



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE ELECTROHILADO VERTICAL DE 0 A 15 kV PARA GENERAR NANOFIBRAS A BASE DEL POLÍMERO POLISILOXANO”.

AUTOR: Ruiz Silva Eddy Santiago

TUTOR: Ing. Mg. Oscar Analuiza

AMBATO – ECUADOR

2019

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo técnico, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE ELECTROHILADO VERTICAL DE 0 A 15 kV PARA GENERAR NANOFIBRAS A BASE DEL POLÍMERO POLISILOXANO” elaborado por el señor Ruiz Silva Eddy Santiago, Estudiante de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Certifico:

- Que la presente tesis es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos.
- Es concluida y puede continuar con el trámite correspondiente.

Ambato, diciembre del 2019



Ing. Mg. Oskar Analuiza

DOCENTE DE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTORIA DE TRABAJO

Declaro que los criterios expresados en el proyecto técnico denominado: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE ELECTROHILADO VERTICAL DE 0 A 15 kV PARA GENERAR NANOFIBRAS A BASE DEL POLÍMERO POLISILOXANO”, así como también las ideas, análisis, conclusiones son auténticas y de exclusiva responsabilidad de mi persona como autor del presente proyecto.

Ambato, diciembre del 2019

EL AUTOR



Ruiz Silva Eddy Santiago

CI: 0503445520

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga este Proyecto Técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y proceso de investigación según las normas de la institución.

Sedo los derechos en línea patrimoniales de este Proyecto Técnico con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Proyecto Técnico dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, diciembre del 2019

EL AUTOR



Ruiz Silva Eddy Santiago

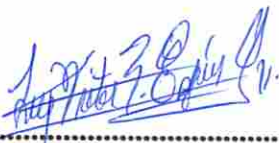
CI: 0503445520

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal de grado aprueban el informe del proyecto técnico realizado por el estudiante Ruiz Silva Eddy Santiago de la carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE ELECTROHILADO VERTICAL DE 0 A 15 kV PARA GENERAR NANOFIBRAS A BASE DEL POLÍMERO POLIXILOXANO”**.

Ambato, diciembre de 2019

Para constancia firman:



.....
Ing. Mg. Víctor Espín



.....
Ing. Mg. María Belén Paredes

DEDICATORIA

El presente proyecto de titulación se lo dedico a mis padres y a mi abuelito, quienes han sabido darme un aliento para seguir siempre adelante pese a las dificultades que se presentaron en el transcurso de la carrera, llenándome de sabios consejos y ejemplo me han ayudado a tener grandes virtudes como persona, para poder alcanzar cada meta que me proponga, con lo cual hoy puedo escribir estas líneas que son el comienzo de una nueva vida profesional.

AGRADECIMIENTO

Primeramente agradezco a mis padres que siempre formaron parte de mi vida siendo una guía y apoyo, lo que me ha permitido formarme como una persona con excelentes virtudes, mi madre que siempre me dio ánimos, cariño para que pueda culminar con éxito cada semestre, mi padre que me ayudo en la construcción de mi tesis.

Al Ingeniero Mg. Oscar Analuiza que como tutor me ha brindado su tiempo y paciencia con el desarrollo del proyecto, guiándome y apoyándome hasta la culminación del mismo.

A los docentes que forman parte de la Carrera de Ingeniería Mecánica, que me acogieron para brindarme sus conocimientos, con el fin de crear un profesional competente para la vida profesional.

A mis amigos que siempre formaron parte de toda mi vida universitaria, creando grandes anécdotas inolvidables, llegado a ser personas importantes de aquí en adelante

INDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORIA DE TRABAJO	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
INDICE GENERAL.....	viii
INDICE DE TABLAS	xiii
INDICE DE FIGURAS.....	xvii
RESUMEN EJECUTIVO	xx
ABSTRACT	xxi
CAPITULO I.-MARCO TEÓRICO	1
1.1. Antecedentes	1
1.1.2. Investigaciones previas.....	2
1.1.3. Fundamentación teórica.....	3
1.1.3.1. Historia.....	3
1.1.4. Electrospinning (electrohilado)	5
1.1.5. Cono de Taylor	6
1.1.6. Fases del proceso de electrohilado	7
1.1.6.1. Disolución con carga eléctrica.....	7
1.1.6.2. Aparición del cono de Taylor y filamento	7
1.1.6.3. Adelgazamiento del filamento	7
1.1.6.4. Inestabilidad del filamento.....	8
1.1.6.5. Colecta del filamento	8
1.1.7. Configuración del proceso de electrohilado	8
1.1.7.1. Configuración básica	8
1.1.7.2. Modificaciones en la jeringa y los líquidos de hiladora	9
1.1.8. Parámetros que influyen en el proceso.....	10
1.1.9. Parámetros que influyen en la solución.....	10
1.1.9.1. Efecto de la concentración.....	11
1.1.9.2. Viscosidad.....	12
1.1.9.3. Solvente	12
1.1.9.4. Conductividad.....	13

1.1.9.5.	Tensión superficial.....	13
1.1.9.6.	Constante dieléctrica.....	14
1.1.9.7.	Factores ambientales.....	14
1.1.10.	Parámetros de procesamiento	15
1.1.10.1.	Tipos de colector.....	15
1.1.10.2.	Material del colector	17
1.1.10.3.	Tensión aplicada	17
1.1.10.4.	Velocidad del flujo.....	18
1.1.10.5.	Boquilla capilar.....	18
1.1.10.6.	Distancia entre la boquilla y el colector.....	19
1.1.11.	Aplicaciones del proceso de electrohilado	19
1.1.11.1.	Aplicación de la nanofibra en el área biomédica.....	19
1.1.11.2.	Nanofibras y sus aplicaciones en el área textil	21
1.1.12.	Otras formas de generar nanofibras.....	22
1.1.12.1.	Electrospinning (electrohilado coaxial).....	22
1.1.12.2.	Electrohilado coaxial con camisa de protección.....	23
1.1.12.3.	Electrohilado con doble componente.....	23
1.1.13.	Forcespinng	23
1.2.	Objetivos	24
1.2.1.	Objetivo general	24
1.2.2.	Objetivos específicos.....	24
CAPITULO II.-MATERIALES.....		25
2.1.	Polímero polisiloxano	25
2.1.1.	Electroválvulas 5/3 vías	25
2.1.2.	Válvula de regulación de caudal	27
2.1.3.	Válvula de regulación de caudal serie RFU.....	28
2.1.4.	Silenciador serie 2931	29
2.1.5.	Racores súper-rápidos Serie 6000.....	30
2.1.6.	Minicilindro serie 16, 24 y 25	31
2.1.7.	Aluminio 6063	33
2.1.8.	Acrílico transparente 6mm.....	34
2.1.9.	Jeringa desechable (10 ml).....	35
2.1.10.	Clasificación de las jeringas.....	35
2.1.11.	Aguja de la jeringa	36

2.1.11.1. Tipos de agujas.....	36
2.1.12. Maquinaria	36
2.1.12.1. Microscopio electrónico de barrido	36
2.2. Metodología	37
2.2.1. Tipo de investigación	37
2.2.2. Método	38
2.2.3. Análisis en el microscopio de barrido	39
2.2.4. Hipótesis.....	40
2.2.5. Variable de la hipótesis	40
2.2.6. Operacionalización de variables.....	41
2.2.7. Recolección de resultados	41
2.2.8. Análisis de resultados de las probetas	42
2.2.9. Automatización de electroválvulas.....	42
2.2.10. Materiales utilizados en la baquelita	43
2.2.10.1. Diseño de la baquelita.....	43
2.2.10.2. Materiales utilizados	47
2.2.11. Conexiones	47
2.2.11.1. Conexión del solenoide.....	47
2.2.11.2. Conexión de la baquelita.....	48
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
3.1. Análisis de alternativas	49
3.2. Selección de alternativas	50
3.2.1. Alternativas para la selección de la fuente de alta tensión.....	51
3.2.1.1. Alternativa A: LSP-20kV de alta tensión de alimentación	52
3.2.1.2. Alternativa B: Transformador trifásico 75 kVA-15kV	52
3.2.1.3. Alternativa C: Positivo máx 35 kV de alta tensión de la fuente de alimentación para el electrospinning.....	53
3.2.1.4. Alternativa D: Fuente de alimentación de alto voltaje generador estática electrospinning 15 kV	54
3.2.2. Alternativas para la selección del colector.....	55
3.2.2.1. Alternativa A: Colector conductor plano	55
3.2.2.2. Alternativa B: Colector rotatorio	55
3.2.2.3. Alternativa C: Colector de placas paralelas	55
3.2.2.4. Alternativa D: Colector de punta	56

3.2.3. Alternativas para la selección del sistema de inyección de la solución polimérica.....	56
3.2.3.1. Alternativa A: sistema manual	56
3.2.3.2. Alternativa B: Semiautomático	57
3.2.3.3. Alternativa C: Bomba inyectora para electrospinning	57
3.2.4. Alternativas para la selección del sistema de elevación del colector.....	58
3.2.4.1. Alternativa A: Elevación hidráulica.....	58
3.2.4.2. Alternativa B: Elevación neumática.....	58
3.2.4.3. Alternativa C: Elevación por un sistema eléctrico.....	59
3.2.5. Alternativas para la selección del sistema electrónico de control.....	59
3.2.5.1. Alternativa A: Control por PLC	59
3.2.5.2. Alternativa B: Control por arduino	60
3.3. Evaluación de alternativas.....	60
3.3.1. Evaluación de alternativas para la fuente de alta tensión.....	60
3.3.2. Evaluación de alternativas para el tipo de colector	64
3.3.3. Evaluación de alternativas para el sistema de inyección de la solución polimérica.....	67
3.3.4. Evaluación de alternativas para el sistema de elevación del colector	71
3.3.5. Evaluación de alternativas para el sistema electrónico de control.....	75
3.4. Resumen de criterios	78
3.5. Diseño de elementos	79
3.5.1. Estructura de la máquina.....	79
3.5.2. Cálculo estructural	79
3.5.2.1. Diseño de elementos de la estructuras	80
3.5.3. Análisis estático de la estructura por medio de un software	91
3.5.3.1. Tensión axial y de flexión.....	91
3.5.3.2. Desplazamiento.....	92
3.5.3.3. Factor de seguridad	92
3.5.4. Sistema de elevación.....	93
3.5.4.1. Análisis estático del vástago del pistón.....	94
3.5.4.2. Desplazamiento	95
3.5.4.3. Factor de seguridad	95
3.5.5. Sistema de inyección.....	96
3.6. Construcción de la máquina de electrohilado	96
3.6.1. Construcción de la estructura	98

3.6.2. Sistema de elevación	99
3.6.3. Sistema de inyección.....	100
3.6.4. Sistema de control.....	101
3.7. Máquina terminada.....	102
3.8. Análisis de resultados.....	103
3.8.1. Ficha de muestras	103
3.9. Diámetros promedio de las fibras obtenidas por la máquina de electrohilado.	122
3.10. Análisis de diámetros de la fibra	122
3.10.1. Análisis a 10 cm	123
3.10.2. Análisis a 17,5 cm.....	124
3.10.3. Análisis a 25 cm	125
3.11. Análisis de costos	126
3.11.1. Costo de la estructura	126
3.11.2. Costos neumáticos y electrónicos	126
3.11.3. Total de costos.....	127
CAPITULO IV.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	128
4.1. Conclusiones	128
4.2. Recomendaciones.....	129
Anexos.....	132

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Constante dieléctrica de solventes más usados..	13
Tabla 2. Resumen de los parámetros y característica.	15
Tabla 3. Polímeros usados en el proceso de electrohilado en ingeniería de tejidos...	20
Tabla 4. Codificación de la electroválvula 5/3.....	26
Tabla 5. Características generales de la electroválvula.....	27
Tabla 6. Características de los reguladores de caudal.....	27
Tabla 7. Regulador de caudal serie RFU.	28
Tabla 8. Codificación de un regulador de caudal tipo RFU – RFO.....	29
Tabla 9. Característica de los silenciadores.	30
Tabla 10. Característica general de un racor.....	31
Tabla 11. Características de los minicilindros.....	32
Tabla 12. Codificación de los minicilindros.....	32
Tabla 13. Composición química de la aleación 6063.	34
Tabla 14. Dureza y resistencia de la aleación 6063.	34
Tabla 15. Especificaciones técnicas del microscopio electrónico de barrido	37
Tabla 16. Confinaciones de distancia con respecto al voltaje.....	39
Tabla 17. Total de muestras para el análisis en el microscopio de barrido.....	40
Tabla 18. Variables independientes (parámetros de diseño).....	41
Tabla 19. Variables dependientes (calidad de la fibra).	41
Tabla 20. Materiales para la automatización del colector y la bomba inyectora.	43
Tabla 21. Materiales para la automatización del colector y la bomba inyectora.	47
Tabla 22. Indicador para la conexión del solenoide.....	48
Tabla 23. Parámetros utilizados para el diseño de la máquina de electrohilado.....	49
Tabla 24. Alternativas principales a evaluar.	51
Tabla 25. Materiales para la automatización del colector y la bomba inyectora.	52
Tabla 26. Características de un transformador.....	53
Tabla 27. Características de la fuente.	54
Tabla 28. Características de la bomba inyectora.....	57
Tabla 29. Criterios de selección para la fuente de alto voltaje.....	61
Tabla 30. Evaluación de criterios de costos para la fuente de alto voltaje.....	62
Tabla 31. Evaluación de criterios de montaje para la fuente de alto voltaje.....	62
Tabla 32. Evaluación de criterios de mantenimiento para la fuente de alto voltaje...	62

Tabla 33. Evaluación de criterios de voltaje para la fuente de alto voltaje.....	62
Tabla 34. Evaluación de criterios de amperaje para la fuente de alto voltaje.....	63
Tabla 35. Resultados de la evaluación de criterios para la fuente de alto voltaje.....	63
Tabla 36. Características principales de la fuente de alta tensión seleccionada.	63
Tabla 37. Criterios de selección del colector	64
Tabla 38. Evaluación de criterios de costos para el colector	65
Tabla 39. Evaluación de criterios de montaje para el colector	65
Tabla 40. Evaluación de criterios de mantenimiento para el colector	65
Tabla 41. Evaluación de criterios de diseño para el colector.....	65
Tabla 42. Evaluación de criterios de construcción para el colector.....	66
Tabla 43. Resultados de la evaluación de criterios para el colector.....	66
Tabla 44. Características del colector.	66
Tabla 45. Criterios de selección del sistema de inyección polimérica.....	68
Tabla 46. Evaluación de criterios de costo para el sistema de inyección.	68
Tabla 47. Evaluación de criterios de montaje para el sistema de inyección.	68
Tabla 48. Evaluación de criterios de mantenimiento para el sistema de inyección. ..	68
Tabla 49. Evaluación de criterios de diseño para el sistema de inyección.	69
Tabla 50. Evaluación de criterios de construcción para el sistema de inyección.	69
Tabla 51. Evaluación de criterios de fiabilidad para el sistema de inyección.....	69
Tabla 52. Resultados de la evaluación de criterios para el sistema de inyección	69
Tabla 53. Características del minicilindro de 50 mm de carrera.....	70
Tabla 54. Criterios de selección del sistema de elevación del colector.	72
Tabla 55. Evaluación de criterios de costo para el sistema de elevación del colector.	72
Tabla 56. Evaluación de criterios de montaje para el sistema de elevación del colector.....	72
Tabla 57. Evaluación de criterios de mantenimiento para el sistema de elevación del colector.....	73
Tabla 58. Evaluación de criterios de diseño para el sistema de elevación del colector.	73
Tabla 59. Evaluación de criterios de construcción para el sistema de elevación del colector.....	73

Tabla 60. Evaluación de criterios de fiabilidad para el sistema de elevación del colector.....	73
Tabla 61. Resultados de la evaluación de criterios del sistema de elevación del colector.....	74
Tabla 62. Características principales del minicilindro de carrera 150 mm.....	74
Tabla 63. Criterios de selección del sistema electrónico de control.	76
Tabla 64. Evaluación de criterios de costo para el sistema electrónico de control....	76
Tabla 65. Evaluación de criterios de montaje para el sistema electrónico de control.	76
Tabla 66. Evaluación de criterios de mantenimiento para el sistema electrónico de control.	76
Tabla 67. Evaluación de criterios de dimensiones para el sistema electrónico de control.	77
Tabla 68. Evaluación de criterios del software para el sistema electrónico de control.	77
Tabla 69. Evaluación de criterios de fiabilidad para el sistema electrónico de control.	77
Tabla 70. Resultados de la evaluación de criterios para el sistema electrónico de control.	77
Tabla 71. Características del equipo arduino.	78
Tabla 72. Resumen de resultados y selección de alternativas.....	78
Tabla 73. Flujogramas de construcción.	97
Tabla 74. Herramienta y maquinaria utilizada para la construcción de la máquina ..	98
Tabla 75. Armazón de la estructura.	98
Tabla 76. Elementos utilizados para la construcción del sistema de inyección.....	100
Tabla 77. Ficha 1 - Nanofibra visualizada a 1.5 Kx.....	104
Tabla 78. Ficha 2 - Nanofibra visualizada a 1.5 Kx.....	105
Tabla 79. Ficha 3 - Nanofibra visualizada a 1.5 Kx.....	106
Tabla 80. Ficha 4 - Nanofibra visualizada a 1.5 Kx.....	107
Tabla 81. Ficha 5 - Nanofibra visualizada a 1.5 Kx.....	108
Tabla 82. Ficha 6 - Nanofibra visualizada a 1.5 Kx.....	109
Tabla 83. Ficha 7 - Nanofibra visualizada a 2 Kx.....	110
Tabla 84. Ficha 8 - Nanofibra visualizada a 2 Kx.....	111

Tabla 85. Ficha 9 - Nanofibra visualizada a 2 Kx.....	112
Tabla 86. Ficha 10 - Nanofibra visualizada a 2 Kx.....	113
Tabla 87. Ficha 11 - Nanofibra visualizada a 2 Kx.....	114
Tabla 88. Ficha 12 - Nanofibra visualizada a 2 Kx.....	115
Tabla 89. Ficha 13 - Nanofibra visualizada a 2 Kx.....	116
Tabla 90. Ficha 14 - Nanofibra visualizada a 2 Kx.....	117
Tabla 91. Ficha 15 - Nanofibra visualizada a 2 Kx.....	118
Tabla 92. Ficha 16 - Nanofibra visualizada a 2 Kx.....	119
Tabla 93. Ficha 17 - Nanofibra visualizada a 2 Kx.....	120
Tabla 94. Ficha 18 - Nanofibra visualizada a 2 Kx.....	121
Tabla 95. Matriz de promedios general de las fibras.	122
Tabla 96. Diámetro menor a 10 cm.....	123
Tabla 97. Diámetro mayor a 10 cm.....	123
Tabla 98. Diámetro menor a 17,5 cm.....	124
Tabla 99. Diámetro mayor a 17,5 cm.....	124
Tabla 100. Diámetro menor a 25 cm.....	125
Tabla 101. Diámetro mayor a 25 cm.....	125
Tabla 102. Matriz de conclusiones de resultados.....	126
Tabla 103. Costo de construcción de la estructura del equipo.	126
Tabla 104. Costos de equipos neumáticos.	127
Tabla 105. Costos electrónicos.	127
Tabla 106. Costo total.	127

