



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño y simulación de un dispositivo para la fabricación de
microfibras mediante Electrospinning*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Jose Ignacio García-Ganges Baiget

DIRECTOR: Jesús del Val García

CURSO ACADÉMICO: 2020-2021

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño y simulación de un dispositivo para la fabricación de
microfibras mediante Electrospinning*

Grado en Ingeniería Mecánica

Intensificación en Tecnología Naval

Cuerpo General / Infantería de Marina

UniversidadeVigo

RESUMEN

La técnica de electrospinning (electrohilado) consiste en la elongación de una solución polimérica por medio de fuerzas electrostáticas que superen a las fuerzas de tensión superficial de dicha solución. Mediante este método de fabricación se pueden obtener fibras del polímero deseado, incluso añadiendo componentes específicos, tales como nanopartículas metálicas, con diámetros en el rango nanométrico o micrométrico.

En el presente Trabajo de Fin de Grado, se ha llevado a cabo el diseño de un sistema modular y versátil empleando el software de CAD Autodesk Inventor que, cumpliendo con las normas básicas de seguridad, permite el estudio y análisis de la influencia de los distintos parámetros del proceso en la fabricación de las fibras.

Para finalizar, tras el diseño y con la intención de validar el mismo, se ha realizado una simulación del comportamiento del proceso de electrohilado mediante el método de los elementos finitos, haciendo uso de la Toolbox de Matlab “Partial Differential Equation” en la que se varían distintos parámetros del sistema experimental diseñado

PALABRAS CLAVE

Electrospinning, nanofibra, polímero, colector, submicrométrico

MEMORIA

Memoria	1
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas.....	5
1 Introducción.....	6
2 Objetivo	8
3 Estado del arte	9
3.1 Antecedentes	9
3.2 Métodos de obtención de nanofibras	10
3.2.1 Drawing	10
3.2.2 Síntesis por moldeo o plantilla	10
3.2.3 Separación de fases.....	11
3.2.4 Auto ensamblaje	12
3.2.5 Laser spinning.....	12
3.2.6 Electrospinning	13
3.3 Parámetros que intervienen en el proceso de Electrospinning.....	14
3.3.1 Parámetros de la solución	15
3.3.2 Parámetros del proceso	16
3.3.3 Parámetros ambientales	17
3.4 Fases del proceso de electrospinning	17
3.4.1 Inicio de la formación de la fibra.....	17
3.4.2 Elongación de la fibra	18
3.4.3 Deposición de la fibra	19
3.5 Aplicaciones para el electrohilado	19
4 Requerimientos del diseño	22
5 Diseño de un sistema de fabricación de fibras mediante electrospinning	23
5.1 BLOQUE I: CÁMARA DE PROCESAMIENTO.....	24
5.1.1 Caja aislante.....	24
5.1.2 Soporte de aguja móvil	27
5.1.3 Higrómetro.....	30
5.2 BLOQUE II: SISTEMA GENERADOR DE ALTA TENSIÓN.....	31
5.2.1 Colectores	31
5.2.2 Sistema de movimiento en los ejes cartesianos	33
5.2.3 Generador de alta tensión	37

5.3 BLOQUE III: SISTEMA DE INYECCIÓN	38
5.3.1 Bomba de infusión	38
5.3.2 Jeringa, tubo de conexión y aguja	39
5.4 BLOQUE IV: SISTEMA DE DESCARGA MANUAL	39
5.4.1 Lanza de descarga electrostática	39
5.5 Montaje global del sistema	40
6 Simulación	43
6.1 Justificación matemática	43
6.2 Procedimiento para llevar a cabo la simulación	44
6.3 Descripción de la simulación	46
6.4 Análisis de los resultados de la simulación del sistema	54
7 presupuesto	56
8 Conclusiones y líneas futuras	60
9 Bibliografía	62
Anexo I: Planos	64
Anexo II: hoja de características del dispositivo de movimiento en los ejes XY	101
Anexo III: hoja de características del dispositivo de movimiento en el eje Z	105
Anexo III: hoja de características del dispositivo de movimiento en el eje Z	111
Anexo III: Hoja característica de la bomba de infusión KDS	121
Anexo IV: Hoja característica de la fuente da alto voltaje	124

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1. Obtención de nanofibras mediante “Drawing” [1]	10
Figura 3-2 Obtención de nanofibras mediante síntesis por moldeo [5].....	11
Figura 3-3 Esquema general de la técnica de separación de fases para la obtención de fibras submicrométricas [6].....	11
Figura 3-4 Nanofibras autoensambladas [7].....	12
Figura 3-5 Representación esquemática del proceso de laser spinning [8].....	13
Figura 3-6 Esquema básico de un dispositivo de Electrospinning [10]	13
Figura 3-7 Principio de Electrospinning [11].....	14
Figura 3-8 Elongación de la fibra.....	18
Figura 3-9 Apósito para el tratamiento de heridas fabricado por las técnicas de electrospinning [19]	20
Figura 3-10 Ejemplo de filtro de aire para polución fabricado mediante electrospinning [20]	20
Figura 3-11 Proporciones relativas del número de publicaciones en diversas áreas de aplicación del electrohilado [21]	21
Figura 5-1 Diseño conceptual de partida.....	23
Figura 5-2 Sistema de bisagra implementado con las partes del mismo coloreadas de distinta forma	26
Figura 5-3 Diseño de la caja aislante ensamblada.....	27
Figura 5-4 Detalle del diseño del cierre de la puerta.....	27
Figura 5-5 Vistas superior e inferior del diseño de la base del soporte de la aguja	28
Figura 5-6 Diseño de la Barra vertical	29
Figura 5-7 Diseño de la barra horizontal.....	29
Figura 5-8 Diseño del pie de ajuste	30
Figura 5-9 Diseño del deslizador en el eje Z.....	30
Figura 5-10 Termohigrómetro escogido.....	31
Figura 5-11 Diseño del colector plano sin plancha de aluminio	32
Figura 5-12 Colector giratorio diseñado.....	33
Figura 5-13 Dispositivos PIMag Linear Stage V-408 (izquierda) y precisión Z stage L-310 (derecha)	33
Figura 5-14 Diseño del elemento de unión de los dispositivos de movimiento en los ejes X, Y y Z (izquierda) y sistema de movimiento cartesiano implementado (derecha).....	34
Figura 5-15 Soporte del colector (izquierda) y unión del soporte con el sistema de movimiento en los ejes cartesianos (derecha).....	35
Figura 5-16 Vista superior del montaje aislado con el soporte de colector plano (izquierda) y vista inferior (derecha).....	35

Figura 5-17 Soporte de cilindro del aluminio (izquierda) y soporte de la pletina de aluminio con el tornillo de ajuste y la propia pletina (izquierda)	36
Figura 5-18 Controlador del sistema de posicionamiento XYZ escogido	37
Figura 5-19 Fuente de tensión escogida	38
Figura 5-20 Bomba de infusión KDS 100 Legacy	38
Figura 5-21 Diseño de la lanza de descarga electrostática	40
Figura 5-22 Detalle de la punta de la lanza	40
Figura 5-23 Montaje del dispositivo con el colector plano estático	41
Figura 5-24 Montaje del dispositivo con colector rotatorio	41
Figura 5-25 Montaje del colector plano móvil	42
Figura 5-26 Montaje con el sistema de posicionamiento XYZ y el cilindro de aluminio con la pletina para generar geometrías	42
Figura 6-1 Condiciones de contorno del soporte del colector estático (arriba) y del soporte del colector de movimiento en XYZ (arriba).....	45
Figura 6-2 Mallado del contorno generado (arriba) y mallado del contorno generado refinado dos veces (abajo)	45
Figura 6-3 Caso N° 1: $d = 80 \text{ mm}$; $V_{pp} = 5 \text{ kV}$	46
Figura 6-4 Caso N° 4: $d = 80 \text{ mm}$; $V_{pp} = 50 \text{ kV}$	47
Figura 6-5 Caso N° 5: $d = 160 \text{ mm}$; $V_{pp} = 5 \text{ kV}$	47
Figura 6-6 Caso N° 8: $d = 160 \text{ mm}$; $V_{pp} = 50 \text{ kV}$	48
Figura 6-7 Caso N° 9: $d = 290 \text{ mm}$; $V_{pp} = 5 \text{ mm}$	48
Figura 6-8 Caso N° 12: $d = 290$; $V_{pp} = 50 \text{ kV}$	49
Figura 6-9 Caso N° 13: G19; $d = 160 \text{ mm}$; $V_{pp} = 30 \text{ kV}$	49
Figura 6-10 Caso N° 14: G16; $d = 290 \text{ mm}$; $V_{pp} = 30 \text{ kV}$	50
Figura 6-11 Caso N° 15 Colector desplazado a la derecha 50 mm; $d = 160 \text{ mm}$; G16; $V_{pp} = 30 \text{ kV}$	50
Figura 6-12 Caso N° 16: Colector desplazado a la izquierda 50 mm; $d = 160 \text{ mm}$; G16; $V_{pp} = 30 \text{ kV}$	51
Figura 6-13 Caso N° 17: Colector despazado a la izquierda 50 mm; G22; $V_{pp} = 30 \text{ kV}$; $d = 80 \text{ mm}$	51
Figura 6-14 Caso N° 18: G19; $d = 80 \text{ mm}$; $V_{pp} = 30 \text{ kV}$	52
Figura 6-15 Caso N° 19: G19; $d = 160 \text{ mm}$; $V_{pp} = 30 \text{ kV}$	52
Figura 6-16 Caso N° 20: G19; $d = 300 \text{ mm}$; $V_{pp} = 30 \text{ kV}$	53
Figura 6-17 Caso N° 21: G22; $d = 160 \text{ mm}$; $V_{pp} = 50 \text{ kV}$	53
Figura 6-18 Caso N° 22-I: Mejora del sistema de posicionamiento XYZ	54
Figura 6-19 Caso N° 22-II: Mejora del sistema de posicionamiento XYZ	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5-1 Características de las fuentes de tensión posibles.....	37
Tabla 5-2 Características de la bomba de infusión KD Scientific Legacy 100.....	39
Tabla 5-3 Características de la aguja Hamilton 22 gauge Kel-F Hub Needle	39
Tabla 6-1 Principales variables del modelo.....	46

1 INTRODUCCIÓN

El “electrospinning”, electrohilado en español, es un término relativamente reciente, que ha cogido gran fuerza a lo largo de los últimos años y su nombre deriva de las palabras en inglés “spinning electrostatic”.

Se trata de una técnica de gran versatilidad empleada para el procesamiento de soluciones de polímeros o fundiciones de los mismos transformándolos en fibras continuas cuyos diámetros varían desde micrómetros hasta nanómetros. Prácticamente la totalidad de polímeros existentes pueden ser empleados para la fabricación de estas fibras y, además, es posible diseñar materiales robustos, ligeros, porosos y con altas superficies específicas a partir de nanofibras poliméricas cuya naturaleza, diámetro, aspecto y morfología puede modularse de forma sencilla y eficiente.

Las fibras obtenidas mediante esta técnica presentan una serie de propiedades únicas que las hace sumamente interesantes: alta superficies específicas, porosidad controlable, alto rendimiento mecánico y flexibilidad entre otras. Además de la gran versatilidad del electrohilado, hacen de esta una técnica que ha ido creciendo en número de investigaciones, así como en número de aplicaciones a las que pueden destinarse los resultados del proceso de electrospinning, que, tras revisar las patentes presentadas en los últimos años, se puede afirmar que la extensa mayoría van destinadas al sector de la medicina y a técnicas de filtración. Sin embargo, a medida que aumentan las investigaciones en este proceso, las fibras electrohiladas han empezado a abrirse camino en otros sectores tales como el textil, el energético, el farmacéutico y el cosmético entre otros. [1]

Además, atendiendo a la versatilidad y porosidad controlable, las fibras resultantes del proceso son empleadas a modo de membranas filtrantes de agua y aire, que unido a una óptima elección de polímero permite la fabricación de membranas de elevadas resistencias mecánicas y químicas. Por lo que, desde hace pocos años, se ha empezado a probar estas membranas en mascarillas para combatir ataques nucleares, químicos y bacteriológicos; de profundo interés en el siempre rentable sector de Defensa. Siguiendo con esto y para poner de manifiesto que esta técnica ofrece un amplio abanico de posibilidades en múltiples y diversos campos de aplicación, la dramática situación provocada por el virus COVID-19, ha impulsado investigaciones en la fabricación de filtros de nanofibras para mascarillas faciales, siendo el CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas) junto a la empresa Bioinicia los que lideran este campo de investigación al crear unos filtros para mascarilla formados por nanofibras que “proporcionan una filtración mecánica altamente efectiva para partículas pequeñas en el aire sin que la eficiencia se reduzca con el tiempo” [2]

Aunque conceptualmente la técnica de electrohilado es relativamente sencilla, su aplicación y puesta a punto se trata de un proceso de una gran complejidad que depende de muy diversos parámetros,

ofreciendo a su vez la posibilidad de sintetizar nuevos materiales que presenten las propiedades físico-químicas deseadas para las más diversas aplicaciones

2 OBJETIVO

Dadas las especiales características que ofrece el proceso de electrohilado, así como el amplio abanico de campos de aplicación, aun por investigar, se propuso este trabajo que tiene la finalidad principal de diseñar de forma óptima un dispositivo que permita la obtención de microfibras y nanofibras mediante la aplicación de la técnica del electrospinning y su validación a través de una simulación realizada mediante software.

Una vez establecido el objetivo principal de este trabajo, otros objetivos son que la construcción del dispositivo no suponga un gasto económico muy elevado para que se presente como una opción viable de implementación para el Centro Universitario de la Defensa de Marín; y que este proyecto atraiga la atención de futuros alumnos de la Escuela Naval Militar que tomen el testigo del mismo elaborando un trabajo que pretenda construirlo y así disponer de un dispositivo de electrohilado en el edificio de investigación del Centro Universitario de la Defensa de Marín para, de este modo aumentar las posibilidades de investigación del mismo y poder orientarlas al desarrollo de filtros para máscaras para la defensa NBQR (Nuclear Biológica Química y Radiológica de bajo impacto), tema de profundo interés para las Fuerzas Armadas.

3 ESTADO DEL ARTE

3.1 Antecedentes

Es a finales del siglo XVI cuando William Gilbert, que se había propuesto describir el comportamiento de los fenómenos magnéticos y electrostáticos, descubrió que cuando un trozo de ámbar cargado electrostáticamente era acercado a una gota de agua, se generaba una forma cónica de la misma y de ella salían expulsadas diminutas gotas de agua desde la punta del cono, convirtiéndose esta en la primera demostración del “electrospray”, antecesor del “electrospinning”.

Sin embargo, no es hasta principios del siglo XX, en 1902, cuando hay registro de la primera descripción de un proceso que, aunque no llevó el nombre de “electrospinning”, si consistía en la técnica que hoy en día recibe dicho nombre. Esta descripción vino de manos de J. F. Coley, quien presentó en los Estados Unidos una patente con el título de “Aparato para dispersar las fibras eléctricamente” [3]. En la misma, establece las características que debe tener el fluido para conseguir fabricar hilo en vez de gotas de pequeño tamaño: viscosidad suficiente, disolvente y volátil para permitir la solidificación del polímero disuelto al evaporarse, además de aplicar un campo eléctrico de una intensidad elevada.

Años más tarde, en 1914, el físico John Zeleny publicó un trabajo acerca del comportamiento de las gotas fluidas en el extremo de los capilares metálicos.

Dicho esto, no hubo mucho avance en la investigación de esta técnica hasta que, en 1934 un investigador llamado Anton Formhals, considerado por muchos investigadores el inventor de lo que hoy conocemos como “Electrospinning”, presenta la primera patente que describe un equipo experimental para la producción de filamentos poliméricos [4] . Y no será hasta las investigaciones del físico Sir Geoffrey Ingram Taylor entre los años 1964 y 1969 cuando se establezca el fundamento teórico del “electrospinning”, y fue gracias a estas investigaciones que se desarrolló el modelo matemático que explicaba la forma cónica que se producía en las gotas de fluido, al aplicarles un campo eléctrico y que adoptó el nombre de cono de Taylor.

En los años posteriores del siglo XX el avance en las investigaciones de esta técnica no fueron muchos, dado que no atrajeron la atención de investigadores que intentaran profundizar en los conocimientos de este método, pero sí que hubo algunos. Sin embargo, desde el siglo XXI, el proceso ha atraído la atención de numerosos investigadores debido a las posibles aplicaciones que esta técnica puede tener con materiales obtenidos en nanotecnología. Es por esto, que el número de publicaciones fue incrementándose exponencialmente a partir del nuevo siglo, llegando en la última década a la cantidad de 18600 artículos publicados acerca de la técnica del electrohilado, de polímeros sintéticos y naturales, así como de materiales inorgánicos y compuestos que han sido convertidos en nanofibras mediante la técnica descrita.

3.2 Métodos de obtención de nanofibras

En primer lugar, es necesario definir lo que es una nanofibra. Para ello debemos conocer el concepto de fibra, que cuenta con más de ocho acepciones en el diccionario de la RAE (Real Academia Española), las cuales dependen del ámbito al que nos estemos refiriendo, siendo la de mayor ambigüedad y que engloba de cierta manera a las demás: “Filamento sintético de diversa naturaleza y distintas aplicaciones industriales”. Una vez definido este concepto nos es más fácil comprender el termino nanofibra en el área que nos atañe, la nanotecnología, en la cual este término se define como toda aquella fibra que cuente entre sus dimensiones con al menos una en la escala de nanómetros. Sin embargo, hay discrepancia acerca la medición a partir de la cual estas fibras son consideradas nanofibras.

Además, las nanofibras hacen referencia a una nueva clase de material que puede estar formado por diversos tipos de sustancias inorgánicas y que es empleado en varios campos de investigación. Continuando con esto, a lo largo de los años se han ido desarrollando distintas técnicas que permiten la obtención de estas nanofibras, que son: Drawing, Síntesis por moldeo o plantilla, Separación de fases, auto ensamblaje, Laser Spinning y finalmente Electrospinning. A continuación, son explicadas y comparadas las características de los distintos métodos.

3.2.1 Drawing

Este método consiste en establecer contacto entre una gota de solución polimérica y una micropipeta con diámetro de pocos micrómetros. Una vez se establece el contacto, la micropipeta es alejada de la gota a una velocidad muy pequeña de aproximadamente 10^{-4} m/s, lo cual genera una fibra alargada de grosor similar al de la micropipeta. (Véase Figura 3-1)

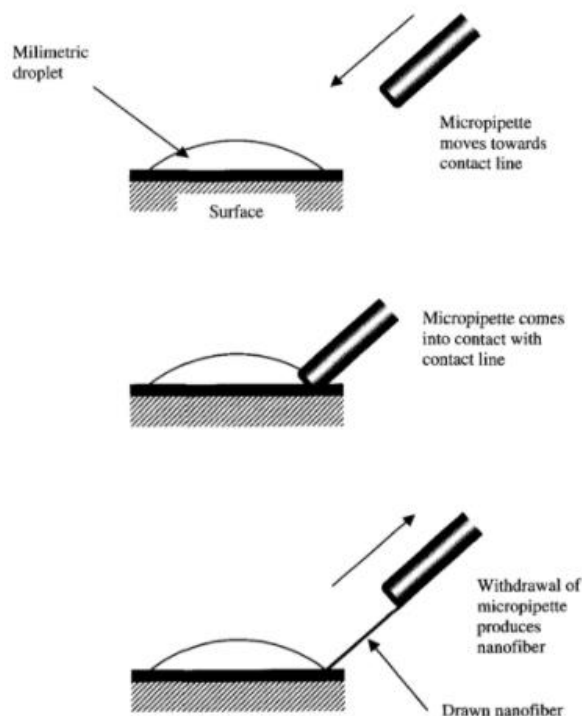


Figura 3-1. Obtención de nanofibras mediante “Drawing” [1]

3.2.2 Síntesis por moldeo o plantilla

Se trata de una técnica que aporta un enfoque efectivo para la fabricación controlada de nanofibras que presenten diversas morfologías. Este método consiste en una membrana metálica con poros de diámetros en la escala de los micrómetros. Entonces aplicando agua a presión sobre la disolución polimérica que se encuentra en contacto con la membrana porosa, conseguimos la extrusión del polímero

en fibras con diámetros determinados por los poros de la membrana que se solidifican al entrar en contacto con una solución solidificante. (Véase Figura 3-2)

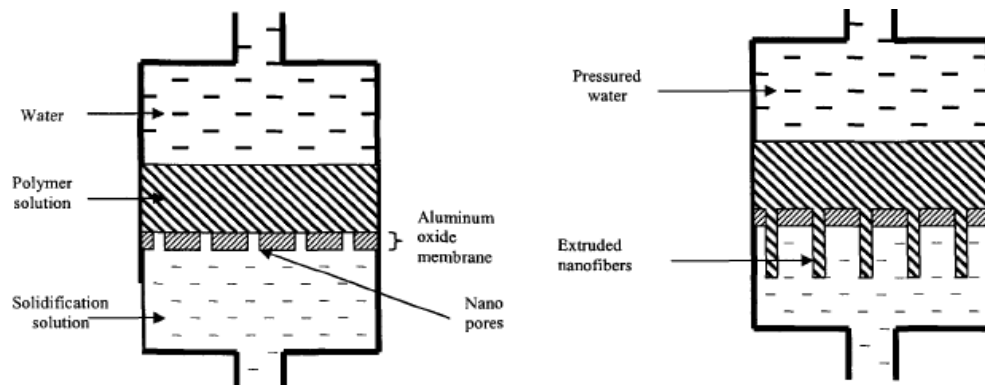


Figura 3-2 Obtención de nanofibras mediante síntesis por moldeo [5]

3.2.3 Separación de fases

En esta técnica, un polímero es inicialmente mezclado con un solvente antes de proceder a la solidificación del mismo. El método principal consiste en separar las fases gracias a una incompatibilidad física. Una de las fases, la del solvente, es extraída dejando la otra fase, la del polímero. La técnica se compone de 5 fases:

- Disolución del polímero
- Separación de la fase líquido-líquido
- Solidificación del polímero (se forma una especie de gel)
- Extracción del solvente del gel
- Enfriamiento

Tras la etapa de enfriamiento, quedaría una estructura formada por fibras submicrométricas.

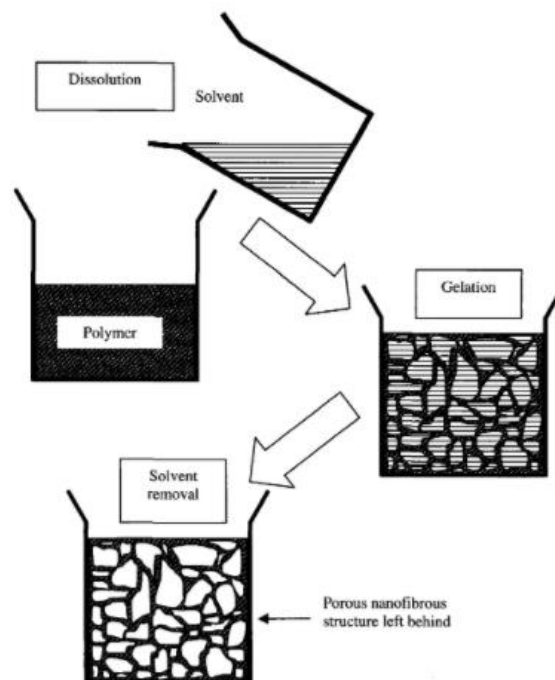


Figura 3-3 Esquema general de la técnica de separación de fases para la obtención de fibras submicrométricas [6]

3.2.4 Auto ensamblaje

En líneas generales, el autoensamblaje de nanofibras se refiere a la fabricación de fibras de escala submicrométrica a partir de moléculas a modo de bloques de construcción. El método principal empleado para esta técnica es la fuerza intermolecular que consigue que las unidades de menor tamaño se mantengan juntas. La forma de estas pequeñas unidades determina la de la fibra macromolecular. Se trata de una técnica innovadora en el apartado de diseño y producción de nuevos materiales.

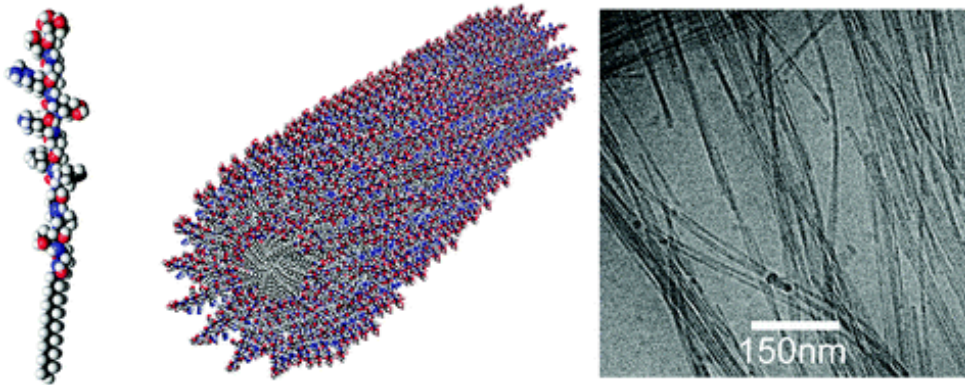


Figura 3-4 Nanofibras autoensambladas [7]

3.2.5 Laser spinning

Se trata de una innovadora técnica capaz de producir fibras submicrométricas de gran longitud a partir de materiales cerámicos y que permiten generar una gran variedad de composiciones.

En esta técnica se parte de un material precursor en estado sólido, generalmente en forma de lámina de poco grosor, que es calentado por un láser hasta derretirlo, a la vez que es aplicado sobre el mismo un chorro de gas a velocidad supersónica, que consigue estirar y enfriar el material con la consiguiente generación de nanofibras. Para conseguir la producción efectiva de nanofibras, la temperatura del material fundido y la velocidad del gas han de ser controladas.

Todo el proceso es realizado en microsegundos, ya que el haz de láser tiene la suficiente capacidad como para calentar y fundir cualquier material cerámico de pequeño volumen en un escaso periodo de tiempo. Por lo tanto, una gran cantidad de nanofibras pueden ser generadas en escasos segundos, lo que supone un punto a tener en cuenta en la comparación de técnicas de procesamiento de nanofibras. Sin embargo, diversos investigadores han llegado a la conclusión de que, se trata de un proceso altamente complejo sobre el cual influyen una gran cantidad de parámetros y que es necesaria una investigación experimental de mayor entidad que la que se está llevando a cabo a día de hoy, para conseguir un control total sobre las fibras generadas y así poder producir fibras con las características que sean precisas. [8] [9]

En cuanto al tipo de gas empleado para estirar el material fundido es, normalmente, aire comprimido ya que en este proceso no tienen lugar reacciones químicas, y por tanto no es necesario emplear diferentes gases.

Más allá de todo esto, han sido obtenidas nanofibras a partir de distintos materiales precursores: cristales inorgánicos, cerámicas y rocas naturales. Sin embargo, las fibras obtenidas mantienen las propiedades y composición del material precursor del cual derivan.

Diversos investigadores han llegado a la conclusión de que, se trata de un proceso altamente complejo sobre el cual influyen una gran cantidad de parámetros, y que es necesaria una investigación experimental de mayor entidad que la que se está llevando a cabo a día de hoy, para conseguir un control total sobre las fibras generadas y así poder producir fibras con las características que se precisen. [9]

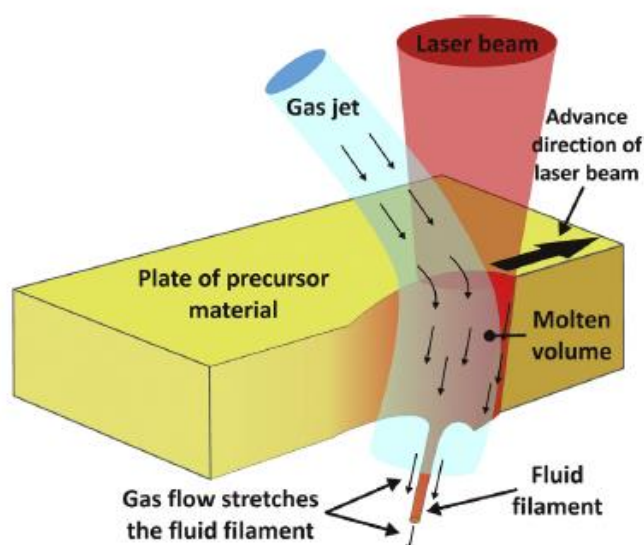


Figura 3-5 Representación esquemática del proceso de laser spinning [8]

3.2.6 Electrospinning

Esta técnica, de especial relevancia para el desarrollo de este trabajo, consiste en un campo electrostático de intensidad lo suficientemente elevada que se aplica entre dos polos opuestos, una aguja metálica o un sistema de inyección y un colector con potencial nulo, el cual, como se explica más adelante, puede ser de diversos tipos dependiendo del resultado final que se requiera; y que será en el que se forme el tejido formado por las fibras submicrométricas.

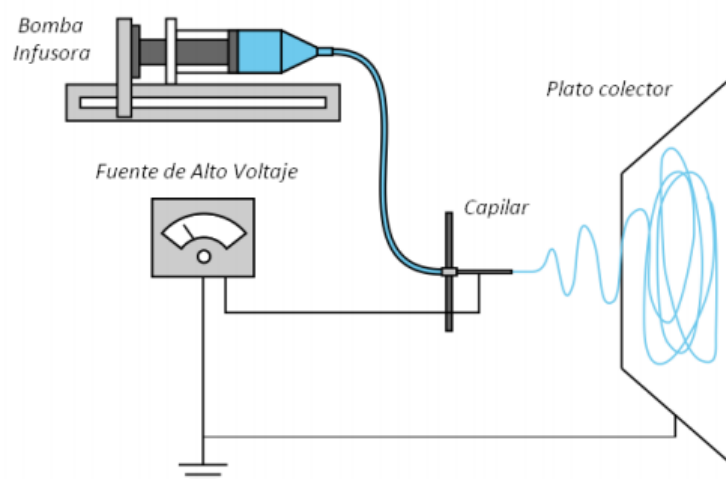


Figura 3-6 Esquema básico de un dispositivo de Electrospinning [10]

Se parte de una disolución preparada previamente, que se carga en una jeringuilla y que, mediante un tubo de plástico inerte, es conectada a una aguja metálica. Una vez conectados al voltaje como se explicó anteriormente tanto la aguja como el colector, se procede a, mediante una bomba de infusión o perfusión unida al émbolo de la jeringuilla, impulsar un flujo constante de disolución polimérica hasta la aguja, donde los efectos del campo eléctrico aplicado provocan que la solución del polímero sea expulsada de la aguja en forma de chorro en dirección a una superficie conductora conectada a tierra, el colector (Véase Figura 3-7). En el tránsito que realiza la solución del polímero hasta el colector, el chorro adquiere una aceleración significativa, reduciéndose el diámetro del mismo y evaporándose el solvente

hasta quedar el polímero solidificado formando fibras de medidas nanométricas. De esta forma las fibras se superponen unas a otras creando una capa de fibra no tejida compuesta por nanofibras.

El proceso de “Electrospinning” depende de diversos parámetros cuyo distinto ajuste puede dar como resultado gotas, lo que sería considerado otra técnica, conocida como “Electrospraying”, antecesora del Electrohilado; fibras o llegar incluso a la situación en la cual el proceso no tenga lugar. En algunos casos y para determinados polímeros, puede llegar a producirse “electrospraying” y “Electrospinning” simultáneamente.

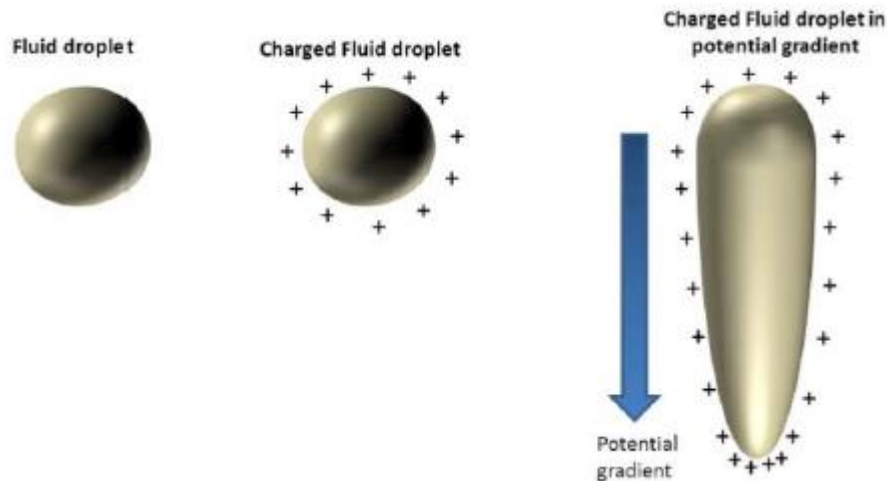


Figura 3-7 Principio de Electrospinning [11]

3.3 Parámetros que intervienen en el proceso de Electrospinning

La transformación de la disolución que contiene al polímero en el conjunto de nanofibras resultante mediante Electrospinning consiste en un proceso que, aunque a primera vista parezca sencillo, está determinado por una gran variedad de parámetros los cuales, permiten generar fibras distintas dependiendo de la función que se le quiera otorgar a las mismas, pudiendo dividir inicialmente estos parámetros en:

- Parámetros de la solución: Elasticidad, tensión superficial, viscosidad y conductividad
- Parámetros del proceso: Voltaje aplicado, tasa de bombeo de la solución, colectores, distancia aguja-colector y diámetro de la aguja
- Parámetros ambientales: Temperatura, humedad, tipo de atmósfera y presión

Además, una vez el proceso de Electrospinning tiene lugar mediante la disolución polimérica, destacan tres puntos de gran relevancia en las fibras finales obtenidas:

- Diámetros de las fibras
- Superficie de las fibras, que no presente defectos
- Posibilidad de obtener nanofibras aisladas

Sin embargo, diversas investigaciones llevadas a cabo, han determinado que estos requerimientos no son para nada realistas y que, por el momento, no se ha logrado fabricar fibras que cumplan los tres puntos mencionados anteriormente.

3.3.1 *Parámetros de la solución*

Estas propiedades que se detallan a continuación, son las de mayor influencia en el resultado del proceso de fabricación de fibras submicrométricas mediante el Electrospinning.

▪ Concentración

Para que la formación de fibras tenga lugar en esta técnica, la solución debe contener una cantidad mínima de polímero. A lo largo de los años y tras diversas investigaciones, se ha podido confirmar que, a baja concentración de polímero no llegan a formarse fibras como tal, si no que el resultado obtenido es una mezcla de fibras y pequeñas aglomeraciones de forma redondeada; y que a medida que dicha concentración aumenta, estas aglomeraciones desaparecen dando lugar a fibras uniformes. [12]

La existencia de una concentración óptima de la solución es fundamental para el proceso de electrospinning ya que “a bajas concentraciones se forman perlas en lugar de fibras y en altas concentraciones se dificulta la formación de fibras continuas debido a la incapacidad de mantener el flujo de la solución en la punta de la aguja, lo que resulta en la formación de fibras de mayor diámetro” [13].

▪ Viscosidad

Esta propiedad tiene un rol de gran relevancia a la hora de determinar el tamaño y morfología de las fibras poliméricas. Se ha observado que con muy baja viscosidad no hay formación continua de la fibra y con una viscosidad muy elevada, encontramos dificultades a la hora de conseguir la impulsión de la disolución; por lo tanto, existe un valor de viscosidad óptimo para el Electrospinning. El rango de viscosidad de una solución a la que tiene lugar el proceso de fabricación de fibras, difiere dependiendo del polímero empleado. Algunos investigadores han determinado el rango de valores entre los que oscila la viscosidad máxima para toda clase de polímeros, de 1 a 215 poises [14] [15].

▪ Tensión superficial

En Electrospinning, las cargas aplicadas en la solución polimérica deben ser lo suficientemente altas como para sobrepasar la tensión superficial de la misma. Al mismo tiempo que el chorro se acelera desde la punta de la aguja metálica, la solución es estirada y mientras que no se supere la tensión superficial, las fibras se formarán. Si no se forman, estas fibras se descompondrán en pequeñas gotas, dando lugar a un proceso distinto, Electrospraying. Es por esto que esta es una propiedad de vital relevancia para este proceso.

Atendiendo a distintas investigaciones, se sabe con certeza que, en líneas generales, una alta tensión superficial puede llegar a inhibir el proceso de electrospinning debido a que tiene implicación directa en el voltaje a aplicar, que sería muy elevado, y en la inestabilidad del chorro que sale de la aguja y la generación de gotas que se dispersan al salir de la aguja.

Sin embargo, no necesariamente una tensión superficial de menor intensidad será siempre más adecuada para que el proceso de electrohilado tenga lugar. Además, si todos los demás parámetros se mantuvieran constantes, la tensión superficial podría establecer los límites superior e inferior. [16]

▪ Conductividad

Como se ha mencionado previamente, la solución polimérica debe contar con la suficiente carga electrostática que, las fuerzas de repulsión consigan vencer a la tensión superficial. Por tanto, esta propiedad también será crítica en el funcionamiento del proceso de electrohilado, ya que para lograr cargar eléctricamente la solución es necesario que esta sea buena conductora.

Dicho esto, ciertos investigadores se han percatado de la influencia de la conductividad eléctrica en el diámetro de las fibras obtenidas en el proceso, así como en el alargamiento del chorro de solución. Al aumentar la conductividad eléctrica, se reducen los diámetros obtenidos y, al disminuirla, tiene lugar una disminución en el alargamiento del chorro, que no es capaz de formar fibras uniformes.

3.3.2 *Parámetros del proceso*

Estos parámetros hacen referencia a aquellos factores externos independientes al chorro de electrohilado. Tienen una cierta influencia en la morfología de la fibra, aunque estos son de menor importancia que los parámetros de solución.

- Voltaje

Un elemento crucial en el proceso es la aplicación de un elevado voltaje a la disolución. Este voltaje induce las cargas necesarias a la solución para vencer la tensión superficial. Generalmente, los voltajes superiores a 30kV, tanto negativos como positivos, son capaces de hacer que la solución que contiene al polímero salga de la punta de la aguja adoptando la forma conocida como el cono de Taylor.

Este parámetro está relacionado con la tasa de alimentación, de tal forma que dependiendo de la velocidad con que se impulse el fluido, el voltaje variará para poder estabilizar el cono de Taylor.

Existen distintas opiniones por parte de los investigadores. Por un lado, algunos han sugerido que, a mayores voltajes aplicados, mayor eyección de polímero, lo que facilita la formación de fibras de diámetros mayores. Por otro lado, distintos autores han asegurado que, un aumento en el voltaje, es decir en la intensidad del campo eléctrico, tiene lugar un incremento en las fuerzas de repulsión electrostática de la solución dando lugar a un estrechamiento en el diámetro final de la fibra obtenida. [11] [6]

- Velocidad de bombeo

Este parámetro proporciona la tasa de transferencia del material a través de la aguja, y es de vital importancia, ya que sin este parámetro el proceso no tendría lugar. Debe haber siempre una tasa de bombeo mínimo del solvente a través de la aguja.

Cuando esta tasa de alimentación es baja, la solución tendrá mayor tiempo para evaporarse y formar las fibras, por tanto, esta será la más adecuada. Además, se ha observado que tanto el diámetro de la fibra como el del poro aumentan con la velocidad de bombeo y, cambiando esta, se pueden lograr ligeros cambios en la estructura morfológica de la fibra. Las altas velocidades tendrán un resultado negativo en las fibras, provocando la formación de beads o aglomeraciones en las fibras debido al escaso tiempo de secado del que dispone la solución antes de llegar al colector. [12]

- Colectores

En el proceso de electrospinning, el colector se emplea a modo de conductor donde son recogidas las fibras resultantes. En la mayoría de los casos, el colector es una plancha lisa de aluminio. Sin embargo, la dificultad de alinear las fibras, que, debido a la inestabilidad del chorro altamente cargado, son depositadas en el colector de manera aleatoria; ha provocado que se hayan desarrollado otros tipos de colectores: barra paralela, barra giratoria y rueda giratoria entre otros. [17]

El tipo de colector tiene una profunda repercusión en la morfología de las fibras, consiguiendo la alineación casi perfecta de estas mediante un colector de tambor rotatorio o de bobina giratoria parecida a una rueda.

- Diámetro de la aguja

“Un orificio de pequeño diámetro reduce el riesgo de obstrucción debido a la menor exposición de la solución a la atmósfera y permite la formación de fibras con diámetros de menor diámetro. Sin embargo, el empleo de una aguja de diámetro muy pequeño, puede generar problemas a la hora de expulsar las gotas de solución de la punta de la aguja.” [17]

- Distancia entre aguja y colector

Modificar este parámetro nos permite controlar la morfología y el diámetro de las fibras. Sin embargo, no es tan relevante en el resultado final como otros parámetros.

Aun así, es requerida una distancia mínima para dar al disolvente el tiempo necesario para que pueda evaporarse y dejar exclusivamente al polímero en estado sólido. De lo contrario, se observan aglomeraciones de polímero en las fibras resultantes.

3.3.3 Parámetros ambientales

En cuanto a estos parámetros, se trata de un área de estudio de la técnica de poca investigación. Sin embargo, varios investigadores han llegado a la conclusión de que todo cambio en las condiciones ambientales que rodean al solvente tiene repercusión en el resultado final de las fibras, siendo las condiciones a valorar las siguientes:

- Temperatura

Éste es un parámetro que, al tener influencia sobre otra serie de parámetros, es difícil de aislar cual es su efecto del resto de los parámetros a los que afecta o por los que se ve afectada la temperatura.

Sin embargo, se trata de un parámetro que hay que tener en cuenta e intentar mantenerla lo más estable posible para intentar obtener el mismo resultado a la hora de producir distintas tandas de fibras.

A mayor temperatura, se ha observado que el solvente se evapora en menor tiempo y se presenta una fácil resolución al problema de los solventes con bajas tasas de evaporación.

- Humedad

Según distintos investigadores, este parámetro tiene influencia en la solución polimérica, aumentando la velocidad de evaporación del mismo cuando la humedad ambiental es baja y aumentando la misma cuando la humedad en el ambiente es alta además de aumentar el diámetro de las fibras resultantes dado que la carga en el jet puede llegar a neutralizarse.

- Presión

Bajo condiciones estándar, es posible investigar el efecto de la presión en el chorro de solución polimérica. Por lo general, la reducción en la presión alrededor del chorro no tiene por que mejorar el proceso de electrospinning. Cuando la presión se encuentra por debajo de la presión atmosférica, la solución que se encuentra en la aguja tendrá mayor tendencia a fluir al exterior de la aguja provocando un chorro inestable de la misma. A la vez que la presión disminuye, empieza a tener lugar un rápido burbujeo en la punta de la aguja. Además, debe haber una presión mínima para que tenga lugar el proceso. [6]

3.4 Fases del proceso de electrospinning

El proceso de electrohilado puede ser dividido en tres etapas o fases, en las cuales predominan distintos fenómenos físicos. Según esto, pueden dividirse en: inicio de la formación de la fibra, elongación de la fibra y deposición y solidificación de la fibra.

3.4.1 Inicio de la formación de la fibra

Para que pueda tener lugar la generación de fibras, es preciso que se forme una gota en la punta de la aguja, la cual será impulsada hasta ella mediante la bomba de infusión. La gota se mantendrá en la

punta de la aguja debido a la acción de la gravedad y la energía superficial cuando la aguja no tenga aplicado un voltaje.

Dicho esto, para que la formación de las fibras tenga lugar, es necesario que la gota de agua este cargada eléctricamente y se haga actuar un campo eléctrico sobre ella. Para lograr esto, se somete a la aguja a una diferencia de potencial elevada respecto de otra superficie denominada contra electrodo. Una vez la gota es sometida a la diferencia de potencial mencionada, surge en la misma una deformación que tiene a alargarse en dirección al contraelectrodo y dando lugar a un cono invertido conocido como el cono de Taylor. Si la diferencia de potencial alcanza un valor crítico, distinto para cada material para el que se realiza el proceso; estas fuerzas electrostáticas superan a la tensión superficial de la gota y comienza la generación de fibras en dirección al contraelectrodo.

