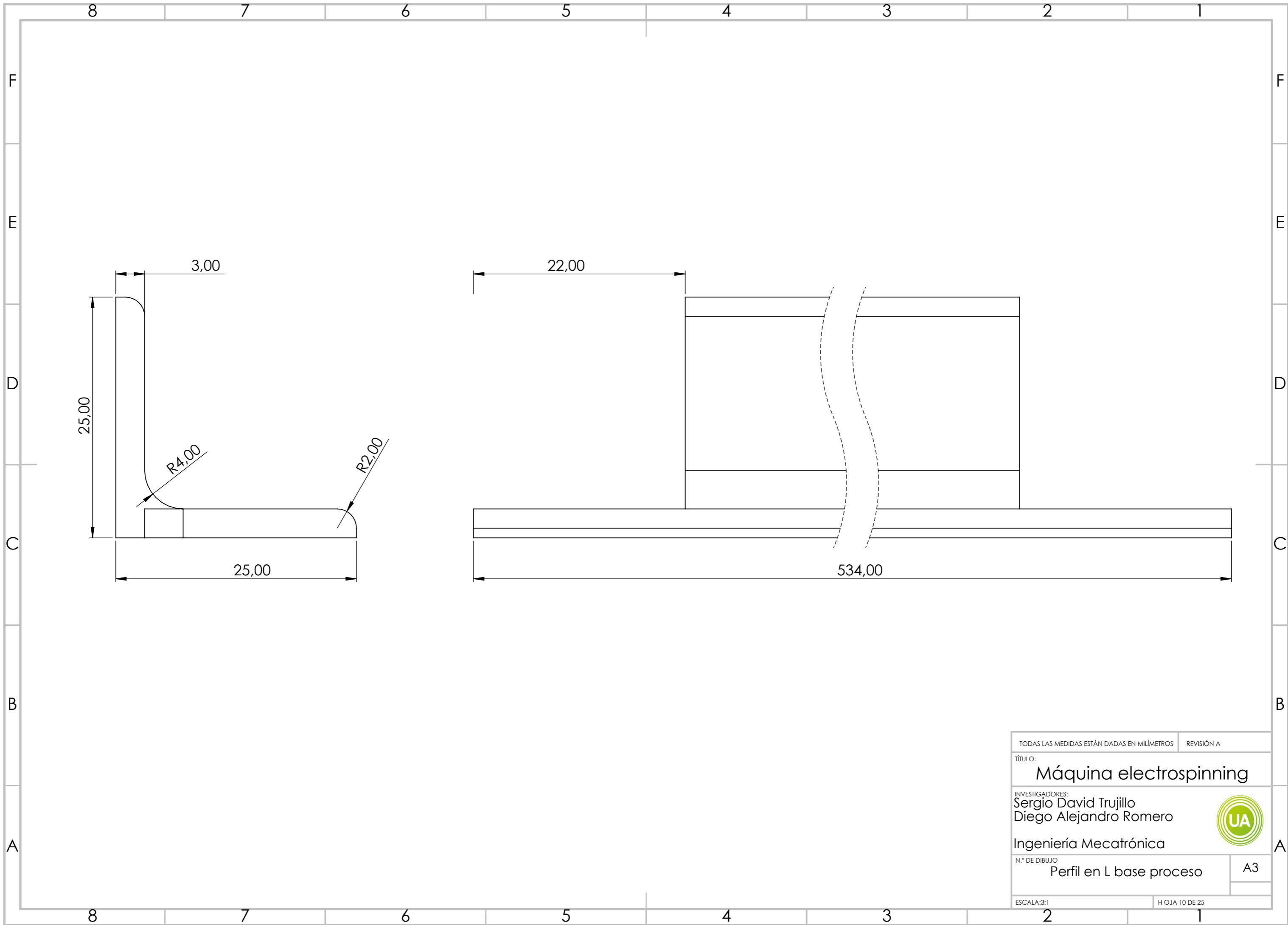
TODAS LAS MEDIDAS ESTÁN DADAS EN MILÍMETROS		REVISIÓN A
TÍTULO: <b>Máquina electrospinning</b>		
INVESTIGADORES: Sergio David Trujillo Diego Alejandro Romero		
Ingeniería Mecatrónica		
N.º DE DIBUJO Perfil en L superior sin aleta	A3	
ESCALA:3:1	H OJA 7 DE 25	



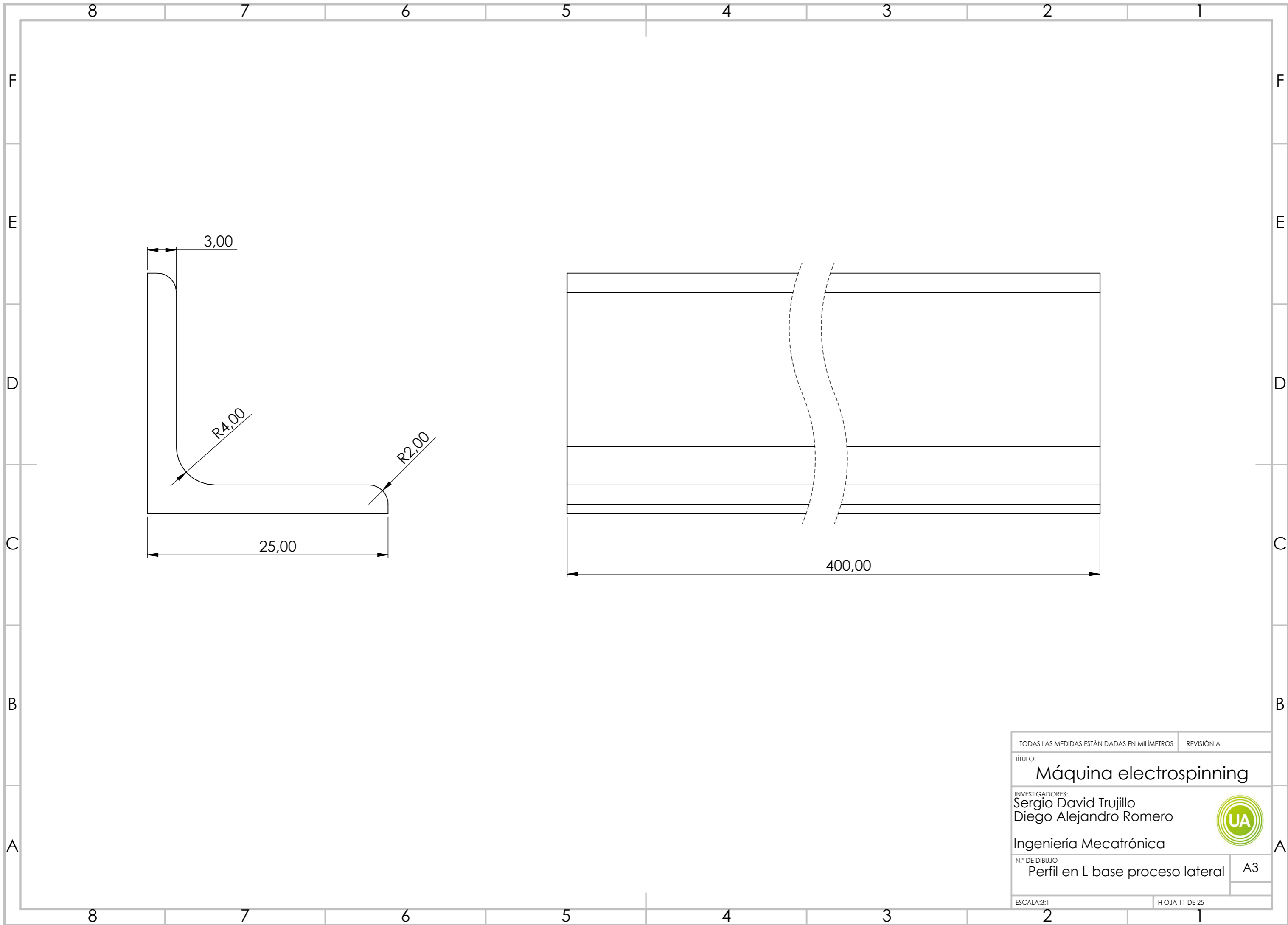
TODAS LAS MEDIDAS ESTÁN DADAS EN MILÍMETROS		REVISIÓN A
TÍTULO: <b>Máquina electrospinning</b>		
INVESTIGADORES: Sergio David Trujillo Diego Alejandro Romero		
Ingeniería Mecatrónica		
N.º DE DIBUJO Perfil en L lateral delantera	A3	
ESCALA:3:1	H OJA 8 DE 25	



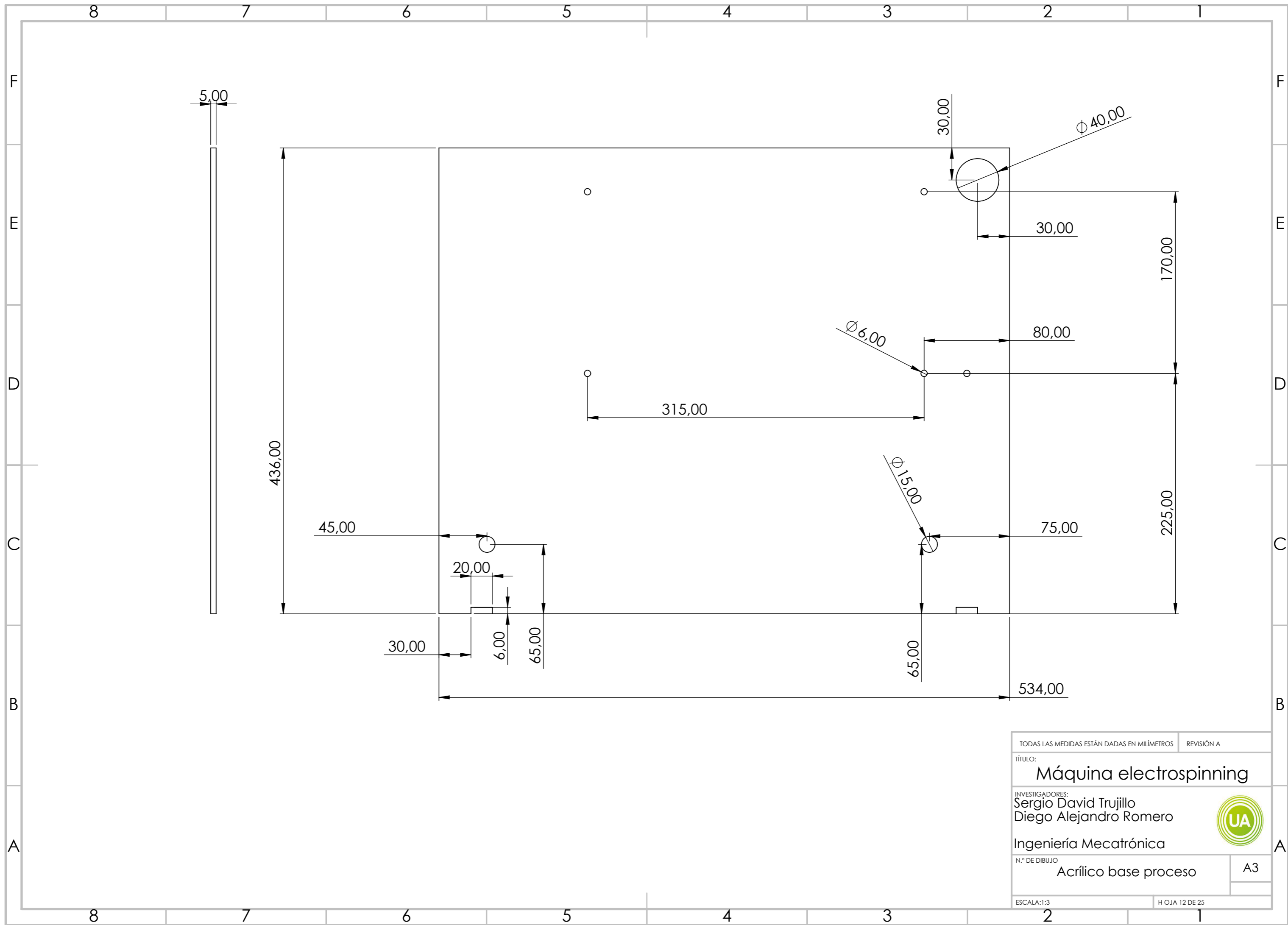
TODAS LAS MEDIDAS ESTÁN DADAS EN MILÍMETROS		REVISIÓN A
TÍTULO: <b>Máquina electrospinning</b>		
INVESTIGADORES: Sergio David Trujillo Diego Alejandro Romero		
Ingeniería Mecatrónica		
N.º DE DIBUJO Perfil en L lateral trasera	A3	
ESCALA:3:1	H OJA 9 DE 25	



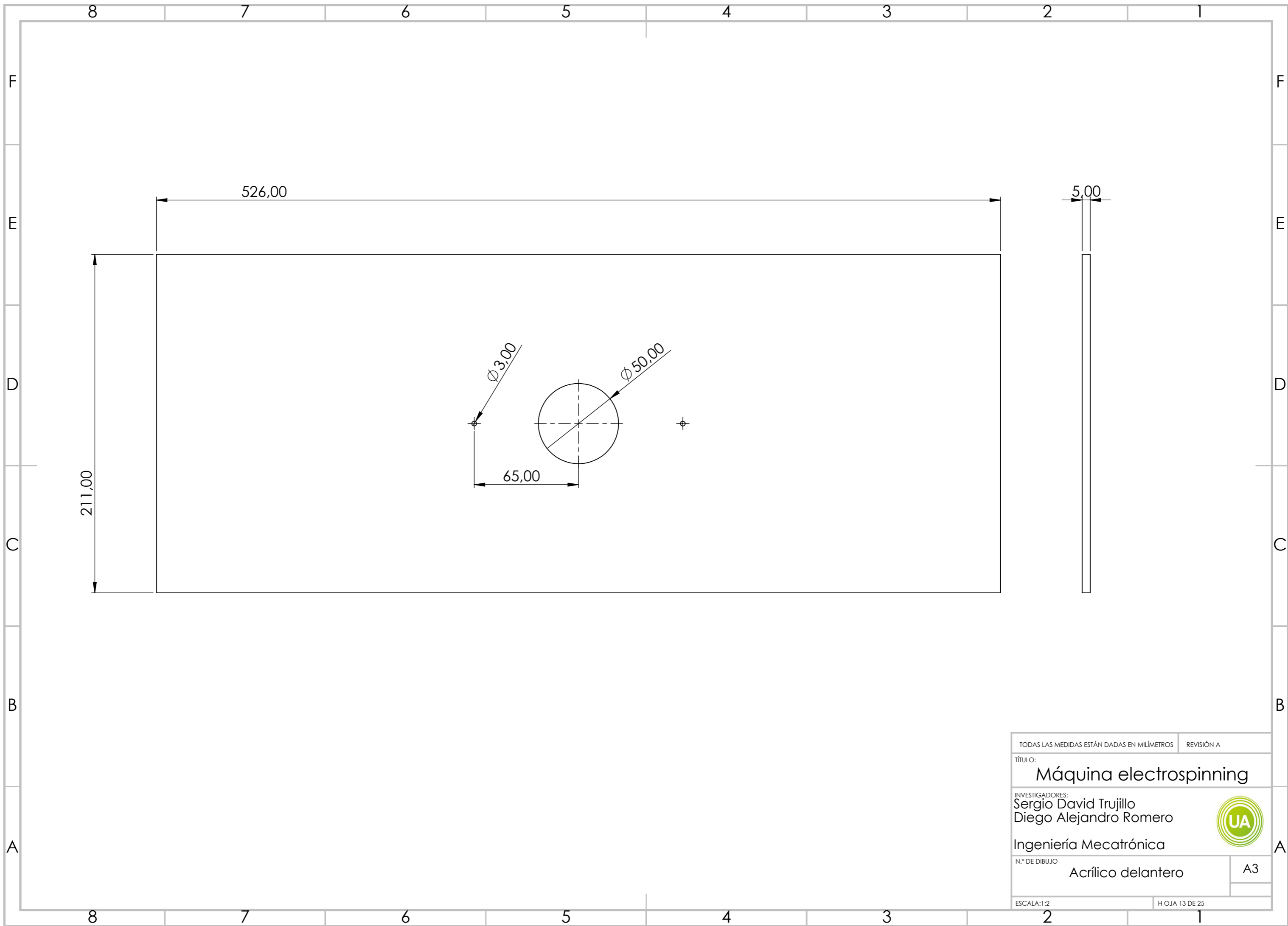
TODAS LAS MEDIDAS ESTÁN DADAS EN MILÍMETROS		REVISIÓN A
TÍTULO: <b>Máquina electrospinning</b>		
INVESTIGADORES: Sergio David Trujillo Diego Alejandro Romero		
Ingeniería Mecatrónica		
N.º DE DIBUJO Perfil en L base proceso		A3
ESCALA:3:1	H OJA 10 DE 25	



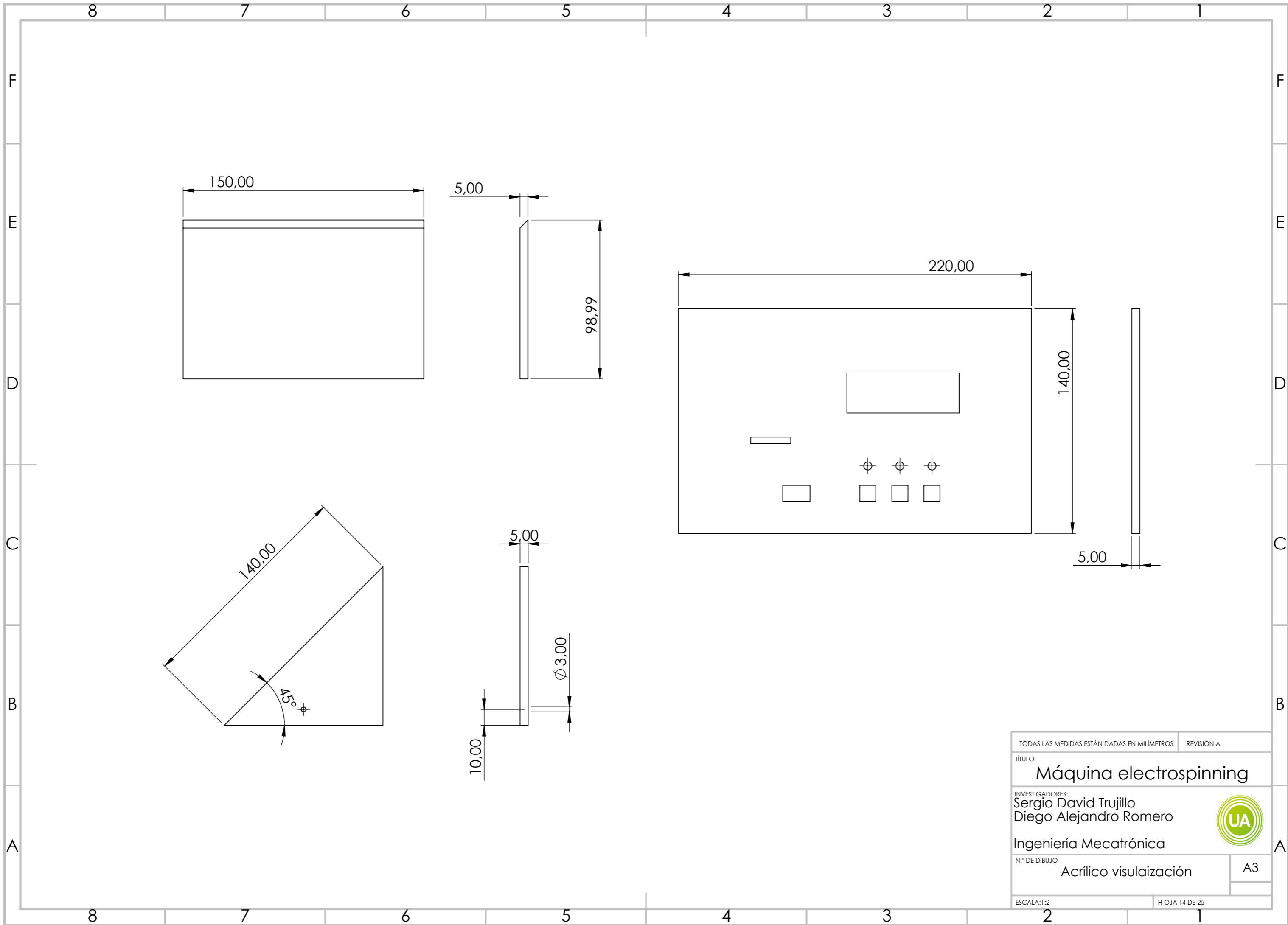
TODAS LAS MEDIDAS ESTÁN DADAS EN MILÍMETROS		REVISIÓN A
TÍTULO: <b>Máquina electrospinning</b>		
INVESTIGADORES: Sergio David Trujillo Diego Alejandro Romero		
Ingeniería Mecatrónica		
N.º DE DIBUJO Perfil en L base proceso lateral	A3	
ESCALA:3:1	HOJA 11 DE 25	