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Equipo para obtener fibras de John Francis Cooley.	4
Figura 2. Proceso de la técnica de electrohilado.	6
Figura 3. Cono de Taylor.	7
Figura 4. Configuración básica del proceso de electrohilado.	9
Figura 5. Configuración de un sistema de electrohilado lado a lado.	9
Figura 6. Fibras con grumos.	11
Figura 7. Pulverizado de gotas.	11
Figura 8. Fibra obtenida al tener una concentración crítica adecuada.	12
Figura 9. Colector conductor plano.	16
Figura 10. Colector rotatorio.	16
Figura 11. Colector de placas paralelas.	17
Figura 12. Colector de punta.	17
Figura 13. Electrohilado coaxial.	23
Figura 14. Electroválvula 5/3.	26
Figura 15. Regulador de caudal.	27
Figura 16. Regulador de caudal serie RFU.	28
Figura 17. Silenciador serie 2931.	29
Figura 18. Racor modelo s6510.	30
Figura 19. Corte de sección de un racor.	30
Figura 20. Minicilindros.	31
Figura 21. Perfiles sólidos y huecos CEDAL.	33
Figura 22. Jeringa de 10 mililitros (ml) utilizada para el proceso de electrohilado. ...	36
Figura 23. Dimensiones de la probeta.	41
Figura 24. Diagrama del circuito de control.	44
Figura 25. Corte de la baquelita.	44
Figura 26. Suministro de calor a la baquelita.	44
Figura 27. Resultado final de la baquelita.	45
Figura 28. Ataque químico con ácido.	45
Figura 29. Resultado final.	45
Figura 30. Elementos conectados en la baquelita.	46
Figura 31. Colocación de elementos electrónicos.	46
Figura 32. Equipo terminado.	46

Figura 33. Cable de conexión al solenoide.	47
Figura 34. Conexión del solenoide.....	48
Figura 35. Conexión del solenoide.....	48
Figura 36. Flujograma de criterios.	50
Figura 37. LSP-20 kV de alta tensión de alimentación.....	52
Figura 38. Transformador trifásico75 kVA – 15kV.....	53
Figura 39. Alta tensión - fuente de alimentación para el electrospinning.....	54
Figura 40. Fuente de alimentación de alto voltaje para electrospinning.....	54
Figura 41. Colector conductor plano.....	55
Figura 42. Colector rotatorio.....	55
Figura 43. Colector de placas paralelas.....	56
Figura 44. Colector de punta.....	56
Figura 45. Sistema manual.....	56
Figura 46. Sistema semiautomático.	57
Figura 47. Bomba inyectora para electrospinning.	57
Figura 48. Elevación hidráulica.	58
Figura 49. Elevación neumática.	58
Figura 50. Elevación por un sistema eléctrico.	59
Figura 51. Control por PLC.	60
Figura 52. Control por Arduino.	60
Figura 53. Dimensiones utilizadas para la selección del minicilindro neumático. ...	70
Figura 54. Dimensiones del minicilindro carrera de 150 mm.....	74
Figura 55. Estructura de aluminio.....	79
Figura 56. Viga crítica de la estructura.	80
Figura 57. Diagrama de cuerpo libre y momento flector.....	81
Figura 58. Perfiles cuadrados.....	83
Figura 59. Viga transversal de menor longitud.....	83
Figura 60. Diagrama de cuerpo libre y momento flector.....	84
Figura 61. Perfiles cuadrados.....	86
Figura 62. Columna crítica.....	87
Figura 63. Valor K para cálculo de columnas.....	87
Figura 64. Valor K para cálculo de columnas.....	88
Figura 65. Perfiles cuadrados.....	89

Figura 66. Fuerza aplicada en la estructura.....	91
Figura 67. Análisis de tensiones.....	92
Figura 68. Desplazamiento máximo.	92
Figura 69. Análisis del factor de seguridad.....	93
Figura 70. Sistema de elevación neumática.	94
Figura 71. Sistema de elevación neumática.	94
Figura 72. Desplazamiento en x.....	95
Figura 73. Factor de seguridad.....	95
Figura 74. Análisis del vástago.	96
Figura 75. Sistema de inyección polimérica.	96
Figura 76. Estructura.....	99
Figura 77. Colector plano.....	99
Figura 78. Colector plano.....	100
Figura 79. Inyector de la sustancia polimérica.....	101
Figura 80. Montaje del sistema de inyección.....	101
Figura 81. Panel de control.	101
Figura 82. Interruptor de la fuente de alta tensión.	102
Figura 83. Baquelita de control de la máquina.	102
Figura 84. Máquina de electrohilado vertical.	103
Figura 85. Grafica de diámetros visualizados en el microscopio.....	122

RESUMEN EJECUTIVO

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE ELECTROHILADO VERTICAL DE 0 A 15 KV PARA GENERAR NANOFIBRAS A BASE DEL POLÍMERO POLISILOXANO”

Autor: Ruiz Silva Eddy Santiago

Tutor: Ing. Mg. Oscar Analuiza

En el presente proyecto técnico el cual está enfocado en el diseño y construcción de una máquina de electrohilado vertical, utilizando una fuente de alto voltaje, que genera de 0 a 15 kV para generar nanofibras a base del polímero polisiloxano. Para realizar dicha máquina se verificó que la selección de la fuente de alto voltaje sea correcto para que el polímero reaccione y genere la nanofibra, por lo que se ha obtenido la mejor opción de la fuente que posee un rango de 0 a 15 kV, procediendo después a la selección más adecuada de movimiento de la mesa que va a ser la base en donde cae y se deposita la nanofibra, utilizando como accionamiento el aire y un pistón simple efecto, los cuales son accionados electrónicamente por una electroválvula 5/3, lo que me permite controlar la carrera del pistón con mayor facilidad posicionándose donde el usuario necesite que este la mesa. Para el sistema de inyección del polímero se utilizó el mismo principio de la mesa, que al ser accionado con aire activa un pistón que presiona una jeringa la cual envía el polímero líquido a través de una manguera, llegando a una aguja y con ello se procedió a realizar la nanofibra. Finalmente, con la nanofibra ya obtenida, se procedió a revisar el diámetro del hilo que se ha generado, esto será gracias al microscopio de barrido que posee la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, observando un diámetro aproximado de 0,73 μm , obtenido con un voltaje de 13 kV y 10 cm de distancia, demostrando que la máquina genera fibras de acuerdo a sus parámetros utilizados.

ABSTRACT

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A VERTICAL ELECTROHYLING MACHINE FROM 0 TO 15 kV TO GENERATE NANOFIBERS BASED ON POLYMYLOPHANE POLYMER

Author: Ruiz Silva Eddy Santiago

Tutor: Ing. Mg. Oscar Analuiza

In the present technical project which is focused on the design and construction of a vertical electrospinning machine, using a high voltage source, which generates from 0 to 15 kV to generate nanofibers based on the polysiloxane polymer. To perform this machine, it was verified that the selection of the high voltage source is correct so that the polymer reacts and generates the nanofiber, so that the best option of the source that has a range of 0 to 15 kV has been obtained, proceeding then to the most appropriate selection of table movement that will be the base where the nanofiber falls and is deposited, using as an air drive and a single acting piston, which are electronically actuated by a 5/3 solenoid valve, which allows me to control the piston stroke more easily by positioning where the user needs the table to be. For the polymer injection system, the same principle of the table was used, which when activated with active air a piston that presses a syringe which sends the liquid polymer through a hose, reaching a needle and thus proceeded to make the nanofiber. Finally, with the nanofiber already obtained, we proceeded to review the diameter of the thread that has been generated, this will be thanks to the scanning microscope that has the Faculty of Civil and Mechanical Engineering of the Technical University of Ambato, observing an approximate diameter of 0,73 μm , obtained with a voltage of 13 kV and 10 cm distance, demonstrating that the machine generates fibers according to its parameters used.

CAPITULO I.-MARCO TEÓRICO

1.1.Antecedentes

Pera realizar este punto se ha tomado varios artículos técnicos, los que están enfocados en el área de ingeniería mecánica desarrollando la técnica de electrohilado y la generación de nanofibras.

Ewaldz E, menciona que la técnica de electrohilado es un método relacionado con la ingeniería mecánica de materiales utilizado para generar fibras a nanoescala, la cual se refiere a la dispersión de partículas poliméricas, el polímero debe tener un alto peso molecular siendo una parte importante de la matriz de producción de fibras, teniendo como resultado varias aplicaciones que serán un beneficio en el área de los materiales ya que posee flexibilidad, llevando a cabo un análisis en los factores como la densidad de las partículas, la agregación de partículas y la relación que se obtenga a base del tamaño de las partículas de la fibra, obteniendo resultados con la intención de poder realizar un estudio sistemático de la inclusión de macropartículas las que puedan proporcionar una plataforma de investigación para el diseño de nuevos materiales a base de la técnica del electrohilado con altas cargas de partículas funcionales. [1]

Gee S. En este estudio es la generación de nanomembranas utilizando disolvente y acetona, la cuales fueron fabricadas por la técnica del electrohilado con el fin de inducir propiedades piezoeléctricas, logrando optimizar dichas propiedades mediante el método de Taguchi variando sistemáticamente los parámetros de electrohilado que vendría a ser la fracción de acetona, la distancia que va a tener de la punta de la aguja a la base del colector, variando también la velocidad de flujo y el ajuste de la fuente de alta tensión, dichos ajustes contaban con un 60% de disolvente que se mezcla con un 40% de acetona tomando una distancia de la aguja a la base del colector de 16 cm, la velocidad de inyección del polímero se llevó a cabo con 0,8 ml/h y un voltaje de 14 kV que es al cual la mezcla polimérica va a reaccionar. Generando resultados que al analizar se llegó a demostrar que al tener membranas piezoeléctricas tienen el potencial para mitigar el ensuciamiento en aplicaciones de tratamiento de agua. [2]

Quek S. Y. Da a conocer que la técnica de electrohilado ha ganado interés dentro de varios campos ya que es relativamente simple, versátil, de bajo costo, no necesita un tratamiento térmico, y no utiliza disolventes orgánicos. Un sistema de electrohilado consta principalmente de cuatro componentes principales como una aguja metálica o capilar, una fuente de alta tensión capaz de generar de 0 a 30 kV, un colector o base a tierra y como último componente se tiene una bomba de jeringa que contiene la solución polimérica para realizar el electrohilado, para poder realizar dicha técnica, el polímero es enviado por la bomba de la jeringa en una gota de la punta de la aguja por lo que actúa una fuerza electroestática que se aplica entre la punta de la aguja y la base del colector generando una repulsión que distorsiona la gota de polímero llegando a un punto crítico en la que dicha gota contrarresta la tensión superficial, obteniendo una fina fibra que se empieza a depositar en el colector, y para tener como resultado fibra que puede variar entre 50 a 500 nm. [3]

1.1.2. Investigaciones previas

Zong X. H. Realizó una investigación sobre “**El diseño el diseño de los nanomateriales y las membranas artificiales orientados a la función a través de técnicas de electrospinning (electrohilado) y electrospraying (electrospray)**” estipula que las técnicas son procesos electrohidrodinámicos que hace referencia a la misma raíz tecnológica, debido a la utilización de la solución de polímero que puede girar o pulverizar por el empleo de un campo eléctrico de potencial elevado llegando a obtener fibras o partículas, mencionando la técnica de electrospraying, es un método de atomización para dispersar un líquido o aerosol en finas gotas, así mismo la técnica de electrospinning (electrohilado) tiene casi el mismo proceso en el cual implica la rápida evaporación del disolvente y la solidificación de las gotas generadas para formar fibras. Afirmando que la salida del polímero por la aguja va cambiando de firma conforme se vaya elevando el voltaje de la fuente de alta tensión. [4]

Obteniendo como resultado que la morfología de las fibras electrohiladas y la topología de la superficie de las membranas fibrosas se pueden modificar manipulando algunos parámetros como la solución polimérica, la viscosidad, peso molecular, concentración de polímero que tenga dentro de la solución, el voltaje aplicado, la distancia que va a existir entre el colector y la punta de la aguja, los cuales permiten la fabricación de una gran variedad de nanoestructuras y membranas sintéticas que

obtienen propiedades deseadas para intervenir en varias aplicaciones, así como por ejemplo la creación de membranas que a base del polímero de PVDF cubierto con una capa doble de la composición de RGO – PVDF que se utiliza para un separador de baterías. [4]

Zhong J. Realizó un artículo de investigación sobre “**Electrohilado de nanofibras de calidad alimentaria a partir de la proteína de suero**” en el cual realiza un estudio en el que se ha utilizado el electrohilado para la producción de micro y nanofibras a escala de proteínas de suero, con el fin de investigar su potencial para tener un uso dentro de la industria alimenticia, lo que a fin de facilitar que se puede realizar la técnica de electro hilado fue la solución acuosa mezclando con pequeñas cantidades de óxido de polietileno que ocupa un 1% en la solución, la cual fue incorporado en las soluciones de hilatura. El material compuesto por polietileno - oxido y fibras de suero de leche generaron diámetros de 100 a 400 nm, demostrando tener un buen potencial para realizar fibras aún mayores. [5]

Para realizar la técnica de electrohilado se utilizó la fuente de alimentación de alta tensión Glassman, que es capaz de entregar de 0 a 30 kV, el caudal de la solución se controló mediante una bomba con velocidades que varían de 1 – 3 ml/h. La distancia entre la placa de aluminio que recogía la fibra y la punta de la aguja por donde salía la gota de solución de polímero era de 10 cm, la cual reacciono con un rango de voltaje de 7,5 kV – 25 kV. Llegando a la conclusión de que el estudio realizado ha demostrado la producción exitosa de nanofibras, por la incorporación a niveles relativamente bajos de óxido de polietileno en el sistema permitió producir fibras con diámetros de 100 a 400 nm. [5]

1.1.3. Fundamentación teórica

1.1.3.1.Historia

En el año 1900 John Francis Cooley, quién fue un inventor profesional de la ciudad de Nueva York, publica una patente en la que se describe un diseño de un equipo como se muestra en la figura 1 que permite la separación del líquido volátil de una sustancia fija mediante la influencia de fuerzas eléctricas. [6]

La técnica de electrohilado es antigua que fue investigado por varias personas, teniendo a Rayleigh quien observo por primera vez una fibra en 1897, siguiendo un estudio detallado por Zeleny en 1914 y patentando por formulas en 1934. Llegando al trabajo en aviones de propulsión eléctrica realizado por Taylor en 1969 quién ha sentado las bases para el electrospinning (electrohilado). [7]

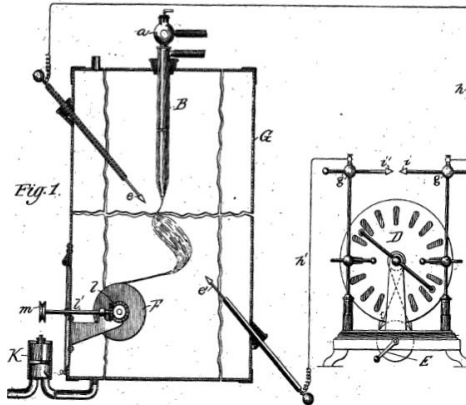


Figura 1. Equipo para obtener fibras de John Francis Cooley. [6]

El término conocido como “electrospinning” tiene su derivación de “hilatura electroestática” que se ha utilizado relativamente poco tiempo en torno al año de 1994, pero su origen se remonta unos 60 años atrás. Formhals llego a publicar una serie de patentes entre 1934 a 1944, en el que describe un montaje experimental para producir filamento de polímero usando una fuerza electroestática. En el año 1971 Baumgarten construyó un aparato para electrohilado de fibras de acrílico llegando a obtener diámetros con intervalos de 0,05 – 1,1 μm . [7]

En el año 1952, Vonnegut y Neubauer fueron capaces de generar gotas uniformes creando fibras de alrededor de 0,1 μm de diámetro. Los cuales inventaron un sencillo aparato para la atomización eléctrica el cual poseía un tubo que se extrae hacia abajo con un diámetro del orden de unas pocas décimas de milímetro, el tubo fue llenado a base de agua o algún otra disolución, y un cable eléctrico conectado a una fuente de alto voltaje que va de 5 a 10 kV. Después de los años en 1955, Drozin investigo la dispersión de una serie de líquidos en aerosoles sometido a altos potenciales eléctricos, el cual se utiliza tubos de vidrio que termina en una fibra capilar muy similar a la que utilizaron Vonnegut y Neubauer, demostrando que algunos líquidos en condiciones adecuadas se emite como un aerosol altamente disperso que consiste en gotas de un tamaño relativamente uniforme. En el año 1966, Simons patento un dispositivo para la producción de telas no tejidas de hiladura eléctrica extremadamente fino con un peso

muy ligero, el proceso para la obtención de la fibra se dio por medio de una conexión en el cual el electrodo positivo se sumergió en la solución de polímero y el negativo se conecta a un cinturón en el que se recogió la fibra o tela no tejida. [8]

Reneker y Chun fueron los que revivieron el interés por esta tecnología a principios de 1990 demostrando que la técnica de electrohilado tiene la posibilidad de ser utilizada para una amplia gama de soluciones de polímero, tomando en cuenta que en 1996, Larrondo y Manley habían realizado un trabajo similar en masas poliméricas realizadas en el año 1981, llegando a la conclusión que el electrohilado es ocupado en una amplia gama de polímeros como los que se utilizan en la hiladura convencional, es decir la poliolefina, poliamidas, poliéster, etc. [9]

La popularidad del proceso de electrohilado se da por el hecho que más de 200 universidades e institutos de investigación en todo el mundo se mantienen en el estudio de diversos aspectos del proceso de electrohilado y la fibra que se llega a producir y también el número de patentes para aplicaciones basadas en electrospinning (electrohilado) que ha estado creciendo en los últimos años. Algunas empresas participan activamente en cosechar los beneficios y ventajas que ofrece el electrohilado. [7]

1.1.4. Electrospinning (electrohilado)

El electrohilado es una técnica de hilado como se muestra en la figura 2, la cual aprovecha el uso de fuerzas electroestáticas para producir fibras de diámetros finos a partir de disoluciones poliméricas. De esta forma se llega a obtener fibras de diámetro más pequeño, entrándose en el orden de micro-nanómetros con un área superficial mayor que las obtenidas de procesos de hilado convencionales, para realizar y generar este proceso de electrohilado se necesita como parámetro principal un voltaje de corriente directa que debe estar en un rango de varias decenas de kV, basándose en el principio de las fuerzas repulsivas aplicadas las cuales van a superar las fuerzas más débiles con su tensión superficial que se tenga en la disolución polimérica. Un sistema de electrohilado básicamente consta de tres componentes principales, la fuente de alimentación que debe ser de alta tensión que es utilizada para cargar con una cierta polaridad la disolución polimérica, un colector (placa metálica de aluminio y otro

material conductor) en donde se va a recoger la fibra obtenida y una jeringa con su respectiva aguja. [10]

La salida de la disolución polimérica depende de la tensión superficial en la parte final del tubo capilar, por lo que se va a someter a un campo eléctrico que induce una carga eléctrica en la superficie del líquido, cuando el campo eléctrico llega a un punto crítico, las fuerzas eléctricas de repulsión van a llegar a superar la tensión superficial del líquido, para finalmente generar un hilo cargado de disolución que va a ser expulsado por la punta del cono de Taylor, con una sacudida inestable que tiene efecto entre la punta del capilar y el colector base, por lo que permite la evaporación del disolvente, obteniendo únicamente la fibra del polímero. [10]