Este valor crítico de diferencia de potencial fue estudiado por Taylor y desarrolló la siguiente ecuación, que permite calcularlo [14]:

$$V_{crítico} = 4 \frac{H^2}{L^2} \left(\ln \frac{2L}{R} - 1,5 \right) (0,117\pi R\gamma)$$

En donde:

$V_{crítico}$: voltaje crítico aplicado para la formación del haz [kV]

H: distancia entre los electrodos [cm]

L: longitud de la aguja [cm]

R: radio de la aguja [cm]

γ : tensión superficial del fluido [dyn/cm]

Se puede afirmar entonces, que el voltaje crítico dependerá de la naturaleza de la solución polimérica, además de distintos parámetros del proceso previamente descritos (Véase apartado 3.3)

3.4.2 Elongación de la fibra

Una vez se aplica la diferencia de potencial crítica a la punta de la aguja, se genera un chorro que va desde la punta hacia el contra electrodo describiendo una trayectoria recta, al inicio, para más tarde tener lugar ondulaciones del chorro que sale de la aguja. (Véase Figura 3-8)

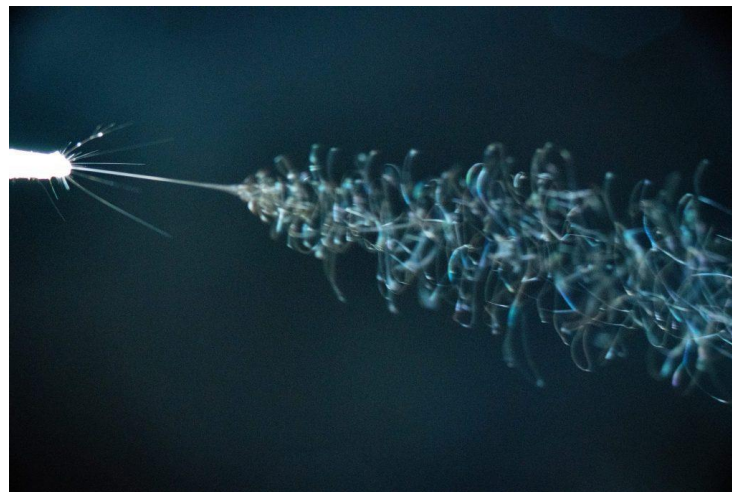


Figura 3-8 Elongación de la fibra

En un principio la velocidad a la que sale de la aguja el chorro es de escasos cm/s, para luego aumentar progresivamente llegando a alcanzar velocidades de hasta m/s en pequeñas distancias. De esta manera se puede afirmar que tienen lugar aceleraciones tan elevadas, que la aceleración de la gravedad puede considerarse despreciable para el proceso de electrohilado.

Como se ha mencionado, el chorro de polímero se desvía de la trayectoria recta inicial para dar lugar a las ondulaciones debido a diversas inestabilidades que ocurren durante el proceso. El resultado es un chorro de la solución polimérica semejante a un cono con su abertura dirigida hacia el contraelectrodo. Estas ondulaciones, aparte consiguen reducir el diámetro de las fibras resultantes en cada bucle que tiene lugar durante el proceso.

3.4.3 Deposición de la fibra

Corresponde a la última fase del chorro, cuando este se deposita en el contraelectrodo y tiene lugar la solidificación de las fibras resultantes. La acumulación de las fibras generadas tendrá como resultado un tejido no uniforme, ya que las fibras se depositan aleatoriamente en el contraelectrodo. La literatura nos dice que la configuración geométrica del contra electrodo determina la geometría resultante de dicho tejido. [11, 18]

En cuanto al tiempo que experimenta la solución polimérica desde que sale de la boquilla hasta la deposición de la misma en el colector, es muy reducido, llegando a ser de aproximadamente 0,1 s. El alargamiento y estrechamiento de las fibras a lo largo de la trayectoria del chorro se ven favorecidos por la evaporación del disolvente en el trayecto.

El fenómeno que tiene lugar en la deposición de las fibras, se conoce como coalescencia, el cual consiste en la unión de las fibras obtenidas al entrar en contacto unas con otras cuando son depositadas. De esta forma, se podrían obtener geometrías distintas del tejido de fibras si se consigue variar el ángulo con que las piezas son depositadas o desplazamos el contraelectrodo o la aguja mientras el proceso tiene lugar.

3.5 Aplicaciones para el electrohilado

La gran versatilidad de esta técnica permite generar fibras con características muy distintas, lo que a su vez le otorga un amplio abanico de áreas de investigación y desarrollo en las cuales puede ser aplicada. Aunque la técnica fuera inventada como tal a principios de siglo XX, no ha sido hasta entrado ya el siglo XXI cuando han empezado a realizarse investigaciones y estudios e implementaciones a nivel industrial (Véase Figura 3-11) en distintas áreas de aplicación del electrohilado que, actualmente, son muchas y muy variadas: y entre las cuales se pueden destacar las siguientes:

- Aplicaciones biomédicas (Véase Figura 3-9)



Figura 3-9 Apósito para el tratamiento de heridas fabricado por las técnicas de electrospinning [19]

- Aplicaciones en la industria textil
- Filtración de aceites de maquinaria industrial
- Filtración de aire (Véase Figura 3-10)

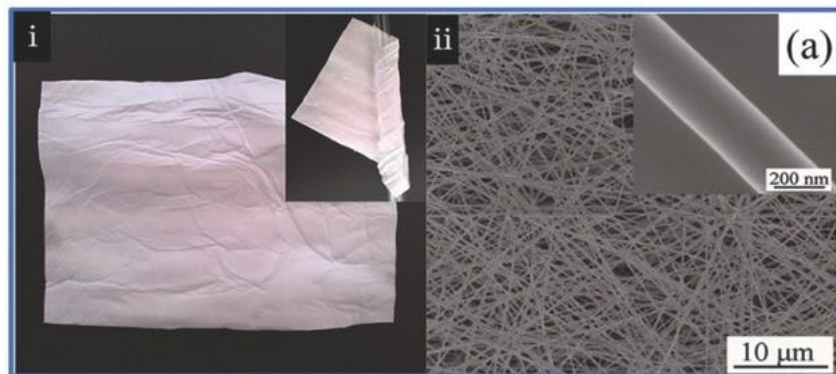


Figura 3-10 Ejemplo de filtro de aire para polución fabricado mediante electrospinning [20]

- Aplicaciones cosméticas
- Recolección y almacenaje de energía (almacenaje de hidrógeno)
- Catalizadores
- Desarrollo de nuevos materiales
- Defensa (investigaciones en equipos para defensa NBQR)

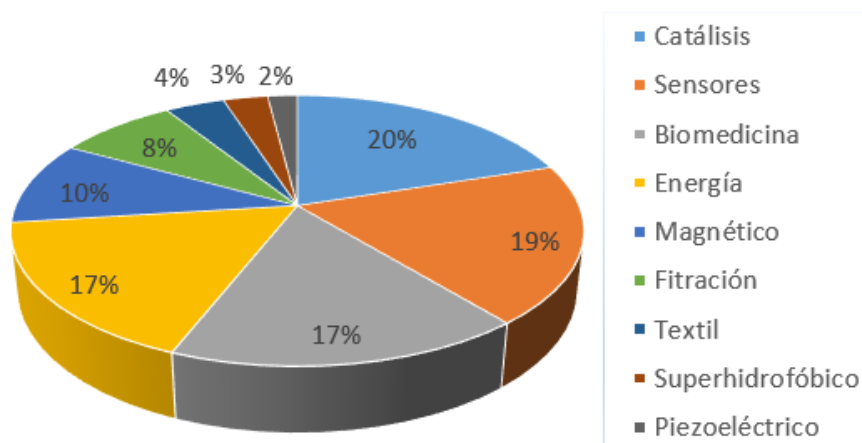


Figura 3-11 Proporciones relativas del número de publicaciones en diversas áreas de aplicación del electrohilado [21]

4 REQUERIMIENTOS DEL DISEÑO

Previamente a comenzar con el diseño del dispositivo de Electrospinning, es necesario que se establezcan una serie de requisitos o requerimientos que el mismo debe cumplir, y para lo cual en este apartado se exponen estas necesidades del diseño para hacer de este un dispositivo de calidad. En función de la bibliografía consultada y de los requerimientos solicitados por el peticionario, se establecieron los siguientes requisitos a cumplir por el dispositivo para la obtención de nanofibras y microfibras mediante la técnica de electrospinning:

- Tener un diseño modular y flexible, que permita el intercambio de distintas piezas por otras de características distintas para aumentar las posibilidades de trabajo de este dispositivo.
- Debe permitir la fácil manipulación de los distintos elementos que conforman el diseño tanto del interior como del exterior del mismo.
- Debe poder generarse una diferencia de potencial entre la aguja y colector de 50 kV, necesaria para que el proceso de generación de fibras tenga lugar.
- Estar conformados tanto los elementos del interior de la caja como la propia caja por materiales eléctricamente aislantes. Para aportar seguridad al personal que manipule el dispositivo una vez este haya sido construido, dado que esta técnica requiere elevados potenciales eléctricos.
- Poseer un sistema de movimiento cartesiano, con desplazamientos en los ejes X, Y y Z para poder facilitar el ajuste de la distancia entre la punta de la aguja y el colector, parámetro que, como se explicó anteriormente en este trabajo, tiene gran repercusión en el resultado de las fibras generadas. Y además, para poder darles a los tejidos de nanofibras y microfibras resultantes la forma que se desee según un patrón previamente establecido
- Debe ser lo más económico posible, y de fácil construcción, para que no suponga un gasto muy elevado incorporarlo al edificio de investigación del Centro Universitario de la Defensa en Marín, además de reducir el coste en comparación con una máquina comercial.

5 DISEÑO DE UN SISTEMA DE FABRICACIÓN DE FIBRAS MEDIANTE ELECTROSPINNING

Una vez han sido establecidos los requerimientos del dispositivo a diseñar, pasamos al apartado de diseño, para el cual el software empleado ha sido Autodesk Inventor correspondiente al año 2021, un software de diseño asistido por ordenador (CAD), que aporta herramientas específicas para el modelamiento mecánico, permitiendo tanto el diseño de las distintas piezas como la realización de los planos correspondientes. Antes de empezar, se planteó un diseño conceptual inicial (Véase Figura 5-1) en el cual basarnos y que incluía los elementos necesarios para elaborar la máquina de electrospinning y que son detallados más adelante en este apartado.

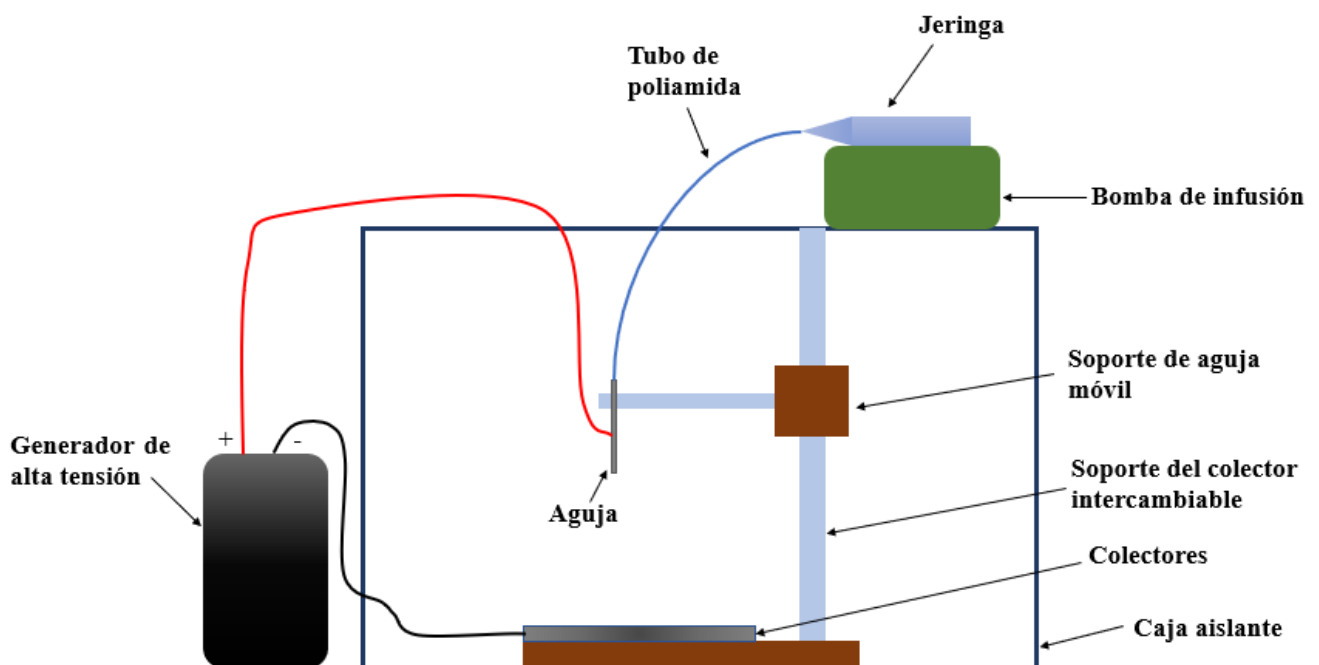


Figura 5-1 Diseño conceptual de partida

En función de la información estudiada en la literatura acerca de la técnica de electrospinning, el diseño ha de constar de los siguientes elementos principales:

- Elemento contenedor de material aislante, que evite que el operario del sistema pueda entrar en contacto con la zona de trabajo, sometida a muy altas diferencias de potencial, y que además evita que el campo magnético generado en el interior se disperse.
- Aguja metálica, que actúa de electrodo del sistema. Este será un elemento comercial que será detallado más adelante en el presente trabajo.
- Jeringa, la cual es la encargada de almacenar la solución polimérica y transmitirla hasta la punta de la aguja gracias a la bomba de infusión
- Sistema de soporte de la aguja, que permita controlar la distancia entre la aguja y el colector.
- Generador de alta tensión, capaz de generar la diferencia de potencial suficiente para asegurar que el proceso de electrospinning tiene lugar.
- Bomba de infusión de la solución polimérica, capaz de impulsar la solución de material a través del tubo de poliamida a una velocidad que puede ser modificada y que garantice el proceso de electrospinning.
- Sistema de descarga manual, que permita al operario descargar electrostáticamente el interior de la cámara de procesamiento para garantizar la seguridad del mismo.

Una vez conocidos estos elementos, se puede dividir el dispositivo de electrospinning en cuatro grandes bloques que incluyen los distintos elementos:

- I. Cámara de procesamiento: Integrado por el soporte de la aguja y la cámara aislante.
- II. Sistema de inyección: Integrado por la bomba de infusión del polímero junto con la aguja, la jeringa y el tubo de poliamida.
- III. Sistema generador de alta tensión: Incluye la fuente de alta tensión y todos los elementos que son conectados a la misma, como son la aguja, que actúa a modo de electrodo; el colector, que sirve de contraelectrodo y que, como viene explicado más adelante, puede intercambiarse entre tres posibilidades: cilindro rotatorio, sistema de movimiento en los ejes cartesianos y el colector plano estático.
- IV. Sistema de descarga manual: el cual es integrado exclusivamente por la lanza de descarga.

A continuación, se lleva a cabo una descripción detallada de los elementos diseñados del sistema, explicándose pormenorizadamente cuales han sido las soluciones adoptadas para alcanzar los objetivos marcados para el presente trabajo.

5.1 BLOQUE I: CÁMARA DE PROCESAMIENTO

5.1.1 Caja aislante

Se trata de uno de los componentes imprescindibles para efectuar el proceso con éxito, debido a que, durante el proceso de electrohilado, se trabaja con unos elevados potenciales en la aguja, que hacen necesaria la utilización de un espacio aislado para favorecer la seguridad del personal que hace uso del dispositivo, evitando por un lado que el operario pueda acceder a la zona de trabajo durante el funcionamiento del dispositivo, y por otro, que se formen arcos eléctricos hacia elementos distintos del colector puesto para tal fin. Es por esto que, tras tener en cuenta otros dispositivos diseñados y las características que ofrecen, ha sido considerado que esta caja deberá estar construida íntegramente de Polimetacrilato de metilo (PMMA), comúnmente conocido como metacrilato, cuyas características son las siguientes:

- Es el polímero de mayor transparencia, para facilitar la observación del proceso.

- Peso reducido en comparación con vidrio o cristal.
- Alta resistencia frente a impactos. Muy superior a materiales que aportan ventajas similares, tales como el vidrio.
- Se trata de un buen aislante eléctrico y químico
- Elevada durabilidad
- Mecanización sencilla
- Económico

Todas estas características cumplen los requisitos que se piden para la caja aislante, ya que se podrá controlar visualmente la evolución del proceso, aportando seguridad al aislar eléctricamente el dispositivo a la hora de ponerlo en funcionamiento y, además, este material consigue disminuir el peso de la estructura para poder desplazar el dispositivo con facilidad.

Una vez dicho esto, se nos presentan tres opciones de construcción:

1. Caja entera

Esta opción consiste en diseñar una caja hecha de una sola pieza conformada por cinco paredes dejando una libre para mediante bisagras instalar una puerta que permita acceder al interior de la caja y poder modificar el dispositivo y recoger el resultado del proceso. Se trata de un montaje sencillo, al contar únicamente con dos piezas de PMMA, y de fácil diseño.

2. Caja construida mediante adhesión de las planchas

Esta consiste en el diseño de 5 planchas de metacrilato unidas mediante un adhesivo y dándole forma de cubo, que quedaría abierto por una de sus caras para, mediante una nueva plancha del mismo material a la que se le añadirían unas bisagras, permita cerrar el cubo y acceder al interior del mismo en el caso de querer modificar los parámetros o recoger los resultados obtenidos en el proceso.

3. Caja construida mediante fijación estructural de las planchas

Esta posibilidad trata de unir las planchas de metacrilato mediante una estructura cúbica también aislante, a la cual mediante algún sistema de fijación nos permitiera desarrollar la caja cúbica aislante que requerimos para el proceso, teniendo en cuenta que también deberíamos diseñar un sistema que permita acceder al interior. Al igual que las opciones anteriores, el sistema más simple sería una puerta formada por una de las planchas que en vez de hacerse fija a la estructura, se le añade un sistema de bisagras que permita su apertura.

5.1.1.1 Elección de la mejor opción

Tras analizar las opciones previamente descritas, se ha optado por la opción número 2, el diseño de una caja aislante construida mediante adhesión de las planchas, debido a:

- Económicamente es mejor que las otras dos opciones al requerir de menor cantidad de Metacrilato (PMMA) que la opción 3 dado que, esta precisaría de una estructura extra. Además, la opción número 1, al estar hecha de una pieza, las opciones para su fabricación son dos: mediante vaciado de un cubo de tamaño de la caja, que elevaría el coste del dispositivo, o bien mediante el uso de un molde para metacrilato que, por lo general son empleados para construcción industrial de este dispositivo y que al igual que la otra opción de conformado supondría un aumento del coste.
- Mayor facilidad a la hora de restaurar la caja en caso de deterioro o rotura puesto que al estar construida por partes, solo sería necesario cambiar la pieza que se haya deteriorado o roto; al contrario que en la opción 1 que, al ser enteriza, obligaría a la fabricación de una nueva caja completa, lo que derivaría a su vez en un mayor coste.

Al haber establecido ya la opción de caja aislante a diseñar, pasamos a establecer las dimensiones de la misma. Para ello, hay que tener en cuenta que las dimensiones deben aportar rigidez a la estructura, permitir la regulación de la distancia de la punta de la aguja al colector, que debería oscilar entre los 0 y los 30 centímetros como mínimo, como ya se comentó previamente en este trabajo; permitir el fácil acceso al interior para modificar cualquier aspecto del dispositivo que contendrá nuestra caja, permitir retirar sin obstrucción de ningún tipo las fibras resultantes del proceso, además de dejar la distancia suficiente entre la aguja, el punto donde es aplicado el alto voltaje, y el exterior; para aportar seguridad al operario. Por esto, tras analizar y comparar distintos trabajos, las dimensiones escogidas son: 520 mm de lado del cubo que forma la caja y 10 mm de grosor de la pared, para así permitir que el volumen interior sea de 500x500x500 mm³.

Tras definir las dimensiones, se llevaron a cabo propuestas de bisagras a diseñar, entre las cuales destacaron dos: una primera, que consistía en la instalación de varias bisagras mediante un adhesivo en el marco de la plancha móvil que haría de puerta y en el de aquella plancha fija que da soporte a la puerta; y una segunda opción, la cual consistía en el diseño de una bisagra que forme parte de ambas planchas sin tener que estar adherida que recorriera todo el marco de ambas planchas y que fuera unida mediante un único pasador.

El análisis de ambas opciones definiendo las ventajas y desventajas que presentaban cada una de las posibles soluciones, hizo que la opción escogida finalmente sea la de la bisagra implementada en el diseño (Véase Figura 5-2, donde han sido coloreados sus tres componentes de diversa forma para mejorar la visualización del sistema de bisagra) ya que simplifica en gran medida el montaje y desmontaje de la puerta, así como el diseño al tener que realizarlo de una única bisagra. Además, la primera opción, la de las bisagras unidas mediante un adhesivo, trae consigo el problema de que en algún momento el adhesivo puede dejar de hacer efecto y podría suponer un riesgo para el operario de la máquina si esto sucede mientras se está llevando a cabo el proceso.

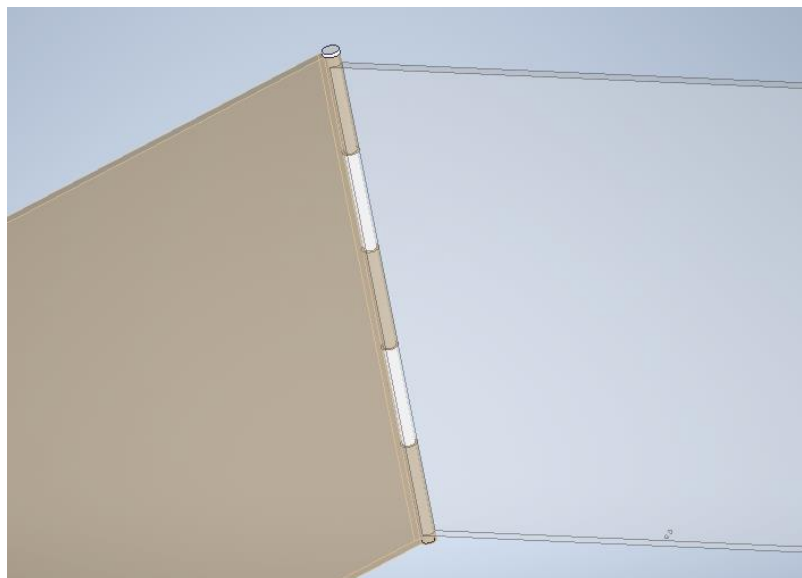


Figura 5-2 Sistema de bisagra implementado con las partes del mismo coloreadas de distinta forma

Conforme se fueron diseñando los elementos que irían situados en el interior de la caja, se han ido añadiendo unas pequeñas perforaciones en la plancha inferior de la caja donde encajarían unas pestañas diseñadas en los distintos elementos que son apoyados en esta plancha para ajustarlos en la posición correcta de la caja y así evitar que se produzcan errores de alineación entre aguja y colector. Además de esto, se han realizado agujeros que atraviesan las planchas superior, lateral y posterior para poder introducir los cables que conectan aguja y colector a la fuente de tensión, los que conectan el dispositivo de movimiento en los ejes cartesianos diseñado, así como el conducto por donde circula la solución polimérica y que conecta la jeringa con la aguja. (Véase Figura 5-3)

Ante la necesidad de permitir mantener cerrada la caja durante el proceso y facilitar la apertura de la misma, se le ha incluido a la caja un cierre mediante una pestaña que sobresale del lateral de la puerta y la cual puede ser hecha firme mediante una pieza implementada en la pared lateral mediante una unión roscada que le permita girar sobre la propia unión como se observa en la Figura 5-4, de tal forma que la pieza implementada encaja con la pestaña que sobresale de la puerta.

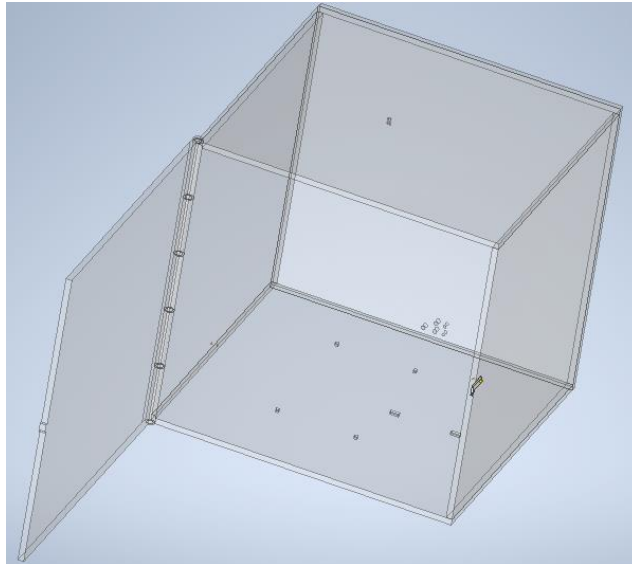


Figura 5-3 Diseño de la caja aislante ensamblada.

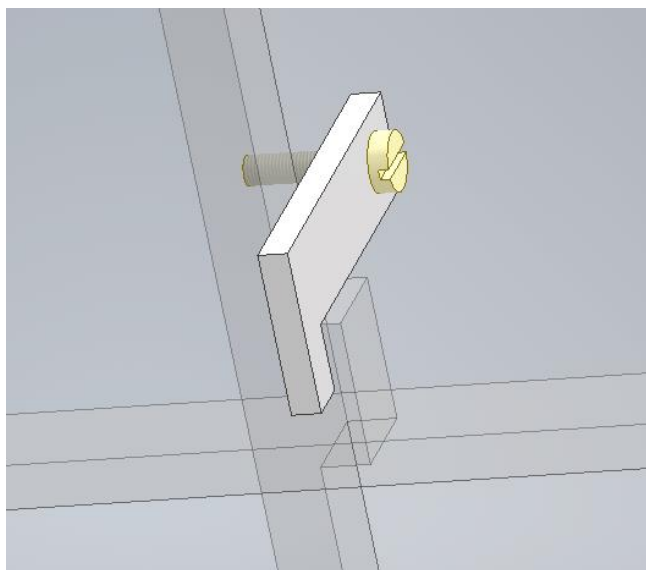


Figura 5-4 Detalle del diseño del cierre de la puerta

5.1.2 Soporte de aguja móvil

Este elemento es el que sostendrá la aguja apuntando hacia el colector y debe permitir establecer la distancia deseada entre colector y la punta de la aguja, como ya se explicó en el apartado 3.3 del presente trabajo, entre los 0 y 30 cm. Este conjunto está formado por los elementos que se indican y explican a continuación:

- Base del soporte
- Barra vertical
- Barra horizontal
- Deslizador en el eje Z

➤ Pie de ajuste de la barra en Z

5.1.2.1 Base del soporte

Esta pieza, al igual que el soporte para el colector, no debe influenciar en el proceso, por lo que deberá ser aislante y para lo cual se ha seleccionado el PVC, material aislante y ligero que presenta una vida útil elevada y alta resistencia mecánica.

El diseño de esta pieza ha consistido en una base en forma de cruz que consiga mantener firme la estructura una vez este ensamblada. Además, en la intersección de la cruz se le ha diseñado una elevación con forma de prisma rectangular en cuya cara superior se le ha hecho una perforación en la cual se acopla mediante apriete la barra vertical como se puede observar en la Figura 5-5. Aparte, en la lengüeta de mayor longitud de la pieza se le ha hecho otra perforación donde se introduciría una de las patas del colector plano previamente detallado. Por último, para situar el soporte de manera correcta en el interior de la caja se le han diseñado en la parte inferior de la pieza dos salientes con forma de prisma rectangular, que encajan en dos huecos diseñados en la plancha inferior de la caja aislante del dispositivo.

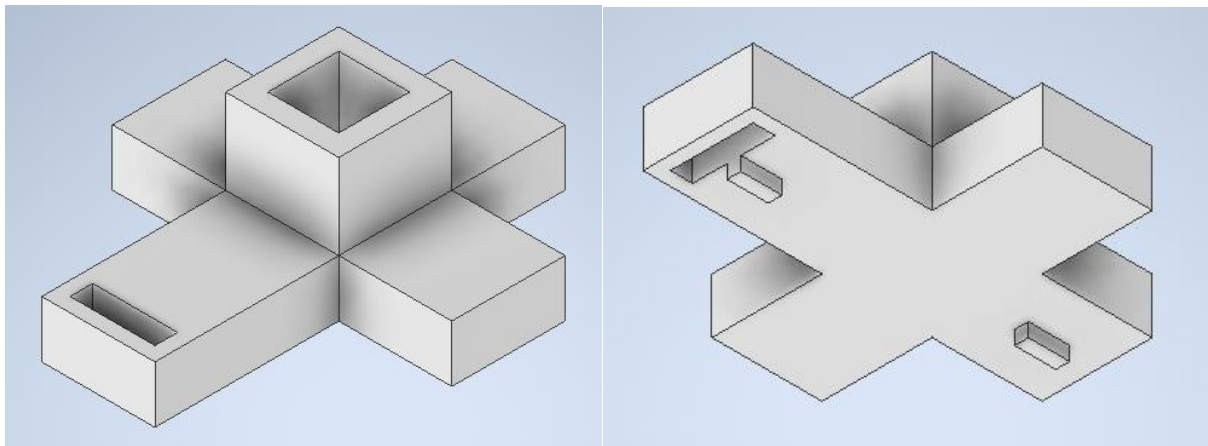


Figura 5-5 Vistas superior e inferior del diseño de la base del soporte de la aguja

5.1.2.2 Barra vertical

Esta pieza será la que de soporte a la barra horizontal. Esta debe permitir como requerimiento de este dispositivo que la distancia aguja-colector puede modificarse libremente. Para ello se ha escogido una forma prismática de base cuadrada ya que, así se evita que la aguja quede descentrada del colector una vez montado el dispositivo, como podría ocurrir con una barra cilíndrica. En cuanto al material escogido ha sido el Polimetilmetacrilato (PMMA), que además de sus buenas características físicas, tales como su elevada resistencia mecánica y ser un buen aislante térmico y eléctrico, permitiría grabar una escala métrica en la propia barra consiguiendo de esta manera medir la distancia aguja-colector. También se le ha añadido, en la cara superior del prisma, un agujero roscado donde introducir un pie de ajuste que trabaje con la plancha superior de la caja, aportándole mayor rigidez y estabilidad a la estructura. Como ya se detalló en el apartado anterior, esta pieza iría unida mediante apriete a la base del soporte. (Véase Figura 5-6)

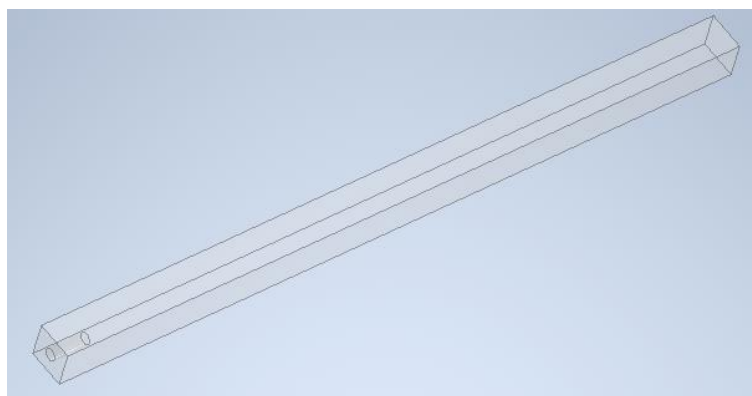


Figura 5-6 Diseño de la Barra vertical

5.1.2.3 Barra horizontal

Este elemento es el que sujetará la aguja siendo el encargado de que apunte en todo momento al colector. Se trata de una barra prismática con base cuadrada de menor lado que la barra en sentido vertical detallada en el apartado 5.1.2.2. Irá unida al deslizador en Z por unión mediante apriete, permitiendo así variar la altura de este elemento y con él la distancia aguja-colector, parámetro de profunda relevancia en el resultado del proceso de electrospinning. Además, al extremo contrario a la unión con el deslizador, se le ha realizado un estrechamiento para hacer más delgada la barra en el punto en el que va a ir atravesada la aguja, punto en el que se le ha realizado un agujero de diámetro el de la aguja escogida (Véase apartado Jeringa, tubo de conexión y aguja 5.3.2). El material por el que se ha optado para la barra ha sido, al igual que en la barra vertical, el PMMA, que tiene una gran resistencia mecánica y es aislante eléctrico y térmico. (Véase Figura 5-7)

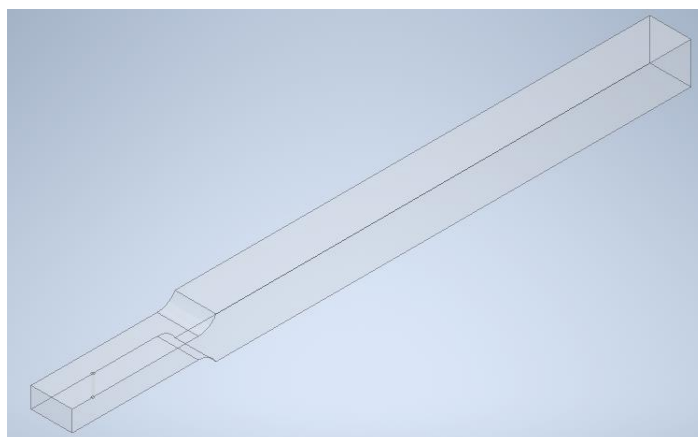


Figura 5-7 Diseño de la barra horizontal

5.1.2.4 Pie de ajuste

El pie de ajuste sirve para encajar de manera precisa el eje vertical de desplazamiento de la aguja y aportarle estabilidad. Para esta pieza se ha escogido el PVC como material, debido a su elevada resistencia mecánica, además de por ser un material aislante y fácilmente mecanizable.

Se ha diseñado de tal forma que cuente con una rosca de perfil métrico ISO M8x0.75 y una cabeza hexagonal para facilitar la manipulación, de suficiente área como para garantizar el acoplamiento estable de la barra vertical a la caja aislante. (Véase Figura 5-8)

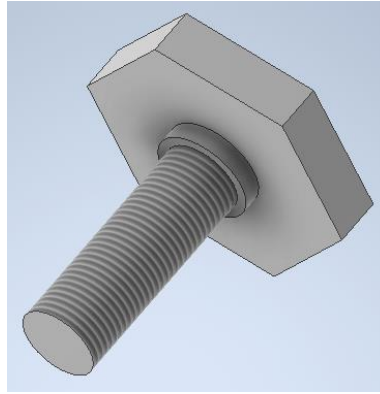


Figura 5-8 Diseño del pie de ajuste

5.1.2.5 Deslizador en el eje Z

De la misma manera que algunas de las piezas anteriores, para esta pieza se ha seleccionado el PVC por la resistencia mecánica y su capacidad aislante. Esta pieza ha sido diseñada a partir de un prisma rectangular al cual se le ha hecho una perforación cuadrada pasante donde se introduciría la barra vertical, otro orificio no pasante donde se inserta la barra horizontal con un ajuste por apriete.

Para conseguir sujetar el deslizador a la altura deseada se ha empleado un tornillo de apriete en una de las caras del prisma. Además de todo esto, en una cara lateral de la barra se le ha incluido un orificio a modo de ventana para obtener la lectura de la escala métrica incorporada en la barra vertical.

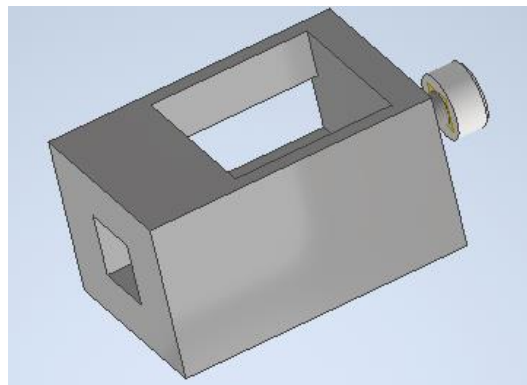


Figura 5-9 Diseño del deslizador en el eje Z

5.1.3 Higrómetro

Dado que la temperatura y humedad es uno de los parámetros ambientales que afectan al proceso del electrohilado (véase apartado 3.3.3) se ha querido implementar un termohigrómetro que permita medir dichos parámetros en el interior de la caja y así poder tener en cuenta los parámetros ambientales a la hora de estudiar las características de las fibras obtenidas en el proceso. Para llevar a cabo la elección de este elemento, se establecieron unos requisitos a cumplir por el mismo y que van en paralelo con los requerimientos establecidos para la máquina de electrospinning (véase el apartado 1). Estos requisitos son: que sea de tamaño reducido dado que tiene que introducirse en el interior de la caja, que este compuesto por materiales aislantes, que pueda ir encajado en las paredes de la caja aislante (aunque este podría incluirse como un añadido extra) y que sea económico.

Una vez establecidos los requisitos, el termohigrómetro escogido ha sido el Mini LCD termómetro higrómetro de la marca Ndiar, (Véase Figura 5-10) que según el fabricante tiene una precisión en la medición de humedad del 5% y de 1° C a la hora de medir la temperatura. Además de contar con un tamaño muy reducido, el cual permite introducirlo en la caja aislante sin que suponga un estorbo a la hora de manipular los elementos de la máquina de electrospinning. La elección final de este elemento ha sido debida a que es el único dispositivo comercial encontrado de este tipo que reúne el tamaño

reducido y la posibilidad de hacerse fija en la pared de la caja, para lo cual, debe hacerse una ligera modificación en el diseño de la caja aislante.



Figura 5-10 Termohigrómetro escogido

5.2 BLOQUE II: SISTEMA GENERADOR DE ALTA TENSIÓN

5.2.1 Colectores

El colector es una pieza indispensable para el diseño de un dispositivo de Electrospinning, ya que permite recoger las nanofibras generadas durante el proceso y tiene especial relevancia en la disposición final de las fibras. Ante esto, se han diseñado dos tipos de colectores, los de uso más extendido, que permiten distintas posibilidades en la disposición de las fibras generadas.

- Colector plano: Se trata de un colector estático que recoge las fibras de la manera en la que vienen desde la punta de la aguja, es decir, la disposición de las fibras es aleatoria, quedando una maraña de nanofibras como resultado final.
- Colector cilíndrico rotativo: es el colector que aporta la solución más fácil para la fabricación de fibras alineadas. Distintos investigadores experimentaron con la rotación de este tipo de colectores y llegaron a la conclusión de que a medida que aumentabas la velocidad de rotación del cilindro, la alineación de las fibras también lo hacía a su vez, hasta llegar a una velocidad crítica en la cual las fibras se rompen y el flujo de aire se vuelve turbulento alrededor del perímetro del cilindro. Los investigadores han ido estableciendo distintas velocidades críticas dependiendo de su experimentación. Sin embargo, la mayoría oscilan entre los 10 y los 15 m/s. Es por esto que la velocidad de rotación máxima no podrá superar este intervalo crítico. [20, 21]

5.2.1.1 Soporte del colector plano

Una vez dicho esto, el colector plano diseñado consiste en una placa de aluminio cuyas dimensiones son 140 mm, tanto de largo como de ancho, y un grosor de 2 mm que se situará en un soporte diseñado como una pieza rectangular de 150 mm de longitud y anchura y un grosor de 8 mm, el cual permite alojar la pletina de Aluminio previamente mencionada y que hace de colector. Para tal fin, el soporte tiene en su base superior un rebaje de 2 mm y unas dimensiones de 140 mm de longitud y anchura. A esta estructura se le han añadido dos patas en los dos lados opuestos del prisma cuadrangular inicial para unirlo al soporte de la aguja y poder retirarlo de forma sencilla. A todo esto, se le han diseñado dos hendiduras en la zona de las patas del colector para facilitar la retirada de la plancha de aluminio y así poder conectar el polo negativo de la fuente de voltaje a la plancha de aluminio. Además, dada la necesidad de que los materiales del dispositivo sean aislantes para evitar que puedan tener influencia en

los resultados que se obtengan, se ha escogido el PVC que presenta una gran resistencia a la rotura y se trata de un material aislante y de fácil mecanización. (Véase Figura 5-11)

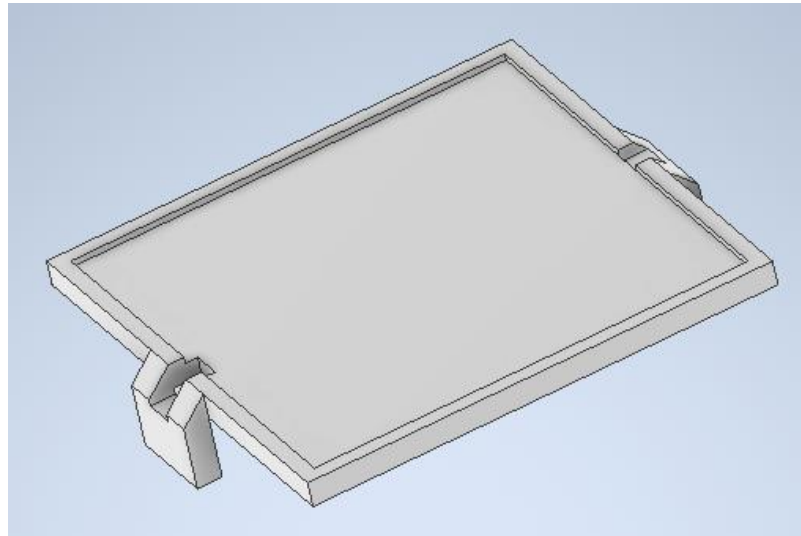


Figura 5-11 Diseño del colector plano sin plancha de aluminio

5.2.1.2 Soporte del colector giratorio

Para el diseño de este elemento se han llevado a cabo el diseño de varias piezas para lograr aislar el motor escogido, que fue el motor DC de la compañía RS PRO que es capaz de dar una velocidad angular máxima de 4000 rpm y que cuenta con un eje de 5 mm de diámetro. Fue escogido este dado que cumplía con los requisitos de tamaño y velocidad ya que, según la literatura, la velocidad de giro del tambor crítica tendrá lugar cuando la superficie del cilindro colector supere una velocidad que no está detallada exactamente, pero que algunos investigadores han establecido un rango de valores entre los 10 m/s y los 15 m/s, lo que para nuestro colector rotatorio, de 50 mm de diámetro, supondría una velocidad de giro de entre las 3800 rpm y las 6000 rpm. De esta forma ajustamos la velocidad de giro máxima del motor a la máxima del proceso, para de esta manera permitir el estudio con un rango mayor de este parámetro.

En cuanto al cilindro rotatorio, estará compuesto de aluminio con ambas tapas laterales mecanizadas; una con un paralelepípedo de dimensiones: 8 mm de altura, 8 mm de anchura y 10 de profundidad; donde se introduciría el acople del eje del motor. Y la otra mecanizada con forma de cono para permitir introducir una punta cónica que centre el cilindro reduciendo así la velocidad, y dada la ligereza del cilindro, sería válido. Además de esto, se ha construido una base de material PVC, que incluye la base de apoyo del colector, la punta cónica para guiar el cilindro en una de sus caras, así como la pared donde va atornillado el motor escogido y el elemento diseñado que aísla el motor. (Véase Figura 5-12)

Además, ha sido diseñada una pieza que sirva de acople del eje del motor con el cilindro, también de aluminio, para poder poner en contacto el negativo de la fuente de tensión, con el colector, mediante el uso de un conector circular de mismo radio que el eje que iría acoplado al eje del motor y con el que se podría evitar que el cable girara junto con el cilindro. Con el objetivo de aislar los componentes del motor se ha diseñado una carcasa que lo recubre completamente y que va atornillada a la base del soporte del colector mediante tornillos de Nylon

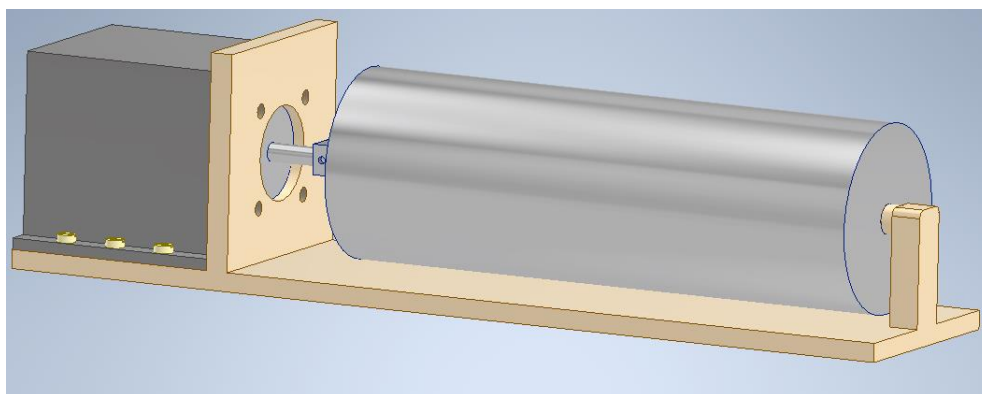


Figura 5-12 Colector giratorio diseñado

5.2.2 Sistema de movimiento en los ejes cartesianos

Uno de los requerimientos que se establecieron para el dispositivo a diseñar era la implementación de un sistema de movimiento en los ejes cartesianos que permitiera tener un control en la forma en que son depositadas las fibras, así como la distancia entre la aguja y el colector a la hora de realizar el proceso. Para ello, en primer lugar, se pensó en la búsqueda de algún sistema comercial que pudiera ser introducido en el dispositivo que se estaba diseñando. Sin embargo, todos fueron descartados debido a que ninguno estaba compuesto íntegramente por materiales aislantes y tampoco podían ser aislados de ninguna manera, puesto que estos sistemas cuentan con numerosas piezas metálicas que hacen necesario buscar la forma de aislar el conjunto de estos sistemas, que son de gran tamaño.

