



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA LA
OBTENCIÓN DE FIBRAS SUBMICROMÉTRICAS MEDIANTE
ELECTROSPINNING CON SISTEMA MÓVIL DE INYECCIÓN Y
ATMÓSFERA CONTROLADA”**

AUTORES:

**CHUGÁ MEJÍA, JHONNY ANDRÉS
POLANCO SALGADO, JOSÉ RICARDO**

DIRECTOR:

ING. NARANJO, CARLOS MSC.

SANGOLQUÍ

2018



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

CERTIFICADO

Certifico que el trabajo de titulación, denominado: “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA LA OBTENCIÓN DE FIBRAS SUBMICROMÉTRICAS MEDIANTE ELECTROSPINNING CON SISTEMA MÓVIL DE INYECCIÓN Y ATMÓSFERA CONTROLADA**”, realizado por los señores **CHUGÁ MEJÍA JHONNY ANDRÉS** y **POLANCO SALGADO JOSE RICARDO**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por herramienta de verificación de similitud de contenidos, el mismo que cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizarlo para que se sustente públicamente

Sangolquí, 07 de marzo de 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Carlos Rodrigo Naranjo Guatemala', written over a horizontal line.

Ing. Naranjo Guatemala Carlos Rodrigo

DIRECTOR



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **JHONNY ANDRÉS CHUGÁ MEJÍA**, con cedula de identidad N.º **172240716-8**, y **JOSE RICARDO POLANCO SALGADO**, con cedula de identidad N.º **180287914-6**; declaramos que el trabajo de titulación denominado: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA LA OBTENCIÓN DE FIBRAS SUBMICROMÉTRICAS MEDIANTE ELECTROSPINNING CON SISTEMA MÓVIL DE INYECCIÓN Y ATMÓSFERA CONTROLADA”**, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros, considerándose en citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 07 de Marzo de 2018

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir 'Jhonny Andrés Chugá Mejía'.

Jhonny Andrés Chugá Mejía
172240716-8

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir 'José Ricardo Polanco Salgado'.

José Ricardo Polanco Salgado
180287914-6



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **JHONNY ANDRÉS CHUGÁ MEJÍA** y **JOSE RICARDO POLANCO SALGADO**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE la publicación en la biblioteca virtual de la institución del presente trabajo de titulación con el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA LA OBTENCIÓN DE FIBRAS SUBMICROMÉTRICAS MEDIANTE ELECTROSPINNING CON SISTEMA MÓVIL DE INYECCIÓN Y ATMÓSFERA CONTROLADA”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad y autoría

Sangolquí, 10 de Abril de 2018

Firma manuscrita en tinta azul de Jhonny Andrés Chugá Mejía.

Jhonny Andrés Chugá Mejía
172240716-8

Firma manuscrita en tinta azul de José Ricardo Polanco Salgado.

José Ricardo Polanco Salgado
180287914-6

DEDICATORIA

Con inmensa alegría y la satisfacción del deber cumplido, el presente proyecto de titulación está dedicado a mi familia, especialmente a mis padres, Patricia y Aníbal, por el cariño y apoyo incondicional que me han brindado durante todo este tiempo, por motivarme a seguir luchando por mis metas, dándome un ejemplo de perseverancia, por haberme brindado la oportunidad de estudiar esta hermosa carrera, y terminar satisfactoriamente una etapa más de mi vida.

Jhonny Chugá Mejía

Al cumplir esta meta tan importante, quiero dedicar este triunfo a mis padres Jose y Gabriela, las personas más importantes de mi vida, quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más. A mis hermanas Gabriela, Cristina quienes me han apoyado y dado su afecto. A mi sobrina Victoria la cual es una de las fuentes de motivación más grandes en mi vida.

José Polanco Salgado

AGRADECIMIENTO

A mis padres, Patricia y Aníbal, por haberme brindado la vida y la oportunidad de estudiar esta hermosa carrera, sin todo su esfuerzo nada hubiera sido posible.

A mis hermanos, Andrea, Karen David, por su confianza y apoyo durante esta etapa de mi vida, y durante todos los años que hemos y seguiremos conviviendo.

A mi novia, Marjory, por todos los momentos compartidos, por su confianza, cariño y apoyo incondicional durante todo el tiempo que llevamos compartiendo.

A mi amigo y compañero de tesis, José, por el esfuerzo, perseverancia y dedicación puesta en el proyecto, mismas que fueron fundamentales para la culminación del mismo.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, en especial a la Carrera de Ingeniería Mecánica y todo su elenco de docentes, quienes compartieron parte de su conocimiento en busca de formar profesionales con las herramientas necesarias para el adecuado desenvolvimiento en la vida profesional

Finalmente, a todos mis amigos, quienes han hecho de esta etapa de mi vida, una experiencia más enriquecedora.

Jhonny Chugá Mejía

A mi padre, Jose que con su demostración de padre ejemplar me ha enseñado a no de desfallecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar a través de sus sabios consejos.

A mi madre, Gabriela por su cariño y apoyo incondicional en los momentos más difíciles.

A mis hermanas Gabriela y Cristina por siempre estar pendientes de mí y alentarme a conseguir mis metas.

A mi amigo y compañero de tesis, Jhonny, por su esfuerzo y decisión invertidos en este proyecto.

Al Ing. Carlos Naranjo por todo su apoyo y direccionamiento lo cual fue fundamental para la finalización del proyecto.

A todos mis amigos los cuales hicieron de esta etapa una de las más felices de mi vida.

José Polanco Salgado

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADO.....	II
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	III
AUTORIZACIÓN.....	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VIII
INDICE DE FIGURAS	XII
INDICE DE TABLAS.....	XIV
RESUMEN	XV
ABSTRACT	XVI
CAPÍTULO I. GENERALIDADES	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. ANTECEDENTES	2
1.3. JUSTIFICACIÓN	4
1.4. ALCANCE DEL PROYECTO.....	5
1.5. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	6
1.5.1. OBJETIVO GENERAL	6
1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	8
2.1. NANOFIBRAS.....	8
2.2. TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE NANOFIBRAS	10
2.2.1. DRAWING.....	10
2.2.2. SÍNTESIS POR MOLDEO.....	11
2.2.3. SEPARACIÓN DE FASES	12
2.2.4. AUTO ENSAMBLAJE	13
2.3. PRINCIPIOS DE ELECTROSPINNING.....	13
2.4. EQUIPO BÁSICO.....	14
2.5. EFECTO DE VARIOS PARÁMETROS EN EL PROCESO DE ELECTROSPINNING	16
2.5.1. PARÁMETROS DE LA SOLUCIÓN	17
2.5.2. PARÁMETROS DEL PROCESO.....	22
2.5.3. PARÁMETROS AMBIENTALES.....	27
CAPITULO III. REQUERIMIENTOS Y DISEÑO CONCEPTUAL	31
3.1. REQUERIMIENTOS.....	31
3.2. DISEÑO CONCEPTUAL	32
3.2.1. CASA DE LA CALIDAD.....	34
3.2.2. MÁQUINAS DE ELECTROSPINNING COMERCIALES.....	36
3.2.3. DISEÑO CONCEPTUAL DEL EQUIPO	36
3.2.4. SISTEMA DE MOVIMIENTO DE LA AGUJA.....	41
3.2.5. SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE FIBRA - COLECTORES.....	42
3.2.6. CÁMARA HERMÉTICA.....	46
3.2.7. SISTEMA DE GENERACIÓN DE ALTO VOLTAJE	47
3.2.8. SISTEMA DE BOMBEO DE LA JERINGUILLA.....	49
3.2.9. SISTEMA DE CONTROL.....	50
3.2.10. SISTEMA DE ILUMINACIÓN.....	55
3.2.11. MATRIZ MORFOLÓGICA	56
CAPITULO IV. INGENIERÍA DE DETALLE Y CONSTRUCCION.....	57

4.1. DISEÑO DE LA CÁMARA HERMÉTICA	57
4.1.1. CONDICIONES DE OPERACIÓN	57
4.1.2. DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA CÁMARA HERMÉTICA.....	58
4.1.3. DISEÑO POR RESISTENCIA MECÁNICA	61
4.2. DISEÑO DE LOS COLECTORES GIRATORIOS	66
4.2.1. DISEÑO GEOMÉTRICO DEL EJE.....	67
4.2.2. SELECCIÓN DEL RODAMIENTO	68
4.2.3. DISEÑO DEL SOPORTE DE LOS COLECTORES	69
CAPÍTULO V. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y RESULTADOS	73
5.1. CONTINUIDAD DE CABLES.....	73
5.2. PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO ROBOT CARTESIANO	77
5.3. PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DE BOMBAS	79
5.4. PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DE FUENTES DE ALTO VOLTAJE.....	81
5.5. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA.....	82
5.6. PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE PRESIÓN.....	83
5.7. PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO ENSAMBLADO	84
CAPÍTULO VI. ANALISIS ECONÓMICO.....	86
6.1. COSTOS DIRECTOS	86
6.2. COSTOS DIRECTOS DE FABRICACIÓN.....	91
6.2.1. COSTOS DE FABRICACIÓN DE CÁMARA HERMÉTICA Y CAJETÍN ELÉCTRICO.....	91
6.2.2. COSTOS DE FABRICACIÓN DE COLECTORES Y MODIFICACIÓN DE ROBOT CARTESIANO	92
6.2.3. COSTOS DE MANO DE OBRA DE PROGRAMACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DEL EQUIPO	93

6.3. COSTOS INDIRECTOS.....	94
6.4.	95
6.5. COSTO TOTAL	97
CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	98
7.1. CONCLUSIONES.....	98
7.2. RECOMENDACIONES.....	101
BIBLIOGRAFÍA	102
ANEXOS.....	103

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Aplicaciones de electrospinning en el período 2003-2013	4
Figura 2. Imagen SEM de un cabello humano rodeado por fibras de PVA.....	9
Figura 3. Técnica de obtención de fibra micrométrica mediante la técnica de drawing.....	11
Figura 4. Técnica de obtención de fibra micrométrica mediante la técnica de moldeo	11
Figura 5. Esquema general de la separación de fases para la obtención de nanofibras	12
Figura 6. Esquemas de nanofibras autoensambladas	13
Figura 7. Principio de Electrospinning.....	14
Figura 8. Configuración básica de un proceso de electrospinning con una disposición vertical	15
Figura 9. Parámetros de Electrospinning y su influencia en la morfología	17
Figura 10. Muestras de electrospun de poliestireno en tetrahidrofurano variando la concentración	19
Figura 11. Fuerzas de Adhesión en la superficie del liquido	22
Figura 12. Fibras de PCL con un aumento de caudal, a) 0.5 MI/hr y b)2 MI/hr	24
Figura 13. Distancias que considerar en el proceso de electrospinning	26
Figura 14. Imágenes SEM de PSU a diferentes humedades relativas (a)0%,(b)10%,(c) 30%,(d)50%	28
Figura 15. Variación de la Desviación Estándar respecto con la humedad relativa en PSU y PAN	29
Figura 16. Diagrama de Bloques del Proceso Experimental Completo.....	33
Figura 17. Casa de la Calidad del Equipo de Electrospinning.....	35
Figura 18. Equipos de laboratorio para electrospinning disponibles en el mercado internacional	36
Figura 19. Distribución de elementos para la Opción 1.....	37
Figura 20. Distribución de elementos para la Opción 2.....	38
Figura 21. Distribución de elementos para la Opción 2.....	39
Figura 22. Análisis del sistema de movimiento de la aguja como una caja negra	41
Figura 23. Análisis del sistema de colectores como una caja negra	43
Figura 24. Isometría del Modelo Tentativo de Cámara	47
Figura 25. Análisis del sistema de proporción de alto voltaje como una caja negra	48
Figura 26. Análisis del sistema de bombeo como una caja negra	49
Figura 27. Diferentes tipos de bombas de infusión disponibles en el mercado.....	49
Figura 28. Ubicación de la Serie S7-1200 de siemens según el grado de automatización.....	53
Figura 29. Características técnicas PLC Siemens 1214C	54
Figura 30. Módulos de expansión, PLC Siemens 1214C.....	54
Figura 31. Módulos de expansión, PLC Siemens 1214C.....	55
Figura 32. Dimensiones del Robot Cartesiano.....	59
Figura 33. Partes principales de la Cámara Hermética.....	60
Figura 34. Partes principales de la Cámara Hermética, Vista Lateral	60
Figura 35. Vista en Corte hacia el interior de la cámara	61
Figura 36. Cámara con plancha de 1.5mm, sin refuerzo	62
Figura 37. Cámara con plancha de 1.5mm, sin refuerzo, esfuerzos	62
Figura 38. Cámara con plancha de 1.5mm, sin refuerzo, desplazamientos	63
Figura 39. Cámara con plancha de 2mm, con refuerzo, desplazamientos	64
Figura 40. Cámara con plancha de 1.5mm, con refuerzo.....	64
Figura 41. Cámara con plancha de 1.5mm, con refuerzo, esfuerzos	65
Figura 42. Cámara con plancha de 1.5mm, con refuerzo, desplazamientos	65

Figura 43. Cámara con plancha de 1.5mm, con refuerzo, desplazamientos	67
Figura 44. Partes del eje de los colectores giratorios.....	68
Figura 45. Dimensiones y acabados del eje del colector cilíndrico.....	68
Figura 46. Vista isométrica de los soportes laterales	70
Figura 47. Vista isométrica de las bases de los colectores	71
Figura 48. Vista isométrica de los acoples eje-motor	71
Figura 49. Vistas explotada de los colectores construidos	72
Figura 50. Distribución de los conectores eléctricos	74

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	<i>Comparación de las técnicas de procesamiento para obtención de nanofibras</i>	10
Tabla 2	<i>Ventajas y desventajas de opción de prototipo 1</i>	37
Tabla 3	<i>Ventajas y desventajas de opción de prototipo 2</i>	38
Tabla 4	<i>Ventajas y desventajas de opción de prototipo 3</i>	39
Tabla 5	<i>Matriz de selección de Opciones de diseño</i>	40
Tabla 6.	<i>Matriz de Selección del Robot Cartesiano</i>	42
Tabla 7.	<i>Tipos de colectores a implementar</i>	44
Tabla 8.	<i>Matriz de Selección de las Fuentes de Alto Voltaje</i>	48
Tabla 9.	<i>Matriz de Selección de las Bombas de Infusión</i>	50
Tabla 10.	<i>Matriz de entradas y salidas del sistema de control</i>	51
Tabla 11.	<i>Matriz de selección del sistema de Iluminación</i>	55
Tabla 12.	<i>Matriz morfológica del equipo</i>	56
Tabla 13	<i>Check List de cada conector</i>	74
Tabla 14	<i>Check List de los motores del robot cartesiano</i>	78
Tabla 15	<i>Señales de los fines de carrera y movimientos en cada eje</i>	79
Tabla 16	<i>Check List Bombas de Infusión</i>	80
Tabla 17	<i>Check List Fuentes de Alto Voltaje</i>	81
Tabla 18	<i>Check List Funcionamiento del Transmisor de Temperatura</i>	82
Tabla 19	<i>Check List Pruebas de Presión</i>	84
Tabla 20	<i>Check List Equipo Ensamblado</i>	85
Tabla 21	<i>Costos de equipos en general</i>	86
Tabla 22	<i>Costos de materiales de cámara hermética y cajetín eléctrico</i>	88
Tabla 23	<i>Costos de materiales de colectores y adecuación del robot cartesiano</i>	89
Tabla 24	<i>Costos de equipos electrónicos en instrumentación</i>	90
Tabla 25	<i>Costo de mano de obra de Cámara hermética y Cajetín eléctrico</i>	91
Tabla 26	<i>Costo de proceso de taller para fabricación de Cámara hermética y Cajetín eléctrico</i>	92
Tabla 27	<i>Costos de mano de obra global de colectores y adecuación de robot cartesiano</i>	92
Tabla 28	<i>Costos de programación y automatización del equipo en general</i>	93
Tabla 29	<i>Costos directos totales</i>	94
Tabla 30	<i>Costos de envío y nacionalización</i>	95
Tabla 31	<i>Costo directos por asesoría</i>	95
Tabla 32	<i>Costo total del equipo</i>	97

RESUMEN

El presente trabajo de titulación fue desarrollado con la finalidad de crear un medio para la obtención de fibras submicrométricas mediante electrospinning. El equipo de laboratorio cuenta con varios subsistemas que permiten una gran variedad de experimentación. Entre los principales sistemas que componen al equipo se encuentra un sistema de movimiento de la aguja de inyección con un desplazamiento máximo de 200 mm en los tres ejes, cuenta con dos bombas de inyección de la solución, un control de la atmosfera en la que se desarrolla el experimento permitiendo dos modos de experimentación: sometiendo la cámara a un bajo vacío o someténdola a presión. El equipo cuenta con doble polarización de alto voltaje para evitar la fuga de la fibra hacia un lugar distinto al colector. Para la recolección de la fibra se han diseñado y construido un total de nueve colectores con diferente geometría. La temperatura del interior de la cámara puede ser modificada hasta 40 °C debido a las limitaciones que presentan otros elementos electrónicos. Para la visualización del cono se cuenta con una cámara microscópica. Todos los elementos previamente mencionados son conectados a un ordenador el cual mediante un HMI ajusta las variables que el usuario requiera.

Palabras Claves:

- **ELECTROSPINNING**
- **FIBRAS SUBMICROMETRICAS**
- **ALTO VOLTAJE**
- **CONTROL DE ATMOSFERA**
- **COLECTORES**

ABSTRACT

This project was developed with the purpose of creating a laboratory equipment to obtain submicrometric fibers by electrospinning. The equipment has several systems that allow a great variety of experimentation. The movement device for the injection needle, which permits a maximum displacement of 200 mm, in the three axes, is the main part of the equipment. Besides it has two injection pumps, a atmospheric control chamber in which develops the experiment allowing two modes of experimentation: subjecting the chamber to a low vacuum or subjecting it to pressure. The equipment has two high voltage power supply to prevent the fiber from leaking to a place other than the collector. To gather the fiber, a total of nine collectors with different shape have been designed and constructed. The temperature inside the chamber can be modified up to 40 °C. For the visualization of the Taylor cone formed in the tip of the needle the equipment has a microscopic camera. All the previously mentioned elements are connected to a computer which through a HMI adjusts the variables that the user requires.

Keywords:

- **ELECTROSPINNING**
- **SUBMICROMETRIC FIBERS**
- **HIGH VOLTAGE**
- **ATMOSPHERIC CONTROL**
- **COLLECTORS**

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

En el presente capítulo se describe los antecedentes del proyecto de investigación, se proporciona una breve explicación de la tecnología y el fenómeno de obtención de fibras mediante la técnica de electrospinning. Además, se establece el alcance y limitaciones del proyecto, así como los objetivos que se espera obtener con el mismo.

1.1. Introducción

El laboratorio de Reología y Fluidos Complejos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, junto con la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (Senescyt) han puesto en marcha el proyecto denominado *“Electrospinning de fibras micrométricas de fibroína de seda y quitosán: biopolímeros producidos”*, en el cual se promueve la investigación de fibras obtenidas a partir de materia prima abundante en nuestro país.

Enfocando el desarrollo de futuras investigaciones, se ha propuesto el presente tema de investigación denominado *“Diseño y construcción de una máquina para la obtención de fibras submicrométricas mediante Electrospinning con sistema móvil de inyección y atmósfera controlada”*

La técnica de Electrospinning es un método altamente versátil para procesar soluciones principalmente de polímeros, en fibras continuas con diámetros que van desde unos pocos micrómetros hasta unos cuantos nanómetros. Esta técnica es aplicable prácticamente a todos los polímeros solubles o fusibles. Los polímeros pueden modificarse químicamente y también personalizarse con aditivos que van desde simples partículas de carbón hasta especies complejas como enzimas, virus y bacterias.

Parece una técnica bastante sencilla, pero es un proceso sumamente complejo que depende de una multitud de parámetros moleculares, de proceso y técnicos. El método proporciona acceso a materiales completamente nuevos, que pueden tener estructuras químicas complejas.

Electrospinning no es solo un foco de investigación académica; la técnica ya se está aplicando en muchas áreas tecnológicas, en campos tan diversos como la optoelectrónica, tecnología de sensores, catálisis, filtración y medicina.

1.2. Antecedentes

A finales del siglo XVI William Gilbert se propuso describir el comportamiento de los fenómenos magnéticos y electrostáticos, una de sus observaciones más acertadas fue que cuando una pieza de ámbar adecuadamente cargada se acerca a una gota de agua aparece una forma cónica y pequeñas gotitas son expulsadas desde la punta del cono, la primera observación registrada de electrospray [1].

La primera descripción de un proceso reconocible como electrospinning fue en 1902 cuando J. F. Cooley presentó una patente de los Estados Unidos titulada "Aparato para dispersar las fibras eléctricamente" [2]. En su patente (US 692631) describe un método de uso de fuentes de alimentación de alto voltaje para generar hilo, en esta etapa temprana se reconoció que para formar fibras en lugar de gotitas el fluido debe ser: suficientemente viscoso, disolvente y volátil para evaporarse, permitiendo la regeneración del polímero sólido, además, tener la intensidad del campo eléctrico dentro de un cierto rango.

El siguiente aporte significativo fue desarrollado por John Zeleny, quien publicó el trabajo sobre el comportamiento de las gotitas fluidas al final de los capilares metálicos en 1914 [3]. Su trabajo comenzó con el modelamiento matemático sobre comportamiento de los fluidos bajo fuerzas electrostáticas.

Entre 1964 y 1969, Sir Geoffrey Ingram Taylor produjo el fundamento teórico de electrospinning [4-5]. El trabajo de Taylor contribuyó al modelado matemático del

Electrospinning con la forma del cono formado por la pequeña gota de fluido bajo el efecto de un campo eléctrico, esta forma característica de la gota ahora se conoce como el cono de Taylor. [6].

De manera simultánea al trabajo académico de Zeleny y Taylor surgió una secuencia de patentes, comenzando con el diseño de Cooley [7], Morton patentó una máquina más simple de bajo rendimiento [8], y Formhals [9], quien en 1934 logró describir de forma explícita el proceso, para ello trabajó con acetato de celulosa en su primera patente, para su segundo desarrollo ensambló un nuevo sistema con un mayor control de la distancia entre el capilar y el colector, con el cual redujo de forma considerable los inconvenientes observados en sus primeras investigaciones. Más adelante investigadores como Reneker 1994 – 1995 profundizaron en la técnica [10–15].

Desde 1995 se han producido desarrollos teóricos adicionales de los mecanismos de conducción del proceso de electrospinning. Reznik y colaboradores describen un trabajo extenso sobre la forma del cono Taylor y la posterior expulsión de un chorro de fluido [16]

Desde el siglo XX, el proceso atrajo rápidamente la atención debido a posibles aplicaciones de materiales obtenidos en nanotecnología. Las publicaciones relacionadas con electrospinning se duplicaron cada año, llegando a unos 200 artículos en 2003. Desde entonces, en la última década 18.600 artículos que tratan acerca de electrospinning han sido publicados con un crecimiento exponencial [17], sobre cientos de polímeros sintéticos y naturales, así como materiales inorgánicos y compuestos han sido convertidos en nanofibras mediante electrospinning.

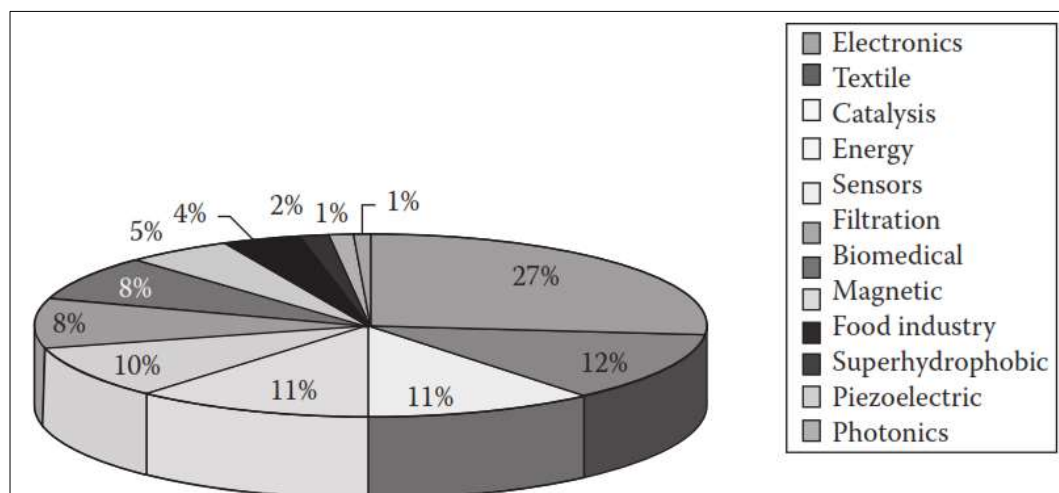


Figura 1. Aplicaciones de electrospinning en el período 2003-2013

Fuente: (S. Cavaliere, 2015)

1.3. Justificación

Las propiedades que presentan las estructuras micrométricas y nanométricas fabricadas mediante Electrospinning muestran un gran potencial para el desarrollo de nuevas tecnologías.