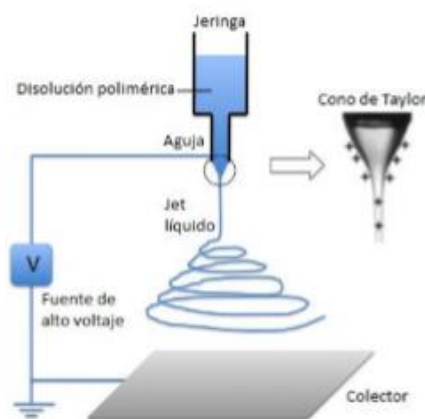


Figura 2.Proceso de la técnica de electrohilado. [10]

1.1.5. Cono de Taylor

El cono de Taylor es un fenómeno que se visualiza siempre a la salida de la gota de solución polimérica, indicando que se está llevando a cabo el proceso y la transformación de su forma líquida a la fibra, como se puede ver en le figura 3. Este suceso es debido a que la gota da la solución está sujeta al extremo de la aguja por tensión superficial, hasta que se presente una repulsión mutua de las cargas en la superficie de la gota que va a ser más fuerte, con lo que provoca una fuerza en sentido contrario a la contracción de la gota, con ellos se puede ver que la superficie de la gota presenta un efecto de las cargas, con lo que se empieza a largar y a formar el cono inverso. [11]



Figura 3. Cono de Taylor. [11]

1.1.6. Fases del proceso de electrohilado

1.1.6.1. Disolución con carga eléctrica

La carga eléctrica de la disolución que se presenta en la técnica de electrohilado ocurre por el contacto entre el ánodo de la fuente de alto voltaje y la disolución de polímero, por lo que, dependiendo de la naturaleza del fluido y la polaridad que tenga la fuente de voltaje, se tendrá como resultado la naturaleza de los portadores de la carga en la gota y en el filamento. [6]

1.1.6.2. Aparición del cono de Taylor y filamento

Este es el punto en el que da inicio de la formación de la fibra, con lo se afirma que para cada disolución polimérica va a corresponder un cierto nivel de potencial eléctrico con el cual se consigue que la gota saliente obtenga la forma de un cono denominado “cono de Taylor”. [6]

Cuando se sobrepasa el potencial eléctrico se consigue expulsar un filamento del fluido a partir de la punta del cono de Taylor. Se evita aplicar potenciales altos de voltaje ya que puede provocar la formación de múltiples filamentos con lo cual todo el proceso se vuelve caótico, disminuyendo los niveles de precisión puesto que es difícil controlar la dirección de los filamentos. [6]

1.1.6.3. Adelgazamiento del filamento

En esta etapa se forma un delgado filamento de fluido continuo que se produce a partir de la gota, formando el cono de Taylor, en la que el filamento comienza a seguir un camino o trayectoria hacia el colector en donde va llegando la fibra. [6]

1.1.6.4. Inestabilidad del filamento

En el transcurso del viaje del filamento hasta llegar al colector de fibras, este sucumbe ante una o varias inestabilidades que puede llegar a distorsionar el movimiento. Teniendo dos inestabilidades, una de ellas es el latigazo, la que consiste en movimientos laterales crecientes las que desvían la dirección del filamento, y la de rompimiento de la gota de filamento, que consiste en la fractura del filamento en múltiples gotas, dichas inestabilidades son las más comunes que se presenta en el proceso de electrohilado. [6]

1.1.6.5. Colecta del filamento

Esta es la última etapa del proceso de electrohilado, se da cuando el filamento del fluido que viaja a través del aire se impacta con el cuerpo conductor, que está conectado eléctricamente con el cátodo de la fuente de alto voltaje. Dentro del proceso, el cuerpo colector se le denomina también como colector de fibras, y es también un elemento con mayores posibilidades de innovación, este puede utilizarse para manipular las líneas de campo eléctrico con el fin de guiar las deposiciones de fibras. Con lo dicho anteriormente se plantea que el diseño de un colector simple es tener una placa vertical con la cual se consigue una membrana de fibras sobrepuestas que van a posicionarse de forma aleatoria una sobre otra. [6]

1.1.7. Configuración del proceso de electrohilado

1.1.7.1. Configuración básica

El electrohilado es un método en la que un polímero en solución o masa fundida forman fibras continuas a una escala del grupo nano o micro, en la figura 4 se muestra la representación de un esquema de la configuración básica del electrohilado. La configuración es la más sencilla que se ha llegado a establecer en muchos laboratorios de investigación, principalmente la mayoría de los sistemas son utilizados para el electrohilado de una solución de polímero, sin embargo, existe una variedad de polímeros que no se pudo generar fibras utilizando la configuración básica. Con el fin de tener una mayor ampliación en el campo del electrohilado y adaptar la estructura de las fibras resultantes, de acuerdo con la literatura, las modificaciones que se hacen, la mayoría de ellas son en la jeringa y el colector. [12]

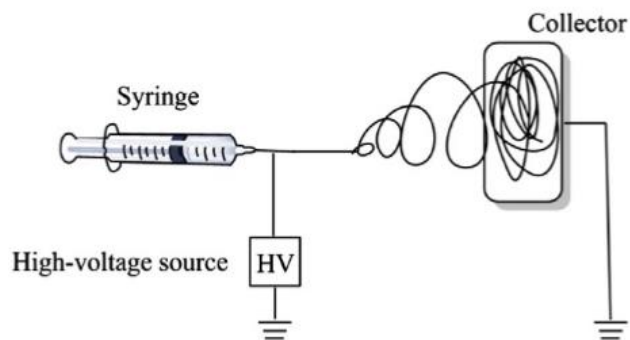


Figura 4. Configuración básica del proceso de electrohilado. [12]

1.1.7.2. Modificaciones en la jeringa y los líquidos de hiladora

El proceso de electrohilado consta de varios sistemas que se han desarrollado, incluyendo el co-electrohilado, electrohilado lado a lado, electrohilado multi-jet, electrohilado co-axial y el electrohilado de emulsión. El co-electrohilado fue el primer método utilizado para adaptar de una mejor manera las propiedades de las fibras resultantes, en la que incluyen mezclas de polímero en el mismo disolvente de la técnica de electrohilado o mezclas de diferentes soluciones de polímero, esto a base de un dispositivo de electrohilado tradicional. MacDiarmid junto a su grupo trabajan en la relación de nanofibras de polímeros con 30 nm de diámetro, mediante la mezcla de polianilina, un polímero conductor, con óxido de etileno en cloroformo, con el fin de tener una mezcla de dos polímeros con un mismo disolvente. Teniendo como otra modificación tenemos el caso de Wikels y su equipo que trabajan en el diseño de un dispositivo de electrohilado en donde dos soluciones de polímeros se inyectan simultáneamente de una manera “lado a lado” como se muestra en la figura 5. [12]

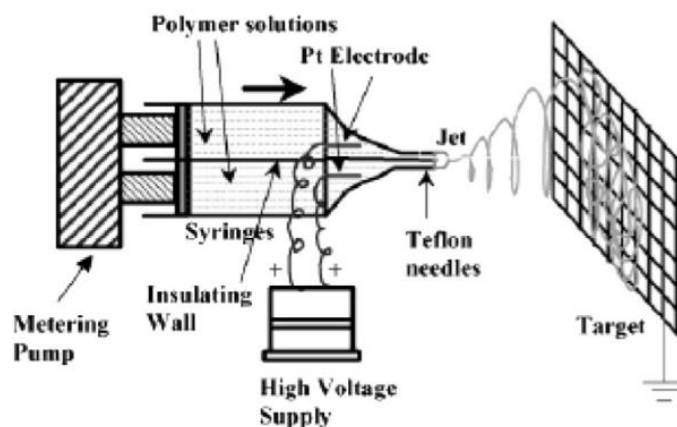


Figura 5. Configuración de un sistema de electrohilado lado a lado. [12]

1.1.8. Parámetros que influyen en el proceso

Dentro del proceso de electrohilado existen una serie de variables, las cuales pueden llegar a influir en las características de los productos obtenidos, ya que están ligadas a las características del material de aporte o material base o al igual puede que su desempeño va a estar relacionado con otros parámetros dentro del proceso, gracias a ello se puede obtener características morfológicas durante el proceso de electrohilado, y conseguir como resultado final un producto que se puede observar en un microscopio, al mismo tiempo, dichas variables van a estar ligadas entre sí para poder dar inicio al proceso, para ellos el polímero debe estar disuelto en uno o varios disolventes que permitan una disolución y distribución homogénea del mismo, si el polímero no se encuentra en condiciones adecuadas es decir que no esté disuelto correctamente, puede ocasionar obstrucción en el capilar de la aguja durante el proceso. [13]

Se sabe que los polímeros son dieléctricos, que en presencia de un campo eléctrico se pueden considerar como un arreglo de dipolos eléctricos microscópicos que va a tener tanto cargas positivas y negativas, cuyos centros no van a coincidir de manera perfecta, manteniéndose en su lugar por acción de las fuerzas atómicas y moleculares, para poder cambiar dicha posición se debe someter a fuertes campos eléctricos externos, con lo que se explica por qué ocurre el alargamiento de la solución cuando da inicio el proceso.

Para poder mejorar las propiedades dieléctricas que posee la solución, se utilizan disolventes que tengan altas constantes dieléctricas, teniendo un mejor resultado en la formación de fibras, disminuyendo la aparición de estructuras defectuosas, como por ejemplo se tiene una estructura defectuosa conocida como grumos o beads, las que tienden a decrecer la superficie por unidad de área del proceso, como se puede ver en la figura 6. [13]

1.1.9. Parámetros que influyen en la solución

Se ha determinado que los parámetros de una solución polimérica inciden notablemente en el proceso para la obtención de fibras, en la tabla 2 se muestra las características que brindan el aumento o la disminución de los parámetros para obtener la nanofibra.

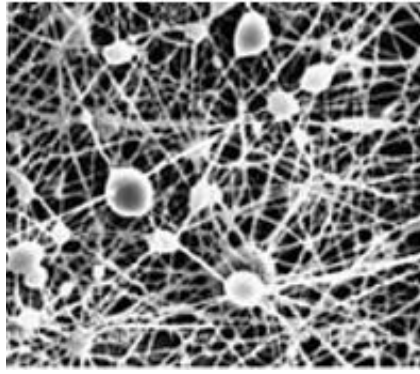


Figura 6. Fibras con grumos. [13]

Se han encontrado varios parámetros que toca tener en consideración, los cuales se indican a continuación:

1.1.9.1.Efecto de la concentración

Una concentración crítica es lo que se requiere para que los entrecruzamientos físicos de las cadenas poliméricas sean capaces de permitir la formación de fibras por la ayuda del campo eléctrico que se vaya aplicar. Si se presenta una concentración que este por debajo de la concentración crítica, los entrecruzamientos físicos de las cadenas poliméricas no podrán contrarrestar estas fuerzas, obteniendo como consecuencia que el microchorro se corte o se rompa, teniendo como resultado un pulverizado de gotas como se puede ver en la figura 7. [14]

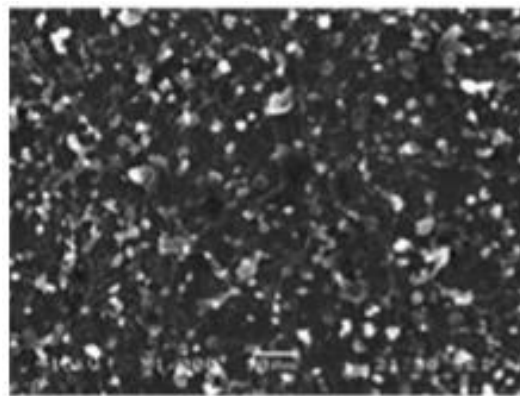


Figura 7. Pulverizado de gotas. [14]

Al tener un incremento de la concentración se puede obtener una morfología con gotas conectadas por fibras, la concentración crítica para la cual se producen fibras uniformes va a tener variantes para cada sistema utilizado, también depende del peso molecular que posea el polímero, dado que a mayor peso molecular que tenga el polímero se tiene una menor concentración para igual sistema del solvente usado, así

mismo como la viscosidad de la solución entre otros. Por otra parte, una vez que se alcance la concentración crítica para obtención de nanofibras, el incremento de la misma se tiene un aumento en el diámetro medio de las fibras, como se observa en la figura 8. [14]

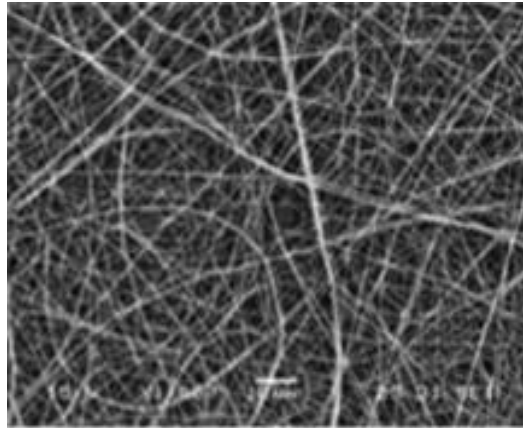


Figura 8. Fibra obtenida al tener una concentración crítica adecuada. [14]

1.1.9.2. Viscosidad

La viscosidad en una solución polimérica se encuentra relacionada con el peso molecular del polímero que se va a disolver, tomando en cuenta también el peso molecular del solvente que se va a emplear.

El objetivo de la viscosidad es contrarrestar las fuerzas de estiramiento, que se genera por la repulsión electrostática del microchorro cargado, por lo tanto el aumentar la viscosidad ayuda a tener un microchorro más estable y como resultado se tendrá fibras libres de gotas, para aumentar la viscosidad de la solución se debe incrementar el peso molecular del polímero, o también al agregar pequeñas cantidades de polielectrolitos, los cuales permite incrementar la viscosidad sin modificar la concentración. Sabiendo que la viscosidad de la solución polimérica influye de una manera significativa para generar fibras lisas, no necesariamente es determinada por la concentración crítica a la cual se obtienen las fibras por el proceso de electrohilado. [14]

1.1.9.3. Solvente

El tipo de solvente que sea utilizado para realizar el proceso de electrohilado influye y determina varios aspectos. Como primer lugar afecta la conformación de las cadenas poliméricas dentro de la solución, influenciando en la facilidad para el transporte de la carga del microchorro, tanto la conductividad de la solución como el momento dipolar

son las que determinan la obtención o no de las fibras electrohiladas, así como también el diámetro de las mismas, deduciendo que a mayor polaridad del solvente se tendrán fibras de menor diámetro, para ello se presenta la tabla 1, mostrando el tipo de solvente y su constante dieléctrica. [14]

La velocidad de solidificación del microchorro también es causa del tipo de solvente que se utilice o a las diferentes mezclas de solventes utilizados. Teniendo una característica del solvente que indica que a menor temperatura de ebullición del solvente se tendrá mayor velocidad de solidificación del microchorro, no obstante, si la solidificación es muy rápida, será un problema puesto que puede ser una obstrucción en la boquilla, caso contrario al tener una temperatura de ebullición muy elevada, las fibras que salen de la boquilla alcanzan al colector con una cantidad considerable de solvente lo que lleva a producir un film por aglomeramiento, por lo que se aconseja el empleo de una mezcla de solventes que contengan un alto y bajo punto de ebullición con lo que permite balancear esta situación. [14]

Tabla 1. Constante dieléctrica de solventes más usados. [15]

Solvente	Constante dieléctrica
Cloroformo	4,8
Acetona	20,7
Etanol	24,55
Dimetilfomamida	38,3
Agua	79

1.1.9.4. Conductividad

Esta parte es esencial en la solución polimérica para la producción de fibras por electrohilado, dado que influye en la repulsión electrostática de las cargas superficiales que se presenten en la solución, al agregar a la solución partículas conductoras o a su bien agregar iones con lo que su conductividad puede ser incrementada, o se puede seleccionar un solvente que contenga mayor conductividad. Al aumentar la conductividad en la solución, tendrá una gran influencia para obtener fibras con un menor diámetro medio. [14]

1.1.9.5. Tensión superficial

La tensión superficial en la solución polimérica es la fuerza principal que se debe vencer para conseguir el estiramiento del microchorro y producir las nanofibras,

teniendo en cuenta que cuando la tensión superficial es mayor, va a existir mayor cantidad de cargas superficiales y tensión aplicada que se requerirá en el proceso, por medio del solvente se va a determinar la tensión superficial de la solución, lo ideal sería utilizar un solvente que posea una baja tensión superficial. Sin embargo, la naturaleza y la concentración química que tiene el polímero también determinan la tensión superficial, Por ende, al incrementar la concentración polimérica de la solución, la tensión superficial disminuye. [14]

1.1.9.6. Constante dieléctrica.

La constante dieléctrica que tiene la solución es la medida de capacidad para mantener las cargas eléctricas en la solución. Cuando la solución posea una mayor constante dieléctrica, las fibras uniformes se obtendrán con mayor facilidad con un diámetro medio menor. La constante dieléctrica de la solución polimérica va a variar al reemplazar el solvente o a su vez una fracción del mismo solvente que posea mayor o menor constante dieléctrica. [14]

1.1.9.7. Factores ambientales

Como último factor están los ambientales se presentan en la tabla 2, si bien se conoce que en la mayoría de casos el proceso de electrohilado se los realiza en atmosfera de aire, también se puede realizar el mismo proceso en presencia de nitrógeno u otros gases que puedan llegar a modificar el proceso de secado del microchorro y la pérdida de cargas superficiales al ambiente. [14]

Existen otras condiciones ambientales que llegan a afectar el secado del microchorro, son la temperatura y la humedad del ambiente, al tener una elevada humedad ambiente se generan las nanofibras con poros superficiales, esto se debe a que la existencia de gotas de agua se van a depositar sobre la superficie del microchorro, esto es debido al enfriamiento del mismo por la evaporación del solvente al llegar al colector de fibras, los poros se presentan cuando el solvente y el agua se evaporan. [14]

Tabla 2. Resumen de los parámetros y característica. [15]

Parámetro		Características que brinda
Concentración de la solución de polímero	A mayor	Dificulta el paso de la solución a través del capilar
	A menor	Las fibras se rompen en gotas antes de llegar al plato colector
Tensión superficial	A mayor	Aparición de defectos en las fibras
	A menor	Obtención de fibras lisas para disminuir la tensión superficial se puede adicionar solventes con baja tensión como el etanol
Conductividad de la solución	A mayor	Mayor transporte de cargas, mayor estiramiento de la solución, fibras más delgadas
	A menor	Menor transporte de cargas, menor estiramiento de la solución fibras más gruesas
Voltaje	A mayor	Fibras gruesas, distorsión del jet, aparición de beads
	A menor	poco impulso para la llegada de la solución al plato colector
Flujo de salida	A mayor	Fibras gruesas, distorsión del jet, aparición de beads
	A menor	Mayor tiempo para evaporación del solvente, fibras sin defectos
Distancia aguja-colector	A mayor	Las fibras pueden romperse debido a su propio peso, mayor estiramiento de la solución, obtención de fibras delgadas
	A mayor	Aparición de defectos (beads) en las fibras al trabajar con muy altas o muy bajas distancias
	A menor	
	A menor	Poco tiempo para la evaporación del solvente por tanto, las fibras llegan húmedas al plato colector
Humedad relativa	A mayor	Aparición de poros en la nanofibra

1.1.10. Parámetros de procesamiento

Los parámetros del proceso de electrohilado tienen una representable influencia en la obtención de nanofibras y en la morfología de las mismas, teniendo en cuenta un resumen de los aspectos más importantes detallados a continuación:

1.1.10.1. Tipos de colector

El colector más sencillo y más usado que se utiliza en la técnica de electrohilado en la creación de nanofibras es el colector conductor plano con orientación al azar como se puede ver en la figura 9. [14]

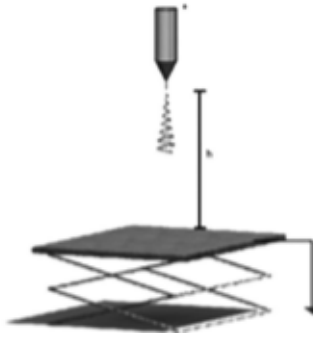


Figura 9. Colector conductor plano. [14]

En actualidad hay existen varios tipos de colectores para favorecer en la obtención de membranas fibrosas con una orientación determinada o para definir estructuras microscópicas que se encentra al generar la membrana, llegando a tener al colector rotatorio, siendo uno de los colectores más populares, ya sea con forma de cilindro o de disco como se demuestra en la figura 10. Tomando en cuenta que un factor importante es la velocidad de rotación puesto que es un factor dominante en el grado de alineación de las fibras, si bien dicho colector produce la mejor alineación, un cilindro de mayor diámetro genera una membrana de gran tamaño. Aun así se han desarrollado cilindros con barras paralelas con separaciones de 2 a 3 cm con lo que se combina el efecto de la rotación con la modificación que exista en el campo eléctrico. Existe también otro tipo de cilindro rotatorio los cuales poseen un pequeño diámetro, de menos de 6 mm, este tipo de colector son de gran interés puesto que permite desarrollar estructuras 3D, siendo ideales para ingeniería de injertos vasculares. [14]



Figura 10. Colector rotatorio. [14]

Otro tipo de colector para el proceso de electrohilado son los colectores con placas paralelas que se muestra en la figura 11, que de igual manera pueden producir membranas con fibras alineadas, estos colectores logran alinear las nanofibras, teniendo varios resultados con gran efectividad puesto que el tamaño de la membrana que se obtuvo es reducido. [14]

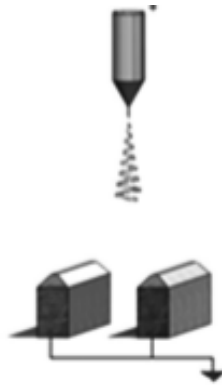


Figura 11. Colector de placas paralelas. [14]

Se tiene también un colector de punta el cual genera membranas de gran superficie con nanofibras alineadas, este colector se presenta como una alternativa de los colectores que normalmente existen. Para este colector las fibras son inyectadas una a la vez y gracias a la repulsión electrostática las fibras se alinean, entre la fibra que ya se deposita y la nueva fibra que llega al colector así como se observa en la figura 12.