Ante este impedimento, hubo que descartar el poder implementar el sistema, que permitiría desplazar de forma motorizada el colector o la aguja y, se planteó la posibilidad de implementar un módulo de menor tamaño, que permitiera su aislamiento; además de un ajuste de mayor exactitud de la distancia aguja-colector que el que aporta la barra de metacrilato con la escala métrica diseñada y así poder tener mayor control sobre el resultado de las fibras generadas durante el proceso. Además de esto, también con este sistema se consigue obtener una deposición precisa de las fibras, llegando incluso a poder generarse patrones preestablecidos, en vez de dejar que se depositen aleatoriamente en el colector. Finalmente se decantó por esta opción, para lo cual se buscaron distintos sistemas de movimiento de menor tamaño e independientes entre sí para unirlos posteriormente, escogiéndose finalmente los dispositivos de la compañía PI (Physik Instrumente) PIMag Linear Stage V-408, para los ejes X e Y, y el Precision Z Stage L-310, para el eje Z. (Véase Figura 5-13)

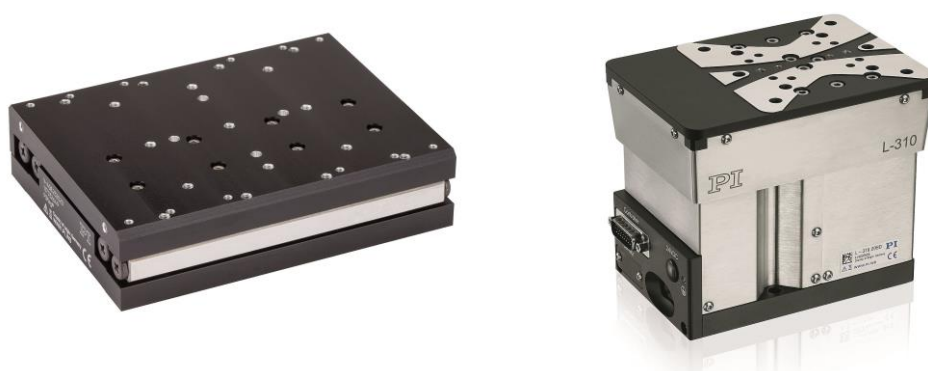


Figura 5-13 Dispositivos PIMag Linear Stage V-408 (izquierda) y precisión Z stage L-310 (derecha)

Ambos dispositivos fueron seleccionados de la misma compañía debido a que de esta manera no habría inconvenientes a la hora de implementar el controlador de los mismos, el cual para este caso ha sido escogido el controlador de la misma compañía (PI) G-901 Motion Controller for High Power

Requirement. Tras detallar el controlador a emplear, se procedió a establecer el montaje de los dispositivos para construir el sistema con movimiento en los tres ejes, para lo cual se consideró lo más óptimo que el montaje tuviera como base el dispositivo de movimiento del eje Z y sobre este montarse los dispositivos de los ejes restantes X e Y.

Atendiendo al manual de usuario de los dispositivos destinados al movimiento en los ejes X e Y, se observó que el fabricante distinguía entre dos modelos distintos del mismo dispositivo, que podían unirse mediante uniones roscadas, quedando solo por unir estos al dispositivo encargado del movimiento en el eje Z, para lo cual no fue encontrado ningún accesorio y por lo que tuvo que diseñarse una pieza adaptativa que permite la unión del eje Z con los ejes lineales XY. Para lograrlo, se ha diseñado una pieza de espesor suficiente para garantizar una unión sólida en el cual se han incluido agujeros roscados coincidentes con aquellos que tiene tanto el dispositivo de los ejes X e Y inferior en su base, como el dispositivo del eje Z en su parte superior. Quedando como puede verse en la Figura 5-14

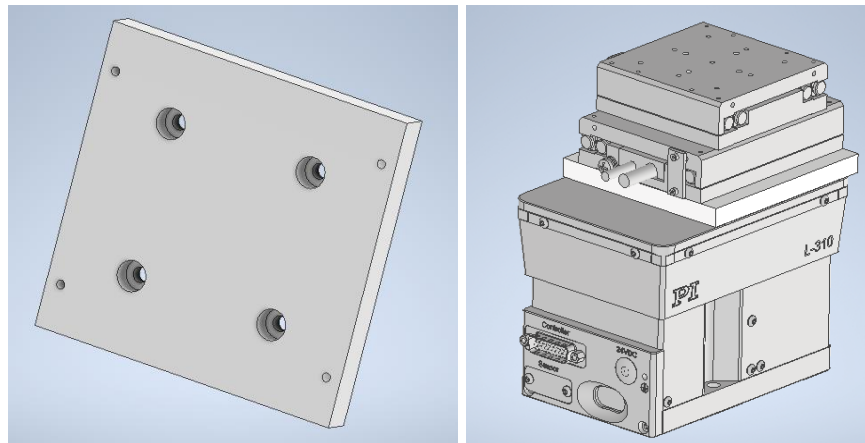


Figura 5-14 Diseño del elemento de unión de los dispositivos de movimiento en los ejes X, Y y Z (izquierda) y sistema de movimiento cartesiano implementado (derecha)

Añadido a esto, se ha diseñado también un soporte para el colector plano que pueda ser implementado en el sistema de movimiento de la parte superior, para el cual se ha escogido el PVC como material de fabricación, debido a su elevada dureza y resistencia a los impactos, así como por tratarse de un material de fácil mecanización. El diseño de este elemento, consiste en dos piezas, una de las cuales hace de soporte y aislante de la otra pieza, la cual será una placa rectangular sobredimensionada para que cubra, a pesar de los movimientos en los ejes cartesianos de la misma, el lado abierto de la caja que ha sido diseñada para el aislamiento del sistema y, que es detallada en el apartado 5.2.2.1, la cual irá unida a la otra pieza mediante unión roscada y que incluirá un rebaje en una de sus caras para encajar una pletina de Aluminio del mismo modo que el colector plano detallado en el apartado 5.2.1.1 y que servirá de contraelectrodo. Para la conexión de esta pletina al negativo de la fuente de voltaje antes de dar comienzo al proceso, ha sido diseñado un hueco en uno de sus laterales. (Véase Figura 5-15)

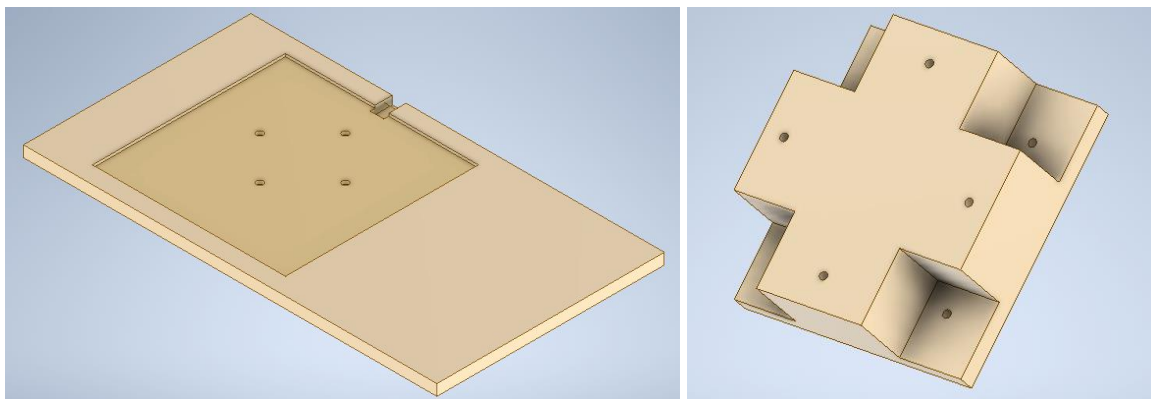


Figura 5-15 Soporte del colector (izquierda) y unión del soporte con el sistema de movimiento en los ejes cartesianos (derecha)

5.2.2.1 Aislamiento eléctrico del sistema de movimiento en los ejes cartesianos

Una vez ha sido montado el sistema, este tiene que ser aislado eléctricamente de los demás componentes del sistema, para lo cual se ha llevado a cabo el diseño de una caja en la cual introducir el sistema y así conseguir el propósito. Para ello se han empleado, al igual que para la caja aislante de la máquina del presente trabajo, cinco planchas de metacrilato con unas dimensiones (160x145x250 mm aproximadamente) que permiten situar el sistema de movimiento en el interior de la caja y que esta no suponga ningún impedimento para el movimiento de los dispositivos en cualquiera de los tres ejes, por lo que la caja deberá estar abierta en su parte superior, además de permitir el movimiento en los distintos ejes y contar con el suficiente espacio para introducir también el cableado de los dispositivos.

Siguiendo con esto, para facilitar el montaje y desmontaje del módulo de movimiento en los ejes cartesianos, se le han diseñado una serie de orificios a ambas cajas aislantes para permitir la conexión de los dispositivos a la fuente de voltaje y al controlador de los mismos.

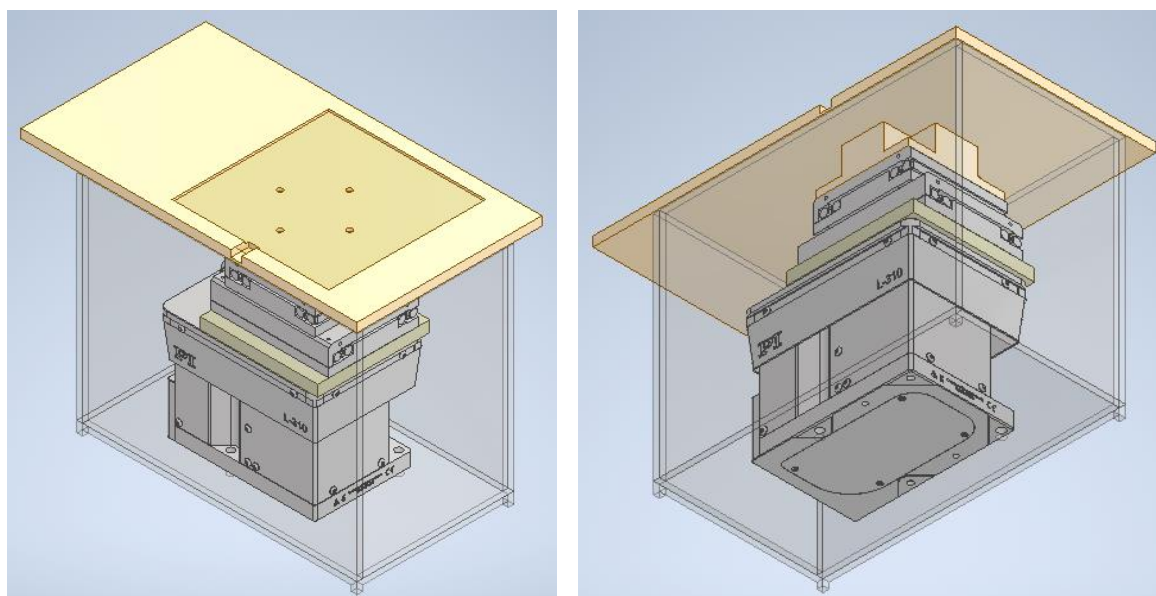


Figura 5-16 Vista superior del montaje aislado con el soporte de colector plano (izquierda) y vista inferior (derecha)

5.2.2.2 Mejora del sistema de movimiento en los ejes cartesianos

Tras finalizar el diseño del sistema de movimiento en los ejes cartesianos, se pretendió implementar una función que suponga una mejora en el desempeño del dispositivo que se está diseñando.

Esta mejora consiste en el diseño de unos elementos que, implementándolos al sistema de movimiento en los ejes, permita dar forma a las capas de nanofibras generadas en el proceso de Electrospinning, según un patron previamente diseñado e implementado a través del movimiento de los ejes lineales. Para ello, ha sido diseñado un conjunto de piezas que nos permitan llevar a cabo esta mejora, que son:

- Soporte de cilindro de Aluminio
- Cilindro de Aluminio
- Tapa de la caja aislante del sistema que permita el acople de una pletina de aluminio que sirva de colector

En cuanto al soporte del cilindro de aluminio, éste sustituiría al elemento de unión del soporte del colector plano con el sistema de movimiento en los ejes cartesianos y en el orificio diseñado especialmente para ello, se introducirá el cilindro de aluminio de 1 mm de diámetro, que como necesidad del diseño deberá sobresalir lo suficiente como para permitir la conexión del negativo de la fuente de voltaje al propio cilindro. El último elemento, que es acoplado a la parte superior de la caja aislante del sistema de movimiento en los ejes cartesianos, integrado por la pletina de aluminio, el soporte de la misma y un tornillo de ajuste fabricado en Nylon, para ajustar la pletina y evitar movimientos de la misma. (Véase Figura 5-17)

El funcionamiento de esta mejora implementada está justificado con una simulación más adelante en el presente proyecto en el apartado 5.5, en donde se demuestra que es factible llevar a cabo el proceso de la forma descrita para un determinado rango de los parámetros distancia aguja-colector y voltaje aplicado entre aguja y colector.

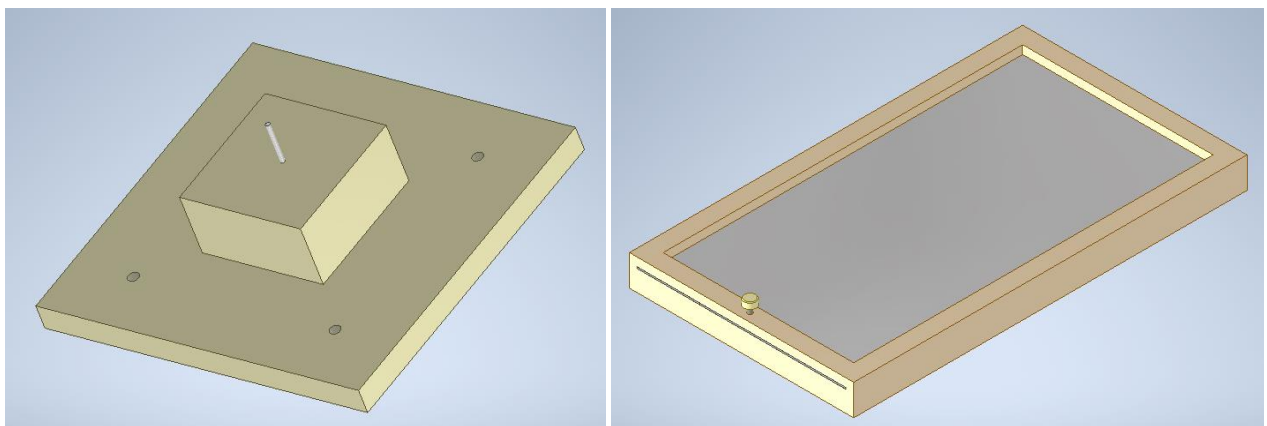


Figura 5-17 Soporte de cilindro del aluminio (izquierda) y soporte de la pletina de aluminio con el tornillo de ajuste y la propia pletina (izquierda)

5.2.2.3 Controlador de los dispositivos de movimiento en los ejes XYZ

Habiendo detallado los dispositivos que permiten implementar el movimiento en los ejes cartesianos de nuestro colector, se hace necesaria la selección de un controlador eléctrico para dirigir dichos movimientos, para lo cual, al igual que los dispositivos hemos seleccionado un dispositivo controlador de la misma compañía, PI, que permite la conexión de los tres dispositivos de movimiento a su terminal, que es el G-901 Motion Controller for High Power Requirement (Véase Figura 5-18)



Figura 5-18 Controlador del sistema de posicionamiento XYZ escogido

5.2.3 Generador de alta tensión

Para la selección de este elemento, el cual es imprescindible para que tenga lugar el proceso de electrospinning, ya que es el encargado de generar la diferencia de potencial entre la aguja y el colector para que la solución polimérica salga de la aguja generando las fibras; se han tenido en cuenta distintos generadores de alta tensión comerciales de distintas marcas. Entonces, se seleccionaron distintas fuentes de tensión que cumplieran con los requerimientos del proceso y del dispositivo y cuyas características son detalladas a continuación.

Modelo	Voltaje de salida (kV)	Potencia de salida (W)	Tamaño (cm)
Gamma High Voltage Series ES30-5W	0-30	5	12,7 x 20,32 x 25,4
Tong Li Tech TL-HV-30K	0-30	50	31 x 17 x 16
Spellman CZE1000R	0-30	9	13.3 x 48.3 x 43.2
SKE EF020	0-40	30	20 x 12 x 9,2
MSK-ESPS-30	0-30	30	48 x 45 x 46

Tabla 5-1 Características de las fuentes de tensión posibles

Una vez hecha la comparación de las distintas fuentes, la que finalmente resulto escogida fue la fuente de alto voltaje ES30-5W desarrollada por la compañía Gamma High Voltage Research, atendiendo a temas de seguridad en la operación del dispositivo, ya que esta fuente es la que trabaja con menor potencia máxima de salida, 5W. Además, coincidió que esta es a su vez la fuente de menor tamaño y peso. (Véase Figura 5-19)



Figura 5-19 Fuente de tensión escogida

5.3 BLOQUE III: SISTEMA DE INYECCIÓN

5.3.1 Bomba de infusión

Este elemento es el encargado del suministro de la disolución polimérica a una velocidad adecuada, la cual, como ya se detalló en el apartado correspondiente (Véase 3.3.2), es de vital importancia para que el proceso de electrospinning tenga lugar, ya que un caudal de flujo que se encuentra fuera de los límites de este parámetro, que según la literatura consultada y aunque no son unos valores aceptados por la totalidad de investigadores consultados, el caudal debe oscilar entre 60 y 1000000 $\mu\text{l/h}$; puede provocar que las fibras obtenidas no cumplan con los requisitos esperados e incluso, puede llegar a no tener lugar el proceso [22] [18]. Además, este elemento, nos va a permitir obtener fibras de distintos diámetros al llevar a cabo variaciones en su tasa de alimentación. Como requisito para este tipo de máquinas encontramos que el flujo debe ser continuo, para que la fibra resultante se obtenga de igual forma.

Tras consultarse varias bombas de infusión comerciales y revisar cuales de ellas cumplen los requerimientos del proceso de electrospinning, la bomba de infusión elegida pertenece a la marca KD Scientific, una empresa especializada en este tipo de dispositivos y que cuenta con una amplia gama de bombas de infusión, siendo el modelo elegido el Legacy 100 (Véase Figura 5-20), que cumple con los requerimientos planteados por la literatura además de ser la de menor coste, atendiendo a requisitos económicos. Pueden verse sus características en la Tabla 5-2.

En cuanto a su posicionamiento, sobre la cámara de procesamiento, esto es debido a que de esta forma se consigue reducir el recorrido que hace el material precursor de la jeringa al mínimo, y que el flujo se vea favorecido en parte por el efecto de la fuerza de la gravedad.



Figura 5-20 Bomba de infusión KDS 100 Legacy

Capacidad de jeringa	10 µl – 60 ml
Dimensiones	23 x 15 x 12 cm ³
Peso	2 kg
Caudal de infusión	0,1 µl/h (jeringas de 10 µl) – 426 ml/h (jeringa de 60 ml)
Tensión necesaria	200/240 V

Tabla 5-2 Características de la bomba de infusión KD Scientific Legacy 100

5.3.2 Jeringa, tubo de conexión y aguja

Una vez escogida la bomba de infusión, es necesario escoger del mismo modo la jeringa y aguja a implementar en el dispositivo además del tubo de conexión de estos dos elementos, al no estar unidos directamente; ya que el diámetro de esta última es un parámetro que tiene gran relevancia en el resultado final de las fibras. Para ello ha sido seleccionada una de las jeringas recomendadas por la empresa KD Scientific para la bomba de infusión escogida. La jeringa por la que se ha optado ha sido la 1000-series Gastight, diseñadas por la compañía Hamilton, de 10 ml de capacidad y que cuenta con un diámetro interno de 14,57 mm. Junto con la aguja, se ha escogido la aguja Hamilton 22 gauge Kel-F Hub Needle, cuyas características pueden verse en Tabla 5-3. Por último, se escogió un tubo semirrígido de poliamida, de la marca Legris y cuyas dimensiones son 3 mm de diámetro exterior y 1,8 mm de diámetro interior, ya que este es un material inerte con los disolventes que son por lo general empleados en el proceso de electrohilado.

Diámetro exterior	0,718 mm
Diámetro interior	0,413 mm
Longitud	51 mm
Tipo de punta	Recta

Tabla 5-3 Características de la aguja Hamilton 22 gauge Kel-F Hub Needle

La elección de esta aguja, no significa que la aguja no pueda ser intercambiada, ya que como se indica en el apartado 5.1.2.3, la barra horizontal incluye en su diseño un sistema que permite el intercambio con agujas de distinto calibre.

5.4 BLOQUE IV: SISTEMA DE DESCARGA MANUAL

5.4.1 Lanza de descarga electrostática

Se trata del elemento encargado de hacer posible la recogida con seguridad de los resultados del interior de la cámara de procesamiento y de este modo evitar posibles descargas eléctricas, que debido a los voltajes con los que se trabaja en el proceso de electrohilado, pueden ser muy elevadas.

Para detallar esta pieza, se han realizado los diseños de tres piezas que posteriormente serán ensambladas. En primer lugar, la punta de la lanza, a partir de un cilindro de aluminio con uno de sus extremos afilado y el otro con un estrechamiento también cilíndrico, que permite unir por apriete la punta con la vara de madera. Además, en la superficie del cilindro, se le han hecho dos perforaciones perpendiculares, una perforación lisa que permitirá introducir el cable de conexión con tierra de la punta y otra perforación roscada que permite ajustar el cable mediante un tornillo. En segundo lugar, una vara

de madera, que consiste en una barra cilíndrica de madera con una perforación cilíndrica en una de sus bases para permitir la unión con la punta de la lanza. Por último, una empuñadura de caucho, que es material aislante, para evitar que el operario pueda recibir la descarga eléctrica de la cámara de procesamiento. (Véase Figura 5-21)



Figura 5-21 Diseño de la lanza de descarga electrostática

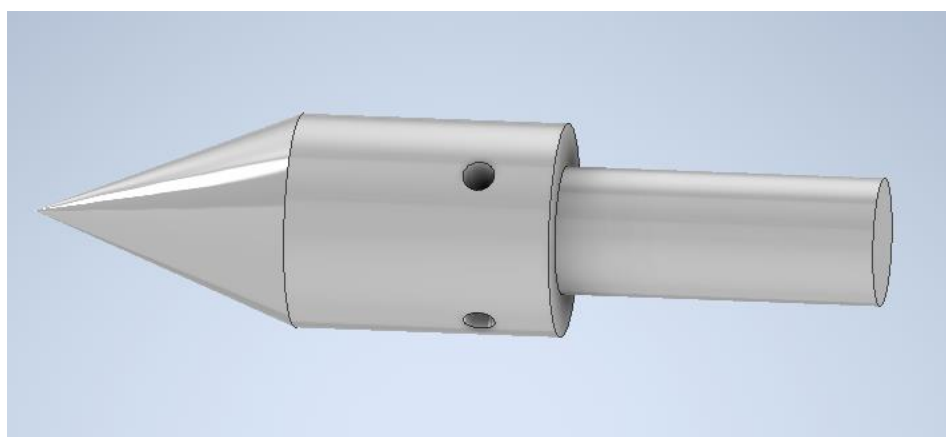


Figura 5-22 Detalle de la punta de la lanza

5.5 Montaje global del sistema

Como ha sido detallado en los apartados anteriores, el dispositivo permite intercambiar entre los módulos y colectores diseñados dando lugar a 4 modos de operación:

- Montaje con el colector plano estático (Véase Figura 5-23)

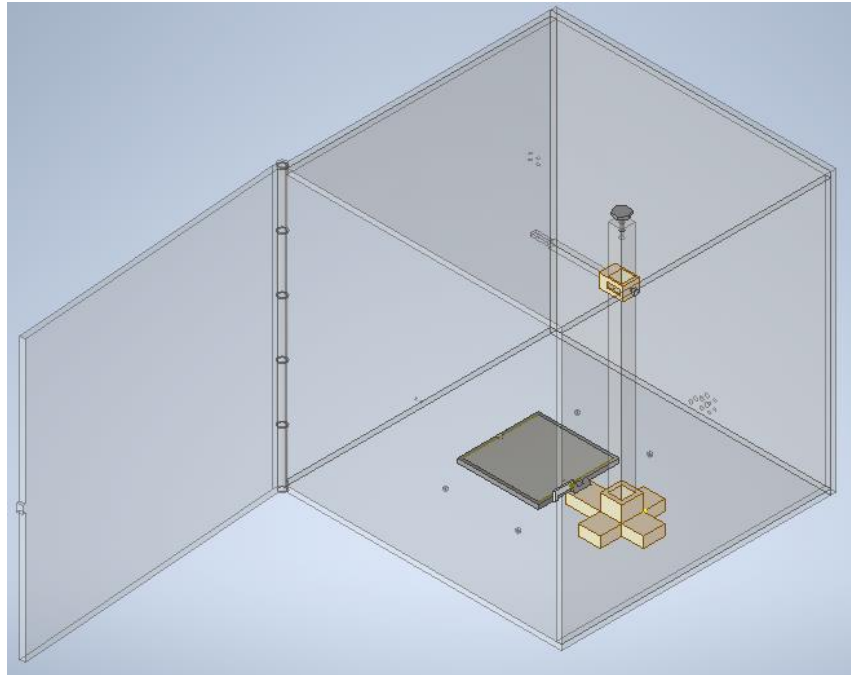


Figura 5-23 Montaje del dispositivo con el colector plano estático

- Montaje con el colector giratorio con el que se logra la alineación de fibras. (Véase Figura 5-24)

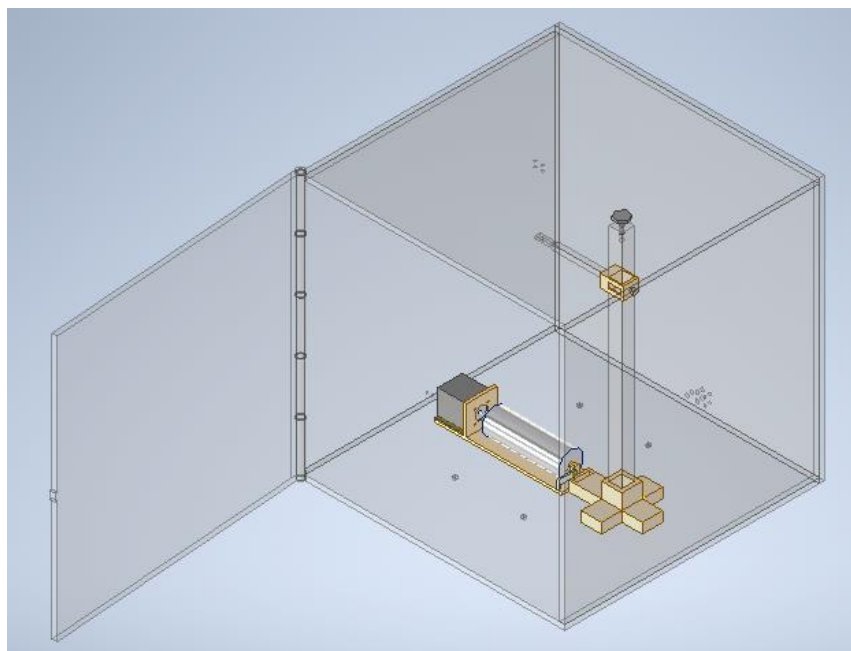


Figura 5-24 Montaje del dispositivo con colector rotatorio

- Montaje con el sistema de posicionamiento en los ejes XYZ mediante un colector plano móvil. (Véase Figura 5-25)

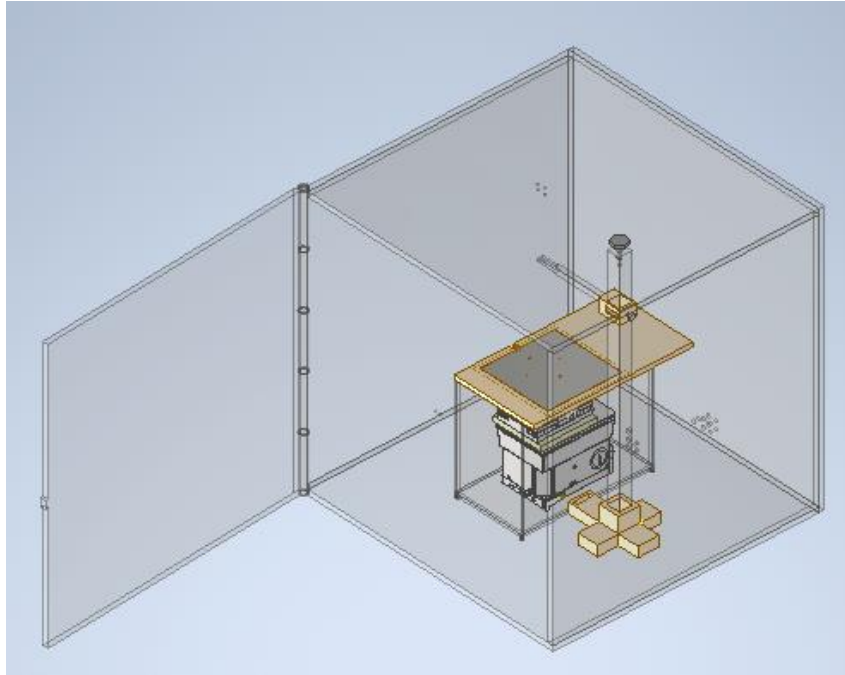


Figura 5-25 Montaje del colector plano móvil

- Montaje con el sistema de posicionamiento en los ejes XYZ y el cilindro de aluminio, que permite generar las geometrías que se deseen con las fibras. (Véase Figura 5-26)

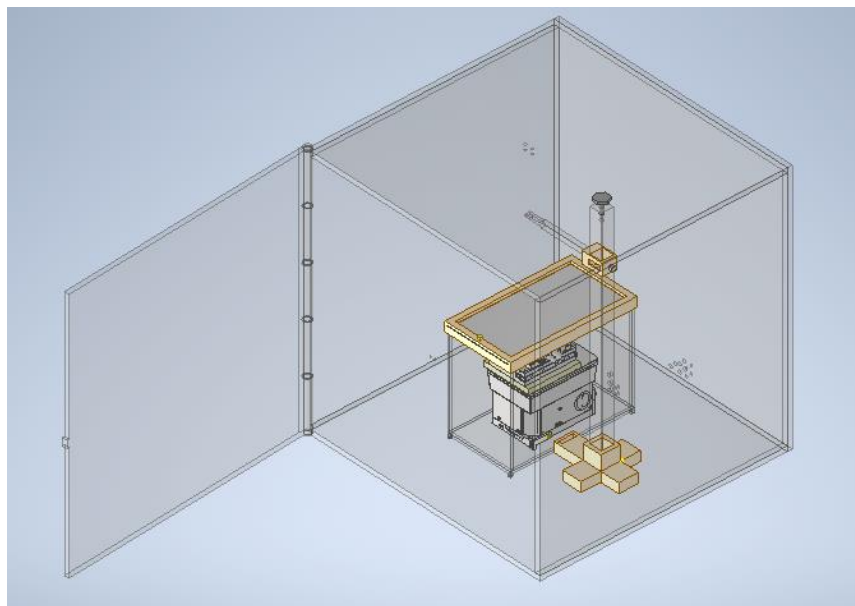


Figura 5-26 Montaje con el sistema de posicionamiento XYZ y el cilindro de aluminio con la pletina para generar geometrías

6 SIMULACIÓN

Con el objeto de validar el diseño del sistema se ha llevado a cabo una simulación del comportamiento del potencial eléctrico y del campo eléctrico dentro de la cámara de procesamiento, basándose para ello en el método de los elementos finitos. Este método numérico tiene su fundamento en la división del dominio de trabajo (estructura, cuerpo) definido por una serie de ecuaciones que permiten caracterizar el comportamiento físico del problema, en una serie de elementos más pequeños llamados comúnmente elementos finitos, siendo un conjunto de subdominios no intersecantes entre sí. Esta división del dominio original recibe el nombre de discretización, teniendo dentro de cada elemento finito puntos representativos llamados nodos, y siendo una malla el conjunto de nodos adyacentes. Es por ello que el método de los elementos finitos es una aproximación a partir del cálculo de un número determinado y finito de puntos [23, 24].

Para la simulación se ha utilizado el software MatLab junto con la toolbox de ecuaciones en derivadas parciales (PDE Toolbox) que permite la resolución de dichas ecuaciones mediante el método de los elementos finitos (FEM), y en particular se ha usado la interfaz gráfica (GUI) del mismo (pdeModeler) que permite de forma rápida e intuitiva generar geometrías simples, definir el tipo de problema que se quiere evaluar, en este caso del tipo «electroestático», establecer las condiciones de contorno, realizar el mallado de la geometría, y finalmente resolver y obtener gráficamente la solución.

6.1 Justificación matemática

Para la resolución del sistema por el método de los elementos finitos habrá que tener en cuenta distintos factores:

- El potencial electrostático V se relaciona con el campo eléctrico a través de la ecuación:

$$\vec{E} = -\nabla V$$

- De las ecuaciones de Maxwell se obtiene que:

$$\nabla \vec{D} = \rho$$

- Además:

$$\vec{D} = \varepsilon \vec{E}$$

- La ecuación de Poisson se puede escribir de la siguiente manera:

$$-\nabla(\epsilon \nabla V) = \rho$$

Donde ϵ es la permitividad del dieléctrico y ρ la densidad volumétrica de carga.

- Las ecuaciones de contorno se rigen por la ecuación de Dirichlet:

$$hV = r$$

Siendo h el peso, y r el potencial eléctrico.

6.2 Procedimiento para llevar a cabo la simulación

En todos los casos el modo de preparación del modelo para llevar a cabo la simulación ha sido el mismo, y puede dividirse este procedimiento en varios pasos:

- I. Como primer paso se genera la geometría deseada a partir de primitivas simples, tales como rectángulos y círculos y son realizadas operaciones booleanas con estas mismas primitivas para establecer el dominio de trabajo, integrado por: el rectángulo que modela la cámara aislante, el rectángulo que modela al colector y un círculo a modo de la punta de la aguja.
- II. En este paso se llevan a cabo las condiciones de contorno del sistema, para lo cual deben ser establecidas condiciones de Dirichlet para cada uno de los contornos (Véase Figura 6-1) de la geometría creada en el paso anterior:
 - Contornos de la aguja: para estos contornos, uno para cada aguja, le damos valores a las variables de la ecuación de Dirichlet de tal forma que $h = 1$ y $r =$ voltaje positivo especificado para la diferencia de potencial simulada.
 - Contorno del colector: al igual que en el anterior $h = 1$, pero $r =$ voltaje negativo especificado para la diferencia de potencial simulada.
 - Para el resto de contorno se establecen $h = 1$ y $r = 1$
- III. Realizar el mallado de la geometría generada y refinarlo dos veces para así tener una mayor precisión en la solución en las zonas de interés; el entorno de la aguja y del colector (Véase Figura 6-2)
- IV. Por último, resolver el caso para los parámetros introducidos.

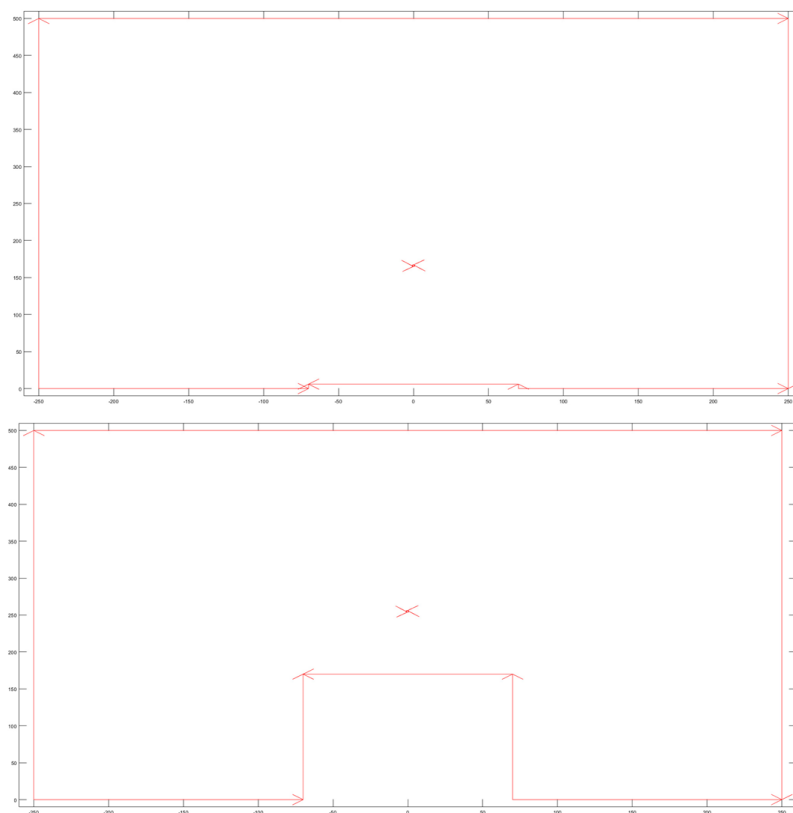


Figura 6-1 Condiciones de contorno del soporte del colector estático (arriba) y del soporte del colector de movimiento en XYZ (arriba)

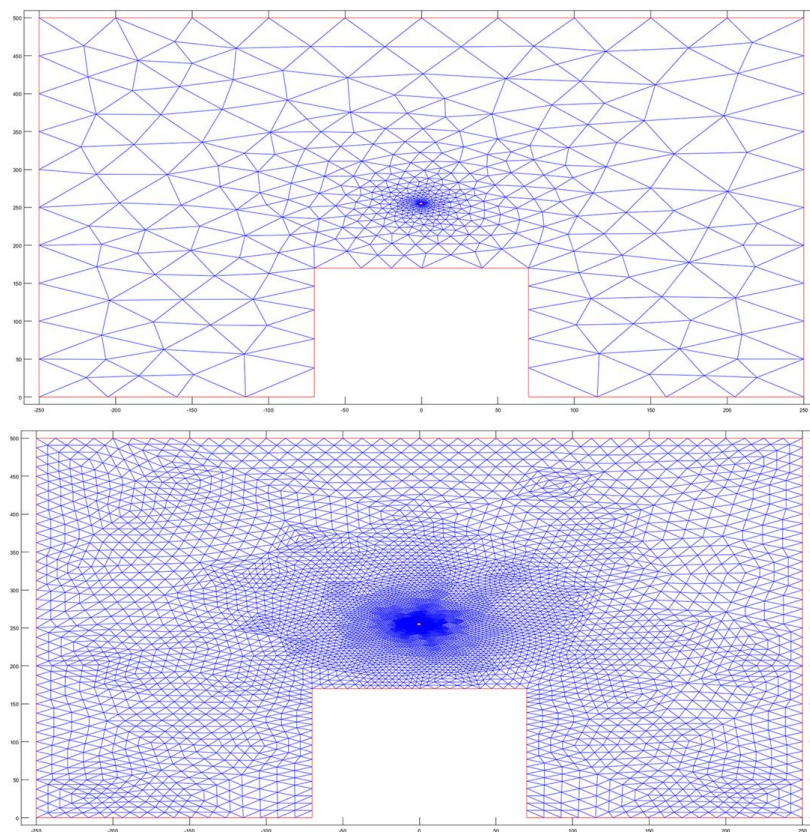


Figura 6-2 Mallado del contorno generado (arriba) y mallado del contorno generado refinado dos veces (abajo)

6.3 Descripción de la simulación

Basándose en el dispositivo diseñado, se ha establecido un espacio de trabajo correspondiente a la caja aislante diseñada, que cuenta con un volumen interior de 500 mm^3 . Para simplificar la simulación, ha sido empleado, para todos los casos, un colector plano y homogéneo; y una aguja modelada como una circunferencia concordante con el diámetro exterior de la aguja real.

Para llevar a cabo la simulación y contrastar distintos resultados, se han establecido una serie de variables a modificar cuyos rangos de valores han sido escogidos teniendo en cuenta la literatura asociada a los procesos de Electrospinning, y que han sido recogidas en la tabla Tabla 6-1.

Variable	Valores
Diferencia de potencial (V)	5, 15, 30, 50
Diámetro exterior de la aguja (gauge) (mm)	0.7176 (G22), 1.067 (G19), 1.651 (G16)
Distancia (d) entre la aguja y el colector (mm)	80, 160, 290

Tabla 6-1 Principales variables del modelo

En la simulación se distinguen dos casos distintos: uno con el colector exclusivamente y otro con el sistema de posicionamiento XYZ. Además, es en este último caso, en el que se ha evaluado la influencia del movimiento del sistema, llevando a cabo la simulación del proceso en los momentos en que el colector se encuentra en los extremos del recorrido de los ejes lineales. En total, se han realizado 21 simulaciones siguiendo el procedimiento descrito a continuación:

- Para los casos del número 1 hasta el 12 se ha llevado a cabo la evaluación de la influencia que tiene la variación de los parámetros correspondientes a la distancia aguja-colector y del Voltaje aplicado para cada altura en el montaje con el sistema de movimiento en los ejes cartesianos:
 - Casos del 1 al 4: Se establece la distancia aguja-colector en $d = 80 \text{ mm}$ con la aguja de calibre G22 y se varían los potenciales (V_{pp}) desde los 5 kV hasta los 50 kV.

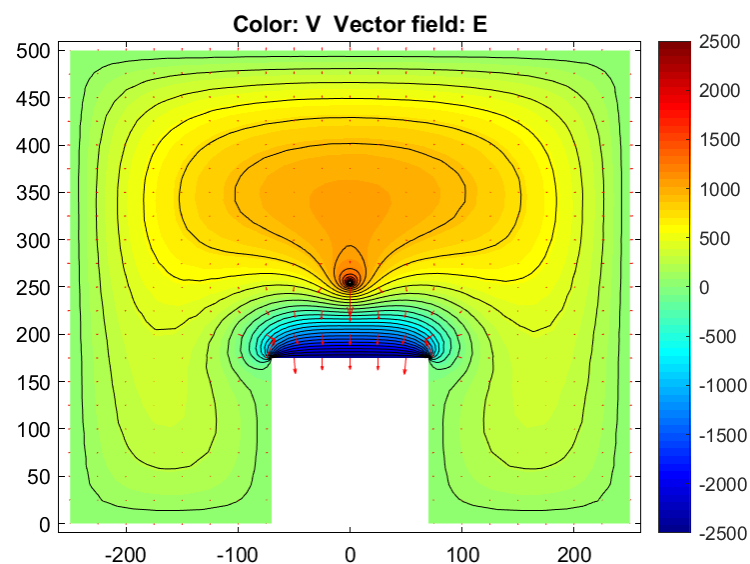


Figura 6-3 Caso N° 1: $d = 80 \text{ mm}$; $V_{pp} = 5 \text{ kV}$

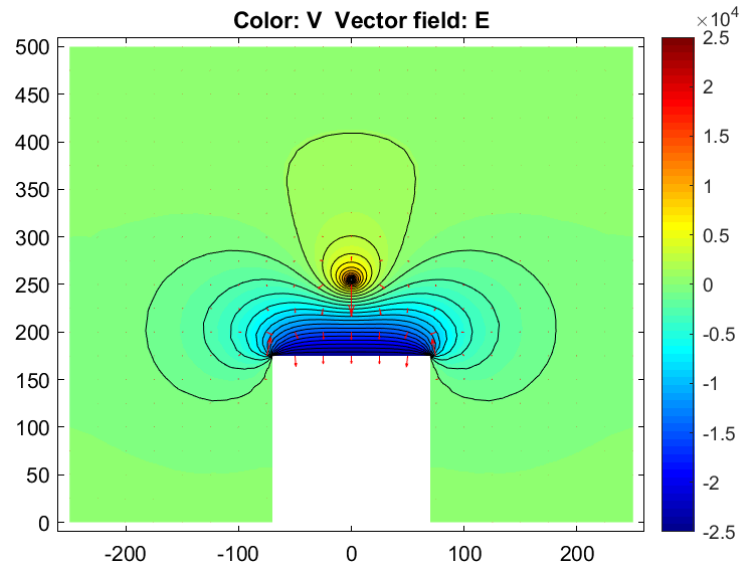


Figura 6-4 Caso N° 4: $d = 80$ mm; $V_{pp} = 50$ kV

- Casos del 5 al 8: Para estos se cambia la distancia aguja-colector a $d = 160$ mm, manteniendo el calibre de la aguja en G22 volviendo a estudiar el modelo variando el potencial (V_{pp}) entre 5 kV y 50 kV.