Ecuador es un país en el cual no se ha evidenciado el desarrollo de la técnica de obtención de fibras mediante Electrospinning para obtener estructuras complejas; aprovechando la versatilidad del proceso, su desarrollo puede ser enfocado a cubrir una serie de necesidades en aplicaciones tecnológicas como: síntesis de nanopartículas, deposición electrostática de películas con estructura nanométrica de materiales cerámicos o polímeros, dispersión de pesticidas, enfoque biomédico, filtración de fluidos, producción de cápsulas, catálisis, entre otras

La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, en su constante contribución al desarrollo científico – tecnológico que tiene el país, se encuentra realizando la caracterización de múltiples fibras mediante Electrospinning utilizando el equipo “Start Up - YFLOW” adquirido en 2012, con este equipo se ha logrado la “Obtención de Micropartículas de Polivinilpirrolidona (PVP) a Través de la Técnica de

Electrospray” y “La Caracterización de Microfibras de Fibroina de Seda Obtenidas a partir de la Técnica de Electrohilado”.

Actualmente se desea continuar con las investigaciones sobre las fibras, modificando los parámetros operativos que permitan mejorar las propiedades y la morfología de las fibras obtenidas. Entre los parámetros que pueden ser modificados tenemos: atmósfera controlada, disposición y forma del colector, disposición de la jeringa, sentido de flujo del chorro; lo que permitirá la obtención de películas de mayores dimensiones, y el análisis de la influencia de los parámetros sobre las propiedades de las fibras.

El estudio de una carrera técnica como la Ingeniería Mecánica, comprende el aprendizaje tanto científicos como tecnológicos que permita la invención, desarrollo, implementación y mejoramiento de las técnicas y herramientas existentes para satisfacer una necesidad, justamente eso es el objetivo del proyecto, la implementación de un equipo para la obtención de fibras submicrométricas mediante electrospinning con sistema móvil de inyección y atmósfera controlada.

Ha sido fundamental la utilización de los conocimientos adquiridos durante la trayectoria educativa para el desarrollo de este proyecto, criterios de selección de materiales, diseño de elementos de máquinas, dibujo asistido por computador, análisis y simulación (CAE), procesos de manufactura, soldadura, control de calidad, instrumentación, entre otras.

1.4. Alcance del Proyecto

El presente proyecto tiene la finalidad de satisfacer la demanda del Laboratorio de Reología y Fluidos Complejos de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE de producción de fibras submicrométricas mediante el fenómeno de electrospinning para el área de investigación en nano materiales. Las características y propiedades que requiere este proyecto son:

- La cámara de electrospinning debe ser hermética y soportar bajo vacío.

- Tener un sistema de movimiento cartesiano que permita desplazar a la aguja a lo largo de la longitud de los colectores, se pueda regular la altura de esta y la distancia entre electrodos
- Debe tener un conjunto modular de ocho colectores diferentes para la recolección de fibra.
- Los colectores móviles deben girar como máximo a 2000 revoluciones por minuto.
- Se debe generar un campo eléctrico con una diferencia de voltaje de hasta 30 000 voltios entre la aguja y el colector.
- Todas las variables del proceso deben ser controladas mediante un HMI amigable con el usuario.

Los parámetros antes citados están limitados por los recursos disponibles tanto económicos como en cuestiones de tiempo, por ende, se ha considerado la opción de adquirir gran parte de los componentes del equipo en el mercado nacional o internacional, dependiendo de su disponibilidad en los mismos, con el único objetivo de disminuir costos y tiempos de fabricación; y enfocar nuestro diseño en aquellos cuya adquisición no puede ser posible debido a la demora en tiempos de importación y su alto costo en el mercado, lo cual no entraría dentro de lo presupuestado previamente.

1.5. Objetivos del Proyecto

1.5.1. Objetivo General

Diseñar y construir un equipo de laboratorio para la obtención de fibras mediante electrospinning con sistema móvil de inyección y atmósfera controlada, velocidad angular en los colectores y movimiento transversal de la aguja.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Construir una cámara hermética que permita el control de la atmósfera en que se desarrolla el fenómeno de electrospinning
- Desarrollar una interfaz humano-máquina que facilite el control de los parámetros operativos de la máquina.
- Construir diferentes tipos de colectores los cuales permitirán variar la forma de recolección de fibra para expandir las opciones de experimentación.
- Entregar un manual de mantenimiento y un manual de operaciones que faciliten la manipulación del equipo a implementarse.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

El presente capítulo contempla la definición de los componentes fundamentales de la máquina de electrospinning, una descripción del fenómeno, los parámetros que intervienen y las aplicaciones a las que se puede enfocar para futuras investigaciones.

2.1. Nanofibras

Para comenzar con la explicación del presente proyecto, es esencial definir en primer lugar qué es una nanofibra. Para hacerlo, dividimos el término en dos partes a saber, "nano" y "fibra".

Una fibra es una forma geométrica, un objeto uni-dimensional, que tiene un cierto diámetro, una relación axial dada y una cierta longitud que a menudo puede acercarse infinitamente. Para aplicaciones reales, las fibras deben ser más que simples elementos geométricos. Deben cumplir un conjunto de requisitos para mostrar una selección de propiedades, de funciones dedicadas.

El diseño de fibras requiere en cualquier caso una comprensión muy fundamental de la correlación entre la estructura intrínseca de una fibra, por un lado, y sus funciones en el otro lado. El diseño de fibra requiere el conocimiento de cómo una fibra particular, estructuras con características intrínsecas pueden lograrse mediante la selección de técnicas apropiadas de procesamiento de fibras y mediante la elección de parámetros de procesamiento adecuados.

Es primordial tener una comprensión elemental sobre cómo construir elementos técnicos a partir de fibras, sobre cómo seleccionar las mejores arquitecturas para ellos y cómo lograr funciones particulares de esta manera.

Las técnicas de procesamiento convencionales obviamente no son capaces de producir tales fibras funcionales extremadamente finas (orden de micrómetros), y esto también se aplica al soplado en fusión y técnicas especiales similares. La

técnica adecuada es el electrospinning, ya que ofrece las características únicas de que la formación de fibra no se basa primero en fuerzas mecánicas sino en fuerzas eléctricas y, en segundo lugar, que la conformación de fibras se lleva a cabo a través de un proceso de autoorganización muy peculiar, atraído por fuerzas electrostáticas repulsivas

El término "nano" para referirnos técnicamente a cantidades físicas dentro de la escala de una milmillonésima parte de la unidad de referencia. Este término también se refiere a una tecnología de fabricación en la que se diseñan y construyen objetos mediante la especificación y la ubicación de átomos o moléculas individuales o cuando al menos una dimensión está en una escala de nanómetros.

En este punto, es necesario realizar una aclaración, la comunidad académica ha aceptado el criterio $<100\text{nm}$ como el punto de referencia para la clasificación de nanotecnología, el sector comercial ha permitido una flexibilidad más amplia, como 300 nm o incluso hasta 500 nm , que algunos académicos clasificarían como submicrotecnología.

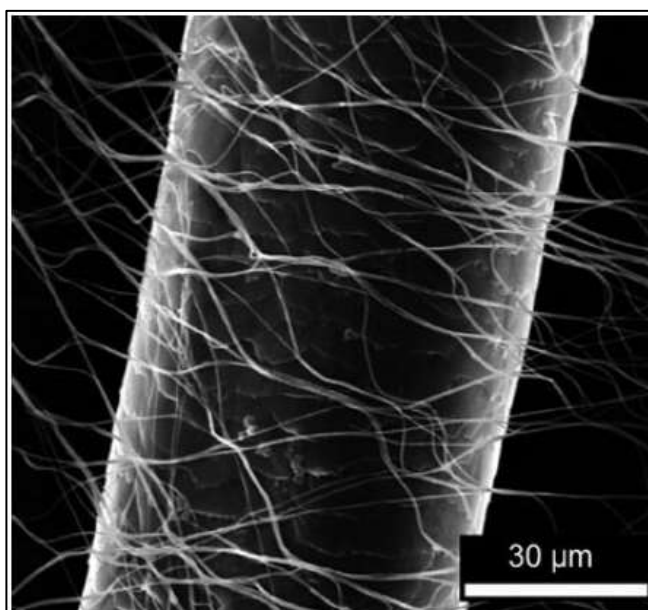


Figura 2. Imagen SEM de un cabello humano rodeado por fibras de PVA

Fuente: (A. Greiner and J. H. Wendorff, 2007)

2.2. Técnicas de obtención de nanofibras

Las nanofibras poliméricas pueden ser obtenidas mediante una serie de técnicas tales como: Drawing, Síntesis de moldeo, Separación de fases, Auto ensamblaje y Electrospinning. Todas las técnicas de obtención de fibras tienen diferentes características las cuales son explicadas a continuación.

Tabla 1.

Comparación de las técnicas de procesamiento para obtención de nanofibras

Proceso	Adelantos Tecnológicos	¿Puede el proceso ser escalado?	Repetitividad	Conveniente de procesar	Control en las dimensiones de la fibra
Drawing	Laboratorio	NO	SI	SI	NO
Síntesis por moldeo	Laboratorio	NO	SI	SI	SI
Separación de fases	Laboratorio	NO	SI	SI	NO
Auto Ensamblaje	Laboratorio	NO	SI	NO	NO
Electrospinning	Laboratorio (con potencial industrial)	SI	SI	SI	SI

Fuente: Ramakrishna, S. (2005). An introduction to electrospinning and nanofibers. (p. 7)

2.2.1. Drawing

Ramakrishna (2005) explica que esta técnica de obtención de fibras consiste en realizar contacto entre una gota de solución y una pipeta de diámetro de unos pocos micrómetros, una vez que los dos elementos hayan hecho contacto en la superficie, la micropipeta retrocede a una velocidad aproximadamente de $1 \times 10^{-4} \text{ ms}^{-1}$ lo cual genera una fibra alargada al momento de levantar la pipeta.

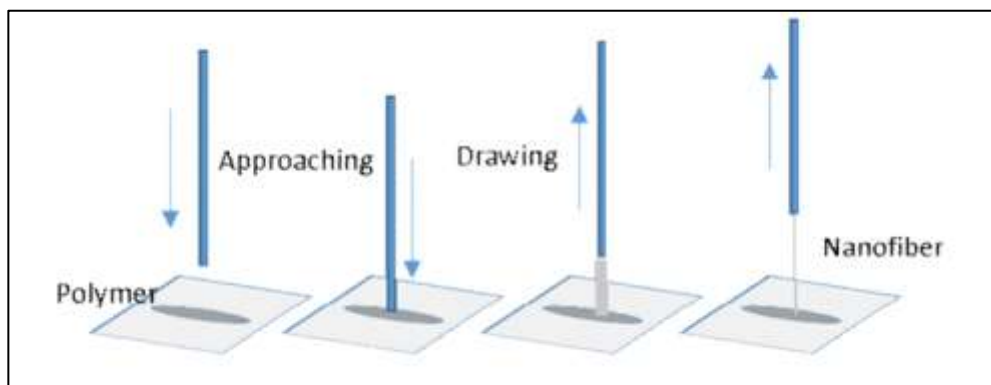


Figura 3. Técnica de obtención de fibra micrométrica mediante la técnica de drawing

Fuente: (Kiyac, et al; 2014)

2.2.2. Síntesis por moldeo

La síntesis por moldeo es un enfoque efectivo para la fabricación controlada de nano materiales con varias morfologías. Para este caso la producción de nano fibra por moldeo consiste en una membrana metálica con poros de diámetro bajo la escala manométrica. Aplicando agua a presión en uno de los extremos del conjunto y formando restricción gracias a la membrana metálica se crea extrusión del polímero el cual al realizar contacto con una solución solidificante dentro de la última fase se crea la nano fibra con un diámetro es determinado por el diámetro del poro de la membrana (Kiyac, et al; 2014)

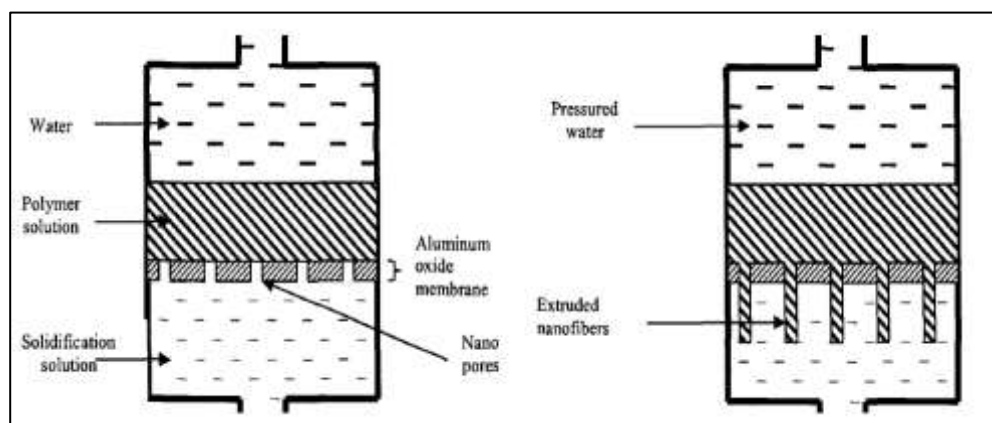


Figura 4. Técnica de obtención de fibra micrométrica mediante la técnica de moldeo

Fuente: (Ramakrishna, et al., 2006)

2.2.3. Separación de fases

En esta técnica, un polímero es mezclado con un solvente antes de pasar a la fase de solidificación. El mecanismo principal en el proceso es la separación de fases debido a incompatibilidades físicas. La técnica se compone básicamente de 5 fases:

- Disolución del polímero
- Separación de la fase líquido - líquido
- Solidificación de del polímero (formación del gel)
- Extracción del solvente del gel
- Enfriamiento

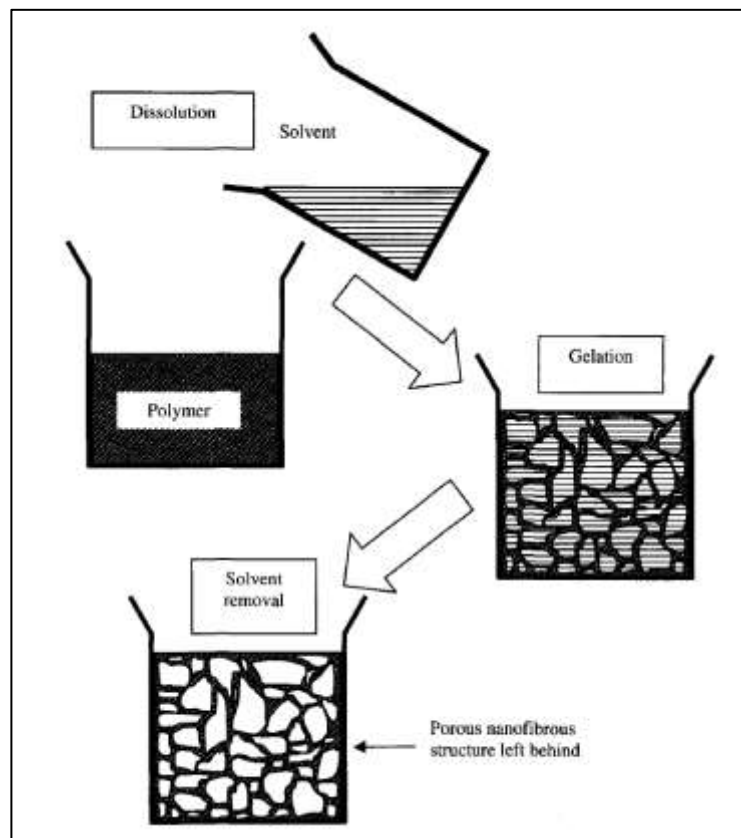


Figura 5. Esquema general de la separación de fases para la obtención de nanofibras

Fuente: (Ramakrishna, et al., 2005)

2.2.4. Auto Ensamblaje

En general, auto ensamblaje de nano fibras se refiere a la fabricación de fibras usando pequeñas moléculas como bloques básicos de construcción. El mecanismo principal para un auto ensamblaje genérico de fibras es la fuerza intermolecular que hace que las unidades más pequeñas se mantengan juntas. La forma de las unidades más pequeñas determina la forma general de la fibra macromolecular. Esta técnica provee una forma innovadora de diseñar y producir materiales novedosos en múltiples niveles.

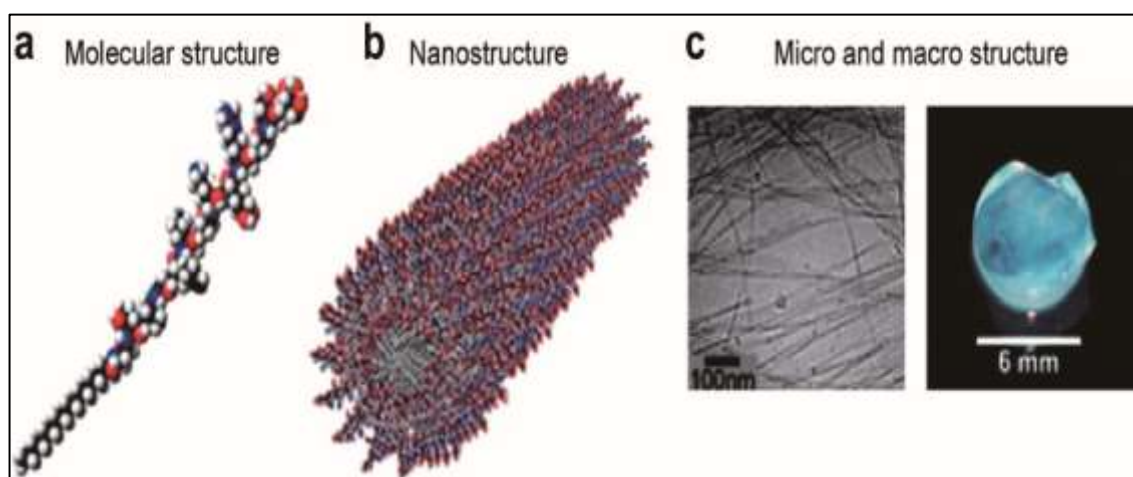


Figura 6. Esquemas de nanofibras autoensambladas

Fuente: (Jun, et al., 2005)

2.3. Principios de Electrospinning

En electrospinning, una fuerza electrostática producida por una fuente de alto voltaje es usada para conducir el proceso de spinning. Este campo es aplicado a gotas de una solución polimérica.

Por lo tanto, cuando un campo eléctrico es aplicado a una gota de líquido, una carga electrostática se acumula en la punta de la gota. Consecuentemente, la repulsión de la carga trabaja contra la tensión superficial, causando que la forma inicialmente de una superficie esférica de la gota cambie hacia una forma en cono alargado conocido como cono de Taylor. Un jet es luego liberado desde la aguja,

este jet puede tomar trayectorias complejas y es alterado por inestabilidades inducidas por cargas eléctricas, pero en la ausencia de un soluto de polímero viscoso, el líquido finalmente se atomizará en gotas pequeñas, este es el origen del importante proceso de electrospray.

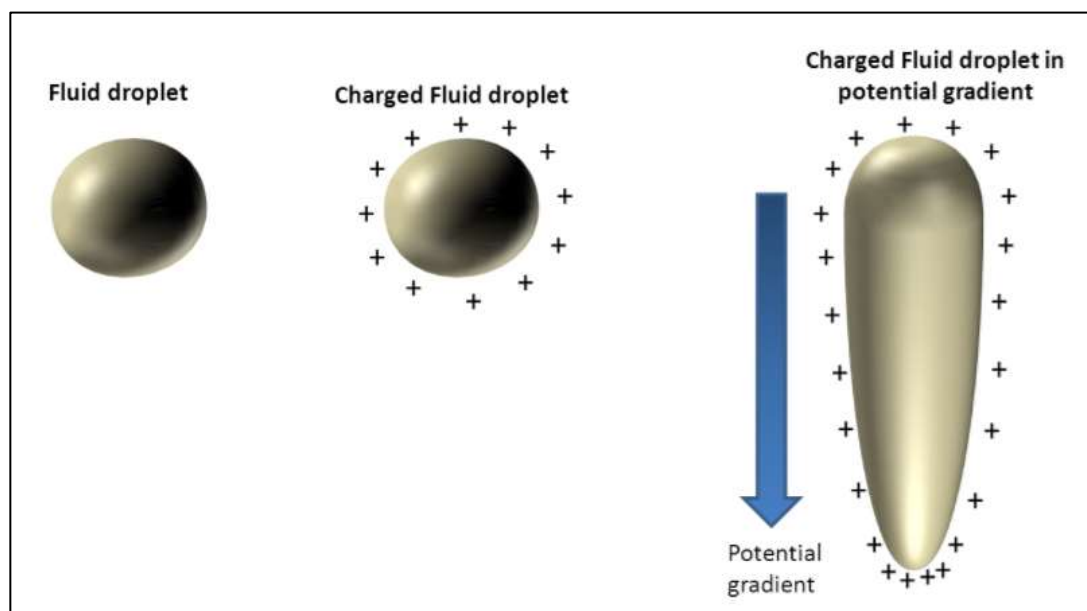


Figura 7. Principio de Electrospinning

Fuente: (Electrospintech, 2012)

2.4. Equipo básico

El equipo necesario para electrospinning a nivel de laboratorio es relativamente sencillo; en la configuración básica hay tres componentes principales:

- Fuente de alto voltaje DC o AC
- Jeringa plástica o metálica
- Colector
- Polímero o solución

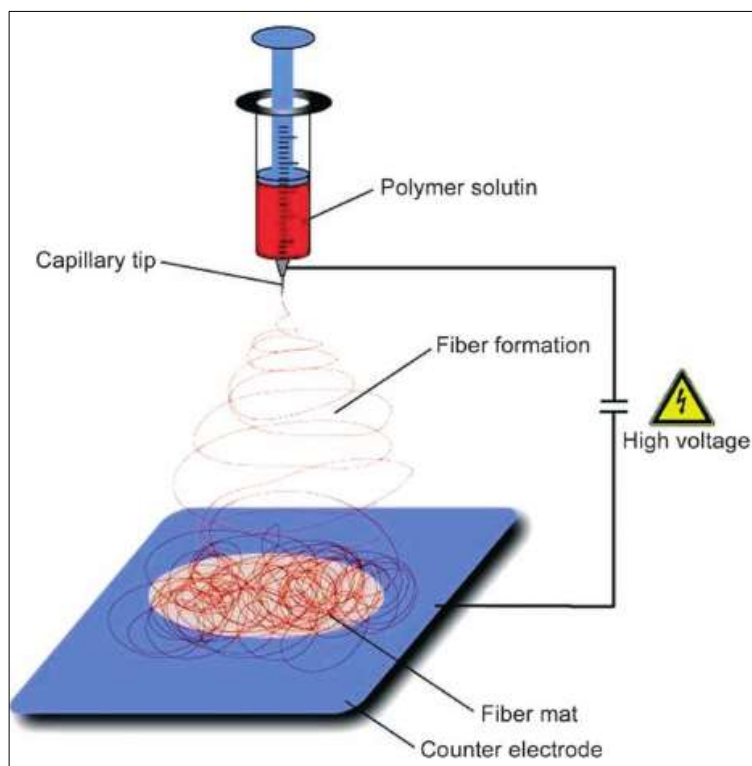


Figura 8. Configuración básica de un proceso de electrospinning con una disposición vertical

Fuente: (Electrospintech, 2012)

La jeringa se utiliza para almacenar la solución polimérica, dependiendo de la composición de la mezcla, esta puede ser de distinto material (polimérico, metálico o cerámico). Conforme se induce alto voltaje al capilar (aguja de la jeringuilla), esta se polarizará haciendo que las cargas se distribuyan en la superficie.

Bajo la influencia de un diferencial de potencial, la fuerza electrostática provocará una aceleración del polímero hacia el colector, es decir la fuerza electrostática complementa o reemplaza a fuerzas convencionales usadas para formar el jet y reducir el diámetro de la fibra, razón por la cual paralelamente se denomina al fenómeno como “electro hydrodynamic jetting”

El colector, por lo general, es un buen conductor eléctrico para la neutralización de la carga transportada por nano fibras. Sin embargo, los iones transportados por el aire también pueden neutralizar la carga en las nanofibras en algún grado,

posibilitando la recolección en colectores aislados o incluso en la superficie del líquido.

2.5. Efecto de varios parámetros en el proceso de Electrospinning

La necesidad de obtener fibras con una morfología y diámetros controlados ha llevado a muchos estudios sobre la relación entre las propiedades de la fibra y los parámetros variables.

El proceso de electrospinning depende de una gran cantidad de parámetros, clasificados macroscópicamente en parámetros de la solución, parámetros de proceso y parámetros ambientales. Los parámetros de la solución incluyen viscosidad, conductividad, peso molecular y tensión superficial; los parámetros del proceso incluyen el campo eléctrico aplicado, la distancia entre la punta y el colector y la velocidad de alimentación o de flujo.