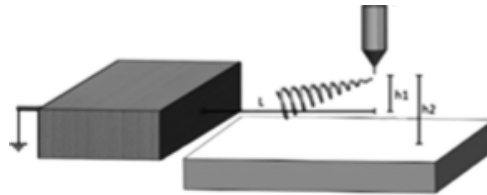


Figura 12. Colector de punta. [14]

1.1.10.2. Material del colector

Cuando se obtiene la estructura de la membrana, el material del colector influye de manera significativa, puesto que en general los colectores son conductores conectados a tierra, dado que de esta manera el exceso de carga presente en la producción de nanofibras depositada en el colector es eliminado consiguiendo un empaquetamiento compacto de las mismas, de igual manera en algunas aplicaciones se llevado a cabo algunas aplicaciones en donde se han utilizado colectores no conductores y se ha obtenido como resultado empaquetamientos menos densos de fibras, incluso al tener altos tiempos de deposición o utilizar una elevada velocidad de flujo pueden producir empaquetamientos poco densos de las fibras. [14]

1.1.10.3. Tensión aplicada

La tensión que se aplica a la solución polimérica, la cual carga superficialmente la misma con lo que ayuda a generar las fuerzas electrostáticas que sean necesarias para

vencer la tensión superficial. El resultado que tiene este parámetro en las nanofibras que se hayan obtenido depende fuertemente del sistema estudiado y de otras variables que entran en el proceso, como la concentración de solución o la distancia necesaria que va a tener la boquilla al colector. Demostrando que al aumentar la tensión que se está aplicando se producen mayores cargas superficiales, con un aspecto positivo al afinamiento del microchorro, generando fibras de menor diámetro. No obstante, al tener una tensión alta aplicada tiene un efecto negativo en el proceso, evaporando de manera más rápida el solvente y en consecuencia se podrían suprimir etapas de estiramiento y disminución del diámetro que tenga el microchorro, teniendo como resultado fibras de mayor tamaño de lo esperado. En algunos casos al variar la tensión que se esté aplicando no se han observado ninguna tendencia en el diámetro. [14]

1.1.10.4. Velocidad del flujo

En el proceso de electrohilado debe existir un equilibrio entre la velocidad a la cual la solución polimérica es dosificada y la velocidad de remoción de la misma por efecto del campo eléctrico que se aplica, esto es para que el proceso tenga un resultado satisfactorio al generar las nanofibras. Por esta razón la velocidad del flujo es controlada por medio de una bomba que infunde la solución con un parámetro de velocidad constante que es determinado por el usuario, el efecto de este parámetro es el generar o no un microchorro continuo, aumentando la velocidad del flujo se produce una fibras de mayor diámetro medio de las fibras, aunque se debe tomar en cuenta que cuando la cantidad de solvente en el colector es apreciable se perderá la estructura fibrosa por cause de la disolución de las fibras. [14]

1.1.10.5. Boquilla capilar

El diámetro de la boquilla es un parámetro que influye en el diámetro de la nanofibra que se va a obtener, también teniendo influencia en la velocidad de evaporación del solvente en la boquilla, al disminuir el diámetro interno de la boquilla la tensión superficial de la solución aumenta, por lo tanto al tener igual tensión aplicada se necesitara de una mayor fuerza coulóbica para poder vencerla.

En los sistemas de producción a escala industrial emplean sistemas de dosificación sin boquillas, con lo que logran evitar la interferencia eléctrica que se genera cuando se

va a utilizar varias boquillas simultáneamente. Teniendo claro que las boquillas coaxiales que permiten obtener nanofibras que poseen un núcleo interno y un recubrimiento exterior o al igual que nanofibras huecas. [14]

1.1.10.6. Distancia entre la boquilla y el colector

La distancia que exista entre la boquilla y el colector es un parámetro que influye directamente en el tiempo de vuelo que tenga el microchorro y en la fuerza del campo eléctrico que se esté aplicando, como consecuencia al variar este parámetro va a tener una influencia en el diámetro medio de la nanofibra que se esté generando como también en su morfología. Por consecuencia, si la distancia que se tenga es elevada, existe un mayor tiempo para que el microchorro se elongue y se estire, obteniendo membranas que posean tamaño medio de fibra menor, pero al aumentar la distancias la magnitud de campo eléctrico se debilita, obteniendo un menor estiramiento del microchorro y un mayor tamaño medio de la nanofibra. Caso contrario si la distancia que se tenga es muy pequeña, se tendrá una mayor fuerza de campo eléctrico consiguiendo una mayor aceleración del microchorro, pero como el tiempo de vuelo va a disminuir la evaporación del solvente llega a ser pobre. [14]

1.1.11. Aplicaciones del proceso de electrohilado

1.1.11.1. Aplicación de la nanofibra en el área biomédica

La creación de nanofibras por el proceso de electrohilado permiten su utilización en el campo biomédico por medio de la adición de nutrientes para tejidos en crecimientos, incrementando con ello las ventajas de su utilidad en ingeniería en tejidos. Pero para realizar este tipo de trabajo es necesario considerar el tipo de material que se pretenda utilizar ya sea biodegradable o no biodegradable, pero como parámetro más importante se debe tener en cuenta que el material sea biocompatible, la orientación de las fibras, la porosidad, modificación de la superficie y el tejido en donde se vaya a aplicar. [16]

Para realizar la nanoencapsulación de moléculas bioactivas que tienen tendencias a aplicaciones médicas se utilizan polímeros que no son tóxicos pero tienen la característica de ser biodegradables como se puede observar en la tabla 3.

Tabla 3. Polímeros usados en el proceso de electrohilado en ingeniería de tejidos. [16]

Polímero	Solvente	Diámetro de la fibra	Configuración del inyector	Aplicación (tipo de célula/fármaco)
Poli (ε-caprolactona)	cloroformoy metanol	2-10 μ	inyector solo	ingeniería de tejidos en general (células estomacales)
	cloroformo y DMF	~ 600 nm		
Colágeno	HFB	180-250 nm	inyector solo	Ingeniería de tejidos en general (fibroblastos de la conjuntiva del conejo)
Gelatina	2,2,2-trifluoroetanol	0,29 - 9,1 μm	inyector solo	ingeniería de tejidos en general (no se utiliza)
Fibrinógeno	HFP y medio esencial minino 10x	0,12-0,61 μm	inyector solo	ingeniería de tejidos en general (fibroblastos cardiacos neonatales de rata)
Poli (etileno-co-vini alcohol)	2-propanol y agua	0,2 - 0,8 μm	inyector solo	ingeniería de tejidos en general (células musculares lisas aorticas humanas y fibroblastos dérmicos humanos)
Poli (ácido glicolido) y quitina	HFP	130 - 380 nm	inyector solo	ingeniería de tejidos en general (fibroblastos epidérmicos humanos normales)
poli (L-lactida-co-ε-copralactona)	Acetona	200 - 800 nm	inyector solo	ingeniería de tejidos en general (células musculares lisas de las arterias coronarias lisas)
Poli(carbonato de propileno)	Cloroformo	~ 5 μm	inyector solo	ingeniería de tejidos en general (células madre mesenquimales de medula ósea de rata)
Poli (L-ácido láctico)	DMF y DCM	~ 313 nm	inyector solo	ingeniería de tejido neutral (células madre neurales de ratón)
Quitina	HFP	0,163 - 8,77 μm	inyector solo	ingeniería de tejido de piel (queratinocitos humanos normales orales, queratinocitos epidérmicos humanos normales, fibroblastos gingivales humanos normales)
Poli (ε-caprolactona)(envoltura)	a)2,2,2-trifluoetanol	270 - 380 nm	Coaxial	D.D.S
b) Poli(etlenglicol) (núcleo)	b) Agua			

Entre los diversos tipos de polímero encontramos al poli (etileno, co-vinil alcohol) que tienen como característica de ser hidrófilo, lo cual es utilizado en un campo amplio en la industria farmacéutica y a dispositivos médicos debido a su biocompatibilidad, sin toxicidad, teniendo buenas propiedades estables tanto química y térmica. Se ha empleado nanofibras de gelatina que está como base para el desarrollo de una matriz artificial extracelular con la finalidad de realizar simulaciones en ingeniería de tejidos. Existe un gusano el cual produce una seda que ha sido utilizada para elaborar nanofibras debido a que posee una biocompatibilidad, incluso tiene buenas propiedades intrínsecas. [16]

De la misma manera se conoce que las nanofibras han sido utilizadas en el tratamiento de diversas enfermedades, por ejemplo se pueden usar para hacer tratamientos contra el cáncer al ser aplicadas en dos áreas, la primera es el desarrollo de nanoconectores, estas son nanopartículas a las cuales se les puede adicionar algún tipo de fármaco o a su vez agentes de formación de imágenes y para poder dirigirlos a los tumores, la segunda área es la elaboración de nanosensores que tengan un alto rendimiento para detectar la existencia de huellas biológicas de cáncer. Así mismo existe otro uso de las nanofibras dentro del área biomédica que se enfoca en la creación de nanoestructuras con el fin de construir bloques de ADN, las cuales pueden ser controladas, por ejemplo se tiene las nanopartículas de oro y otra de plata que han sido utilizadas para poder monitorear la hibridación del ADN en un tiempo preciso y real. [16]

1.1.11.2. Nanofibras y sus aplicaciones en el área textil

Enfocarse en el área textil es una buena opción puesto que puede proporcionar un sustrato adecuado en que es el crecimiento de microorganismos, en cuanto a factores como son la humedad y la temperatura que debe ser adecuada al estar en contacto con el cuerpo humano. El incremento rápido de microorganismos puede ser causante de la degradación del colorante, el rápido deterioro de las fibras, generación de fuertes olores, incluyendo el incremento de algún riesgo para la salud, en consecuencia los factores como la temperatura y la humedad adecuada, así mismo el polvo, manchas, comidas o incluso bebidas que se derramen serían factores que ayuden a un enriquecimiento óptimo para el crecimiento rápido de microorganismos. [16]

Por esta razón el aplicar nanofibras inorgánicas junto a sus nanocompuestos puede ser una gran alternativa, en los que se puede nombrar materiales nanoestructurados de dióxido de titanio, oro, plata, después de estas tenemos también nanoestructuras inorgánicas que vienen cargadas con vehículos orgánicos como las ciclodextrinas, las que tienen micro y nanocápsulas. Por consiguiente para poder satisfacer las necesidades que se encuentren en el mercado acerca de nuevos materiales, se han encontrado aplicaciones con nuevas tecnologías, entre ellas está el uso de nanomateriales en la industria textil, con lo que se han encontrado un mejor uso gracias a las propiedades químicas y físicas que tengan con el fin de mejorar la calidad del producto, por ejemplo en la industria textil se usan las nanofibras de dióxido de titanio, puesto que las partículas contienen propiedades únicas los que pueden ser utilizados en auto limpieza, agentes antibacterianos, incluso en agentes que protejan de la luz ultravioleta. Con ello se han generado nanofibras con poliamida 6 (PA6) junto con ZnO y polipropileno incluyendo nanopartículas de ZnO, con el fin de inhibir el aumento bacteriano que ocurre en la superficie de los textiles. [16]

Las nanopartículas tienen una aplicación dentro de la industria textil gracias a la elaboración de hilos de nanofibras a través de la técnica de electrohilado, los mismos que son incorporados a los tejidos, para poder mejorar la resistencia, incluso también llegaría a ser aplicado en la formación de materiales multifuncionales los mismos que son utilizados en la elaboración de ropa de protección. Por otro lado se ha generado nanofibras de poliuretano para ser adicionadas a los tejidos y de esta forma tener la capacidad de proteger la ropa de la filtración de cualquier líquido. [16]

1.1.12. Otras formas de generar nanofibras

1.1.12.1. Electrospinning (electrohilado coaxial)

La técnica de electrohilado coaxial es una alteración de la técnica convencional en la que se ha podido electrohilar al mismo tiempo diferentes polímeros dentro de una estructura que se conforma con un núcleo y a su vez una corteza de nanofibra, con lo cual se ha convertido en una de las mayores opciones al momento de generar nanofibras con elementos de naturaleza diferente como se puede ver en la figura 13. Este tipo de electrohilado se basa de una pequeña boquillas situada dentro de otra aún más grande lo que resulta en estructura de nanofibras que conforma por un núcleo y

una corteza. Al implementar este tipo de estructura adiciona una capa sobre la velocidad de envío del fármaco lo que ayuda a tener un mejor control y la creación de un perfil de liberación de solución sostenido. [15]

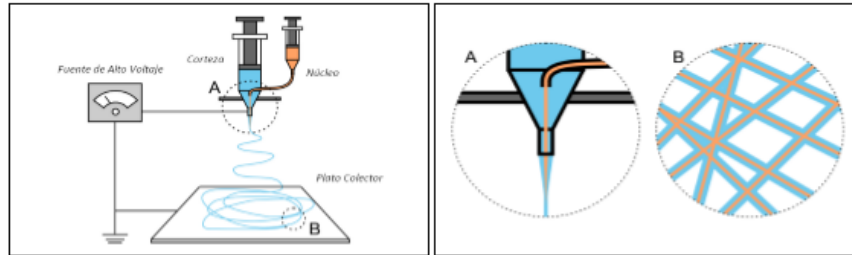


Figura 13. Electrohilado coaxial. [15]

La mayor ventaja que posee el electrohilado coaxial es que la solución que ayuda en la formación del núcleo no tienen como necesidad poseer la propiedad dieléctrica para seguir con el proceso, puesto que la corteza que se genera es la que sirve como vehículo guía de la solución principal, con lo cual nos ayuda a encapsular los fármacos que posean diferente naturaleza y de diferentes características, con ellos podemos generar fibras huecas gracias a este tipo de técnica. [15]

1.1.12.2. Electrohilado coaxial con camisa de protección

La creación de una camisa de protección está basada en el paso del aire con una velocidad de flujo de $100 \text{ ft}^3/\text{h}$, rodeando la solución de polímero, con lo que se ha conseguido una reducción significativa del diámetro de la fibra, puesto que antes de utilizar esta técnica se pudo generar fibras de 87 nm , pero con el uso de este proceso se llegó a tener fibras de 67 nm lo que indica una reducción de tamaño de fibra notable. [15]

1.1.12.3. Electrohilado con doble componente

Este tipo de proceso para generar nanofibras se enfoca en la construcción de un sistema, el cual está conformado por dos ductos y de la misma forma por dos capilares, con lo cual ha permitido electrohilar en una misma muestra dos materiales, generando elementos que posean mejores propiedades. [15]

1.1.13. Forcespinning

Este proceso es utilizado para el desarrollo de nanofibras a partir de un amplio rango de materiales el cual ha sido el estudio en los últimos años, puesto que esta técnica se

basa en la obtención de micro y nano fibras por medio de una fuerza centrífuga, según las investigaciones que se han hecho dice que permite eliminar y/o minimizar varias de las limitaciones que se han encontrado al momento de utilizar el electrohilado convencional, permitiendo procesar una amplia gama de materiales, brindando una tasa de producción aun mayor, reduciendo costos e incluso reduciendo los efectos nocivos que puede generar al ambiente.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Diseñar y construir una máquina de electrohilado vertical de 0 a 15 kV para de generar nanofibras a base del polímero polisiloxano.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar los parámetros de diseño.
- Diseñar el equipo de electrohilado en el cual se va a obtener las nanofibras.
- Construir el equipo en base a los parámetros y diseño que se ha realizado.
- Realizar pruebas que garanticen la funcionalidad del equipo de electrohilado.