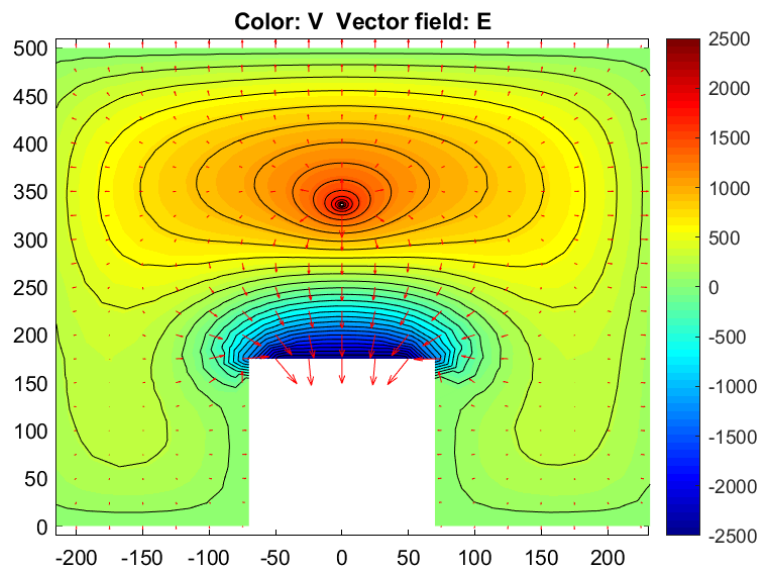


Figura 6-5 Caso N° 5: $d = 160$ mm; $V_{pp} = 5$ kV

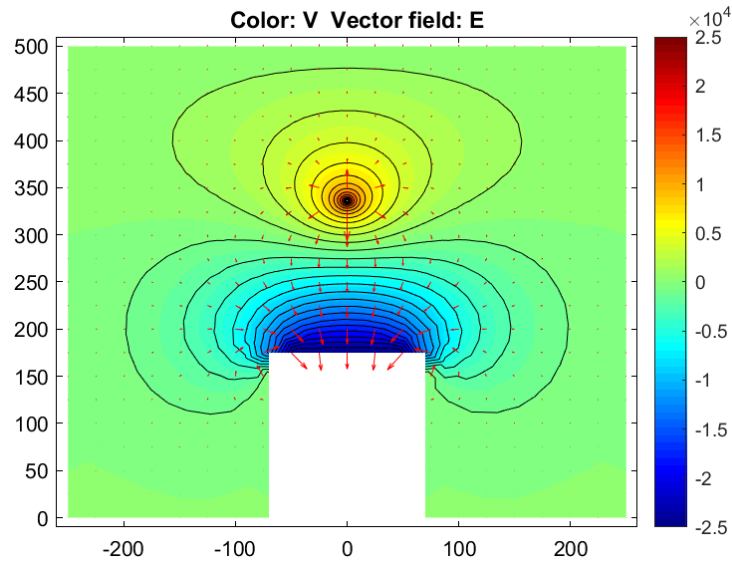


Figura 6-6 Caso N° 8: $d = 160$ mm; $V_{pp} = 50$ kV

- Casos del 9 al 12: En estos la distancia aguja-colector se vuelve a aumentar hasta los 290 mm manteniendo el calibre de la aguja en G22 y al igual que en los anteriores casos, haciendo variar el voltaje aplicado (V_{pp}) desde los 5 kV hasta los 50 kV.

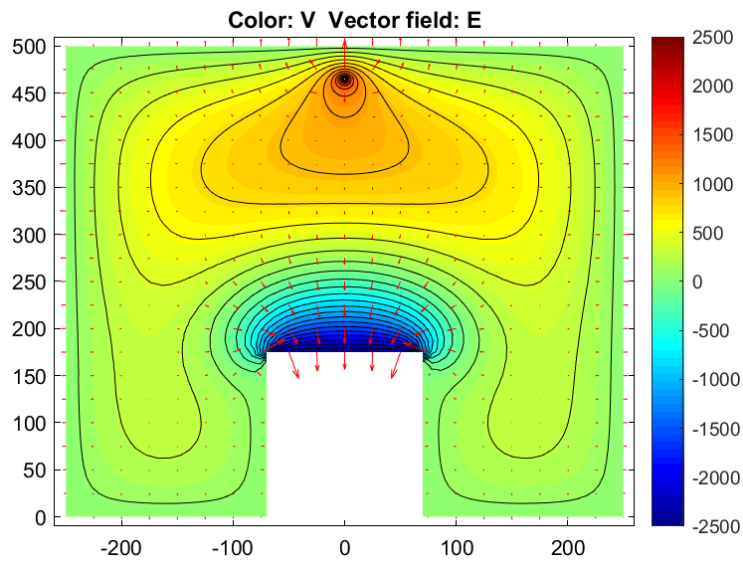


Figura 6-7 Caso N° 9: $d = 290$ mm; $V_{pp} = 5$ mm

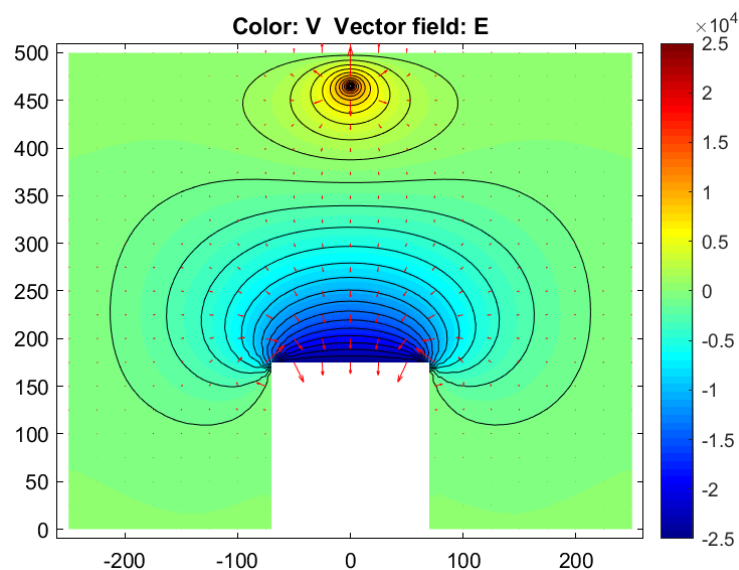


Figura 6-8 Caso N° 12: $d = 290$; $V_{pp} = 50$ kV

- Para los casos 13 y 14 se lleva a cabo la evaluación de la influencia del diámetro de la aguja en el proceso de electrospinning para el montaje con el sistema de movimiento en los ejes cartesianos:
 - Caso 13: Se emplea el diámetro de la aguja 1,067 mm (G19) con un voltaje de $V_{pp} = 30$ kV y una distancia aguja-colector de $d = 160$ mm.

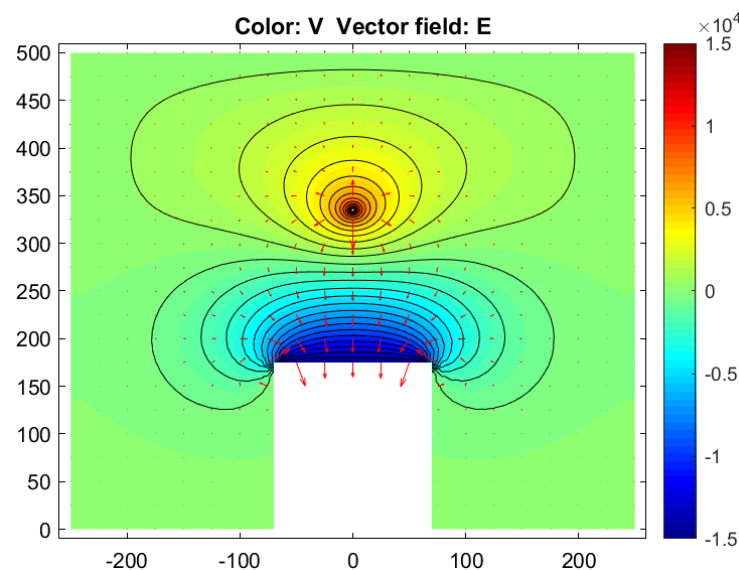


Figura 6-9 Caso N° 13: G19; $d = 160$ mm; $V_{pp} = 30$ kV

- Caso 14: En este caso es empleado el diametro de aguja 1,651 mm equivalente al calibre G16 manteniendo el voltaje y la distancia aguja-colector del caso anterior, $V_{pp} = 30$ kV y $d = 160$ mm.

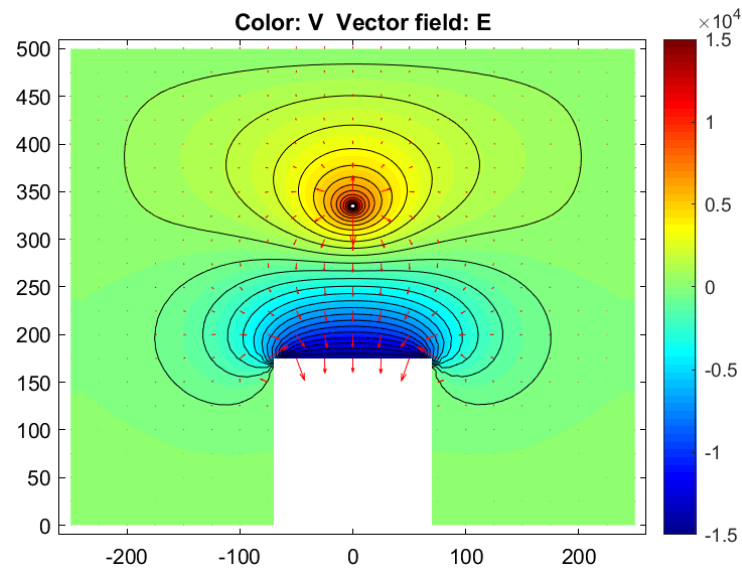


Figura 6-10 Caso N° 14: G16; $d = 290$ mm; $V_{pp} = 30$ kV

- Casos del 15 al 17, en los que se estudia la influencia de la posición del colector en el eje X, desplazando este a un lado y a otro en dicho eje observando cual es el comportamiento del campo electrostático, manteniendo los valores de voltaje y distancia aguja-colector:
 - Caso 15: se sitúa la mesa en el límite de la derecha a una distancia de 50 mm, con una distancia aguja-colector de $d = 160$ mm y un voltaje de $V_{pp} = 30$ kV, así como un calibre de aguja de G16.

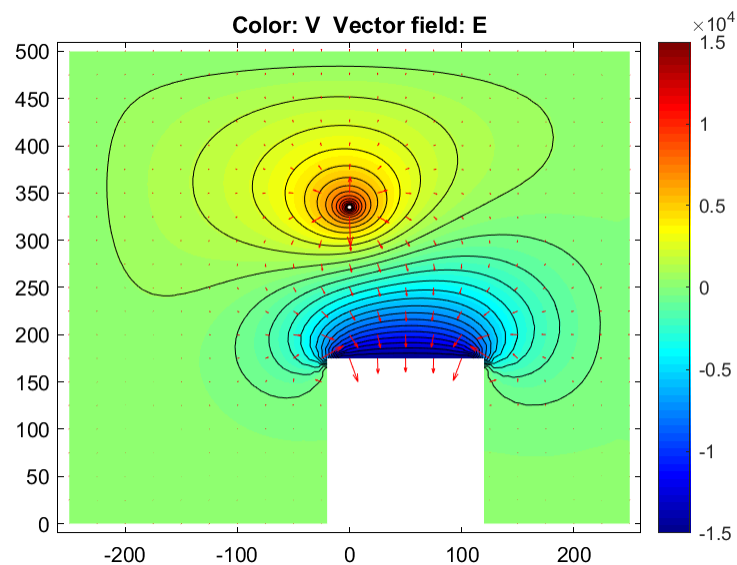


Figura 6-11 Caso N° 15 Colector desplazado a la derecha 50 mm; $d = 160$ mm; G16; $V_{pp} = 30$ kV

- Caso 16: Manteniendo los valores del caso anterior para distancia aguja-colector, voltaje aplicado y calibre G16, se desplaza el colector al límite izquierdo (-50 mm).

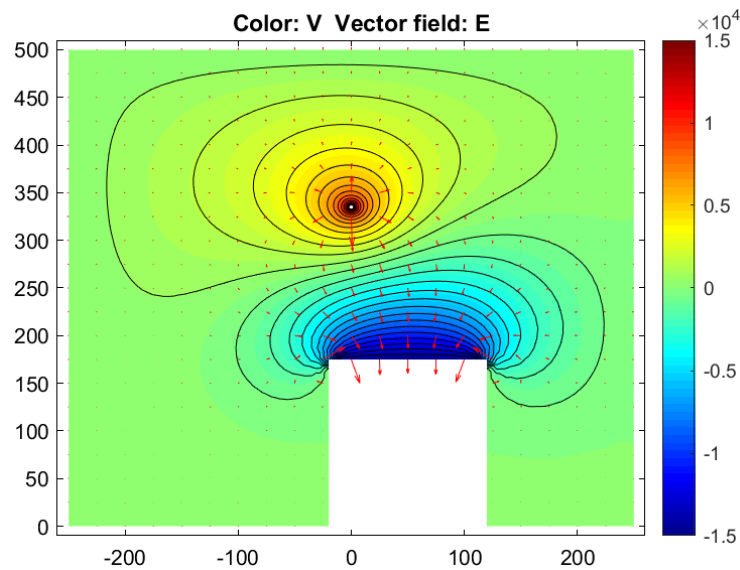


Figura 6-12 Caso N° 16: Colector desplazado a la izquierda 50 mm; $d = 160$ mm; G16; $V_{pp} = 30$ kV

- Caso 17: Para este caso se han mantenido el valor del voltaje en $V_{pp} = 30$ kV y el desplazamiento del colector 50 mm a la izquierda, y se han modificado el calibre de la aguja a G22 y la distancia aguja-colector a $d = 80$ mm para evaluar el comportamiento del proceso al variar esos parámetros manteniendo el colector a la izquierda.

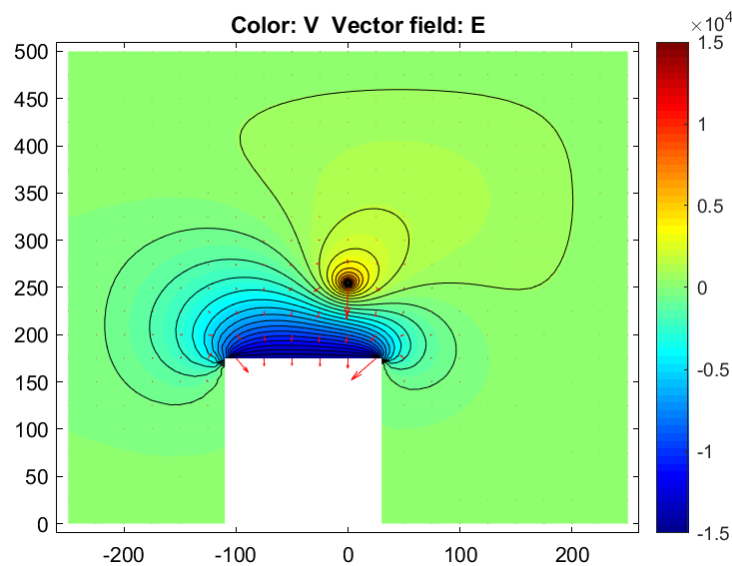


Figura 6-13 Caso N° 17: Colector desplazado a la izquierda 50 mm; G22; $V_{pp} = 30$ kV; $d = 80$ mm

- Casos del 18 al 21, en los que se ha estudiado el comportamiento del proceso de electrospinning para un colector plano estático, que no esté implementado en el sistema de movimiento de los ejes cartesianos; al modificar la distancia aguja-colector, manteniendo constante el calibre de la aguja y el voltaje aplicado:
 - Caso 18: Para este caso, la distancia aguja colector es $d = 80$ mm; el voltaje aplicado $V_{pp} = 30$ kV y un calibre de aguja de G19.

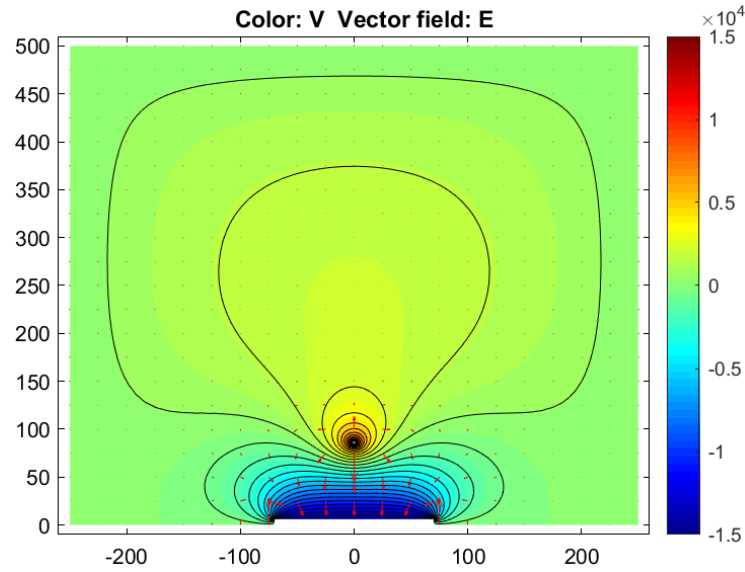


Figura 6-14 Caso N° 18: G19; $d = 80$ mm; $V_{pp} = 30$ kV

- Caso 19: para el cual se han mantenido constantes voltaje aplicado y calibre de la aguja, mientras que la distancia aguja-colector se ha aumentado hasta $d = 160$.

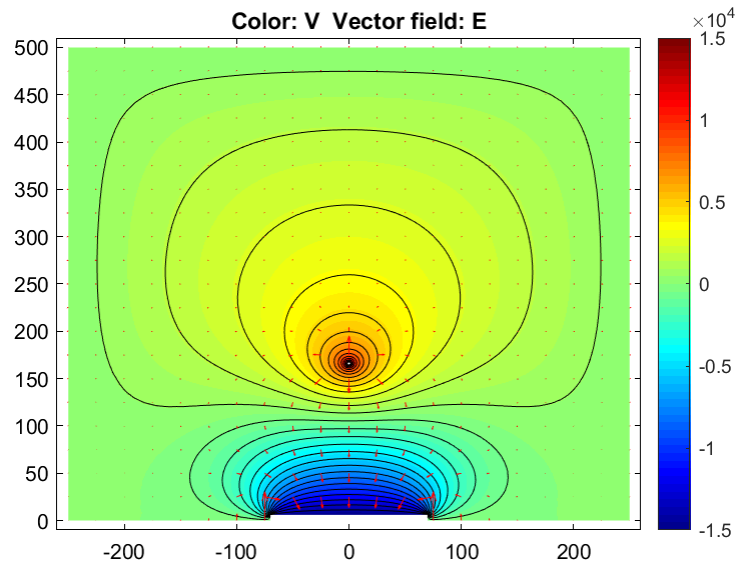


Figura 6-15 Caso N° 19: G19; $d = 160$ mm; $V_{pp} = 30$ kV

- Caso 20: al igual que en el caso inmediatamente anterior, se mantienen constantes voltaje aplicado y calibre de la aguja y se aumenta la distancia aguja-colector hasta $d = 300$ mm.

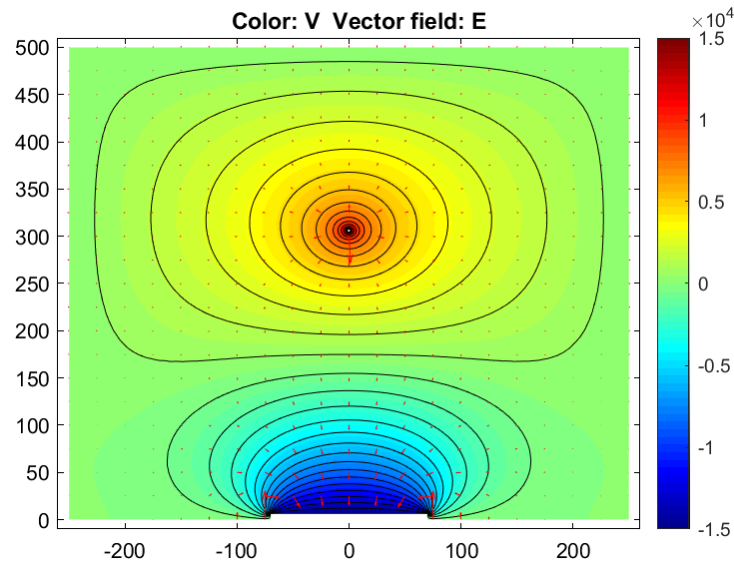


Figura 6-16 Caso N° 20: G19; $d = 300$ mm; $V_{pp} = 30$ kV

- Caso 21: en este último caso, mientras se mantiene constante el calibre de la aguja en G19, del mismo modo que es modificada la distancia aguja colector con respecto a la inmediatamente anterior, reduciéndola a $d = 160$ mm, el voltaje aplicado también varía, aumentando su valor a $V_{pp} = 50$ kV.

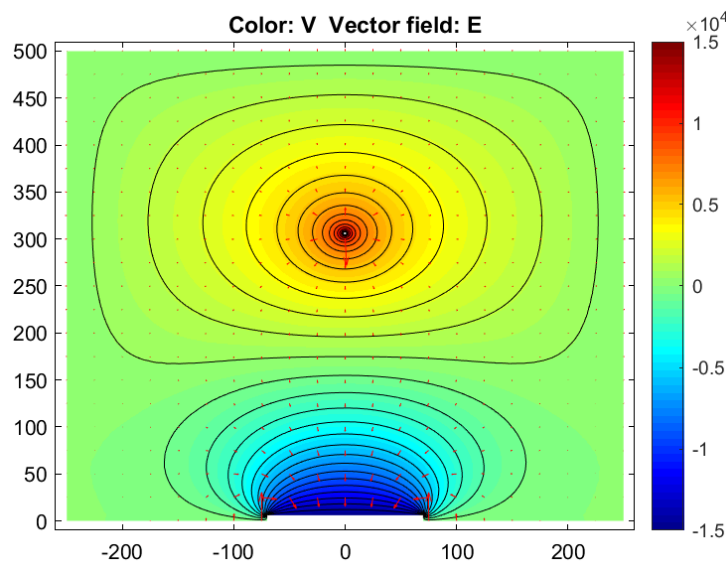


Figura 6-17 Caso N° 21: G22; $d = 160$ mm; $V_{pp} = 50$ kV

Una vez fueron llevados a cabo los casos anteriores, se realizaron una simulación más, con el propósito de validar la mejora implementada para el sistema de posicionamiento XYZ (Véase apartado 5.2.2.2), con el que se pretende obtener formas determinadas en el tejido de nanofibras y microfibras obtenido con el proceso de electrohilado. Para ello, se modeló el cilindro de aluminio sobre el sistema de posicionamiento XYZ, que sería el elemento que iría conectado al negativo de la fuente durante el proceso y donde se generaría la diferencia de potencial; y se efectuó el mismo procedimiento que en los casos anteriores. Para este caso, el voltaje aplicado es $V_{pp} = 15$ kV y la distancia entre la aguja y el cilindro de aluminio, de 100 mm; quedando el resultado como se observa en las siguientes figuras.

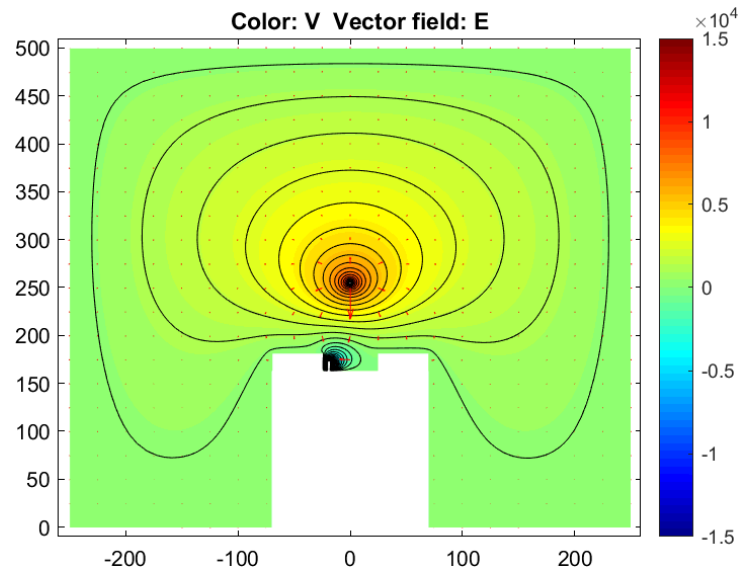


Figura 6-18 Caso N° 22-I: Mejora del sistema de posicionamiento XYZ

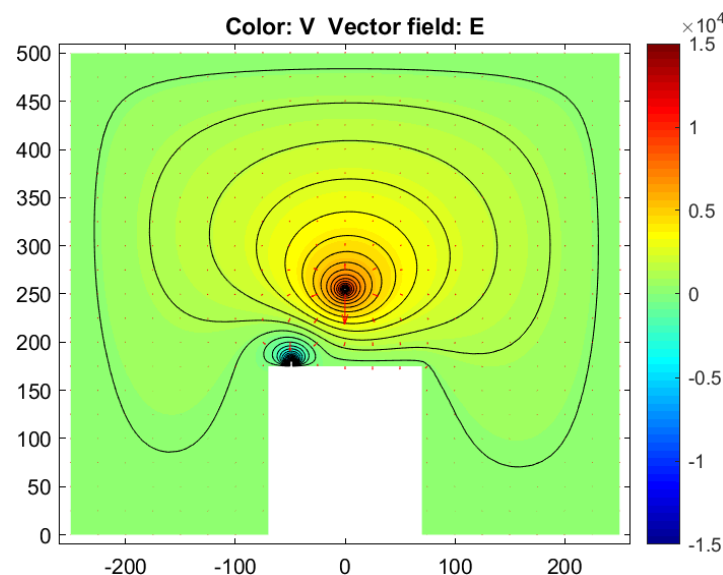


Figura 6-19 Caso N° 22-II: Mejora del sistema de posicionamiento XYZ

6.4 Análisis de los resultados de la simulación del sistema

Tras haber sido realizadas las distintas simulaciones como queda detallado previamente en este apartado, y a partir de los resultados obtenidos, se puede inferir que la simulación del proceso efectuado en nuestro dispositivo modelado logra validar el dispositivo, puesto que como se observan en las figuras adjuntas de los casos, para todos los casos simulados llevando a cabo la variación de los parámetros del proceso de distinta manera, las líneas del campo, aunque con mayor o menor intensidad dependiendo del caso, van dirigidas al colector simulado, con lo que se podría inferir que las nanofibras y microfibras generadas que salen de la aguja del dispositivo diseñado, seguirían, en su inmensa mayoría, la misma trayectoria que las ya mencionadas líneas de campo hasta el colector y permitiendo que estas sean recogidas una vez terminado el proceso. Confirmándose de esta manera que el dispositivo diseñado es válido para efectuar el proceso de electrohilado.

Además, como se puede ver en la Figura 6-18 y Figura 6-19, la mejora del sistema de posicionamiento XYZ sería también validado ya que, para los casos simulados, las líneas de campo apuntan en dirección a la aguja, de lo que se puede inferir que las fibras se concentrarían en el punto del colector al que apunte el cilindro de aluminio. Entonces, si se lograra mover el pin cilíndrico a la vez

que está teniendo lugar el proceso, como está diseñado el dispositivo implementado en el presente proyecto; se conseguiría dotarle de la forma que se desee al tejido de nanofibras y microfibras que se obtenga.

7 PRESUPUESTO

Capítulo I: Componentes comerciales					
Nº de orden	Unidades	Concepto	Referencia	Precio €/ud	Importe €
1	1	Bomba de jeringa Legacy 100 de la marca KDS	789100	1578,75	1578,75
2	1	Termohigrómetro Mini LCD de Ndier	B07J59HWP	3,09	3,09
3	1	Generador de alta tensión de la marca Gamma High Voltage Research de 0 a 30 kV	ES305W	1055,5	1055,5
4	1	Jeringa series 1000 GASTIGHT de punta recta y 10 ml de la marca Hamilton	81601	68,3	68,3
5	1	Aguja de la marca Hamilton de calibre G22 y longitud de 51 mm	7806-01	38,77	38,77
6	25	Metro. Tubo semirrígido de poliamida de la marca Legris	1025P03 04 18	16,75	16,75
Total del presupuesto de los componentes comerciales					2761,16

Capítulo II: Ensamblaje del soporte de la aguja					
Nº de orden	Unidades	Concepto	Referencia	Precio €/ud	Importe €
7	1	Paralelepípedo de PVC de 1,05 m ³	-	26,5	26,5
8	1	Barra de PMMA de 480x25x25 mm ³	-	46,3	46,3
9	1	Barra de PMMA de 150,5x10x10 mm ³	-	22,82	22,82
10	1	Pletina de Aluminio de 140x140x2 mm ³	-	12	12
Total del presupuesto del ensamblaje del soporte de la aguja					107,62

Capítulo III: Ensamblaje de la caja					
Nº de orden	Unidades	Concepto	Referencia	Precio €/ud	Importe €
11	2	Planchas de PMMA de 500x500x10 mm ³	-	32,84	65,68
12	2	Planchas de PMMA de 520x500x10 mm ³	-	33,97	67,94
13	2	Planchas de PMMA de 520x520x10 mm ³	-	35,11	70,22
14	1	cilindro de 20 mm de diámetro de base y 520 de altura	-	34,91	34,91
Total del presupuesto del ensamblaje de la caja					238,75

Capítulo IV: Ensamblaje del Sistema de posicionamiento XYZ					
Nº de orden	Unidades	Concepto	Referencia	Precio €/ud	Importe €
19	1	V-408 PIMag® Linear Stage (Movimiento en ejes X e Y) de la marca PI	V-408.132020	2211	2211
20	1	L-310 Precision Z Stage (movimiento en eje Z) de la marca PI	L-310.20SD	4447	4447
21	1	G-901 Motion Controller for High Power Requirement de la marca PI	G-901.R319	8500	8500
22	1	Motor DC RS PRO de eje 5 mm	536-6024	59,68	59,68
22	1	Paralelepípedo de PVC de 135x245x15 mm ³	-	6,42	6,42
23	2	Plancha de PMMA de 191,5x135x5 mm ³	-	5,60	11,20
24	2	Plancha de PMMA de 191,5x245x5 mm ³	-	6,94	13,88
25	1	Plancha de PMMA de 135x245x5 mm ³	-	6,08	12,16
Total del presupuesto del ensamblaje del sistema de posicionamiento XYZ					13050.34

Capítulo V: Lanza de descarga electrostática					
Nº de orden	Unidades	Concepto	Referencia	Precio €/ud	Importe €
26	1	Cilindro de aluminio de 20 mm de diámetro y 80 mm de longitud	-	8,88	8,88
27	1	Barra cilíndrica de madera	-	3,5	3,5
28	1	Mango ensamblable de caucho	-	5,99	5,99
29	1	Cable de 2 m de longitud y 2,5 mm de diámetro	-	0,31	0,31
Total del presupuesto de la vara de descarga					18,68

Capítulo VI: Mecanizado de piezas					
Nº de orden	Unidades	Concepto	Referencia	Precio €/ud	Importe €
26	21	Horas. Mano de obra de mecanización del conjunto de todas las piezas	-	50	1050
27	0,1	Horas. Marcado láser de la escala métrica en la barra de metacrilato	-	60	6
Total del presupuesto del mecanizado de elementos					1056

Capítulo VII: Mano de obra					
Nº de orden	Unidades	Concepto	Referencia	Precio €/ud	Importe €
26	200	Horas. Mano de obra del Ingeniero Mecánico	-	50	10000
Total del presupuesto de la mano de obra					10000

Capítulo	Importe (€)
I: Componentes comerciales	2761,16
II: Ensamblaje soporte de la aguja	107,62
III: Ensamblaje de la caja	238,75
IV: Ensamblaje del Sistema de posicionamiento XYZ	13050.34
V: Lanza de descarga electrostática	18,68
VI: Mecanizado de piezas	1056
VII: Mano de obra	10000
Presupuesto total	27232,55

8 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

En el presente trabajo, se ha llevado a cabo el diseño y validación mediante una simulación de un dispositivo que permita la obtención de nanofibras y microfibras mediante la técnica del electrospinning.

Para llevarlo a cabo, ha sido diseñado un equipo versátil y modular, que permite la modificación de ciertos parámetros (Voltaje del campo eléctrico, distancia entre la aguja y el contraelectrodo, el caudal de solución a través de la aguja y el diámetro de la aguja), que tienen influencia en los resultados de la técnica. Además, se han implementado distintos colectores intercambiables y un sistema de posicionamiento del colector en los ejes cartesianos para lograr modificar la geometría de las fibras obtenidas en el proceso.

Se ha realizado una simulación del proceso en el interior de la cámara de procesamiento con el objetivo de validar el dispositivo, la cual ha verificado que los colectores diseñados logran recoger las fibras que salen de la punta de la aguja para distintas configuraciones de parámetros del proceso de electrohilado.

De esta manera, se puede afirmar que el presente proyecto, ha alcanzado el objetivo principal establecido, que era diseñar de forma óptima un dispositivo que permita la obtención de microfibras y nanofibras mediante la aplicación de la técnica del electrospinning y su validación a través de una simulación realizada mediante software. Con esto, también se cumpliría otro de los objetivos planteados, que es el de atraer la atención de futuros alumnos hacia el desarrollo de la técnica, que presenta un amplio campo de investigación en el ámbito de defensa.

En cuanto al presupuesto, se ha observado en el apartado 7 del presente proyecto que el coste total del dispositivo es elevado, con un precio similar al de las máquinas comerciales de electrohilado. Sin embargo, el dispositivo diseñado presenta una mayor versatilidad que todos ellos al implementar el sistema de posicionamiento en los ejes cartesianos. Además, es la mejora que se implementa al dispositivo lo que hace aumentar su coste en gran cantidad, por lo que podría reducirse el precio de manera considerable si no se implementara el sistema de posicionamiento, que no es imprescindible para que el proceso de electrospinning tenga lugar, aunque sí que aumenta en gran medida los ámbitos de aplicación del mismo.

A pesar de haberse cumplido los objetivos, se ha querido proponer una serie de alternativas y mejoras para llevarse a cabo en trabajos futuros.

A fin de incrementar las posibilidades de investigación que ofrece el dispositivo diseñado, una posible línea futura de trabajo consistiría en diseñar distintos colectores a los ya diseñados, que permitan obtener fibras con geometrías y propiedades distintas a las ya obtenidas con el presente trabajo. Siguiendo con este fin, podrían implementarse al diseño distintas formas de inyección del polímero,

como podría ser la implementación de una aguja coaxial o de un sistema que presente múltiples agujas inyectoras, lo que también supondría un incremento del rendimiento del dispositivo.

Otro objetivo de mejora para líneas futuras de estudio, es la modificación del diseño para permitir trabajar con presión positiva y negativa en el interior de la caja, así como implementar un sistema de control de la atmósfera en la cámara de procesamiento mediante la variación de la temperatura; logrando de esta manera experimentar con los parámetros ambientales que tienen repercusión en los resultados de la técnica de electrohilado.

Añadido a esto, buscando un objetivo más orientado a la fabricación, se propone llevar a cabo la construcción del dispositivo diseñado y realizar experimentos con distintos tipos de polímeros. En este mismo ámbito, se propone también desarrollar filtros para líquidos que mejoren de algún modo los ya existentes.

9 BIBLIOGRAFÍA

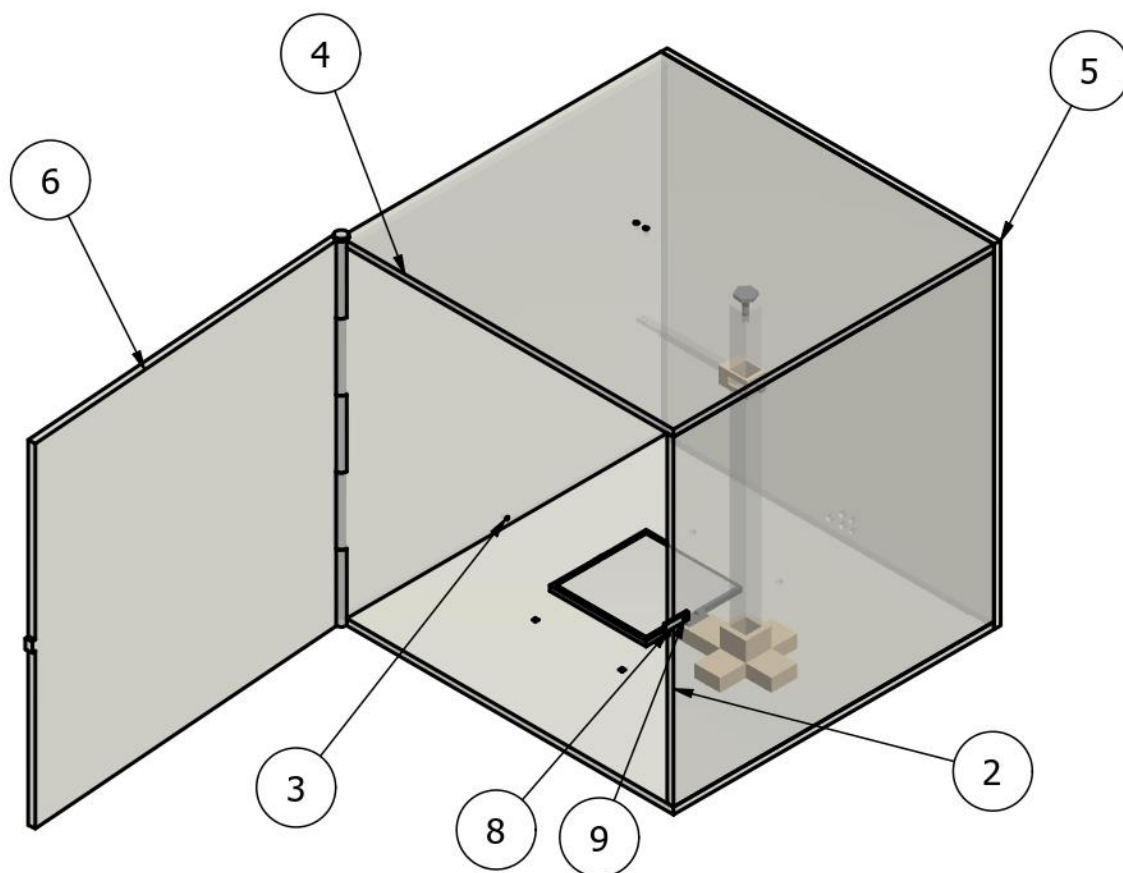
- [1] N. G. García, «Electrospinning: Una tecnica fascinante para la obtención de nanofibras poliméricas,» *Revista de plásticos modernos*, vol. 105, nº 677, pp. 166-172, 2013.
- [2] «Proveil,» Bioinicia, 2021. [En línea]. Available: <https://proveil.es/>. [Último acceso: 2 Febrero 2021].
- [3] J. F. Cooley, «Aparatus for electrically dispersing fluids». Massachusetts, Estados Unidos Patente 692,631, 4 febrero 1902.
- [4] A. Formhals, «Process and apparatus for preparing artificial threads». Alemania Patente 1,975,504, 2 octubre 1934.
- [5] J. A. C. Mejía y J. R. P. Salgado, «Diseño de una maquina para la fabricación de fibras submicrométricas mediante electrospinning con sistema movil de inyección y atmósfera controlada,» Sangolquí, 2018.
- [6] S. Ramakrishna, de *An introduction to electrospinning and Nanofibers*, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2005.
- [7] H.-W. Jun, S. E. Paramonova y J. D. Hartgerink, «Biomimetic self-assembled nanofibers,» *Soft Matter*, 2006.
- [8] J. Penide, F. Quintero, J. d. Val, R. Comesaña, F. Lusquiños, A. Riveiro y J. Pou, «Bioactive glass nanofibers for tissue engineering,» de *Materials for Biomedical Engineering: Inorganic Micro and Nanostructures*, Elsevier Inc., 2019, pp. 329-356.
- [9] F. Quintero, J. Pou, F. Lusquiños y A. Riveiro, «Experimental analysis of the production of micro- and nanofibers by Laser Spinning,» *Applied Surface Science* , nº 254, pp. 1042-1047, 2007.
- [10] L. M. D. Sánchez, L. Rodríguez y M. López, «Electrospinning: La era de las nanofibras,» *Revista iberoamericana de polímeros* , 2012.
- [11] W.-E. Teo, *Introduction to Electrospinning Parameters and Fiber Control*, ElectrospinTech, 2015.
- [12] H. Liu y Y.-L. Hsieh, «Ultrafine fibrous cellulose membranes from Electrospinning of cellulose acetate,» *Journal of Polymer Science* , vol. 40, 2002.

- [13] S. Sukigara, M. Gandhi y F. Ko, «Regeneration of Bombyx mori silk by electrospinning. Part 1: processing parameters and geometric properties,» *Polymer* , vol. 44, nº 19, pp. 5721-5727, 2003.
- [14] J. M. Deitzel, «Electrospinning of polymer nanofibers with specific surface chemistry,» *Polymer* , vol. 43, nº 3, pp. 1025-1029, 2002.
- [15] R. Doshi J, «Electrospinning process and applications of Electrospun fibers,» *Journal of electrostatics*, vol. 35, p. 151, 1995.
- [16] S. N. Reznik, «Transient and steady shapes of droplets attached to a surface in a strong electric field,» *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 1, nº 349, p. 516, 2004.
- [17] P. Kumar, «Effect of collector on electrospinning to fabricate aligned nanofiber,» National Institute of Technology, Rorurkela, 2012.
- [18] Z. Li y C. Wang, «Effects of Working Parameters on Electrospinning,» de *One-dimensional nanostructures*, Heilderberg, Berlín, Springer , 2013, pp. 15-28.
- [19] C. A. Carpinteria, «Spotlight on wound care technologies,» *MPMN*, vol. 26, nº 5, 2010.
- [20] M. Zhu, J. Han, F. Wang, W. Shao, R. Xiong, Q. Zhang, H. Pan, Y. Yang y S. Samal, *Macromol. Mater Eng.*, 2017.
- [21] S. Cavaliere, S. Subianto, I. Savych, D. J. Jones y J. Roziere, «Electrospinning: designed architectures for energy conversion and storage devices,» *Energy & Enviromental Science*, vol. 4, pp. 4761-4785, 2011.
- [22] Y.-Z. Long y M. Yu, «Electrospinning,» de *Electrospinning: Nanofabrication and Applications*, Elsevier, 2019, pp. 783-806.
- [23] H. Yuan y Y. Zhang, «Improving fiber alignment during electrospinning,» de *Electrospun Nanofibers*, Elsevier, 2017, pp. 609-623.
- [24] A. P. Mateus y S. C. Daza, «Producción de nanofibras poliméricas mediante el proceso de electrospinning y su uso potencial,» *Mutis* , vol. 8, nº 1, pp. 17-33, 2018.
- [25] E. F. Valero, «Aportaciones al estudio de las máquinas eléctricas de flujo axial mediante la aplicación del método de los elementos finitos,» *Universitat Politècnica de Catalunya*, 2004.
- [26] A. O. Prado, O. R. Cervantes y J. O. Valera, «Modelado de Procesos de Manufactura,» *UNAM*, 2013.
- [27] F. Quintero, J. Penide, A. Riveiro, J. d. Val, R. Comesaña, F. Lusquiños y J. Pou, «Continuous fiberizing by laser melting (Cofiblas): Production of highly flexible glass nanofibers with effectively unlimited length,» *Science Advances* , vol. 6, 2020.