“Cada uno de estos parámetros afecta significativamente a la morfología de las fibras obtenida como resultado del electrospinning, y mediante la manipulación adecuada de estos parámetros podemos obtener nano fibras de la morfología y los diámetros deseados” (Chong et al., 2007).

Además de estas variables, “los parámetros ambientales abarcan la humedad y la temperatura del entorno, mismos que desempeñan un papel importante en la determinación de la morfología y el diámetro de las nanofibras de electrospun” (Li y Xia, 2004)

Al ser un campo de estudio demasiado extenso, en las siguientes secciones del presente capítulo, se presenta un extracto de múltiples fuentes de primera mano, sin embargo, de ser necesario, en la Figura 9, se citan fuentes de consulta para ampliar el campo de conocimiento.

Parameter	Effected property	Reference
Solution properties		
Viscosity	Fibre diameter Bead formation in competition with surface tension	28
Molecular weight	A factor in the viscosity (<i>vide supra</i>)	28
Concentration of polymer	Increases the viscosity and increases the amount of polymer deposited	
Electric conductivity	The fibre diameter decreases with increasing conductivity; addition of ionic materials may reduce beading	28 and 29
Solvent properties		
Surface tension	Small unless becomes significant compared to viscosity, in which case beading occurs	30
Permittivity	Conductivity seems more influenced by the properties of the solvent and traces of ionic impurities	31
Vapour pressure	May cause problems with solvent evaporation before spinning; if too low solvent may not evaporate. Solvent evaporation may influence the formation of non-cylindrical morphologies	32
Operation conditions		
Applied voltage	Fibre diameter in principle reduced as the forces on the fibre increase; however, rate of production increased, which may increase fibre production	31
Distance of collector from the spinneret	Fibre solidification deposition over an increased area	33
Feeding rate	Too small a flow rate stops Taylor cone developing; too fast and there may be pulsing	28
Surrounding conditions		
Temperature	Fibre diameter through changes in viscosity (largely decreases with temperature) may affect many solution properties	33
Humidity	Porosity may influence solvent evaporation	34

Figura 9. Parámetros de Electrospinning y su influencia en la morfología

Fuente: Mitchell, G. R. (Ed.). (2015). Electrospinning: principles, practice and possibilities (p. 20)

2.5.1. Parámetros de la solución

Las propiedades de la solución polimérica son las más influyentes en el proceso de electrospinning y la morfología de la fibra resultante. Dentro de los parámetros de la solución tenemos la concentración, viscosidad, peso molecular, tensión superficial y conductividad de la solución, las cuales se proceden a detallar a continuación.

2.5.1.1. Concentración

En el proceso de electrospinning, para que la fibra se forme, es necesario una concentración mínima en la solución. Se ha encontrado que, a baja concentración de solución, se obtiene una mezcla de perlas y fibras; a medida que aumenta la concentración de la solución, la forma esférica de las perlas comienza a sufrir un alargamiento y finalmente se forman fibras uniformes con diámetros aumentados debido a la mayor resistencia a la viscosidad (Liu y Hsieh, 2002).

Es fundamental que exista una concentración óptima en la solución 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 más grandes (Sukigara et al., 2003).

Los investigadores han intentado encontrar una relación entre la concentración de la solución y el diámetro de la fibra y encontraron una relación de ley de poder que aumenta la concentración de la solución y aumenta el diámetro de la fibra con electrospinning de gelatina (Ki et al., 2005; Jun et al., 2003).

La tensión superficial y la viscosidad de la solución también juegan un papel importante en la determinación del rango de concentraciones a partir de las cuales se pueden obtener fibras continuas en electrospinning (Deitzel et al., 2001).

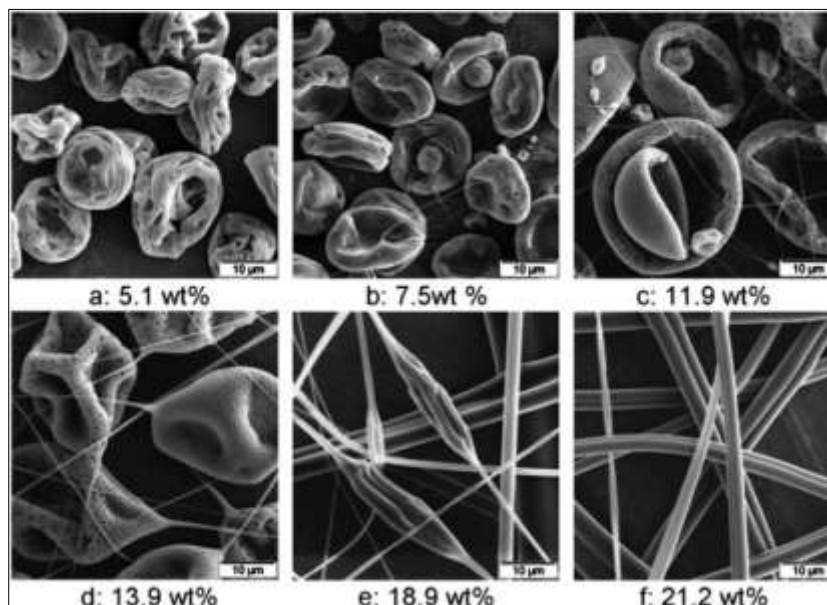


Figura 10. Muestras de electrospun de poliestireno en tetrahidrofurano variando la concentración

Fuente: Geoffrey R Mitchell

2.5.1.2. Peso molecular

El peso molecular del polímero tiene un efecto significativo sobre las propiedades reológicas y eléctricas, tales como la viscosidad, la tensión superficial, la conductividad y la resistencia dieléctrica (Haghi y Akbari, 2007).

Este es el otro parámetro de solución importante que afecta la morfología de la fibra electrospun y, en general, se han utilizado soluciones de polímeros de alto peso molecular en electrospinning, ya que proporcionan la viscosidad deseada para la generación de fibra. Se ha observado que una solución con un peso molecular demasiado bajo tiende a formar perlas en lugar de fibras y una solución de alto peso molecular proporciona fibras con mayores diámetros.

El peso molecular del polímero refleja el número de enredos de las cadenas de polímero en una solución, por lo tanto, la viscosidad de la solución. El enredo de cadenas juega un papel importante en el procesamiento del electrospinning. Por lo tanto, incluso cuando la concentración de polímero es baja, HM-PLLA (ácido poli-L-láctico de alto peso molecular) puede mantener una cantidad

suficiente de enredos de las cadenas de polímero, asegurando así un nivel suficiente de viscosidad de la solución para producir un chorro uniforme durante el electrospinning y frenar los efectos de la tensión superficial, que desempeña un papel importante en la formación de perlas en nanofibras electrospun (Tan et al., 2005).

2.5.1.3. Viscosidad

La viscosidad de la solución juega un papel importante en la determinación del tamaño y la morfología de las fibras poliméricas. Se ha encontrado que con muy baja viscosidad no hay formación continua de fibra y con una viscosidad muy alta hay dificultad en la eyección de los chorros de la solución del polímero, por lo tanto, existe un requisito de viscosidad óptima para el electrospinning.

El rango de viscosidad de una solución polimérica a la que se produce el fenómeno de electrospinning, difiere entre el tipo de polímero. Los investigadores han informado de viscosidades máximas de hilado que varían de 1 a 215 poises (Baumgarten, 1971; Doshi y Reneker, 1995; Deitzel et al., 2002; Buchko et al., 1999).

La viscosidad, la concentración del polímero y el peso molecular del polímero están correlacionados entre sí. A muy altas viscosidades, las soluciones de polímeros exhiben generalmente un mayor estiramiento, lo que podría evitar la fractura de los chorros eyectados durante el electrospinning. “Un aumento en la viscosidad o concentración de la solución da lugar a un diámetro de fibra más grande y más uniforme” (Deitzel et al., 2001).

En electrospinning, la viscosidad de la solución juega un papel importante en la determinación del rango de concentraciones a partir del cual se pueden obtener las fibras continuas. Para la solución de baja viscosidad, la tensión superficial es el factor dominante y solo se forman perlas o fibras de perlas cuando se encuentra por encima de una concentración crítica, se obtiene una estructura fibrosa continua y su morfología se ve afectada por la concentración

de la solución (Doshi y Reneker, 1995). Tomados en conjunto, estos estudios indican que existen valores de viscosidad óptimos, específicos del polímero para el electrospinning y esta propiedad tiene una notable influencia en la morfología de las fibras

2.5.1.4. Tensión superficial

La tensión superficial, que es más probable que sea una función de las composiciones de disolventes de la solución, juega un papel crítico en el proceso de electrospinning y al reducir la tensión superficial de una solución de nano fibra; las fibras se pueden obtener sin “beads”. Diferentes solventes pueden contribuir a diferentes tensiones superficiales. En general, la alta tensión superficial de una solución inhibe el proceso de electrospinning debido a la inestabilidad de los chorros y la generación de gotas rociadas (Hohman et al., 2001).

La formación de gotitas, perlas y fibras depende de la tensión superficial de la solución y una menor tensión superficial de la solución de hilado ayuda a que el electrospinning ocurra en un campo eléctrico más bajo (Haghi y Akbari, 2007).

Sin embargo, no necesariamente una menor tensión superficial de un disolvente siempre será más adecuada para el electrospinning. Básicamente, la tensión superficial determina los límites superior e inferior de la ventana de electrospinning si todas las demás variables se mantienen constantes (Fong et al., 1999, Zhang et al., 2005b; Pham et al., 2006).

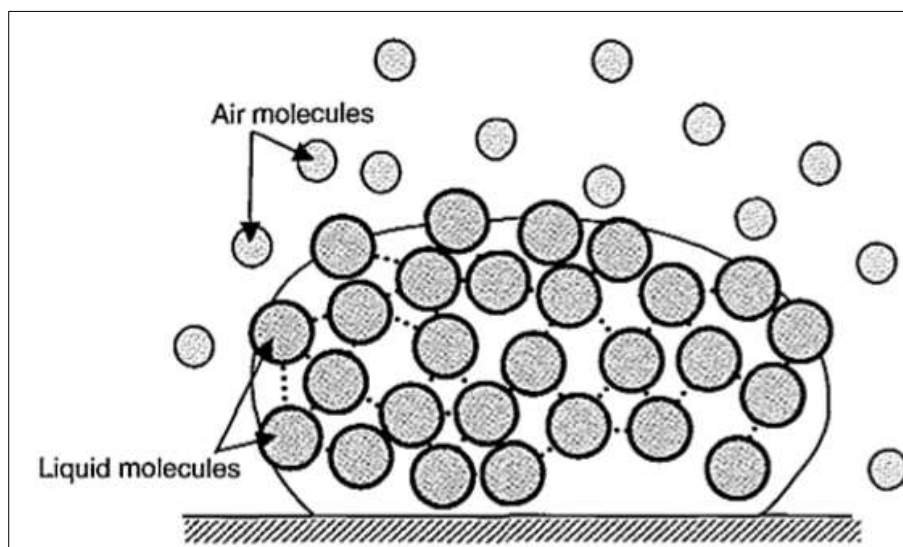


Figura 11. Fuerzas de Adhesión en la superficie del líquido

Fuente: (Ramakrishna, 2005)

2.5.1.5. Conductividad

Los polímeros son en su mayoría conductores, y los iones cargados en la solución de polímero son altamente influyentes en la formación de chorro. La conductividad de la solución está determinada principalmente por el tipo de polímero, el disolvente utilizado y la disponibilidad de sales ionizables.

Se ha encontrado que, con el aumento de la conductividad eléctrica de la solución, hay una disminución significativa en el diámetro de las nanofibras electrospun mientras que, con baja conductividad de la solución, se produce un alargamiento insuficiente del chorro, incapaz de formar una fibra uniforme, por lo que se observa la formación de beads.

2.5.2. Parámetros del proceso

2.5.2.1. Voltaje aplicado

En el proceso de electrospinning, un elemento crucial es el voltaje aplicado a la solución. Únicamente después de alcanzar el valor umbral de tensión,

ocurre la formación de fibra, esto induce las cargas necesarias en la solución junto con el campo eléctrico e inicia el proceso de electrospinning.

Experimentalmente se ha demostrado que la forma de la caída iniciadora cambia con las condiciones de giro (voltaje, viscosidad y velocidad de avance) (Baumgarten, 1971). Existe una pequeña disputa sobre el comportamiento del voltaje aplicado en el proceso de electrospinning.

Los investigadores han sugerido que cuando se aplican voltajes más altos, hay más eyección de polímero y esto facilita la formación de una fibra de mayor diámetro (Zhang et al., 2005b, Demir et al., 2002). Otros autores han informado que un aumento en la intensidad del campo eléctrico aumenta la fuerza de repulsión electrostática en el chorro del fluido, lo que finalmente favorece el estrechamiento del diámetro de la fibra.

En la mayoría de los casos, un voltaje más alto causa un mayor estiramiento de la solución debido a las mayores “fuerzas columbicas” en el chorro, así como a un campo eléctrico más fuerte y estos efectos conducen a una reducción en el diámetro de fibra y también a una rápida evaporación del solvente de las fibras. A un voltaje más alto también hay una mayor probabilidad de formación de “beads” (Buchko et al., 1999; Deitzel y otros, 2001; Demir y otros, 2002; Megelski y otros, 2002; Lee et al., 2004; Mo et al., 2004; Katti et al., 2004; Pawlowski et al., 2004; Haghi y Akbari, 2007).

El comportamiento similar del voltaje aplicado sobre el diámetro de la fibra también es observado por Larrondo y Manley (1981a, b, c). Han mostrado la disminución del diámetro de la fibra en aproximadamente la mitad al duplicar el campo eléctrico aplicado. Por lo tanto, el voltaje influye en el diámetro de la fibra, pero el nivel de significación varía y va de la mano con la concentración de la solución de polímero y en la distancia entre la punta y el colector (Yordem et al., 2008).

2.5.2.2. Tasa de bombeo de la solución

La tasa de bombeo de la solución polimérica desde la jeringa es un parámetro importante ya que este proporciona la velocidad y la tasa de transferencia del material.

Una tasa de alimentación baja es la más deseada ya que de esta forma el solvente tendrá el tiempo necesario para evaporarse. Siempre debe existir un flujo mínimo de la solución polimérica. Se ha observado que el diámetro de la fibra y el diámetro del poro aumentan con un aumento en la velocidad del flujo del polímero en el caso de las fibras de poliestireno (PS) y cambiando la velocidad del flujo, la estructura morfológica puede cambiarse ligeramente.

Las altas velocidades de flujo dan como resultado fibras con beads debido a la falta de disponibilidad del tiempo de secado adecuado antes de llegar al colector (Wannatong et al., 2004, Yuan et al., 2004, Kim et al., 2005a, Zuo et al., 2005).

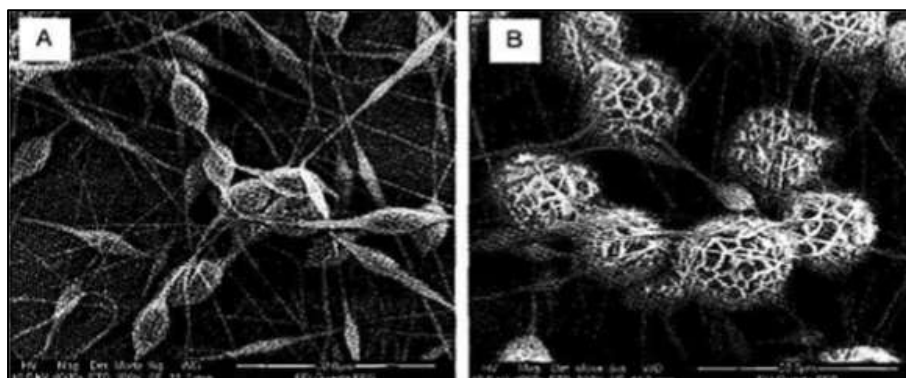


Figura 12. Fibras de PCL con un aumento de caudal, a) 0.5 ml/hr y b) 2 ml/hr

Fuente: (Ramakrishna, 2005)

2.5.2.3. Colectores

Un aspecto importante del proceso de electrospinning es el tipo de colector utilizado. En este proceso, un colector sirve como un conductor donde se recogen las nanofibras.

En general, se utiliza papel de aluminio como colector, pero debido a la dificultad de transferir las fibras recogidas y la necesidad de fibras alineadas para diversas aplicaciones, otros colectores han sido creados, por ejemplo: barra paralela o rectificada (Li et al., 2004), barra giratoria, rueda giratoria (Xu et al., 2004), son tipos comunes de coleccionistas hoy en día.

Las nanofibras generadas se depositan en el colector aleatoriamente debido a la inestabilidad de flexión del chorro altamente cargado (Reneker et al., 2000; Shin et al., 2001a).

A continuación, se definen que tipos de colectores se han implementado y como estos influyen en la morfología de la fibra obtenida

El uso de un tambor rotatorio o una bobina giratoria similar a una rueda o un marco de metal como colector, para obtener fibras electrospun alineadas más o menos paralelas entre sí (Doshi y Reneker, 1995; Deitzel et al., 2001; Fong et al., 2002). Se han usado varios tipos de electrodos divididos para obtener nanofibras alineadas y típicamente tales colectores consisten en dos sustratos conductivos separados por un espacio vacío donde se depositan nanofibras alineadas (Li et al., 2003b, 2004, 2005b; Jalili et al., 2006).

2.5.2.4. Diámetro de la aguja

Dado que la viscosidad de las soluciones poliméricas es considerable, el diámetro de la aguja tiene límites con respecto al flujo y a la presión en la jeringuilla

PankajKumar (2011) explica que el diámetro interno de la aguja tiene cierto un efecto muy importante dentro del proceso. Un orificio con diámetro pequeño reduce el efecto de obstrucción debido a una menor exposición de la solución con la atmosfera y conduce a la formación de fibras de menor diámetro. Sin embargo, diámetros muy pequeños de orificio tienen la desventaja de causar problemas al momento de extruir la gota de solución.

2.5.2.5. Distancia entre punta de la aguja y colector

La distancia entre la punta y el colector se ha examinado como otro enfoque para controlar los diámetros de fibra y la morfología.

Se requiere una distancia mínima para dar a las fibras tiempo suficiente para secarse antes de llegar al colector, de lo contrario, con distancias que están demasiado cerca o demasiado lejos, se han observado perlas o “beads”

Un aspecto físico importante de las nanofibras de electrospinning es su viscosidad a partir del disolvente utilizado para disolver el polímero (Jalili et al., 2005). Por lo tanto, debe haber una distancia óptima entre la punta y el colector que favorezca la evaporación del disolvente de las nanofibras.

El efecto de la punta y la distancia del colector sobre la morfología de la fibra no es tan significativo como otros parámetros y esto se ha observado con electrospinning de PVA (Zhang et al., 2005b), gelatina (Ki et al., 2005), quitosan (Geng et al. al., 2005) y poli (fluoruro de vinilideno) (Zhao et al., 2005).

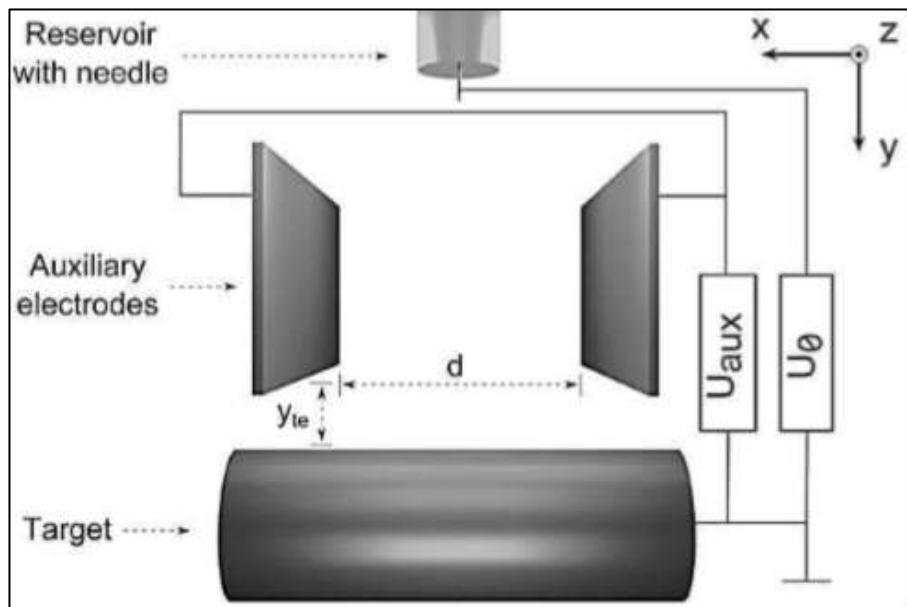


Figura 13. Distancias que considerar en el proceso de electrospinning

Fuente: (Angammana, 2016)

2.5.3. Parámetros ambientales

El efecto ambiente que rodea al fenómeno de electrospinning es un área con poca investigación.

Cualquier interacción entre los alrededores y la solución polimérica puede tener un efecto en la morfología de la fibra de electrospinning.

Alta humedad por ejemplo es la causante de formar porosidades en la superficie de la fibra. Ya que la técnica de electrospinning es influenciada por un campo eléctrico externo, cualquier cambio en los alrededores del fenómeno también afectara al proceso.

2.5.3.1. Temperatura

Se debe tener en cuenta el entorno en el que el experimento se está llevando a cabo. Los cambios sutiles de temperatura, presión y humedad relativa pueden tener un efecto marcado en el proceso. Dada la influencia de la temperatura en una serie de parámetros, es difícil extraer únicamente el efecto que la temperatura solo tiene en el proceso de electrospinning.

No obstante, es un parámetro importante para considerar, se debe, en la medida de lo posible, mantener la temperatura lo más constante posible entre las pruebas para asegurar la reproducibilidad

El estudio de Kim y sus colaboradores encontró que, al aumentar la temperatura local, el solvente se evaporaba más rápido y proporcionaba una solución simple a los solventes con una baja tasa de evaporación (509). Para solventes excesivamente volátiles, el cono de Taylor se secará

Según A. Mehrdad, un aumento en la temperatura de 10 K reduce la viscosidad intrínseca de una solución de PEG / PVP hasta a 9.2%. Tal reducción ya ha demostrado que influye tanto en la morfología y diámetro de la fibra.

2.5.3.2. Humedad

La humedad del ambiente podría tener una influencia en la solución polimérica durante el proceso de electrospinning.

Cuando existe alta humedad es probable que se condense agua en la superficie de la fibra cuando el proceso es realizado en condiciones atmosféricas normales.

Baja humedad podría secar al solvente totalmente y aumentar la velocidad de la evaporación del solvente. En cambio, la alta humedad puede dirigir a la producción de fibras de diámetro grande ya que la carga en el jet puede ser neutralizado y la fuerza de estirado se torna pequeña.

Como resultado eso podría influir en la morfología de la fibra especialmente polímero disuelto en solventes volátiles

La humedad del ambiente también determinara la tasa de evaporación del solvente en la solución. A un bajo nivel de humedad un solvente volátil podría secarse muy rápido. La evaporación del solvente podría ser más rápida.

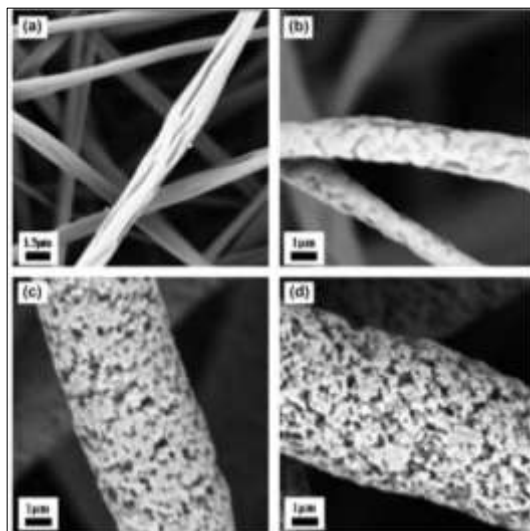


Figura 14. Imágenes SEM de PSU a diferentes humedades relativas (a)0%,(b)10%,(c) 30%,(d)50%

Fuente: Geoffrey R Mitchell

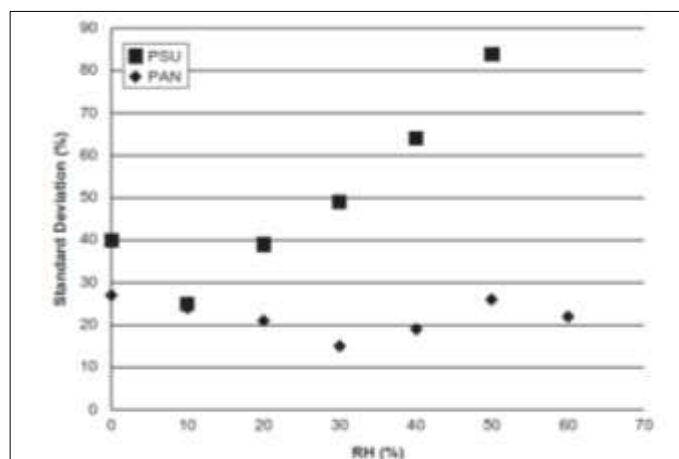


Figura 15. Variación de la Desviación Estándar respecto con la humedad relativa en PSU y PAN

Fuente: (Huang, et al., 2002)

2.5.3.3. Tipo de atmosfera

La composición del aire en el ambiente de electrospinning tendrá un efecto directo. Ya que los gases se comportan diferente al ser sometidos bajo campos electroestáticos altos.