CAPITULO II.-MATERIALES

2.1. Polímero polisiloxano

El polímero polisiloxano es también conocido como silicona, la cual está construida por cadenas alternadas de oxígeno y silicio adicional a grupos orgánicos laterales, de la misma forma es considerado como un biomaterial que fue considerado como uno de los primeros polímeros inorgánicos que se han desarrollado, que poseen una diversidad de aplicaciones debido a las propiedades físico – químicas, eléctricas, mecánicas (es un polímero elastómero) y biocompatibilidad. Dicho polímero comprende de una gran familia de resinas, aceites y gomas. Para el área biomédica el polímero que más destaca es el polidimetilsiloxano (PDMS), por lo que es un material termoestable, inodoro el cual impide el crecimiento de bacterias, teniendo como característica la resistencia a la corrosión de la sangre y permeable al oxígeno. [17]

El uso de este polímero puede ser tal que al ser entrecruzado de tal manera que sus propiedades puedan reproducir tejidos suaves como en la aplicación de implantes mamarios, maxilofaciales, catéteres, e incluso puede servir para fabricar articulaciones, bombas de sangre y marcapasos. Tomando en cuenta que el uso del polímero PDMS llega a ser una hidrofobicidad, por tal razón el uso de dicho polímero no llega a permitir la adhesión celular, por lo cual las investigaciones que se han realizado en los últimos tiempos se centran en modificar el polímero superficialmente con plasma, rayos gamma laser, para poder tener la propiedad de adhesión celular. [17]

2.1.1. Electroválvulas 5/3 vías

Las electroválvulas que se muestra en la figura 14, se clasifican con la serie G1/8 y G1/4 han sido producidas del tipo 3/2, 2 x 3/2, 5/2, 5/3, las cuales poseen dos mandos fundamentales: La primera un accionamiento eléctrico y reposicionamiento con muelle mecánico y la segunda con accionamiento y reposicionamiento electroneumático. Las tablas 4 y 5 que muestra la codificación que posee y las características principales de la electroválvula 5/3. [18]



Figura 14. Electroválvula 5/3. [18]

Tabla 4. Codificación de la electroválvula 5/3. [18]

CODIFICACION											
3	3	8	D	-	15	-	2	-	U7	7	
3	SERIE										
3	N° VIAS/POSICIONES										
	3 = 3/2 NC										
	4 = 3/2 NO										
	5 = 5/2										
	6 = 5/3 CC										
	7 = 5/3 CO										
	8 = 5/3 CP										
8	CONEXIONES										
	8 = G1/8										
	4 = G1/4										
D	VERSIONES										
	= Estándar										
	D = Válvula doble (2x3/2) L = Para montaje sobre colector (solo para electroválvulas 3/2 con conexiones G1/8)										
15	ACCIONAMIENTO										
	011 = doble solenoide										
	015 = simple solenoide retorno muelle										
	016 = simple solenoide retorno muelle neumático										
	E11 = doble solenoide pilotaje externo										
	E15 = simple solenoide pilotaje externo										
2	INTERCARA SOLENOIDES										
	02 = mec. Sol. 22 x 22										
	MATERIAL SOLENOIDE / DIMENSIONES SOLENIODE										
U7	A8 = PPS / 30 x 30										
	G7 = PA/ 22 x 22										
	G8 = PA/ 30 x30 (solo 24 V DC)										
	G9 = PA / 22 x 58										
	H8 = PA 6 V0 / 30 x 30										
	U7 = PET / 22 x 22										
7	TENSIONES SOLENOIDES										
	Ver sección										
	TIPO DE ACCIONAMIENTO MANUAL										
	= Biestable estándar										
	IL = Biestable a palanca IM = Monoestable AF22:AG48										

Características

Tabla 5. Características generales de la electroválvula. [18]

Características generales	
Construcción	Con corredera equilibrada
Grupo válvula	Vías/Pos. 2x3/2 - 3/2 - 5/2 - 5/3 CC CO CP
Material	Cuerpo AL. - Corredera INOX. - juntas NBR
Conexiones	G 1/8, G 1/4
Instalación	En cualquier posición
Temperatura de trabajo	0 - 60 °C (con aire seco -20°C)
Presión de trabajo	Ver tablas
Fluido	Aire filtrado, sin lubricación.

2.1.2. Válvula de regulación de caudal

Estas válvulas que se observa en la figura 15 comprenden de los tipos unidireccionales y bidireccionales, acoplados a conexiones M5, G1/8, G1/4, G3/8, G1/2. Estos reguladores de flujo han sido realizados para ser incluidos directamente a válvulas y cilindros con el fin de reducir al máximo las dimensiones. [18]



Figura 15. Regulador de caudal. [18]

Características

Tabla 6. Características de los reguladores de caudal. [18]

CARACTERÍSTICAS GENERALES	
Construcción	de aguja
Grupo válvula	regulador unidireccional y bidireccional
Materiales	Cuerpo y tornillo de regulación
	Conexión M5 en INOX.
	Conexiones 1/8 - 1/4 - 1/2 en latón
	Juntas NBR
Sujeción	Mediante rosca macho
Conexiones	M5- G1/8 - G1/4 - G1/2
Instalación	en cualquier posición
Temperatura de trabajo	0 - 80°C (con aire seco a -20°C)
Presión de trabajo	1 - 10 Bar
Presión nominal	6 Bar
Diámetro nominal	M5= 1.5 mm - G1/8= 2mm - G1/4= 4 mm - G3/8= 7mm - G1/2= 12 mm
Fluido	aire filtrado

2.1.3. Válvula de regulación de caudal serie RFU

Son válvulas unidireccionales como bidireccionales como se muestra en la figura 16, las cuales son utilizadas para la regulación de la velocidad de un minicilindro, la cual se logra interceptando el aire de la cámara que está descargando, para ello se debe conectar el orificio roscado con la entrada que posee el minicilindro y la otra parte va a la manguera del aire.



Figura 16. Regulador de caudal serie RFU. [18]

Características

Tabla 7. Regulador de caudal serie RFU. [18]

Características generales	
construcción	de aguja
Grupo válvula	regulador unidireccional y bidireccional
Materiales	Cuerpo en AL.
	Aguja en latón
	Juntas en NBR
Sujeción	Mediante tornillos en los orificios pasantes del cuerpo o a panel
Conexiones roscadas	M5 - G1/8 - G1/4 - G3/8 - G1/2
Instalación	libre
Temperatura de trabajo	0°C - 80°C (con aire seco -20°C)
Presión de trabajo	1 - 10 bar (para conexiones roscadas M5 - G1/8 - G1/4)
	2 - 10 bar (para conexiones roscadas G3/8 - G1/2)
Presión nominal	6 bar
Caudal nominal	ver grafico
Diámetro nominal	M5= 1.5 mm - G1/8= 2 y 3 mm - G1/4= 4 y 6 mm - G3/8 y G1/2= 7mm
Fluido	Aire filtrado

Codificación

Tabla 8. Codificación de un regulador de caudal tipo RFU – RFO. [18]

CODIFICACIÓN								
RF		U		4	8	2	-	1/8
RF	SERIE							
U 4	función							
	U 4= unidireccional							
	O 3= bidireccional							
8	conexiones							
	4= G1/4							
	5= M5							
	6= G3/8							
	7= G1/2							
	8= G1/8							
2	Campo de regulación							
	2= diam. 2max							
	3= diam. 3max							
	4= diam. 4max							
	6= diam. 6max							
1/8	Conexiones							
	M5							
	1/8							
	1/4							
	3/8							
	1/2							

2.1.4. Silenciador serie 2931

Un silenciador como se observa en la figura 17, es uno de los elementos importantes de una electroválvula, utilizado para eliminar o atenuar el ruido característico del aire comprimido que se produce durante la fase de descarga. Normalmente este dispositivo ha sido utilizado sobre las descargas de las válvulas 3/2, 5/2 y 5/3 vías.



Figura 17. Silenciador serie 2931. [18]

Características

Tabla 9. Característica de los silenciadores. [18]

CARACTERÍSTICAS GENERALES	
Tipo construcción	cuerpo con rosca macho y hembra
Material cuerpo	2901 - 2903 latón
	2921 - 2931 acero cobrizo
	2938 - 2939 polietileno
Elemento silenciador	2901 - 2903 INOX.
	2921 - 2931 bronce (sinterizado)
	2938 - 2939 polietileno (sinterizado)
Conexiones	M5 - G1/8 - G1/4 - G3/8 - G1/2 - G3/4 - G1

2.1.5. Racores súper-rápidos Serie 6000

Dichos accesorios son diseñados y producidos con una pinza especial el cual llega a permitir un cierre homogéneo en toda la superficie para los tubos de plásticos, con lo que se garantiza la mejor fiabilidad, de igual manera una mejor durabilidad, puesto que se tiene una gran variedad de racores como se muestra en la figura 18, los cuales poseen diversos tipos de roscas como son: métricos, cilíndricos y cónicos.



Figura 18. Racor modelo s6510. [18]

Racor con tubo de conexión

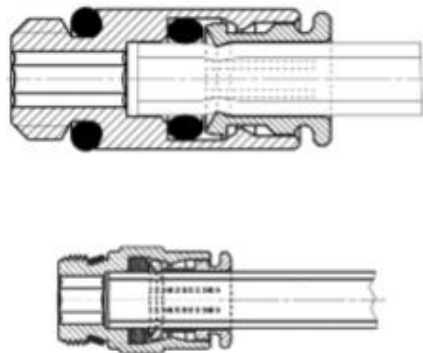


Figura 19. Corte de sección de un racor. [18]

Características

Tabla 10. Característica general de un racor. [18]

Características generales	
Diámetros	serie 6000 Micro: Diam= 3-4-6-8-10 mm
	serie 6000 Micro: Diam= 4-16 mm
Roscas	serie 6000 Micro: M3-M5-M7-G1/-G1/4
	serie 6000= GAS cónico ISO 7 (BSPT) GAS cilíndrico ISO 228 (BSP)
	M5-M6 y otras roscas métricas bajo pedido
	NTP bajo pedido
Temperatura	serie 6000 Micro: -10°C-80°C
	serie 6000: -20°C-80°C
Tubo de conexión	Rilsan, poliamida 6-11-12, polietileno, PU
Fluido	aire comprimido
Materiales	Cuerpo y pinza en latón niquelado
	O-ring en NBR
	Juntas roscas en PTFE/NBR/PA
Presión	min. -0,9 max 16 bar

2.1.6. Minicilindro serie 16, 24 y 25

Los minicilindros se clasifican según la serie 16, 24 y 25 como se muestra en la figura 20, los cuales han sido construidos basándose en dimensiones según normas europeas como CETOP-RP52P DIN/ISO 6432. Una de las características importantes en los minicilindros de las serie 24 y 25 es que son hechos para el acoplamiento de sensores magnéticos. [18]



Figura 20. Minicilindros. [18]

Características

Tabla 11. Características de los minicilindros. [18]

Características generales	
Tipo de construcción	compacto sellado
Funcionamiento	simple y doble efecto
Materiales	cabezales AL anodizado - vástago y camisa INOX - pistón AL - juntas NBR - PU
Sujeción	tuerca - brida - pies - basculante
Carreras min - Max	250 mm - 1000 mm
Diámetro	serie 16= 8,10,12 ; serie 25 y 25= 16,20,25
Temperatura	0°C - 80°C (con aire seco -20°C)
Presión de trabajo	1 - 10 bar (doble efecto); 2 - 10 bar(simple efecto)
Fluido	Aire filtrado, sin lubricación.
	En caso de utilizar aire lubricado se aconseja aceite ISOVG32
Velocidad	10 - 1000 mm/sec (sin carga)

Codificación

Tabla 12. Codificación de los minicilindros. [18]

CODIFICACION							
24	N	2	A	16	A	100	
24	SERIE						
	16 = no magnético						
	24 = magnético						
	25 = magnético, amortiguado, regulable						
N	versión						
	N= estándar						
2	FUNCIONAMIENTO						
	1= simple efecto, resorte delantero, no amortiguado						
	2= doble efecto						
	3= doble efecto, vástago pasante						
A	CARACTERISTICAS MATERIALES						
	A=vástago INOX rolado-camisa INOX-cabezales AL anodizado						
16	Diámetro						
	08=8mm - 10=10mm - 12=12mm - 16= 16mm - 20=20mm - 25=25mm						
A	TIPO CONSTRUCTIVO						
	A= tuerca cabezal V + tuerca vástago U						
	RL= Cilindro con bloqueo vástago diam=20 -25 mm						
100	Carrera						
	ver tabla						
	= estándar						
	V= juntas vástago en FKM						
	W= todas las juntas en FKM, + 130 °C (solo para la serie 25)						

2.1.7. Aluminio 6063

El aluminio con el que trabaja la empresa CEDAL utilizado para la elaboración de perfilaría de aluminio se rige a estrictas normas tanto nacionales e internacionales en lo que es el proceso, calidad y la seguridad, para ello se usa la ISO 9001:2000, ASTM B-221, normas de la AEC (American Extrusion Council), INEN 2250:2000, INEN 1001, etc. Con lo cual CEDAL cumple con varios procesos, como es la fundición en la que pasa por varios procesos para garantizar su composición y características de aleación cumpliendo rigurosos controles de metalurgia para poder ser enviados al proceso de extrusión. [19]

Los lingotes de aluminio 6063, 6061, 6005 es la materia prima que se utiliza para la fabricación de los perfiles, las cuales provienen de importaciones. La aleación 6063 la cual se presenta su composición química, su dureza y resistencia en las tablas 13 y 14, la aleación 6063 es utilizada para una serie de áreas arquitectónicas y parte decorativas, como en ventanas, cortinas, puertas, revestimientos, etc. Con lo que CEDAL trabaja con perfilaría tanto hueca como sólida como se muestra en la figura 21 con un recubrimiento de pintura electrostática la misma que es un proceso que tienen un acabado superficial utilizado con el fin de proteger los perfiles de aluminio la cual deposita electrostáticamente una capa de pintura en polvo que luego es fundida y curada en un horno. [19]

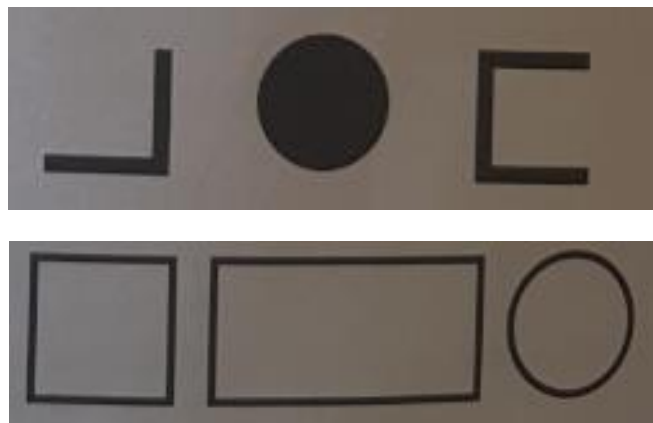


Figura 21. Perfiles sólidos y huecos CEDAL. [19]

Composición química

Tabla 13. Composición química de la aleación 6063. [19]

No. Aleación	Si	Fe	Mg	Mn	Cu	Cr	Zn	Ti	Varios	Al(min)
6063	0.2-0.6	0.35	0.45-0.9	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.15	Restante

Dureza y resistencia

Tabla 14. Dureza y resistencia de la aleación 6063. [19]

Aleación A.A	Espesor pulgadas	Dureza (HWB) min.	Webster B normal	Resist. A Fluencia (Kg/mm ²)		Resist. A Tensión (Kg/mm ²)		Elongación (% en 5 cm)
				mínimo	normal	mínimo	normal	
6063-T1 T4 T5%(1) T5 T6	Todos	4	6	5.6	8.5	11.2	16	14
	<0.5"	5	7	6.2	8.8	12.9	16.7	14
	<0.5" o mas	4	6	6	8.5	12.5	16.1	14
	Todos	7	8	9.5	12.3	13.9	17.6	12
	<0.5"	8	10	11.2	16.2	15.5	19.7	8
	<0.5" o mas	7	9	10.7	14.4	14.8	18.6	8
	<0.5"	10	13	17.6	21.4	21.1	23.6	8
	<0.5" o mas	9	12	17.7	19.3	21	22.5	8

2.1.8. Acrílico transparente 6mm

El acrílico posee varias propiedades que llegan a ser de una gran utilidad, teniendo en cuenta que es inerte a varias sustancias corrosivas, brindando diversas ventajas como son:

- La resistencia a la intemperie puesto que virtualmente no se inmuta por el sol, lluvias, fríos o incluso calores extremos. [20]
- Posee una apariencia brillante, mostrando una transparencia y claridad, las cuales son comparadas con las del vidrio.
- Es ligera y tienen una transmisión de luz equivalente al 50% mayor a la del vidrio y con el aluminio un 43%.

- Tiene una resistencia al impacto que equivale 17 veces más que el vidrio en cuanto a espesores de 3 a 6 mm. [20]
- No se deforma ni se astilla y mucho menos llega a romperse lo que muestra una buena resistencia a esfuerzos mecánicos, incluso responde a los cambios de temperatura, llegando a expandirse o contraerse dependiendo de la situación en la que sea expuesta.
- En cuanto a las corrientes eléctricas que se desee exponer, el acrílico es un excelente aislante eléctrico por lo que tiene una resistencia superficial más alta que la que poseen la mayoría de plásticos. [20]
- Su mayor característica es ser un material termo plástico con lo cual es fácil de termo formar. [20]

2.1.9. Jeringa desechable (10 ml)

La jeringa fue seleccionada con la capacidad de 10 ml como se observa en la figura 22 de acuerdo a la carrera del pistón que servirá de inyector para el envío de la solución polimérica a través de una manguera hasta llegar a la aguja. Una jeringa desechable está formada por un barril de forma cilíndrica redonda, un embolo ajustado, y una punta, la cual va a estar conectada al eje de una aguja; la jeringa por lo general se las encuentra de una gran variedad de tamaños y de capacidad, las que se dimensionan desde 0,5 a 60 ml (mililitros).

2.1.10. Clasificación de las jeringas

Generalmente las jeringas llegan a ser clasificadas como Luer-Lock o no Luer-Lock, las cuales son diferenciadas por el diseño del tipo de punta que tenga la jeringa y la forma en la que se vaya a asegurar la aguja. Por lo que una jeringa Luer-Lock necesita que la punta de la aguja sea giradas para ser bloqueadas, a diferencias de las jeringas no Luer-Lock que la punta de la aguja va a ser prensada evitando que la jeringa llegue a torcerse. [21]



Figura 22. Jeringa de 10 mililitros (ml) utilizada para el proceso de electrohilado. [21]

2.1.11. Aguja de la jeringa

La aguja de una jeringa por lo general está hecha de un acero inoxidable, compuesta de una parte hueca en el centro, que se divide en tres partes, el centro el cual se ajusta en la punta de la jeringa, el eje, que es la parte larga de la aguja, y un bisel, que es la parte inclinada en la punta de la aguja. [21]

2.1.11.1. Tipos de agujas


Una aguja se diferencia principalmente por su longitud, las que llegan a tener una dimensión de 1,27 centímetros (1/2 pulgada) hasta los 7,61 centímetro (3 pulgadas), por otra parte es su diámetro, la cual se la mide en calibre, por lo que se tiene una aguja con un calibre de 25, la cual posee un diámetro más pequeño que una aguja de calibre 19, lo que nos indica que a mayor calibre se seleccione se tendrá un diámetro de aguja más reducido. [21]


2.1.12. Maquinaria

2.1.12.1. Microscopio electrónico de barrido

El ensayo se lo va a realizar en los Laboratorios de la Carrera de Ingeniería Civil y Mecánica, por lo que se va a hacer uso del microscopio de barrido que se detalla de mejor manera en la tabla 15 el cual servirá para determinar el diámetro medio que se obtendrá de la fibra, como también nos ayudara en determinar las posibles discontinuidades que posea la misma. El microscopio electrónico de barrido posee un dispositivo que es conocido como filamento, el cual genera un haz de electrones con lo que se logra formar una imagen que llega a ser una muestra de alta resolución.

Tabla 15. Especificaciones técnicas del microscopio electrónico de barrido

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA CICLO ACADÉMICO: sept 2018- feb 2019			
Criterio: D – Ambiente Institucional Subcriterio: 3 – Laboratorios/ centros de simulación / talleres Indicador: 2 – Equipamiento		Evidencia: D.3.2.2 Formato: EC-MG1 Fecha: feb 2019 Versión 01	
Nombre del equipo:	Microscopio electrónico de barrido		
Estado	Regular	Fecha de adquisición:	16/12/2014

Ubicación:	Archivo fotográfico 
Laboratorio de metalografía	
Modelo:	
TESCAN 01	
Fabricante:	
TESCAN	
Voltaje:	
220V	
Potencia:	
Revoluciones:	

Lista de componentes principales		
N°	Descripción del componente	Características
1	Filamento	De tungsteno
2	Cañón de electrones	De 30kV
3	CPU	HP de RAM
4	Monitor	De 17"
5	Escritorio	Contiene la parte electrónica
6	Kit de herramientas	Guantes, pinzas, dos filamentos de repuestos y demás artículos
7	Tanque de gas nitrógeno	

Fuente: [Autor]

2.2. Metodología

2.2.1. Tipo de investigación

Descriptiva: El proyecto es del tipo descriptivo porque se analiza las probetas para determinar las características que sean propias de la nanofibra de acuerdo a las

variables que se vayan a plantear, teniendo una combinación de variables para obtener el mejor resultado.