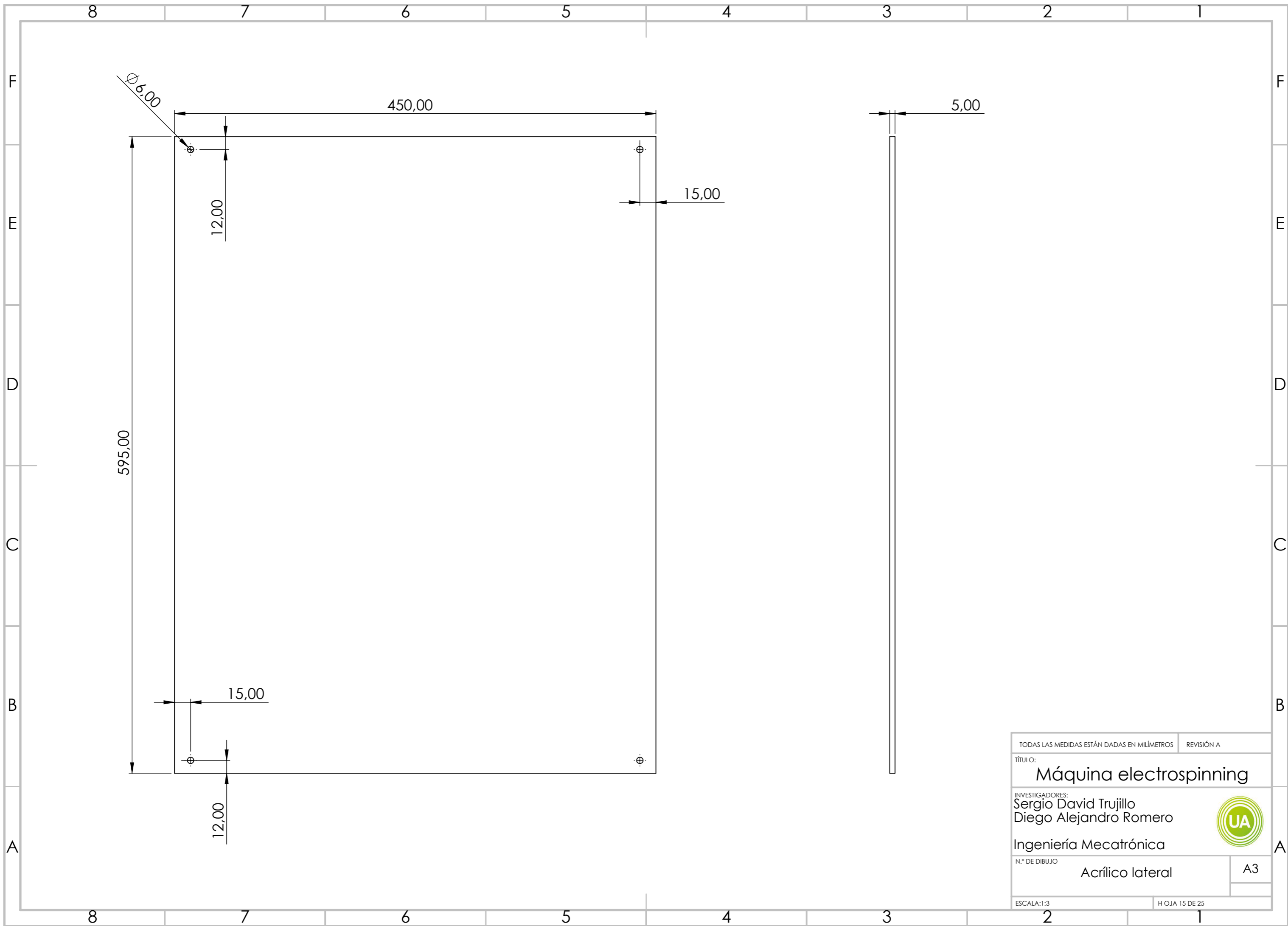
TODAS LAS MEDIDAS ESTÁN DADAS EN MILÍMETROS		REVISIÓN A
TÍTULO: <b>Máquina electrospinning</b>		
INVESTIGADORES: Sergio David Trujillo Diego Alejandro Romero		
Ingeniería Mecatrónica		
N.º DE DIBUJO	Acrílico base proceso	A3
ESCALA:1:3	HOJA 12 DE 25	



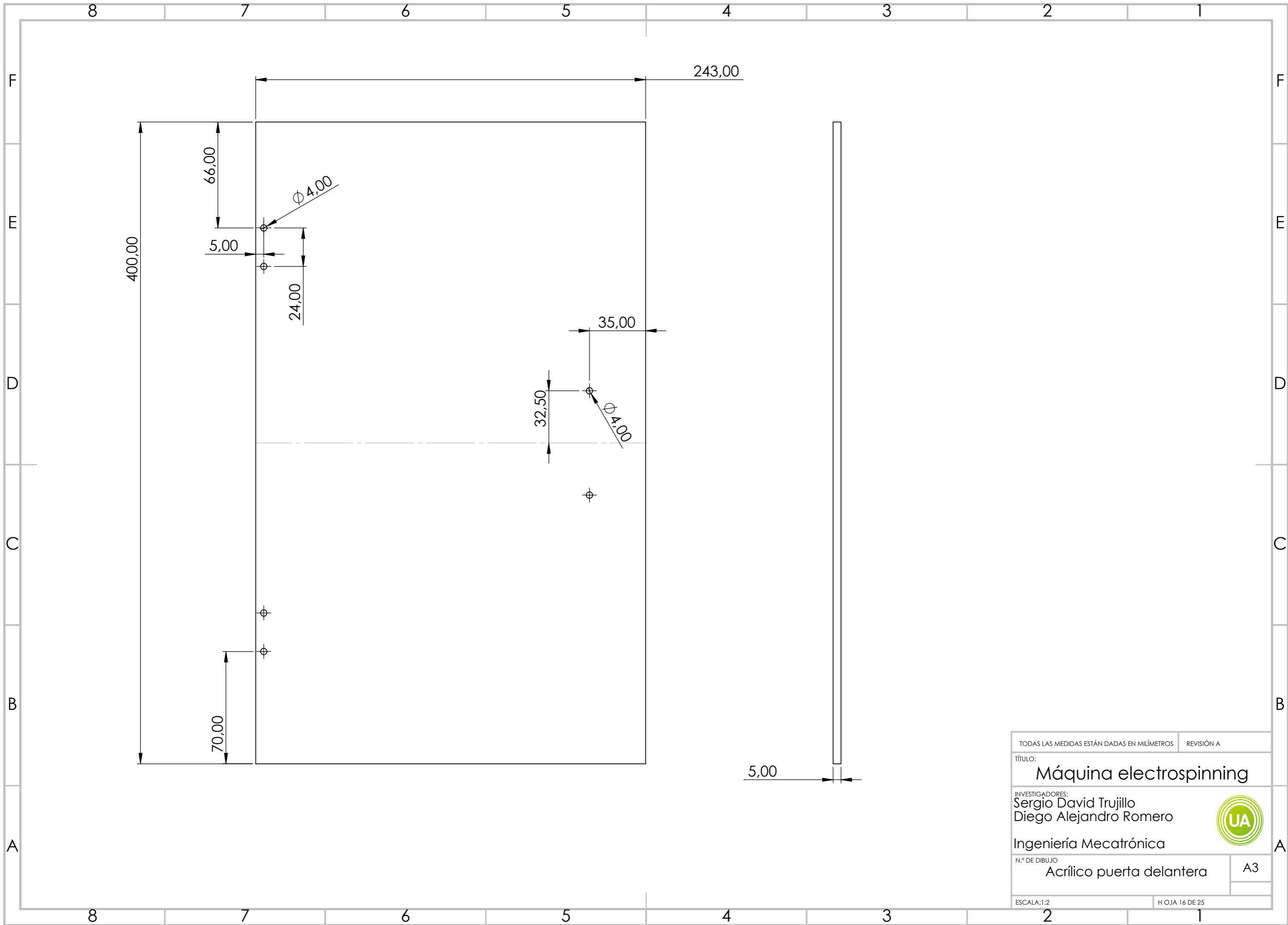
TODAS LAS MEDIDAS ESTÁN DADAS EN MILÍMETROS		REVISIÓN A
TÍTULO: <b>Máquina electrospinning</b>		
INVESTIGADORES: Sergio David Trujillo Diego Alejandro Romero		
Ingeniería Mecatrónica		
N.º DE DIBUJO	Acrílico delantero	A3
ESCALA:1:2	H OJA 13 DE 25	



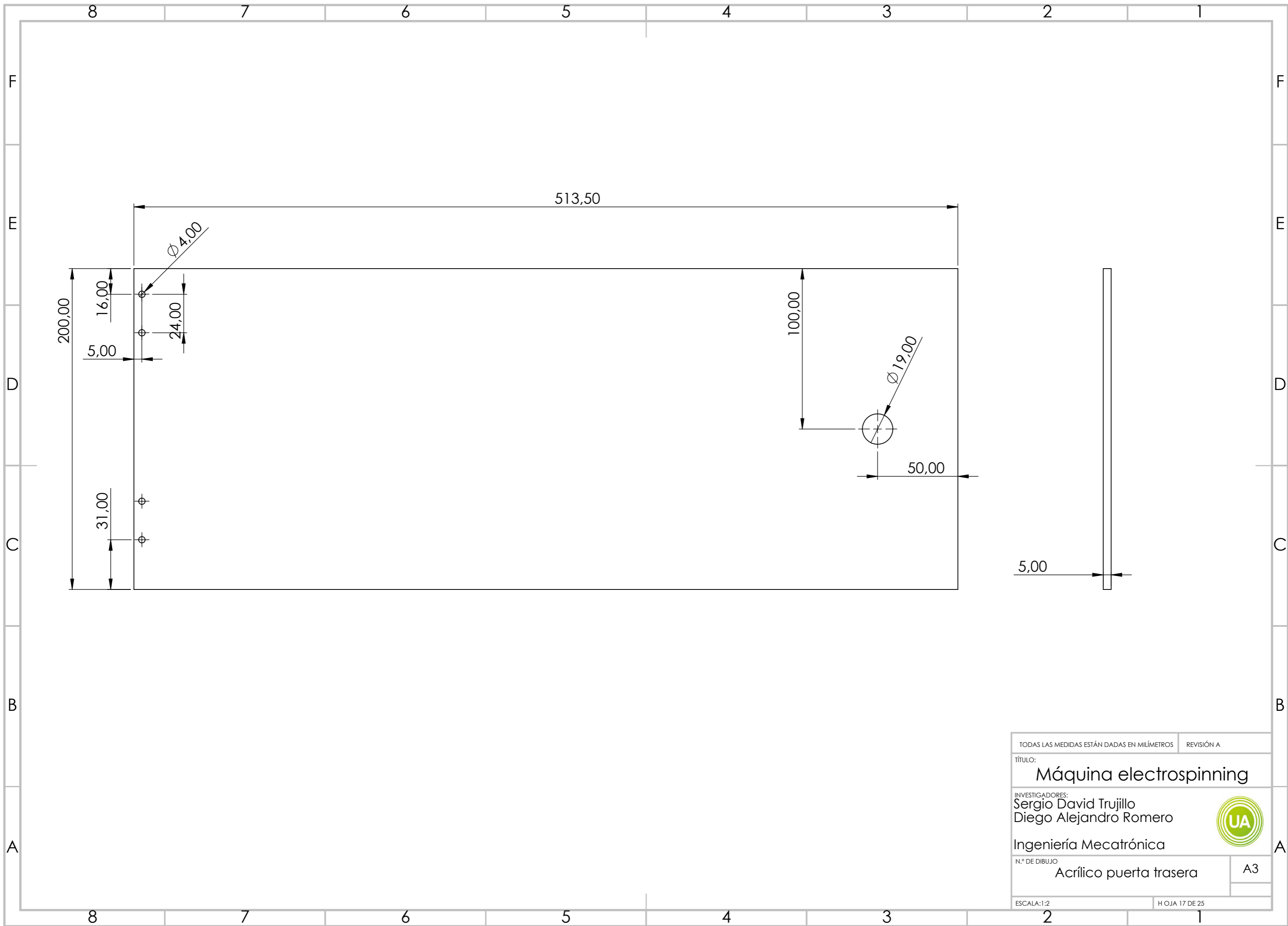
TODAS LAS MEDIDAS ESTÁN DADAS EN MILÍMETROS		REVISIÓN A
TÍTULO: <b>Máquina electrospinning</b>		
INVESTIGADORES: Sergio David Trujillo Diego Alejandro Romero		
Ingeniería Mecatrónica		
N.º DE DIBUJO	Acrílico visulaización	A3
ESCALA:1:2	H OJA 14 DE 25	



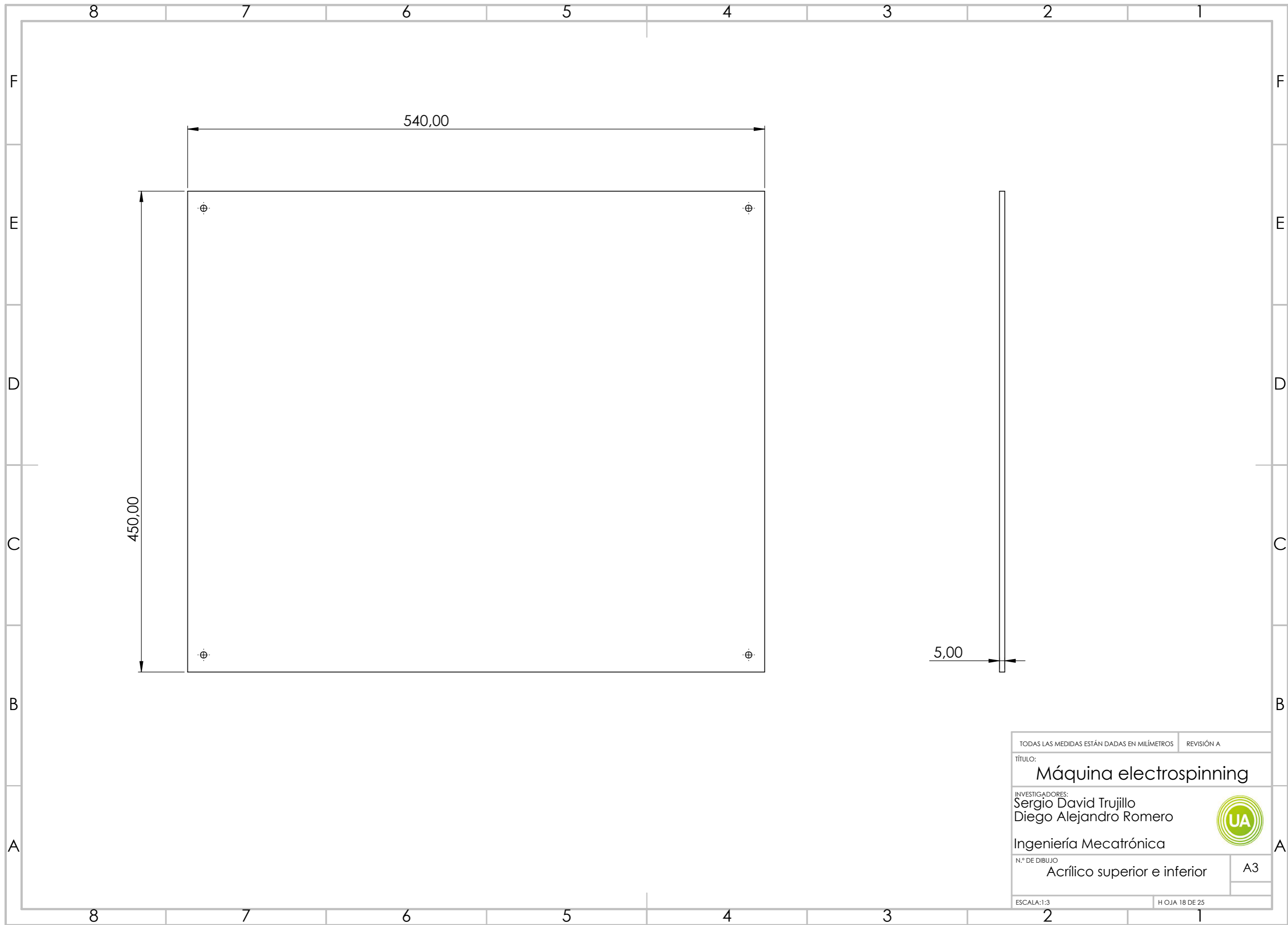
TODAS LAS MEDIDAS ESTÁN DADAS EN MILÍMETROS		REVISIÓN A
TÍTULO: <b>Máquina electrospinning</b>		
INVESTIGADORES: Sergio David Trujillo Diego Alejandro Romero		
Ingeniería Mecatrónica		
N.º DE DIBUJO	Acrílico lateral	A3
ESCALA:1:3	H OJA 15 DE 25	