2.5.3.4. Presión

Generalmente la reducción de la presión de los alrededores del proceso de electrospinning no mejora el proceso. Cuando la presión es menor que la presión atmosférica, la solución polimérica en la jeringa tendrá una mayor tendencia de fluir fuera de la aguja lo cual causa un jet inestable. Mediante la presión siga disminuyendo existirá ebullición rápida de la solución en la punta de la aguja. A muy bajas presiones electrospinning no es posible debido a

2.5.3.5. Electrospinning asistido por gas

En varios casos debido a los niveles de viscosidad como también a la alta tensión superficial de la solución, la carga eléctrica es insuficiente para estirar la solución y formar fibra.

Si se utiliza solventes volátiles y al exponerlos al ambiente la rápida evaporación del solvente puede hacer que la solución no funcione bien al exponerlo al fenómeno.

Por lo tanto, la fabricación de fibra puede mejorar al usar gas caliente, ya que al aumentar la temperatura se reduce la viscosidad de la solución.

CAPITULO III. REQUERIMIENTOS Y DISEÑO CONCEPTUAL

En el presente capítulo se exponen los requerimientos planteados por el “cliente”, en este caso por el Laboratorio de Reología y Fluidos Complejos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además se plantean ideas de solución enfocadas de manera sistemática a cada uno de los subsistemas que presentará el equipo

3.1. Requerimientos

Para encontrar las necesidades del cliente de este proyecto, se realizó una estrecha colaboración con el Laboratorios de Reología y Fluidos Complejos, se realizaron varias entrevistas durante el proyecto, para obtener las características deseadas de la nueva máquina de obtención de fibras mediante electrospinning.

Acorde a la experiencia de quienes integran el laboratorio, se logró establecer los siguientes parámetros:

- Ser hermética (la presión de operación será de 2 psi, presión positiva y negativa) para tener dos modos de experimentación: crear una atmósfera mediante la inundación con gas o generar un bajo vacío en el interior de la cámara
- Tener un diseño modular
- Facilidad de manipulación de las componentes en su interior, así como del equipo eléctrico/electrónico a utilizarse
- La máquina debe tener un volumen adecuado para un equipo de laboratorio
- Crear una diferencia de potencial de 60kV (de -30kV a +30kV)
- Contener diferentes colectores giratorios y estáticos, explicados en el literal 3.2.8 del presente documento

- Poseer un sistema de movimiento cartesiano, con un desplazamiento máximo de 200mm en el eje X, 200 mm en el eje Y, y 200 mm en el eje Z
- Manipulación de la mayoría de los sistemas de la máquina mediante un HMI amigable (Human Machine Interface)

3.2. Diseño Conceptual

Debido a la naturaleza de este proyecto, el proceso de generación del concepto se realizó de una manera puntual, atendiendo a todos los requerimientos antes mencionados

Basado en el material recopilado de las fuentes de primera y segunda mano, además de atender a los requerimientos planteados, se comenzó mediante una lluvia de ideas, donde varios módulos pueden emparejarse para personalizar un sistema de producción para una variedad de aplicaciones de investigación científica

La robustez de la máquina es clave en este proyecto de tesis. Para obtener la mayor flexibilidad posible, todas las partes que son conocidas o pueden ser significativas para el resultado de la calidad / estructura de la fibra son modulares. Dichas partes son el sistema de inyección, el sistema de recolección de fibra (colectores), el sistema de generación de alto voltaje, el tipo de ambiente en que se desarrolla el fenómeno.

En la medida de lo posible, cualquier parte del equipo debe ser controlada usando una sola interfaz de computadora (HMI) en lugar de tener que ajustar algunos parámetros manualmente.

La conceptualización del proyecto se enfoca en el equipo de experimentación que servirá como medio para la obtención de fibras, donde varios sistemas de este son mutuamente dependientes para lograr una variedad de situaciones experimentales.

Es importante aclarar que tanto la primera etapa como la tercera etapa del proceso completo de experimentación mediante electrospinning no forman parte como tal del presente proyecto de titulación, es decir, la preparación de las soluciones experimentales, así como el tipo de análisis que se realice a las fibras obtenidas, dependen de otros factores en los cuales no se ha hecho énfasis. El diagrama de bloques que representa lo anteriormente mencionado, es el que se ilustra a continuación:

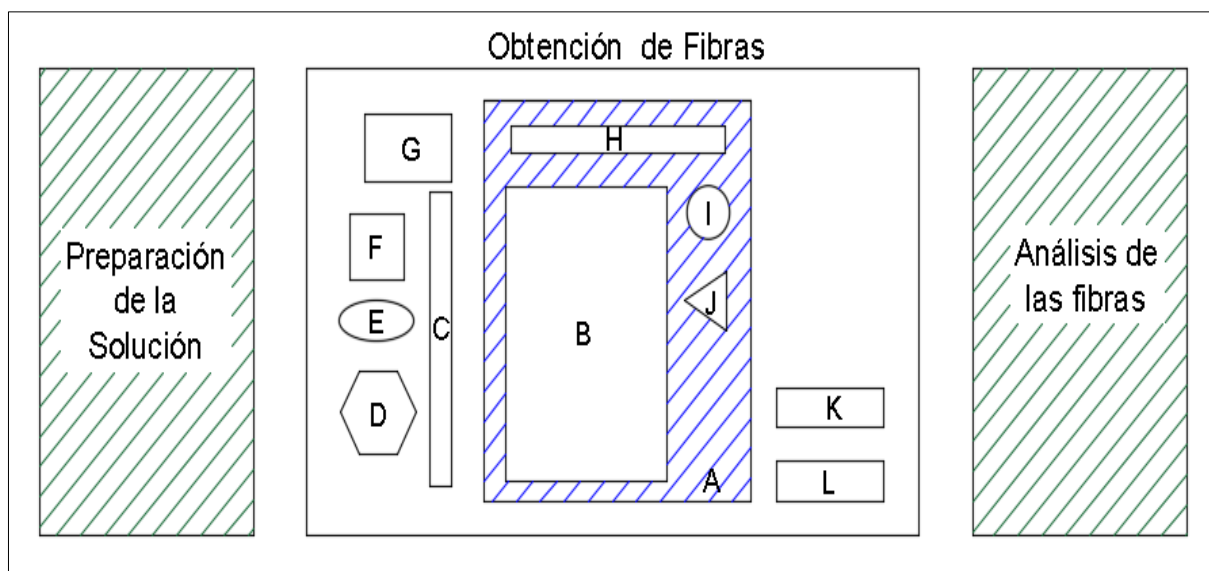


Figura 16. Diagrama de Bloques del Proceso Experimental Completo

Donde:

- A. Cámara hermética y de bajo vacío
- B. Sistema de Movimiento de la aguja / Robot Cartesiano
- C. Sistema de Ingreso de Gas / Generación de Vacío
- D. Sistema de Generación de Alto Voltaje
- E. Sistema de Bombeo
- F. Sistema de Control
- G. Sistema de Monitoreo
- H. Sistema de Calentamiento
- I. Sistema de Iluminación
- J. Sistema de Visualización del Fenómeno

- K. Colectores Giratorios
- L. Colectores Estacionarios

3.2.1. Casa de la Calidad

El despliegue de la función de calidad (QFD, por sus siglas inglesas) es un método de diseño de productos y servicios que recoge las demandas y expectativas de los clientes y las traduce, a través de la superposición sucesiva de matrices, a características técnicas y operativas satisfactorias.

La matriz de la casa de la calidad permite distinguir 6 pasos:

1. Voz del usuario: Describe las demandas (requerimientos y deseos) de los usuarios
2. Análisis de competitividad: Describe, según el usuario, el grado de satisfacción que proporcionan los productos o servicios de la empresa respecto a los de la competencia
3. Voz del ingeniero: Describe los requerimientos técnicos que deberán articularse para satisfacer las necesidades de los usuarios
4. Correlaciones: Establece las correlaciones entre la voz de los usuarios y la voz del ingeniero
5. Comparación técnica: Compara el producto de la empresa con los de la competencia
6. Compromisos técnicos: Establece los compromisos potenciales entre las diferentes características técnicas del producto

La Figura 16 muestra la casa de la calidad para el presente proyecto, han sido considerados los requerimientos planteados por el cliente, los cuales constituyen la voz del usuario, transformados a la voz del ingeniero; se establecieron correlaciones entre las características técnicas y las demandas, con la finalidad de satisfacer de satisfacer las necesidades del cliente.

VOZ DEL USUARIO <i>necesidades y deseos usuario</i>	VOZ DEL INGENIERO <i>características técnicas</i>	<table border="1" style="display: inline-table; text-align: center; width: 100px; height: 40px;"> <tr><td>Φ</td><td>Muy Positivo</td></tr> <tr><td>O</td><td>Positivo</td></tr> <tr><td>X</td><td>Negativo</td></tr> <tr><td>Ж</td><td>Muy Negativo</td></tr> </table>											Φ	Muy Positivo	O	Positivo	X	Negativo	Ж	Muy Negativo	A	B	C	D	E	F	G	H	I
		Φ	Muy Positivo																										
O	Positivo																												
X	Negativo																												
Ж	Muy Negativo																												
		Peso del equipo	Número de Colectores	Interfaz de Usuario	Tipo de Fuentes de Voltaje	Materiales y Forma	Diseño desmontable	Alarmas de Control	Equipos	Presion	Sistema de Movimiento	Propia empresa	Competencia 1	Competencia 2	Objetivos	Índice de mejora	Factor de venta	Importancia	Podernación	Ponderación en %									
Tener un peso adecuado	E	9	1			9	1		3	3	3	3	3	3	3	1	1	4	4	7,33									
Crear diferentes experimentos	O		9	3	3			1	9	9	9	5	4	4	5	1	1,5	5	7,5	13,74									
Fácil de manejar	B		1	9					3			4	4	4	4	1	1,2	4	4,8	8,80									
Inducir un Alto Voltaje	E				9							5	4	4	5	1	1,2	4	4,8	8,80									
Agradable Esteticamente	B			1		9						3	3	3	4	1,3	1	5	6,7	12,22									
Fácil Mantenimiento	O		1				3					4	4	4	4	1	1	4	4	7,33									
Debe ser seguro	O			3	3	3		9	1	9		5	5	5	4	0,8	1,5	4	4,8	8,80									
Barato	B		3	3	1	3			3	3	3	4	2	2	4	1	1,5	4	6	11,00									
Soportar presion manometrica	O	1		3		3	3		3	9		5	2	2	4	0,8	1,5	5	6	11,00									
Poder mover la aguja de inyeccion	O		1								9	5	4	4	5	1	1,5	4	6	11,00									
														55	100														
Evaluación técnica		valores de referencia																											
		50Kg	6 colectores	HMI	30 kV	Acero Inoxidable	Diseño Modular	Paro de Emergencia	\$35000	4 psi de presion manometrica y de vacio	200mm de amplitud en cada eje																		
		Propia empresa	3	3	5	4	5	5	4	4	3	4																	
		Competencia 1	2	3	3	3	5	3	3	4	3	3																	
		Competencia 2	3	3	1	2	4	4	3	4	4	3																	
		Incidencia	40	120	106	76,8	180	28	48	132	198	144	1072	Análisis de la Competencia															
		Incidencia en %	3,7	11,2	9,8	7,2	16,8	2,6	4,5	12,3	18,5	13,4	100																
FACTOR DE INCIDENCIA	Fuerte	9 ♦																											
	Medio	3 ❖																											
	Bajo	1 •																											
		FACTOR DE VENTA																											
		Fuerte	1,5 ♦																										
		Posible	1,2 ❖																										
		Ningún	1 •																										

Figura 17. Casa de la Calidad del Equipo de Electrospinning

3.2.2. Máquinas de electrospinning comerciales

Las máquinas de electrospinning con similares prestaciones que el proyecto a desarrollarse, entre sus principales características presentan:

- Panel digital de control del equipo
- Diferencia de Voltaje entre aguja y colector de 60kV
- Sistema de inyección multi-puntos
- Sistema de Visualización del cono de Taylor
- Sistema de calentamiento de la manguera del Polímero
- Sistema de calentamiento de la cámara
- Sistema de control de humedad con un compresor como fuente externa
- Plataforma de movimiento en dos dimensiones
- Colector giratorio a una velocidad angular máxima de 2500 rpm
- Aislamiento interno de toda la cámara



Figura 18. Equipos de laboratorio para electrospinning disponibles en el mercado internacional

Fuente: (Spin4, 2012)

3.2.3. Diseño Conceptual del Equipo

Para el diseño en general del equipo tomamos en cuenta la disposición de los elementos principales.

- Robot Cartesiano

- Sistema modular de colectores
- Sistema de calentamiento ambiental
- Sistema de distribución de gas
- Sistemas de protección del equipo

Tomando todos estos sistemas en cuenta se ha generado tres opciones de prototipo.

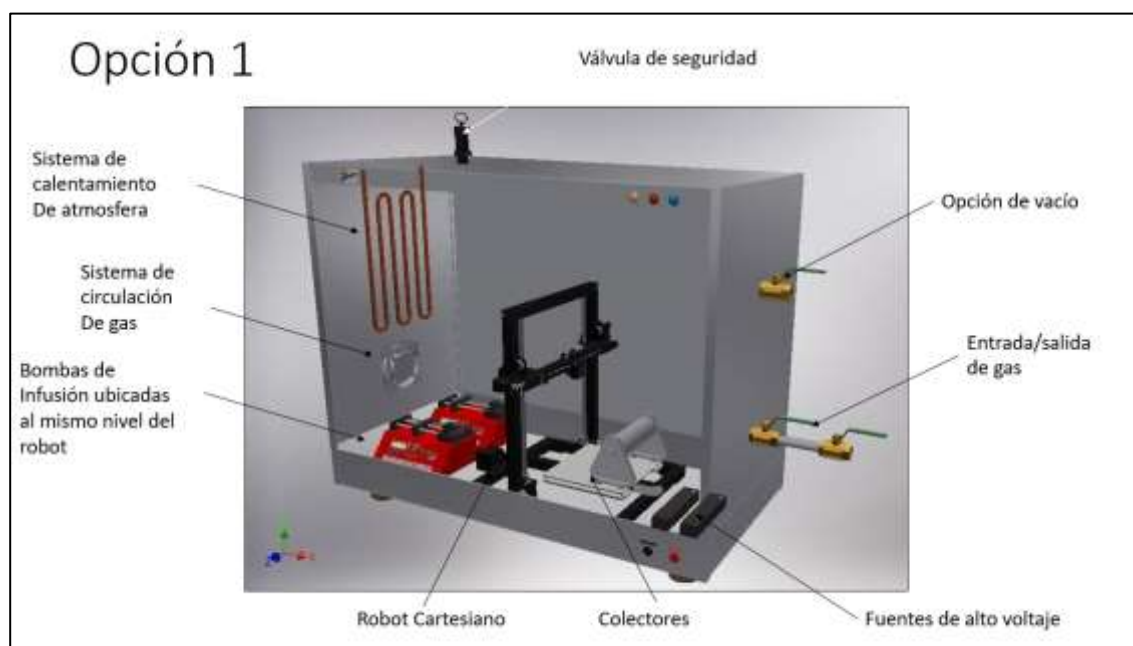


Figura 19. Distribución de elementos para la Opción 1

Tabla 2.

Ventajas y desventajas de opción de prototipo 1

Ventajas	Desventajas
Baja manipulación de los elementos eléctricos y mecánicos de las bombas de infusión	La cámara tiene un mayor tamaño debido a que todos los elementos están dentro de la misma
Fácil reemplazo de bombas (desconexión de mangueras y sistema eléctrico)	Mayor cantidad de gas depositado
Las bombas de infusión como también las fuentes eléctricas no tienen contacto con factores ambientales externos	La cámara se vuelve más difícil de hermetizar al ser de mayor tamaño

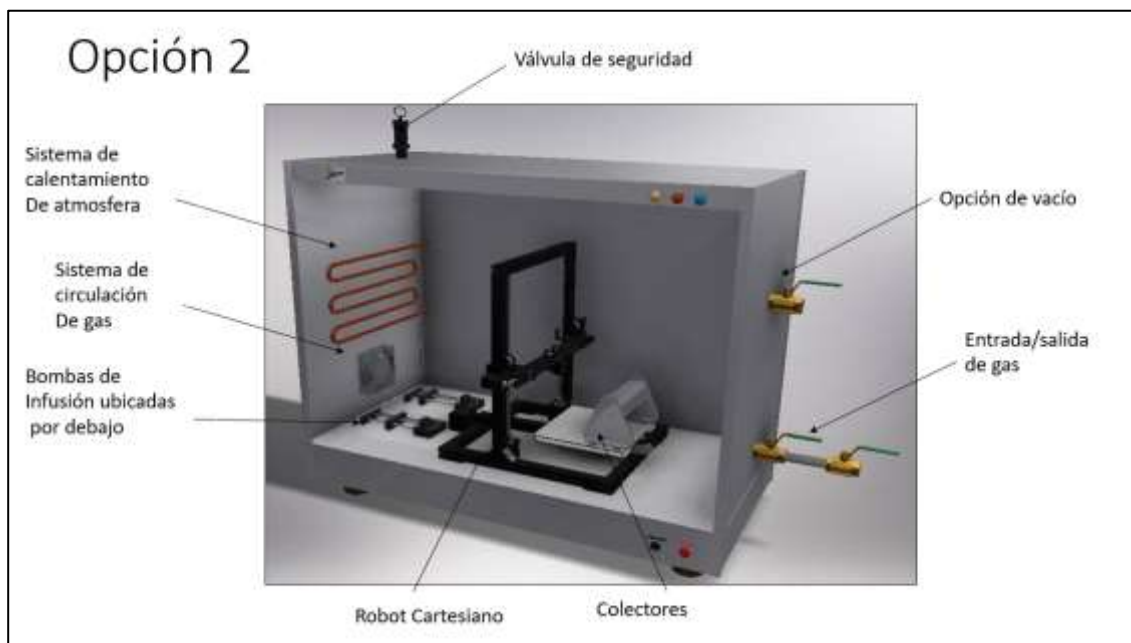


Figura 20. Distribución de elementos para la Opción 2

Tabla 3

Ventajas y desventajas de opción de prototipo 2

Ventajas	Desventajas
Las bombas de infusión como también las fuentes de alto voltaje no tienen contacto con factores ambientales externos	La cámara tiene un mayor tamaño debido a que todos los elementos están dentro de la misma
	Mayor cantidad de gas depositado
	La cámara se vuelve más difícil de hermetizar al ser más grande
	Alta manipulación de elementos eléctricos y mecánicos para el montaje de las bombas de infusión
	Difícil intercambiabilidad entre bombas de infusión

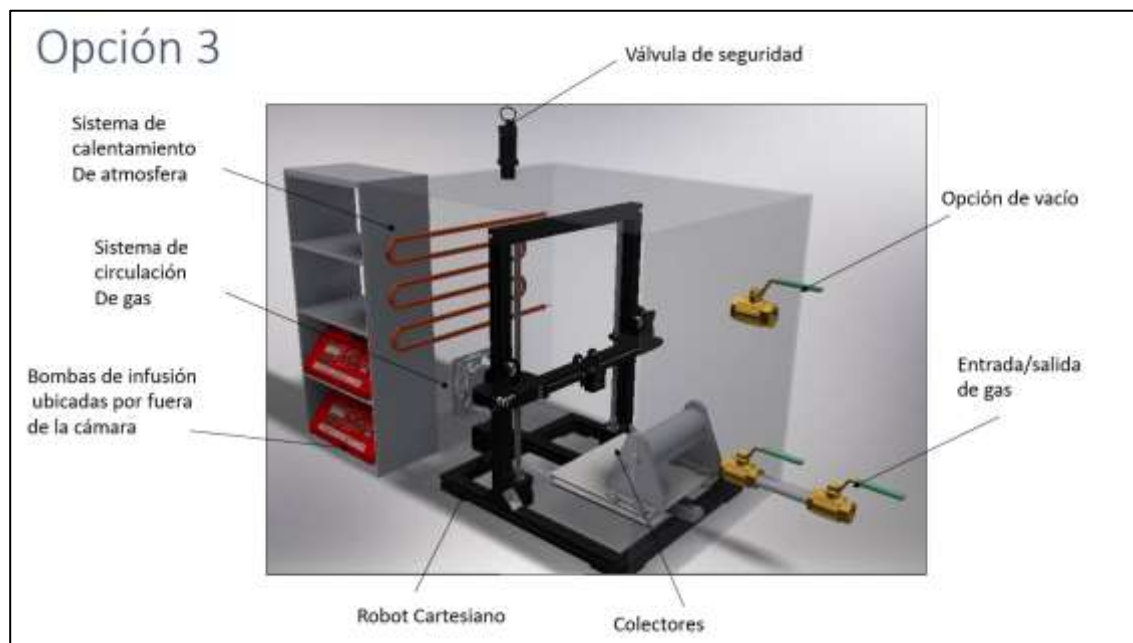


Figura 21. Distribución de elementos para la Opción 2

Tabla 4

Ventajas y desventajas de opción de prototipo 3

Ventajas	Desventajas
Fácil reemplazo de bombas (conexión de mangueras y sistema eléctrico)	Al tener elementos importantes fuera de la cámara se deben realizar varias conexiones herméticas con lo cual aumentamos la probabilidad de fugas de gas
Fácil reemplazo de fuentes de alto voltaje	
Se reduce el tamaño de la cámara	
Se reduce la cantidad de gas necesario para llenar la cámara	

Tabla 5*Matriz de selección de Opciones de diseño*

Descripción	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Estética	4	5	5
Hermeticidad	4	3	2
Cantidad de gas depositado	3	3	4
Manipulación de los equipos al montaje	3	2	4
Manipulación de los equipos en funcionamiento	3	4	4
Contacto de los elementos con factores ambientales	4	4	2
Tamaño de la cámara	3	3	4
Tamaño total de la maquina	3	3	4
Mantenimiento	4	3	5
Total	31	30	34

De acuerdo con la matriz de características de prototipos se seleccionó la tercera opción por las siguientes razones:

- Se logra reducir el tamaño de la cámara y a su vez su costo de fabricación al tener elementos como bombas de infusión y elementos electrónicos fuera de la cámara.
- A nivel estético es el mejor debido a la organización de los elementos que se tiene.
- El volumen de gas necesario para inundar la cámara se reduce debido a la disminución de tamaño, por lo tanto, también se reduce el costo de experimentación con diferentes gases.

3.2.4. Sistema de Movimiento de la Aguja

Se decidió conveniente utilizar un sistema de movimiento cartesiano comercial, dados los costos excesivos de alguno de ellos, se optó por adaptar una impresora 3D para que realice las secuencias de movimiento requerido dependiendo del tipo de prueba a realizarse, si se utilizan colectores estáticos, las posiciones durante el desarrollo del experimento permanecerán constantes en los tres ejes coordenados, en caso de utilizar colectores giratorios, se debe establecer una secuencia de movimiento para que se realice un barrido a lo largo de toda la longitud del colector.

El enfoque sistemático que se decidió dar al sistema es el que se muestra a continuación:

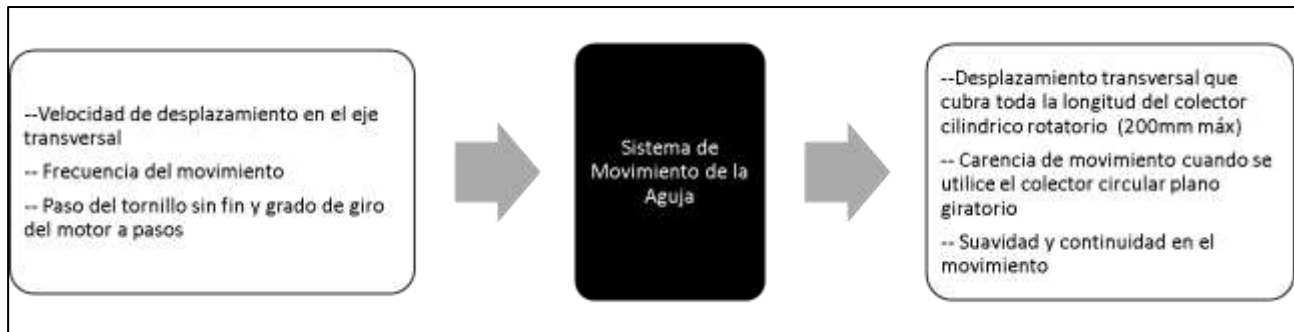
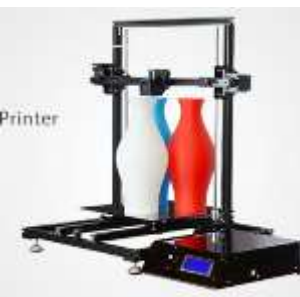




Figura 22. Análisis del sistema de movimiento de la aguja como una caja negra

Para la selección de un sistema comercial de los disponibles en el mercado, fue necesario la elaboración de una matriz de selección, que nos permita escoger la opción más adecuada.