ANEXO I: PLANOS

LISTA DE PIEZAS

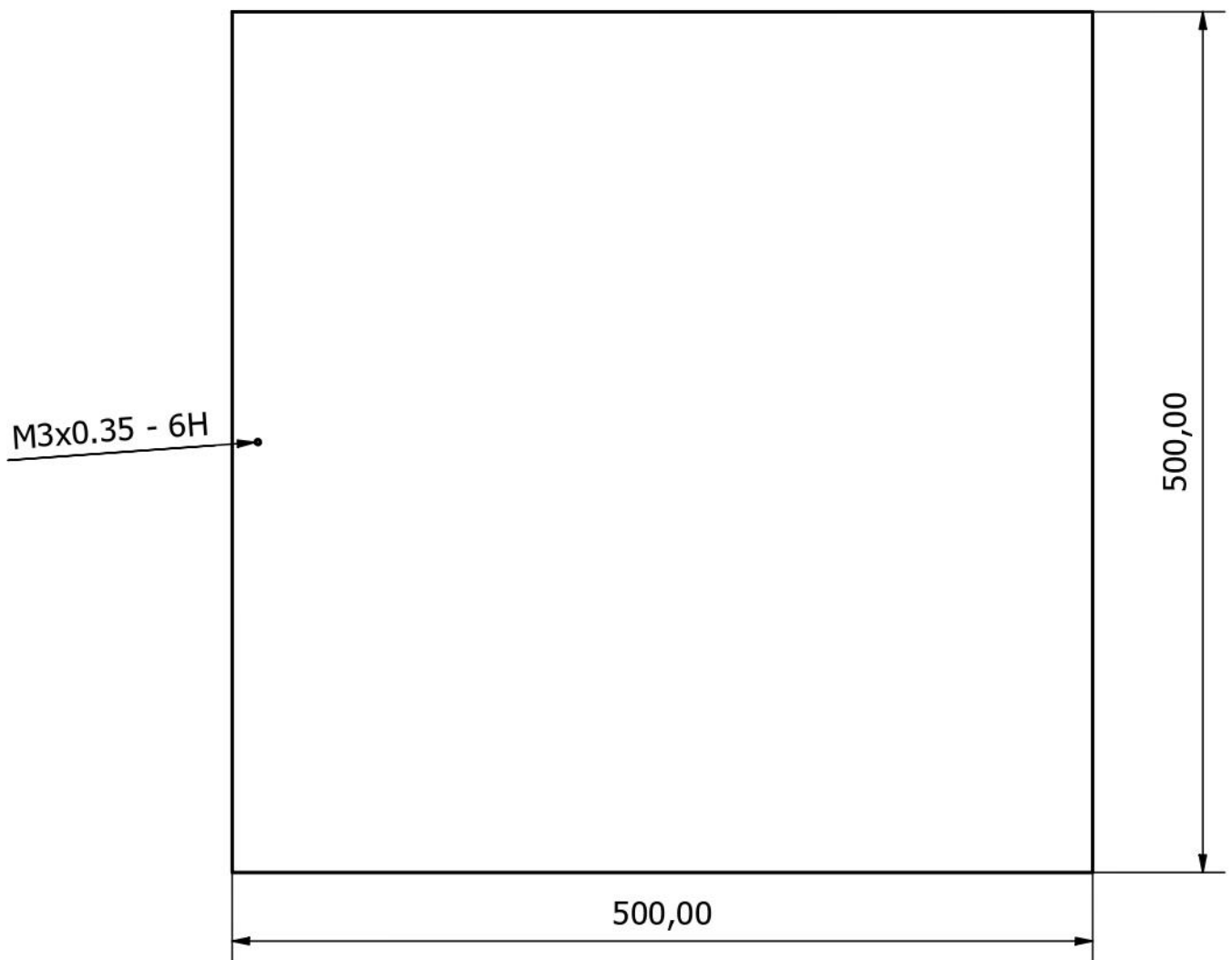
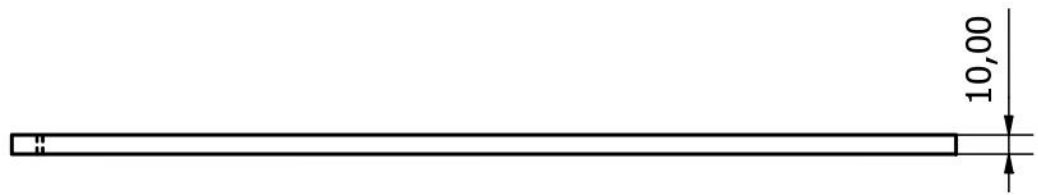
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	1	PLANCHA INFERIOR DE CAJA AISLANTE
2	1	PLANCHA LATERAL DEL CIERRE DE LA PUERTA
3	1	PLANCHA LATERAL DE LA CAJA AISLANTE
4	1	PLANCHA SUPERIOR DE LA CAJA AISLANTE
5	1	PLANCHA POSTERIOR DE LA CAJA AISLANTE
6	1	PUERTA DE LA CAJA AISLANTE
7	1	PASADOR DE LA BISAGRA
8	1	CIERRE DE LA PUERTA DE LA CAJA AISLANTE
9	1	TORNILLO DEL CIERRE DE LA PUERTA
02	1	ENSAMBLAJE DEL SOPORTE DE LA AGUJA



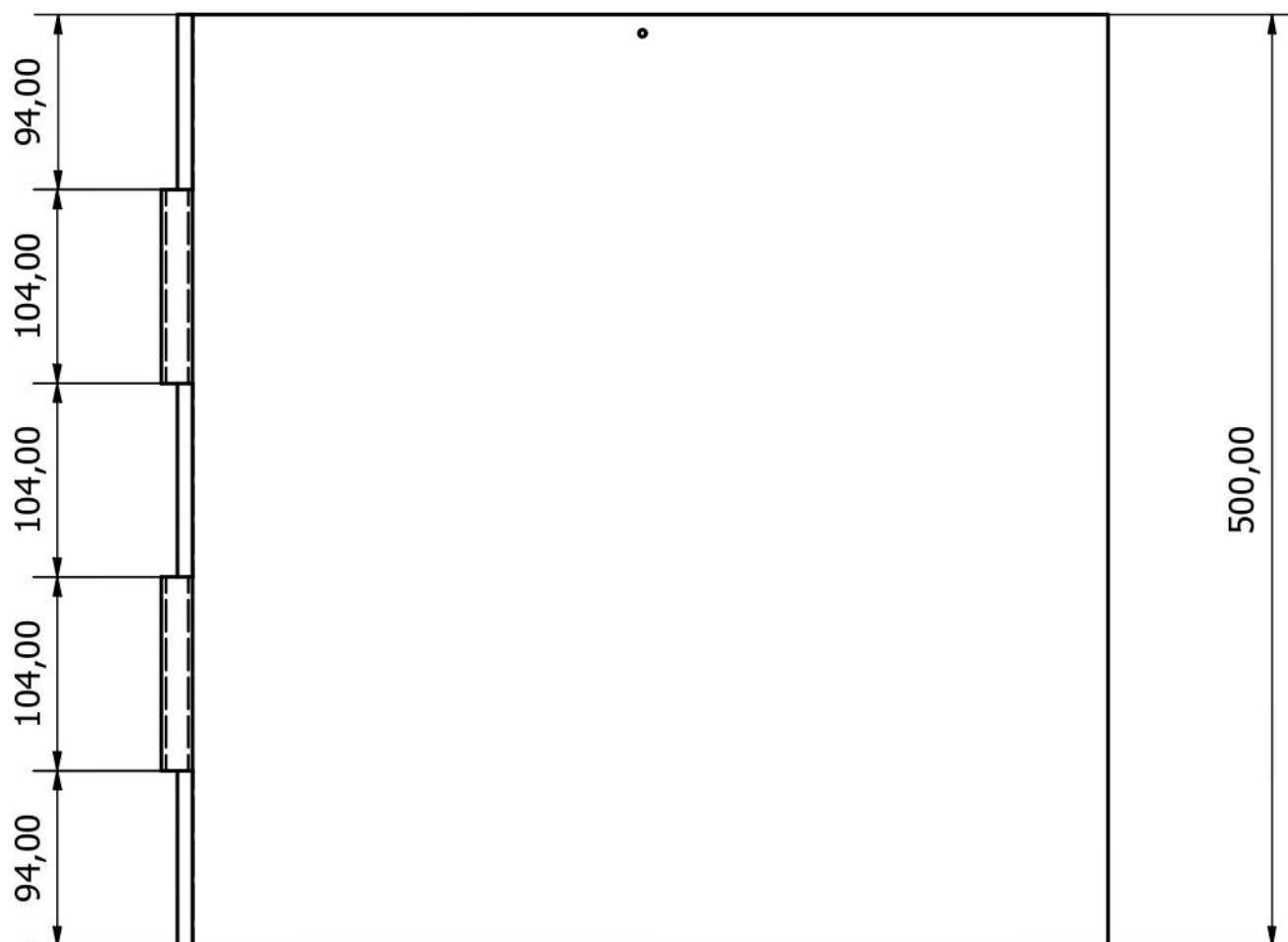
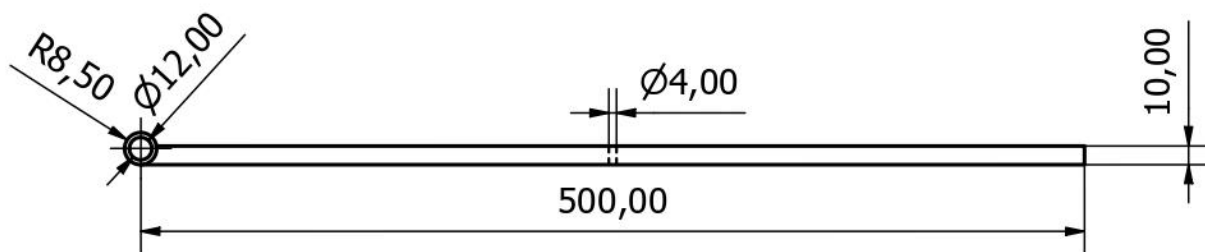
DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA FABRICACIÓN DE MICROFIBRAS MEDIANTE ELECTROSPINNING

NOMBRE DE PIEZA	ENSAMBLAJE DE LA CAJA AISLANTE		
AUTOR	JOSE IGNACIO Gª-GANGES BAIGTE		
FECHA DE EMISIÓN	11/03/2021	Nº DE PLANO	01
FORMATO	A4	MATERIAL	
ESCALA	0,12 : 1	SISTEMA	

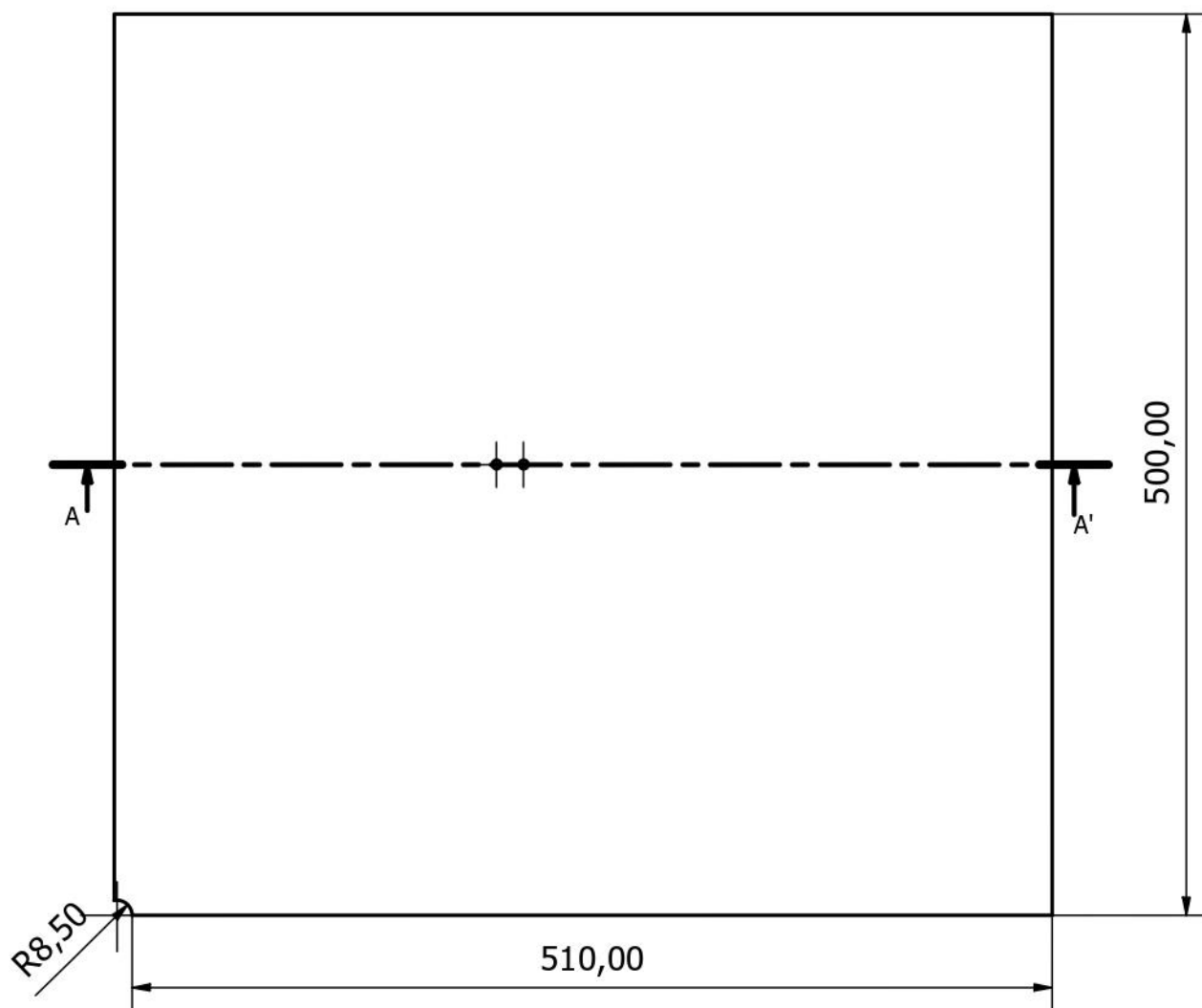
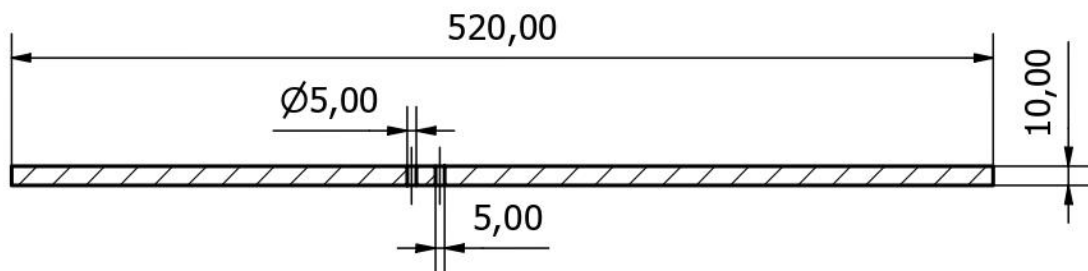




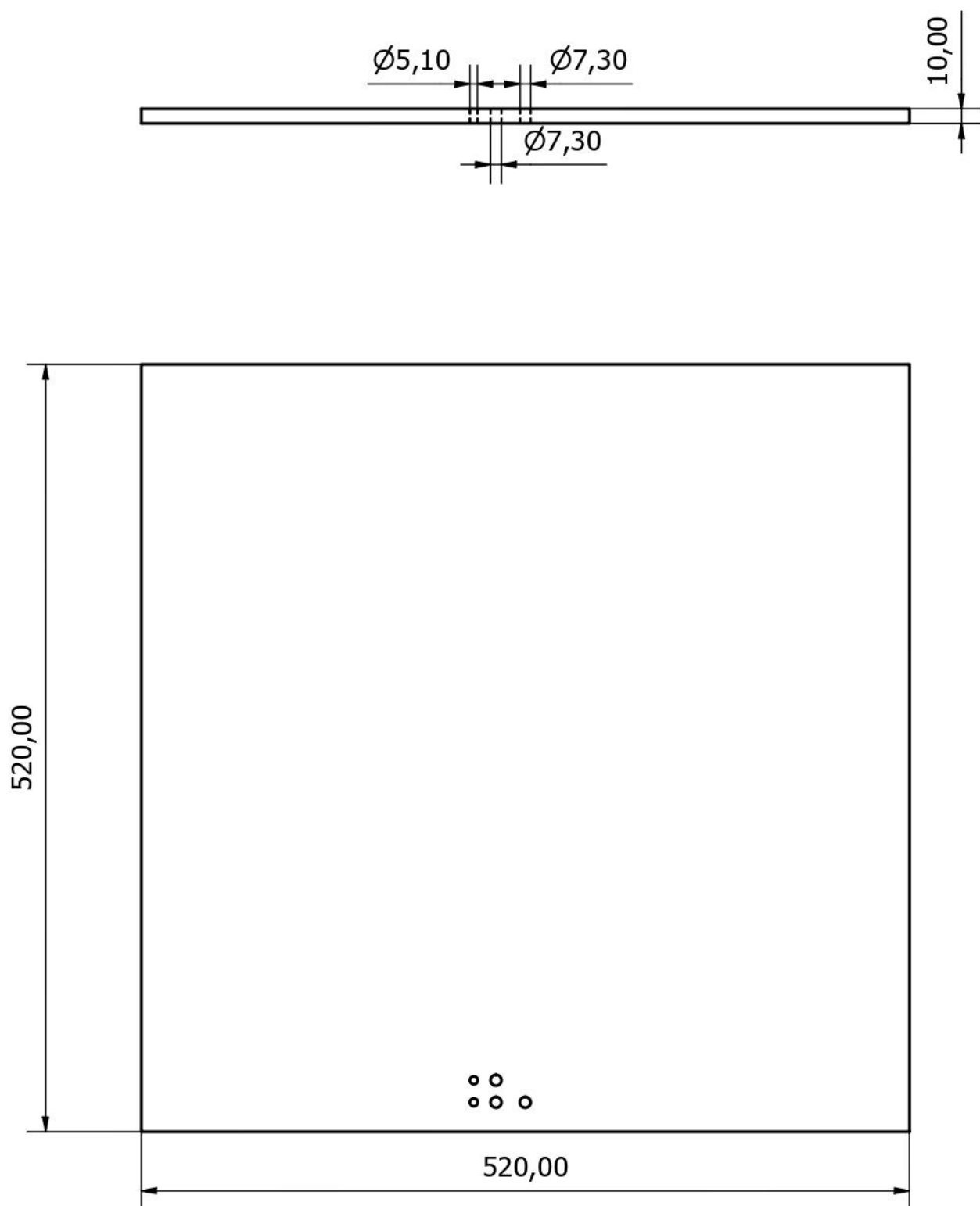
	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA FABRICACIÓN DE MICROFIBRAS MEDIANTE ELECTROSPINNING			
	NOMBRE DE PIEZA	PARED LATERAL DEL CIERRE DE LA PUERTA		
	AUTOR	JOSE IGNACIO G ^a -GANGES BAIGET		
	FECHA DE EMISIÓN	10/03/2021	Nº DE PLANO	2
	FORMATO	A4	MATERIAL	Plástico PMMA
	ESCALA	1:4	SISTEMA	



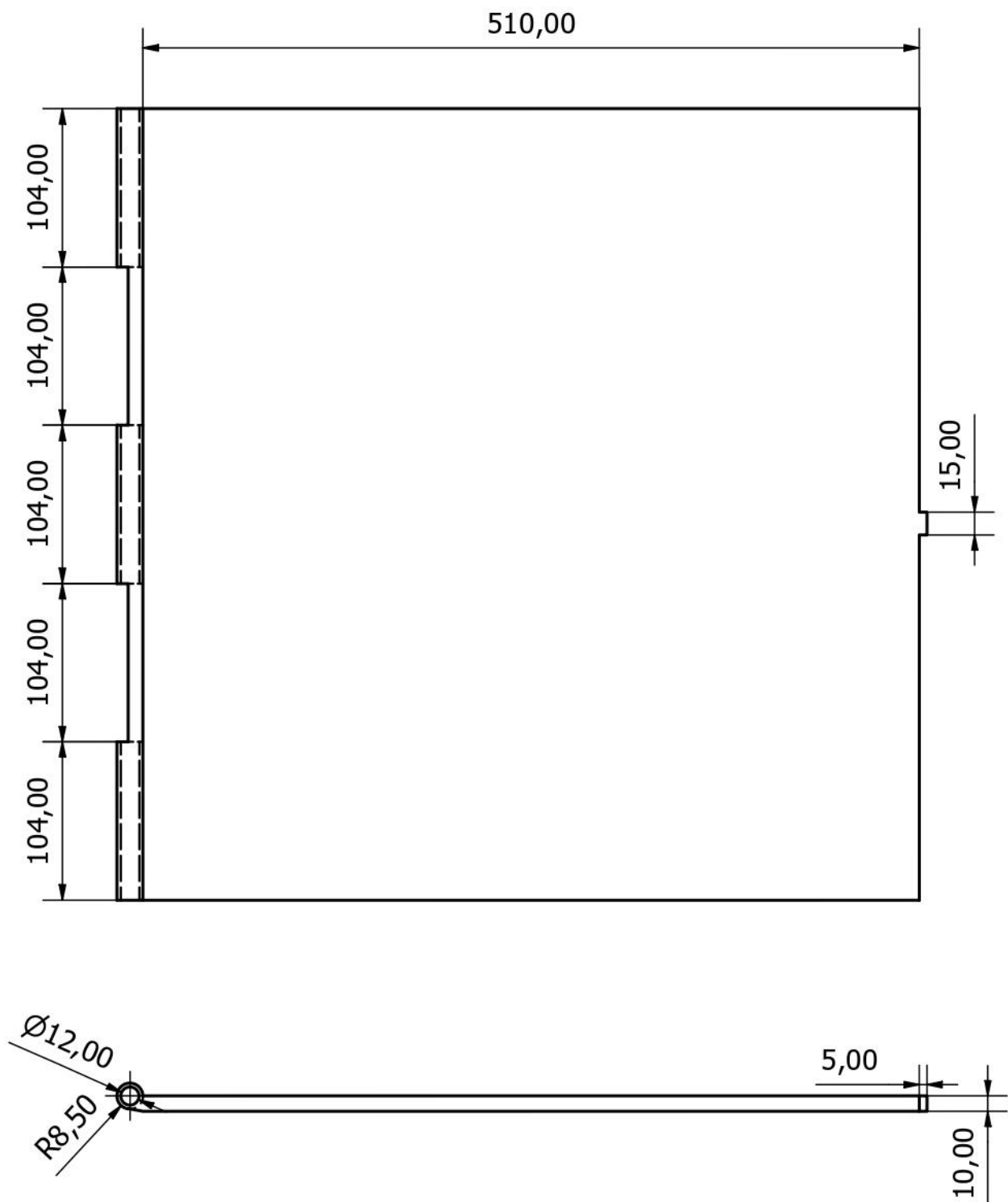
	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA FABRICACIÓN DE MICROFIBRAS MEDIANTE ELECTROSPINNING			
	NOMBRE DE PIEZA	PLANCHA LATERAL DE CAJA AISLANTE		
	AUTOR	JOSE IGNACIO G ^a -GANGES BAIGET		
	FECHA DE EMISIÓN	10/03/2021	Nº DE PLANO	3
	FORMATO	A4	MATERIAL	Plástico PMMA
	ESCALA	1:4	SISTEMA	 



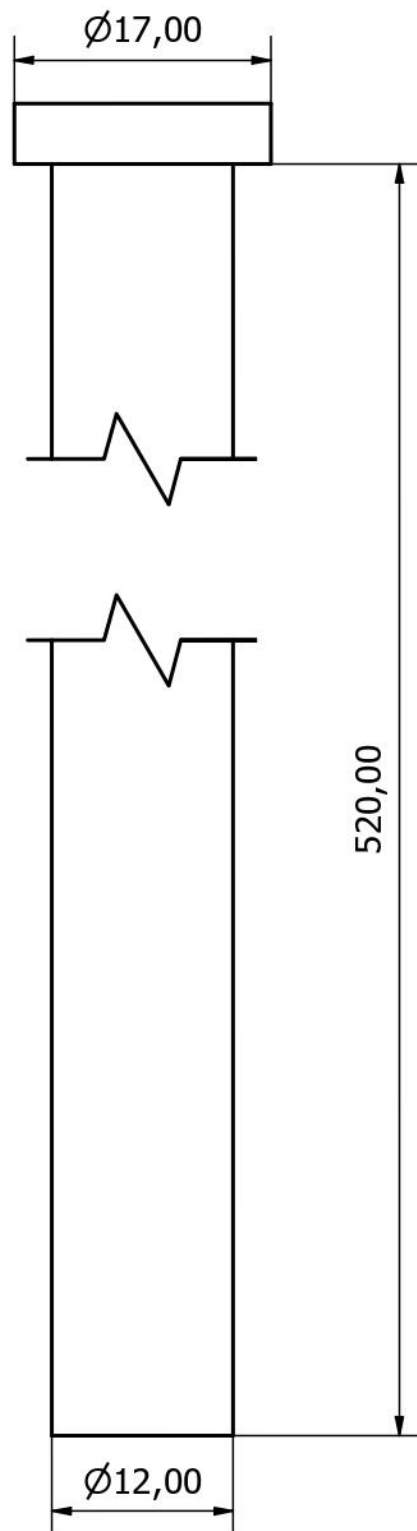
	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA FABRICACIÓN DE MICROFIBRAS MEDIANTE ELECTROSPINNING			
	NOMBRE DE PIEZA	PARED SUPERIOR DE LA CAJA AISLANTE		
	AUTOR	JOSE IGNACIO G ^a -GANGES BAIGET		
	FECHA DE EMISIÓN	10/03/2021	Nº DE PLANO	4
	FORMATO	A4	MATERIAL	Plástico PMMA
	ESCALA	1:4	SISTEMA	



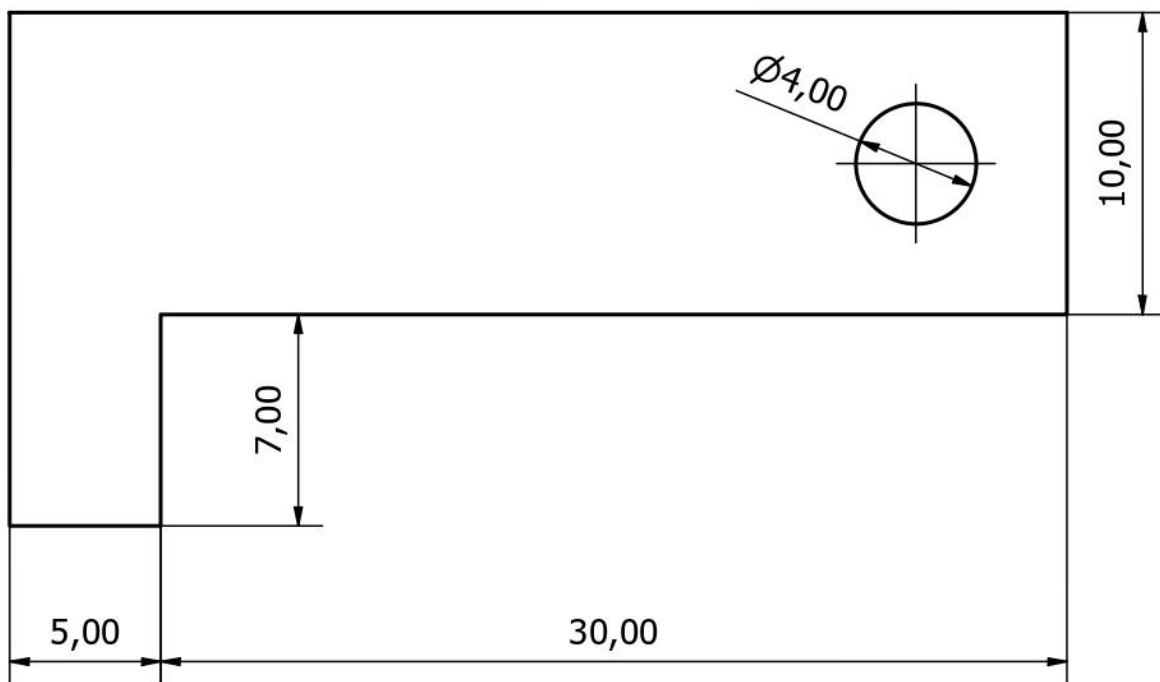
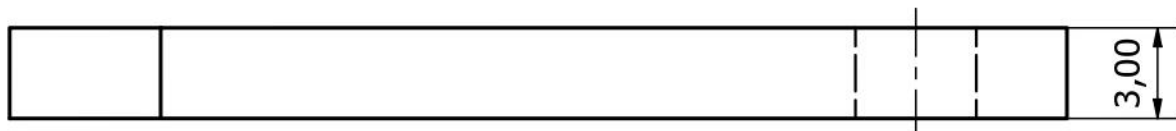
	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA FABRICACIÓN DE MICROFIBRAS MEDIANTE ELECTROSPINNING			
	NOMBRE DE PIEZA	PARED POSTERIOR DE LA CAJA AISLANTE		
	AUTOR	JOSE IGNACIO G ^a -GANGES BAIGET		
	FECHA DE EMISIÓN	10/03/2021	Nº DE PLANO	5
	FORMATO	A4	MATERIAL	Plástico PMMA
	ESCALA	1:4	SISTEMA	 



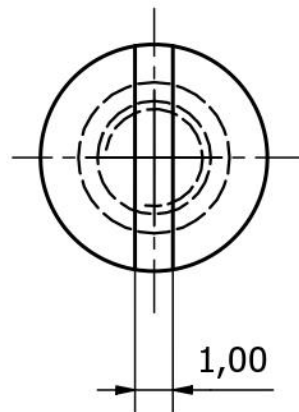
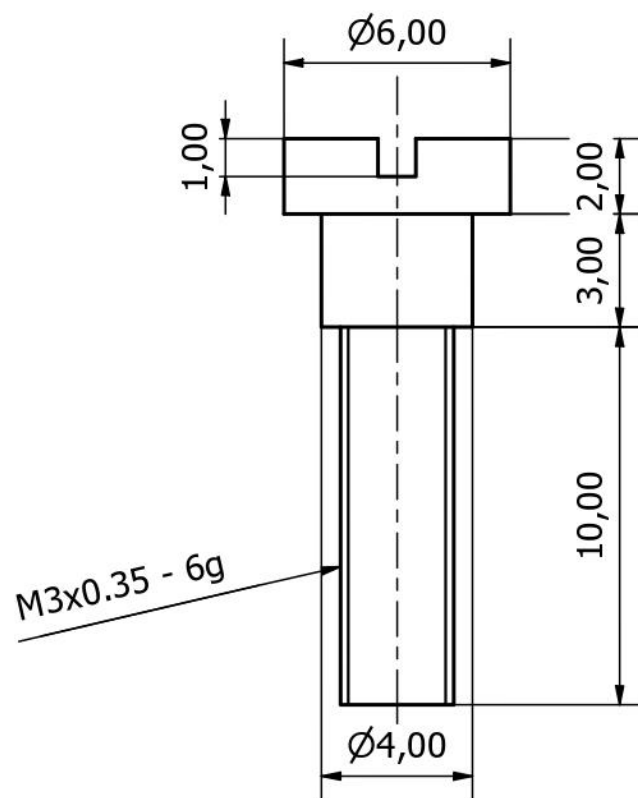
	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA FABRICACIÓN DE MICROFIBRAS MEDIANTE ELECTROSPINNING			
	NOMBRE DE PIEZA	PUERTA DE LA CAJA AISLANTE		
	AUTOR	JOSE IGNACIO G ^a -GANGES BAIGET		
	FECHA DE EMISIÓN	10/03/2021	Nº DE PLANO	6
	FORMATO	A4	MATERIAL	Plástico PMMA
	ESCALA	1:4	SISTEMA	

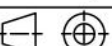


	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA FABRICACIÓN DE MICROFIBRAS MEDIANTE ELECTROSPINNING			
	NOMBRE DE PIEZA	PASADOR DE LA BISAGRA		
	AUTOR	JOSE IGNACIO G ^a -GANGES BAIGET		
	FECHA DE EMISIÓN	10/03/2021	Nº DE PLANO	7
	FORMATO	A4	MATERIAL	Plástico PMMA
	ESCALA	2:1	SISTEMA	 

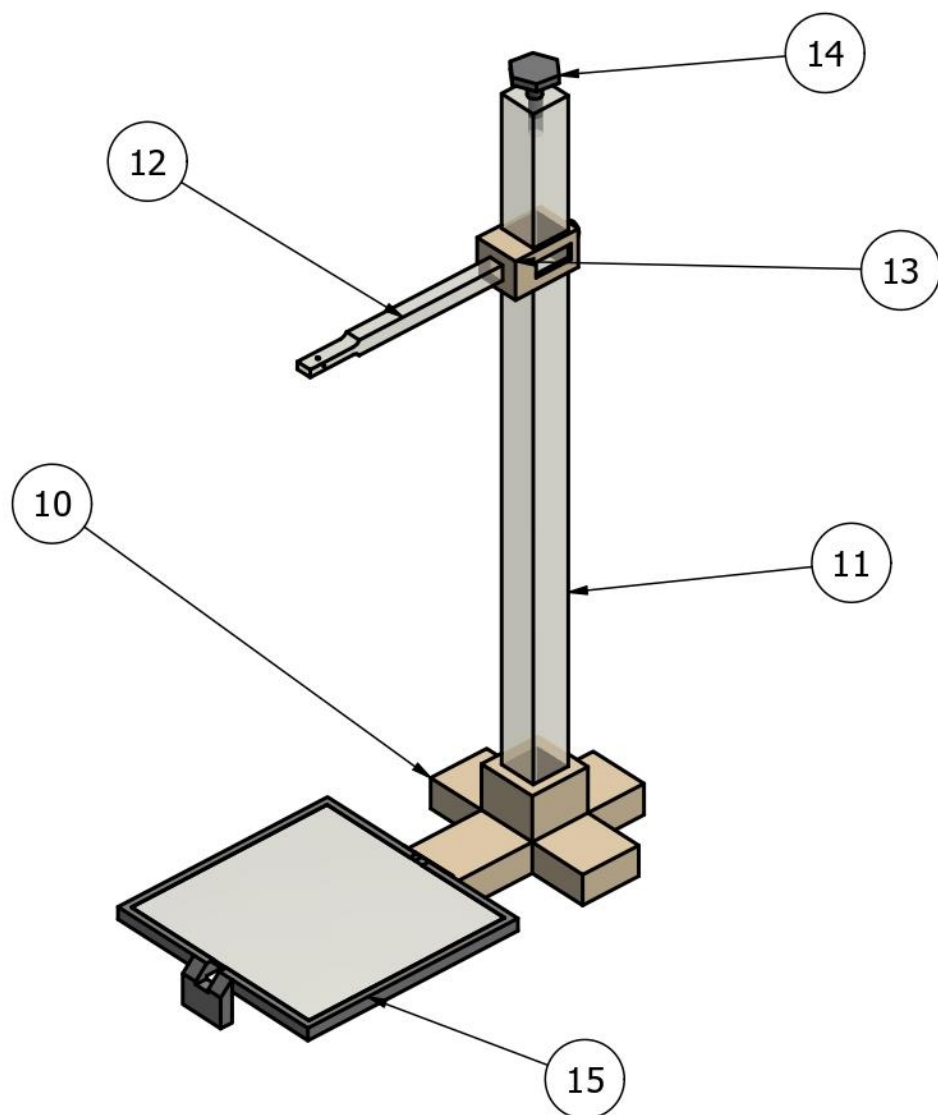


	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA FABRICACIÓN DE MICROFIBRAS MEDIANTE ELECTROSPINNING			
	NOMBRE DE PIEZA	CIERRE DE LA PUERTA DE LA CAJA AISLANTE		
	AUTOR	JOSE IGNACIO G ^a -GANGES BAIGET		
	FECHA DE EMISIÓN	10/03/2021	Nº DE PLANO	8
	FORMATO	A4	MATERIAL	PVC, no plastificado
	ESCALA	4:1	SISTEMA	

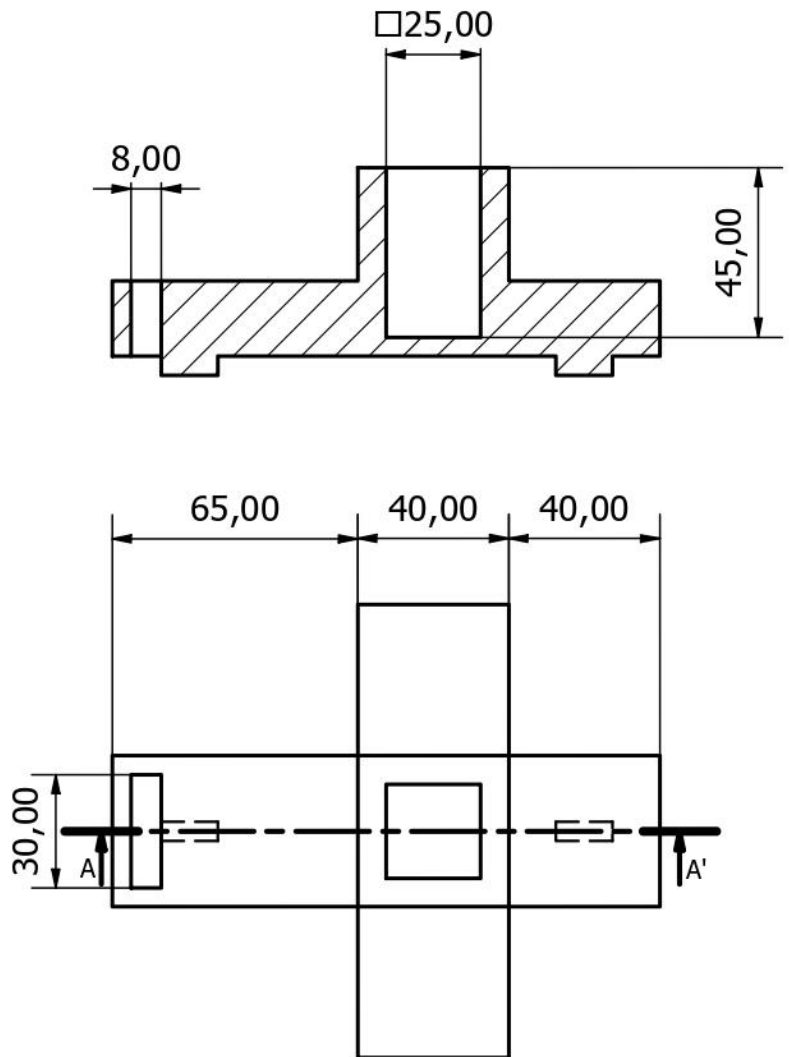
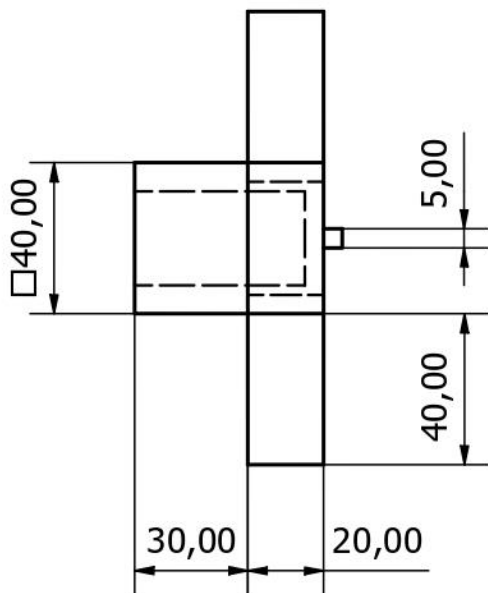


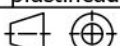
	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA FABRICACIÓN DE MICROFIBRAS MEDIANTE ELECTROSPINNING			
	NOMBRE DE PIEZA	TORNILLO DEL CIERRE DE LA PUERTA		
	AUTOR	JOSE IGNACIO G ^a -GANGES BAIGET		
	FECHA DE EMISIÓN	10/03/2021	Nº DE PLANO	9
	FORMATO	A4	MATERIAL	Nílón 6/6
	ESCALA	5 : 1	SISTEMA	

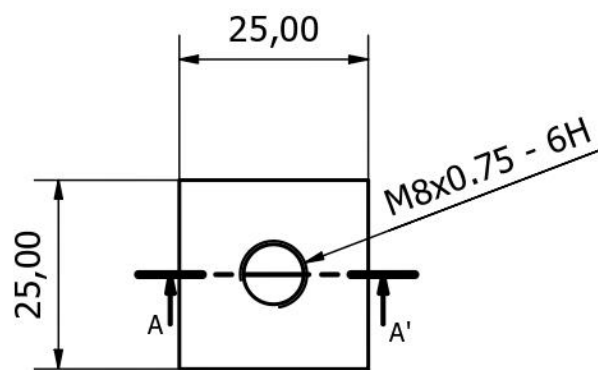
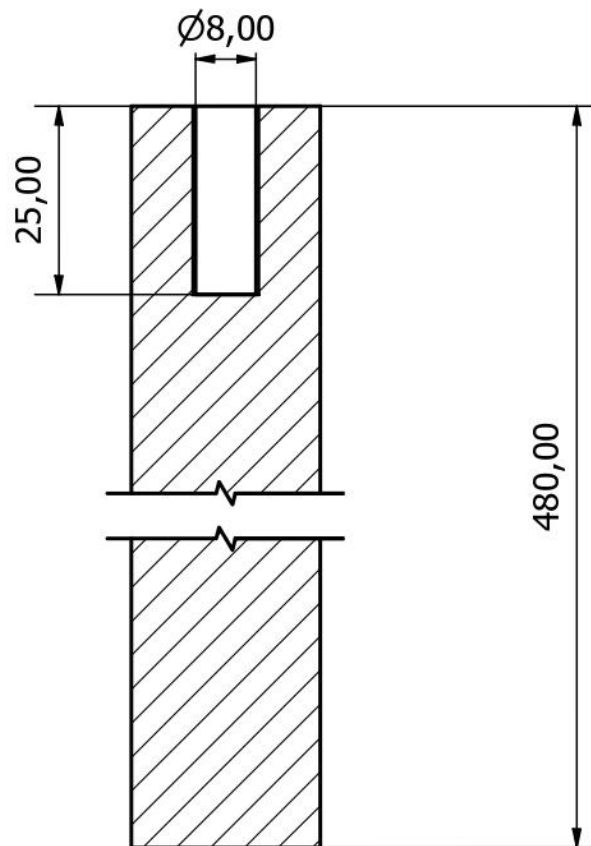
LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
10	1	BASE SOPORTE DE AGUJA
11	1	BARRA VERTICAL
12	1	BARRA HORIZONTAL
13	1	DESLIZADOR EN VERTICAL
14	1	PIE DE AJUSTE DEL SOPORTE DE LA AGUJA
15	1	SOPORTE DEL COLECTOR PLANO ESTÁTICO



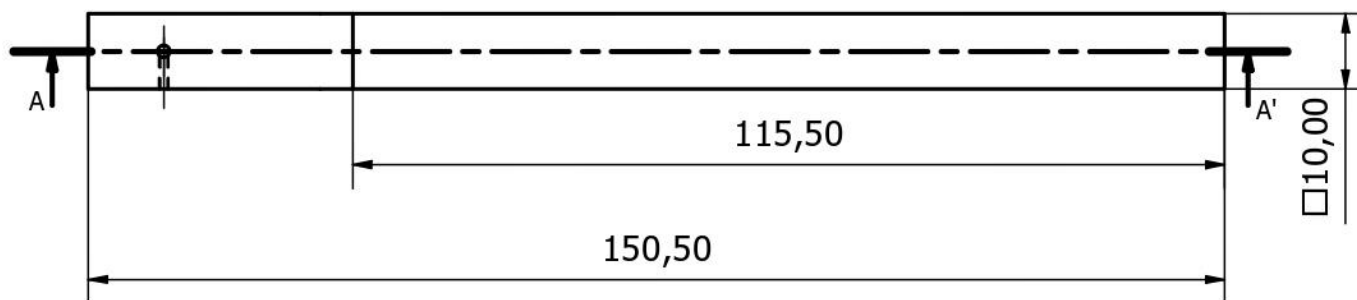
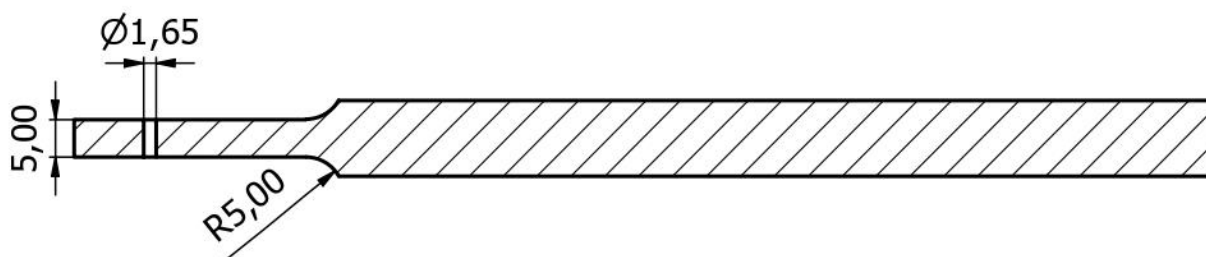
 	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA FABRICACIÓN DE FIBRAS MEDIANTE ELECTROSPINNING			
	NOMBRE DE PIEZA	ENSAMBLAJE DEL SOPORTE DE LA AGUJA		
	AUTOR	JOSE IGNACIO G ^a -GANGES BAIGET		
	FECHA DE EMISIÓN	11/03/2021	Nº DE PLANO	02
	FORMATO	A4	MATERIAL	
	ESCALA	1 : 4	SISTEMA	 