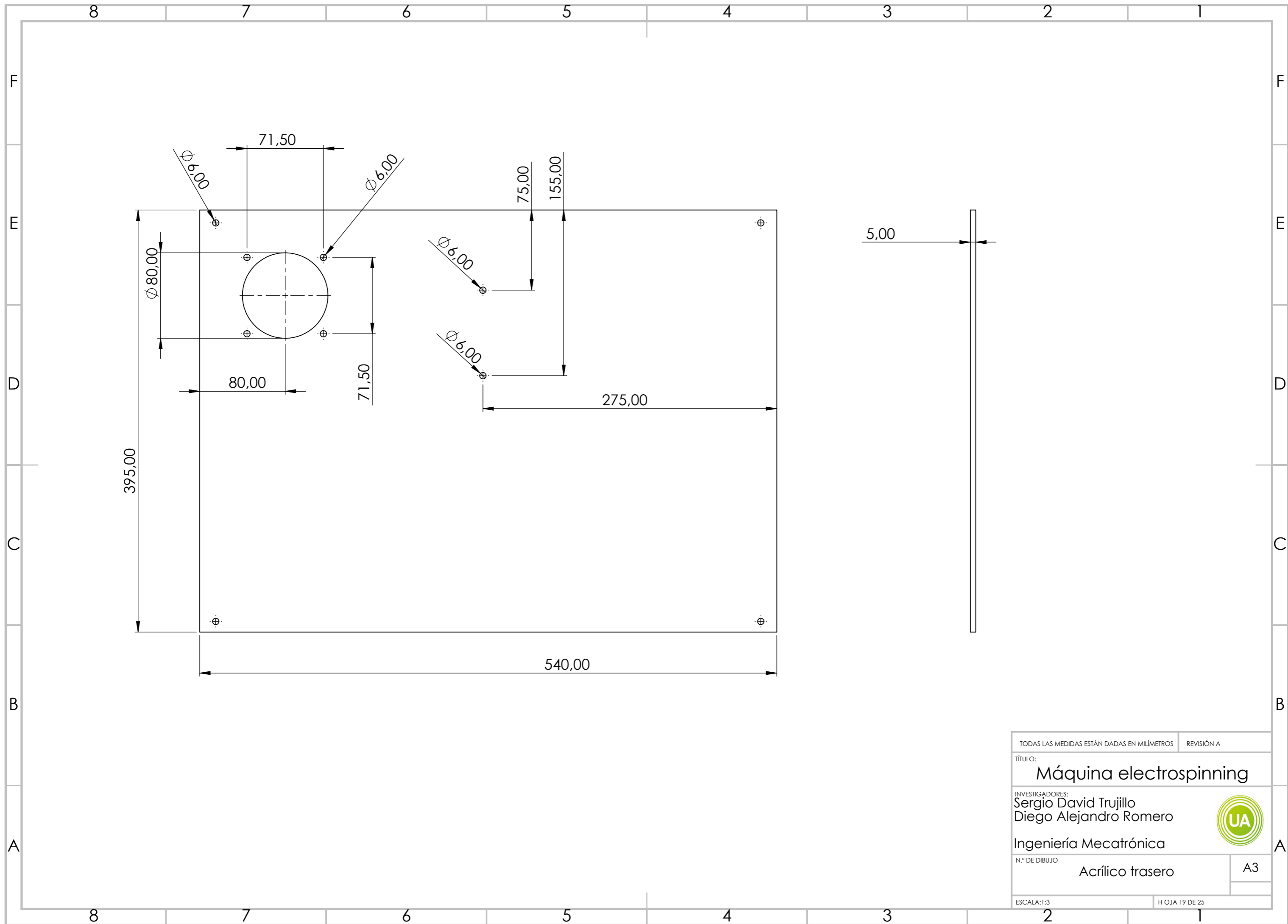
TODAS LAS MEDIDAS ESTÁN DADAS EN MILÍMETROS		REVISIÓN A
TÍTULO: <b>Máquina electrospinning</b>		
INVESTIGADORES: Sergio David Trujillo Diego Alejandro Romero		
Ingeniería Mecatrónica		
N.º DE DIBUJO Acrílico puerta delantera	A3	
ESCALA:1:2	H OJA 16 DE 25	



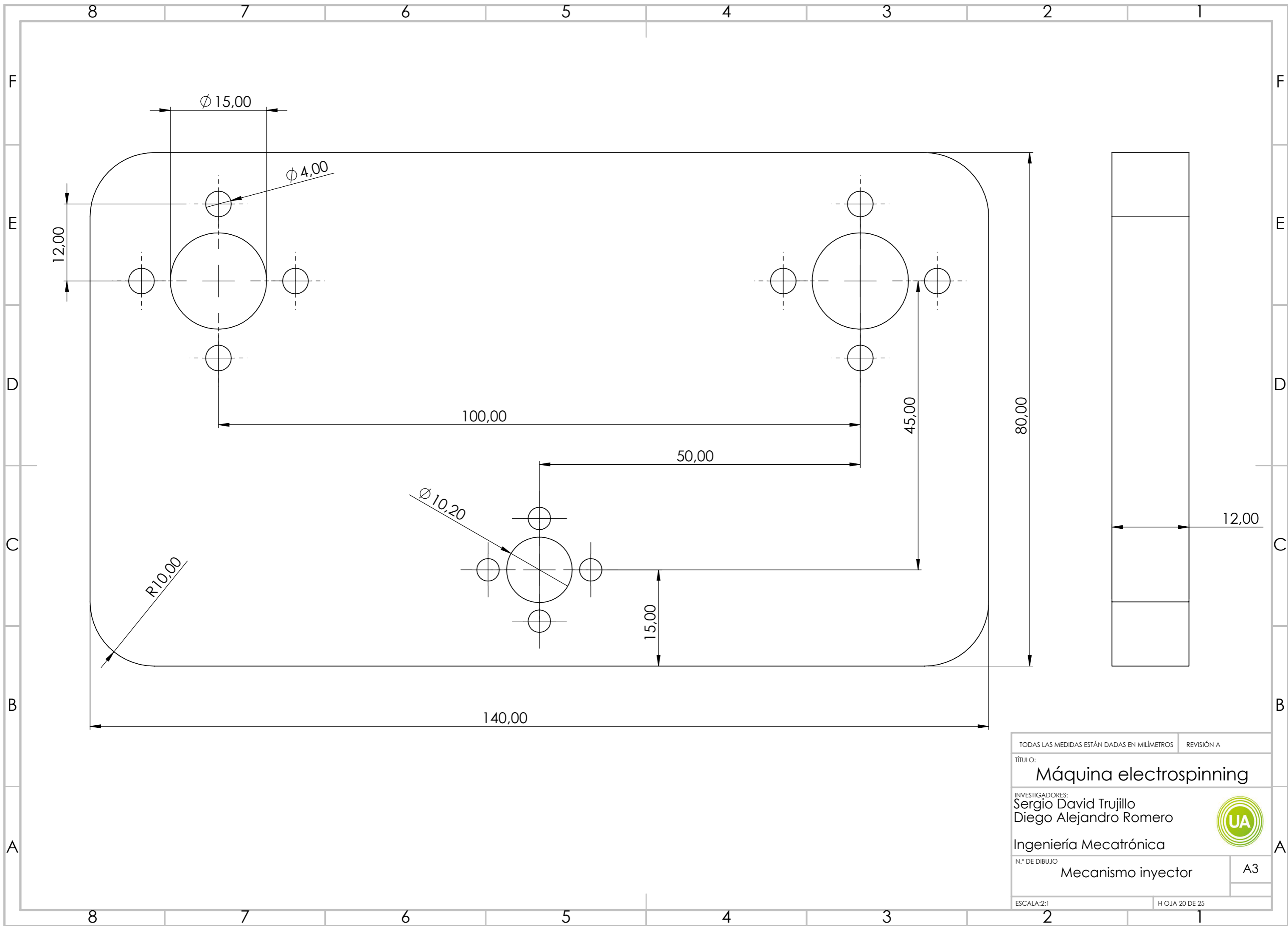
TODAS LAS MEDIDAS ESTÁN DADAS EN MILÍMETROS		REVISIÓN A
TÍTULO: <b>Máquina electrospinning</b>		
INVESTIGADORES: Sergio David Trujillo Diego Alejandro Romero		
Ingeniería Mecatrónica		
N.º DE DIBUJO Acrílico puerta trasera	A3	
ESCALA:1:2	H OJA 17 DE 25	



TODAS LAS MEDIDAS ESTÁN DADAS EN MILÍMETROS		REVISIÓN A
TÍTULO: <b>Máquina electrospinning</b>		
INVESTIGADORES: Sergio David Trujillo Diego Alejandro Romero		
Ingeniería Mecatrónica		
N.º DE DIBUJO Acrílico superior e inferior	A3	
ESCALA:1:3	H OJA 18 DE 25	

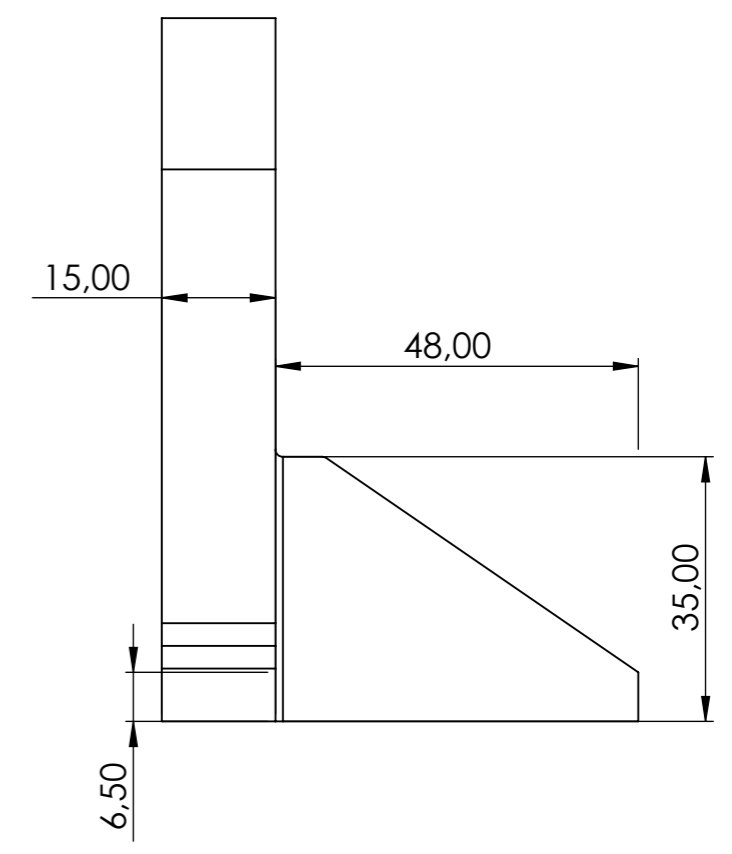
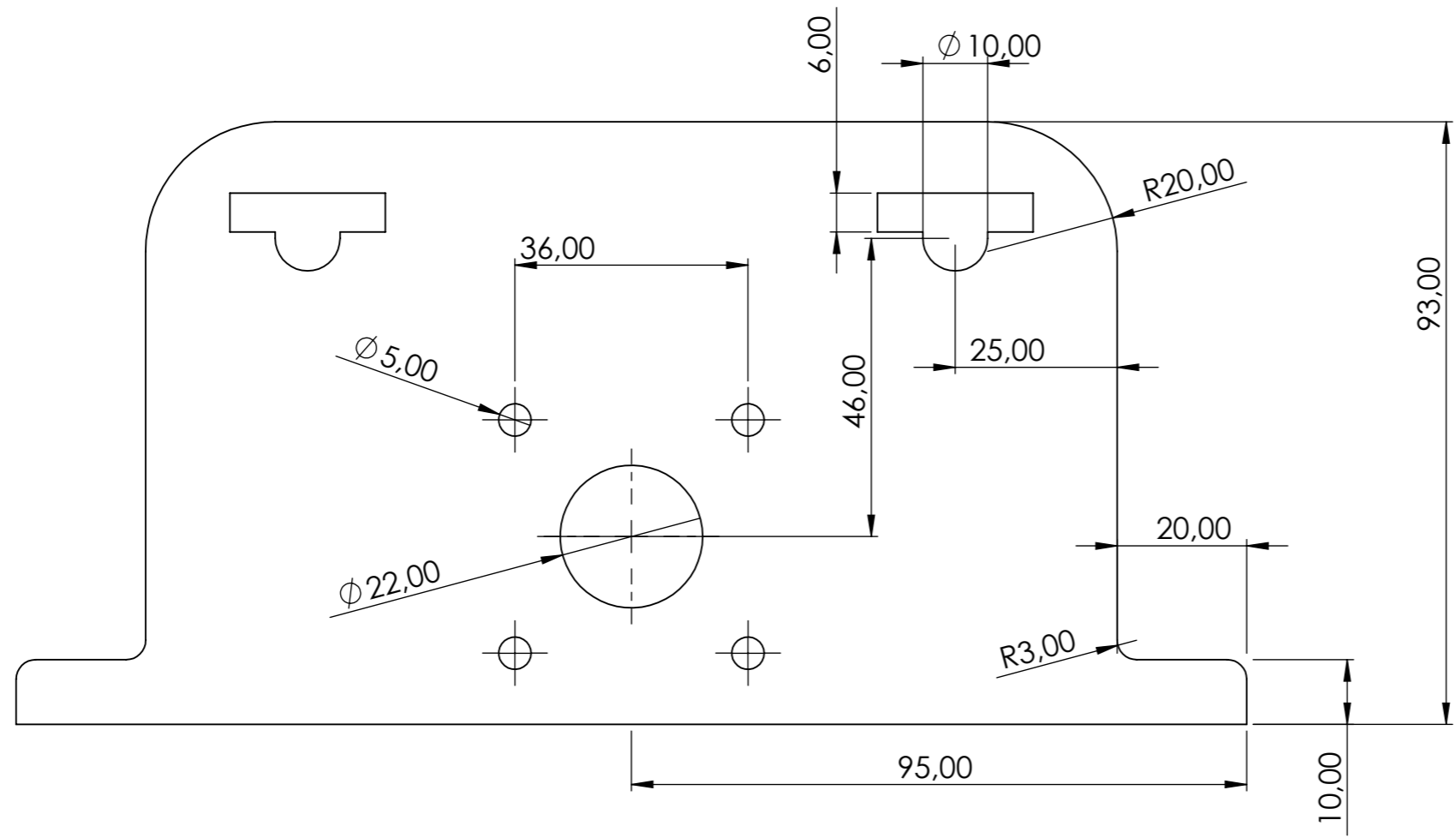


TODAS LAS MEDIDAS ESTÁN DADAS EN MILÍMETROS		REVISIÓN A
TÍTULO: <b>Máquina electrospinning</b>		
INVESTIGADORES: Sergio David Trujillo Diego Alejandro Romero		
Ingeniería Mecatrónica		
N.º DE DIBUJO	Acrílico trasero	A3
ESCALA:1:3	H OJA 19 DE 25	

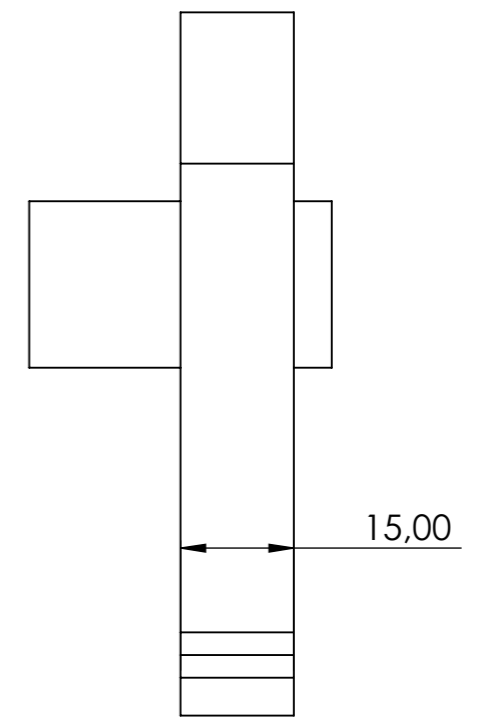
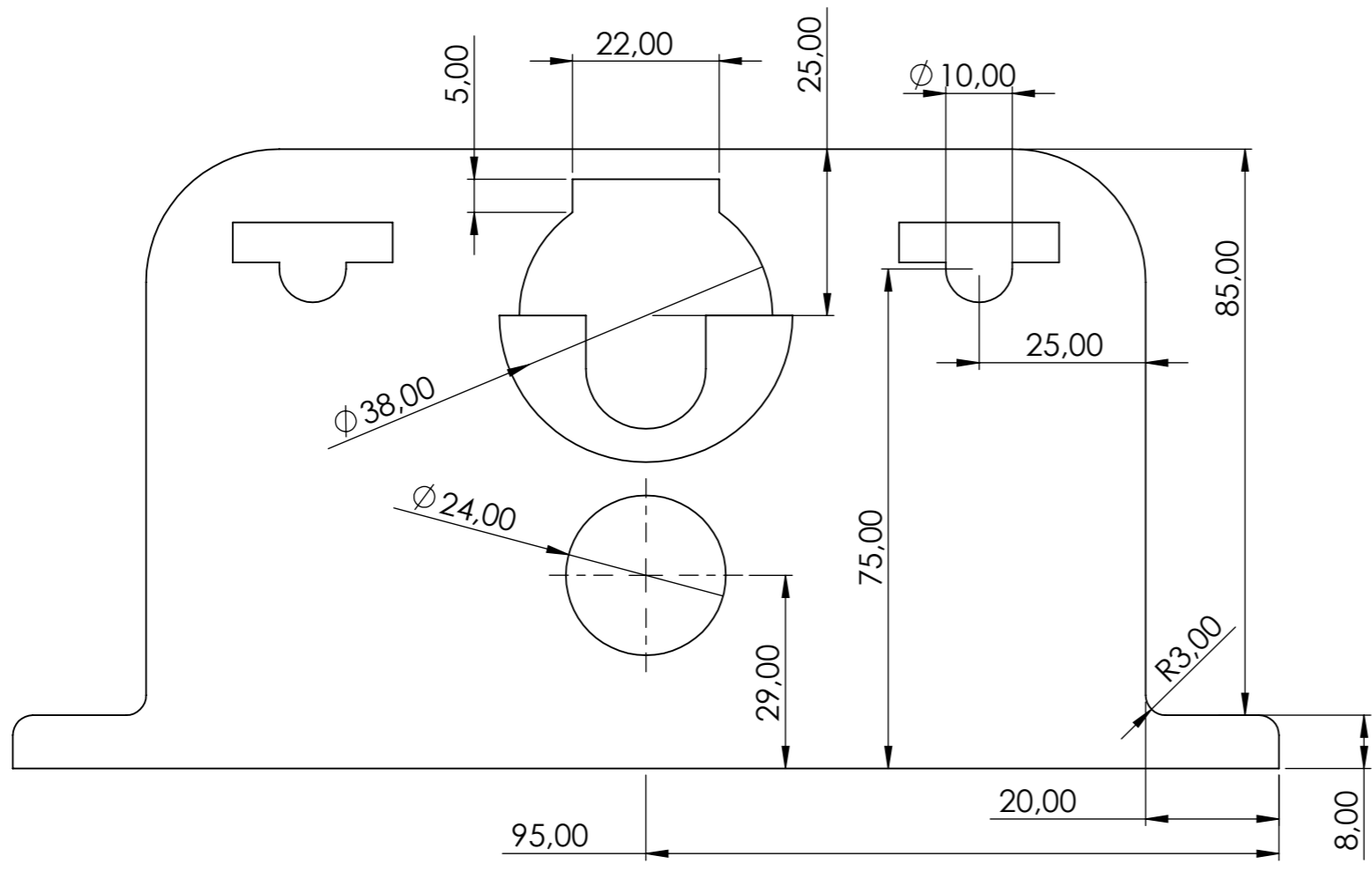


TODAS LAS MEDIDAS ESTÁN DADAS EN MILÍMETROS		REVISIÓN A
TÍTULO: <b>Máquina electrospinning</b>		
INVESTIGADORES: Sergio David Trujillo Diego Alejandro Romero		
Ingeniería Mecatrónica		
N.º DE DIBUJO	Mecanismo inyector	A3
ESCALA:2:1	H OJA 20 DE 25	