Tabla 6.*Matriz de Selección del Robot Cartesiano*

	TRONXY X3S 	TRONXY X3 	XY MOVING 
Parámetro	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Precio	4	5	3
Precisión de Movimiento	4	4	5
Grados de Libertad	4	4	3
Temperatura de Trabajo	3	3	3
Dimensiones	5	4	3
Capacidad de Carga	4	4	3
	24	24	20

3.2.5. Sistema de Recolección de Fibra - Colectores

El sistema de colectores debe ser modular y considerar una variedad de placas colectoras y cilindros rotatorios. El diseño del concepto sugería una estructura de montaje que proporcionara una distancia suficiente de las partes metálicas con su alrededor para evitar cortocircuitos.

Se ha idealizado un riel en la cual encajaran los diferentes colectores, se estandarizará una “Cola de Milano” macho-hembra para que se alineen en la plataforma móvil de la impresora.

El acople de los colectores giratorios con el motor se lo realiza mediante un matrimonio polimérico, para evitar el flujo de corriente hacia el motor y que pueda quemarlo.

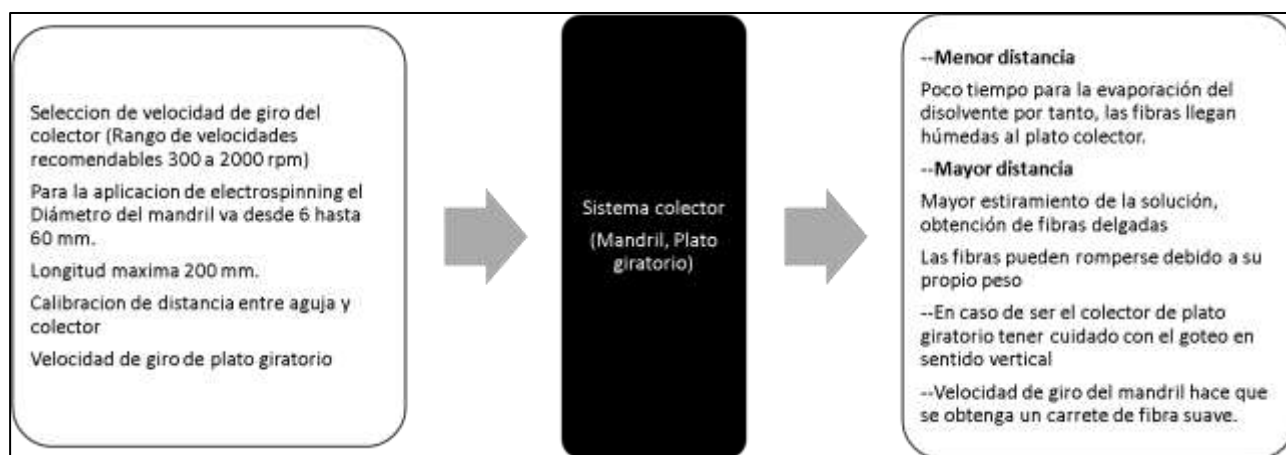


Figura 23. Análisis del sistema de colectores como una caja negra

La flexibilidad de la máquina es fundamental para futuros estudios científicos, se ha acordado implementar las siguientes disposiciones de los colectores:

Tabla 7.*Tipos de colectores a implementar*

Numero	Nombre	Descripción	Ilustración
1	Flat Collector / Colector Plano	Placa estática de 200x200m	
2	Grid Collector / Colector tipo rejilla	Placa estática de 200x200m con aberturas de 5mm en toda su área	
3	Parallel Collector / Colectores Paralelos	Conjunto de dos placas estáticas de 100x200m que pueden separarse hasta 60mm	

Continua→

Numero	Nombre	Descripcion	Ilustracion
4	Colector Giratorio Cilíndrico Φ63.5mm	Cilindro giratorio de acero inoxidable	
5	Colector Giratorio Tipo Jaula Φ63.5mm	Jaula Giratoria ensamblada con 10 ejes de Φ6mm	
6	Colector cilíndrico giratorio Φ 15mm	Eje giratorio de acero inoxidable	
7	Colector cilíndrico giratorio Φ 6mm	Eje giratorio de acero inoxidable	
8	Colector cilíndrico giratorio tipo polea Φ 63.5mm, espesor 20mm	Disco giratorio de acero inoxidable, aislado en su centro con un buje de duralon	
9	Plato Giratorio Φ200mm	Disco giratorio de acero inoxidable, espesor 2mm	

3.2.6. Cámara hermética

Uno de los elementos fundamentales en el equipo, es la cámara donde sucederá el fenómeno, tal como se cita en los requerimientos, esta debe ser hermética, contener el sistema de movimiento de la aguja de inyección y además soportar un bajo vacío.

El material seleccionado para la construcción de la cámara es el acero inoxidable, para ello se tomó como referencia algunos equipos de electrospinning comerciales, los cuales, en su totalidad, usan este material para sus creaciones.

Al acero inoxidable es el material idóneo para la construcción de la cámara debido a que presenta las siguientes ventajas:

- Gran disponibilidad en el mercado local
- Relativa facilidad para los procesos de manufactura involucrados
- Gran variedad de accesorios
- Mejores propiedades mecánicas (resistencia) en comparación al aluminio
- Soporta atmósferas corrosivas que pueden originarse por contacto con la solución
- Mejor apariencia para un equipo de laboratorio
- Menor conductividad térmica comparado con el aluminio

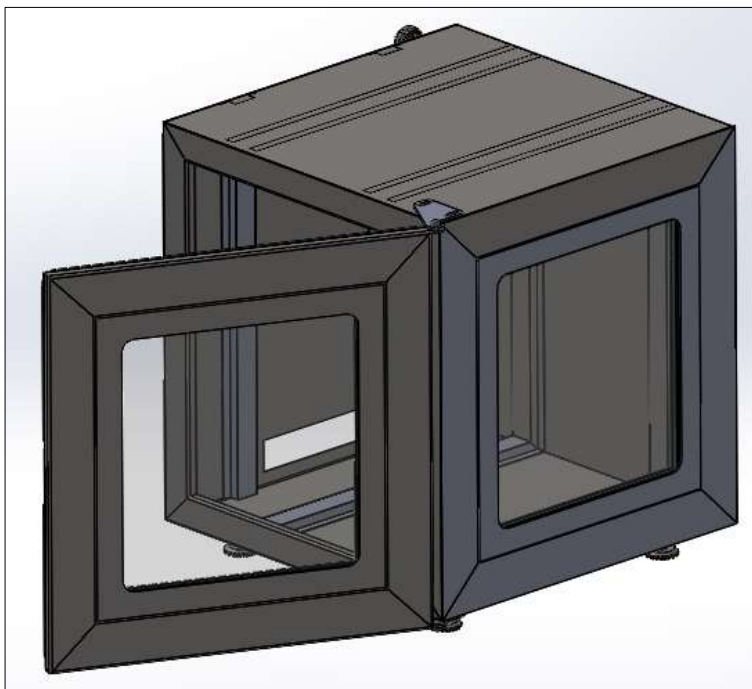


Figura 24. Isometría del Modelo Tentativo de Cámara

3.2.7. Sistema de Generación de Alto Voltaje

Se sugirió beneficioso obtener al menos una diferencia de potencial tan grande como la unidad de electrospinning existente, por ello se ha considerado adquirir los mismos sistemas de generación de alto voltaje existentes, debido a su gran flexibilidad en los rangos como a su bajo costo.

Considerando el mantenimiento y facilidad de manipulación de requerirse, estos irán instalados fuera de la cámara principal donde ocurrirá el fenómeno, así evitamos el contacto con los polímeros utilizados y posibles averías por la atmosfera a crearse.

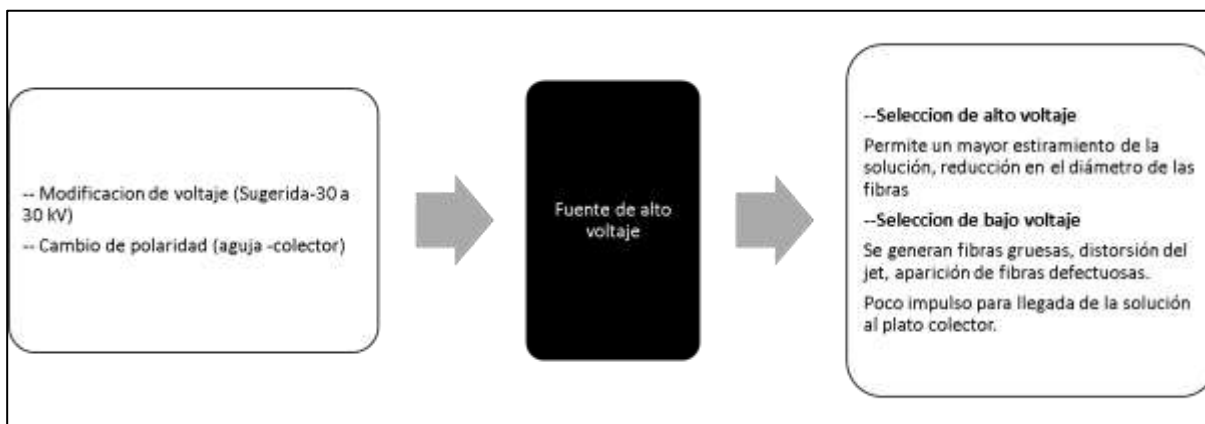


Figura 25. Análisis del sistema de proporción de alto voltaje como una caja negra

Analizando las diferentes cotizaciones realizadas previo a la compra de alguna de ellas, se ha realizado una matriz de selección con proveedores que pueden realizar envíos hacia nuestro país, y cuyo tiempo de arribo es menor a los 40 días.

Tabla 8.

Matriz de Selección de las Fuentes de Alto Voltaje

Marca	Genvolt	Spellman	Zhengchou
Parámetro	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Precio	2	5	3
Rango de Voltajes	4	4	5
Pantalla Indicadora de Voltaje	4	3	4
Protección Eléctrica	4	4	4
Tiempo de Importación	2	4	1
Tamaño	3	4	3
Resultados	19	24	20

3.2.8. Sistema de Bombeo de la Jeringuilla

El mecanismo de bombeo debe ser continuo, se sugirió usar un sistema de bomba de infusión de jeringas existente, realizándole pequeñas adaptaciones para permitir que el depósito de la bomba (jeringa) sea soportado y utilizado sin estar conectado a la carcasa original de la misma.

En el mercado existen un sinnúmero de opciones de bombas de infusión, infusión con precalentamiento, bombas de alta precisión, bombas paralelas, entre otras; sin embargo, se ha limitado la funcionalidad de estas a las entradas y salidas mostradas en el siguiente diagrama de procesos:

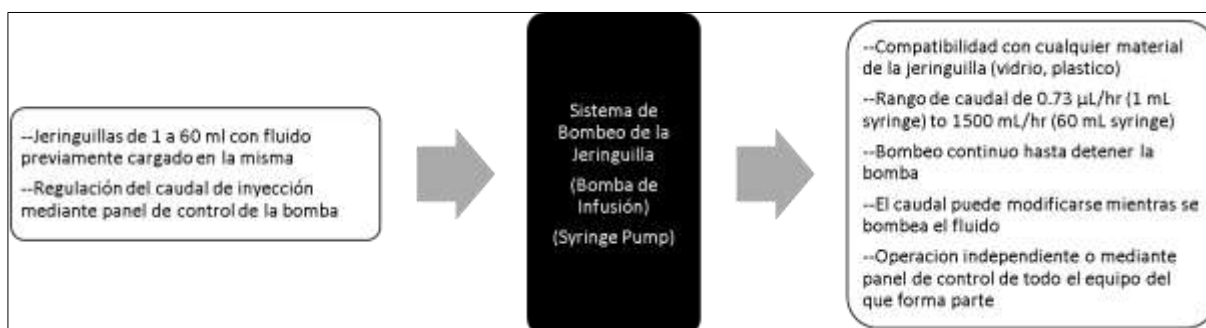





Figura 26. Análisis del sistema de bombeo como una caja negra



Figura 27. Diferentes tipos de bombas de infusión disponibles en el mercado

Al igual que con el sistema de alto voltaje, se realizaron cotizaciones preliminares de algunos fabricantes de las bombas de infusión, lográndose construir la siguiente matriz de selección:

Tabla 9.*Matriz de Selección de las Bombas de Infusión*

			
Marca	Coleparmer	Tonglitech	NE-300
Parámetro	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Precio	2	2	5
Tasa de Bombeo	4	4	3
Diámetro de Jeringas	4	4	4
Exactitud de movimiento	5	5	4
Tiempo de Importacion	3	3	4
Tamaño	3	3	3
Resultados	21	21	23

3.2.9. Sistema de Control

Para el sistema de control, se definió los parámetros a controlar, clasificándolos en entradas y salidas, ya sean analógicas o digitales. La siguiente tabla muestra las variables consideradas y el tipo de control que representan:

Tabla 10.*Matriz de entradas y salidas del sistema de control*

3 ENTRADAS ANALÓGICAS	3 ENTRADAS DIGITALES
<ul style="list-style-type: none"> • 1 señal de Presión • 2 señales de voltaje de referencia de las fuentes de alto voltaje 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 señal para el switch de apertura de la puerta • 1 señal para el switch de paro de emergencia • 1 señal para el switch de habilitación de todo el equipo
SALIDAS ANALÓGICAS	12 SALIDAS DIGITALES
	<ul style="list-style-type: none"> • 2 señales para la habilitación/deshabilitación de las fuentes de alto voltaje • 2 señales para la habilitación/deshabilitación de bombas de infusión • 2 señales para la habilitación/deshabilitación para motores a pasos de colectores • 1 señal para la habilitación/deshabilitación para la visualización de cono de Taylor • 1 señal para la habilitación/deshabilitación de la iluminación de la cámara • 1 señal para la habilitación/deshabilitación del ventilador • 1 señal para la habilitación/deshabilitación de la resistencia eléctrica • 1 señal para la habilitación/deshabilitación para el paro de emergencia • 1 señal para la habilitación/deshabilitación para el robot cartesiano • 2 señales para la habilitación/deshabilitación de las electroválvulas

Considerando la confiabilidad, fiabilidad, garantía, disponibilidad y asesoramiento de una de las marcas líderes a nivel mundial, se ha optado por utilizar un controlador lógico programable de la marca Siemens; analizando las señales requeridas, tanto de entrada y salida presentadas en la Tabla 5, las características del PLC más adecuado son las siguientes:

“El controlador lógico programable (PLC) S7-1200 ofrece la flexibilidad y capacidad de controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas tareas de automatización. Gracias a su diseño compacto, configuración flexible y amplio juego de instrucciones, el S7- 1200 es idóneo para controlar una gran variedad de aplicaciones. La CPU incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, así como circuitos de entrada y salida en una carcasa compacta, conformando así un potente PLC. Una vez cargado el programa en la CPU, ésta contiene la lógica necesaria para vigilar y controlar los dispositivos de la aplicación. La CPU vigila las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa de usuario, que puede incluir lógica booleana, instrucciones de conteo y temporización, funciones matemáticas complejas, así como comunicación con otros dispositivos inteligentes. Numerosas funciones de seguridad protegen el acceso tanto a la CPU como al programa de control”

El PLC seleccionado, será de la serie S7-1200, debido a que el equipo tiene un rango bajo de automatización, en la imagen dispuesta a continuación, es posible evidenciar la ubicación de esta serie respecto de otras de la misma marca.



Figura 28. Ubicación de la Serie S7-1200 de Siemens según el grado de automatización

Fuente: SIEMENS

Considerando los requerimientos de la Tabla 6, en cuanto a las señales de entrada y salida, tanto analógicas como digitales, el PLC que se ajusta a nuestros requerimientos es el modelo 1214C, que presenta las siguientes características técnicas

Función	CPU 1211C	CPU 1212C	CPU 1214C
Dimensiones físicas (mm)	90 x 100 x 75		110 x 100 x 75
Memoria de usuario <ul style="list-style-type: none"> Memoria de trabajo Memoria de carga Memoria remanente 	<ul style="list-style-type: none"> 25 KB 1 MB 2 KB 		<ul style="list-style-type: none"> 50 KB 2 MB 2 KB
E/S integradas locales <ul style="list-style-type: none"> Digitales Analógicas 	<ul style="list-style-type: none"> 6 entradas/4 salidas 2 entradas 	<ul style="list-style-type: none"> 8 entradas/6 salidas 2 entradas 	<ul style="list-style-type: none"> 14 entradas/10 salidas 2 entradas
Tamaño de la memoria imagen de proceso	1024 bytes para entradas (I) y 1024 bytes para salidas (Q)		
Área de marcas (M)	4096 bytes		8192 bytes
Ampliación con módulos de señales	Ninguna	2	8
Signal Board	1		
Módulos de comunicación	3 (ampliación en el lado izquierdo)		
Contadores rápidos <ul style="list-style-type: none"> Fase simple Fase en cuadratura 	3 <ul style="list-style-type: none"> 3 a 100 kHz 3 a 80 kHz 	4 <ul style="list-style-type: none"> 3 a 100 kHz 1 a 30 kHz 3 a 80 kHz 1 a 20 kHz 	6 <ul style="list-style-type: none"> 3 a 100 kHz 3 a 30 kHz 3 a 80 kHz 3 a 20 kHz
Salidas de impulsos	2		
Memory Card	SIMATIC Memory Card (opcional)		
Tiempo de respaldo del reloj de tiempo real	Típico: 10 días / Mínimo: 6 días a 40 °C		
PROFINET	1 puerto de comunicación Ethernet		
Velocidad de ejecución de funciones matemáticas con números reales	18 µs/instrucción		
Velocidad de ejecución booleana	0,1 µs/instrucción		

Figura 29. Características técnicas PLC Siemens 1214C

Fuente: SIEMENS

Módulo		Sólo entradas	Sólo salidas	Entradas y salidas
Módulo de señales (SM)	Digital	8 entradas DC	8 salidas DC 8 salidas de relé	8 entradas DC/8 salidas DC 8 entradas DC/8 salidas de relé
		16 entradas DC	16 salidas DC 16 salidas de relé	16 entradas DC/16 salidas DC 16 entradas DC/16 salidas de relé
	Analógico	4 entradas analógicas 8 entradas analógicas	2 salidas analógicas 4 salidas analógicas	4 entradas analógicas/2 salidas analógicas
Signal Board (SB)	Digital	-	-	2 entradas DC/2 salidas DC
	Analógico	-	1 salida analógica	-
Módulo de comunicación (CM) <ul style="list-style-type: none"> RS485 RS232 				

Figura 30. Módulos de expansión, PLC Siemens 1214C

Fuente: SIEMENS



Figura 31. Módulos de expansión, PLC Siemens 1214C

Fuente: SIEMENS

3.2.10. Sistema de Iluminación

Como parte de la ambientación del equipo, y para una correcta visualización del fenómeno, se ha optado por un sistema de iluminación LED, cuya justificación se refleja en la Tabla dispuesta a continuación:

Tabla 11.

Matriz de selección del sistema de Iluminación

	Luz LED	Luz Incandescente
Parámetro	Opción 1	Opción 2
Precio	4	5
Intensidad Luminosa	5	3
Seguridad	4	3
Generación de Calor	4	3
Tiempo de Vida	4	3
Consumo de potencia	4	3
Resultados	25	20

3.2.11. Matriz Morfológica

Tabla 12.

Matriz morfológica del equipo

	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Cámara Hermética	Cámara de Acero Inoxidable	Cámara de aluminio	Cámara de Acero al Carbono
Sistema de Movimiento de la Aguja	Tronxy X3	Tronxy X3S	Plataforma de movimiento XY
Sistema de Ingreso de Gas	Manifold 2 Válvulas	Manifold 3 Válvulas	Manifold 5 Válvulas
Sistema de Generación de Alto Voltaje	Genvolt	Spellman	Zhengchou
Sistema de Bombeo	Coleparmer	Tonglitech	NE-300
Sistema de Control	PLC Siemens S7-1200		
Sistema de Calentamiento	Resistencia Eléctrica		
Sistema de Iluminación	LED	Incandescente	
Sistema de Visualización del Fenómeno	DynoLite		
Sistema de Recolección de Fibras	6 colectores giratorios y 3 colectores estáticos		

CAPITULO IV. INGENIERÍA DE DETALLE Y CONSTRUCCION

En el presente capítulo se expone la ingeniería de detalle de los elementos más importantes del equipo, específicamente se centra nuestra atención en los elementos no comerciales, tales como cámara hermética y colectores giratorios, además se presenta el procedimiento de ensamble de todo el equipo en conjunto como también un informe esquemático y fotográfico detallando los parámetros considerados para las múltiples modificaciones de los elementos comerciales y su ensamble final en conjunto.

4.1. Diseño de la cámara hermética

Lo primero que se debe definir para el diseño de una cámara hermética son todos los factores tanto físicos como ambientales a los cuales debido a su funcionamiento esta será sometida.

4.1.1. Condiciones de Operación

4.1.1.1. Fenómeno

El parámetro más importante de funcionamiento de la cámara hermética es que internamente se realizara electrospinning de diferentes compuestos por lo cual se debe tener en consideración lo siguiente:

- La cámara estará sometida a pequeñas cargas de voltaje resultado de cargar el colector y la aguja con alto voltaje.
- Existirán residuos de gases internos resultado de la evaporación del solvente existente en el experimento.
- Se debe tomar en cuenta que internamente la cámara estará sometida a diferentes atmosferas gaseosas para beneficio del experimento.

- La cámara estará sometida a varios cambios de presión (+ 2 psi) dependiendo del experimento, ya que en algunos casos la cámara estará inundada de gas y este generara presión en la misma, por otro lado, la cámara estará sometida a un bajo vacío (-2 psi) el cual ayudara a expulsar el aire interno de la cámara.

4.1.1.2. Ambiente interior

Debido a que el equipo sirve para la realización de varios experimentos de electrospinning, dentro de la cámara sucederán varios cambios atmosféricos tales como:

Cambios de temperatura

La temperatura dentro de la cámara debe estar limitada hasta 40°C debido a que los elementos dentro de ella no soportan temperaturas más altas que esta.

Cambios de presión

La cámara estará sometida a cambios de presión positivos como también negativos dependiendo del experimento a realizarse ya que en algunos casos la misma estará sometida a presión por ingreso de gas o a vacío para extracción del aire interno.

4.1.2. Diseño geométrico de la cámara hermética

El elemento que más influye tanto en el espacio físico como también en la disposición de todos los elementos es el robot cartesiano que tiene las siguientes dimensiones:

- Dimensiones generales: 550x530x540
- Área de trabajo: 430x400

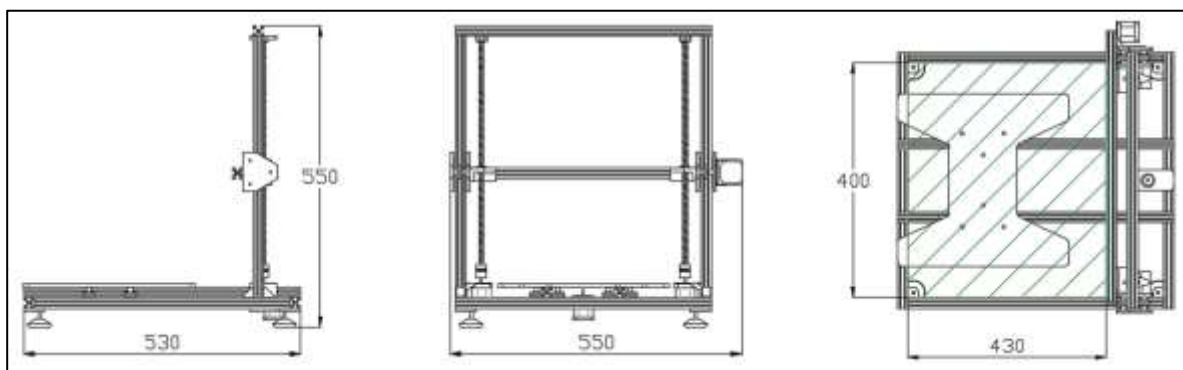


Figura 32. Dimensiones del Robot Cartesiano

Teniendo las dimensiones del robot cartesiano en cuenta y sabiendo que el resto de los elementos son de dimensiones que no influyen mucho en el tamaño de la cámara se procedió a dar ubicación a los diferentes accesos tomando en cuenta las siguientes características:

- La cámara debe constar de una puerta por donde ingresen todos los elementos de forma que no existan interferencias tanto en su montaje como también al momento de realizar mantenimiento.
- Debe tener una ventana lo suficientemente grande para poder observar todo el proceso
- Debe tener accesos tanto para el sistema de cableado como también para el ingreso y salida de gases
- El sistema de ubicación de vidrios de ser hermético.