Investigativa: Es necesario tener varios artículos, en los cuales se realizaron estudios sobre la técnica de electrohilado para obtener nanofibras adecuadas, con lo que se debe investigar todas las variables que se debe tener en cuenta para poder construir una máquina que cumpla con las mejores expectativas.

Explicativa: El proyecto cuenta con una investigación descriptiva puesto que se va a obtener una gran variedad de resultados gracias a la combinación de variables que se tenga al momento que se genere la nanofibra, para posteriormente llegar a analizarlos por medio de tablas, gráficos que nos ayudan en la interpretación de resultados.

Exploratoria: Se procede a realizar un estudio del tipo exploratorio, ya que se por la combinación de las variables ya sea aumentando o disminuyendo el voltaje, de la misma manera con la distancia que va a tener la aguja capilar con respecto al colector base, esto lleva a tener una serie de dudas de saber cuál será la que tenga el mejor resultado en la generación de la nanofibra.

Bibliográfica: Respecto al proyecto que está orientado al diseño y construcción de una máquina de electrohilado con una fuente de alto voltaje de 15 kV, es necesariamente buscar una gran variedad de artículos técnicos que brinden el conocimiento necesario y nos sea de gran ayuda para facilitar el desarrollo del proyecto.

2.2.2. Método

Población

La población para el proyecto es el empleo del material (polímero) conocido como polisiloxano mezclado con un solvente (etanol) lo que se tiene un 70% de solvente y un 30% de polímero, esta combinación es necesaria para obtener una solución polimérica óptima, la cual va a reaccionar al momento de comenzar con el proceso de obtención de nanofibras.

Muestra

Para llegar a obtener una muestra se ha llegado a definir las variables, para este proyecto son dos, el voltaje y la distancia de la boquilla capilar al colector base, las

mismas que se pueden ver en la tabla 16, mostrando las diversas combinaciones que se va a emplear para obtener la nanofibra.

Tabla 16. Confinaciones de distancia con respecto al voltaje.

COMBINACIONES	
Distancia aguja/colector	Voltaje
25 cm – 17,5 cm - 10 cm	10 kV
	11 kV
	12 kV
	13 kV
	14 kV
	15 kV

Fuente: [Autor]

El voltaje inicial que se va a utilizar para realizar el proceso de electrohilado es seleccionado desde un rango de 10 – 15 kV, puesto que la solución polimérica comienza a reaccionar desde el momento que el voltaje alcanza los 10 kV, de la misma manera la distancia tiene un rango de 25 cm como la distancia máxima que se puede dejar desde la aguja hacia el colector base, de igual forma los 10 cm de distancia va a ser el mínimo puesto que al disminuir aún más la distancia, se presenta un fenómeno de ases de luz (chispas) lo que puede causar un corto circuito de la fuente de alto voltaje.

2.2.3. Análisis en el microscopio de barrido

El número de muestras que se van a desarrollar para ser analizadas en el microscopio de barrido se las realiza de acuerdo a las variables que se tenga, ya sea al modificar tanto la distancia como el voltaje tal como se muestra en la tabla 16, obteniendo 6 muestras de cada una de las combinaciones, teniendo un total de 18 probetas como se puede observar en la tabla 17, las cuales serán analizadas para determinar el diámetro medio de la fibra, longitud de la misma y discontinuidades en la misma.

Ya obtenido los resultados que nos brinda el microscopio electrónico de barrido se los tabula por medio de una ficha técnica, para posteriormente analizar los resultados por medio de una figura 72, que va a mostrar los diámetros promedios obtenidos según los parámetros que se ha variado.

Tabla 17. Total de muestras para el análisis en el microscopio de barrido

Muestras		
VOLTAJE (kV)	DISTANCIA (cm)	N° DE MUESTRAS
10	10	1
11		1
12		1
13		1
14		1
15		1
10	17,5	1
11		1
12		1
13		1
14		1
15		1
10	25	1
11		1
12		1
13		1
14		1
15		1
TOTAL		18

Fuente: [Autor]

2.2.4. Hipótesis

El diseño y construcción de una máquina de electrohilado vertical de 0 a 15 kV permitirá generar nanofibras a base del polímero polisiloxano.

2.2.5. Variable de la hipótesis

2.2.5.1. Variable independiente

Diseño y construcción de una máquina de electrohilado vertical

2.2.5.2. Variable dependiente

Generar nanofibras a base del polímero polisiloxano

2.2.5.3. Termino de relación

Permitirá.

2.2.6. Operacionalización de variables

Tabla 18. Variables independientes (parámetros de diseño). [10]

Diseño y construcción de una máquina de electrohilado				
Concepto	Categoría	Indicador	Índice	Herramienta
Electrohilado: Es un proceso de hilado, la cual produce fibras gracias a la utilización de fuerzas electrostática a partir de soluciones poliméricas. [10]	Parámetros	Voltaje	0 - 15 kV	Observación directa
		Distancia	10 -25 cm	Fichas
		Velocidad	0,8 - 1 ml/h	Observación directa y registro de fichas

Tabla 19. Variables dependientes (calidad de la fibra). [14]

Diseño y construcción de una máquina de electrohilado				
Concepto	Categoría	Indicador	Índice	Herramienta
Nanofibra: Son estructuras las cuales se encuentran es escala manométricas en forma de fibras, con lo que presentan propiedades nuevas que no están presentes en una estructura de composición y tamaño macroscópico. [14]	Diámetro de la fibra	Diámetro promedio	μm	Relación de diámetros por fichas
	Discontinuidades	Imagen muestras	Grumos, cortes, ramificaciones, uniformidades	Observación de imagen por captura de imagen

2.2.7. Recolección de resultados

Dimensiones de la probeta (colector)

La probeta está diseñada para las dimensiones de 20 cm de ancho por 30 cm de largo como se muestra en la figura 23, dejando un pequeño dobléz de 1 cm a cada lado. Dichas medidas fueron tomadas a base de experimentos, las cuales ayudaron con el área que ocupa la fibra.

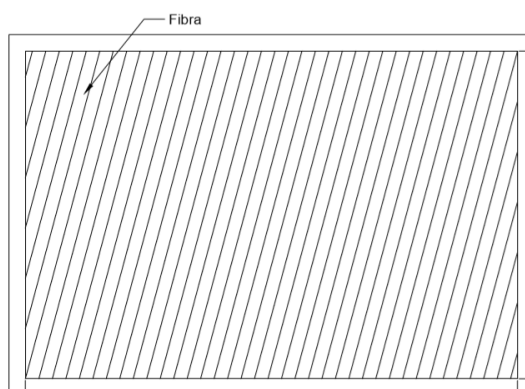


Figura 23. Dimensiones de la probeta.
Fuente: [Autor]

2.2.8. Análisis de resultados de las probetas

Los datos que se llegaron a obtener de las probetas que se realizaron gracias al microscopio de barrido se van a realizar de la siguiente manera:

2.2.8.1.Revisión de resultados

Se debe tomar en cuenta las categorías que se señalaron en la tabla 19, para poder analizar cada una de ellas, con lo cual se tiene el diámetro de la fibra, las posibles discontinuidades que se hallen y la longitud de la fibra que se pueda generar, para tabular los resultados y poder obtener un promedio de los resultados.

2.2.8.2.Interpretación de resultados

Los resultados que se llegaron a obtener van a ser analizados e interpretados por medio de tablas, gráficas y fotografías, las cuales deben estar correctamente argumentados para una mayor facilidad de comprensión y visualización, puesto que deben permitir visualizar la comparación de las variables que se hayan tenido al momento de generar las probetas.

2.2.8.3.Análisis de resultados

Para dar un resultado final se debe tomar en cuenta la mejor fibra que se haya obtenido, con ello se debe tener en cuenta el voltaje que se trabajó y la distancia que se utilizó para poder decir que con estas variables se obtuvo la mejor fibra.


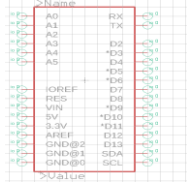

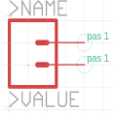

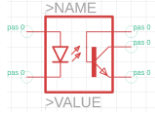





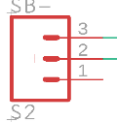
2.2.9. Automatización de electroválvulas

La máquina de electrohilado consta con un colector, el cual se mueve verticalmente gracias al panel de control que posee la máquina, que es de gran ayuda para la recolección de probetas, puesto que por medio de la distancia se puede generar variables para la recolección de información. También se tiene una bomba inyectora que nos ayuda a suministrar la solución polimérica, que se activa de forma semiautomática por medio del panel de control. Para ello se ha automatizado con los materiales que se muestran en la tabla 20 y 21.

2.2.10. Materiales utilizados en la baquelita

En el anexo 1 se observa el diagrama de mando que se utilizó para controlar la máquina de electrohilado. La tabla 20 indica todos los materiales utilizados para la construcción de la baquelita de control.

Tabla 20. Materiales para la automatización del colector y la bomba inyectora.

Cantidad	descripción	fotografía	esquema
1	Arduino Uno		
7	Conectores MOLEX(Polarizados) 2 Pines		
6	Optoacoplador 4N25		
6	MOSFET IRF640		
12	5 Resistencias 4.7 K ohms 1/4 W 6 Resistencias 680 ohms 6 Resistencias 100K ohms		
4	Terminal con borneras 3 Pines 5MM		

Fuente: [Autor]

2.2.10.1. Diseño de la baquelita

Proceso de construcción de la baquelita

1. Diseño del diagrama del circuito que se va a utilizar en el control de la máquina.

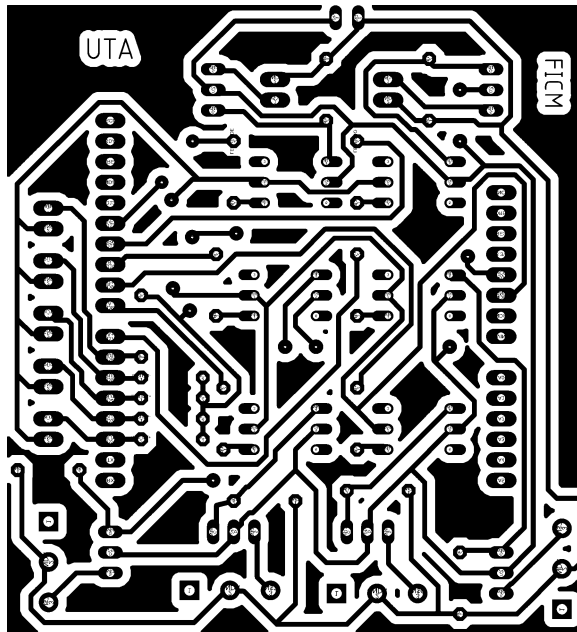


Figura 24. Diagrama del circuito de control.
Fuente: [Autor]

2. Corte y colocación de la lámina de impresión sobre la baquelita

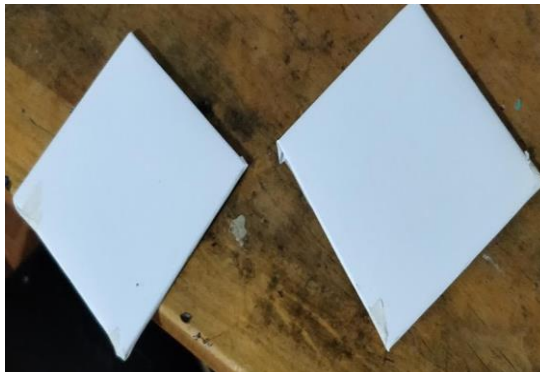


Figura 25. Corte de la baquelita.
Fuente: [Autor]

3. Proceso de transferencia de tinta por calor



Figura 26. Suministro de calor a la baquelita.
Fuente: [Autor]

4. Transferencia final



Figura 27. Resultado final de la baquelita.
Fuente: [Autor]

5. Proceso de ataque químico



Figura 28. Ataque químico con ácido.
Fuente: [Autor]

6. A contraluz se puede ver que no hay cobre restante, dado por finalizado el proceso.

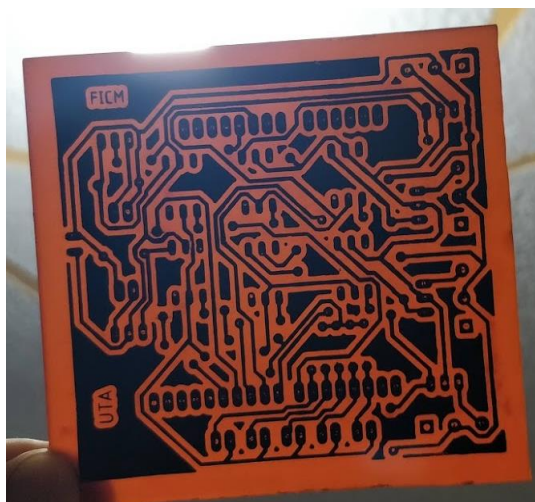


Figura 29. Resultado final.
Fuente: [Autor]

7. Conexiones de los dispositivos en la baquelita.

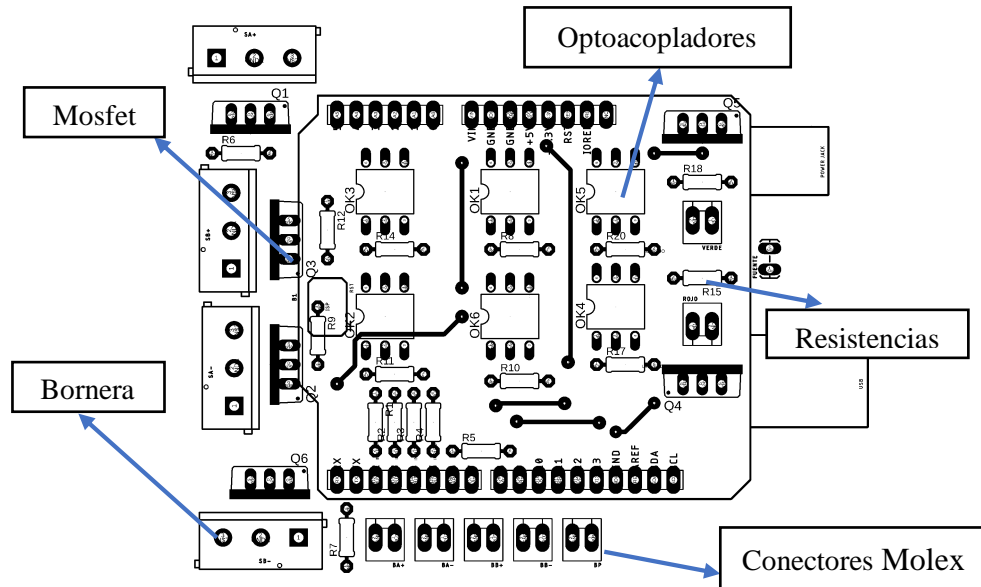


Figura 30. Elementos conectados en la baquelita.

Fuente: [Autor]

8. Perforado y colocación de los elementos

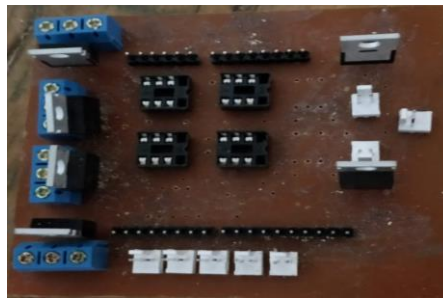


Figura 31. Colocación de elementos electrónicos.

Fuente: [Autor]

9. Soldado y limpieza de los componentes

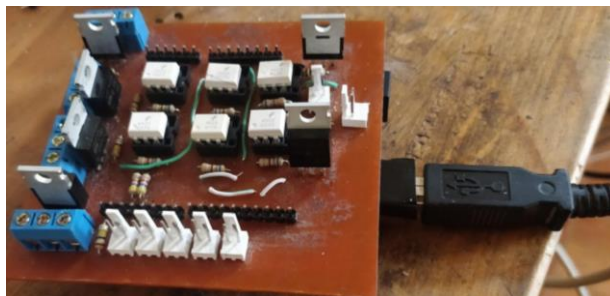



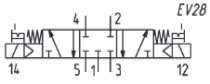

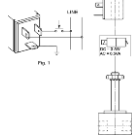

Figura 32. Equipo terminado.

Fuente: [Autor]

2.2.10.2. Materiales utilizados

En el anexo 2 se muestra el diagrama neumático utilizado para el movimiento, tanto de la mesa que sirve de colector de la nanofibra, como también con la bomba inyectora de la solución polimérica.

Tabla 21. Materiales para la automatización del colector y la bomba inyectora.

Cantidad	descripción	fotografía	esquema
2	368-011-02IL Electroválvula 5 vías 3 posiciones		
4	2 Solenoides G77 2 Solenoides G73		
1	Fuente 24V 8A 110/220V		

Fuente: [Autor]

2.2.11. Conexiones

2.2.11.1. Conexión del solenoide

Se conecta los solenoides de la siguiente forma a través de un cable de tres hilos como se muestra en la figura 33.

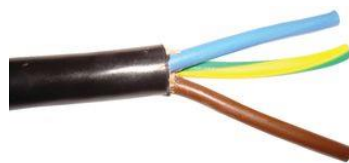


Figura 33. Cable de conexión al solenoide.

Fuente: [Autor]

En este caso, el cable tiene los colores rojo, blanco y negro, por motivos prácticos se queda de acuerdo el cable rojo será utilizado por el positivo, el cable blanco es usado para la conexión neutra y el cable negro para la conexión a tierra, en la figura 34 el terminal que va a line se trata del cable positivo.

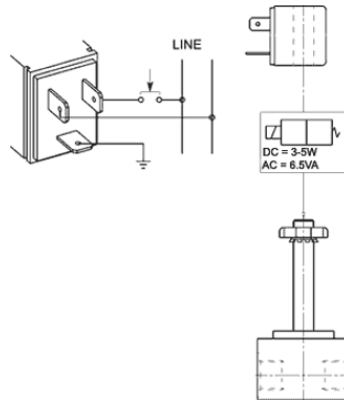


Figura 34. Conexión del solenoide.
Fuente: [Autor]

Para efectos prácticos se muestra la tabla 22 con la conexión y a que terminal se le asigna el cable.

Tabla 22. Indicador para la conexión del solenoide.

Color	Pin	Terminal
Blanco	1	Neutro
Rojo	2	Positivo
Negro	3	GND

Fuente: [Autor]

2.2.11.2. Conexión de la baquelita

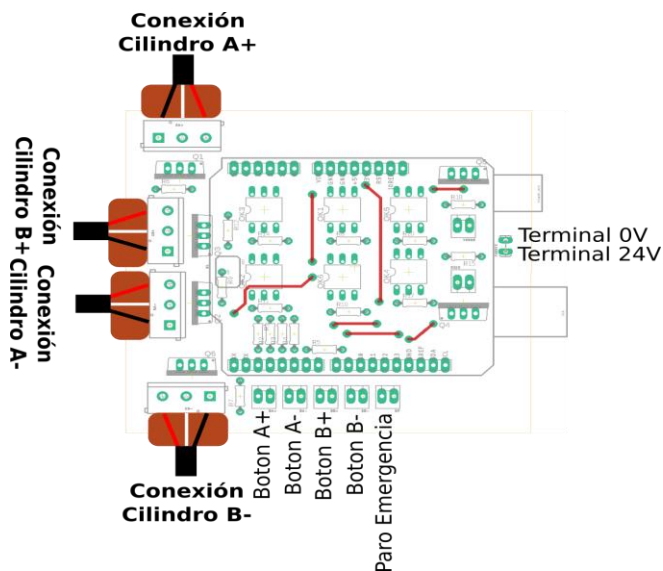


Figura 35. Conexión del solenoide.
Fuente: [Autor]

Para la conexión a la baquelita hay que tener en cuenta que solo los conectores de los solenoides de los cilindros y de la fuente son polarizados como se observa en la figura 35, los otros conectores se pueden conectar en cualquier forma.