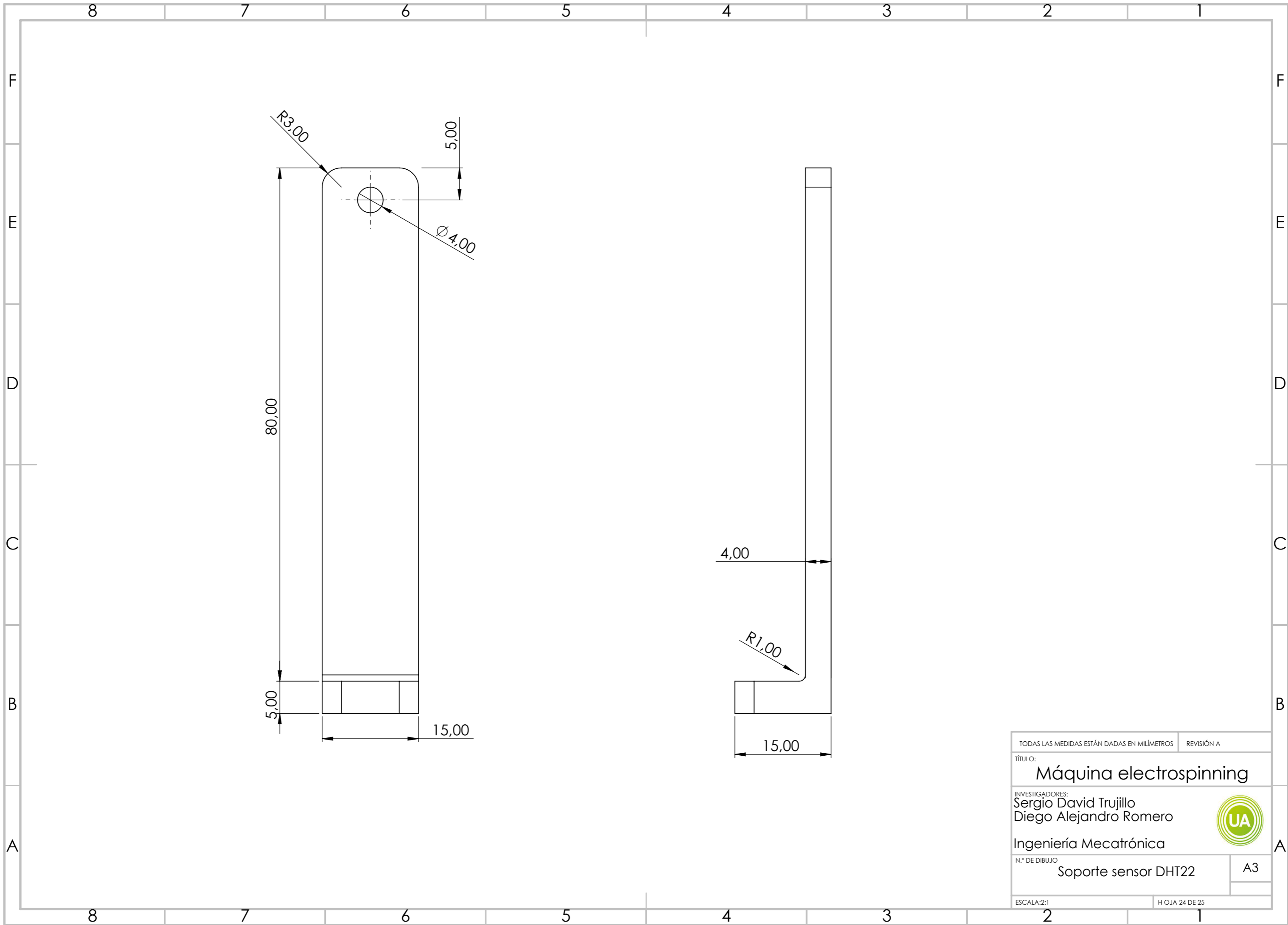


TODAS LAS MEDIDAS ESTÁN DADAS EN MILÍMETROS		REVISIÓN A
TÍTULO: <b>Máquina electrospinning</b>		
INVESTIGADORES: Sergio David Trujillo Diego Alejandro Romero		
Ingeniería Mecatrónica		
N.º DE DIBUJO	Soporte jeringa 1	A3
ESCALA:1:1	H OJA 22 DE 25	



TODAS LAS MEDIDAS ESTÁN DADAS EN MILÍMETROS		REVISIÓN A
TÍTULO: <b>Máquina electrospinning</b>		
INVESTIGADORES: Sergio David Trujillo Diego Alejandro Romero		
Ingeniería Mecatrónica		
N.º DE DIBUJO	Soporte jeringa 2	A3
ESCALA:1:1	H OJA 23 DE 25	





TODAS LAS MEDIDAS ESTÁN DADAS EN MILÍMETROS REVISIÓN A

TÍTULO:  
Máquina electrospinning

INVESTIGADORES:  
Sergio David Trujillo  
Diego Alejandro Romero



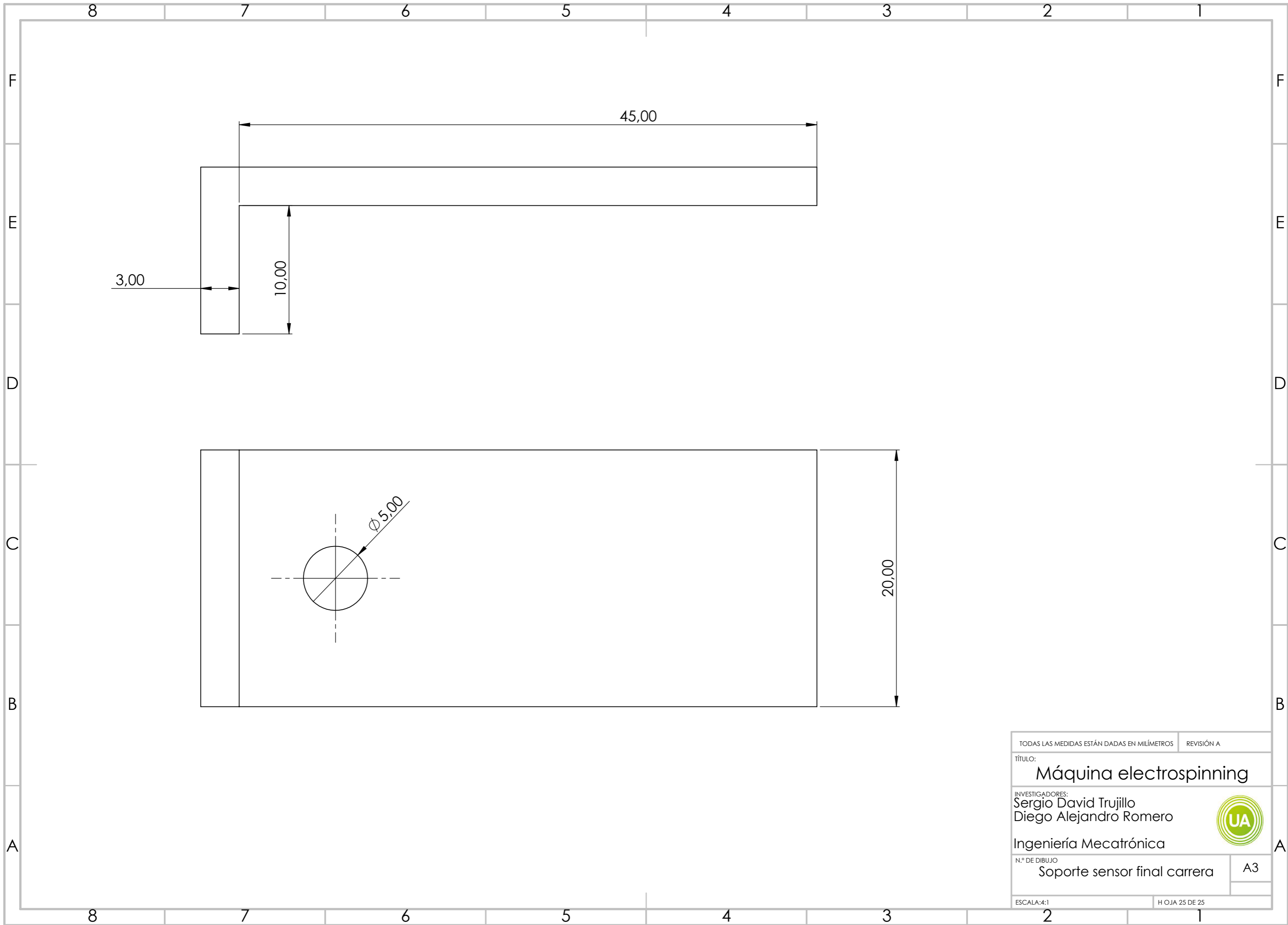
Ingeniería Mecatrónica

N.º DE DIBUJO  
Soporte sensor DHT22

A3

ESCALA:2:1

H OJA 24 DE 25



TODAS LAS MEDIDAS ESTÁN DADAS EN MILÍMETROS		REVISIÓN A
TÍTULO: <b>Máquina electrospinning</b>		
INVESTIGADORES: Sergio David Trujillo Diego Alejandro Romero		
Ingeniería Mecatrónica		
N.º DE DIBUJO Soporte sensor final carrera	A3	
ESCALA:4:1	H OJA 25 DE 25	

*Anexo B Hoja de datos DHT22*

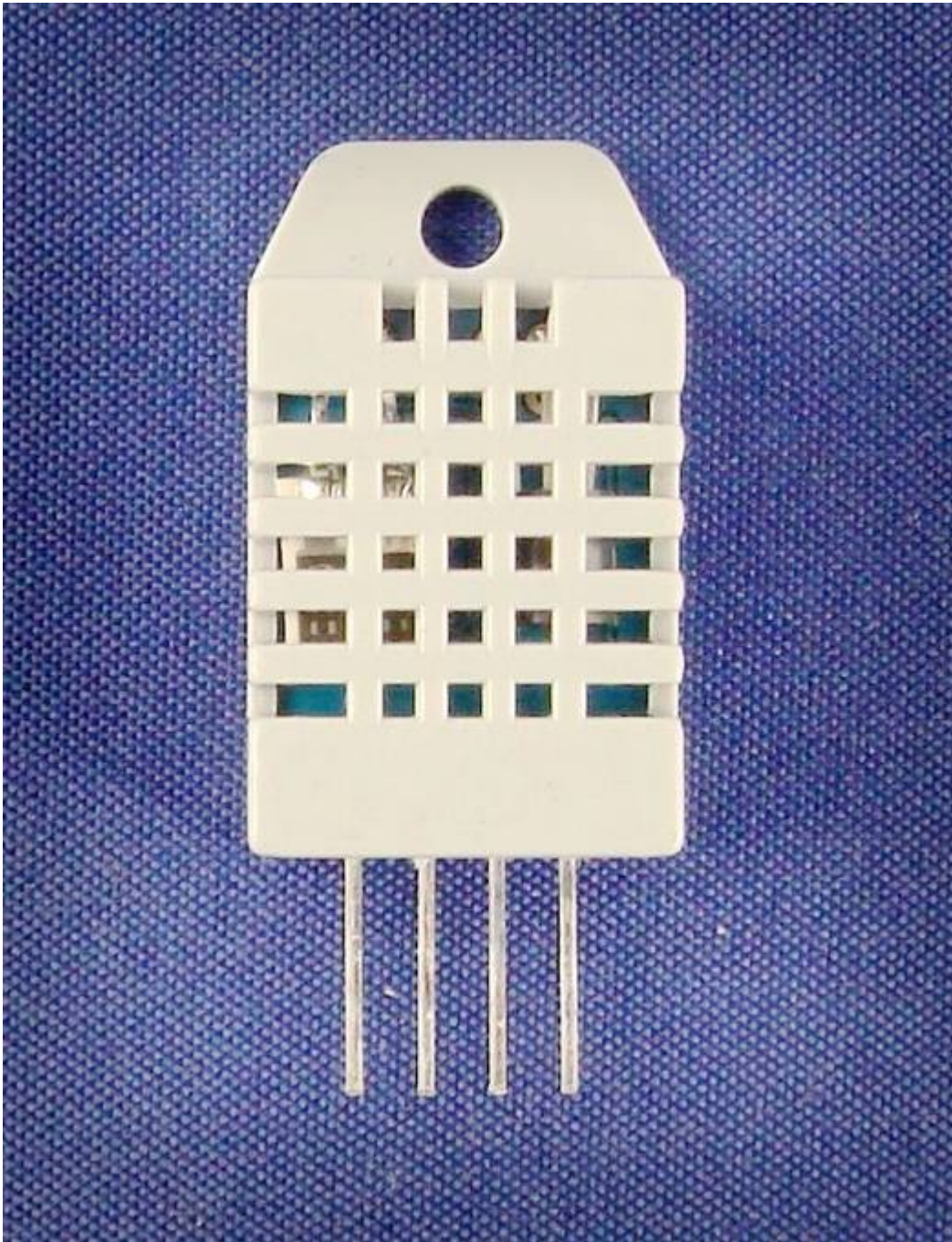
Con la información relevante del sensor de temperatura y humedad utilizado.

# Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

## Digital-output relative humidity & temperature sensor/module

### DHT22 (DHT22 also named as AM2302)



Capacitive-type humidity and temperature module/sensor

1

Thomas Liu (Business Manager)

Email: [thomasliu198518@yahoo.com.cn](mailto:thomasliu198518@yahoo.com.cn)

# Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

## 1. Feature & Application:

- \* Full range temperature compensated
- \* Relative humidity and temperature measurement
- \* Calibrated digital signal
- \* Outstanding long-term stability
- \* Extra components not needed
- \* Long transmission distance
- \* Low power consumption
- \* 4 pins packaged and fully interchangeable

## 2. Description:

DHT22 output calibrated digital signal. It utilizes exclusive digital-signal-collecting-technique and humidity sensing technology, assuring its reliability and stability. Its sensing elements is connected with 8-bit single-chip computer.

Every sensor of this model is temperature compensated and calibrated in accurate calibration chamber and the calibration-coefficient is saved in type of programme in OTP memory, when the sensor is detecting, it will cite coefficient from memory.

Small size & low consumption & long transmission distance(20m) enable DHT22 to be suited in all kinds of harsh application occasions.

Single-row packaged with four pins, making the connection very convenient.

## 3. Technical Specification:

Model	DHT22
Power supply	3.3-6V DC
Output signal	digital signal via single-bus
Sensing element	Polymer capacitor
Operating range	humidity 0-100%RH; temperature -40~80Celsius
Accuracy	humidity +-2%RH(Max +-5%RH); temperature <+-0.5Celsius
Resolution or sensitivity	humidity 0.1%RH; temperature 0.1Celsius
Repeatability	humidity +-1%RH; temperature +-0.2Celsius
Humidity hysteresis	+/-0.3%RH
Long-term Stability	+/-0.5%RH/year
Sensing period	Average: 2s
Interchangeability	fully interchangeable
Dimensions	small size 14*18*5.5mm; big size 22*28*5mm

## 4. Dimensions: (unit----mm)

### 1) Small size dimensions: (unit----mm)

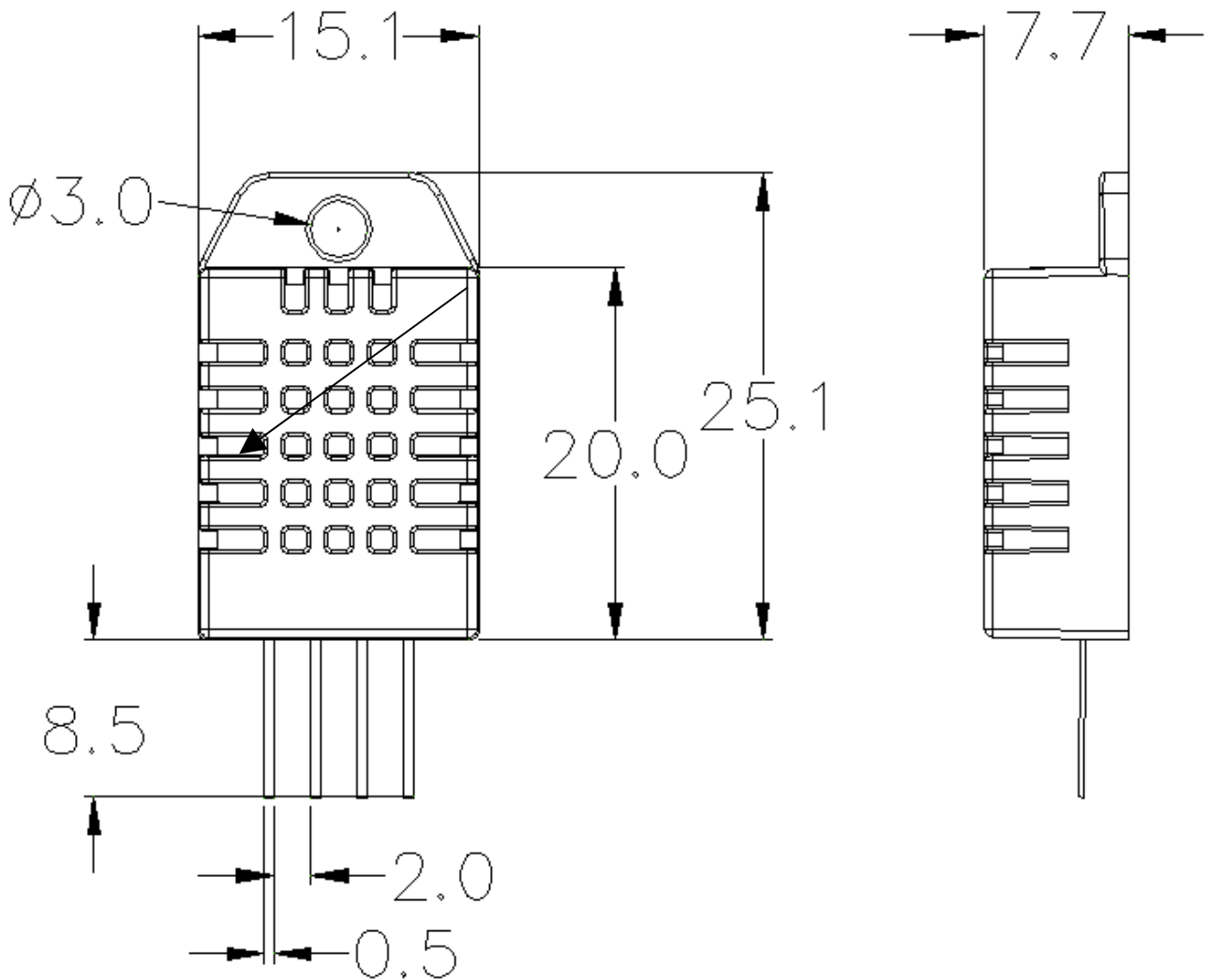
# Aosong Electronics Co.,Ltd

---

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

# Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors



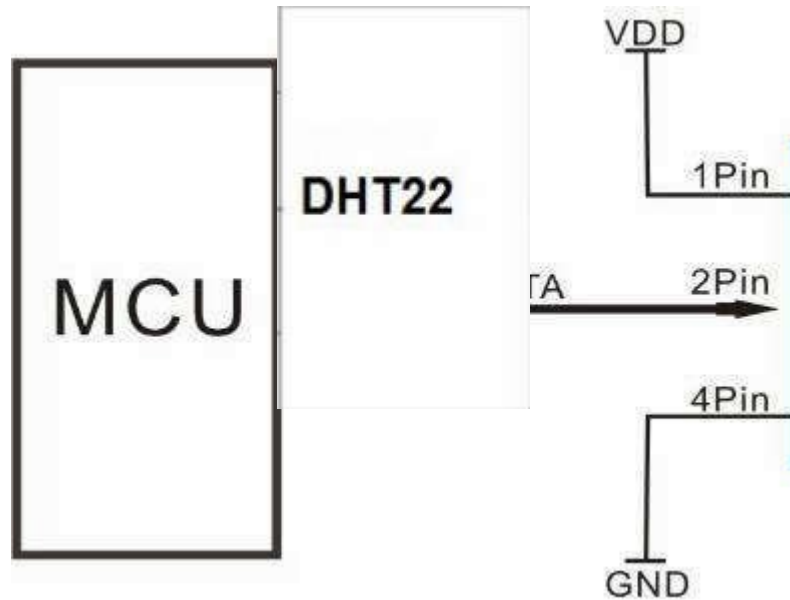
Pin sequence number: 1 2 3 4 (from left to right direction).