Una vez analizadas las características previas se realizó el siguiente prototipo como se puede observar en las siguientes figuras

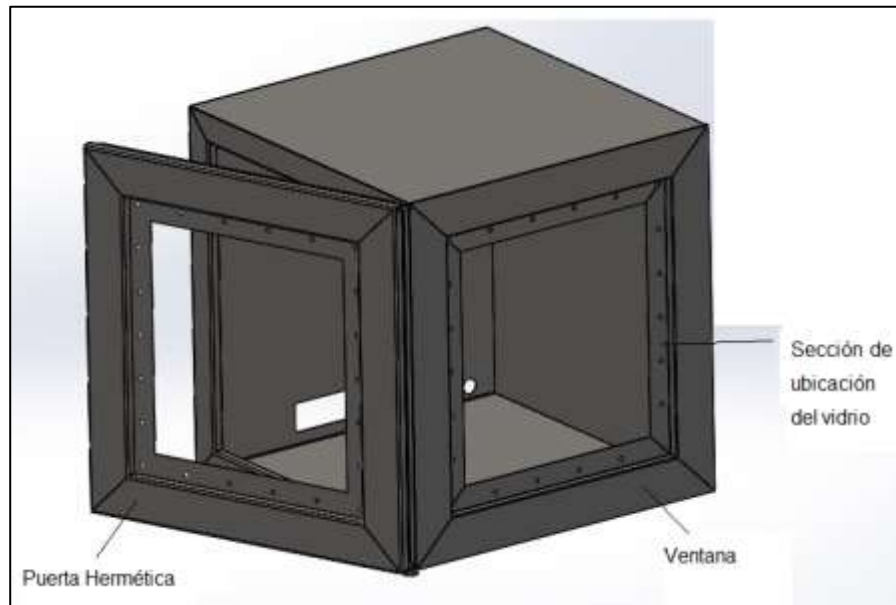


Figura 33. Partes principales de la Cámara Hermética

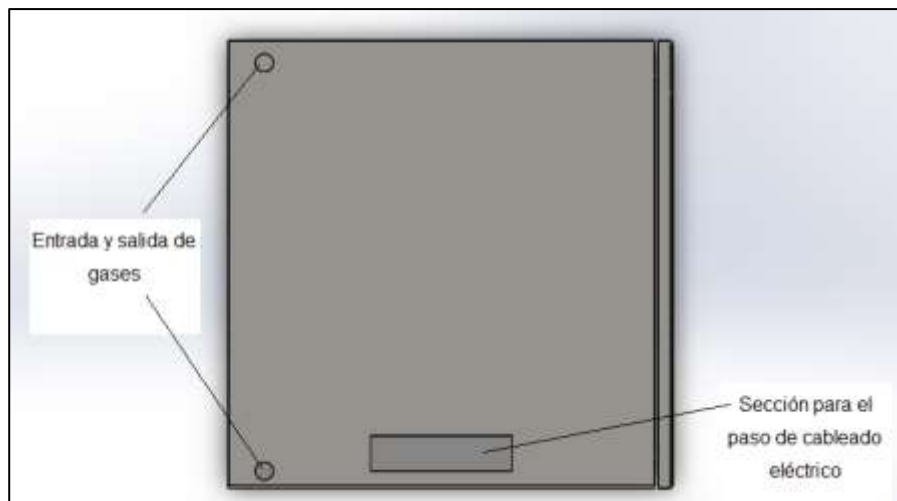


Figura 34. Partes principales de la Cámara Hermética, Vista Lateral

Tomando en consideración el diseño previo se procedió a ubicar los elementos dentro de la cámara y se determinó que con dimensiones iniciales 600x600x630 se logra que los elementos no tengan interferencia como se puede ver en la figura 34

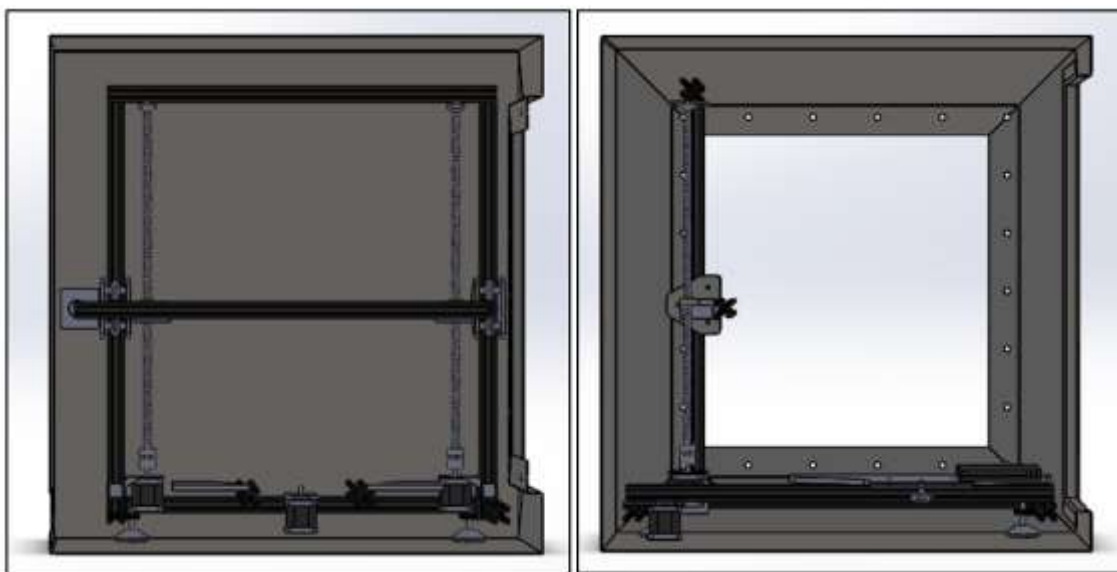


Figura 35. Vista en Corte hacia el interior de la cámara

4.1.3. Diseño por Resistencia Mecánica

Para el diseño mecánico de la cámara hermética tomamos en consideración que la forma geométrica es una limitante para el cálculo de resistencia mecánica ya que no existe precedentes para un diseño de esta forma específica, por lo cual fue utilizada la simulación CAE para la obtención de los múltiples resultados.

Datos de simulación

- Dimensiones de cámara: 600 x 600 x 630
- Material: Acero Inoxidable AISI 304
- Máxima presión admisible: 4 psi
- Máxima Presión de vacío admisible: -4 psi
- Presión de operación: 2 psi
- Presión de operación en vacío: -2 psi

4.1.3.1. Simulación N°1

Se realizó una primera simulación solo tomando en cuenta un espesor mínimo de cámara de 1.5 mm y una presión positiva de 4 psi aparte se procedió a ubicar las aberturas para puerta y ventana.

Se obtuvo un peso de cámara de 24.61 kg

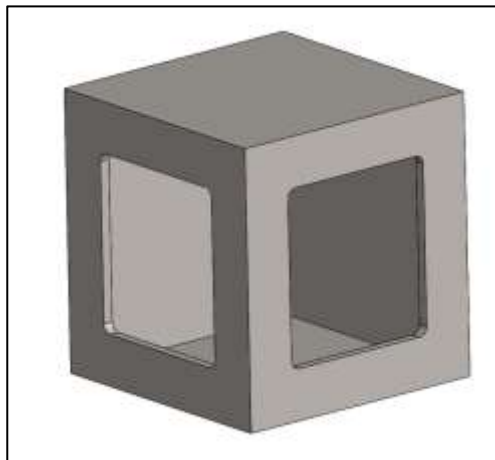


Figura 36. Cámara con plancha de 1.5mm, sin refuerzo

Los datos obtenidos se pueden ver en las siguientes figuras:

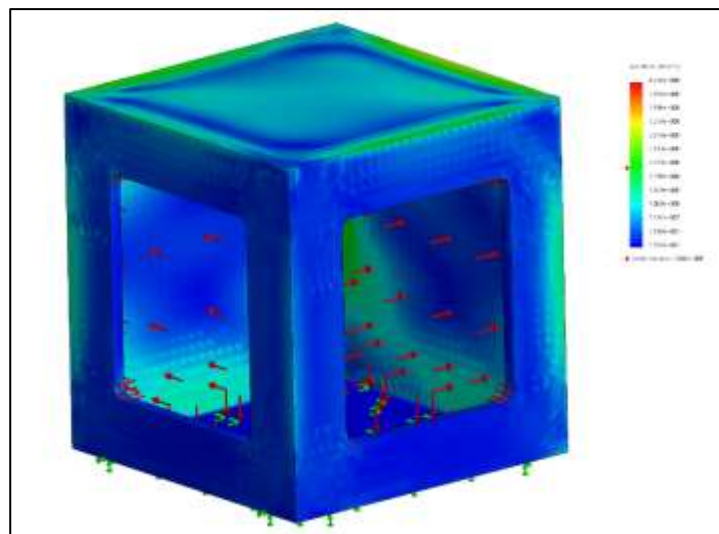


Figura 37. Cámara con plancha de 1.5mm, sin refuerzo, esfuerzos

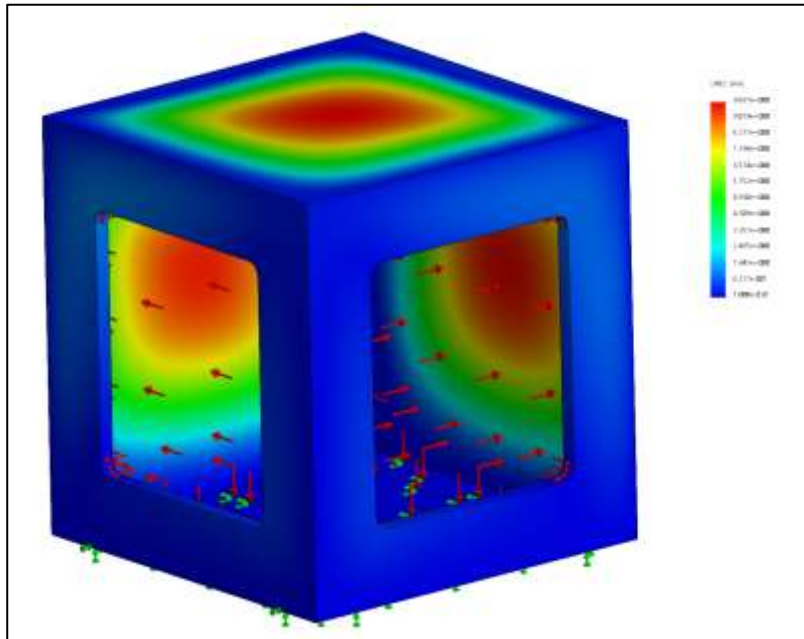


Figura 38. Cámara con plancha de 1.5mm, sin refuerzo, desplazamientos

Resultados obtenidos:

Esfuerzo de Von mises máximo: 4.318×10^8 N/m²

Desplazamiento máximo: 9.86 mm

Limite elástico Acero Inoxidable AISI 304: 2.068×10^8 N/m²

Factor de seguridad promedio: 0.478

Con estos datos se concluyó que la cámara falla para estas condiciones por lo cual se procedió a reforzarla. Para los refuerzos se seleccionó perfil estructural tipo omega y canal C debido a su aporte en rigidez a la cámara como también por su facilidad de fabricación.

Para dimensiones y disposición ir a la sección de anexos.

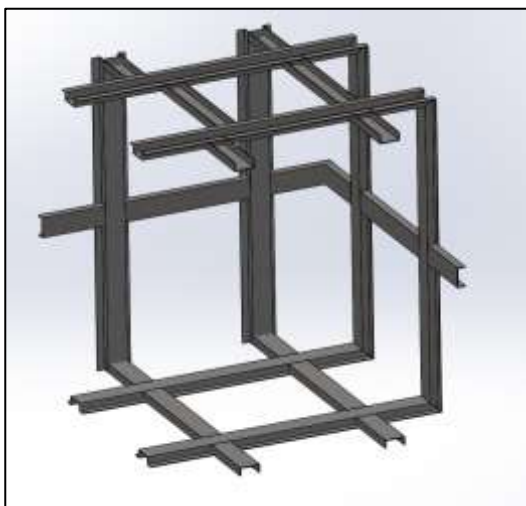


Figura 39. Cámara con plancha de 2mm, con refuerzo, desplazamientos

4.1.3.2. Simulación N.º 2

En la segunda simulación se procedió a utilizar un espesor de chapa de 1.5 pero considerando como elemento estructural al arreglo de perfilería previamente analizado, la cámara será sometida a una presión de vacío de 4 psi.

Se obtuvo un peso de cámara de 33.05 kg

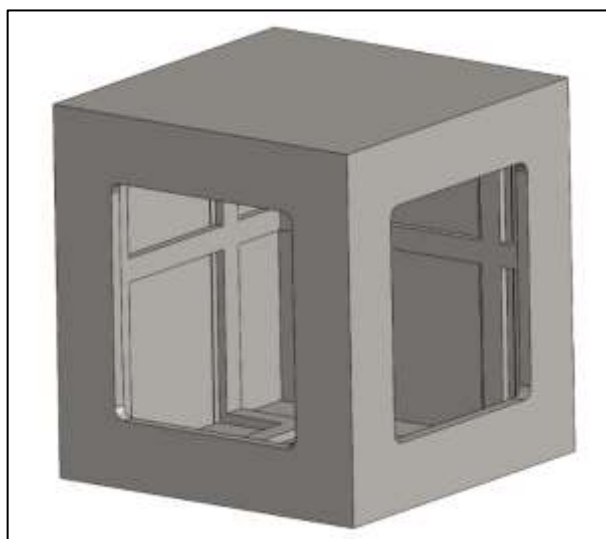


Figura 40. Cámara con plancha de 1.5mm, con refuerzo

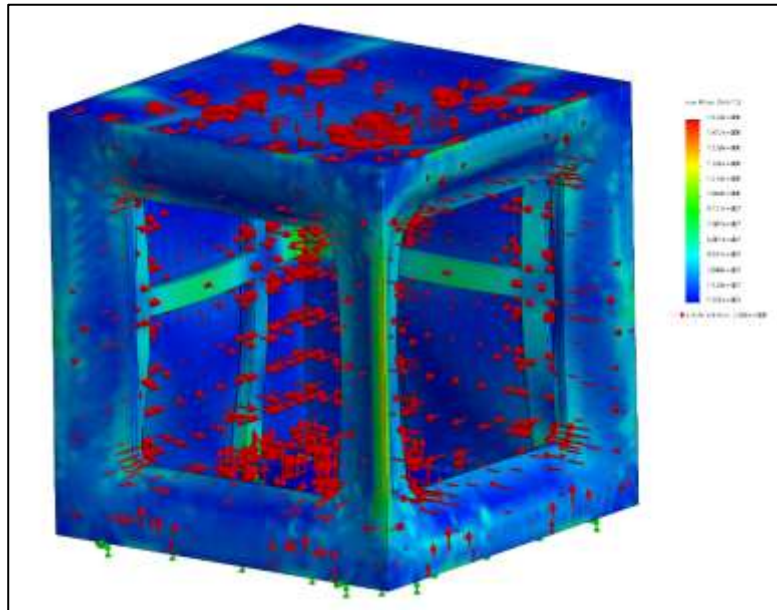


Figura 41. Cámara con plancha de 1.5mm, con refuerzo, esfuerzos

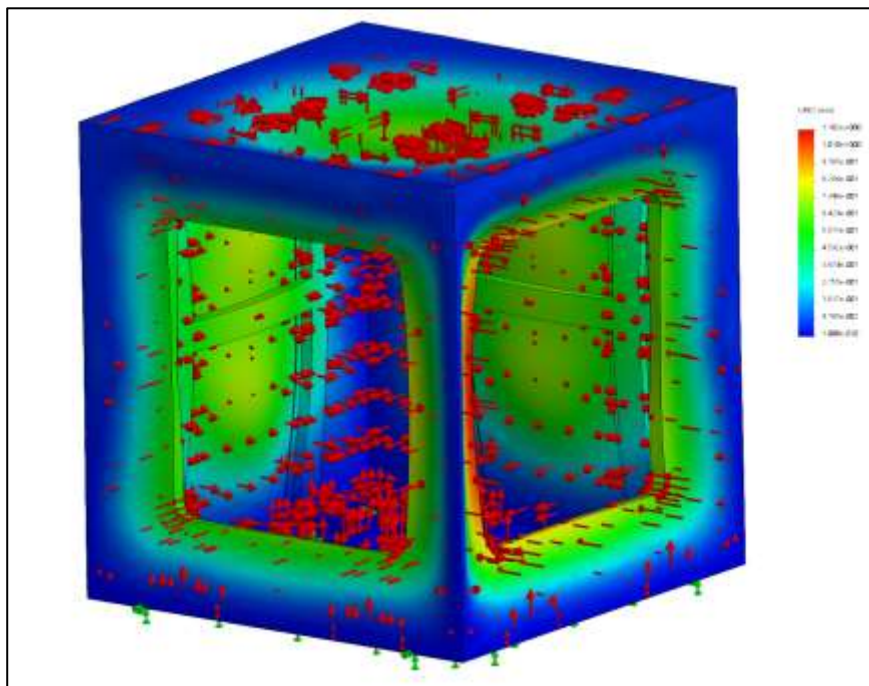


Figura 42. Cámara con plancha de 1.5mm, con refuerzo, desplazamientos

Resultados obtenidos:

Esfuerzo de Von mises máximo: $1.824 \times 10^8 \text{ N/m}^2$

Desplazamiento máximo: 1.102 mm

Limite elástico Acero Inoxidable AISI 304: $2.068 \times 10^8 \text{ N/m}^2$

Factor de seguridad promedio: 1.13

Conclusión del diseño por Resistencia Mecánica

Una vez analizadas las simulaciones realizadas se concluyó que la mejor disposición es la de la simulación 2 con la cual aseguramos la integridad mecánica de la cámara al ser sometida a la presión de operación.

Ensamble de la Cámara Hermética

Para el ensamble de la cámara hermética se la dividió en cinco secciones:

- Estructura y paredes
- Ventana
- Puerta
- Aislante
- Elementos auxiliares

Los elementos constituyentes de la cámara pueden evidenciarse en la sección de anexos

4.2. Diseño de los colectores Giratorios

El diseño de los elementos que componen al colector giratorio debe tener las siguientes características:

- Todos los colectores deben funcionar con un solo motor, por esta característica los ejes de los colectores deberán contar con un sistema de acoplamiento rápido eje-motor.
- Deberán contar con sistema modular de sujeción hacia la base del equipo.

- Se debe tomar en consideración que uno de los colectores giratorios gira de forma vertical para lo cual su diseño será diferente.

En la Figura 43 se muestra un esquema básico de las partes de los colectores:

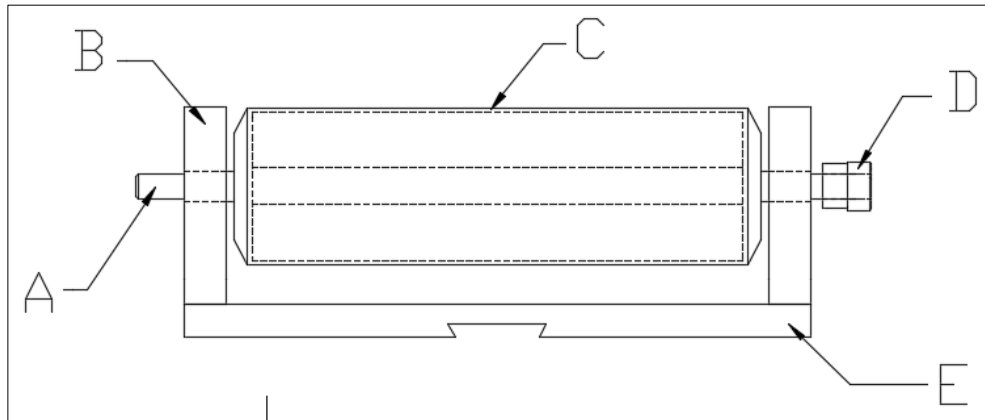


Figura 43. Cámara con plancha de 1.5mm, con refuerzo, desplazamientos

Donde:

- A. Eje del colector
- B. Soporte lateral
- C. Colector
- D. Acople hacia el motor
- E. Base del colector con guía

4.2.1. Diseño geométrico del eje

Para el diseño y posterior construcción del eje de los colectores, se han considerado parámetros netamente geométricos y de espacio físico de la cámara y el robot cartesiano, las cargas a los que estos se encuentran sometidos son despreciables, la única fuerza actuante es la tensión del hilo al entrar en contacto con el colector, algunos de los parámetros operativos a considerarse son:

- Debe soportar velocidades de hasta 2000 rpm.
- Debe ser fabricado de un material que sea conductor eléctrico.
- Debe ser resistente a la corrosión debido a que los colectores estarán en contacto con diversas soluciones

Se dividió al colector en las siguientes secciones:

- En las secciones A y C se ubicarán los rodamientos respectivos
- En la sección B se ubicará el elemento colector sea tipo rodillo, jaula o polea, el mismo que será soldado por lo cual se dejó la distancia debida en esa sección para que se pueda montar los elementos que forman el colector.
- La sección D servirá como conexión entre el colector y su sistema motriz.

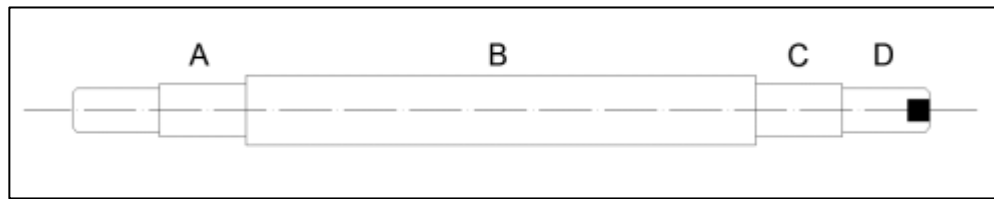


Figura 44. Partes del eje de los colectores giratorios

Por cuestiones únicamente de espacio físico dentro de la cámara y área de trabajo del robot cartesiano, la distancia máxima para el eje del colector es de 295mm

La Figura 45 muestra las dimensiones del Eje para el colector cilíndrico, las dimensiones y tolerancias para los demás ejes se encuentran en el Anexo 1.

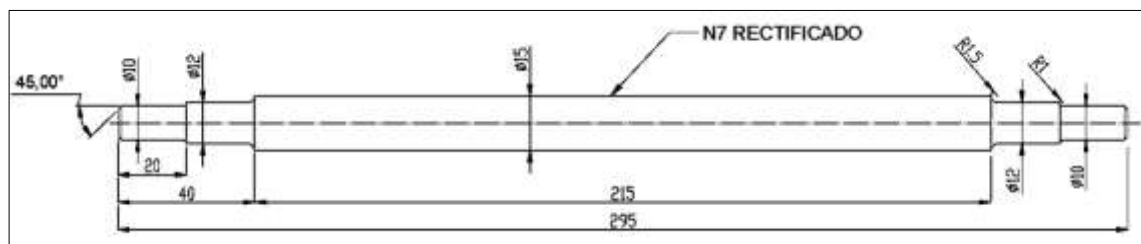


Figura 45. Dimensiones y acabados del eje del colector cilíndrico

4.2.2. Selección del Rodamiento

Considerando el diseño geométrico del eje, la selección del rodamiento se la realizó en base a la disponibilidad de estos en el mercado nacional, por ello se escogió el rodamiento SKF 6201, el cual, puede considerarse sobredimensionado para la actual aplicación, sin embargo, al ser bajo su costo, no hay la necesidad de optimizar el mismo.

“Los rodamientos rígidos de bolas son particularmente versátiles. Son aptos para velocidades altas, soportan cargas radiales y axiales en ambos sentidos y requieren poco mantenimiento”

Para las características técnicas de los rodamientos en cuestión ir a la sección de anexos.

4.2.3. Diseño del Soporte de los colectores

Uno de los requerimientos fue diseñar un sistema modular de acople rápido para los diferentes colectores, tanto para los estáticos, como para los giratorios. Para evitar desalineamiento, además de lograr un giro uniforme de los diferentes colectores, se consideró ubicar dos puntos de apoyo para todos los colectores.

El parámetro más importante a considerar fue el material, este debía ser aislante eléctrico, para evitar que el alto voltaje al que va a estar sometido el colector pueda entrar en contacto con la base del robot cartesiano y este a su vez, con la cámara hermética, el material seleccionado para la construcción de estos soportes fue el Durallon.

Las características principales de este material son:

- Muy buena resistencia mecánica.
- Buena resistencia a la fatiga y al desgaste.
- Buenas propiedades dieléctricas.
- Buena resistencia a los agentes químicos, salvo a los óxidos concentrados
- Buena facilidad de mecanizado. La estabilidad térmica de este material, dependiendo del estado de la carga, le permite soportar temperaturas de 10 a 100 ° C en forma continua.