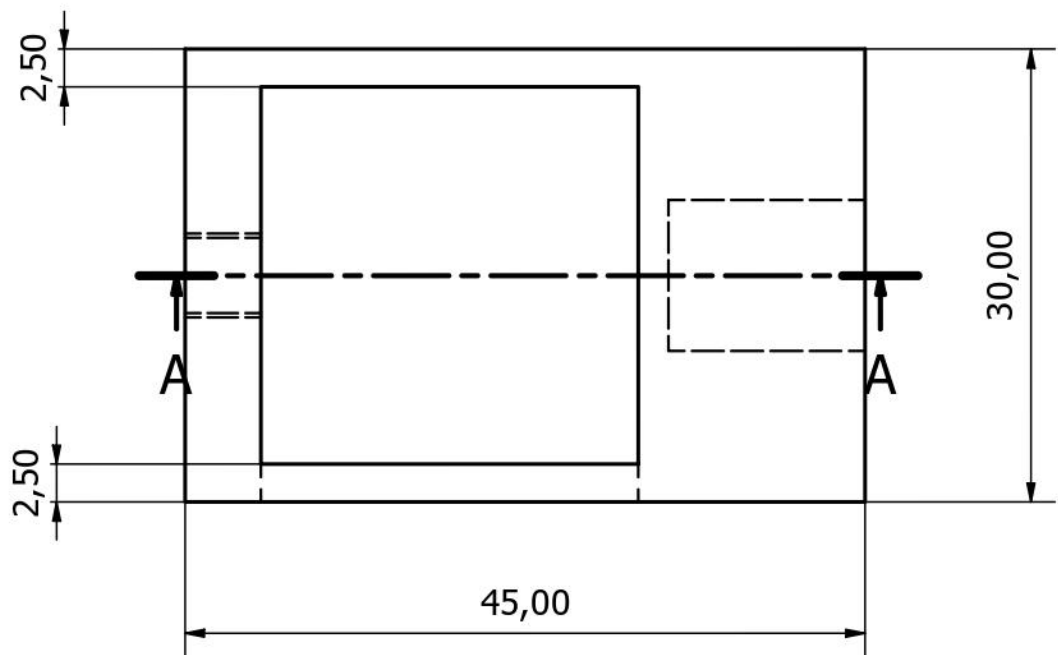
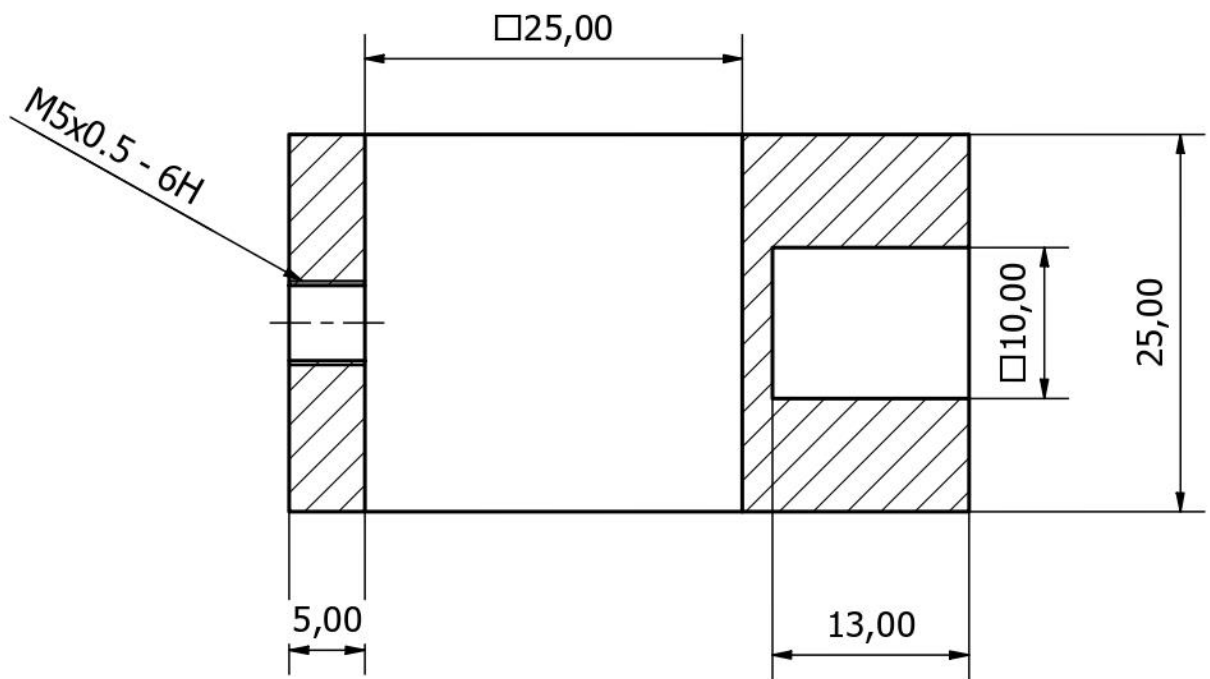
	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA FABRICACIÓN DE MICROFIBRAS MEDIANTE ELECTROSPINNING			
	NOMBRE DE PIEZA	BASE DEL SOPORTE DE LA AGUJA		
	AUTOR	JOSE IGNACIO G ^a -GANGES BAIGET		
	FECHA DE EMISIÓN	10/03/2021	Nº DE PLANO	10
	FORMATO	A4	MATERIAL	PVC, no plastificado
	ESCALA	1:2	SISTEMA	



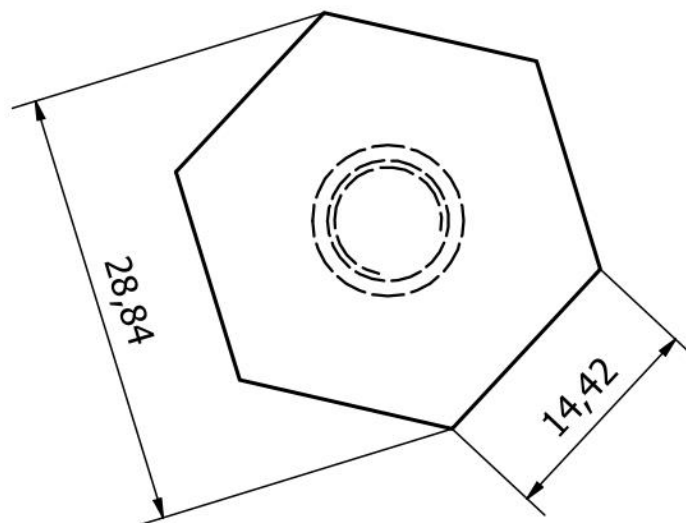
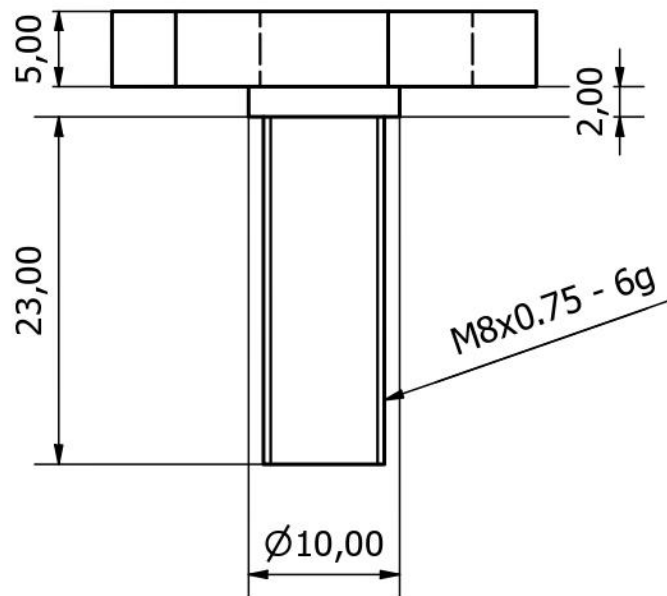
	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA FABRICACIÓN DE MICROFIBRAS MEDIANTE ELECTROSPINNING			
	NOMBRE DE PIEZA	BARRA HORIZONTAL		
	AUTOR	JOSE IGNACIO G ^a -GANGES BAIGET		
	FECHA DE EMISIÓN	10/03/2021	Nº DE PLANO	11
	FORMATO	A4	MATERIAL	Plástico PMMA
	ESCALA	1 : 1	SISTEMA	 

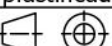


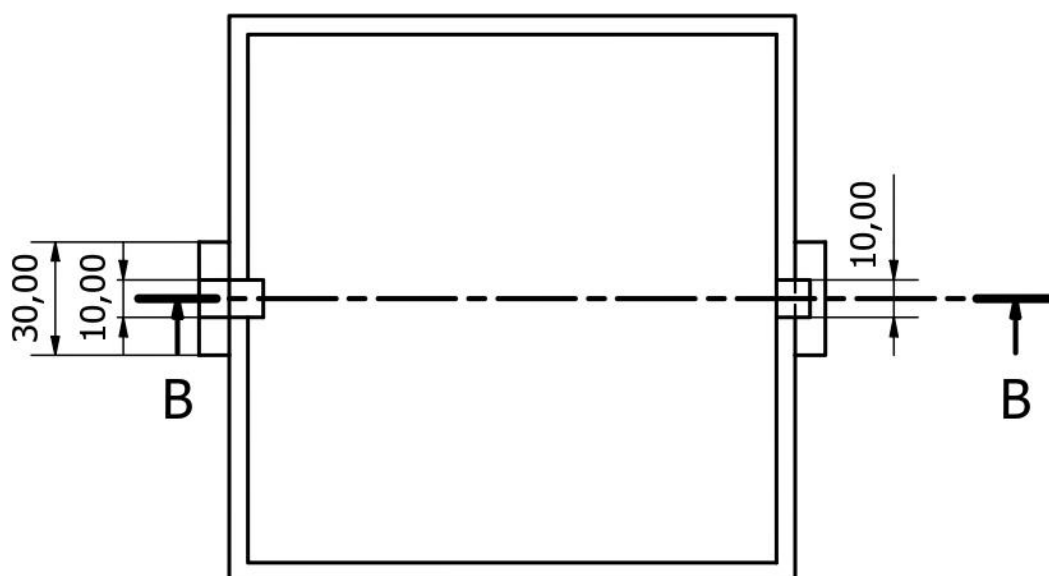
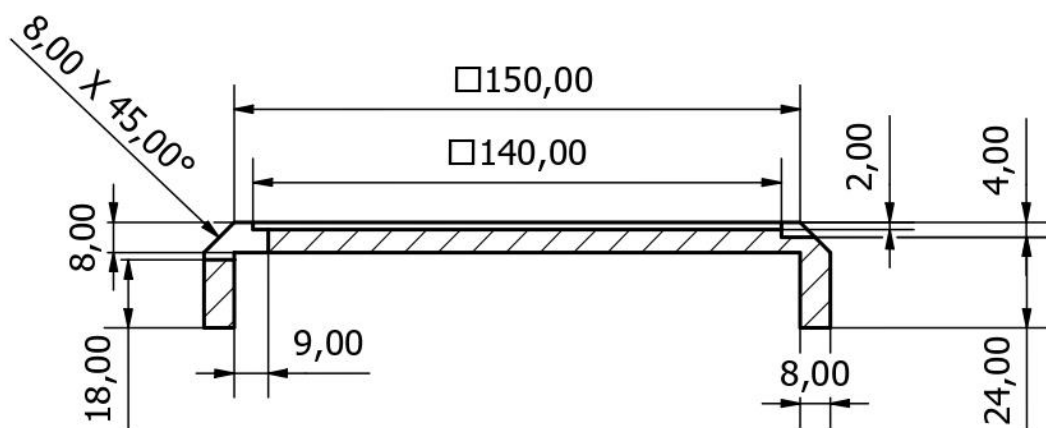
	DISEÑO DE UN DISPOSITIVO PARA LA FABRICACIÓN DE MICROFIBRAS MEDIANTE ELECTROSPINNING			
	NOMBRE DE PIEZA	BARRA HORIZONTAL DEL SOPORTE DE LA AGUJA		
	AUTOR	JOSE IGNACIO G ^a -GANGES BAIGET		
	FECHA DE EMISIÓN	10/03/2021	Nº DE PLANO	12
	FORMATO	A4	MATERIAL	Plástico PMMA
	ESCALA	1 : 1	SISTEMA	



	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA FABRICACIÓN DE MICROFIBRAS MEDIANTE ELECTROSPINNING			
	NOMBRE DE PIEZA	DESILIZADOR EN VERTICAL		
	AUTOR	JOSE IGNACIO G ^a -GANGES BAIGET		
	FECHA DE EMISIÓN	10/03/2021	Nº DE PLANO	13
	FORMATO	A4	MATERIAL	PVC, no plastificado
	ESCALA	2: 1	SISTEMA	

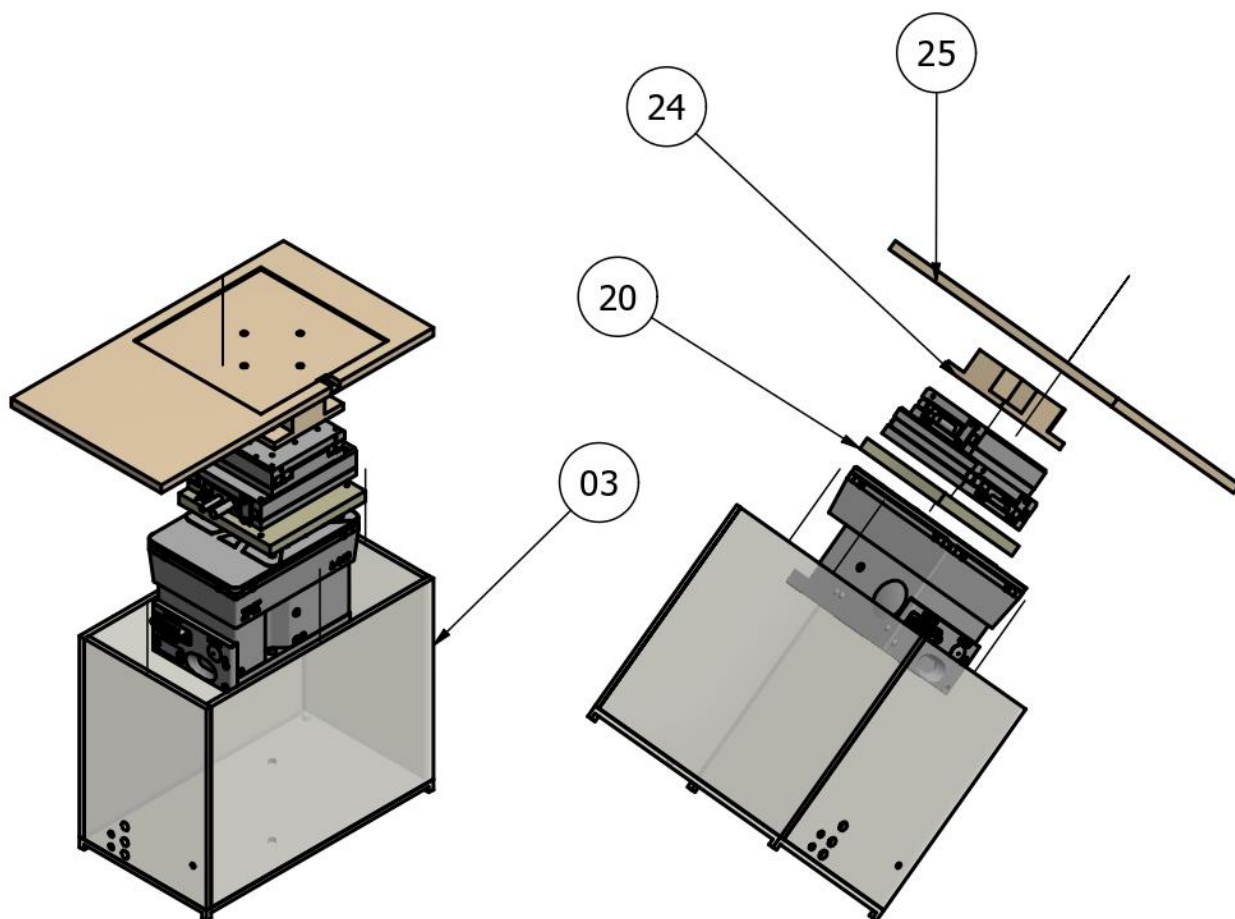


	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA FABRICACIÓN DE MICROFIBRAS MEDIANTE ELECTROSPINNING			
	NOMBRE DE PIEZA	PIE DE AJUSTE DEL SOPORTE DE LA AGUJA		
	AUTOR	JOSE IGNACIO G ^a -GANGES BAIGET		
	FECHA DE EMISIÓN	10/03/2021	Nº DE PLANO	14
	FORMATO	A4	MATERIAL	PVC, no plastificado
	ESCALA	2: 1	SISTEMA	



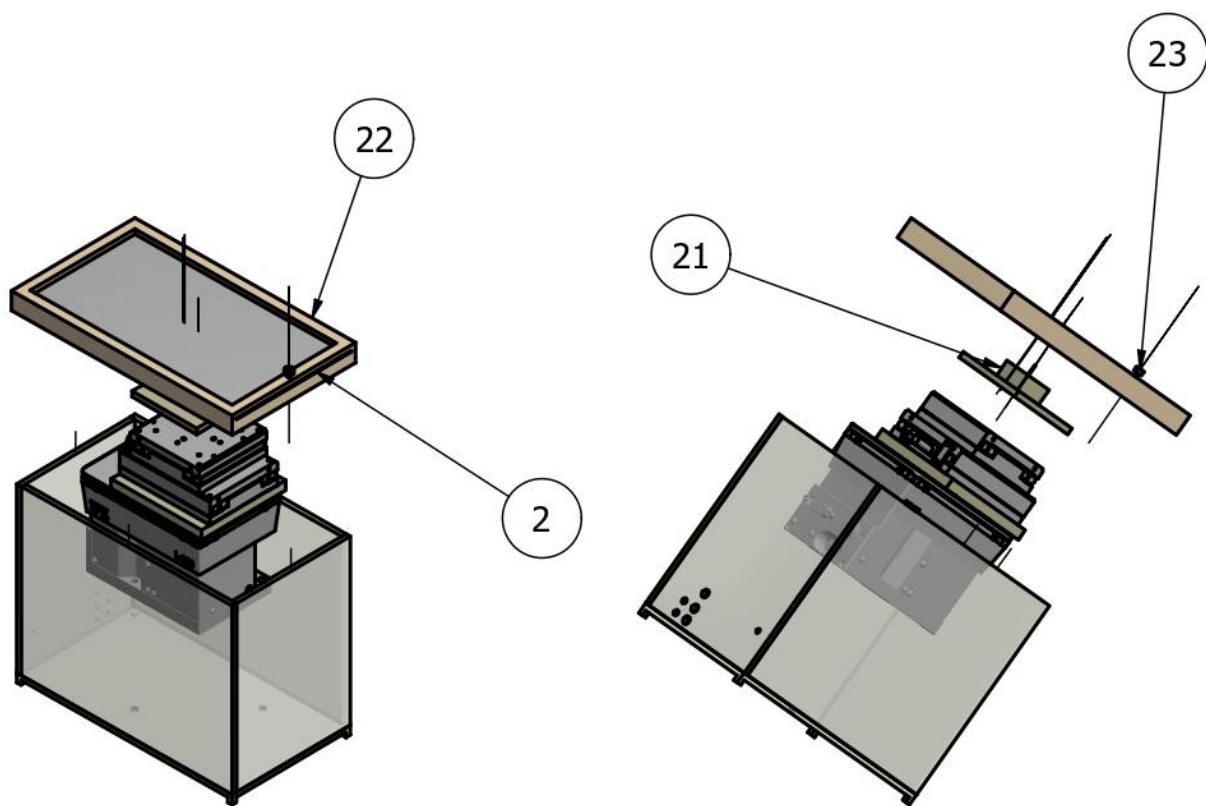
	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA FABRICACIÓN DE MICROFIBRAS MEDIANTE ELECTROSPINNING			
	NOMBRE DE PIEZA	SOPORTE DEL COLECTOR PLANO ESTÁTICO		
	AUTOR	JOSE IGNACIO G ^a -GANGES BAIGET		
	FECHA DE EMISIÓN	10/03/2021	Nº DE PLANO	15
	FORMATO	A4	MATERIAL	PVC, no plastificado
	ESCALA	1 : 2	SISTEMA	 

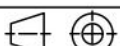
LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
20	1	ADAPTADOR DE UNIÓN DEL SISTEMA XYZ
24	1	SOPORTE DEL COLECTOR PLANO MÓVIL
03	1	CAJA DEL SISTEMA XYZ
25	1	COLECTOR PLANO

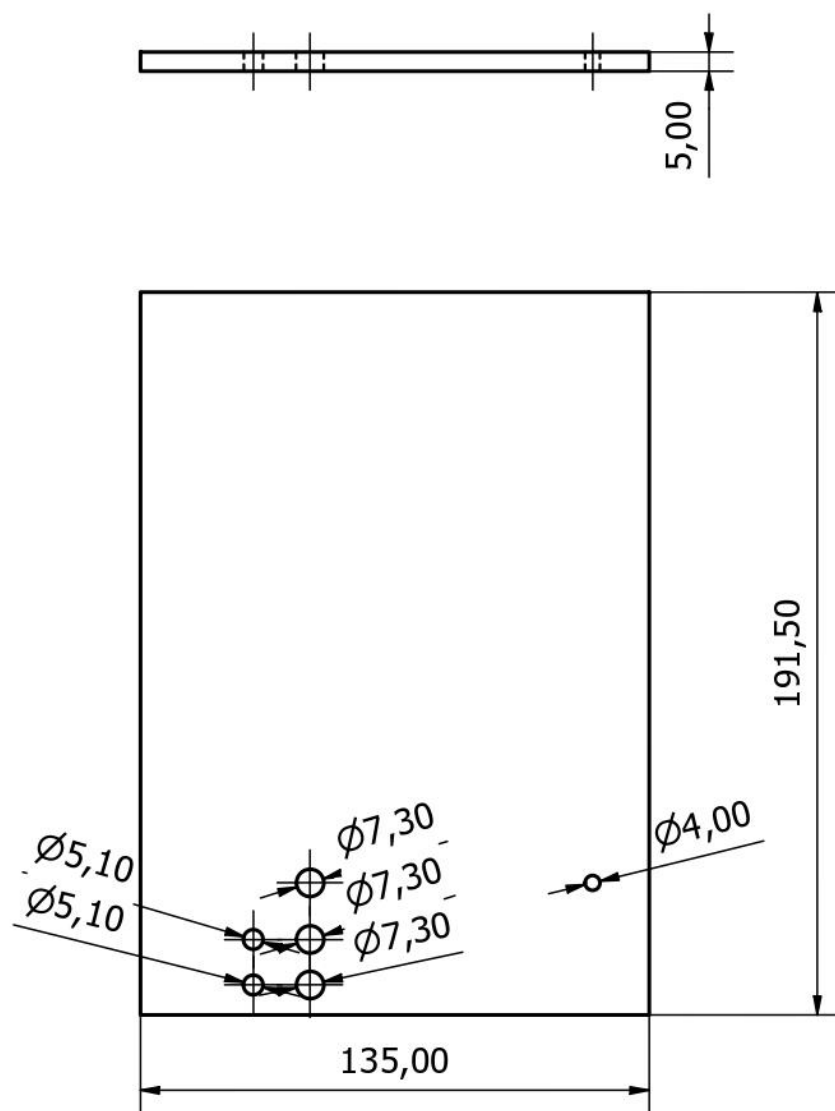


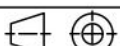
	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA FABRICACIÓN DE MICROFIBRAS MEDIANTE ELECTROSPINNING			
	NOMBRE DE PIEZA	SISTEMA XYZ CON COLECTOR PLANO MÓVIL		
	AUTOR	JOSE IGNACIO G ^a -GANGES BAIGET		
	FECHA DE EMISIÓN	11/03/2021	Nº DE PLANO	04
	FORMATO	A4	MATERIAL	
	ESCALA	0,17 : 1	SISTEMA	

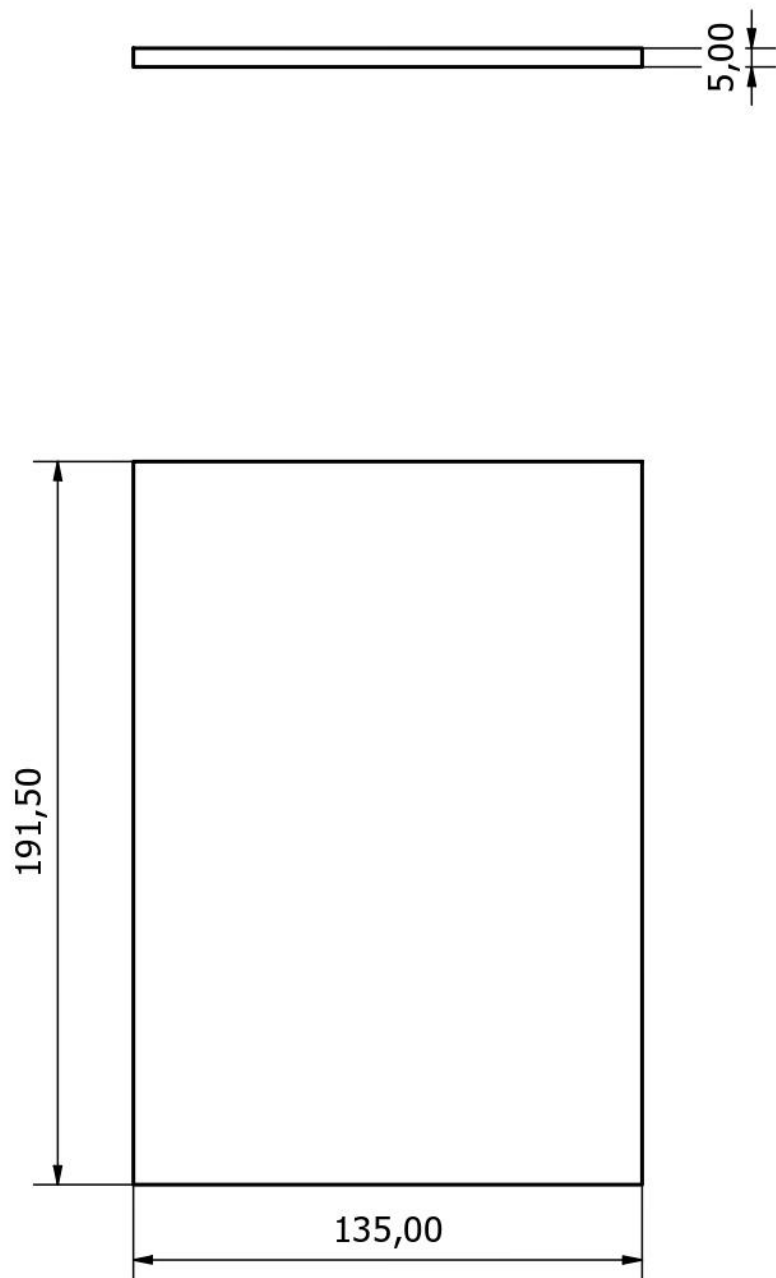
LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
21	1	AISLANTE DEL CONTRAELECTRODO SISTEMA XYZ
22	1	SOPORTE DE LA PLETINA DE ALUMINIO
23	1	AJUSTE DE LA PLETINA DE ALUMINIO



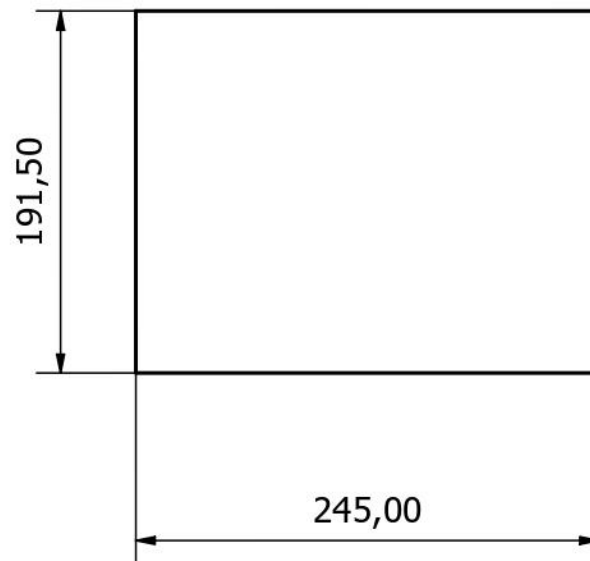
	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA FABRICACIÓN DE MICROFIBRAS MEDIANTE ELECTROSPINNING			
	NOMBRE DE PIEZA	ENSAMBLAJE SISTEMA XYZ CON PLETINA PARA GENERAR GEOMETRÍAS		
	AUTOR	JOSE IGNACIO G ^a -GANGES BAIGET		
	FECHA DE EMISIÓN	11/03/2021	Nº DE PLANO	05
	FORMATO	A4	MATERIAL	
	ESCALA	0,16 : 1	SISTEMA	



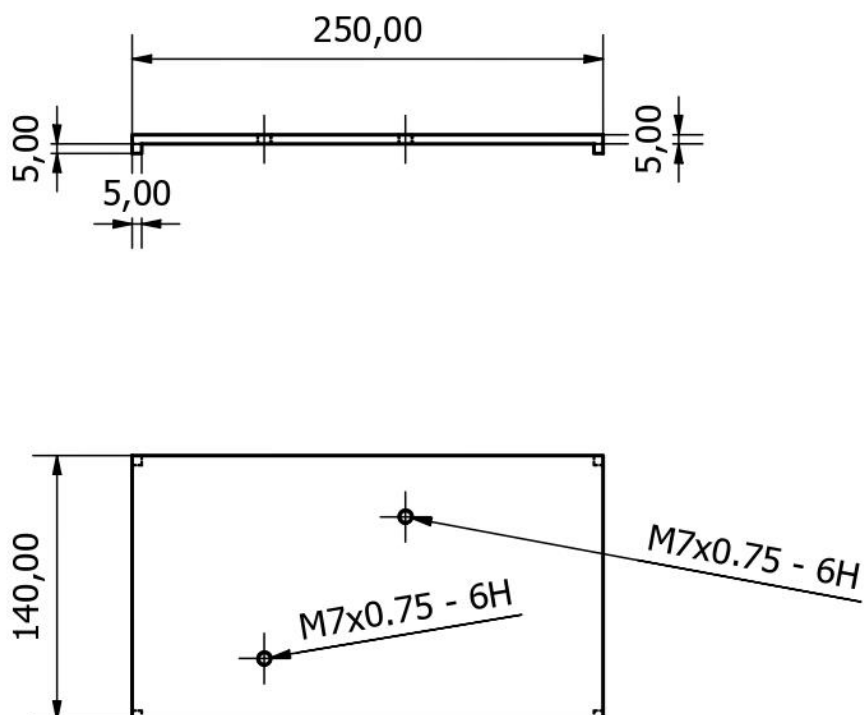
	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA FABRICACIÓN DE MICROFIBRAS MEDIANTE ELECTROSPINNING			
	NOMBRE DE PIEZA	PARED POSTERIOR DE LA CAJA DEL SISTEMA XYZ		
	AUTOR	JOSE IGNACIO G ^a -GANGES BAIGET		
	FECHA DE EMISIÓN	10/03/2021	Nº DE PLANO	16
	FORMATO	A4	MATERIAL	Plástico PMMA
	ESCALA	1 : 2	SISTEMA	



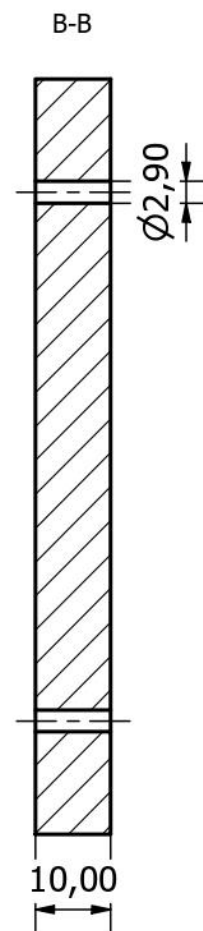
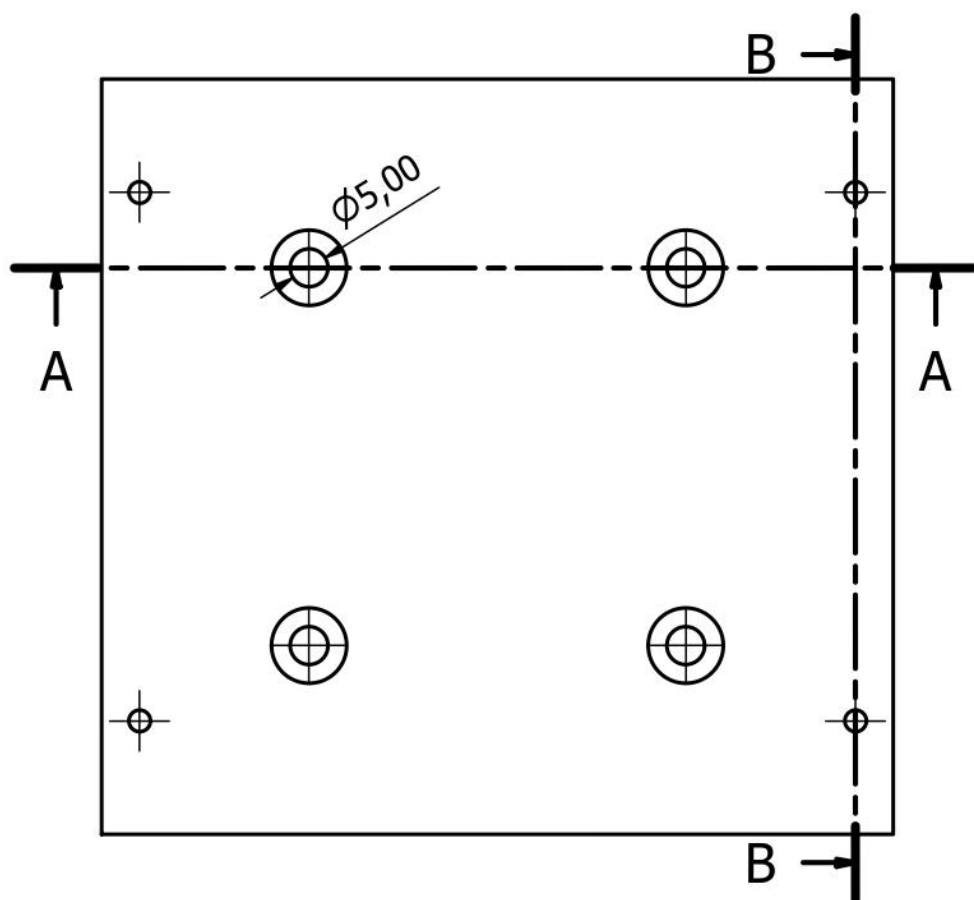
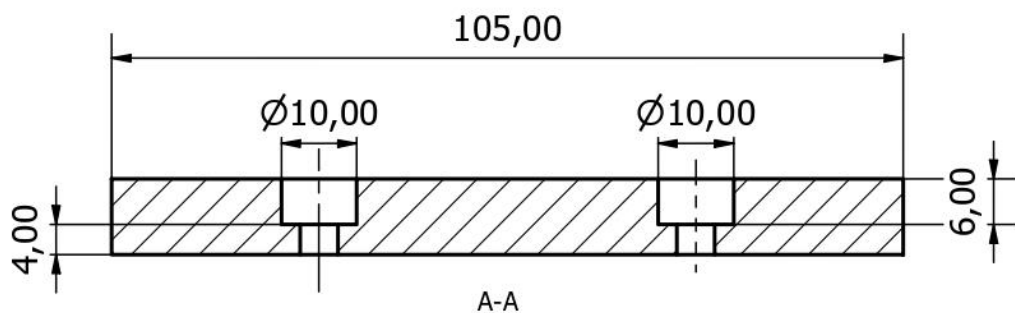
	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA FABRICACIÓN DE MICROFIBRAS MEDIANTE ELECTROSPINNING			
	NOMBRE DE PIEZA	PARED FRONTAL DE LA CAJA DEL SISTEMA XYZ		
	AUTOR	JOSE IGNACIO G ^a -GANGES BAIGET		
	FECHA DE EMISIÓN	10/03/2021	Nº DE PLANO	17
	FORMATO	A4	MATERIAL	Plástico PMMA
	ESCALA	1 : 2	SISTEMA	

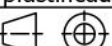


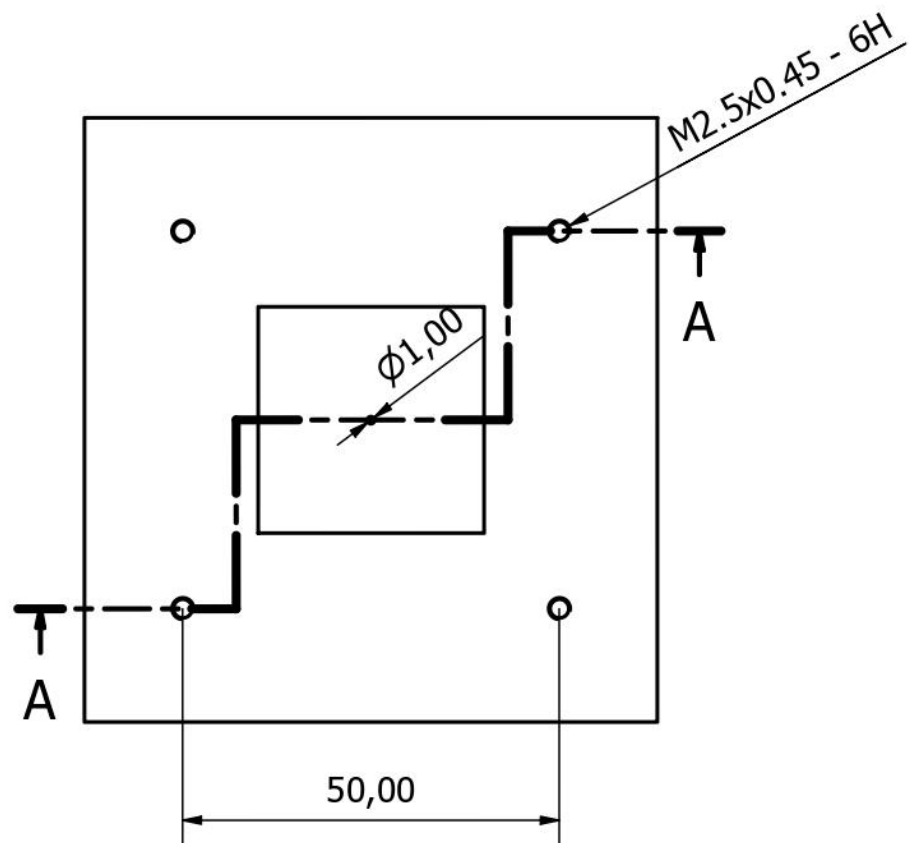
	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA FABRICACIÓN DE MICROFIBRAS MEDIANTE ELECTROSPINNING			
	NOMBRE DE PIEZA	PARED LATERAL DE LA CAJA DEL SISTEMA XYZ		
	AUTOR	JOSE IGNACIO G ^a -GANGES BAIGET		
	FECHA DE EMISIÓN	10/03/2021	Nº DE PLANO	18
	FORMATO	A4	MATERIAL	Plástico PMMA
	ESCALA	1 : 4	SISTEMA	 

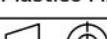


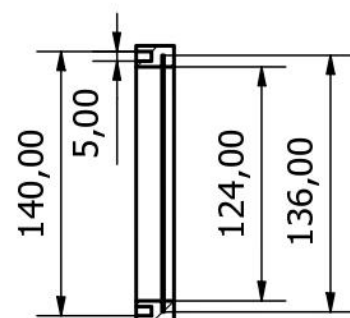
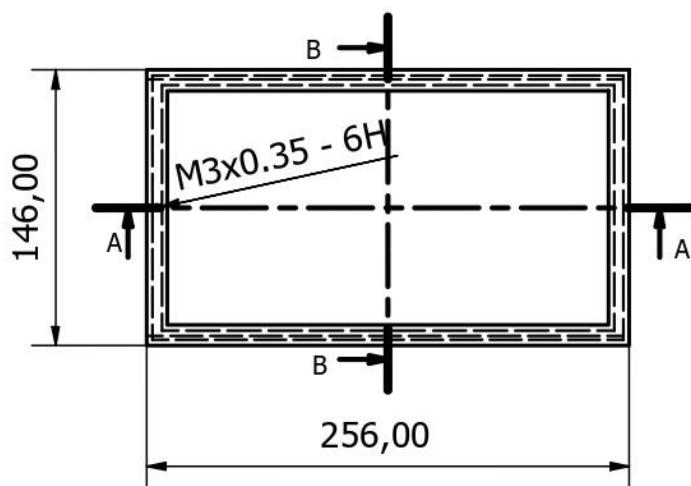
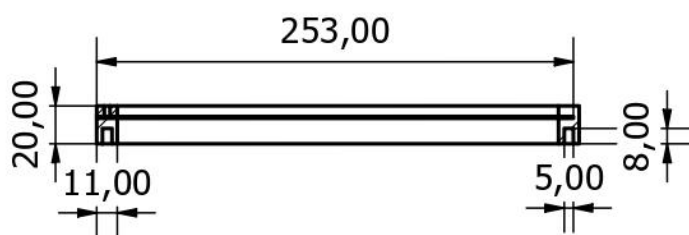
	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA FABRICACIÓN DE MICROFIBRAS MEDIANTE ELECTROSPINNING			
	NOMBRE DE PIEZA	BASE DE LA CAJA DEL SISTEMA XYZ		
	AUTOR	JOSE IGNACIO G ^a -GANGES BAIGET		
	FECHA DE EMISIÓN	10/03/2021	Nº DE PLANO	19
	FORMATO	A4	MATERIAL	Plástico PMMA
	ESCALA	1 : 4	SISTEMA	



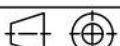
 	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA FABRICACIÓN DE MICROFIBRAS MEDIANTE ELECTROSPINNING			
	NOMBRE DE PIEZA	ADAPTADOR DE UNIÓN DEL SISTEMA XYZ		
	AUTOR	JOSE IGNACIO G ^a -GANGES BAIGET		
	FECHA DE EMISIÓN	10/03/2021	Nº DE PLANO	20
	FORMATO	A4	MATERIAL	PVC, no plastificado
	ESCALA	1 : 1	SISTEMA	