Pin	Function
1	VDD----power supply
2	DATA--signal
3	NULL
4	GND

# Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

## 5. Electrical connection diagram:



**3Pin---NC, AM2302** is another name for DHT22

## 6. Operating specifications:

### (1) Power and Pins

Power's voltage should be 3.3-6V DC. When power is supplied to sensor, don't send any instruction to the sensor within one second to pass unstable status. One capacitor valued 100nF can be added between VDD and GND for wave filtering.

### (2) Communication and signal

Single-bus data is used for communication between MCU and DHT22, it costs 5mS for single time communication.

Data is comprised of integral and decimal part, the following is the formula for data.

DHT22 send out higher data bit firstly!

DATA=8 bit integral RH data+8 bit decimal RH data+8 bit integral T data+8 bit decimal T data+8 bit check-sum  
If the data transmission is right, check-sum should be the last 8 bit of "8 bit integral RH data+8 bit decimal RH data+8 bit integral T data+8 bit decimal T data".

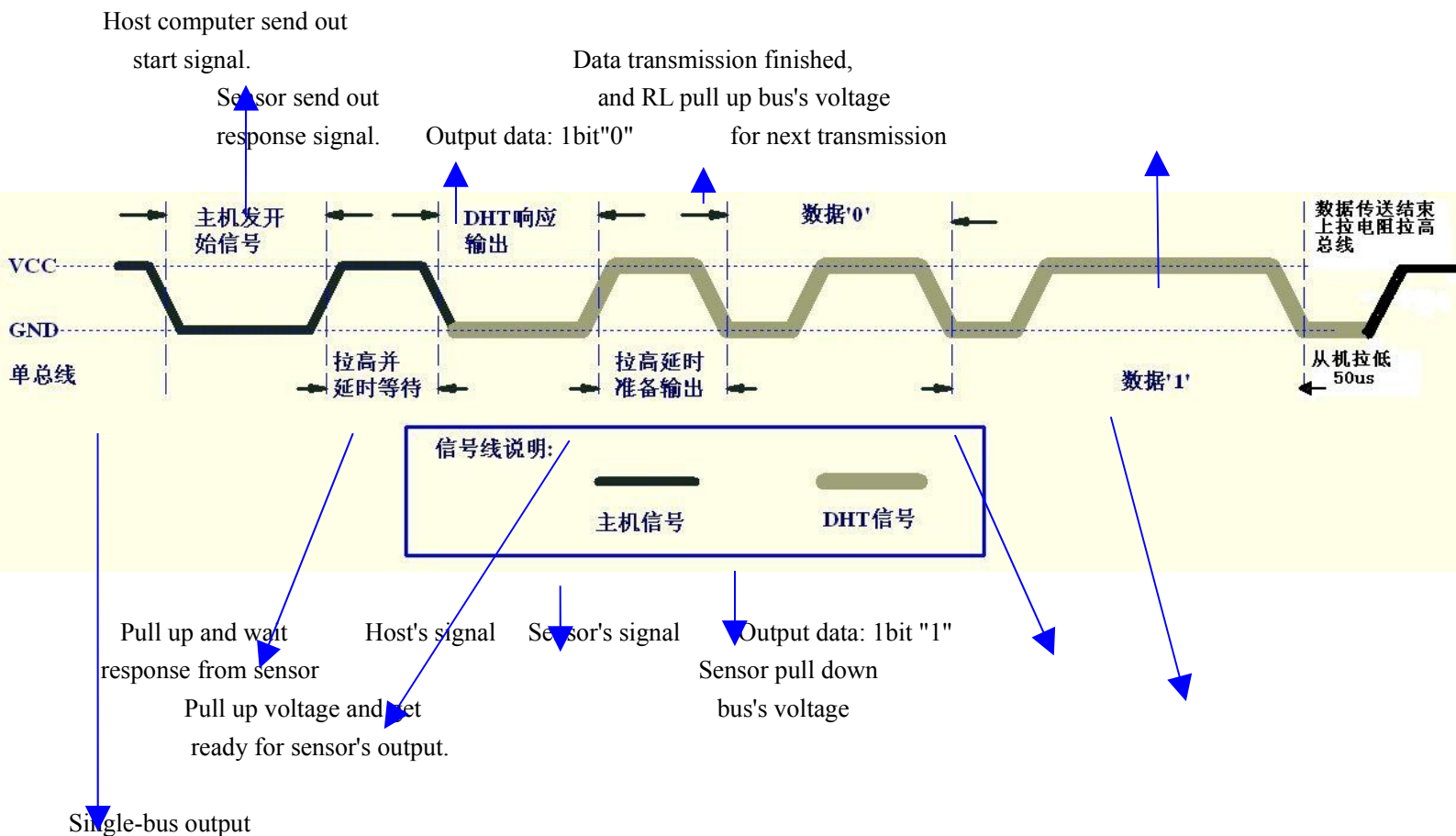
When MCU send start signal, DHT22 change from low-power-consumption-mode to running-mode. When MCU finishes sending the start signal, DHT22 will send response signal of 40-bit data that reflect the relative humidity

# Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

and temperature information to MCU. Without start signal from MCU, DHT22 will not give response signal to MCU. One start signal for one time's response data that reflect the relative humidity and temperature information from DHT22. DHT22 will change to low-power-consumption-mode when data collecting finish if it don't receive start signal from MCU again.

1) Check bellow picture for overall communication process:



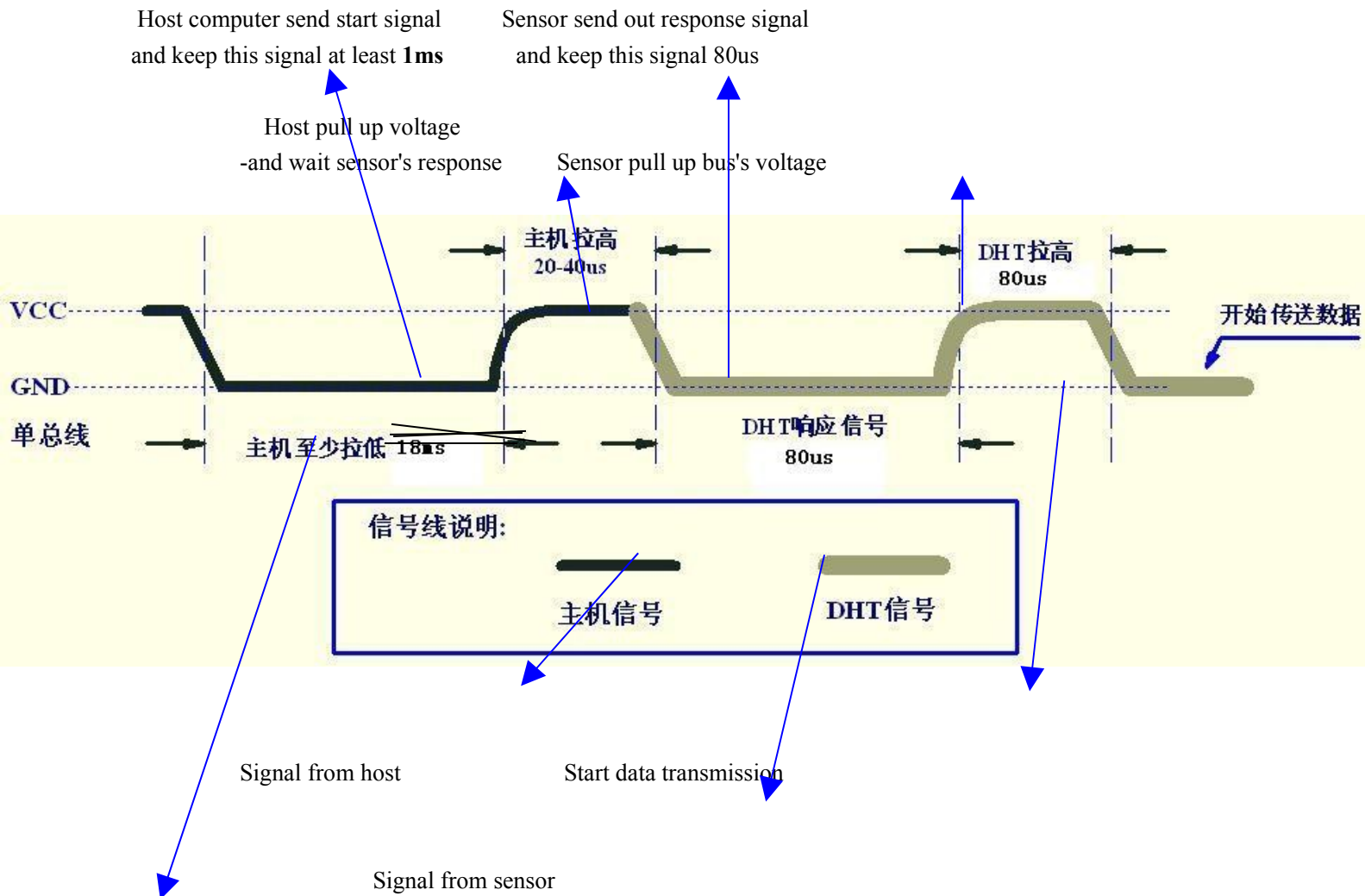
2) Step 1: MCU send out start signal to DHT22

Data-bus's free status is high voltage level. When communication between MCU and DHT22 begin, program of MCU will transform data-bus's voltage level from high to low level and this process must beyond at least 1ms to ensure DHT22 could detect MCU's signal, then MCU will wait 20-40us for DHT22's response.

Check bellow picture for step 1:

# Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors



Single-bus signal

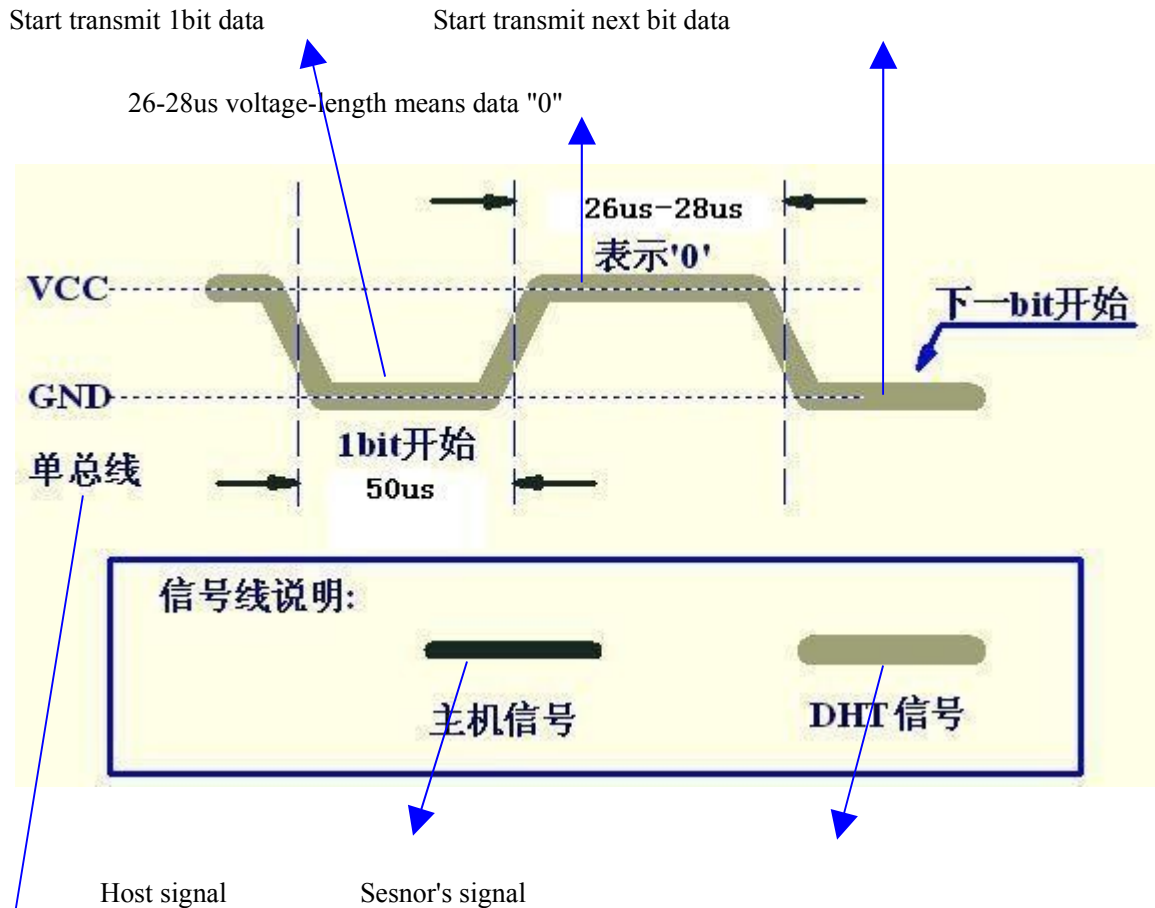
Step 2: DHT22 send response signal to MCU

When DHT22 detect the start signal, DHT22 will send out low-voltage-level signal and this signal last 80us as response signal, then program of DHT22 transform data-bus's voltage level from low to high level and last 80us for DHT22's preparation to send data.

Check bellow picture for step 2:

# Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors



Single-bus signal

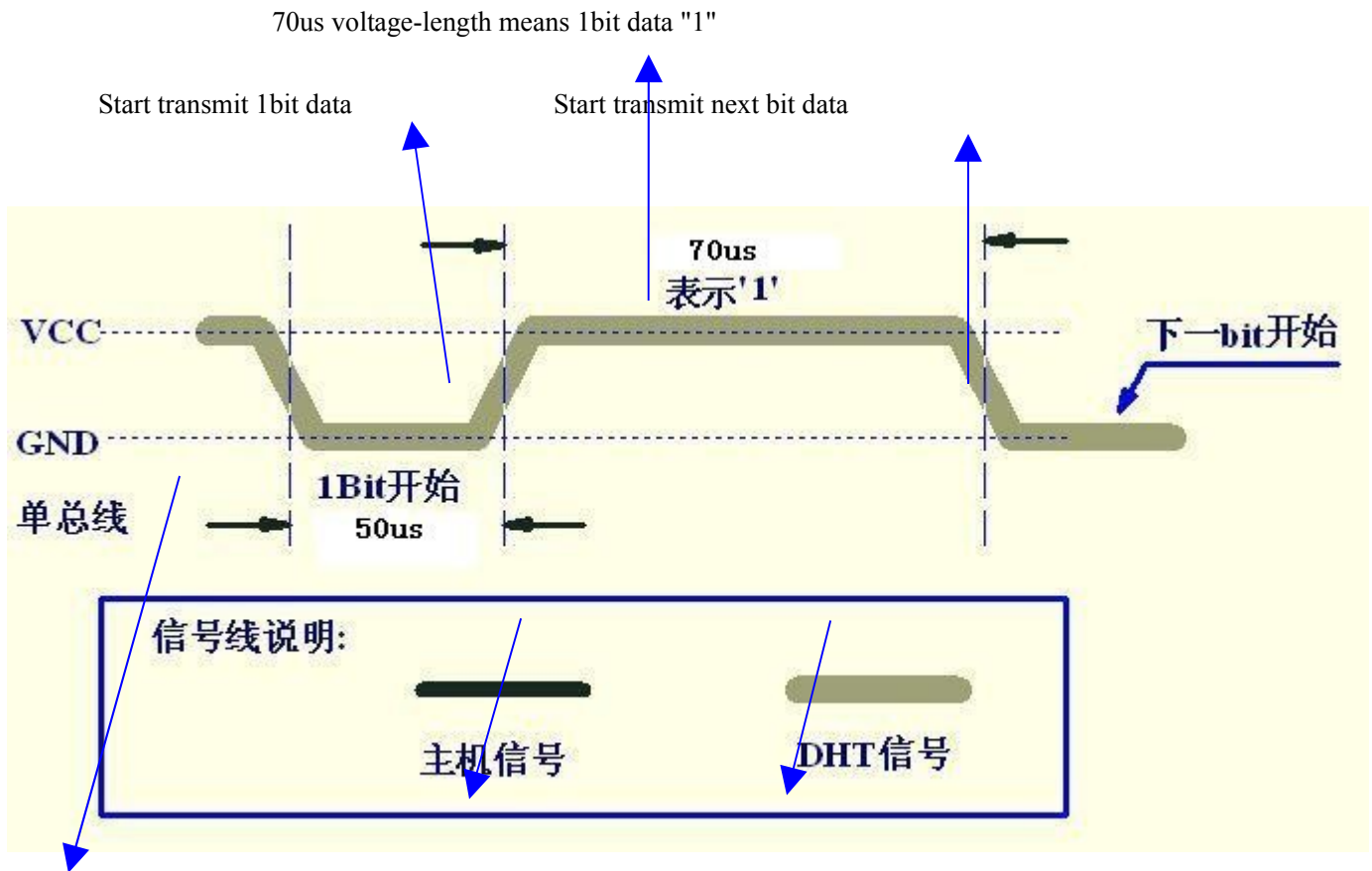
## Step 3: DHT22 send data to MCU

When DHT22 is sending data to MCU, every bit's transmission begin with low-voltage-level that last 50us, the following high-voltage-level signal's length decide the bit is "1" or "0".

Check bellow picture for step 3:

# Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors



Host signal

Sesnor's signal

Single-bus signal

If signal from DHT22 is always high-voltage-level, it means DHT22 is not working properly, please check the electrical connection status.

## 7. Electrical Characteristics:

Item	Condition	Min	Typical	Max	Unit
Power supply	DC	3.3	5	6	V
Current supply	Measuring	1		1.5	mA
	Stand-by	40	Null	50	uA
Collecting period	Second		2		Second

\*Collecting period should be : >2 second.

# Aosong Electronics Co.,Ltd

---

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

## 8. Attentions of application:

### (1) Operating and storage conditions

We don't recommend the applying RH-range beyond the range stated in this specification. The DHT22 sensor can recover after working in non-normal operating condition to calibrated status, but will accelerate sensors' aging.

### (2) Attentions to chemical materials

Vapor from chemical materials may interfere DHT22's sensitive-elements and debase DHT22's sensitivity.

### (3) Disposal when (1) & (2) happens

Step one: Keep the DHT22 sensor at condition of Temperature 50~60Celsius, humidity <10%RH for 2 hours;

Step two: After step one, keep the DHT22 sensor at condition of Temperature 20~30Celsius, humidity >70%RH for 5 hours.

### (4) Attention to temperature's affection

Relative humidity strongly depend on temperature, that is why we use temperature compensation technology to ensure accurate measurement of RH. But it's still be much better to keep the sensor at same temperature when sensing.

DHT22 should be mounted at the place as far as possible from parts that may cause change to temperature.

### (5) Attentions to light

Long time exposure to strong light and ultraviolet may debase DHT22's performance.

### (6) Attentions to connection wires

The connection wires' quality will effect communication's quality and distance, high quality shielding-wire is recommended.

### (7) Other attentions

\* Welding temperature should be bellow 260Celsius.

\* Avoid using the sensor under dew condition.

\* Don't use this product in safety or emergency stop devices or any other occasion that failure of DHT22 may cause personal injury.

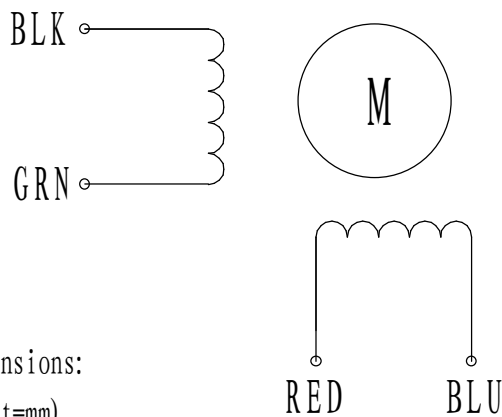
*Anexo C Hoja de datos motor paso Nema 17*

Con la información técnica del motor paso utilizado para la inyección del biopolímero y automatización del caudal.