La hoja técnica del Durallon se encuentra ubicada en la sección Anexos

4.2.3.1. Soportes Laterales

De igual forma que con el diseño del eje, solo se dio un enfoque geométrico, pues los soportes laterales están sometidos a cargas insignificantes con respecto a la resistencia del material, únicamente soportan la mitad del peso del colector.

Los soportes laterales están fabricados con plancha de durallon de 17mm, suficientes para poder abarcar el espesor del rodamiento (10mm). La forma de estos puede verse en la isometría de la Figura 46. En su parte inferior cuenta con dos perforaciones para poder empotrarlo a la base (4mm), de igual manera, en su parte central se encuentra el soporte de los rodamientos (32mm), y en la parte lateral dos perforaciones adicionales para inducir el alto voltaje. Las dimensiones y tolerancias de la pieza, se las puede encontrar en el Anexo 1.

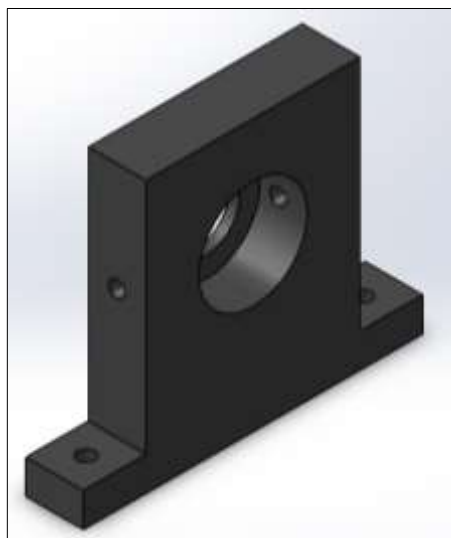


Figura 46. Vista isométrica de los soportes laterales

4.2.3.2. Base

De igual manera que las paredes laterales, la base de los colectores fue fabricada con durallon, su espesor es de 13mm. Posee 4 perforaciones para sujetarla a la placa móvil del robot cartesiano. En la parte inferior se encuentra una cola de milano para poder fijar todos los colectores a una sola guía,

convirtiéndolo en un diseño modular. En la figura 47 podemos visualizar una isometría de la base. Las dimensiones y tolerancias de la pieza, se las puede encontrar en el Anexo 1.

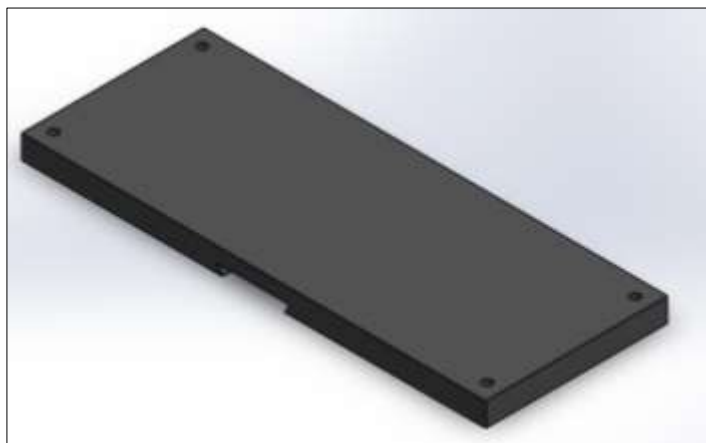


Figura 47. Vista isométrica de las bases de los colectores

4.2.3.3. Unión eje del colector- eje del motor

Debido a la escasez de acoples para ejes de diámetro 10 mm, se construyó uno de durallon, que permita la intercambiabilidad de los colectores de manera sencilla, tolere cierto desalineamiento y no impida el giro. El acople tiene un agujero roscado para la inserción de un prisionero, que sirve para transmitir el giro al colector, del otro lado, se encuentra una corredera que permite el rápido acople al eje del motor.

La Figura 48 muestra una isometría de la junta construida, las tolerancias dimensionales y geométricas se encuentran en el Anexo 1

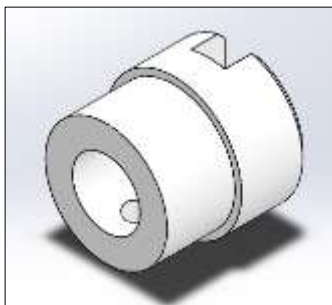


Figura 48. Vista isométrica de los acoples eje-motor

Las Figura 49 muestra una vista explotada de cada uno de los colectores construidos.

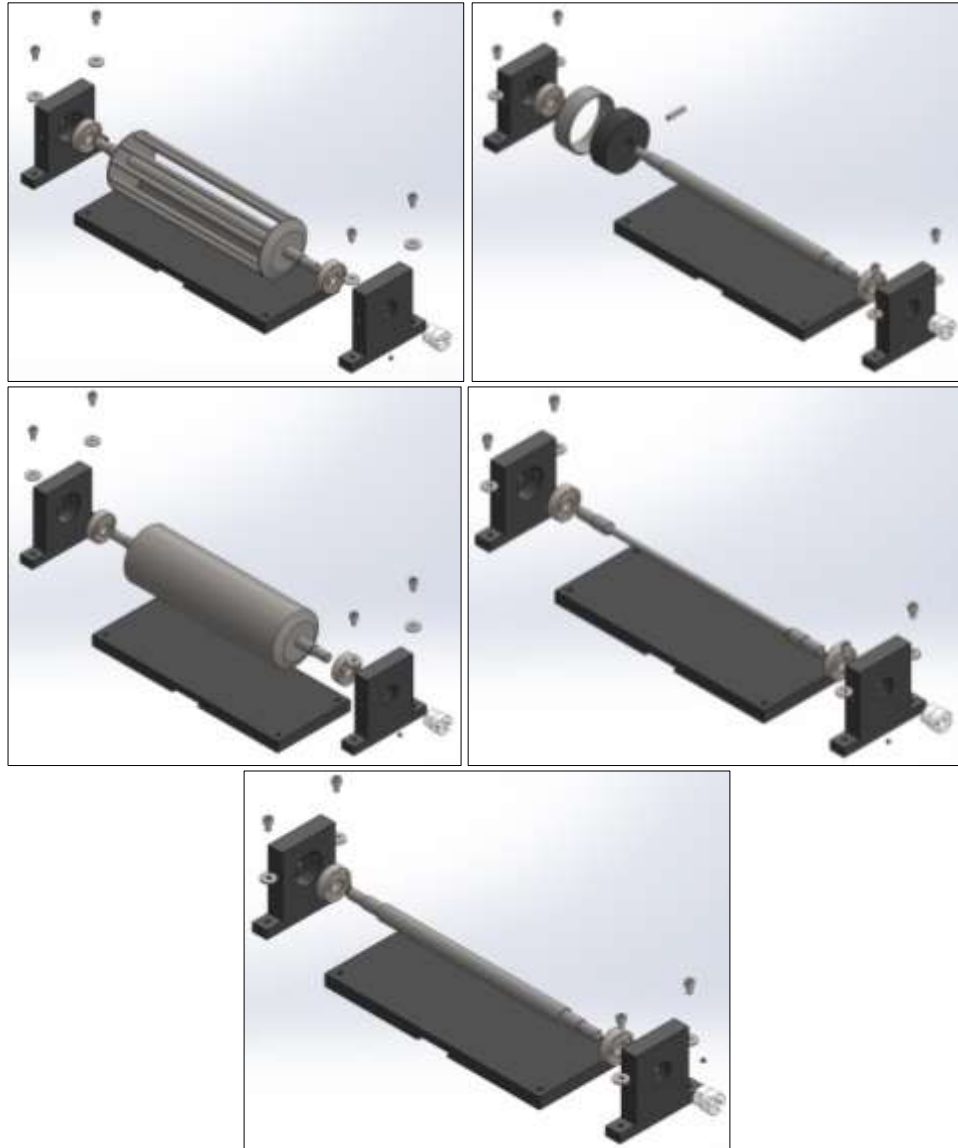


Figura 49. Vistas explotada de los colectores construidos

CAPÍTULO V. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y RESULTADOS

En el presente capítulo se presentan las diferentes listas de verificación de las partes que componen el equipo, tanto a nivel local como a nivel global. La finalidad es optimizar el funcionamiento del equipo, disminuir o eliminar los errores que puedan generar una avería en todo el sistema.

5.1. Continuidad de cables

Objetivo

Verificar el correcto cableado de los conectores multipines, tanto hacia el interior de la cámara como hacia el exterior. Esto permite evitar posibles daños en caso de tener una conexión errónea.

Responsables

- Jhonny Chugá
- José Polanco

Actividades

Para verificar la correcta conexión de los pines, se realizará la medición de continuidad mediante el uso de un multímetro, esta prueba se la realiza con el equipo desenergizado, un electrodo del multímetro se coloca en el cable al interior de la cámara, el otro en el exterior; en caso de existir continuidad se escuchará un sonido.

La distribución y numeración de los conectores multipines se indica en la Figura 50

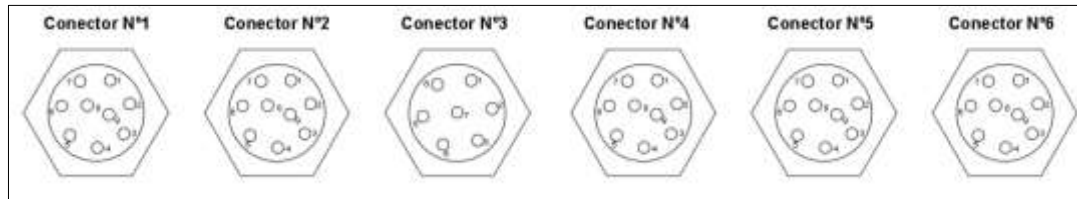


Figura 50. Distribución de los conectores eléctricos

Resultados

El correcto funcionamiento se evaluó mediante un *check list* mostrado en la Tabla 13

Tabla 13

Check List de cada conector

	Pin	Identificación	Estado
Conector N.º 1	1	Fin de carrera en Z	<input checked="" type="checkbox"/>
	2	Fin de carrera en Z	<input checked="" type="checkbox"/>
	3	Fin de carrera en Y	<input checked="" type="checkbox"/>
	4	Fin de carrera en Y	<input checked="" type="checkbox"/>
	5	Cable Negro Motor X	<input checked="" type="checkbox"/>
	6	Cable Verde Motor X	<input checked="" type="checkbox"/>
	7	Cable Azul Motor X	<input checked="" type="checkbox"/>
	8	Libre	<input checked="" type="checkbox"/>
	9	Libre	<input checked="" type="checkbox"/>

Continúa →

Conector N.º 2	Pin	Identificación	Estado
	1	Cable Negro Motor Z1	<input checked="" type="checkbox"/>
	2	Cable Verde Motor Z1	<input checked="" type="checkbox"/>
	3	Cable Azul Motor Z1	<input checked="" type="checkbox"/>
	4	Cable Rojo Motor Z1	<input checked="" type="checkbox"/>
	5	Cable Negro Motor Z2	<input checked="" type="checkbox"/>
	6	Cable Verde Motor Z2	<input checked="" type="checkbox"/>
	7	Cable Azul Motor Z2	<input checked="" type="checkbox"/>
	8	Cable Rojo Motor Z2	<input checked="" type="checkbox"/>
	9	Cable Rojo Motor X	<input checked="" type="checkbox"/>
Conector N.º 3	Pin	Identificación	Estado
	1	Amarillo Luz LED	<input checked="" type="checkbox"/>
	2	Fin de carrera en X	<input checked="" type="checkbox"/>
	3	Fin de carrera en X	<input checked="" type="checkbox"/>
	4	Cable Verde Motor Y	<input checked="" type="checkbox"/>
	5	Cable Azul Motor Y	<input checked="" type="checkbox"/>
	6	Cable Negro Motor Y	<input checked="" type="checkbox"/>
	7	Cable Rojo Motor Y	<input checked="" type="checkbox"/>

Continúa →

Conector N.º 4	Pin	Identificación	Estado
	1	Azul Luz LED	<input checked="" type="checkbox"/>
	2	Cable Blanco Motor C2	<input checked="" type="checkbox"/>
	3	Cable Café Motor C2	<input checked="" type="checkbox"/>
	4	Cable Azul Motor C2	<input checked="" type="checkbox"/>
	5	Cable Negro Motor C2	<input checked="" type="checkbox"/>
	6	Cable Negro Motor C1	<input checked="" type="checkbox"/>
	7	Cable Azul Motor C1	<input checked="" type="checkbox"/>
	8	Cable Café Motor C1	<input checked="" type="checkbox"/>
	9	Cable Blanco Motor C1	<input checked="" type="checkbox"/>
Conector N.º 5	Pin	Identificación	Estado
	1	Libre	<input checked="" type="checkbox"/>
	2	Libre	<input checked="" type="checkbox"/>
	3	Libre	<input checked="" type="checkbox"/>
	4	Señal ON/OFF Switch Apertura de Puerta	<input checked="" type="checkbox"/>
	5	Señal ON/OFF Switch Apertura de Puerta	<input checked="" type="checkbox"/>
	6	Transmisor de Temperatura T1	<input checked="" type="checkbox"/>
	7	Transmisor de Temperatura T2	<input checked="" type="checkbox"/>
	8	Transmisor de Temperatura T3	<input checked="" type="checkbox"/>
9	Transmisor de Temperatura T4	<input checked="" type="checkbox"/>	

Continúa →

Conector N.º 6	Pin	Identificación	Estado
	1	Libre	<input checked="" type="checkbox"/>
	2	Libre	<input checked="" type="checkbox"/>
	3	Libre	<input checked="" type="checkbox"/>
	4	Libre	<input checked="" type="checkbox"/>
	5	Libre	<input checked="" type="checkbox"/>
	6	Libre	<input checked="" type="checkbox"/>
	7	Libre	<input checked="" type="checkbox"/>
	8	Libre	<input checked="" type="checkbox"/>
	9	Libre	<input checked="" type="checkbox"/>

5.2. Prueba de funcionamiento robot cartesiano

Objetivo

Verificar el correcto cableado de los bobinados de los diferentes motores, verificar las señales de los fines de carrera, además verificar la distancia de desplazamiento en cada uno de sus ejes.

Responsables

- Jhonny Chugá
- José Polanco

Actividades

Para verificar la correcta conexión de los bobinados, se realizará la medición de continuidad mediante el uso de un multímetro, esta prueba se la realiza con el equipo desenergizado, un electrodo del multímetro se coloca en el cable al interior

de la cámara, el otro en el exterior; en caso de existir continuidad se escuchará un sonido.

Para verificar el desplazamiento en cada uno de sus tres ejes, se energiza el equipo y se establece una secuencia de movimiento, se corrigen alineaciones de ser necesario

Resultados

El correcto funcionamiento se evaluó mediante un *check list* mostrado en la Tabla 14

Tabla 14

Check List de los motores del robot cartesiano

Motor X	Terminal	Número de Bobina	Estado
	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>
	2		
	3	2	<input checked="" type="checkbox"/>
	4		
Motor Y	Terminal	Número de Bobina	Estado
	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>
	2		
	3	2	<input checked="" type="checkbox"/>
	4		
Motor Z1	Terminal	Número de Bobina	Estado
	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>
	2		
	3	2	<input checked="" type="checkbox"/>
	4		
Motor Z2	Terminal	Número de Bobina	Estado
	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>
	2		
	3	2	<input checked="" type="checkbox"/>
	4		

Además de medir la continuidad, se verifico las conexiones para cada final de carrera y el desplazamiento en cada eje..

Tabla 15

Señales de los fines de carrera y movimientos en cada eje

Switch	Señal	Estado
X	ON/OFF	<input checked="" type="checkbox"/>
Y	ON/OFF	<input checked="" type="checkbox"/>
Z	ON/OFF	<input checked="" type="checkbox"/>
Eje	Desplazamiento	Estado
X	200 mm	<input checked="" type="checkbox"/>
Y	200 mm	<input checked="" type="checkbox"/>
Z	200 mm	<input checked="" type="checkbox"/>

5.3. Prueba de funcionamiento de bombas

Objetivo

Verificar el correcto funcionamiento de los pulsadores de las bombas, desplazamiento del tornillo y pruebas a diferentes caudales.

Responsables

- Jhonny Chugá
- José Polanco

Actividades

Para verificar el funcionamiento de las bombas se lo realiza con el equipo energizado, se establecerán caudales máximos y mínimos según el catálogo ubicado en la Sección Anexos.

Resultados

El correcto funcionamiento se evaluó mediante un *check list* mostrado en la Tabla 16

Tabla 16

Check List Bombas de Infusión

Bomba N°1	
Botón	Estado
Pumping	<input checked="" type="checkbox"/>
Withdraw	<input checked="" type="checkbox"/>
Decena del Caudal	<input checked="" type="checkbox"/>
Unidad del Caudal	<input checked="" type="checkbox"/>
Decima del Caudal	<input checked="" type="checkbox"/>
Centésima del Caudal	<input checked="" type="checkbox"/>
Cambio de Unidad	<input checked="" type="checkbox"/>
Bomba N°2	
Botón	Estado
Pumping	<input checked="" type="checkbox"/>
Withdraw	<input checked="" type="checkbox"/>
Decena del Caudal	<input checked="" type="checkbox"/>
Unidad del Caudal	<input checked="" type="checkbox"/>
Decima del Caudal	<input checked="" type="checkbox"/>
Centésima del Caudal	<input checked="" type="checkbox"/>
Cambio de Unidad	<input checked="" type="checkbox"/>

5.4. Prueba de funcionamiento de fuentes de alto voltaje

Objetivo

Verificar el correcto funcionamiento de las fuentes de alto voltaje

Responsables

- Jhonny Chugá
- José Polanco

Actividades

Para verificar el funcionamiento de las fuentes de alto voltaje, primero se verifico su señal de entrada, de 0 a 5V mediante un potenciómetro lineal de alta precisión

Para verificar la salida de las fuentes, se leyó el voltaje mediante el PLC, el mismo que se despliega en pantalla.

Resultados

El correcto funcionamiento se evaluó mediante un *check list* mostrado en la Tabla 17

Tabla 17

Check List Fuentes de Alto Voltaje

UM30P15	
Parámetro	Estado
Voltaje de Referencia 0-5V	<input checked="" type="checkbox"/>
Voltaje de Salida 0-30 kV	<input checked="" type="checkbox"/>
UM30N15	
Parámetro	Estado
Voltaje de Referencia 0-5V	<input checked="" type="checkbox"/>
Voltaje de Salida -30-0 kV	<input checked="" type="checkbox"/>

5.5. Pruebas de funcionamiento del Sistema de Medición de Temperatura

Objetivo

Verificar el correcto funcionamiento del transmisor de temperatura

Responsables

- Jhonny Chugá
- José Polanco

Actividades

Para verificar el funcionamiento del transmisor de temperatura se realizaron pruebas de calibración, en primera instancia.

Utilizando la resistencia eléctrica como fuente de calor, se fueron tomando progresivamente medidas de temperatura, comparándolas con un termómetro digital, a continuación, se determinaron errores relativos de las medidas obtenidas, con un error menor al 3%

Resultados

El correcto funcionamiento se evaluó mediante un *check list* mostrado en la Tabla 18

Tabla 18

Check List Funcionamiento del Transmisor de Temperatura

Parámetro	Estado
Error < 3%	<input checked="" type="checkbox"/>

5.6. Prueba de funcionamiento del Sistema de Presión

Objetivo

Verificar el comportamiento de la cámara y de sus componentes internas luego de someter a presión, tanto positiva como negativa a las mismas

Responsables

- Jhonny Chugá
- José Polanco

Actividades

Para verificar el comportamiento de la cámara hermética al someterla a presión interna como externa, se estableció, en primer lugar, una presión de operación de 2psi.

Haciendo analogía con el código ASME Sección VIII Div 1, al no existir un código de diseño para cámaras de vacío y con la geometría empleada, se obtuvo una presión para la prueba neumática, la cual se realizará a 2.6 psi.

Haciendo uso del transmisor de presión instalado sobre la cámara, así como de los manómetros, se pudo establecer las presiones de prueba que exceden a la presión de operación.

Resultados

El correcto funcionamiento se evaluó mediante un *check list* mostrado en la Tabla 19.

Tabla 19*Check List Pruebas de Presión*

Parámetro	Estado
Prueba de presión positiva +2.6psi	<input checked="" type="checkbox"/>
Prueba de presión negativa -2.6psi	<input checked="" type="checkbox"/>

La galería fotográfica de las pruebas de presión podemos visualizarla en la sección Anexos

5.7. Prueba de funcionamiento del equipo Ensamblado

Objetivo

Verificar el correcto funcionamiento de todo el equipo una vez finalizada su construcción y programación

Responsables

- Jhonny Chugá
- José Polanco

Actividades

Para verificar el funcionamiento de todo el equipo se han idealizado 3 pruebas para la obtención de fibra.

Mediante la interfaz de usuario se someterá a prueba cada elemento constitutivo del equipo y se realizará una lista de verificación

Se obtendrá fibra en 3 colectores de diferente geometría para validar el funcionamiento en cada uno de ellos

Resultados

El correcto funcionamiento se evaluó mediante un *check list* mostrado en la Tabla 20

Tabla 20

Check List Equipo Ensamblado

Parámetro	Estado
Encendido de Luces LED	<input checked="" type="checkbox"/>
Giro del motor en intervalos de 100 rpm hasta 2000	<input checked="" type="checkbox"/>
Movimiento de la aguja a lo largo de los colectores	<input checked="" type="checkbox"/>
Calentamiento de la cámara hasta 40 °C	<input checked="" type="checkbox"/>
Generación de presión hasta -2 psi	<input checked="" type="checkbox"/>
Funcionamiento de las Electroválvulas	<input checked="" type="checkbox"/>
Funcionamiento del botón de encendido del equipo	<input checked="" type="checkbox"/>
Funcionamiento del Botón de emergencia	<input checked="" type="checkbox"/>
Funcionamiento del Switch de apertura de puerta	<input checked="" type="checkbox"/>
Control del robot mediante HMI	<input checked="" type="checkbox"/>
Funcionamiento de las fuentes de alto voltaje mediante los potenciómetros	<input checked="" type="checkbox"/>
Funcionamiento del transmisor de presión	<input checked="" type="checkbox"/>
Bombeo de las bombas a diferentes diámetros de jeringuillas y caudales	<input checked="" type="checkbox"/>
Generación de fibra en 3 colectores de diferente geometría	<input checked="" type="checkbox"/>

CAPÍTULO VI. ANALISIS ECONÓMICO

En este capítulo se expone e informa todo lo relacionado con costos de financiamiento y fabricación del equipo.

Los costos definiremos como egresos, recursos económicos gastados de forma directa o indirecta con el fin de producir o adquirir un bien.

Para el siguiente análisis dividiremos a todos los costos realizados en tres tipos:

- Costos directos
- Costos directos de fabricación
- Costos Indirectos

6.1. Costos Directos

Los costos directos son aquellos costos vinculados directamente con el proyecto, la inexistencia de estos hace imposible la producción del equipo de electrospinning.