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para realizar la construcción de una máquina eficiente, se toman en cuenta los parámetros más importantes de diseño que son mostrados en la tabla 23. Cada uno de ellos debe ser seleccionado de tal manera que al momento de ser construida o adquirida esta sea funcional, confiable, útil y que pueda fabricarse con materiales fáciles de encontrar.

Tabla 23. Parámetros utilizados para el diseño de la máquina de electrohilado.

Parámetro	Función
Voltaje de la fuente de alta tensión de electrohilado	Es un parámetro importante debido a que gracias al voltaje que suministre la fuente de alta tensión se rompe la tensión superficial de la solución polimérica generando un hilo que se deposita en el colector.
Distancia entre la aguja y el colector	Se debe tomar en cuenta este parámetro, porque a una cierta distancia que tenga entre la punta de la aguja y la bandeja del colector empieza a reaccionar la solución polimérica.
Velocidad de inyección de la solución polimérica	Es necesario tener una velocidad constante, en el momento que fluya la solución polimérica por la aguja esta no debe tener ningún goteo o caso contrario un corte de fluido por exceso o falta de velocidad.

Fuente: [Autor]

3.1. Análisis de alternativas

Para analizar la selección de alternativas se inicia por la solución polimérica, la cual es una combinación de 30% de un polímero (polisiloxano) y 70% de un solvente

(etanol). Para ello se seleccionan las principales alternativas como se muestra en el siguiente flujograma de la figura 36:

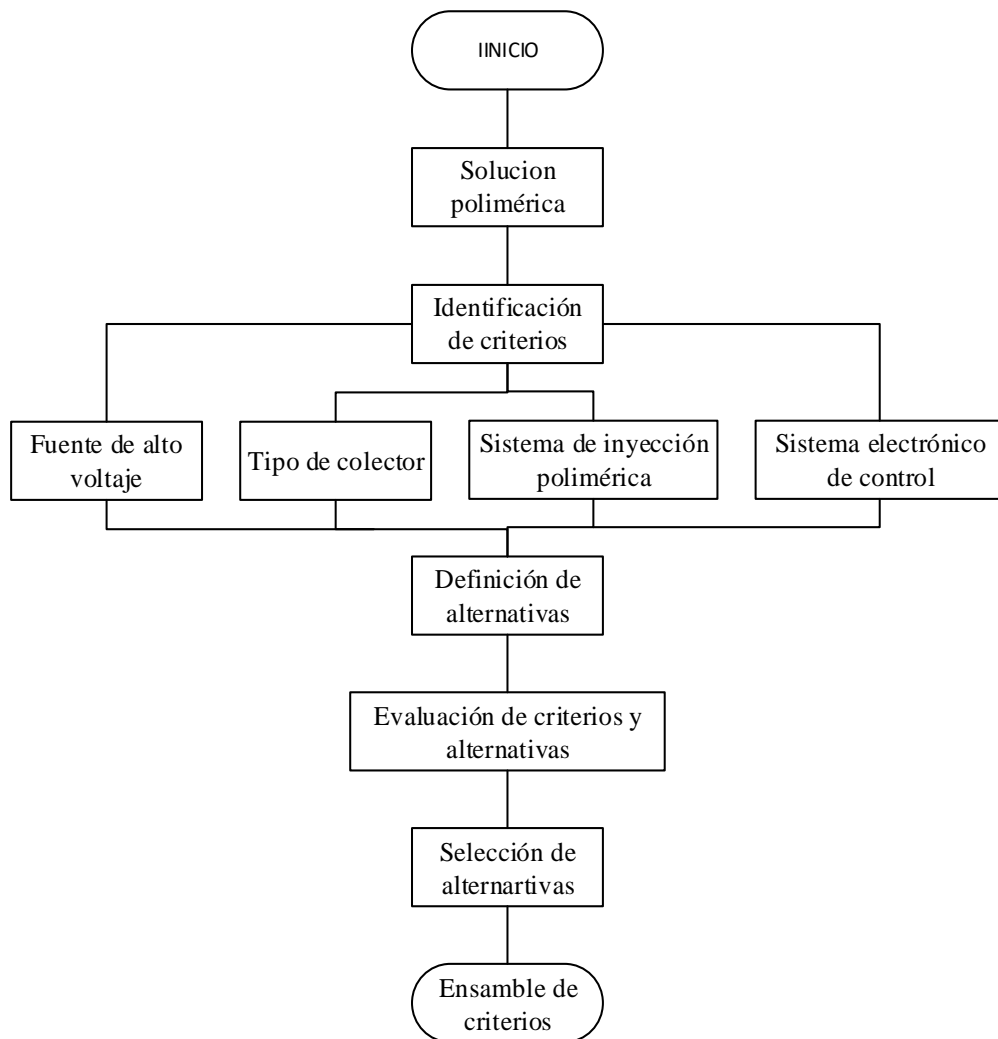


Figura 36. Flujograma de criterios.
Fuente: [Autor]


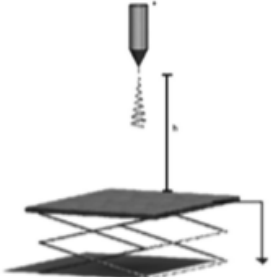
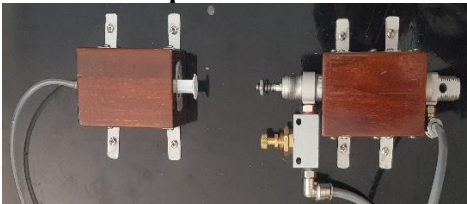

3.2. Selección de alternativas

Para realizar el diseño final y por ende la construcción de la máquina de electrohilado vertical que se presente en este capítulo, se han tomado en cuenta una variedad de parámetros que se describen en la tabla 24, los cuales son importantes puesto que todos ellos influyen directamente en la construcción y la funcionalidad óptima de la máquina, para ellos se tiene una variedad de alternativas, de las cuales se va a seleccionar la más adecuada para cada parámetro que consta la máquina.

Para poder seleccionar el mejor equipo y dispositivo para la construcción, se ha realizado una agrupación de alternativas, en las cuales se presentas las ventajas y

desventajas de utilizar cada una de ellas, para poder utilizar la más adecuada para un diseño y construcción de una óptima máquina.

Tabla 24. Alternativas principales a evaluar.

Alternativas a evaluar	Función
<p>Fuente de alta tensión</p> 	<p>Se toma en cuenta el voltaje de salida necesario para realizar el proceso de electrohilado, el amperaje para que no exista ningún tipo de riesgo cuando el operario la este manipulando.</p>
<p>Tipo de colector</p> 	<p>Lugar donde se deposita la nanofibra que se genera, debe ser un colector fácil de diseñar y desmontar.</p>
<p>Sistema de inyección de la solución polimérica</p> 	<p>La velocidad de inyección debe ser constante al momento de realizar el proceso, ayudando a tener una salida de solución polimérica continua.</p>
<p>Sistema de control</p> 	<p>El panel de control debe ser utilizado por un equipo que no ocupe espacio innecesario, fácil utilización y programación.</p>

Fuente: [Autor]

Para ellos se presentan los principales parámetros para la construcción de la máquina de electrohilado vertical, indicando la función que desempeña por medio de varias alternativas que se muestran a continuación:

3.2.1. Alternativas para la selección de la fuente de alta tensión

Para la construcción de la máquina de electrohilado vertical, la fuente de alto voltaje el parámetro más importante para la obtención de la nanofibra, puesto que es necesario

tener un voltaje de por lo menos 10 kV con el objetivo de romper la tensión superficial de la solución polimérica, generar el cono de Taylor y al final generar un hilo (nanofibra), para ello se han considerado las siguientes alternativas:

3.2.1.1. Alternativa A: LSP-20kV de alta tensión de alimentación

La fuente de alimentación que se muestra en la figura 37 fue la primera alternativa que se tomó en cuenta para la máquina de electrohilado la misma que consta con las siguientes características mostradas en la tabla 25.



Figura 37. LSP-20 kV de alta tensión de alimentación. [22]

Características principales de la fuente de alimentación

Tabla 25. Materiales para la automatización del colector y la bomba inyectora.

Características	
Marca	LISUN
Potencia de salida	>500W
Tipo de salida	Individual
Voltaje de entrada	220v
Voltaje de salida	0-20 kV
Frecuencia de salida	50 Hz,60 Hz, ajustable entre 45 - 75 Hz
Corriente de salida	0 - 42 A
Fase de rango de tensión	alto:(0-300v) bajo:(0-150v)
Tensión nominal	disponible para configurar

Fuente: [Autor]

3.2.1.2. Alternativa B: Transformador trifásico 75 kVA-15kV

El la figura 38 se presenta un transformador trifásico con sus respectivas características que se indica en la tabla 26, el mismo que es utilizado en la distribución de energía eléctrica tanto para sistemas urbanos y rurales. Están fabricados para un uso a la intemperie, que será montado a uno o dos postes con sus respectivos aisladores, con una capa de pintura especial para zonas costeras, húmedas y que pueden corroer el material.

La construcción y el diseño es por medio de normas utilizadas por las compañías de distribución eléctrica, también incluye normas internacionales como la ANSI, C57 o IEC 76. Una de las características de los transformadores es que pueden ser aptos para sistemas tanto monofásicos y trifásicos emitiendo hasta 25 kV y llegando a una potencia de 500 kVA



Figura 38. Transformador trifásico 75 kVA – 15kV. [22]

Características:

Tabla 26. Características de un transformador. [22]

Características	
Voltaje	15 kV - 25 kV
Potencia	5 - 500 kVA
Incluye cambiador de derivaciones	Si
Base de montaje	dos postes
Ganchos	izajes

3.2.1.3. Alternativa C: Positivo máx 35 kV de alta tensión de la fuente de alimentación para el electrospinning.

Esta fuente de alta tensión que se muestra en la figura 39, es exclusivamente diseñada para realizar el proceso de electrohilado puesto que cumple con los parámetros necesarios para la máquina, la misma que se presenta sus características y especificaciones en la tabla 27.

La fuente de alimentación de alto voltaje (HVPS), su característica principal es que son pequeñas y ligeras, lo que les hace confiables para realizar el proceso de electrohilado y aplicaciones en laboratorios, como en el uso de condensadores, laser, teniendo en cuenta las características de seguridad avanzadas y la gran flexibilidad que poseen para el funcionamiento en varias investigaciones.



Figura 39. Alta tensión - fuente de alimentación para el electrospinning. [22]

Características y especificaciones de la fuente de alta tensión

Tabla 27. Características de la fuente. [22]

Características	
Marca	NLI
Potencia de salida	30 vatios
Tipo de salida	Otros
Voltaje de entrada	100 - 240 VAC 50 - 60 Hz
Voltaje de salida	Max. 35 kV
Frecuencia de salida	50 - 60 Hz
Corriente de salida	1-mA
Dimensiones	34x29x11 cm
Garantía	1 año de garantía

3.2.1.4. Alternativa D: Fuente de alimentación de alto voltaje generador estática electrospinning 15 kV

El diseño del circuito de alto voltaje es a base de un nuevo tipo de programa, con el fin de ajustar continuamente la estabilidad de la presión. Posee una variedad de diseños para el aislamiento, mejorando una salida garantizada teniendo un uso confiable y seguro. Las características de la salida de voltaje máximo indican que cuanto más pesada va a ser la carga, el voltaje de salida máxima relativa va a ser menor, también incluye una tabla de alto voltaje que utiliza un convertidor CMOS A/D.

Esta fuente que se muestra en la figura 40 es un generador electroestático de alto voltaje, el cual es utilizado principalmente para pruebas estáticas, aislamiento, mediciones de resistencia. **Dimensiones:** 195x70x175 mm.



Figura 40. Fuente de alimentación de alto voltaje para electrospinning. [22]

3.2.2. Alternativas para la selección del colector

El colector de fibras es la última etapa del proceso de electrohilado puesto que es en donde se va a depositar la fibra obtenida, para ello se procede a seleccionar el mejor colector más sencillo que se pueda utilizar en la máquina.

3.2.2.1. Alternativa A: Colector conductor plano

Para la obtención de nanofibras es el colector más sencillo y más usado en el proceso de electrohilado como se muestra en la figura 41.

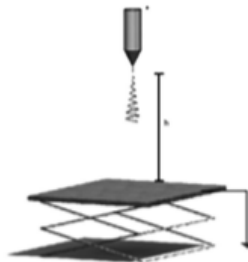


Figura 41. Colector conductor plano. [13]

3.2.2.2. Alternativa B: Colector rotatorio

El colector rotatorio es uno de los colectores más populares puesto que se lo puede diseñar en forma de cilindro o de disco como se aprecia en la figura 42, para ellos hay que tener en cuenta un factor que es importante en este tipo de colector, que viene a ser la velocidad de rotación el cual es un factor dominante en el grado de alineación de las fibras.



Figura 42. Colector rotatorio. [13]

3.2.2.3. Alternativa C: Colector de placas paralelas

Es un tipo de colector se muestra en la figura 43, en el cual se puede producir membranas con fibras paralela alineadas, teniendo resultados efectivos y con un diámetro medio reducido.

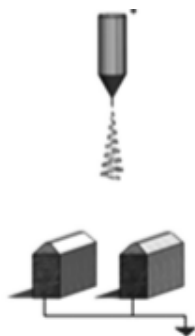


Figura 43. Colector de placas paralelas. [13]

3.2.2.4. Alternativa D: Colector de punta

Este tipo de colector se visualiza en la figura 44, genera fibras de gran superficie de nanofibras alineadas, se lo toma en cuenta como una alternativa de los colectores normales sé que ocupan más comúnmente, para este colector las fibras son inyectadas una a la vez y gracias a la repulsión electrostática las fibras se alinean entre la fibra que ya se deposita y la nueva fibra que llega al colector.

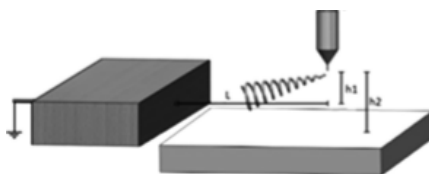


Figura 44. Colector de punta. [13]

3.2.3. Alternativas para la selección del sistema de inyección de la solución polimérica

El sistema de inyección de la solución polimérica es una factor importante para la obtención de la nanofibra, puesto que por este sistema se obtiene el recorrido de la solución a través de la jeringa medida en ml/h, para ellos se tomó en cuenta 3 posibles alternativas que se denotan a continuación:

3.2.3.1. Alternativa A: sistema manual

Este tipo de sistema utiliza prácticamente la fuerza del operario para empujar la solución polimérica a través de la jeringa como se muestra en la figura 45.

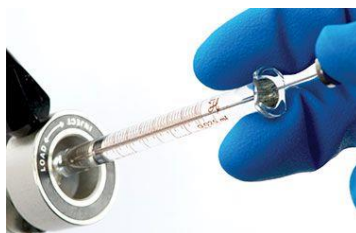


Figura 45. Sistema manual.
Fuente: [Autor]

3.2.3.2. Alternativa B: Semiautomático

Este tipo de sistema utiliza un panel de control para activar el sistema que se encarga de empujar la solución polimérica a través de una manguera y poder tener la presión adecuada para que genere la nanofibra, en la figura 46 se muestra el sistema.

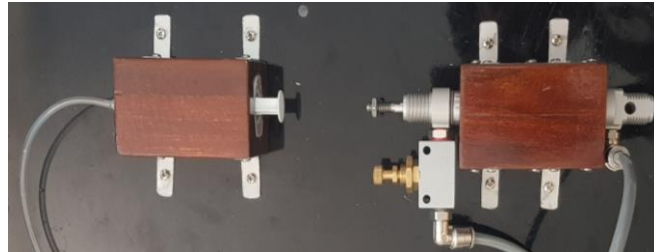


Figura 46. Sistema semiautomático.
Fuente: [Autor]

3.2.3.3. Alternativa C: Bomba inyectora para electrospinning

Este dispositivo que se muestra en la figura 47 posee un potente sistema de alarma con 360 luz signos, fácil identificación, compone de un doble CPU que garantiza la seguridad del sistema tanto manual como automático, en la tabla 28 se presenta las características que posee el dispositivo.



Figura 47. Bomba inyectora para electrospinning. [22]

Características de la bomba inyectora

Tabla 28. Características de la bomba inyectora. [22]

Características	
Modelo	FC113
Aplicable-jeringas	(5-10-20-30-50-60)ml
Precisión	2%
Tiempo preestablecido	0-99h y 59 min
Tasa de flujo de paso	Incrementos en 0,01 ml/h
Tasa de flujo de paso	5 ml: 0,01 - 150 ml/h
	10ml:0,01 - 400ml/h
	20ml:0,01 - 600 ml/h
	30ml:0,01 - 900 ml/h
	50ml y 60 ml: 0,01 - 1800 ml/h

3.2.4. Alternativas para la selección del sistema de elevación del colector

Es necesario tener un sistema de elevación del colector, ya que gracias a ello se puede tener una variación de distancias de la boquilla capilar al colector, para eso se tomó en cuenta las siguientes alternativas para construir la máquina de electrohilado.

3.2.4.1. Alternativa A: Elevación hidráulica

Este sistema se muestra en la figura 48, es accionado con una central eléctrica de alrededor de 2000 W, un pulsador que acciona los cilindros, que a su vez tiene una conexión hidráulica y eléctrica, la misma que puede ser de simple o doble efecto, que con ayuda de una válvula neumática y un multiplicador M4 (bomba) los cilindros suben o bajan su carrera.

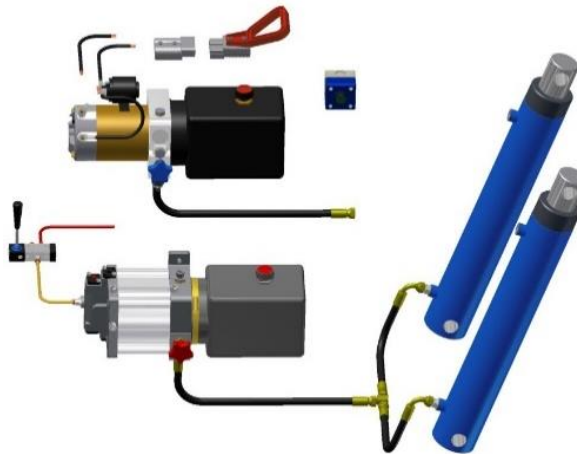


Figura 48. Elevación hidráulica. [23]

3.2.4.2. Alternativa B: Elevación neumática

El sistema de elevación neumática como se muestra en la figura 49, consta de un compresor que se dispone en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, el mismo que acciona una electroválvula 5/3 que me permite controlar la carrera de un Minicilindro neumático, en el cual se acopla el colector en donde se deposita la nanofibra.