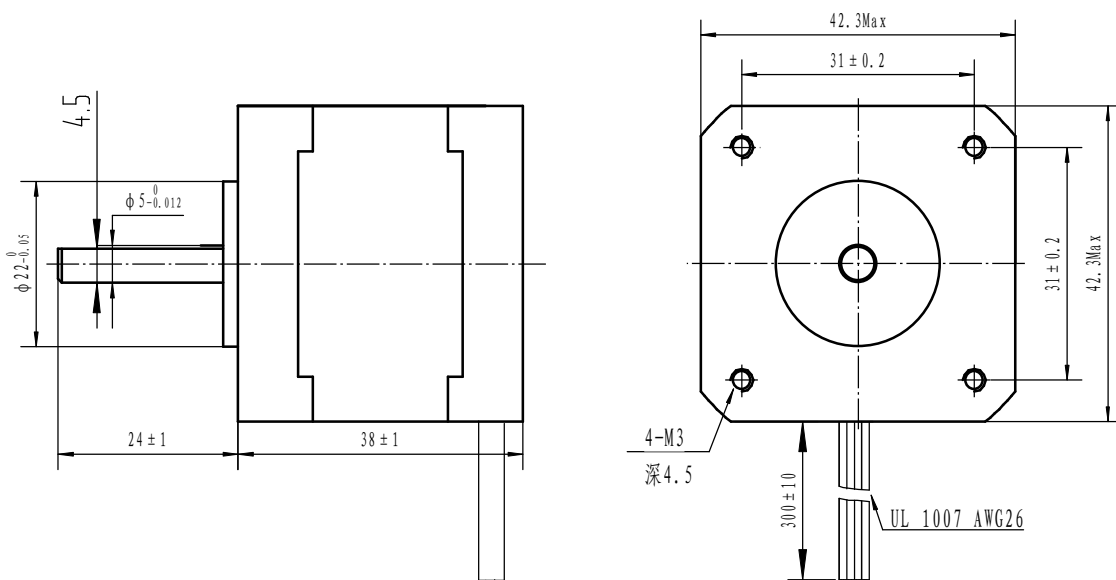
# HIGH TORQUE HYBRID STEPPING MOTOR SPECIFICATIONS

General specifications		Electrical specifications	
Step Angle (°)	1.8	Rated Voltage (V)	2.8
Temperature Rise (°C)	80 Max (rated current, 2 phase on)	Rated Current (A)	1.68
Ambient Temperature (°C)	-20 ~ +50	Resistance Per Phase ( $\pm 10\%$ $\Omega$ )	1.65 (25°C)
Number of Phase	2	Inductance Per Phase ( $\pm 20\%$ mH)	3.2
Insulation Resistance (M $\Omega$ )	100 Min (500VDC)	Holding torque (N.cm)	36
Insulation Class	Class B		
Max. radial force (N)	28 (20mm from the flange)		
Max. axial force (N)	10		

## ● Wiring Diagram :

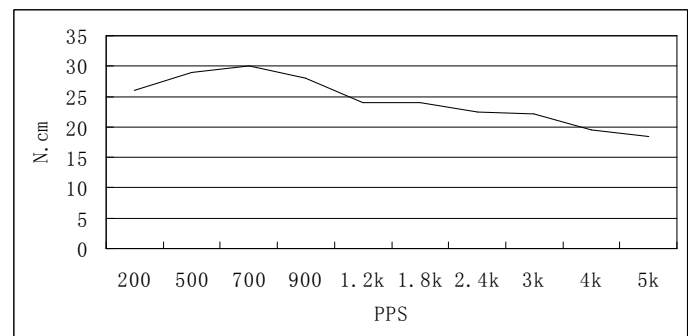


● Dimensions:  
(unit=mm)



## ● PULL out torque curve :

VOLTAGE: 24VDC CONSTANT CURRENT : 1.68A HALF STEP



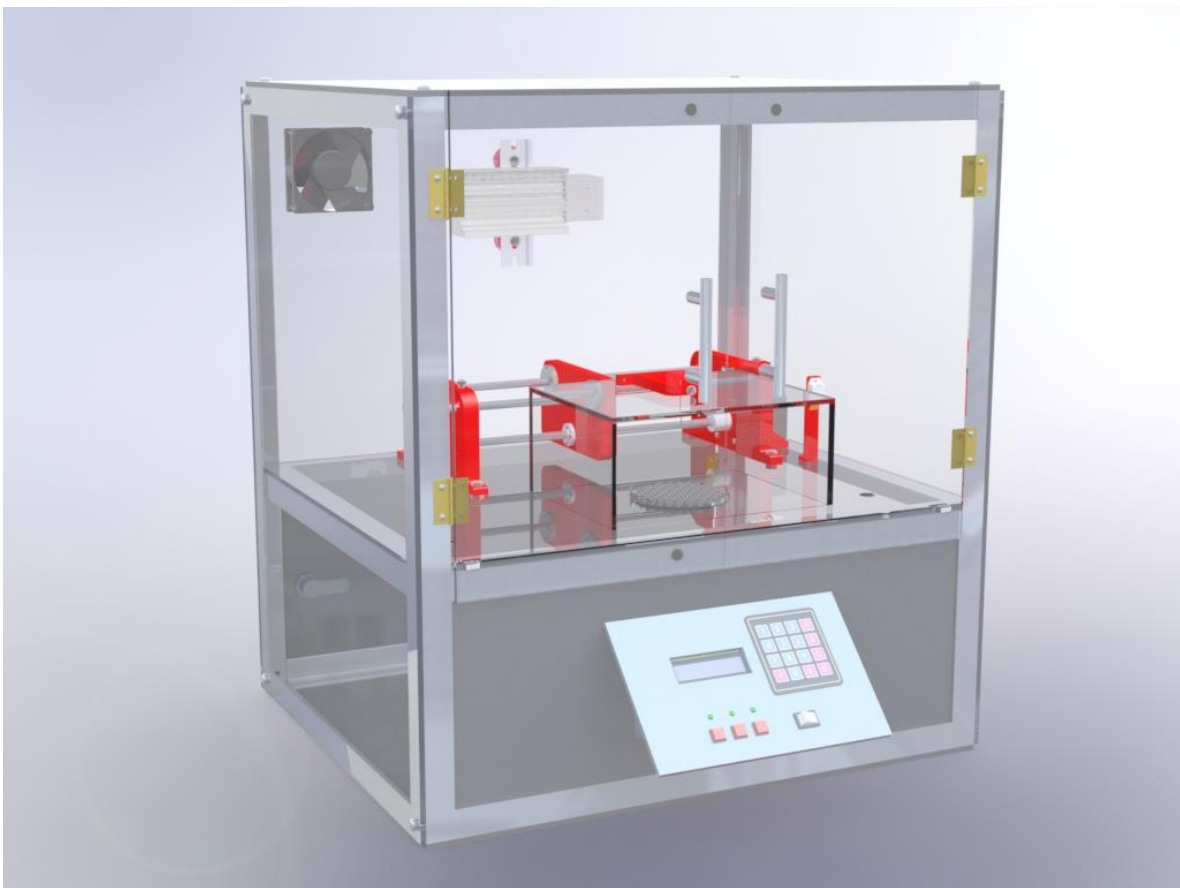
REV	REVISIONS	DESCRIPTION	BY	DATE	SY42STH38-1684A	TECHNICAL CONDITIONS
DRAW						
CHECK						
APPROVE						

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.

*Anexo D Manual de usuario del prototipo*

El documento base y necesario para la manipulación del prototipo, cuenta con la información más importante que debe tener en cuenta el operario para manipular la máquina y documentación fotográfica que facilita el proceso.

# PROTOTIPO DE MÁQUINA DE ELECTROSPINNING MANUAL DE USUARIO











# CONTENIDO

<b>PRECAUCIONES DE SEGURIDAD .....</b>	<b>3</b>
<b>USO DE PROTOTIPO DE MÁQUINA DE ELECTRSPINNING .....</b>	<b>6</b>
<b>FUNCIONAMIENTO .....</b>	<b>9</b>

## PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

Antes de usar el prototipo de máquina de electrospinning, lea este manual completamente para asegurar una operación segura y eficiente, igualmente para conocer de las muchas características y funciones de su nuevo aparato.

### Símbolos y precauciones de seguridad importantes:

	ADVERTENCIA	Riesgos o usos inseguros que pueden producir lesiones personales graves o muerte.
	PRECAUCIÓN	Riesgos o usos inseguros que pueden producir lesiones personales menores o daños en la propiedad.
		Siga las instrucciones
		NO lo intente
		Asegúrese que el aparato esté conectado a tierra choque eléctrico
		Desenchufe el enchufe de la toma de corriente de la pared.
		Desenchufe el enchufe de la toma de corriente de la pared.
		NO desarmar.

## INSTALACIÓN



## ADVERTENCIA



**Utilice un cable de energía con las mismas especificaciones de energía del producto, o superiores, y emplee un único cable de energía para este dispositivo.**

- No utilice un transformador eléctrico. Puede provocar un choque eléctrico o incendio
- Si la condición de voltaje/frecuencia/corriente nominal es diferente, podría ocasionar incendios.

## INSTALACIÓN



## ADVERTENCIA

- ⊘ **No instale este aparato cerca de un calentador ni de material inflamable. No instale este aparato en lugares donde se encuentre muchos aparatos eléctricos, ni en lugares expuestos al agua (lluvia).**

- Esto puede provocar un choque eléctrico.

Nunca instale la unidad en lugares cerrados.

- Esto puede provocar campos magnéticos de gran intensidad.



**Este aparato debe conectarse a tierra apropiadamente.**

- Nunca conecte el cable de alimentación a un tomacorriente que no esté conectado a tierra correctamente.

## ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA



## ADVERTENCIA

- ⊘ **No tire del cable de energía ni lo doble excesivamente. No lo retuerza ni lo amarre. No enganche el cable de energía a ningún objeto metálico, no ubique objetos pesados encima del cable de energía, no inserte el cable de energía entre objetos, ni lo empuje dentro del espacio en la sección posterior del dispositivo.**

- Esto puede provocar un choque eléctrico.



**Cuando no use el prototipo de máquina de electrospinning por un largo periodo de tiempo o durante una tormenta eléctrica, desconecte del tomacorriente.**

- Si no lo hace, puede provocar un choque eléctrico.

## USO



## ADVERTENCIA

- ⊘ **No apague el prototipo de máquina de electrospinning directo del tomacorriente mientras está en funcionamiento.**

- Apagar la máquina de manera incorrecta puede llegar a causar daños de los componentes interno.



**!** **No coloque objetos o aparatos debajo o cerca de la unidad.**

- El campo magnético es demasiado grado por lo cual intentara descargarse en los objetos más cercanos.

**No opere el aparato con las manos mojadas.**

➤ Esto podría causar un choque eléctrico.  
No golpee el aire acondicionado ni tire de este con fuerza excesiva.

- Esto puede provocar lesiones o problemas con el producto.

**⚠** **Si alguna materia extraña como agua ha entrado en el aparato, corte la energía. Para ello desconecte el enchufe y apague el interruptor de circuito, luego Proceda a realizar una limpieza exhaustiva**

- Si no lo hace, puede provocar un choque eléctrico o incendio.

---

**LIMPIEZA**



**ADVERTENCIA**

**⊘** **Para limpiar el aparato no rocíe agua directamente sobre este. No use benceno, solvente para limpiar el aparato.**

- Esto puede ocasionar decoloración, deformación, daños, choque eléctrico o incendio.

Antes de limpiar o dar mantenimiento, desconecte el prototipo de máquina de electrspinning del tomacorriente y espere hasta que el ventilador se detenga.

- Si no lo hace, puede provocar un choque eléctrico o incendio.

**!** **Tenga cuidado al momento de limpiar la superficie del tablero de control ya que podría caer líquido a los componentes eléctricos.**

- Para evitar esto humedezca un trabo y páselo sobre la superficie del tablero.

**⊘** **No limpie el interior de la maquina por su cuenta.**

- Para una limpieza interior del aparato, debe realizarlo personal autorizado.

## USO DE PROTOTIPO DE MÁQUINA DE ELECTRSPINNING

Instale la máquina y conéctela a un tomacorriente a 110V -120 AC.

- El controlados comenzara a funcionar 30s después de encender.
- En caso de que no se encuentre en su punto Zero(cero) se pondrá encendido a máquina con el interruptor.
- Se cuenta con tres sensores de seguridad.
  - ◆ Sensor de posición Zero(cero): su función es ubicar la maquina en su punto de partida, en caso de que no genere lectura no se podrá manejar la máquina.
  - ◆ Sensor de puertas (2): su función es de brindar seguridad al usuario, en caso de que no generen lectura (puertas abiertas) no se podrá manejar la máquina.

## TECLADO



Figura 1: Teclado matricial 4x4

El teclado tiene dos funciones fundamentales en la máquina, una de ellas es para insertar datos del proceso (dimensión de la jeringa y flujo de salida) y la segunda para seleccionar las funciones que posee a máquina.

**A**

Botón de opción de proceso de electro hilado

**B**

Botón de opción de proceso de secado

## PULSADORES

Cuenta con tres pulsadores, cada uno de ellos está marcado con la función que realiza.



Pulsador de activación y desactivación del ventilador.



Pulsador de activación y desactivación de la resistencia calefactora



Pulsador de inicio y finalización del proceso.

## LEDS

Cuenta con tres leds de color verde como pilotos para dar una señal visible de activación.



Se enciende cuando el ventilados este encendido.



Se enciende cuando la resistencia se encuentra encendido.



Se enciende cuando la fuente de alto voltaje esta prendida.

## LCD

Cuenta una pantalla LCD en la cual será una guía paso a paso del proceso de igual manera encontraras datos de temperatura y humedad interna y te avisará si las puertas no se encuentran cerradas.

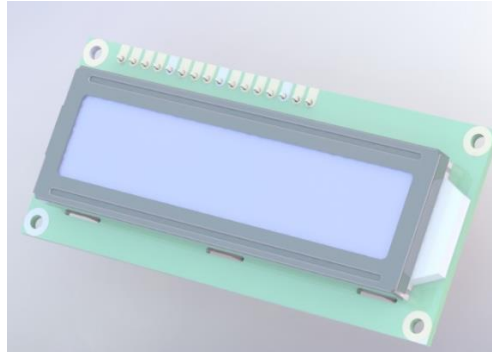


Figura 2 LCD



Figura 3 Tablero de control

## VENTILADOR

El ventilador se encuentra en la parte posterior, la función de este es enfriar el interior en caso de que desee una temperatura mas baja al del ambiente.



Figura 4 Ventilador

## RESISTENCIA CALEFACTORA

La resistencia calefactora ayudara a aumentar la temperatura interna.

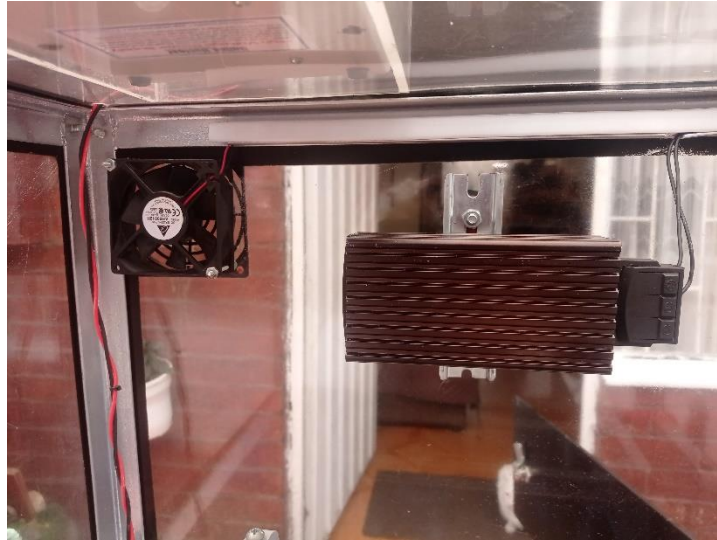


Figura 5: Montaje sistema de temperatura

## FUNCIONAMIENTO

### 1. Conectar la maquina

Conectar a una toma con polo a tierra (recuerde que la maquina no puede estar en espacios cerrados) .

### 2. Colocar la jeringa

Para la ubicación de la jeringa en el sistema de inyección encontrara una apertura para ser colocada y ajustarla con un tornillo debe tener en cuenta de que no quede muy apretada para darle el paso al vástago de la jeringa. La jeringa para un buen funcionamiento debe de ser de 20cm.

Lugar de ubicación de la jeringa de 20 cm

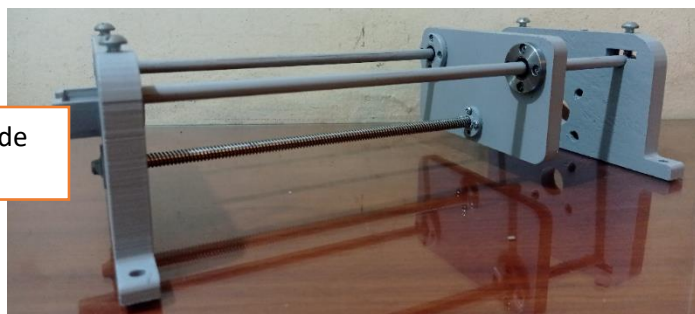


Figura 6 Ubicación de jeringa

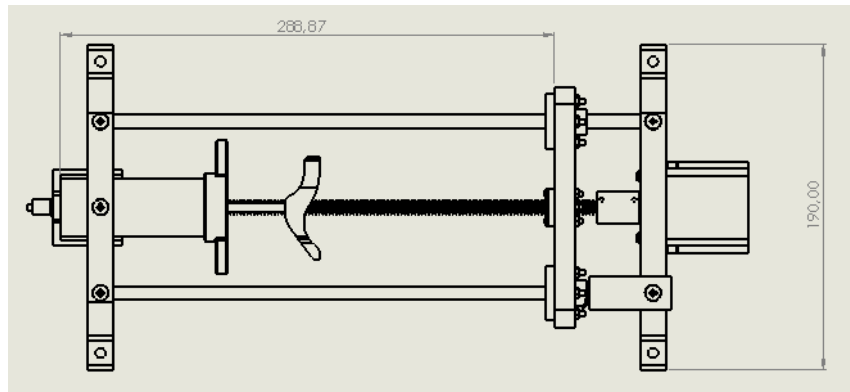


Figura 7: Plano de ubicación de jeringa

### 3. Conectar la manguera

- Manguera: la manguera que se utiliza en la maquina cuenta de un extensor de anestesia y una manguera de micro y macro goteo, cortando el extensor de anestesia y adaptando a la unión de la manguera de micro y macro goteo.
- Uno de los extremos lo enroscamos en la punta de la jeringa y el otro le ponemos la aguja quirúrgica

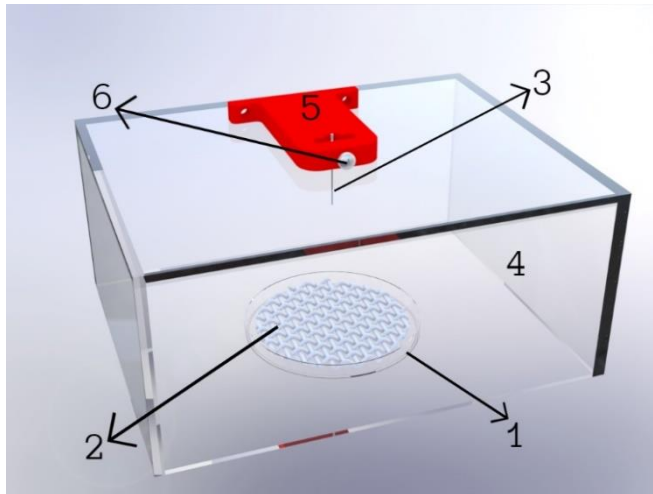
### 4. Colocar la aguja

La aguja será ubicada en la caja de vidrio en el parte superior, cuenta con un adaptador para ser ubicada y apretada y se conectará el cable rojo (positivo de la fuente) en la punta de la jeringa por dentro de la caja. Augúrese de que la aguja quede correctamente instalada, de no ser así, está se puede caer generado un choque eléctrico, generando daños irreparables en el aparato y/o electrocución.