Costos de equipos en general

Tabla 21

Costos de equipos en general

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	PRECIO	PRECIO TOTAL
1	UM30P15 DC-DC HIGH VOLTAJE POWER SUPPLY	534.125	534.13	534.13
1	UM30N15 DC-DC HIGH VOLTAJE POWER SUPPLY	534.125	534.13	534.13
1	TRONXY X3S ALUMINIUM FRAME LCD SCREEN 3D PRINTER DIY KIT (ROBOT CARTESIANO)	280	280	280
3	TB660 STEPPER MOTOR DRIVER 4A, 9-42 V	15	45	45

Continua →

1	UNIVERSAL REGULATED SWITCHING POWER SUPPLY 360 W, 24 V, 15 A DC	21.68	21.68	21.68
2	NE-300 JUST INFUSION SYRINGE PUMP	290.75	581.5	581.5
1	PLC SIEMENS SIMANTIC CPU 1214	374	374	374
1	SIMATIC S7-1200, DIGITAL OUTPUT SM 1222, 8 DO, RELAY 2A	91	91	91
1	SIMATIC S7-12000 SM1231 4 CHANNEL ANALOGUE INPUT MODULE	245	245	245
1	TOGUARD WR952 10.1 INCH IPS TOUCH MONITOR SCREEN	130	130	130
1	ACEPC MINI PC CHERRY TRAIL FANLESS DESKTOP COMPUTER WINDOWS 10 PRO	181	181	181
1	PTFE TEFLON TUBE AWG 13 S STANDARD WALL(1.93MM ID X 2.73MM OD) 10FT	12	12	12
1	ACOPLES DE MANGUERA DE INFUSION	150	150	150
1	DINO-LITE USB HANHELD DIGITAL MICROSCOPE, 10X-220X MAGNIFICATION 0.3MP/1.3MP/5.0MP TRUE RESOLUTION	400	400	400
1	MS09B PORTABLE MICROSCOPE STAND DESIGNED FOR DINO-LITE	30	30	30
			SUM TOTAL	3609.43

Tabla 22*Costos de materiales de cámara hermética y cajetín eléctrico*

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	DIMENSIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
3	PLANCHA ACERO INOXIDABLE AISI 304	2440 X 1220 X 1.5	[mm]	130	390
1	PLANCHA ACERO INOXIDABLE AISI 304	900 X 500 X 4	[mm]	68.75	68.75
2	VIDRIO TEMPLADO	405 X 435 X 10	[mm]	15	30
44	TUERCA ACERO INOXIDABLE AISI 304	D 1/4	[in]	0.05	2.2
2	ESPARRAGO ACERO INOXIDABLE AISI 304 1 METRO	D 1/4	[in]	3.25	6.5
1	EMPAQUE PLASTICO (10 MM, 7MM)	960 X 900 X 3	[mm]	90	90
2	TUBERIA ACERO INOXIDABLE AISI 304 2 METROS	D 1	[in]	14	28
4	SMS ACERO INOXIDABLE AISI 304	D 1	[in]	18	72
4	TUERCA ACERO INOXIDABLE AISI 304	M16	[mm]	0.5	2
1	ESPARRAGO ACERO INOXIDABLE AISI 304 1 METRO	M16	[mm]	20.71	20.71
4	VÁLVULA NEUMÁTICA	D3/4	[in]	50	200
4	CODOS SANITARIAS	D 1	[in]	6	24
2	TEE SANITARIA	D1	[in]	7	14
1	CORREDERA	2	[unidad]	12.32	12.32
2	SILICONA PARA SELLO	2	[unidad]	10	20
				SUM TOTAL	980.48

Tabla 23*Costos de materiales de colectores y adecuación del robot cartesiano*

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	DIMENSIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
10	RODAMIENTOS CMB 6201 2RSC3	6201	[unidad]	0.82	8.18
1	DURALONG NEGRO 13 X 250 X 980	3.92	[kg]	15.93	62.45
1	DURALONG NEGRO 17 X 120 X 1150	2.8	[kg]	15.93	44.60
1	EJE DE ACERO INOXIDABLE AISI 304 D 5/8 X 1200	1.92	[kg]	4.70	9.02
1	EJE DE ACERO INOXIDABLE AISI 304 D 1/4 X 1800	0.66	[kg]	5.80	3.83
0.25	TUBO DE ACERO INOX 304 200 MM	D 2 1/2	[in]	14.00	3.50
2	SERVOMOTORES 3V, 4A	UNIDAD	[unidad]	15.00	30.00
1	EJE DE DURALON 20 [MM] X 150	0.05	[kg]	15.93	0.80
20	TORNILLO M5 ALLEN AISI 304	M5	[unidad]	0.05	1.00
20	ARANDELA M5 AISI 304	M5	[unidad]	0.05	1.00
1	PLANCHA ACERO INOXIDABLE AISI 304	1200 X 650 X 2	[mm]	57.64	57.64
1	LATA PINTURA NEGRA	UNIDAD	[unidad]	5.00	5.00
5	PRISIONERO M3	UNIDAD	[unidad]	0.10	0.50
				SUM TOTAL	227.51

Tabla 24*Costos de equipos electrónicos en instrumentación*

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	DIMENSIÓN	UNIDAD	P.UNITARIO	P. TOTAL
30	CABLE 22 AWG FLEXIBLE	22AWG	[m]	1.00	30.00
1	SPAGHETTI TÉRMICO	UNIDAD	[unidad]	10.00	10.00
1	SIGNAL BOARD SIEMENS PLC 1214 C	UNIDAD	[unidad]	200.00	200.00
1	MÓDULO ANALÓGICO TERMOCUPLA PLC S1214C	UNIDAD	[unidad]	500.00	500.00
1	MANO VACUAMETRO	UNIDAD	[unidad]	50.00	50.00
1	BOMBA DE VACÍO 3/4 HP 110V	UNIDAD	[unidad]	250.00	250.00
1	REGULADOR DE PRESIÓN DE GAS FESTO	UNIDAD	[unidad]	80.00	80.00
1	SENSOR DE PRESIÓN -1 A1 BAR	UNIDAD	[unidad]	200.00	200.00
1	PARO DE EMERGENCIA TIPO PULSADOR	UNIDAD	[unidad]	20.00	20.00
1	SWITCH DE SEGURIDAD TIPO RODILLO	UNIDAD	[unidad]	20.00	20.00
3	ROLLO DE LUCES LED	UNIDAD	[m]	20.00	60.00
1	RESISTENCIA ELÉCTRICA 110V 150W	UNIDAD	[unidad]	40.00	40.00
1	RELÉ DE ESTADO SÓLIDO CONTROL TEMP	UNIDAD	[unidad]	100.00	100.00
2	POTENCIÓMETRO LINEAL DE 10 VUELTAS	UNIDAD	[unidad]	40	80
2	RIELES DIN	UNIDAD	[unidad]	20	40

5	RELÉ TÉRMICO	UNIDAD	[unidad]	35	175
				SUM TOTAL	2030.00

6.2. Costos directos de Fabricación

Son todos los costos vinculados directamente con la fabricación de los diferentes elementos del equipo los cuales son detallados a continuación.

6.2.1. Costos de fabricación de Cámara hermética y Cajetín eléctrico

Para el análisis de costos de fabricación de la cámara hermética y el cajetín eléctrico se tomó en cuenta el número de horas fabricación como también el trabajo en taller realizado.

Tabla 25

Costo de mano de obra de Cámara hermética y Cajetín eléctrico

DESCRIPCIÓN	PRECIO [DÓLARES/HORA]	TIEMPO [HORAS]	PRECIO TOTAL
SOLDADOR CALIFICADO EN PROCESO DE SOLDADURA TIG	7.46	56	417.76
AYUDANTE DE TALLER	4.06	56	227.36
SUM TOTAL			645.12

Tabla 26

Costo de proceso de taller para fabricación de Cámara hermética y Cajetín eléctrico

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
18	CORTE EN CIZALLADORA PLANCHA ESPESOR 1.5 [mm]	1	18
3	DOBLEZ A 90 PLANCHA ESPESOR 1.5 [mm]	0.8	2.4
2	CORTE EN LASER RETENEDORES DE VENTANA Y BISAGRA EN PLANCHA 4[mm]	DISEÑO	40
1	CORTE EN LASER PLACA BASE DE PUERTA EN PLANCHA DE 1.5 [mm]	DISEÑO	80
1	CORTE EN LASER PLACA SOPORTE DE MONITOR Y TECLADO PLANCHA DE 1.5 [mm]	DISEÑO	55
		SUM TOTAL	195.4

6.2.2. Costos de fabricación de Colectores y modificación de Robot cartesiano

En el análisis de costos de fabricación de colectores se representa el costo de cada uno de los colectores de forma global, el análisis total de fabricación se lo puede encontrar en la sección de anexos.

Tabla 27

Costos de mano de obra global de colectores y adecuación de robot cartesiano

DESCRIPCIÓN	VALOR
COSTO DE FABRICACIÓN COLECTOR TIPO CILINDRO	93.65
COSTO DE FABRICACIÓN COLECTOR TIPO EJE	75.85
COSTO DE FABRICACIÓN COLECTOR TIPO EJE 6 [mm]	83.85

Continúa →

COSTO DE FABRICACIÓN COLECTOR TIPO REJILLA	121.18
COSTO DE FABRICACIÓN COLECTOR TIPO POLEA	104.7
COSTO DE FABRICACIÓN DE COLECTORES ESTÁTICOS	93.6
FABRICACIÓN DE COLECTOR GIRATORIO VERTICAL	34.3
ADECUACIONES A ROBOT CARTESIANO	30
FABRICACIÓN DE PLACA BASE	50
SUM TOTAL	687.13

6.2.3. Costos de mano de obra de programación y automatización del equipo

Para esta sección en específico se tomó en consideración la programación y automatización global del sistema como también de la asesoría que se obtuvo por parte de la empresa CAPHTRONIC (Automatización y control Ingeniería).

Tabla 28

Costos de programación y automatización del equipo en general

DESCRIPCIÓN	VALOR
PROGRAMACIÓN Y PRUEBAS DE PLC	2000
PROGRAMACIÓN Y PRUEBAS DE HMI	
DISEÑO DE CONTROL	
DISEÑO DE FUERZA	
ASESORAMIENTO	
PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO EN SITIO	
SUM TOTAL	2000

Para la suma total de los costos directos se tomó en consideración los equipos en general, los materiales básicos para la fabricación tanto de la cámara hermética, cajetín eléctrico, colectores, equipos electrónicos y de instrumentación aparte de los costos de toda la mano de obra previamente mencionada.

Tabla 29

Costos directos totales

DESCRIPCIÓN	VALOR
COSTOS DE EQUIPOS EN GENERAL	3609.43
COSTOS DE MATERIALES DE CÁMARA HERMÉTICA Y CAJETÍN ELÉCTRICO	980.48
COSTOS DE MATERIALES DE COLECTORES Y ADECUACIÓN DEL ROBOT CARTESIANO	227.51
COSTOS DE EQUIPOS ELECTRÓNICOS EN INSTRUMENTACIÓN	2030
COSTO DE MANO DE OBRA DE CÁMARA HERMÉTICA Y CAJETÍN ELÉCTRICO	645.12
COSTO DE PROCESO DE TALLER PARA FABRICACIÓN DE CÁMARA HERMÉTICA Y CAJETÍN ELÉCTRICO	195.4
COSTOS DE MANO DE OBRA GLOBAL DE COLECTORES Y ADECUACIÓN DE ROBOT CARTESIANO	687.13
COSTOS DE PROGRAMACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DEL EQUIPO EN GENERAL	1325
SUM TOTAL	9700.07

6.3. Costos Indirectos

Son todos los costos que no están vinculados directamente con el proyecto, pero son imprescindibles para la realización del equipo. Los costos indirectos ya sea de transporte y nacionalización de equipos traídos del extranjero se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 30*Costos de envío y nacionalización*

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	ENVIÓ Y NACIONALIZACIÓN
1	UM30P15 DC-DC HIGH VOLTAJE POWER SUPPLY	113.57
1	UM30N15 DC-DC HIGH VOLTAJE POWER SUPPLY	113.57
3	TB660 STEPPER MOTOR DRIVER 4A, 9-42 V	56.78
2	NE-300 JUST INFUSION SYRINGE PUMP	276.84
1	DINO-LITE USB HANHELD DIGITAL MICROSCOPE, 10X-220X MAGNIFICATION 0.3MP/1.3MP/5.0MP TRUE RESOLUTION	56.78
1	MS09B PORTABLE MICROSCOPE STAND DESIGNED FOR DINO-LITE	56.78
12	ACOPLES DE MANGUERA	56.78
SUM TOTAL		731.12

La siguiente tabla indica el costo que se obtuvo por la asesoría para el diseño mecánica como también del desarrollo de pruebas que fueron realizadas bajo la empresa de Ingeniería SEISA.

Tabla 31*Costo directos por asesoría*

DESCRIPCIÓN	VALOR
COSTOS ASESORIA DE DISEÑO Y DESARROLLO DE PRUEBAS	1500

6.4.

6.5. Costo total

Para los costos totales sumamos los costos directos totales más los costos indirectos con lo cual obtendríamos nuestro costo básico del equipo.

Tabla 32

Costo total del equipo

DESCRIPCION	VALOR
COSTOS DIRECTOS TOTALES	9700.07
COSTOS INDIRECTOS	2212.31
SUM TOTAL	11913.38

CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se expone las conclusiones a las que se llegó una vez terminado el proyecto, además se establecen algunas recomendaciones respecto al uso del equipo, así como para futuras investigaciones.

7.1. Conclusiones

- Se diseño y construyo un equipo para electrospinning con las siguientes características:

Cámara / Chasis

- Dimensiones: 600mmx600mmx630mm
- Volumen de Trabajo: 185 l
- Material: Acero Inoxidable AISI 304
- Fuente de Alimentación: 110V, 60Hz
- Presión Positiva de Operación: 2psi \pm 0.2 psi
- Presión Negativa de Operación: - 2psi \pm 0.2 psi
- Temperatura Máxima: 40°C
- Interfaz de Operación: Pantalla 15.6"
- Desplazamiento del Robot en cada eje: 200mm
- Iluminación: LED

Alto Voltaje

- Polarización: Doble polarización
- Rango de Voltajes: -30 kV a +30 kV
- Potencia: 15W
- Señal de Referencia: Potenciómetros de Alta Precisión

Bombas de Infusión

- Cantidad: 2
- Capacidad de Jeringas: Hasta 60ml
- Caudal: 0.73 μ L hasta 1257 mL/hr

Colectores

- Material: Acero Inoxidable AISI 304
 - Colectores Giratorios: 6
 - Colectores Estáticos: 3
- Se construyó un novedoso equipo de laboratorio que permite múltiples modos de experimentación, tanto con presión positiva o presión negativa, sistema de control de atmósfera mediante modificación de temperatura, sistema modular de colectores con diferentes geometrías, doble polarización de fuentes de alto voltaje, permitiendo recolectar mayor cantidad de fibras con morfologías y características variables.
 - El proyecto se desarrolló dentro de los plazos y presupuestos establecidos, debido a la preparación que brinda la carrera de Ingeniería Mecánica para resolver problemas, al apoyo del laboratorio de Reología y fluidos complejos como también de los docentes designados al proyecto.
 - Las pruebas de operación y funcionamiento dieron resultados positivos con lo cual se verificó que el equipo cumple con los requisitos necesarios como también se verificó la facilidad de uso del HMI y por lo cual el laboratorio de Reología y fluidos complejos aceptó de manera satisfactoria al proyecto.
 - A fin de aumentar la variabilidad de las maneras de recolección de fibra se diseñaron y construyeron 9 colectores de diferente geometría tanto estáticos como móviles.

- El proceso de electrospinning viene influenciado por múltiples parámetros que son difíciles de estandarizar, el equipo juega un papel fundamental en las condiciones en que se genera el fenómeno, tanto del equipo como del usuario depende la calidad de las fibras obtenidas, gran responsabilidad radica en el usuario, su capacidad para preparar una solución adecuada y modificar los parámetros (temperatura, presión, distancia colector-aguja, voltaje de experimentación, caudal de bombeo) para generar un chorro continuo hacia el colector.
- El presupuesto referencial que se tenía en un principio permitió que se logre una construcción del equipo robusta en su sección mecánica, sin embargo no fue suficiente para implementar un sistema HMI con una versión profesional del software MOVICON.


7.2. Recomendaciones

- Se recomienda considerar la posibilidad de generar una patente con el equipo construido, a nivel local no se dispone de las herramientas implementadas en el mismo; de igual manera se puede enfocar el proyecto para publicar un artículo científico, ya sea de su construcción o de posibles investigaciones que ha futuro se generen con el mismo.
- Para futuras ampliaciones en el software del equipo se recomienda adquirir la licencia oficial de MOVICON para incrementar el tiempo que se puede utilizar el HMI.
- Para futuras ampliaciones se recomienda adquirir accesorios de electrospinning como inyectores multipuntos, inyectores coaxiales, sistema de calentamiento de la jeringuilla, o un “trace heating” para incrementar la variedad de experimentos que pueden realizarse con el equipo
- Se recomienda seguir las instrucciones establecidas en el manual de usuario para la manipulación del equipo, manipularlo únicamente después de haber sido capacitado para hacerlo.

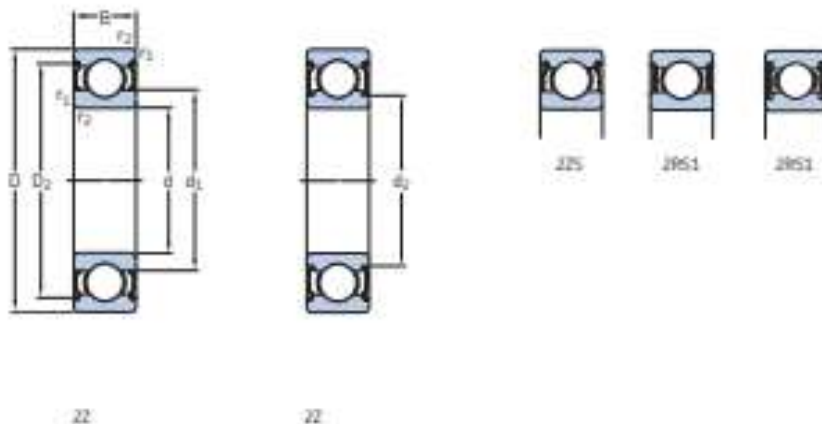
BIBLIOGRAFÍA

- Armadas, U. d. (2017, Noviembre 14). *Plataforma Virtual*. Retrieved from <http://www.espe.edu.ec>
- C. L. Casper, J. S. (2004). Macromolecules. *Macromolecules.*, 37, 573.
- Cavaliere, S. (2015). *Electrospinning for advanced energy and environmental application*. CRC Press.
- Cooley, J. (1902). *USA Patent No. US 692631*.
- Doshi J, R. (1995). Electrospinning Process and Applications of Electrospun Fibers. *Journal of Electrostatics*, 35,151.
- F, C. J. (1902). *USA Patent No. U.S Patent No. 692631*.
- Gilbert, W. (1628). *On the Magnet and Magnetic Bodies*. London: Peter Short.
- J. R. Melcher and G, I. T. (1969). Electrohydrodynamics: A Review of the Role of Interfacial Shear Stress. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 1, 111.
- Megelski, S. S. (n.d.). *Micro and nanostructured fibers*.
- Norris ID, S. M. (2000). Electrostatic fabrication of ultrafine conducting fibers: polyaniline/polyethylene oxide blends. *Synthetic Metals* , 10-56.
- S. Koombhongse, W. L. (2001). Polymers. *Polym.Phys.*, 39, 2598.
- S. Ramakrishna K. Fujihara, W.-E. T.-C. (2005). *An Introduction to Electrospinning And Nanofibers*. Singapore: World Scientific Publishing.
- S.N. Reznik, A. Y. (2004). Transient and steady shapes of droplets attached to a surface in a strong electric field. *Journal of Fluid Mechanics*, 516, 1, 349.
- Shin YM, H. M. (2001). Experimental characterization of electrospinning: the electrically forced jet and instabilities. *Polymer* 2001a.
- Taylor, G. (1964). Disintegration of Water Drops in an Electric Field. *Proceedings of the Royal Society of London, Series A: Mathematical and Physical and Sciences*, 280, 1382, 383.
- Zachariades AE, P. R. (1995). High Modulus Polymers. A Novel Electrospinning Process. *Polymer News*, 20, 206 .
- Zeleny, J. (1914). The Electrical Discharge from Liquid Points, and a Hydrostatic Method of Measuring the Electric Intensity at Their Surfaces. *Phys Rev*, 69.

ANEXOS

			
Propiedades		GRILON®	
ENSAYOS	Método de ensayo	Unidad	Valores
Peso específico	DIN 53479	g/cm ³	1,13
Temperatura de uso:			
En forma continua sin carga	-	°C	80 a 100
Absorción de agua:			
23°C hasta saturación		%	6
Resistencia a la tracción	DIN 53455	kg/cm ²	540
	ASTM D 638	kg/cm ²	700
Alargamiento a la rotura	DIN 53454	%	100 - 300
Resistencia a la flexión	DIN 53452	kg/cm ²	450
	ASTM D 790	kg/cm ²	650
Resistencia a la compresión	ASTM D 695	kg/cm ²	650
Coefficiente de deslizamiento	-	-	0,35 - 0,43
Resistencia a la abrasión	TRABER	%	0,15
Dilatación	-	%	0,8
Dureza	DIN 53505	Shore D	85 - 83
Dureza Rockwell (escala «E»)	ASTM D 785	-	54,5 - 54
Temperatura de fusión	-	°C	220
Coefficiente de conductibilidad térmica	DIN 52612	W/km	0,28
Calor específico	-	Kcal/mH °C	0,40
Constante dieléctrica	DIN 53483	10 ⁻⁵ Hz	4
Rigidez dieléctrica	DIN 53481	Kv/mm	25 - 30
Resistencia transversal	DIN 53482	OHM/cm	10 ¹⁵
Resistencia superficial	DIN 53482	OHM	5 x 10 ¹²

1.7 Rodamientos rígidos de bolas de acero inoxidable tapados d 12-17 mm



Dimensiones principales	Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga P_0	Velocidades nominales		Masa	Designación			
	dinámica C_d	estática C_s		Velocidad de referencia	Velocidad límite					
d	D	B	kN	kN	r.p.m.	g	-			
12 mm	24	8	2,51	1,48	0,062	-	19 000	11	W61901-2RS1	
	24	8	2,51	1,48	0,062	67 000	12 000	11,5	W61901-2Z	
	28	8	4,42	2,38	0,102	-	16 000	20	W6001-2RS1	
	28	8	4,42	2,38	0,102	60 000	30 000	20	W6001-2Z	
	32	10	5,72	3	0,127	-	15 000	36	W6201-2RS1	
	32	10	5,72	3	0,127	53 000	28 000	36	W6201-2Z	
	37	12	9,75	4,15	0,176	-	14 000	57	W6301-2RS1	
	37	12	9,75	4,15	0,176	48 000	24 000	60	W6301-2Z	
	15	21	4	0,618	0,3	0,012	-	19 000	3,6	W61702-2RS1
		21	4	0,618	0,3	0,012	67 000	32 000	3,6	W61702-2Z
24		5	1,05	1,08	0,048	-	17 000	7,1	W61802-2RS1	
24		5	1,05	1,08	0,048	60 000	30 000	6,8	W61802-2Z	
24		7	1,05	1,08	0,048	-	17 000	9,9	W61802-2RS1	
24		7	1,05	1,08	0,048	60 000	30 000	9,6	W61802-2Z	
28		7	3,71	2,24	0,095	-	16 000	16	W61902-2RS1	
28		7	3,71	2,24	0,095	56 000	28 000	16	W61902-2Z	
32		9	4,88	2,8	0,12	-	14 000	29	W6002-2RS1	
32		9	4,88	2,8	0,12	50 000	26 000	29	W6002-2Z	
35		11	6,37	3,6	0,156	-	13 000	44	W6202-2RS1	
35		11	6,37	3,6	0,156	48 000	24 000	44	W6202-2Z	
42		13	9,91	5,4	0,232	-	11 000	79,5	W6302-2RS1	
42		13	9,91	5,4	0,232	40 000	20 000	82,5	W6302-2Z	
17		23	4	0,559	0,34	0,015	-	17 000	3,9	W61703-2RS1
		23	4	0,559	0,34	0,015	60 000	30 000	3,9	W61703-2Z
	26	5	1,78	1,27	0,054	-	16 000	8	W61803-2RS1	
	26	5	1,78	1,27	0,054	56 000	28 000	7,6	W61803-2Z	
	26	7	1,78	1,27	0,054	-	16 000	11	W61803-2RS1	
	26	7	1,78	1,27	0,054	56 000	28 000	10,5	W61803-2Z	
	30	7	3,97	2,55	0,108	-	14 000	17,5	W61903-2RS1	
	30	7	3,97	2,55	0,108	50 000	24 000	17	W61903-2Z	
	35	10	4,94	3,15	0,137	-	13 000	38,5	W6003-2RS1	
	35	10	4,94	3,15	0,137	45 000	22 000	39	W6003-2Z	



Sangolquí, 06/03/2018

CERTIFICADO DE ACEPTACIÓN DE PROYECTO DE TESIS

Yo, Christian Patricio Narvárez Muñoz, con C.C. 1720037165, auspiciante del proyecto de tesis "Diseño y Construcción de una Máquina para la Obtención de Fibras Submicrométricas mediante Electrospinning con Sistema Móvil de Inyección y Atmósfera Controlada", certifico que los estudiantes Jhonny Andrés Chuga Mejía, con C.C. 1722407168 y José Ricardo Polanco Salgado, con C.C. 1802879146, realizaron las siguientes pruebas del equipo construido el 06 de marzo de 2018:

1. Prueba de control de presión (vacío y sobrepresión)
2. Prueba de control de temperatura
3. Prueba de control de robot cartesiano
4. Prueba de control de alto voltaje
5. Prueba de hermeticidad de la cámara
6. Prueba de visión de cámara microscópica
7. Prueba de fabricación de fibras con diferentes tipos de colectores
8. Prueba de funcionamiento de HMI
9. Prueba de funcionamiento de bombas de infusión

Los señores estudiantes obtuvieron resultados positivos en todas las pruebas previamente mencionadas, verificando la operatividad total del equipo entregado y cumpliendo todos los parámetros requeridos por el Laboratorio de Reología y Fluidos Complejos; razón por la cual se acepta su proyecto de tesis.

Es todo lo que puedo declarar en honor a la verdad.

Atentamente,

Christian Narvárez-Muñoz, M. Phil.
 Docente – Investigador
 Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
 Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE
 + 593 2 3989 400 ext. 1816
 cpnarvaez1@espe.edu.ec