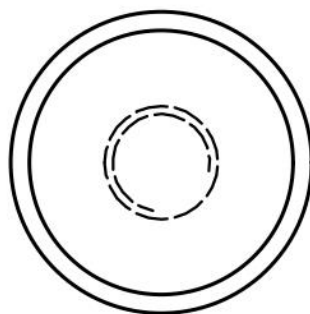
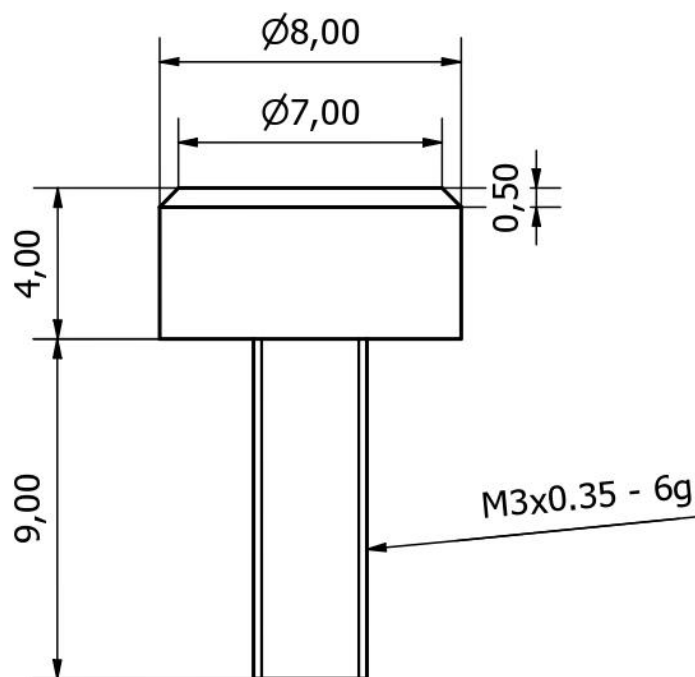


	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA FABRICACIÓN DE MICROFIBRAS MEDIANTE ELECTROSPINNING			
	NOMBRE DE PIEZA	AISLANTE DEL CONTRAELECTRODO SISTEMA XYZ		
	AUTOR	JOSE IGNACIO GA-GANGES BAIGET		
	FECHA DE EMISIÓN	10/03/2021	Nº DE PLANO	21
	FORMATO	A4	MATERIAL	Plástico ABS
	ESCALA	1 : 1	SISTEMA	

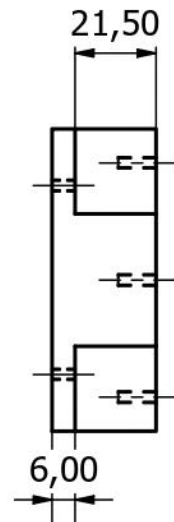
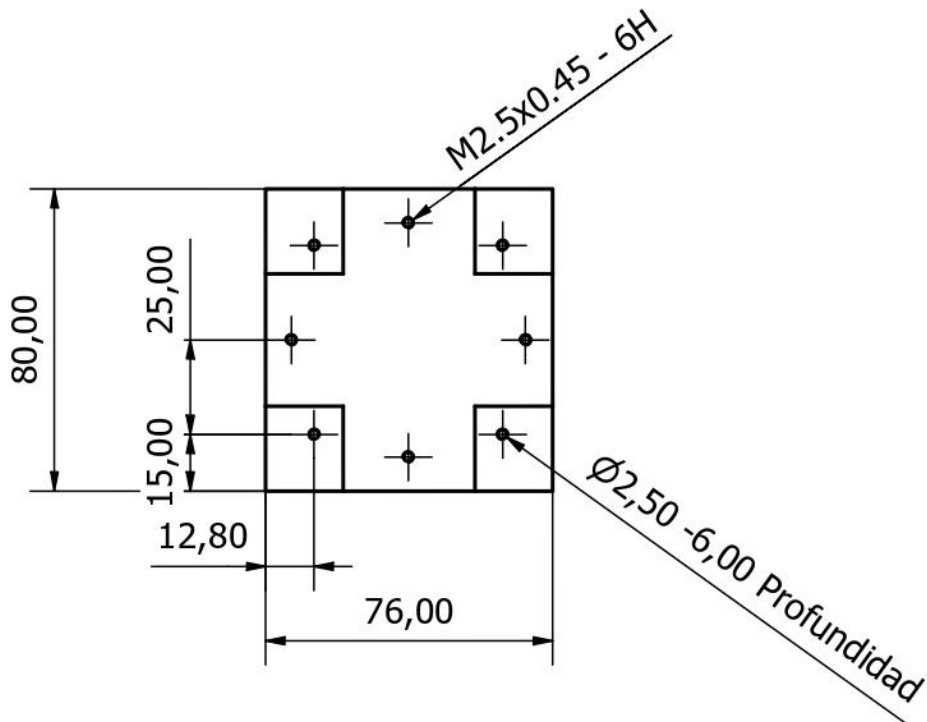
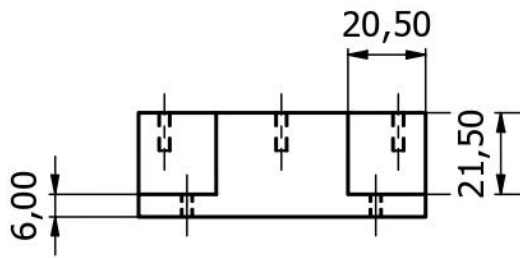


DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA FABRICACIÓN DE MICROFIBRAS MEDIANTE ELECTROSPINNING

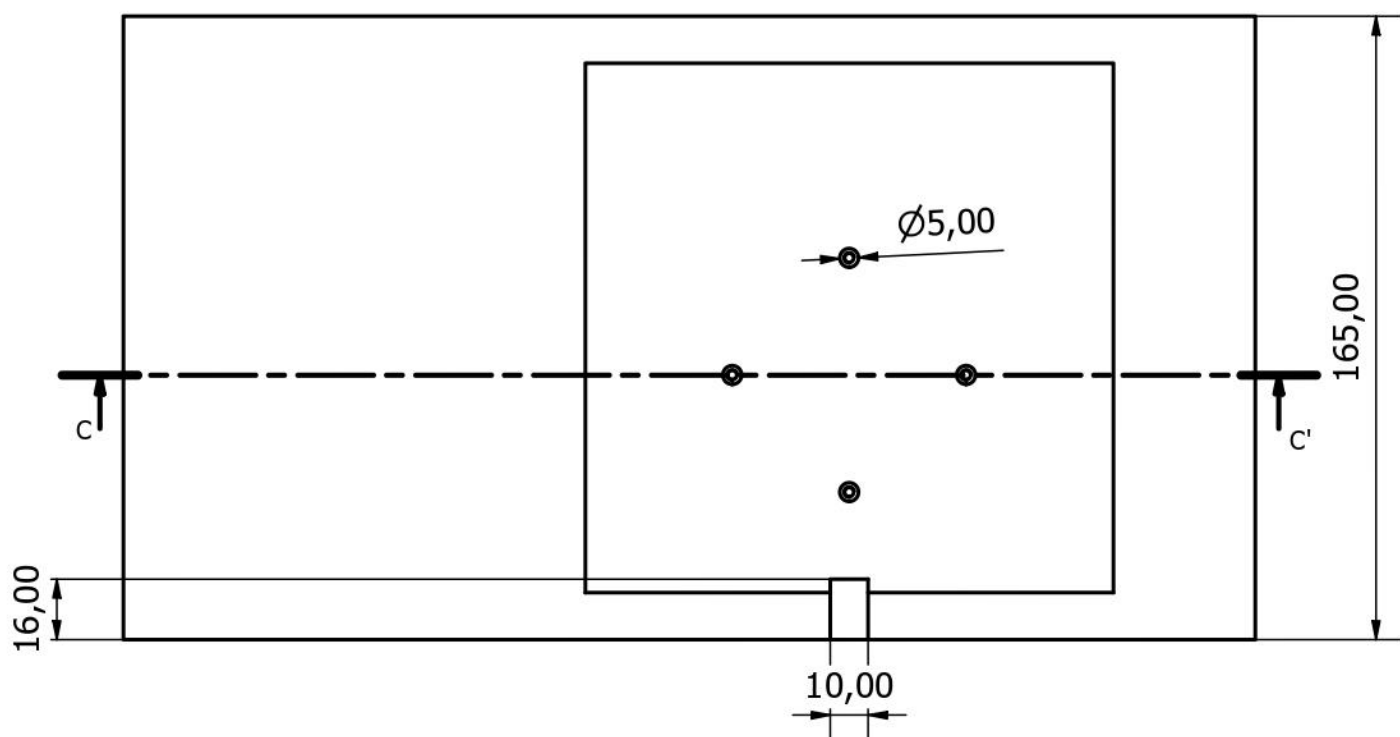
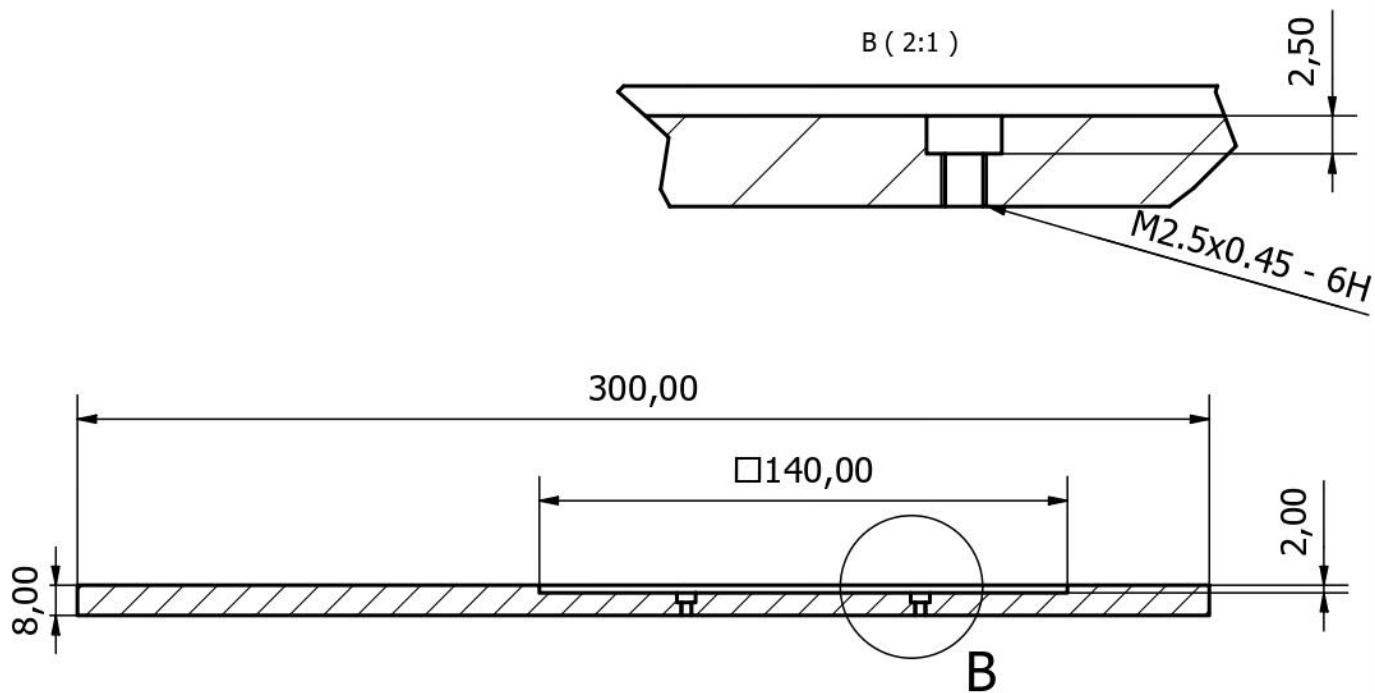
NOMBRE DE PIEZA		SOPORTE DE LA PLETINA DE ALUMINIO	
AUTOR		JOSE IGNACIO G ^a -GANGES BAIGET	
FECHA DE EMISIÓN	10/03/2021	Nº DE PLANO	22
FORMATO	A4	MATERIAL	Plástico ABS
ESCALA	1 : 4	SISTEMA	



	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA FABRICACIÓN DE MICROFIBRAS MEDIANTE ELECTROSPINNING			
	NOMBRE DE PIEZA	AJUSTE DE LA PLETINA DE ALUMINIO		
	AUTOR	JOSE IGNACIO G ^a -GANGES BAIGET		
	FECHA DE EMISIÓN	10/03/2021	Nº DE PLANO	23
	FORMATO	A4	MATERIAL	Nilón 6/6
	ESCALA	5 : 1	SISTEMA	



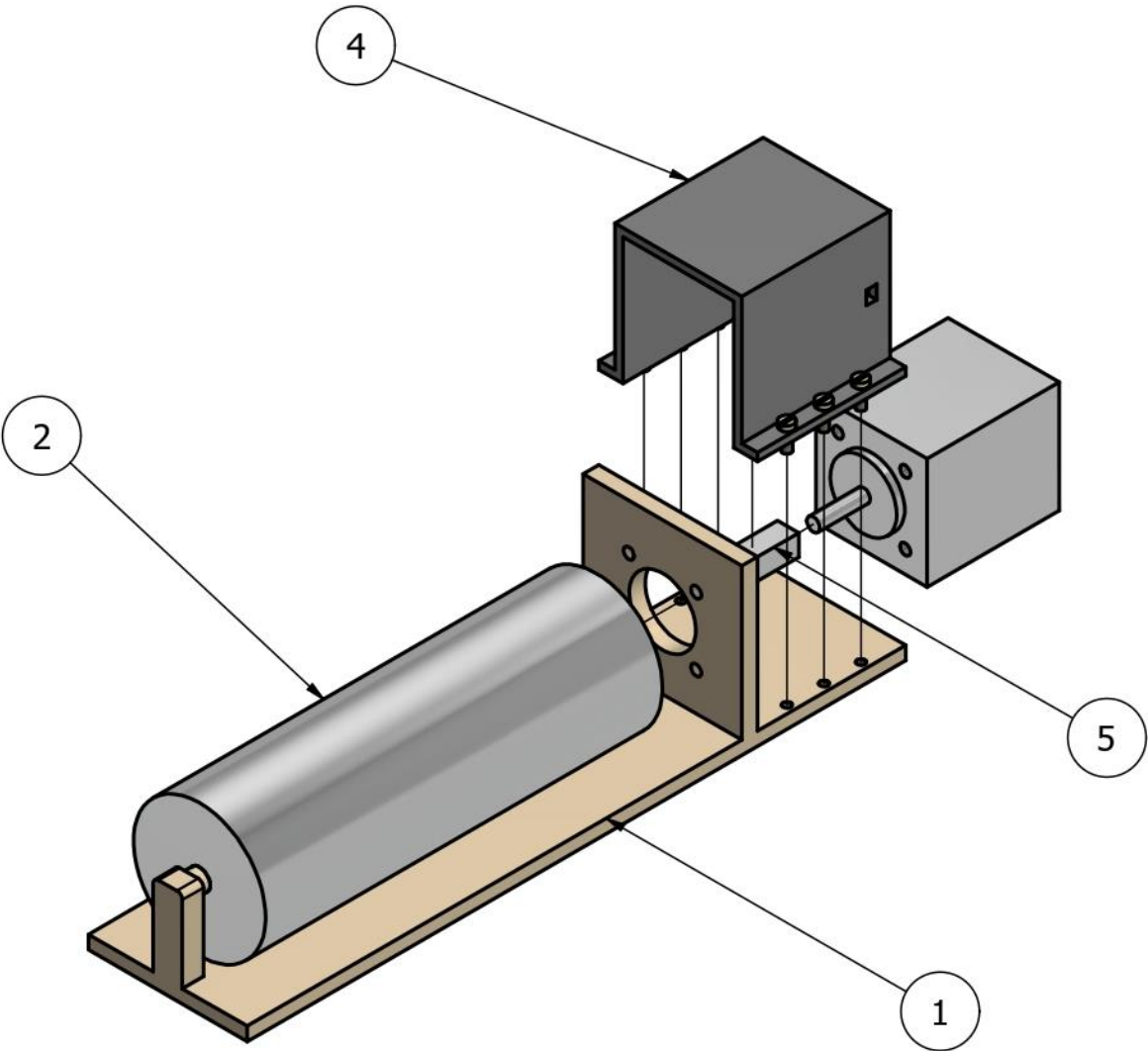
	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA FABRICACIÓN DE MICROFIBRAS MEDIANTE ELECTROSPINNING			
	NOMBRE DE PIEZA	SOPORTE DEL COLECTOR PLANO MÓVIL		
	AUTOR	JOSE IGNACIO G ^a -GANGES BAIGET		
	FECHA DE EMISIÓN	10/03/2021	Nº DE PLANO	24
	FORMATO	A4	MATERIAL	Plástico ABS
	ESCALA	1:2	SISTEMA	



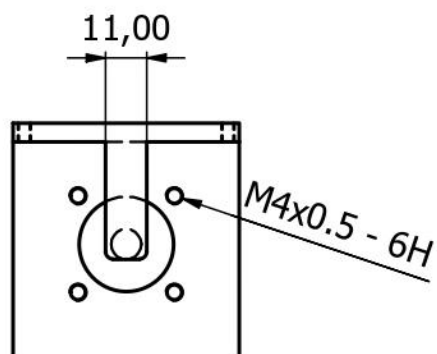
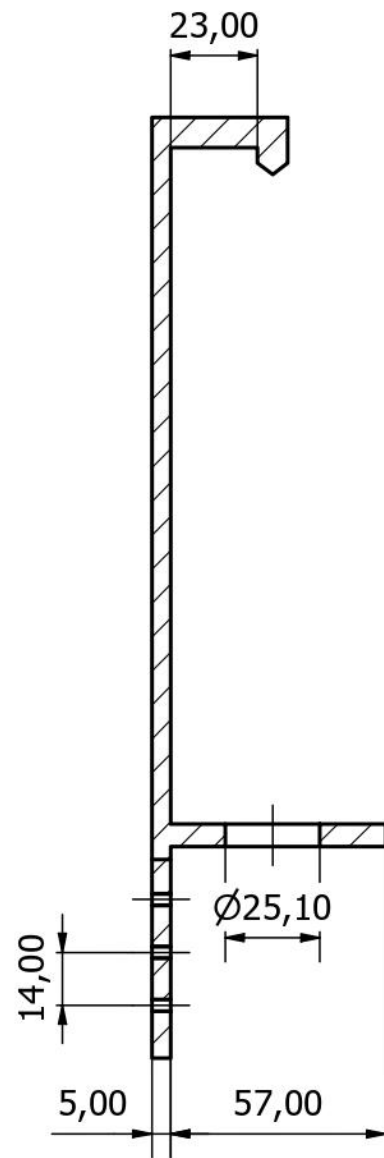
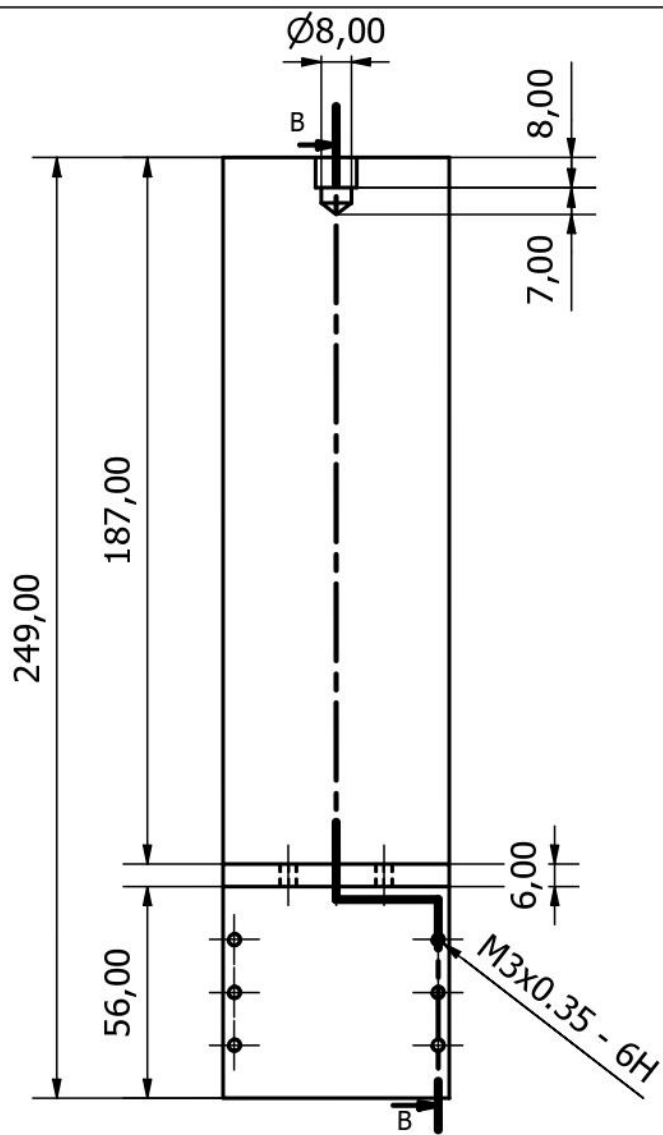
DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA FABRICACIÓN DE MICROFIBRAS MEDIANTE ELECTROSPINNING

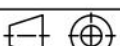
NOMBRE DE PIEZA	SOPORTE DEL COLECTOR PLANO MÓVIL		
AUTOR	JOSE IGNACIO G ^a -GANGES BAIGET		
FECHA DE EMISIÓN	10/03/2021	Nº DE PLANO	25
FORMATO	A4	MATERIAL	Plástico ABS
ESCALA	1:2	SISTEMA	

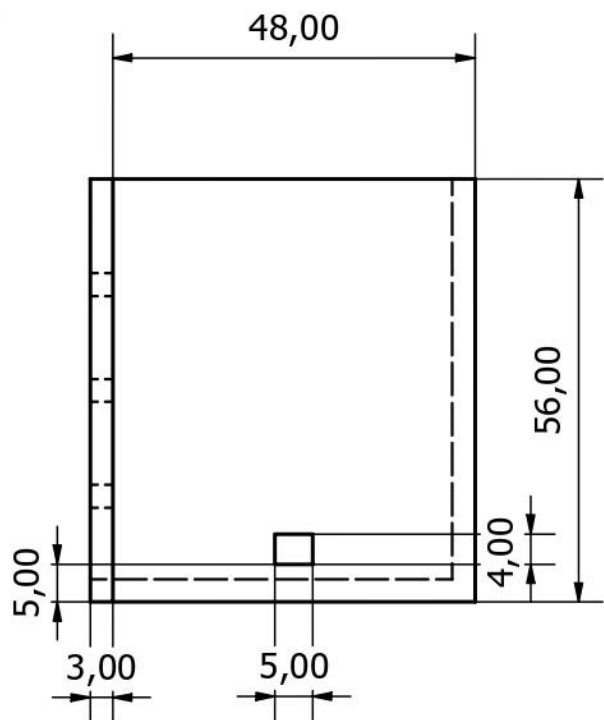
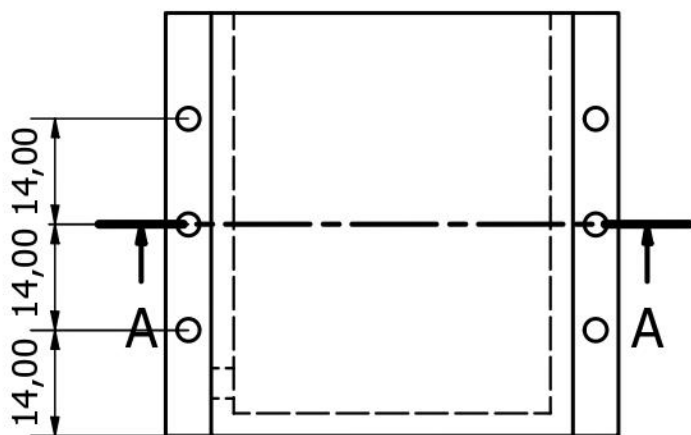
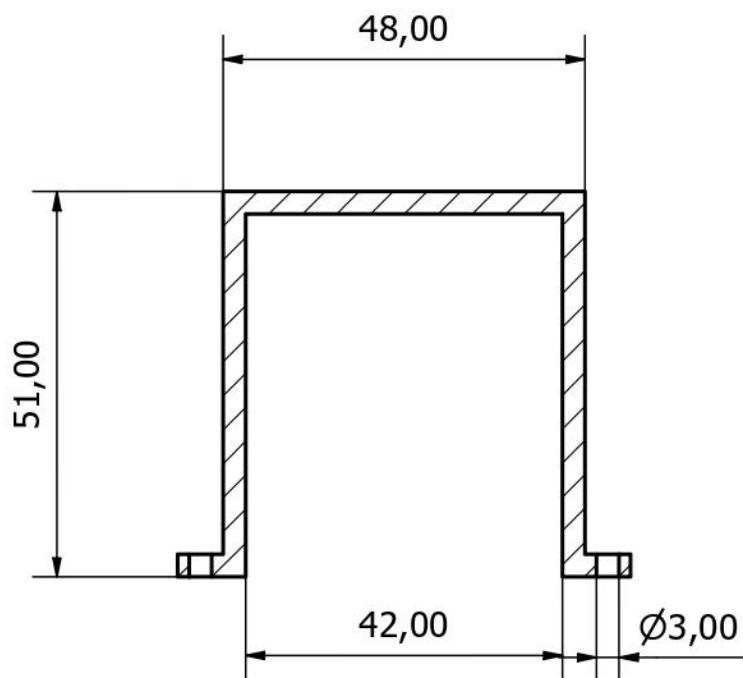
LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	1	BASE DEL SOPORTE DEL DOLECTOR GIRATORIO
2	1	COLECTOR GIRATORIO
4	1	AISLAMIENTO DEL MOTOR DEL COLECTOR
5	1	ACOPLAMIENTO DEL EJE DEL MOTOR



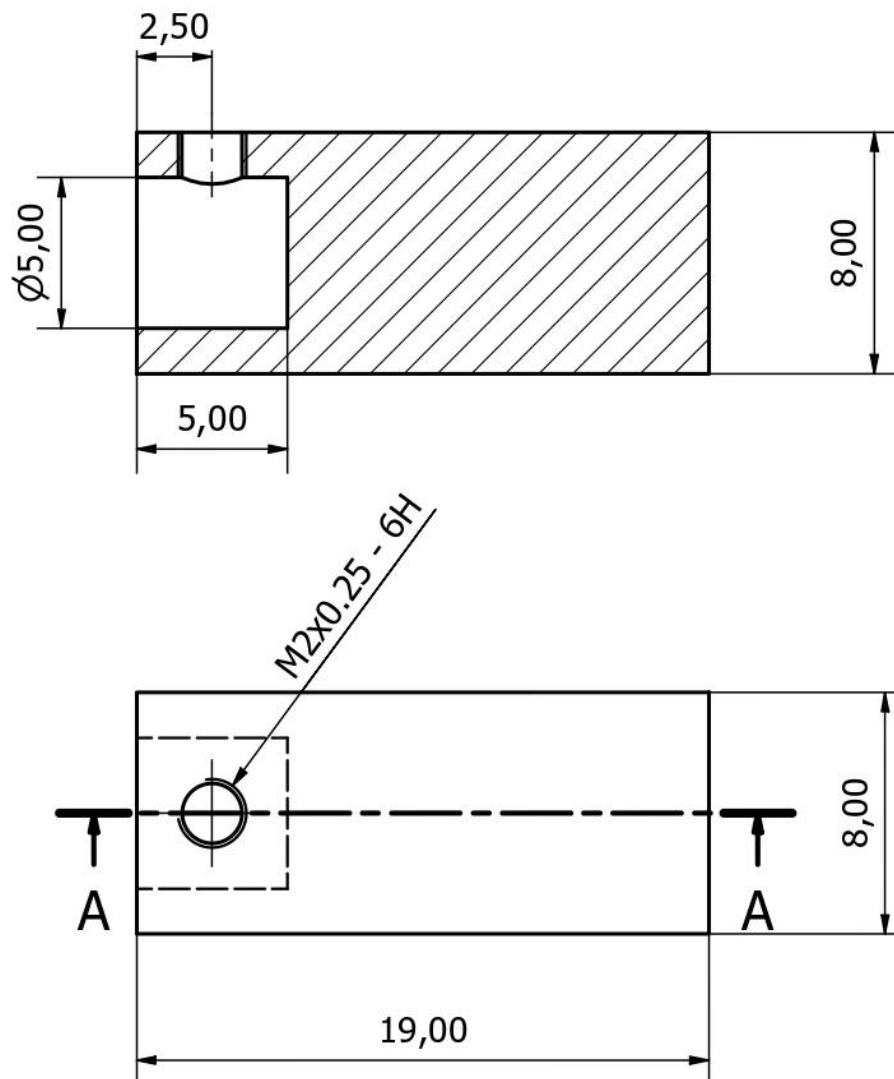
	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA FABRICACIÓN DE MICROFIBRAS MEDIANTE ELECTROSPINNING			
	NOMBRE DE PIEZA	ENSAMBLAJE DEL COLECTOR ROTATORIO		
	AUTOR	JOSE IGNACIO Gª-GANGES BAIGET		
	FECHA DE EMISIÓN	11/03/2021	Nº DE PLANO	06
	FORMATO	A4	MATERIAL	
	ESCALA	1 : 2	SISTEMA	



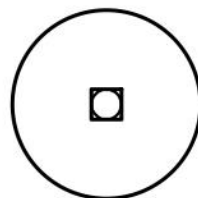
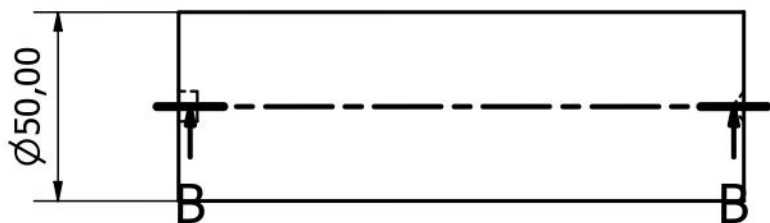
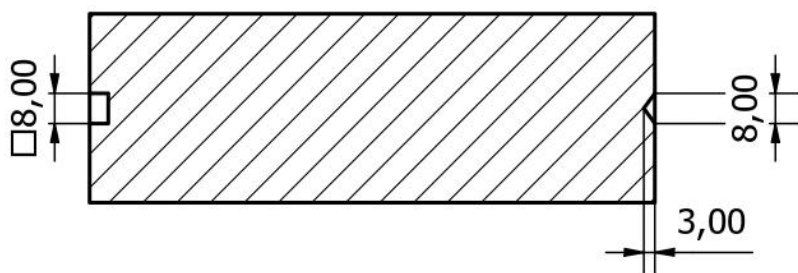
	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA FABRICACIÓN DE MICROFIBRAS MEDIANTE ELECTROSPINNING			
	NOMBRE DE PIEZA	BASE DEL SOPORTE DEL COLECTOR GIRATORIO		
	AUTOR	JOSE IGNACIO G ^a -GANGES BAIGET		
	FECHA DE EMISIÓN	10/03/2021	Nº DE PLANO	26
	FORMATO	A4	MATERIAL	Plástico ABS
	ESCALA	1 : 2	SISTEMA	



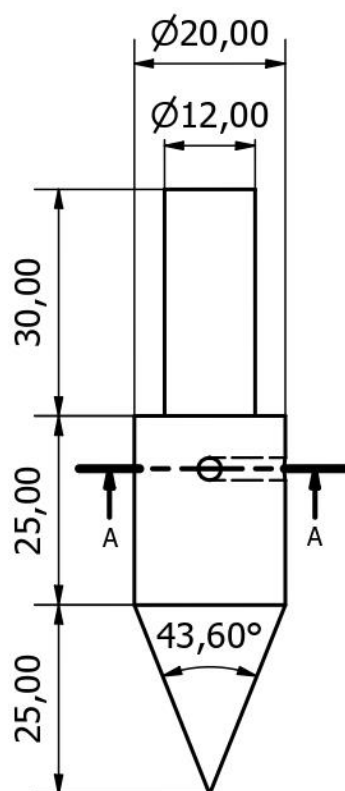
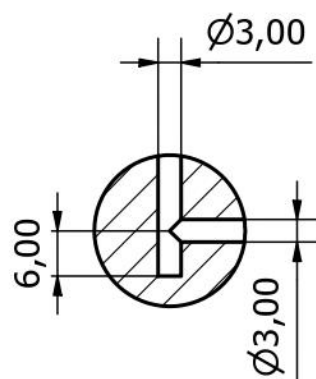
	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA FABRICACIÓN DE MICROFIBRAS MEDIANTE ELECTROSPINNING			
	NOMBRE DE PIEZA	AISLAMIENTO DEL MOTOR DEL COLECTOR		
	AUTOR	JOSE IGNACIO G ^a -GANGES BAIGET		
	FECHA DE EMISIÓN	10/03/2021	Nº DE PLANO	27
	FORMATO	A4	MATERIAL	PVC, no plastificado
	ESCALA	1 : 1	SISTEMA	



	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA FABRICACIÓN DE MICROFIBRAS MEDIANTE ELECTROSPINNING			
	NOMBRE DE PIEZA	ACOPLAMIENTO DEL EJE DEL MOTOR		
	AUTOR	JOSE IGNACIO G ^a -GANGES BAIGET		
	FECHA DE EMISIÓN	10/03/2021	Nº DE PLANO	28
	FORMATO	A4	MATERIAL	Aluminio 6061
	ESCALA	4 : 1	SISTEMA	 

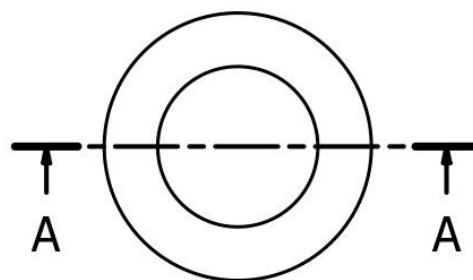
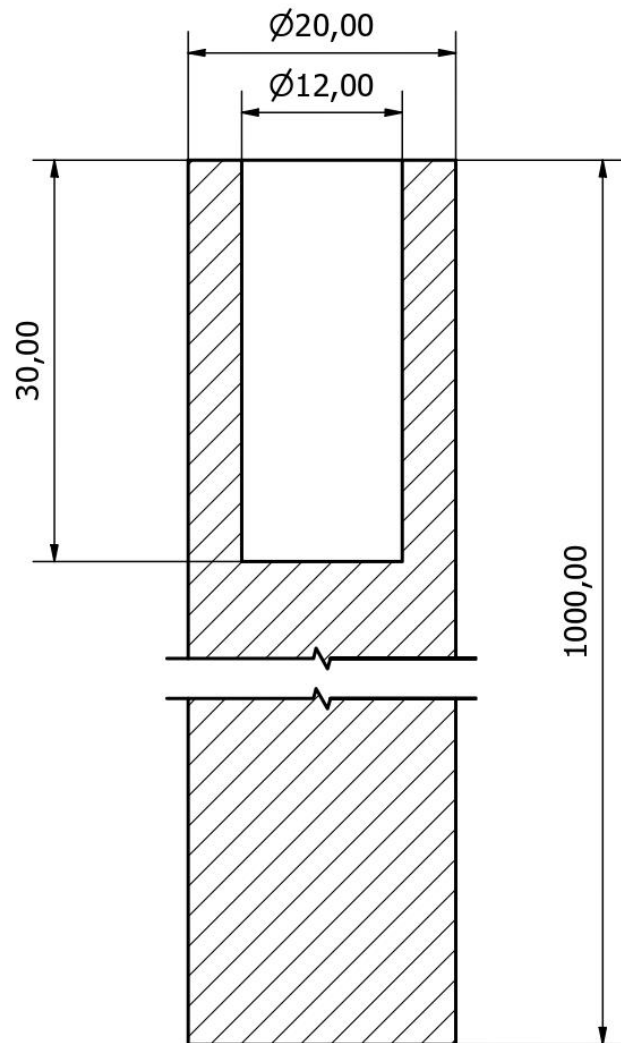


	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA FABRICACIÓN DE MICROFIBRAS MEDIANTE ELECTROSPINNING			
	NOMBRE DE PIEZA			
	AUTOR		JOSE IGNACIO G ^a -GANGES BAIGET	
	FECHA DE EMISIÓN		10/03/2021	Nº DE PLANO 29
	FORMATO		A4	MATERIAL Aluminio 6061
	ESCALA		1 : 2	SISTEMA



**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA
FABRICACIÓN DE MICROFIBRAS MEDIANTE ELECTROSPINNING**

NOMBRE DE PIEZA	PUNTA DE LA LANZA DE DESCARGA		
AUTOR	JOSE IGNACIO G ^a -GANGES BAIGET		
FECHA DE EMISIÓN	10/03/2021	Nº DE PLANO	30
FORMATO	A4	MATERIAL	Aluminio 6061
ESCALA	1 : 1	SISTEMA	



	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA FABRICACIÓN DE MICROFIBRAS MEDIANTE ELECTROSPINNING			
	NOMBRE DE PIEZA	VARA DE LA LANZA DE DESCARGA		
	AUTOR	JOSE IGNACIO Gª-GANGES BAIGET		
	FECHA DE EMISIÓN	10/03/2021	Nº DE PLANO	31
	FORMATO	A4	MATERIAL	Madera (arce)
	ESCALA	2 : 1	SISTEMA	

ANEXO II: HOJA DE CARACTERÍSTICAS DEL DISPOSITIVO DE MOVIMIENTO EN LOS EJES XY

PIMag® Linear Stage

Inexpensive, with Linear Motor



V-408

- Crossed roller guide for high load capacity
- Minimum incremental motion 20 nm
- Bidirectional repeatability $\pm 0.1 \mu\text{m}$
- Compact design
- Low price
- Iron core PIMag® linear motor developed by PI

PIMag® linear motor

Linear motors are electromagnetic direct drives. They dispense with mechanical components in the drivetrain and transfer the drive force directly and friction-free to the motion platform. The drives reach high velocities and accelerations. Iron core motors are used when forces and accelerations need to be achieved in a limited installation space. The design with iron cores maximizes the magnetic forces and ensures high thermal stability of the drive.

PIMag®

PI develops proprietary magnetic motors if positioning systems need to achieve specific performance characteristics that cannot be reached by using drive components currently available on the market, for example, to achieve a high force density or a compact design. The motors developed by PI are identified by the PIMag® brand name.

Crossed roller guide

With crossed roller guides, the point contact of the balls in ball guides is replaced by line contact of the hardened rollers. Consequently, they are considerably stiffer and need less preload, which reduces friction and allows smoother running. Crossed roller guides are also distinguished by high guiding accuracy and load capacity. Force-guided rolling element cages prevent cage creep.

Direct position measuring

Position measuring is performed with the highest accuracy directly at the motion platform so that nonlinearity, mechanical play, or elastic deformation have no influence on position measuring.

Application fields

Industry and research. Automation technology with high demands on dynamics and precision.

Specifications

Motion and positioning	V-408	Unit	Tolerance
Active axes	X		
Travel range	V-408.132020: 25 V-408.232020: 50	mm	
Integrated sensor	Incremental linear encoder		
Sensor signal periods	80	μm	
Sensor resolution	$10^{(1)}$	nm	typ.
Min. incremental motion	20	nm	typ.
Bidirectional repeatability	± 0.1	μm	typ.
Pitch / Yaw	± 150	μrad	typ.
Straightness / flatness	± 4	μm	typ.
Velocity	V-408.132020: 0.5 V-408.232020: 0.7	m/s	max.

Mechanical properties	V-408	Unit	Tolerance
Load capacity in Z	80	N	max.
Permissible lateral force	80	N	max.
Permissible torque in θ_x	2.3	N m	max.
Permissible torque in θ_y, θ_z	1.3	N m	max.
Moved mass	V-408.132020: 0.23 V-408.232020: 0.3	kg	
Mass without cable	V-408.132020: 0.5 V-408.232020: 0.65	kg	
Overall mass	V-408.132020: 0.79 V-408.232020: 0.94	kg	
Guide type	Crossed roller guide with anti-creep system		

Drive properties	V-408	Unit	Tolerance
Drive type	PIMag® linear motor, iron core, 3-phase		
Intermediate circuit voltage	48	VDC	max.
Peak force	14	N	typ.
Nominal force	5	N	typ.
Peak current, RMS	3.2	A	typ.
Nominal current, RMS	1.1	A	typ.
Force constant, RMS	4.60	N/A	typ.
Resistance phase-phase	2.46	Ω	typ.
Inductance phase-phase	1.94	mH	typ.
Back EMF phase-phase	2.81	V s/m	max.
Pole pitch N-N	18	mm	
Permissible temperature for positioner components	80	$^{\circ}\text{C}$	max.

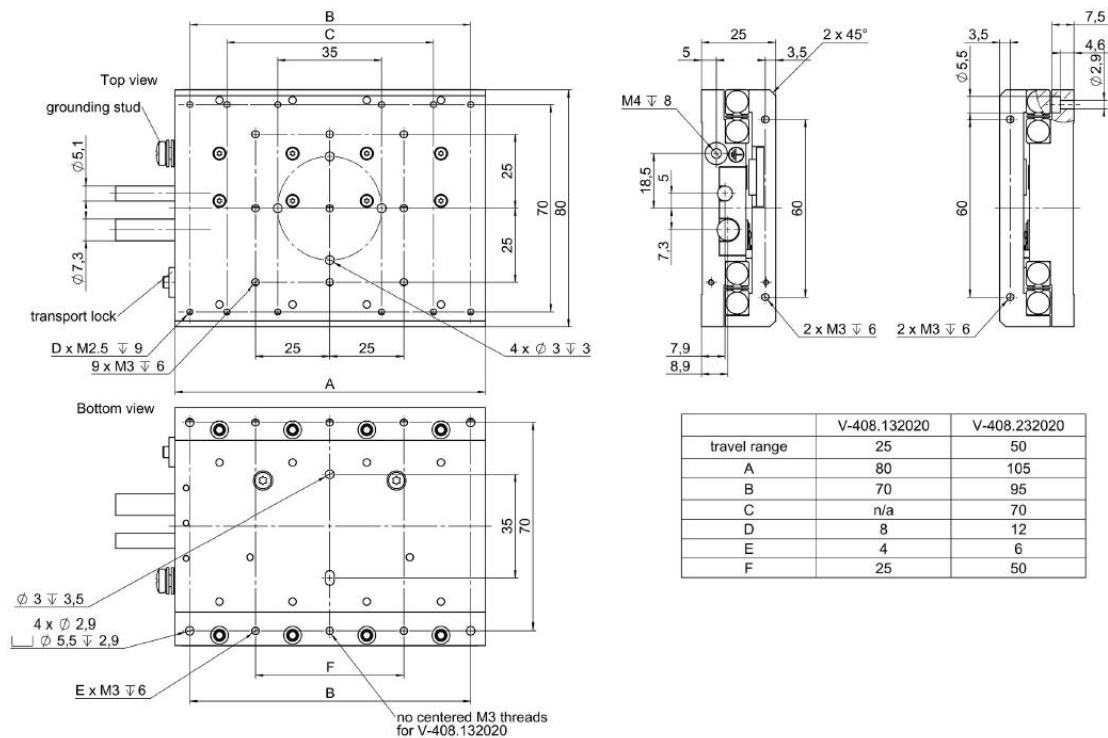
26.05.2020

Miscellaneous	V-408	Unit	Tolerance
Operating temperature range	10 to 50	°C	
Humidity	20 – 90% rel., not condensing		
Material	Aluminum, black anodized		
Motor connector	HD D-sub 26 (m)		
Sensor connector	D-sub 15 (f)		
Cable length	2	m	

(1) interpolated

The specifications apply to room temperature (22 °C ±3 °C), specifications may deviate outside of this range.

Drawings / Images



V-408, dimensions in mm

Ordering Information

V-408.132020

PIMag® Linear stage, 80 mm width, 25 mm travel range, 80 N load capacity, incremental linear encoder with sin/cos signal transmission, 80 µm sensor signal period, iron core 3-phase linear motor, 48 V

V-408.232020

PIMag® Linear stage, 80 mm width, 50 mm travel range, 80 N load capacity, incremental linear encoder with sin/cos signal transmission, 80 µm sensor signal period, iron core 3-phase linear motor, 48 V

26.05.2020

ANEXO III: HOJA DE CARACTERÍSTICAS DEL DISPOSITIVO DE MOVIMIENTO EN EL EJE Z

Precision Z Stage

Compact Multi-Axis Combinations with Linear and Rotation Stages



L-310

- Travel range 26 mm (1")
- High-resolution encoder
- DC, BLDC, and stepper motors
- Zero-play ball screw
- Load capacity to 10 kg
- Variants suitable for vacuum available

Precision-class Z stage

High guiding accuracy and stiffness due to ball screws and crossed roller guides. Stress-relieved aluminum base for highest stability. Vacuum-compatible product variants on request. Noncontact limit and reference switches (Hall effect). Reference switch with direction sensing in the middle of the travel range.

Drive types

- .xxSD variant: 2-phase stepper motor for high torque even at low velocities and high resolution.
- .xxAD variant: ActiveDrive DC motor for high velocity: Control via pulse-width-modulated (PWM) signals, the operating voltage is achieved via an amplifier integrated in the motor housing.
- .023xxx variant: DC servo motor
- .025xxx variant: Brushless DC motor (BLDC) for high rotational velocity. Smooth running and low wear, therefore longer lifetime.