Figura 8: Montaje de jeringa

## 5. Colocar la caja de Petri con etanol



1. Caja de Petri
2. Malla metálica
3. Aguja quirúrgica
4. Caja de vidrio
5. Adaptador de sujeción de aguja
6. Tornillo para sujetar aguja

Figura 9: Partes del sistema de recolección

## 6. Encendido de la maquina

Prendera con el interruptor que se encuentra en el panel del control

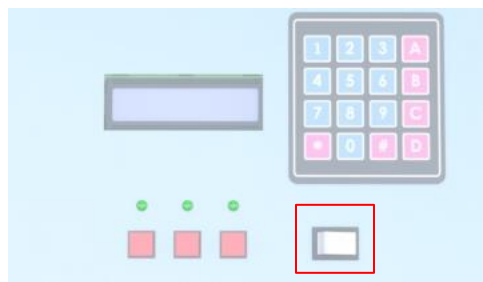


Figura 10: interruptor de encendido

La máquina por medio de la LCD le pedirá que inserte algunos parámetros antes de iniciar con el proceso de electrospinning. Una vez insertados deberá cerrar las puertas para continuar con el proceso.

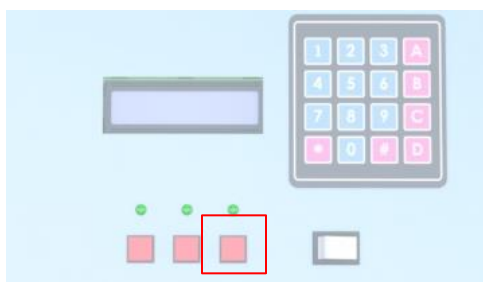


Figura 11: pulsador de inicio

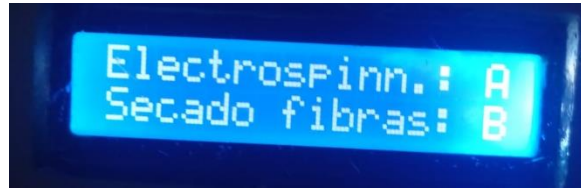


Figura 12: LCD parámetros

La LCD le mostrará las siguientes opciones las cuales podrá elegir con el teclado.

## 7. Función de electrspinning

Medidas le la jeringa	<p>Con el teclado pondrá la medida que ocupa el liquido dentro de la jeringa en milímetros.</p> <table border="1" data-bbox="483 722 992 909"> <tr> <td data-bbox="483 722 553 835">*</td> <td data-bbox="558 722 992 835">En caso de equivocarse oprima * para volver a colocar la medida</td> </tr> <tr> <td data-bbox="483 835 553 909">#</td> <td data-bbox="558 835 992 909">Para confirmar oprima numeral</td> </tr> </table>	*	En caso de equivocarse oprima * para volver a colocar la medida	#	Para confirmar oprima numeral				
*	En caso de equivocarse oprima * para volver a colocar la medida								
#	Para confirmar oprima numeral								
Velocidad de inyección	<p>Con el teclado pondrá la velocidad de inyección la cual estará en mililitros</p> <table border="1" data-bbox="483 1020 992 1283"> <tr> <td data-bbox="483 1020 743 1060">Flujo máximo</td> <td data-bbox="748 1020 992 1060">20ml/h</td> </tr> <tr> <td data-bbox="483 1060 743 1100">Flujo mínimo</td> <td data-bbox="748 1060 992 1100">6ml/h</td> </tr> <tr> <td data-bbox="483 1100 553 1213">*</td> <td data-bbox="558 1100 992 1213">En caso de equivocarse oprima * para volver a colocar el flujo de inyección</td> </tr> <tr> <td data-bbox="483 1213 553 1283">#</td> <td data-bbox="558 1213 992 1283">Para confirmar oprima numeral</td> </tr> </table>	Flujo máximo	20ml/h	Flujo mínimo	6ml/h	*	En caso de equivocarse oprima * para volver a colocar el flujo de inyección	#	Para confirmar oprima numeral
Flujo máximo	20ml/h								
Flujo mínimo	6ml/h								
*	En caso de equivocarse oprima * para volver a colocar el flujo de inyección								
#	Para confirmar oprima numeral								

Ya colocados los datos comenzará el funcionamiento de la máquina, se acercará a la jeringa aproximadamente 8mm para comenzar a realizar la inyección con la velocidad colocada y procederá a encender la fuente de alto voltaje y volverá a su punto Zero (cero) al terminar la operación.

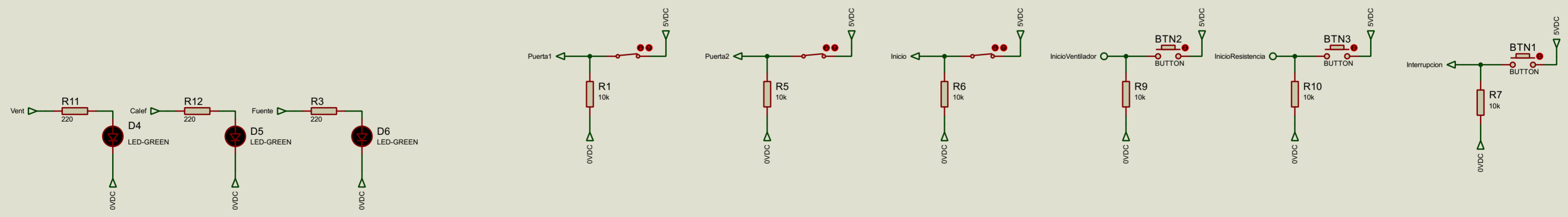
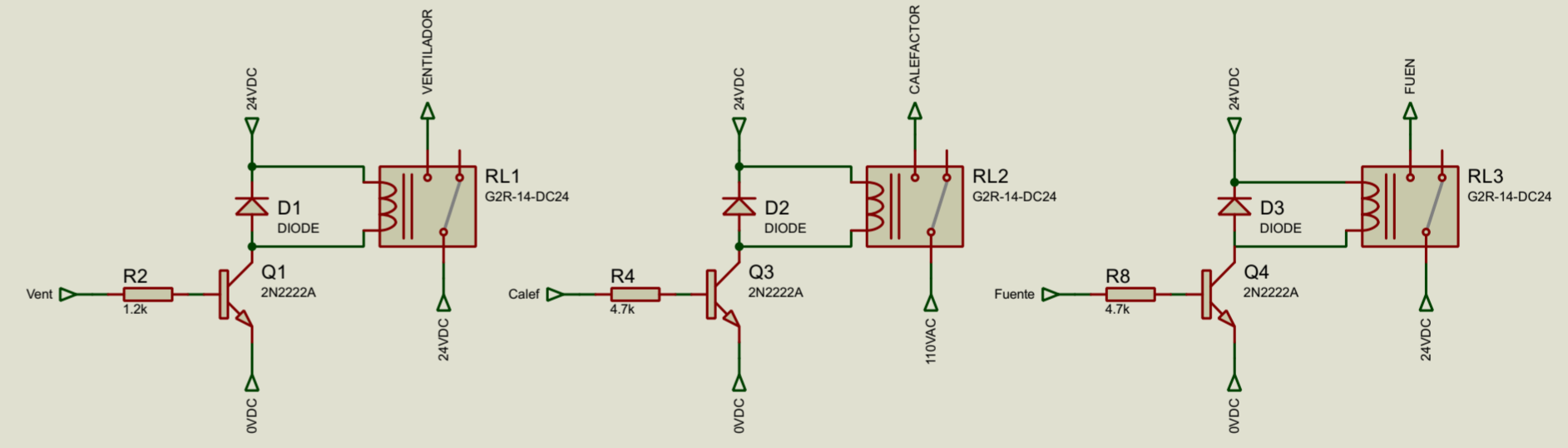
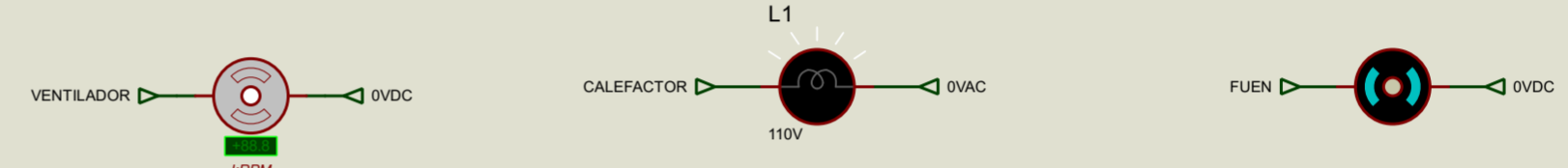
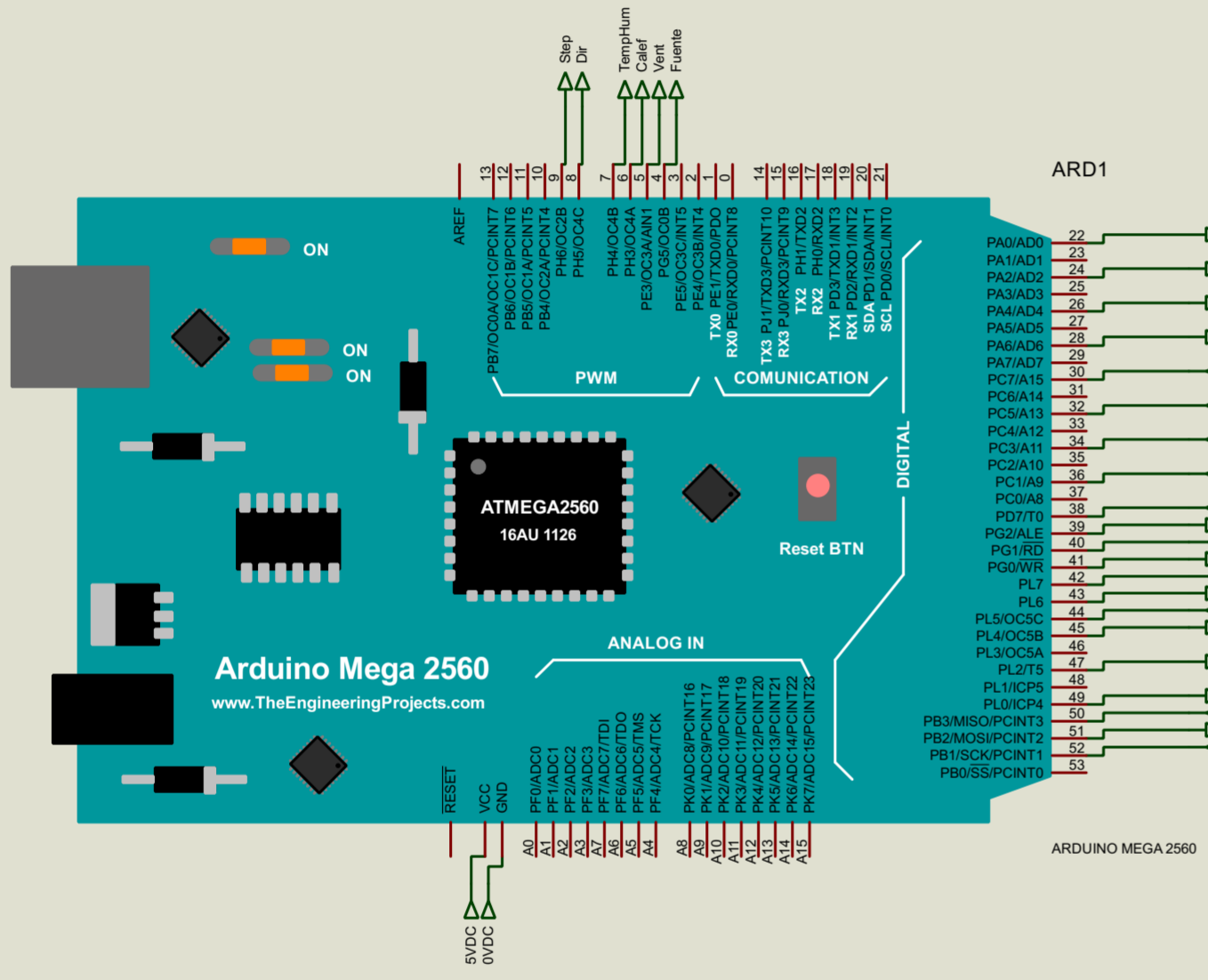
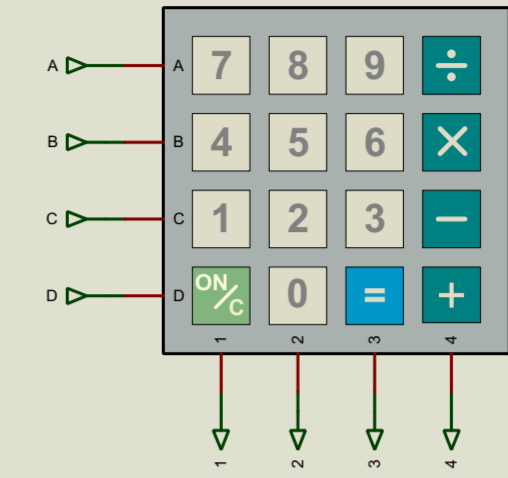
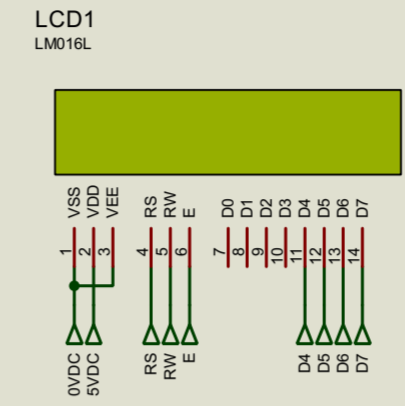
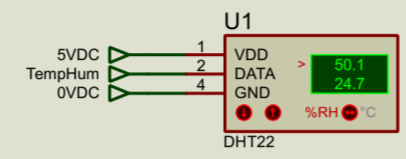
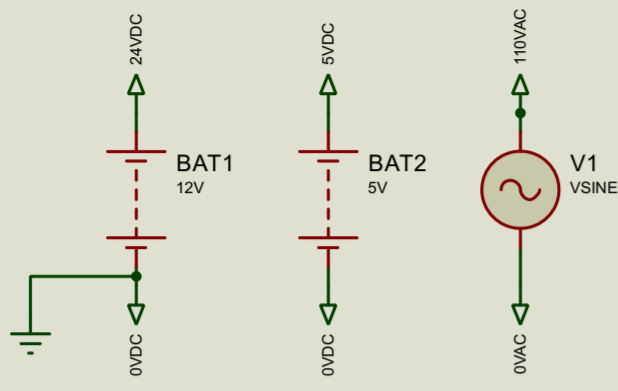
En caso de cancelar la operación oprimirá el interruptor de inicio.

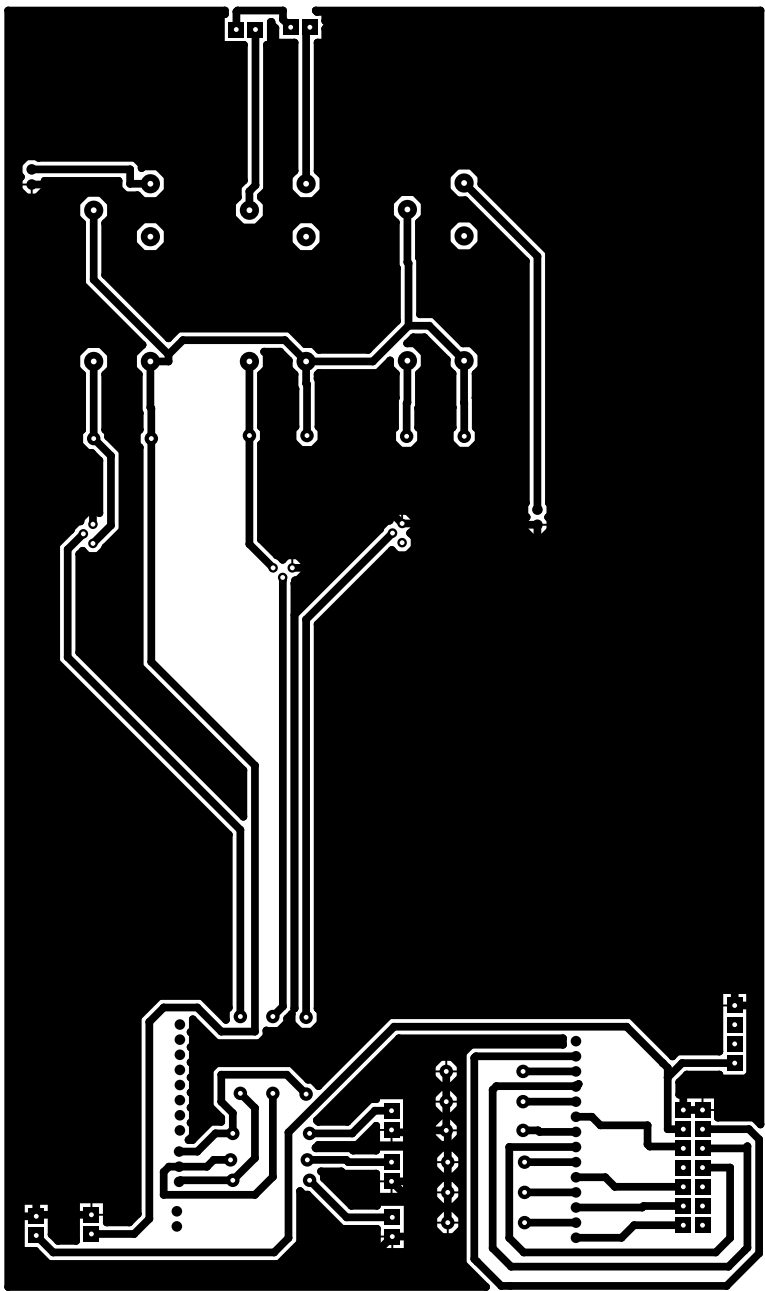
## 8. Función de secado

Al entrar en la opción de secado se encenderá la resistencia de calor hasta llegar a una temperatura de 30 grados centígrados y se mantendrá hasta que decida apagar la maquina

*Anexo E Esquema diseño electrónico*

PDF del esquemático electrónico y el diseño de la PBC, realizado en el software Proteus.