Position measuring

- Versions with DC motor: Rotary encoder
- Optional: Integrated linear encoder, installed centrally.

Highly accurate position measuring with incremental linear encoder

Noncontact optical encoders measure the position directly at the platform with the greatest accuracy. Nonlinearity, mechanical play or elastic deformation have no influence on the measurement.

Minimum incremental motion and slow motion

In conjunction with the SMC Hydra controller, versions with stepper motor and integrated linear encoder (L-310.xASD) achieve repeatable minimum incremental motion in the range of the sensor resolution. The same configuration achieves constant low velocities of a few sensor increments per second.

25.06.2020



Application fields

Precision positioning in industry and research, high duty cycles.

Specifications

Motion	L-310.2xSD	L-310.2xAD	L-310.023xxx	L-310.025xxx	Unit	Tolerance
Active axis	Z	Z	Z	Z		
Travel range	26	26	26	26	mm	
Pitch / yaw	±150	±150	±150	±150	μrad	Typ.
Straightness / flatness	±3	±3	±3	±3	μm	Typ.
Velocity	15	20	50	50	mm/s	Max.

Positioning: L-310.xxxD	L-310.20SD	L-310.2ASD	L-310.20AD	L-310.24AD	Unit	Tolerance
Design resolution	5	0.005	0.061	0.05	μm	
Integrated sensor	–	Incremental linear encoder	Rotary encoder	Incremental linear encoder		
Sensor signal	–	Sin/cos, 1 V peak-peak, 20 μm signal period	A/B quadrature, TTL	A/B quadrature, TTL		
Sensor resolution rotary encoder	–	–	16384	–	Cts./rev.	
Sensor resolution linear encoder	–	–	–	0.05	μm	
Minimum incremental motion	0.3	0.05	0.3	0.3	μm	Typ.
Unidirectional repeatability	0.3	0.1	0.3	0.3	μm	Typ.
Bidirectional repeatability	±2	±0.2	±2	±0.2	μm	Typ.
Limit switches	Hall effect, N/C contact, 5V, NPN	Hall effect, N/C contact, 5V, NPN	Hall effect, N/C contact, 5V, TTL	Hall effect, N/C contact, 5V, TTL		
Reference switch repeatability	2	2	2	2	μm	Typ.

Positioning: L-310.02x2xx	L-310.023211	L-310.023212	L-310.023232	L-310.025212	L-310.025232	Unit	Tolerance
Design resolution	0.025*	0.05	0.061	0.05	0.05	μm	
Integrated sensor	Incremental linear encoder	Incremental linear encoder	Rotary encoder	Incremental linear encoder, rotary encoder	Rotary encoder		
Sensor signal	Sin/cos, 1 V peak-peak, 20 μm signal period	A/B quadrature, TTL	A/B quadrature, TTL	A/B quadrature, TTL	A/B quadrature, TTL		
Sensor resolution rotary encoder	–	–	16384	20000	20000	Cts./rev.	
Sensor resolution linear encoder	–	0.05	–	0.05	–	μm	
Minimum incremental motion	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	μm	Typ.
Unidirectional repeatability	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	μm	Typ.
Bidirectional repeatability	±0.2	±0.2	±2	±0.2	±2	μm	Typ.
Limit switches	Hall effect, N/C contact, 5V, NPN	Hall effect, N/C contact, 5V, NPN	Hall effect, N/C contact, 5V, NPN	Hall effect, N/C contact, 5V, NPN	Hall effect, N/C contact, 5V, NPN		
Reference switch repeatability	2	2	2	2	2	μm	Typ.

25.06.2020

Mechanical properties	L-310.2xSD	L-310.2xAD	L-310.023xxx	L-310.025xxx	Unit	Tolerance
Drive screw	Ball screw	Ball screw	Ball screw	Ball screw		
Drive screw pitch	1	1	1	1	mm	
Guide	Crossed roller guides with anti-creep system	Crossed roller guides with anti-creep system	Crossed roller guides with anti-creep system	Crossed roller guides with anti-creep system		
Holding force, power off	50	30	30	30	N	Max.
Permissible lateral force, F _x	100	100	100	100	N	Max.
Permissible lateral force, F _y	50	50	50	50	N	Max.
Load capacity (push/pull force)	55	30	100	100	N	Max.
Permissible torque in θ_x (M _x)	40	40	40	40	Nm	Max.
Permissible torque in θ_y (M _y)	80	80	80	80	Nm	Max.
Permissible torque in θ_z (M _z)	80	80	80	80	Nm	Max.

Drive properties	L-310.2xSD	L-310.2xAD	L-310.023xxx	L-310.025xxx	Unit	Tolerance
Motor type	2-phase stepper motor	ActiveDrive DC motor (PWM)	DC motor	BLDC motor		
Operating voltage, nominal	24	24	24	24	V	Nom.
Operating voltage, max.	48	48	48	48	V	Max.
Step resolution	200	—	—	—	Full steps/rev	

Miscellaneous	L-310.2xSD	L-310.2xAD	L-310.023xxx	L-310.025xxx	Unit	Tolerance
Operating temperature range	5 to 40	5 to 40	5 to 40	5 to 40	°C	
Material	Anodized aluminum	Anodized aluminum	Anodized aluminum	Anodized aluminum		
MTBF	—	—	—	10000	h	
Mass	L-310.20SD: 2.7 L-310.2ASD: 2.8		2.7	2.7	kg	±5 %
Moved mass, unloaded	0.9	0.9	0.9	0.9	kg	±5 %
Connector	HD D-sub 26 (m) L-310.2ASD: HD D-sub 26 (m) (motor), D-sub 9 (m) (sensor) C-663.12 (single axis)	D-sub 15 (m)	L-310.023232: HD D-sub 26 (m) L-310.02321x: HD D-sub 26 (m) (motor), D-sub 9 (m) (sensor)	HD D-sub 26 (m)		
Recommended controllers/drivers	SMC Hydra (double axis) C-885 with C-663.12C885 (up to 20 axes) ACS modular controller	C-863 (single axis) C-884 (up to 6 axes) C-885 with C-863.20C885 (to 40 axes)	C-863 (single axis) C-884 (up to 6 axes) C-885 with C-863.20C885 (to 40 axes) ACS modular controller	C-891 (single axis) C-885 with C-891.11C885 (up to 20 axes) ACS modular controller		

* 200x interpolated

Connecting cables are not in the scope of delivery and must be ordered separately.
Ask about customized versions.

25.06.2020



Mechanical properties	L-310.2xSD	L-310.2xAD	L-310.023xxx	L-310.025xxx	Unit	Tolerance
Drive screw	Ball screw	Ball screw	Ball screw	Ball screw		
Drive screw pitch	1	1	1	1	mm	
Guide	Crossed roller guides with anti-creep system	Crossed roller guides with anti-creep system	Crossed roller guides with anti-creep system	Crossed roller guides with anti-creep system		
Holding force, power off	50	30	30	30	N	Max.
Permissible lateral force, F _x	100	100	100	100	N	Max.
Permissible lateral force, F _y	50	50	50	50	N	Max.
Load capacity (push/pull force)	55	30	100	100	N	Max.
Permissible torque in θ_x (M _x)	40	40	40	40	Nm	Max.
Permissible torque in θ_y (M _y)	80	80	80	80	Nm	Max.
Permissible torque in θ_z (M _z)	80	80	80	80	Nm	Max.

Drive properties	L-310.2xSD	L-310.2xAD	L-310.023xxx	L-310.025xxx	Unit	Tolerance
Motor type	2-phase stepper motor	ActiveDrive DC motor (PWM)	DC motor	BLDC motor		
Operating voltage, nominal	24	24	24	24	V	Nom.
Operating voltage, max.	48	48	48	48	V	Max.
Step resolution	200	—	—	—	Full steps/rev	

Miscellaneous	L-310.2xSD	L-310.2xAD	L-310.023xxx	L-310.025xxx	Unit	Tolerance
Operating temperature range	5 to 40	5 to 40	5 to 40	5 to 40	°C	
Material	Anodized aluminum	Anodized aluminum	Anodized aluminum	Anodized aluminum		
MTBF	—	—	—	10000	h	
Mass	L-310.20SD: 2.7 L-310.2ASD: 2.8		2.7	2.7	kg	±5 %
Moved mass, unloaded	0.9	0.9	0.9	0.9	kg	±5 %
Connector	HD D-sub 26 (m) L-310.2ASD: HD D-sub 26 (m) (motor), D-sub 9 (m) (sensor)	D-sub 15 (m)	L-310.023232: HD D-sub 26 (m) L-310.02321x: HD D- sub 26 (m) (motor), D-sub 9 (m) (sensor)	HD D-sub 26 (m)		
Recommended controllers/drivers	C-663.12 (single axis) SMC Hydra (double axis) C-885 with C-663.12C885 (up to 20 axes) ACS modular controller	C-863 (single axis) C-884 (up to 6 axes) C-885 with C-863.20C885 (to 40 axes)	C-863 (single axis) C-884 (up to 6 axes) C-885 with C-863.20C885 (to 40 axes) ACS modular controller	C-891 (single axis) C-885 with C-891.11C885 (up to 20 axes) ACS modular controller		

* 200x interpolated
Connecting cables are not in the scope of delivery and must be ordered separately.
Ask about customized versions.

25.06.2020



Ordering Information

L-310.20SD

Precision Z stage, 26 mm travel range, 55 N load capacity, stepper motor

L-310.2ASD

Precision Z stage, 26 mm travel range, 55 N load capacity, stepper motor, linear encoder with sin/cos signal transmission, 20 µm sensor signal period

L-310.023211

Precision Z stage, 26 mm travel range, 100 N load capacity, DC motor, linear encoder with sin/cos signal transmission, 20 µm sensor signal period

L-310.023212

Precision Z stage, 26 mm travel range, 100 N load capacity, DC motor, linear encoder with A/B quadrature signal transmission, 50 nm sensor resolution

L-310.023232

Precision Z stage, 26 mm travel range, 100 N load capacity, DC motor, rotary encoder

L-310.025212

Precision Z stage, 26 mm travel range, 100 N load capacity, brushless DC motor, linear encoder with A/B quadrature signal transmission, 50 nm sensor resolution

L-310.025232

Precision Z stage, 26 mm travel range, 100 N load capacity, brushless DC motor, rotary encoder

L-310.20AD

Precision Z stage, 26 mm travel range, 30 N load capacity, ActiveDrive DC motor, rotary encoder

L-310.24AD

Precision Z stage, 26 mm travel range, 30 N load capacity, ActiveDrive DC motor, linear encoder with A/B quadrature signal transmission, 50 nm sensor resolution

ANEXO III: HOJA DE CARACTERÍSTICAS DEL DISPOSITIVO DE MOVIMIENTO EN EL EJE Z

Motion Controller for High Power Requirement

Integrated Driver for up to 4 Drive Axes with AC Servo Motor, DC Motor, Voice Coil Motor, Stepper Motor



G-901

- ACS motion controller with integrated ACS driver and integrated module for safe torque off (STO)
- Directly compatible with positioners from PI
- For AC servo motors / brushless DC motors, brushed DC motors, voice coil motors, stepper motors
- Output power per axis to 1500 W
- Many options for trajectory planning
- Upgradable to up to 8 axes in an ACS EtherCAT network

Overview

The G-901 motion controllers offer a fully integrated electronics solution with controller and driver in an industry-compatible 19" housing. The G-901 motion controller features the state-of-the-art ACS SPiiPlusEC motion controller and EtherCAT master. Integrated drivers for 2, 3, or 4 axes. Upgradable via EtherCAT to up to 8 synchronized axes (additional driver modules necessary). EtherCAT cycle and generation rate of the motion profile 2 kHz. Ethernet velocity of up to 1 GbE. Servo algorithms for advanced gantry and dual-loop control. STO safety function for safely switching off the power supply for the axes.

Encoder

Supports incremental encoders (sine/cosine or RS-422) and absolute encoders (EnDat 2.2 & 2.1, Smart-Abs, Panasonic, BiSS-A/B/C (SSI)). Depending on the application, the encoders can be led to different interfaces.

I/O lines

The digital inputs and outputs can be flexibly configured. For the evaluation of reference switches, digital inputs can alternatively be led to the motor connectors. Depending on the application, the inputs for the limit and reference switches can be configured for 5 V or 24 V and also as PNP or NPN inputs. Position synchronous trigger signals with up to 10 Mhz output frequency enable a precise process control at high travel velocities (position event generator – PEG).

Communication, software support

The motion controller works as master in an internal EtherCAT network. The open network architecture also enables the integration of components from other manufacturers. For communication with a PC, the motion controller is equipped with an Ethernet TCP/IP and a RS-232 interface. ACS SPiiPlus MMI Application Studio, a modern user software with tools for control tuning and visualizing is included in the scope of delivery. Programming libraries are available for C/C++, COM, .NET, and MATLAB.

27.11.2020



Configuration

If the types of positioner are specified when ordering, all connectors of the G-901 are suitably preconfigured at delivery. The default factory configuration, without positioner-specific adjustments, is detailed in the specifications. For subsequent adjustments, please contact our service department.

Specifications

	G-901.Rx19 / G-901.Rx197 / G-901.Rx199
Function	ACS SPiiPlusEC controller with up to two ACS UDMcb driver modules including ACS components for STO x codes the intermediate circuit voltage (48 V / 96 V), for details see "Electrical properties"
Version	19" rack mount with connectors for positioners from PI
Motor types	2 and 3-phase AC servo motors / brushless DC motors, brushed DC motors, voice coil motors, stepper motors
Number of drive axes	2 / 3 / 4 Upgradable via EtherCAT with additional driver modules to up to 8 synchronized axes.
	G-901.Rx19 / G-901.Rx197 / G-901.Rx199
Controller type	Cascading PIV controller structure with velocity and acceleration feedforward control
Sampling rate current control	20 kHz
Control algorithms	Multiple Input Multiple Output (MIMO) gantry control, dual loop control
Motion profiles/trajectory planning	Multi-axis point-to-point, jog, tracking, and sequential multi-point motion Multi-axis segmented motion with look-ahead Arbitrary path with PVT cubic interpolation Third order profiles (S-Curve) Smooth on-the-fly change of target position or velocity Inverse/forward kinematics and coordinate transformations (at application level) Master-slave with position and velocity locking (electronic gear/cam)
Encoder	1 x per integrated axis, supported types: Incremental: 1V _{ss} , RS-422 Absolute: EnDat 2.2 & 2.1, Smart-Abs, Panasonic, BiSS-A/B/C (SSI)
Limit switches	2 x per integrated axis Default: 5 V sinking (NPN) Optional configuration: 24 V; sourcing (PNP)
Reference switch	Default: 1 x per integrated axis, 5 V sinking (NPN) Optional configuration: 24 V; sourcing (PNP); use as digital multipurpose inputs on digital I/O connector (HD D-sub 15 (f))
Motor brake	1 x per integrated axis Integrated PWM brake driver with current reduction for a reduced heating up of the brake
Functional safety	STO For safety applications including SIL-3 safety integrity level according to: EN/IEC 61800-5-2 Ed. 2 (Second Environment) EN/IEC 61800-5-1 IEC 61508 IEC 62061 PLe performance level and category 3 according to: EN ISO 13849-1/-2

Electrical properties	G-901.R319[x]	G-901.R4197, G-901.R4199	G-901.R519[x]
Intermediate circuit voltage	All axes: 48 V	Axes 0, 1: 96 V Axes 2, 3: 48 V (Axis 3 only with G-901.R4199) Intermediate circuit 96 V: 2000 W / 2100 W Intermediate circuit 48 V: 480 W / 580 W (max. 10 s)	All axes: 96 V
Output power intermediate circuit, continuous / peak	1000 W / 1050 W (max. 5 s)	Axes 0, 1: 500 W / 1500 W (at 96 V intermediate circuit voltage) Axes 2, 3: 250 W / 580 W (at 48 V intermediate circuit voltage; axis 3 only with G-901.R4199)	2000 W / 2100 W (max. 5 s)
Output power per axis (effective value), continuous / peak (max. 1 s)*	250 W / 740 W		500 W / 1500 W
Current limitation per motor phase (amplitude of sine), continuous/peak (max. 1 s)	6.6 A / 20 A	6.6 A / 20 A	6.6 A / 20 A

27.11.2020

Interfaces and operation	G-901.Rx19[x]		
Motor connectors per driver module with 48 V intermediate circuit voltage**	2 × HD D-sub 26 (f), maximum 3 A continuous current per pin 2 × D-sub 9W4 (f), maximum 20 A per motor phase Alternative use is possible, depending on maximum phase current. The lines for limit and reference switches are available on all connectors. The lines for motor brakes are available on the HD D-sub 26 (f) connectors. 2 × M15 9-pin (f) The lines for limit switches are available for: 2 × HD D-sub 26 (f) 2 × M12 5-pin (f) 2 × D-sub 15 (m) The lines for reference switches are available on the HD D-sub 26 (f) connectors. The lines for motor brakes are available on the M15 9-pin (f) and HD D-sub 26 (f) connectors.		
Motor connectors per driver module with 96 V intermediate circuit voltage**	2 × HD D-sub 26 (f) 2 × M12 5-pin (f) 2 × D-sub 15 (m) The lines for reference switches are available on the HD D-sub 26 (f) connectors. The lines for motor brakes are available on the M15 9-pin (f) and HD D-sub 26 (f) connectors.		
Sensor connectors, per driver module**	2 × D-sub 15 (m) 2 × HD D-sub 26 (f) Alternative use depending on encoder type. Default factory configuration at delivery: Digital incremental encoder (RS-422) or absolute encoder on HD D-sub 26 (f) Incremental encoder 1 V_{ss} on D-sub 15 (m) Possible modified factory configuration at delivery: Digital incremental encoder (RS-422) or absolute encoder on D-sub 15 (m)		
Digital I/O lines, per driver module	HD D-sub 15 (f): 2 × outputs PNP 24 V source; also control the drivers for the motor brakes Default for inputs: 2 × PNP 24 V source on HD D-sub 15 (f); in addition 2 × NPN 5 V sinking for reference switches on the motor connectors Optional configuration for inputs: 4 × PNP 24 V source on HD D-sub 15 (f)		
Analog I/O lines, per driver module	HD D-sub 15 (m): 2 differential analog inputs: ±10 V, 12-bit 2 differential analog outputs: ±10 V, 10-bit Parallel on HD D-sub 15 (m) and HD D-sub 15 (f): 2 differential outputs (RS-422) for pulses at programmable positions, pulse width 26 ns to 1.75 ms, max. 10 MHz; only possible with incremental encoder		
Outputs for position event trigger (PEG), per driver module	D-sub 9 (f) 2 differential outputs (RS-422) for pulses at programmable positions, pulse width 26 ns to 1.75 ms, max. 10 MHz; only possible with incremental encoder		
Inputs for STO safety function	D-sub 9 (f) 2 differential inputs (STO1, STO2): 24 V, < 50 mA per pin If at least one signal assumes the "low" state, all drives are deactivated at the same time within 50 to 200 ms.		
EtherCAT network	Up to 8 axes in an ACS EtherCAT network, also using EtherCAT third-party components.		
Control rate and EtherCAT clock rate	2 kHz		
Communication interfaces	EtherCAT IN and OUT: RJ-45 Ethernet (TCP/IP, Modbus/TCP, EtherNet/IP): RJ-45 RS-232: D-sub 9 (m)		
User software	ACS SPiiPlus MMI Application Studio		
Application programming interfaces	Programming libraries for C/C++, COM, .NET, MATLAB available		
Programming	ACSPL+ real-time scripting language: Up to 10 simultaneously running programs (buffer)		

Miscellaneous	G-901.R319[x]	G-901.R419x	G-901.R519[x]
Operating voltage***	2 × mains connector 100-250 V AC, 50-60 Hz	2 × mains connector 100-250 V AC, 50-60 Hz	2 × mains connector 100-250 V AC, 50-60 Hz
Required protection per mains connector***	IEC: 12-16 A @ 250 V AC; 50 Hz UL/CSA: 12-20 A @ 125/250 V AC; 60 Hz	IEC: 12-16 A @ 250 V AC; 50 Hz UL/CSA: 12-20 A @ 125/250 V AC; 60 Hz	IEC: 12-16 A @ 250 V AC; 50 Hz UL/CSA: 12-20 A @ 125/250 V AC; 60 Hz
Operating temperature range	5 °C to 40 °C (temperature protection switches off at excessively high temperatures)	5 °C to 40 °C (temperature protection switches off at excessively high temperatures)	5 °C to 40 °C (temperature protection switches off at excessively high temperatures)
Mass	13 kg	17 kg	15.5 kg
Dimensions	482.6 mm × 539.5 mm × 184.2 mm (including handles)	482.6 mm × 553.4 mm × 184.2 mm (including handles)	482.6 mm × 553.4 mm × 184.2 mm (including handles)

* Peak power cannot be made available for all axes at the same time.

** Driver modules for one drive axis have motor and sensor connectors for a second axis, these have, however, not been assigned

*** The supply must be delivered via two different current circuits. Both mains connectors must be connected and switched on.

27.11.2020

Technical drawing of the IPM-2400 server chassis, showing front and top views with dimensions.

Front view dimensions:

- Total width: 482.6 mm
- Mounting hole spacing: 465 mm
- Height: 177 mm
- Mounting hole offset: 101.6 mm
- Mounting hole diameter: 7.5 (M6)

Front view components:

- Power button
- IPM logo
- General status LED
- CPU status LED
- Drive 0 status LED
- Drive 1 status LED
- Drive 2 status LED
- Drive 3 status LED
- Power 24 VDC status LED
- Power connector
- Three large cooling fans

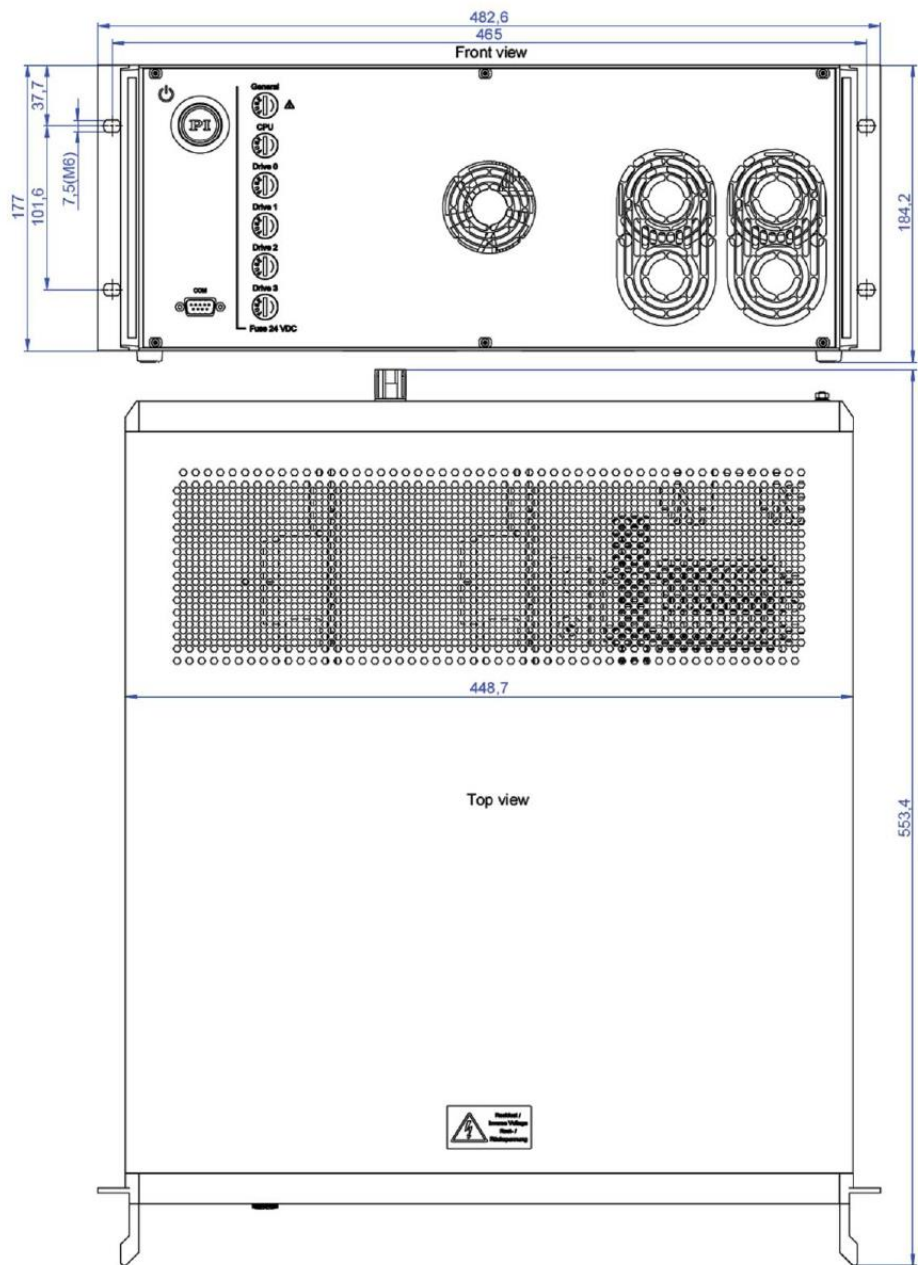
Top view dimensions:

- Width: 448.7 mm
- Depth: 539.5 mm

Top view components:

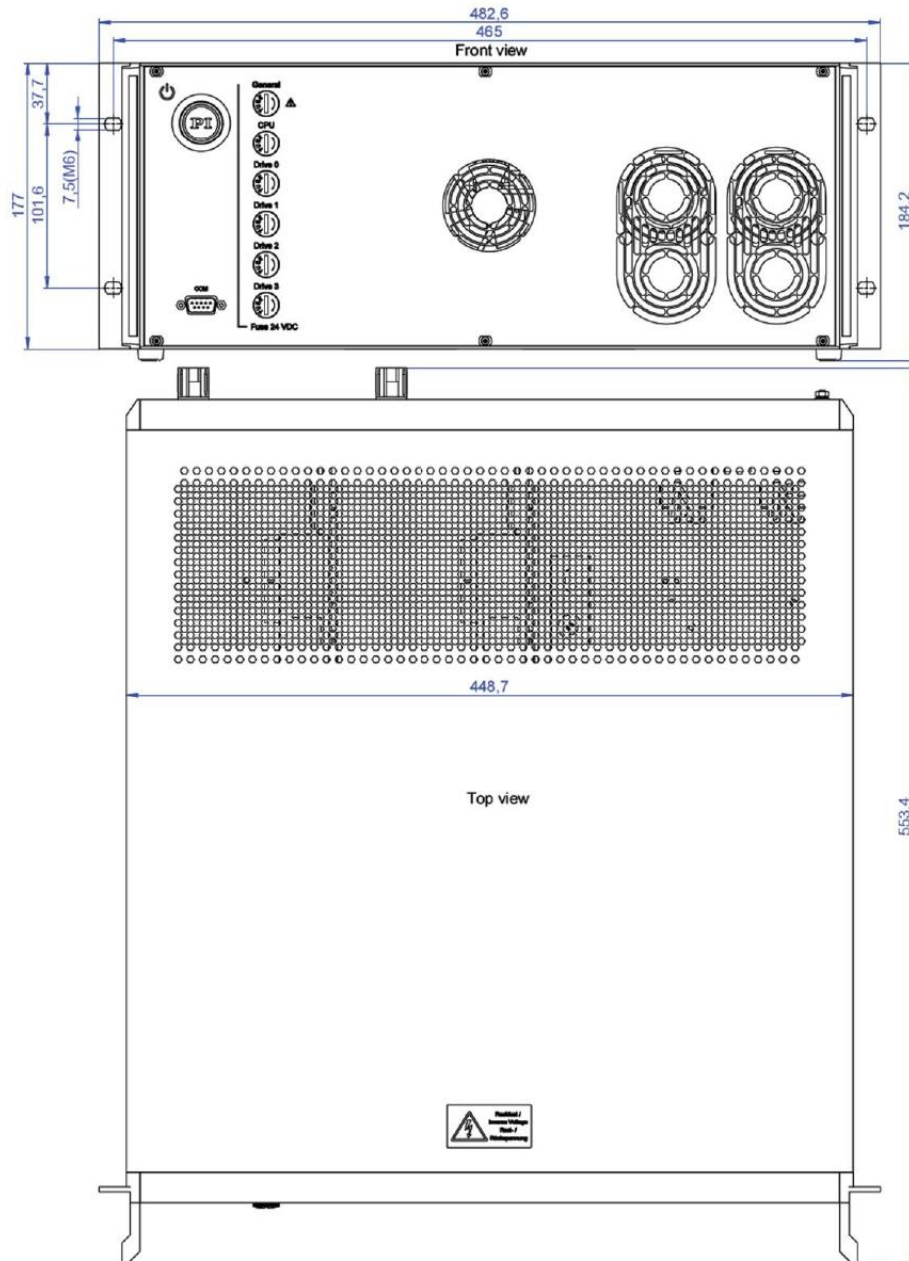
- Warning label: "Hot surface! Do not touch!"

27.11.2020



G-901.R419x and .R519, dimensions in mm. Note that a comma is used in the drawings instead of a decimal point.

27.11.2020



G-901.R5197 and .R5199, dimensions in mm. Note that a comma is used in the drawings instead of a decimal point.



Rear panel of the G-901.R3199 with connectors



Rear panel of the G-901.R4199 with connectors



Rear panel of the G-901.R5199 with connectors

Ordering Information

G-901.R319

ACS controller with ACS driver module, 2 axes, intermediate circuit voltage 48 V / 1000 W, 19" housing, integrated ACS SP+EC-08080832NNNDNDNN motion controller + EtherCAT master, integrated ACS UDMcb2BA2U2CBAN driver module, integrated STO module (safe torque off), EtherCAT, Ethernet, and RS-232 interfaces

G-901.R3197

ACS controller with ACS driver module, 3 axes, intermediate circuit voltage 48 V / 1000 W, 19" housing, integrated ACS SP+EC-08080832NNNDNDNN motion controller + EtherCAT master, integrated ACS UDMcb2BA2U2CBAN and UDMcb1BA1U1CBAN driver modules, integrated STO module (safe torque off), EtherCAT, Ethernet, and RS-232 interfaces

G-901.R3199

ACS controller with ACS driver module, 4 axes, intermediate circuit voltage 48 V / 1000 W, 19" housing, integrated ACS SP+EC-08080832NNNDNDNN motion controller + EtherCAT master, two integrated ACS UDMcb2BA2U2CBAN driver modules, integrated STO module (safe torque off), EtherCAT, Ethernet, and RS-232 interfaces

G-901.R4197

ACS controller with ACS driver module, 3 axes, intermediate circuit voltage 96 V / 2000 W and 48 V / 480 W, 19" housing, integrated ACS SP+EC-08080832NNNDNDNN motion controller + EtherCAT master, integrated ACS UDMcb2BB2U2CBAN and UDMcb1BA1U1CBAN driver modules, integrated STO module (safe torque off), EtherCAT, Ethernet, and RS-232 interfaces

G-901.R4199

ACS controller with ACS driver module, 4 axes, intermediate circuit voltage 96 V / 2000 W and 48 V / 480 W, 19" housing, integrated ACS SP+EC-08080832NNNDNDNN motion controller + EtherCAT master, integrated ACS UDMcb2BB2U2CBAN and UDMcb2BA2U2CBAN driver modules, integrated STO module (safe torque off), EtherCAT, Ethernet, and RS-232 interfaces

G-901.R519

ACS controller with ACS driver module, 2 axes, intermediate circuit voltage 96 V / 2000 W, 19" housing, integrated ACS SP+EC-08080832NNNDNDNN motion controller + EtherCAT master, integrated ACS UDMcb2BB2U2CBAN driver module, integrated STO module (safe torque off), EtherCAT, Ethernet, and RS-232 interfaces

G-901.R5197

ACS controller with ACS driver module, 3 axes, intermediate circuit voltage 96 V / 2000 W, 19" housing, integrated ACS SP+EC-08080832NNNDNDNN motion controller + EtherCAT master, integrated ACS UDMcb2BB2U2CBAN and UDMcb1BB1U1CBAN driver modules, integrated STO module (safe torque off), EtherCAT, Ethernet, and RS-232 interfaces

27.11.2020



G-901.R5199

ACS controller with ACS driver module, 4 axes, intermediate circuit voltage 96 V / 2000 W, 19" housing, integrated ACS SP+EC-08080832NNNDNDNN motion controller + EtherCAT master, two integrated ACS UDMcb2BB2U2CBAN driver modules, integrated STO module (safe torque off), EtherCAT, Ethernet, and RS-232 interfaces

Field Upgrades

G-900.F001

Field upgrade G-Code for programming ACS-based controllers

G-900.F002

Field upgrade ACS ServoBoost™ for 4 axes

G-900.F003

Field upgrade ACS axis license for upgrading the controller from 4 to 8 or respectively from 8 to 16 drive axes

ANEXO III: HOJA CARACTERÍSTICA DE LA BOMBA DE INFUSIÓN KDS

K D Scientific Datasheet

Benefits

- Entry level Legato model
- Accurate flow delivery
- High precision fluid dosing
- Use any manufacturer syringe
- Constant and variable flow rates
- User selectable volume delivery

Features

- Accuracy $\pm 0.5\%$
- Holds one syringe from $0.5 \mu\text{l}$ to 60 ml
- High resolution color touch screen
- Unparallel ease of use
- Password protection for program configuration
- Run LED light on front panel
- Stable flow design
- Built in syringe table
- Up to 30 lbs (13.6 kg) linear force
- Built in RS-485 interface to link multiple pumps
- USB port
- Footswitch Interface
- Protection with a spill dam
- CE, UL, CSA, CB Scheme, EU RoHS

Applications

- Electrospinning
- Microfluidics
- Drug Discovery
- Nanofluidics
- Flow Cytometry
- Mass Spec
- Organic Synthesis
- Stereotaxic Injections

Markets

- Pharmaceutical
- Biotech
- Chemical
- Neuroscience
- Research and Development
- Government
- Petrochemical
- Food and Beverage

KDS Legato™ 100

Infuse Only Syringe Pump



The NEW entry level Legato 100 is ideal for electrospinning, mass spec calibration and other applications where a single syringe is used

The KDS Legato 100 Single Syringe infuse only is the worlds first single syringe infusion only pump with a touch screen interface. The Legato 100 has a wide flow rate range from 1.26 pl/min to 88.32 ml/min depending on syringe size. The large touch screen color display allows the user to see all of the pumps operating parameters to ensure proper operation during the experiments. Syringe size and flow rate are easily displayed as well as the volume delivered and the elapsed time. Set up is easy using the icon driven software.

The Legato 100 is an infuse only syringe pump. It accommodates a single syringe from 0.5 ul to 60 ml. Any type of syringe can be used in the unit including glass, plastic or stainless steel. The syringes are held in place by KD Scientific's new clamping mechanism designed to hold syringes securely in place. The run screen has all of the pump parameters, as well as, the pumps running conditions. The basic pump offers the same easy to use touch screen configuration and "run" screen as the more advanced Legato 200. An led light on the front panel makes it easy to see if the pump is running. Syringe size and flow rates are easily displayed as well as the volume delivered and the elapsed time.

The pumps are versatile and multiple pumps can be connected through the RS485 interface. Advanced micro stepping techniques are employed to further reduce the step angle to eliminate flow pulsation. The accuracy is $\pm 0.5\%$ A wide dynamic flow range from pico liters per minute to millimeters per minute can be programmed into the pump. Add the New Adagio software to maximize the use of the pumps functions and features. Adagio allows you to configure the pump through the software as well as operate one or multiple pumps. In addition the National Instruments labview drivers are available on their website.

KD Scientific pumps are acknowledged as the industry's highest values solution for delivering precise and smooth flow. KD Scientific is recognized worldwide for quality and reliability at an economical price and has the broadest line of syringe pumps to meet your specific application. KD Scientific is committed to delivering the highest level of customer satisfaction, as well as technical support for all their products.

NOTE: KD Scientific syringe pumps are for laboratory use only.

kdScientific

84 October Hill Road • Holliston, MA 01746

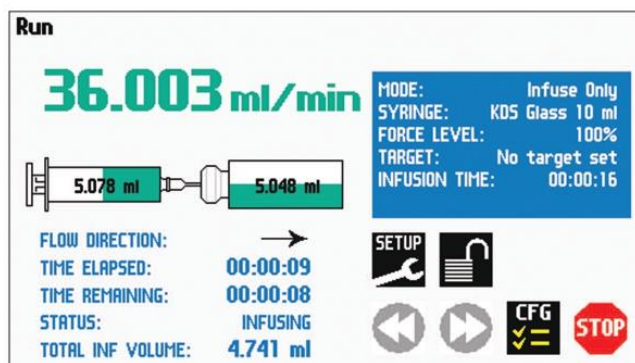
www.kdscientific.com • phone 508.429.6809 • fax 508.893.0160

Rev A

K D Scientific Datasheet

Intuitive Run Screen

Combining multiple parameters simultaneously with internationally recognizable icons allow the Legato™ Series to provide a new level of intuitive syringe pump operation.



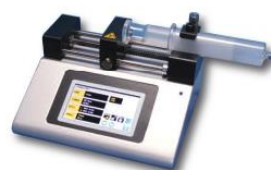
Flow Rates

Syringe	Diameter	Minimum	Maximum
0.5 µl	0.103 mm	1.260 pl/min	1.325 µl/min
1 µl	0.146 mm	2.520 pl/min	2.651 µl/min
2 µl	0.206 mm	5.100 pl/min	5.299 µl/min
5 µl	0.343 mm	14.100 pl/min	14.690 µl/min
10 µl	0.485 mm	28.260 pl/min	29.380 µl/min
25 µl	0.729 mm	63.900 pl/min	66.370 µl/min
50 µl	1.03 mm	127.600 pl/min	132.500 µl/min
100 µl	1.457 mm	255.20 pl/min	265.100 µl/min
250 µl	2.304 mm	638.300 nl/min	662.900 µl/min
500 µl	3.256 mm	1.275 nl/min	1.324 ml/min
1000 µl	4.608 mm	2.553 nl/min	2.652 ml/min
1 ml	4.699 mm	2.655 nl/min	2.757 ml/min
3 ml	8.585 mm	8.863 nl/min	9.204 ml/min
5 ml	11.989 mm	17.290 nl/min	17.950 ml/min
10 ml	14.427 mm	25.030 nl/min	25.990 ml/min
20 ml	19.05 mm	43.640 nl/min	45.320 ml/min
30 ml	21.59 mm	56.050 nl/min	58.210 ml/min
60 ml	26.594 mm	85.050 nl/min	88.320 ml/min

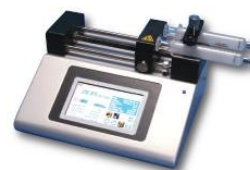
Specifications

Model	KDS Legato 100
Syringe Size	0.5 µl to 60 ml
Power	100-240 VAC: 50/60 Hz, 50 W, 0.5 A fuse
Motor Drive Control	Microprocessor with 1/16 microstepping
Linear Force (Maximum)	13.6 kg (30 lbs) @ 100% Force Selection
Number of Microsteps per One Revolution of Lead Screw	15,360
Step rate (Minimum)	27.5 sec/µstep
Step rate (Maximum)	26 µsec/µstep
Drive Motor	0.9 degree Stepper Motor
Pusher Travel Rate - (Minimum)	0.15 µm/min
Pusher Travel Rate - (Maximum)	159 mm/min
Flow Rate (Minimum)	1.26 pl/min (0.5 µl syringe)
Flow Rate (Maximum)	88.32 ml/min (60 ml syringe)
Dimensions	22.6 x 19.05 x 15 cm (9 x 7.5 x 5 in)
Weight	2.66 kg (5.9 lbs)
Connectors	RS485 - IEEE-1394 6 pos, USB - Type B

KDS Legato™ 100 Family of Syringe Pumps



Legato 100
Infuse Only
Single Syringe



Legato 101
Infuse Only
Dual Syringe



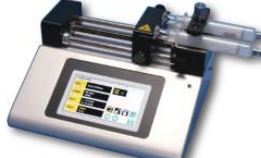
Legato 110
Infuse/Withdraw
Single Syringe



Legato 111
Infuse/Withdraw
Dual Syringe



Legato 130
Infuse/Withdraw
Remote Control Nanoliter



Legato 180
Infuse Withdraw
Picoliter

Recommended for microfluidic applications

kdScientific

84 October Hill Road • Holliston, MA 01746

www.kdscientific.com • phone 508.429.6809 • fax 508.893.0160

Rev A

ANEXO IV: HOJA CARACTERÍSTICA DE LA FUENTE DA ALTO VOLTAJE

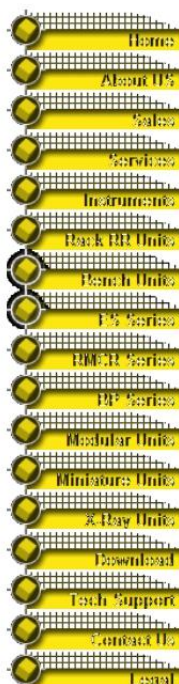
11/3/2021

Gamma High Voltage/Series ES

">



Gamma High Voltage Research



SERIES ES

20 Models Covering the range of 0-5 KV to 0-100 KV 5, 10 & 20 Watt

FEATURES:

- Low Cost
- Small Size
- Low stored energy
- Arc over & short circuit protected
- Voltage Regulated

APPLICATIONS:

- Electrostatic Precipitators
- Electrostatic Spinning
- Electro Chemical Processes
- Insulation Testing
- Electrostatic Studies

MODEL GUIDE

MODEL	OUTPUT VOLTAGE	OUTPUT CURRENT		
		20 Watt	10 Watt	5 Watt
ES5	0 to 5KV	4mA	2mA	1mA
ES10	0 to 10KV	2mA	1mA	500uA
ES15	0 to 15KV	1.33mA	600uA	333uA
ES20	0 to 20KV	1mA	500uA	250uA
ES30	0 to 30KV	660uA	350uA	166uA
ES40	0 to 40KV	500uA	250uA	125uA
ES50	0 to 50KV	400uA	200uA	100uA
ES60	0 to 60KV	330uA	166uA	85uA
ES75	0 to 75KV	266uA	133uA	66uA
ES100	0 to 100KV	200uA	100uA	50uA



Standard Model
Single Analog Meter-
Reads Output Voltage



Optional
Dual Analog Meters
Read Output Voltage and
Output Current

DESCRIPTION:

The Gamma "ES" series provides a portable High Voltage Source of power for scientific and industrial applications, with power levels to 20 watts and voltage levels to 100KV. The 100KV supply in this series weighs approximately 11-lbs. making it ideally suited for portable or laboratory applications.

All units are available in Positive or Negative polarity. Add P or N as suffix to Model to indicate polarity desired. Indicate desired output power by adding either -5W, -10W or -20W to the end of the complete model number. Example model number : ES5P-10W

ELECTRICAL CHARACTERISTICS:

Input Voltage:	90-240VAC; 50-60Hz
Output Voltage:	Continuously adjustable from zero to maximum output rating.
Output Current:	See ratings of individual models
Regulation:	.05% for +/-10% line change.
Ripple:	.1%
Control:	Front panel mounted 10 turn potentiometer for zero to maximum output voltage.
Output Cable:	Up to and including 30KV - Alden Type Polyethylene Above 30KV - Coaxial Type. Mating Cable provided.

11/3/2021

Gamma High Voltage/Series ES

Size:	5" (H) x 8" (W) x 10" (L), wt. < 11lbs.
Standard Metering:	Single analog meter reads output voltage

OPTIONAL FEATURES:

- 1) Output voltage monitor (VM)
- 2) Dual analog meter (DAM)
- 3) Single Digital Panel Meter (SDPM)
- 4) Dual Digital Panel Meters (DDPM)
- 5) Overload Trip (OL)
- 6) RS232C Interface (RS232C)
- 7) External Program (PRG)

**Please note: Dual Output and
Reversible versions are also available.**

Please consult factory.



[\[Home\]](#) [\[About US\]](#) [\[Sales\]](#) [\[Services\]](#) [\[Instruments\]](#) [\[Rack RR Units\]](#) [\[Bench Units\]](#)
[\[ES Series\]](#) [\[RMCR Series\]](#) [\[BP Series\]](#) [\[Modular Units\]](#) [\[Miniature Units\]](#) [\[X-
Ray Units\]](#) [\[Download\]](#) [\[Tech Support\]](#) [\[Contact Us\]](#) [\[Legal\]](#)