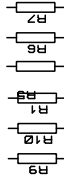
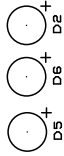
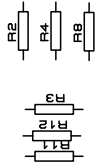
BAT2

BAT1

J2

J3

J4



J5

LCD1

U1

VEN



RL1



RL3



RL4



MOT



*Anexo F Programación Arduino*

PDF de la programación realizada y configurada en el Arduino Mega del prototipo

```
#include "DHT.h"
#define DHTTYPE DHT22
#include <Keypad.h>
#include <LiquidCrystal.h>

const int DHTPin = 7;

const int dirPin = 11;
const int stepPin = 12;

const byte rowsCount = 4;
const byte columnsCount = 4;
char keys[rowsCount][columnsCount] = {
    { '1','2','3', 'A' },
    { '4','5','6', 'B' },
    { '7','8','9', 'C' },
    { '#','0','*', 'D' }
};

const byte rowPins[rowsCount] = { 22, 24, 26, 28 };
const byte columnPins[columnsCount] = { 30, 32, 34, 36 };

const int ReleVentilador = 5;
const int ReleResistencia = 6;
const int ReleFuente = 4;

const int InicioVentilador = 42;
const int InicioResistencia = 40;

const int ContactoPuertaI = 52;
const int ContactoPuertaD = 38;
const int ContactoComienzo = 50;
const int Interrupcion = 44;

int MD = 0;
int DistanciaPosible = 250;
long DistanciaRecorrer = 0;
int Promedio = 0;
long steps = 6400;
long HumPro = 0;
long TemPro = 0;
```

```
byte Z[8] = {  
    B00110,  
    B00110,  
    B00000,  
    B00110,  
    B00110,  
    B00110,  
    B00110,  
    B00000,  
};
```

```
byte EC[8] = {  
    B00000,  
    B00110,  
    B00110,  
    B00110,  
    B00110,  
    B00000,  
    B00110,  
    B00110,  
};
```

```
byte AA[8] = {  
    B11111,  
    B11111,  
    B11111,  
    B11111,  
    B11111,  
    B11111,  
    B11111,  
    B11111,  
};
```

```
byte AB[8] = {  
    B11110,  
    B11101,  
    B11101,  
    B11011,  
    B11010,
```

```
B10110,  
B10110,  
B01110,  
};  
  
byte AC[8] = {  
    B01111,  
    B10111,  
    B10111,  
    B11011,  
    B01011,  
    B01101,  
    B01101,  
    B01110,  
};  
  
byte BA[8] = {  
    B11110,  
    B11110,  
    B11101,  
    B11101,  
    B11011,  
    B11011,  
    B10111,  
    B10000,  
};  
  
byte BB[8] = {  
    B11110,  
    B11110,  
    B11111,  
    B11110,  
    B11110,  
    B11110,  
    B11111,  
    B00000,  
};  
  
byte BC[8] = {  
    B01111,
```

```

    B01111,
    B11111,
    B01111,
    B01111,
    B01111,
    B11111,
    B00000,
};

byte BD[8] = {
    B01111,
    B01111,
    B10111,
    B10111,
    B11011,
    B11011,
    B11101,
    B00001,
};

LiquidCrystal lcd(39, 41, 43, 45, 47, 49 ,51); //(RS,RW, E, D4,D5,
D6, D7)
Keypad keypad = Keypad(makeKeymap(keys), rowPins, columnPins,
rowsCount,  columsCount);
DHT dht(DHTPin, DHTTYPE);

void setup() {

    Serial.begin(9600);

    lcd.begin(16, 2);
    lcd.createChar (9,Z);
    lcd.createChar (1,EC);
    lcd.createChar (2,AA);
    lcd.createChar (3,AB);
    lcd.createChar (4,AC);
    lcd.createChar (5,BA);
    lcd.createChar (6,BB);
    lcd.createChar (7,BC);
    lcd.createChar (8,BD);

```

```

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.println("  ");
    lcd.setCursor(2, 0);
    lcd.write(byte(1));
    lcd.setCursor(3, 0);
    lcd.println("BIENVENIDO");
    lcd.setCursor(13, 0);
    lcd.write(byte(9));
    lcd.println("  ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.println("ING.  MECATRONICA");
    delay(2000);
    lcd.clear();

    dht.begin();

    pinMode(dirPin,  OUTPUT);
    pinMode(stepPin,  OUTPUT);
    pinMode(ReleVentilador,  OUTPUT);
    pinMode(ReleResistencia,  OUTPUT);
    pinMode(ReleFuente,  OUTPUT);

    pinMode(ContactoPuertaI,  INPUT);
    pinMode(ContactoPuertaD,  INPUT);
    pinMode(ContactoComienzo,  INPUT);
    pinMode(Interrupcion,  INPUT);
    pinMode(InicioVentilador,  INPUT);
    pinMode(InicioResistencia,  INPUT);

    digitalWrite(stepPin,  LOW);
    digitalWrite(ReleVentilador,  LOW);
    digitalWrite(ReleResistencia,  LOW);
    digitalWrite(ReleFuente,  LOW);

}

void loop() {

    int Ready = 0;

```

```

int Proceso = 0;
int BloqueDistancia = 0;
int BloqueHumedad = 0;
int BloqueVelocidad = 0;
float HumAct = 0;
float TemAct = 0;
int Humedad = 0;
int Distancia = 0;
int Inicio = 0;
long Encender = 0;
long Velocidad = 0;
long Recorridorapido = 0;
long Caudal = 0;
int ProcA = 0;

if (digitalRead(ContactoComienzo) == LOW){
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.println("Retomando      ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.println("posicion inicial");
}

while (digitalRead(ContactoComienzo) == LOW){
    digitalWrite(dirPin, HIGH);
    digitalWrite(stepPin, HIGH);
    delayMicroseconds(15);
    digitalWrite(stepPin, LOW);
    delayMicroseconds(15);
}
}

while (Proceso == 0){
    ProcA = 0;

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Electrospinn.: A");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Secado fibras: B");
}

```

```

while (ProcA == 0){
    ProcA = keypad.getKey();
}
if (ProcA == 65){
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Proceso elegido ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("ELECTROSPINNING ");
    Proceso = 1;
    delay(2000);
}else if(ProcA == 66){
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Proceso elegido ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(" SECADO FIBRAS ");
    delay(2000);
    Proceso = 1;
}else{
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print(" -- INVALIDO -- ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("-- REINTENTE -- ");
    delay(2000);
    Proceso = 0;
}
}

if (ProcA == 65){
    while (digitalRead(Interrupcion) == LOW){

        if (digitalRead(InicioVentilador) == HIGH){
            digitalWrite(ReleVentilador,!digitalRead(ReleVentilador));
        }

        if (digitalRead(InicioResistencia) == HIGH){
            digitalWrite(ReleResistencia,!digitalRead(ReleResistencia))
        }

        HumAct = dht.readHumidity();
        TemAct = dht.readTemperature();
    }
}

```

```

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Conf. parametros");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("T:");
    lcd.print(TemAct);
    lcd.setCursor(6, 1);
    lcd.print("C ");
    lcd.setCursor(9, 1);
    lcd.print("H:");
    lcd.print(HumAct);
    lcd.setCursor(15, 1);
    lcd.print("%");
    delay(400);
    Serial.println(digitalRead(InicioVentilador));
    Serial.println(digitalRead(InicioResistencia));
}

delay(500);

while (digitalRead(Interupcion) == LOW){

    if (MD == 0){
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print(" Asegurese que la jeringa este llena ");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("  ING. MECATRONICA ING. MECATRONICA  ");
        delay(1000);
    }

    MD = MD + 1;
    delay(600);
    lcd.scrollDisplayLeft();

    if (MD == 21){
        delay(1000);
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);

```

```

    lcd.println(" Una vez listo oprima boton inicio ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.println(" ING. MECATRONICA ING. MECATRONICA ");
    delay(1000);
    MD = MD - 2;

    while (MD != 0 && digitalRead(Interrupcion) == LOW){
        MD = MD - 1;
        delay(600);
        lcd.scrollDisplayLeft();
    }

    delay(1000);

}
}

MD = 0;

while (digitalRead(ContactoPuertaI) == LOW ||
digitalRead(ContactoPuertaD) == LOW){
    Serial.println(digitalRead(ContactoPuertaI));
    Serial.println(digitalRead(ContactoPuertaD));

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.println("_CIERRE PUERTAS_");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.println("-----");
    delay(250);
}

while (BloqueDistancia == 0) {
    int DistA = 0;
    int DistB = 0;
    int DistC = 0;
    int ErrKBD = 0;

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);

```

```

    lcd.print("Inserte largo de");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("la jeringa en mm");

while (DistA == 0) {
    DistA = keypad.getKey();
}

if (DistA != 0){
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Largo:          ");
    lcd.setCursor(7, 0);
    DistA = DistA - 48;
    lcd.print(DistA);
    lcd.setCursor(8, 0);
    lcd.print("__mm          ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Atras:*          ");
    delay(500);
}

while (DistB == 0){
    DistB = keypad.getKey();
}

if(DistB == 35){
    BloqueDistancia = 0;
    ErrKBD = 1;
}else if (DistB != 0){
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Largo:          ");
    lcd.setCursor(7, 0);
    DistB = DistB - 48;
    lcd.print(DistA);
    lcd.setCursor(8, 0);
    lcd.println(DistB);
    lcd.setCursor(9, 0);
    lcd.print("__mm          ");
    lcd.setCursor(0, 1);

```

```

        lcd.print("Atras:*          ");
        BloqueDistancia = 1;
        delay(500);
    }

    while (DistC == 0 && ErrKBD == 0){
        DistC = keypad.getKey();
    }
    if(DistC == 35){
        BloqueDistancia = 0;
        ErrKBD = 1;
    }else if (DistC != 0){
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("Largo:          ");
        lcd.setCursor(7, 0);
        DistC = DistC - 48;
        lcd.print(DistA);
        lcd.setCursor(8, 0);
        lcd.println(DistB);
        lcd.setCursor(9, 0);
        lcd.println(DistC);
        lcd.setCursor(10, 0);
        lcd.print("mm          ");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("Atras:*  Cont.:#");
        BloqueDistancia = 1;
        delay(500);
    }

    int ConfirDist = 0;

    while (ConfirDist == 0 && BloqueDistancia == 1 && ErrKBD ==
0){
        ConfirDist = keypad.getKey();

        if(ConfirDist == 35){
            BloqueDistancia = 0;
            ErrKBD = 1;
        }else if (ConfirDist == 42){
            Distancia = (DistA*100)+(DistB*10)+DistC;

```

```

Serial.println(Distancia);
DistanciaRecurrer = DistanciaPosible - Distancia + 36;
Serial.println(DistanciaRecurrer);
Encender = DistanciaRecurrer - ((0.28 * Distancia) + 44.8);
Serial.println(Encender);
steps = (DistanciaRecurrer * 6400 / 8);
Serial.println(steps);
Encender = Encender * 6400 / 8;
Serial.println(Encender);
Recorridorapido = Encender - 3200;
Serial.println(Recorridorapido);

if ((Distancia > 180) || (Distancia < 40)){
    BloqueDistancia = 0;
    ErrKBD = 1;
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Jeringa no apta ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Rango:40mm-180mm");
    delay(2500);
}

}else{
    ConfirDist = 0;
}
}
}

while (BloqueVelocidad == 0) {
    int CaudA = 0;
    int CaudB = 0;
    int ErrKBD = 0;

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Inserte caudal:");

    while (CaudA == 0) {
        CaudA = keypad.getKey();
    }
}

```

```

if (CaudA != 0){
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Caudal:");
    CaudA = CaudA - 48;
    lcd.print(CaudA);
    lcd.print("_ml/h");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Atras:*          ");
    delay(500);
}

while (CaudB == 0 && ErrKBD == 0){
    CaudB = keypad.getKey();
}
if(CaudB == 35){
    BloqueVelocidad = 0;
    ErrKBD = 1;
}else if (CaudB != 0){
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Caudal:");
    CaudB = CaudB - 48;
    lcd.print(CaudA);
    lcd.print(CaudB);
    lcd.print("ml/h");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Atras:*  Cont.:#");
    BloqueVelocidad = 1;
    delay(500);
}

int ConfirCaud = 0;

while (ConfirCaud == 0 && BloqueVelocidad == 1 && ErrKBD ==
0){

    ConfirCaud = keypad.getKey();

    if(ConfirCaud == 35){
        BloqueVelocidad = 0;
        ErrKBD = 1;
    }
}

```

```

}else if (ConfirCaud == 42){
    Velocidad = (CaudA*10)+CaudB;
    Caudal = Velocidad;
    Velocidad = 88646 * pow(Caudal, -0.992);
    Serial.println(Velocidad);
    Serial.println(Caudal);

    if (Velocidad < 1018 || Velocidad > 14988){
        BloqueVelocidad = 0;
        ErrKBD = 1;
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("Caudal no apto ");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("Rango:6-90ml/h ");
        delay(2500);
    }

}else{
    ConfirCaud = 0;
}
}
}

while (Ready == 0){

    while (digitalRead(ContactoPuertaI) == LOW ||
digitalRead(ContactoPuertaD) == LOW) {
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.println("_CIERRE PUERTAS_");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.println("-----");
        delay(250);
    }

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.write(byte(2));
    lcd.write(byte(3));
    lcd.write(byte(4));
}

```

```

    lcd.write(byte(2));
    lcd.println("NO ABRIR");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.write(byte(5));
    lcd.setCursor(1, 1);
    lcd.write(byte(6));
    lcd.write(byte(7));
    lcd.write(byte(8));
    lcd.setCursor(12, 0);
    lcd.write(byte(2));
    lcd.write(byte(3));
    lcd.write(byte(4));
    lcd.write(byte(2));
    lcd.setCursor(12, 1);
    lcd.write(byte(5));
    lcd.setCursor(13, 1);
    lcd.write(byte(6));
    lcd.write(byte(7));
    lcd.write(byte(8));
    digitalWrite(ReleVentilador, LOW);
    digitalWrite(ReleResistencia, LOW);
int A = 0;
long StepAct = 0;

A = 50;

while (StepAct < Recorridorapido){
    digitalWrite(dirPin, LOW);
    digitalWrite(stepPin, HIGH);
    delayMicroseconds(15);
    digitalWrite(stepPin, LOW);
    delayMicroseconds(15);
    StepAct = StepAct + 1;
}

while (digitalRead(ContactoPuertaI) == HIGH &&
digitalRead(ContactoPuertaD) == HIGH && Ready == 0){

    if (A == 50){
        A = 0;

```

```

    HumAct = dht.readHumidity();
    TemAct = dht.readTemperature();
    Promedio = Promedio + 1;
    HumPro = HumAct + HumPro;
    TemPro = TemAct + TemPro;

    int Hum = HumAct;
    int Tem = TemAct;
    lcd.setCursor(4, 1);
    lcd.println("T:");
    lcd.setCursor(6, 1);
    lcd.println(Tem);
    lcd.setCursor(8, 1);
    lcd.println("H:");
    lcd.setCursor(10, 1);
    lcd.println(Hum);
    lcd.setCursor(13, 1);
    lcd.write(byte(6));

    if (digitalRead(InicioVentilador) == HIGH){
        digitalWrite(ReleVentilador,!
digitalRead(ReleVentilador));
        delay(100);
    }

    if (digitalRead(InicioResistencia) == HIGH){
        digitalWrite(ReleResistencia,!
digitalRead(ReleResistencia));
        delay(100);
    }
}

digitalWrite(dirPin, LOW);
digitalWrite(stepPin, HIGH);
delayMicroseconds(Velocidad);
delayMicroseconds(Velocidad);
delayMicroseconds(Velocidad);
delayMicroseconds(Velocidad);
digitalWrite(stepPin, LOW);
delayMicroseconds(Velocidad);

```

```

delayMicroseconds (Velocidad);
delayMicroseconds (Velocidad);
delayMicroseconds (Velocidad);

StepAct = StepAct + 1;
A = A + 1;

if (StepAct >= Encender){
    digitalWrite (ReleFuente, HIGH);
}

while (digitalRead (ContactoPuertaI) == LOW ||
digitalRead (ContactoPuertaD) == LOW){
    digitalWrite (ReleFuente, LOW);
    digitalWrite (ReleResistencia, LOW);
    digitalWrite (ReleVentilador, LOW);
    lcd.clear ();
    lcd.setCursor (0, 0);
    lcd.println ("Puertas abiertas ");
    lcd.setCursor (0, 1);
    lcd.println ("***ADVERTENCIA***");
    delay (2000);
    lcd.clear ();
    lcd.setCursor (0, 0);
    lcd.println ("BOTON INICIO      ");
    lcd.setCursor (0, 1);
    lcd.println ("PARA CONTINUAR      ");
    while (digitalRead (Interrupcion) == LOW){
        digitalWrite (ReleFuente, LOW);
        digitalWrite (ReleResistencia, LOW);
        digitalWrite (ReleVentilador, LOW);
    }
    lcd.clear ();
    lcd.setCursor (0, 0);
    lcd.write (byte (2));
    lcd.write (byte (3));
    lcd.write (byte (4));
    lcd.write (byte (2));
    lcd.println ("NO ABRIR");
    lcd.setCursor (0, 1);

```

```

    lcd.write(byte(5));
    lcd.setCursor(1, 1);
    lcd.write(byte(6));
    lcd.write(byte(7));
    lcd.write(byte(8));
    lcd.setCursor(12, 0);
    lcd.write(byte(2));
    lcd.write(byte(3));
    lcd.write(byte(4));
    lcd.write(byte(2));
    lcd.setCursor(12, 1);
    lcd.write(byte(5));
    lcd.setCursor(13, 1);
    lcd.write(byte(6));
    lcd.write(byte(7));
    lcd.write(byte(8));
    A = 50;
    delay(1500);
}

if (StepAct == steps){
    digitalWrite(ReleFuente, LOW);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.println("---EL PROCESO---");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.println("--HA TERMINADO--");
    digitalWrite(ReleVentilador, LOW);
    digitalWrite(ReleResistencia, LOW);
    delay(2000);
    StepAct = 0;
    Ready = 1;
    HumPro = HumPro / Promedio;
    TemPro = TemPro / Promedio;
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.println("Tem:");
    lcd.setCursor(4, 0);
    lcd.println(TemPro);
    lcd.setCursor(6, 0);

```

```

    lcd.println("C   ");
    lcd.setCursor(8, 0);
    lcd.println("Hum:");
    lcd.setCursor(12, 0);
    lcd.println(HumPro);
    lcd.setCursor(14, 0);
    lcd.println("%   ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.println("Caud:");
    lcd.setCursor(5, 1);
    lcd.println(Caudal);
    lcd.setCursor(8, 1);
    lcd.println("ml/h       ");

    while (digitalRead(Interrupcion) == LOW){
        HumPro = 0;
        TemPro = 0;
        Promedio = 0;
    }
    delay(800);
}
if (digitalRead(Interrupcion) == HIGH){
    Ready = 1;
    digitalWrite(ReleVentilador, LOW);
    digitalWrite(ReleResistencia, LOW);
    digitalWrite(ReleFuente, LOW);
}
}
}

if (ProcA == 66){

    while (digitalRead(Interrupcion) == LOW){
        int Temperatura = dht.readTemperature();

        if (digitalRead(ContactoPuertaI) == LOW ||
digitalRead(ContactoPuertaD) == LOW){
            lcd.clear();
            lcd.setCursor(0, 0);

```

```

        lcd.println("TEMPERATURA:");
        lcd.setCursor(12, 0),
        lcd.println(Temperatura);
        lcd.setCursor(14, 0),
        lcd.println("C  ");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.println("PUERTAS ABIERTAS");
    }
    if (digitalRead(ContactoPuertaI) == HIGH &&
digitalRead(ContactoPuertaD) == HIGH){
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.println("TEMPERATURA:");
        lcd.setCursor(12, 0),
        lcd.println(Temperatura);
        lcd.setCursor(14, 0),
        lcd.println("C  ");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.println("-----");
    }

    if (Temperatura < 35 ){
        digitalWrite(ReleResistencia, HIGH);
        digitalWrite(ReleVentilador, LOW);
    }
    if (Temperatura > 35){
        digitalWrite(ReleVentilador, HIGH);
        digitalWrite(ReleResistencia, LOW);
    }
    delay(500);
}
digitalWrite(ReleVentilador, LOW);
digitalWrite(ReleResistencia, LOW);
}
}

```

*Anexo G Video prototipo*

Video sencillo donde se puede observar las etapas de diseño y validación del prototipo de máquina construida mediante el registro fotográfico y de video tomado durante el desarrollo de este.

Lin del video: [https://youtu.be/LCePRkQxe\\_8](https://youtu.be/LCePRkQxe_8)