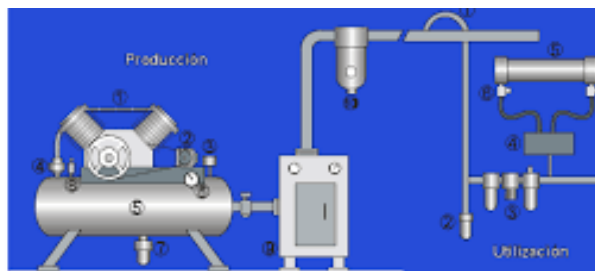


Figura 49. Elevación neumática. [24]

3.2.4.3. Alternativa C: Elevación por un sistema eléctrico

Para este sistema se tomó como referencia el mecanismo de elevación de un ascensor como se muestra en la figura 50, el cual es un sistema de transporte vertical, cuyo principal objetivo es mover objetos, conforma tanto partes mecánicas, eléctricas y electrónicas, las mismas que funcionan en conjunto para accionar todo el mecanismo.

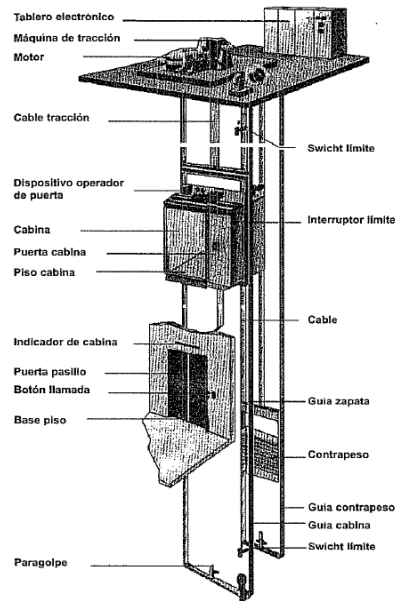


Figura 50. Elevación por un sistema eléctrico. [25]

3.2.5. Alternativas para la selección del sistema electrónico de control

Este sistema es el encargado de controlar las electroválvulas tanto del sistema de elevación y del sistema de inyección polimérica mediante un panel de control, para ellos se ha tomado en cuenta las posibles alternativas siguientes:

3.2.5.1. Alternativa A: Control por PLC

Un plc que se muestra en la figura 51, es un tipo de controlador lógico programable, el cual es el más utilizado en muchas industrias y máquinas, teniendo varias ventajas en la elaboración de proyectos, puesto que gracias a ellos se puede ahorrar una gran cantidad de tiempo. Además posee dimensiones de tamaño reducido, llegando a tener un mantenimiento de bajo costo, llegando a controlar varias máquinas con un solo equipo.



Figura 51. Control por PLC. [26]

3.2.5.2. Alternativa B: Control por arduino

Es un microcontrolador como se muestra en la figura 52, La ventaja que posee es su hardware libre, por lo que es posible utilizarlo de manera más fácil.



Figura 52. Control por Arduino. [27]

3.3. Evaluación de alternativas

El método ordinal corregido de criterios ponderados es el que se va a utilizar para la evaluación de alternativas para cada uno de los criterios más importantes que se tomó en cuenta para la construcción de la máquina, para eso se debe tener en cuenta los siguientes valores para evaluar la importancia de cada uno:

1: si el criterio de las filas es superior al de las columnas.

0.5: si el criterio de las filas es igual al de las columnas.

0: si el criterio de las filas es inferior al de las columnas.

3.3.1. Evaluación de alternativas para la fuente de alta tensión

La fuente de alta tensión se la selecciona dependiendo de las ventajas y características que posea cada alternativa que se tomó en cuenta para la construcción de la máquina, para ellos se consideró los siguientes criterios:

- **Costo:** Este criterio influye en todos los casos, puesto que se debe tomar en cuenta el costo-beneficio del equipo que se vaya a utilizar en la construcción de la máquina.
- **Montaje:** Hace referencia a la facilidad de ensamblaje que va a tener el equipo con respecto a la estructura de la máquina, con la finalidad de que pueda ser desmontada cuando se proceda a realizar algún ajuste o mantenimiento.
- **Mantenimiento:** Para tener un mejor beneficio al momento de realizar un mantenimiento, el equipo debe ser comercial, con lo que se encontrara fácilmente en el mercado.
- **Voltaje:** Este criterio es el más importante, ya que gracias a él se obtiene una nanofibra aceptable, por ende se debe seleccionar un equipo que pueda ser regulable y además con un voltaje por encima de los 6 kV.
- **Amperaje:** La seguridad del usuario es importante al momento de utilizar el equipo, para ello se deberá estimar un equipo un amperaje reducido, con el fin de cuidar el bienestar del operario.

La tabla 29 muestra los criterios dichos anteriormente, que son considerados los más importantes para esta fuente de alta tensión, los cuales nos sirven para la selección de la fuente de alta tensión en base al funcionamiento y diseño que nos brinde el equipo, los mismos que son evaluados de manera individual con el fin de tener una solución más adecuada.

Tabla 29. Criterios de selección para la fuente de alto voltaje

Costo=Montaje<Mantenimiento>Voltaje<Amperaje							
Criterios de selección	Costo	Montaje	Mantenimiento	Voltaje	Amperaje	$\Sigma + 1$	Ponderación
Costo		0,5	0,5	0	0	2	0,133
Montaje	0,5		0,5	0	0	2	0,133
Mantenimiento	1	0		0,5	0,5	3	0,2
Voltaje	1	1	0,5		0	3,5	0,233
Amperaje	1	1	0,5	1		4,5	0,3
					Σ	15	1

Fuente: [Autor]

En las tablas de la 30 a la 34 se presenta cada uno de los criterios que se está evaluando para determinar la mejor solución en la selección del equipo.

Tabla 30. Evaluación de criterios de costos para la fuente de alto voltaje

Costo	Alternativa 1> Alternativa 2< Alternativa 3< Alternativa 4					
	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Alternativa D	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa A		1	0,5	0	2,5	0,25
Alternativa B	0		0	0	1	0,1
Alternativa C	0,5	1		0	2,5	0,25
Alternativa D	1	1	1		4	0,4
				Σ	10	1

Fuente: [Autor]

Tabla 31. Evaluación de criterios de montaje para la fuente de alto voltaje

Montaje	Alternativa 1> Alternativa 2< Alternativa 3< Alternativa 4					
	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Alternativa D	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa A		1	0,5	0	2,5	0,25
Alternativa B	0		0	0	1	0,1
Alternativa C	0,5	1		0,5	3	0,3
Alternativa D	1	1	0,5		3,5	0,35
				Σ	10	1

Fuente: [Autor]

Tabla 32. Evaluación de criterios de mantenimiento para la fuente de alto voltaje

Mantenimiento	Alternativa 1> Alternativa 2< Alternativa 3= Alternativa 4					
	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Alternativa D	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa A		1	0,5	0,5	3	0,3
Alternativa B	0		0	0	1	0,1
Alternativa C	0,5	1		0,5	3	0,3
Alternativa D	0,5	1	0,5		3	0,3
				Σ	10	1

Fuente: [Autor]

Tabla 33. Evaluación de criterios de voltaje para la fuente de alto voltaje

Voltaje	Alternativa 1> Alternativa 2< Alternativa 3> Alternativa 4					
	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Alternativa D	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa A		1	0	1	3	0,3
Alternativa B	0		0	0,5	1,5	0,15
Alternativa C	1	1		1	4	0,4
Alternativa D	0	0,5	0		1,5	0,15
				Σ	10	1

Fuente: [Autor]

Tabla 34. Evaluación de criterios de amperaje para la fuente de alto voltaje.

Amperaje	Alternativa 1 > Alternativa 2 < Alternativa 3 > Alternativa 4					
	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Alternativa D	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa A		1	0,5	0	2,5	0,25
Alternativa B	0		0	0	1	0,1
Alternativa C	0,5	1		0	2,5	0,25
Alternativa D	1	1	1		4	0,4
				Σ	10	1

Fuente: [Autor]

En la tabla 35 se presenta los resultados de la evolución que se realizó por el método de ponderación, con lo cual se llegó a la conclusión de que la solución D es la opción más adecuada.


Tabla 35. Resultados de la evaluación de criterios para la fuente de alto voltaje

Conclusión	Costo	Montaje	Mantenimiento	Voltaje	Amperaje	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa A	0,033	0,033	0,06	0,07	0,08	1,272	3
Alternativa B	0,013	0,013	0,02	0,035	0,03	1,112	4
Alternativa C	0,033	0,04	0,06	0,093	0,08	1,302	2
Alternativa D	0,053	0,047	0,06	0,035	0,12	1,315	1

Fuente: [Autor]

La alternativa ya seleccionada presenta las siguientes características que se muestra en la tabla 36.

Tabla 36. Características principales de la fuente de alta tensión seleccionada.

Características		
	Voltaje de salida	0 – 15 kV
	Amperaje	1 mA
	Dimensiones	195x70x175
	Función principal	Para laboratorios, electrospinning.

Fuente: [Autor]

3.3.2. Evaluación de alternativas para el tipo de colector

Existen varios tipos de colector, para ellos se tomó en cuenta 4 alternativas de solución para determinar el colector que mejor se acople a la máquina, por ende se ha determinado los siguientes criterios a evaluar para la selección:

- **Costo:** Se debe tener en cuenta el costo-beneficio que se podrá obtener a largo plazo al seleccionar la mejor solución.
- **Montaje:** De la misma manera se debe tener en cuenta el montaje y por ende la facilidad de desmontaje del equipo que se llegue a seleccionar.
- **Mantenimiento:** Se hace relación a la durabilidad del equipo con el paso del tiempo, puesto que el colector va a estar en constante movimiento y recolectando las fibras que produce la máquina.
- **Diseño:** Este criterio se basa en seleccionar el colector más utilizado en proceso de electrohilado y por ende que sea fácil de diseñar para la recolección de la fibra.
- **Construcción:** Los componentes que se utilicen para la construcción del colector deben ser comerciales y fáciles de conseguir, para que no presente ningún inconveniente en un futuro.

En la tabla 37 se muestra la matriz de criterios a evaluar, considerados los más importantes para la selección del colector.

Tabla 37. Criterios de selección del colector

Costo=Montaje<Mantenimiento<Diseño>Construcción							
Criterios de selección	Costo	Montaje	Mantenimiento	Diseño	Construcción	$\Sigma + 1$	Ponderación
Costo		1	0	0	1	3	0,2
Montaje	0		1	0,5	0,5	3	0,2
Mantenimiento	1	0		0	0	2	0,133
Diseño	1	0,5	1		1	4,5	0,3
Construcción	0	0,5	1	0		2,5	0,167
					Σ	15	1

Fuente: [Autor]

En las tablas siguientes, de la 38 a la 42 se presenta la ponderación individual de cada criterio que se evalúa para determinar la mejor solución de un colector adecuado para la máquina.

Tabla 38. Evaluación de criterios de costos para el colector

Costo	Alternativa A= Alternativa B> Alternativa C> Alternativa D					
	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Alternativa D	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa A		0,5	1	1	3,5	0,35
Alternativa B	0,5		1	1	3,5	0,35
Alternativa C	0	0		1	2	0,2
Alternativa D	0	0	0		1	0,1
				Σ	10	1

Fuente: [Autor]

Tabla 39. Evaluación de criterios de montaje para el colector

Montaje	Alternativa A> Alternativa > Alternativa C= Alternativa D					
	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Alternativa D	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa A		1	1	1	4	0,4
Alternativa B	0		1	1	3	0,3
Alternativa C	0	0		0,5	1,5	0,15
Alternativa D	0	0	0,5		1,5	0,15
				Σ	10	1

Fuente: [Autor]

Tabla 40. Evaluación de criterios de mantenimiento para el colector

Mantenimiento	Alternativa A= Alternativa B> Alternativa C= Alternativa D					
	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Alternativa D	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa A		0,5	1	1	3,5	0,35
Alternativa B	0,5		1	1	3,5	0,35
Alternativa C	0	0		0,5	1,5	0,15
Alternativa D	0	0	0,5		1,5	0,15
				Σ	10	1

Fuente: [Autor]

Tabla 41. Evaluación de criterios de diseño para el colector

Diseño	Alternativa A> Alternativa B> Alternativa C= Alternativa D					
	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Alternativa D	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa A		1	1	1	4	0,4
Alternativa B	0		1	1	3	0,3
Alternativa C	0	0		0,5	1,5	0,15
Alternativa D	0	0	0,5		1,5	0,15
				Σ	10	1

Fuente: [Autor]

Tabla 42. Evaluación de criterios de construcción para el colector

Construcción	Alternativa A > Alternativa B = Alternativa C = Alternativa D					
	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Alternativa D	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa A		1	1	1	4	0,4
Alternativa B	0		0,5	0,5	2	0,2
Alternativa C	0	0,5		0,5	2	0,2
Alternativa D	0	0,5	0,5		2	0,2
				Σ	10	1

Fuente: [Autor]

Los resultados que se obtuvieron de la evaluación de criterios se presentan en la tabla 43, la misma que nos indica que la solución A es la más adecuada para la construcción de la máquina, indicando que tendrá un funcionamiento ideal al momento de realizar el proceso de electrohilado.

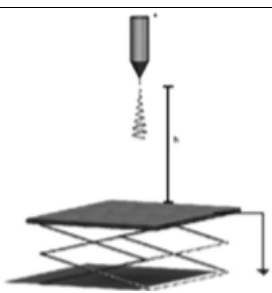
Tabla 43. Resultados de la evaluación de criterios para el colector

Conclusión	Costo	Montaje	Mantenimiento	Diseño	Construcción	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa A	0,07	0,08	0,047	0,12	0,07	1,38	1
Alternativa B	0,07	0,06	0,047	0,09	0,03	1,3	2
Alternativa C	0,04	0,03	0,02	0,045	0,03	1,168	3
Alternativa D	0,02	0,03	0,02	0,045	0,03	1,148	4

Fuente: [Autor]

El colector que se ha seleccionado por medio de la evaluación de alternativas posee características que se muestra en la tabla 44.

Tabla 44. Características del colector.

Características		
	Dimensiones	20 x 30 cm
	Material	Acero galvanizado
	Distancia aguja/colector	Max: 25 cm, Min: 15 cm
	Función principal	Recolector de fibras

Fuente: [Autor]

3.3.3. Evaluación de alternativas para el sistema de inyección de la solución polimérica

Para la construcción de la máquina es necesario poseer un sistema de inyección, encargado de enviar la solución polimérica a la aguja, con una presión constante de 0,9 ml/h para que no exista ningún inconveniente al realizar el proceso de electrohilado, para eso se ha definido los siguientes criterios:

- **Costo:** Este criterio se basa en evaluar el costo-beneficio de utilizar este equipo en la máquina.
- **Montaje:** El equipo que se seleccione debe cumplir con un montaje y desmontaje fácil para que pueda realizarlo el usuario.
- **Mantenimiento:** La durabilidad del equipo a lo largo del tiempo, por la manera de utilizarlo debe ser un criterio a evaluar, al mismo tiempo debe tener materiales fáciles de encontrar en el mercado cuando se necesite realizar algún tipo de mantenimiento.
- **Diseño:** El criterio debe estar evaluado en función de las dimensiones, ya que no se necesita en equipo que ocupe un espacio innecesario dentro de la máquina.
- **Construcción:** Para realizar la construcción del equipo se debe tener en cuenta que el materias exista en el mercado, para no tener ningún tipo de inconveniente.
- **Fiabilidad:** Es el criterio más importante puesto que es necesario tener la mejor fiabilidad del equipo, llegando a cumplir con los objetivos necesarios en la construcción de la máquina y al realizar el proceso de electrohilado.

En la tabla 45 se indica la matriz de criterios más importantes para este caso, que van a ser evaluadas de manera individual para tener una mejor apreciación de cada criterio, con el fin de llegar a la solución más adecuada, con el fin de evitar inconvenientes a largo plazo.

Tabla 45. Criterios de selección del sistema de inyección polimérica.

Costo>Montaje>Mantenimiento=Diseño>Construcción<Fiabilidad								
Criterios de selección	Costo	Montaje	Mantenimiento	Diseño	construcción	Fiabilidad	$\Sigma + 1$	Ponderación
Costo		1	1	1	1	0	5	0,238
Montaje	0		0,5	1	0,5	0	3	0,143
Mantenimiento	0	0,5		0,5	0,5	0	2,5	0,119
Diseño	0	0	0,5		1	0	2,5	0,119
Construcción	0	0,5	0,5	0		0	2	0,095
Fiabilidad	1	1	1	1	1		6	0,286
						Σ	21	1

Fuente: [Autor]

Desde la tabla 46 a la tabla 51 se presentan la evaluación de los criterios.

Tabla 46. Evaluación de criterios de costo para el sistema de inyección.

Costo	Alternativa A> Alternativa B> Alternativa C				
	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa A		1	1	3	0,462
Alternativa B	0,5		1	2,5	0,385
Alternativa C	0	0		1	0,153
			Σ	6,5	1

Fuente: [Autor]

Tabla 47. Evaluación de criterios de montaje para el sistema de inyección.

Montaje	Alternativa A< Alternativa B> Alternativa C				
	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa A		0	1	2	0,333
Alternativa B	1		1	3	0,5
Alternativa C	0	0		1	0,167
			Σ	6	1

Fuente: [Autor]

Tabla 48. Evaluación de criterios de mantenimiento para el sistema de inyección.

Mantenimiento	Alternativa A< Alternativa B> Alternativa C				
	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa A		0	0	1	0,167
Alternativa B	1		1	3	0,5
Alternativa C	1	0		2	0,333
			Σ	6	1

Fuente: [Autor]

Tabla 49. Evaluación de criterios de diseño para el sistema de inyección.

Diseño	Alternativa A < Alternativa B = Alternativa C				
	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa A		0	0	1	0,167
Alternativa B	1		0,5	2,5	0,416
Alternativa C	1	0,5		2,5	0,416
			Σ	6	1

Fuente: [Autor]

Tabla 50. Evaluación de criterios de construcción para el sistema de inyección.

Construcción	Alternativa A < Alternativa B > Alternativa C				
	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa A		0	0	1	0,167
Alternativa B	1		1	3	0,5
Alternativa C	1	0		2	0,333
			Σ	6	1

Fuente: [Autor]

Tabla 51. Evaluación de criterios de fiabilidad para el sistema de inyección.

Fiabilidad	Alternativa A < Alternativa B = Alternativa C				
	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa A		0	0	1	0,167
Alternativa B	1		0,5	2,5	0,417
Alternativa C	1	0,5		2,5	0,417
			Σ	6	1

Fuente: [Autor]

En la tabla 52 se encuentra la solución más factible después de analizar cada criterio de manera individual, llegando a la conclusión de que la solución B es la seleccionada para la construcción de la máquina.

Tabla 52. Resultados de la evaluación de criterios para el sistema de inyección

Criterios de selección	Costo	Montaje	Mantenimiento	Diseño	Construcción	Fiabilidad	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa A	0,11	0,047	0,019	0,019	0,015	0,047	1,26	3
Alternativa B	0,09	0,071	0,059	0,049	0,047	0,119	1,43	1
Alternativa C	0,03	0,024	0,039	0,049	0,031	0,119	1,3	2

Fuente: [Autor]

El sistema de inyección polimérica seleccionada es neumática, consta de un minicilindro con carrera de 50 mm y una jeringa de 10 ml que corresponde de manera adecuada a la carrera del minicilindro. La selección del minicilindro fue por medio de la figura 53, que muestra las dimensiones que posee.

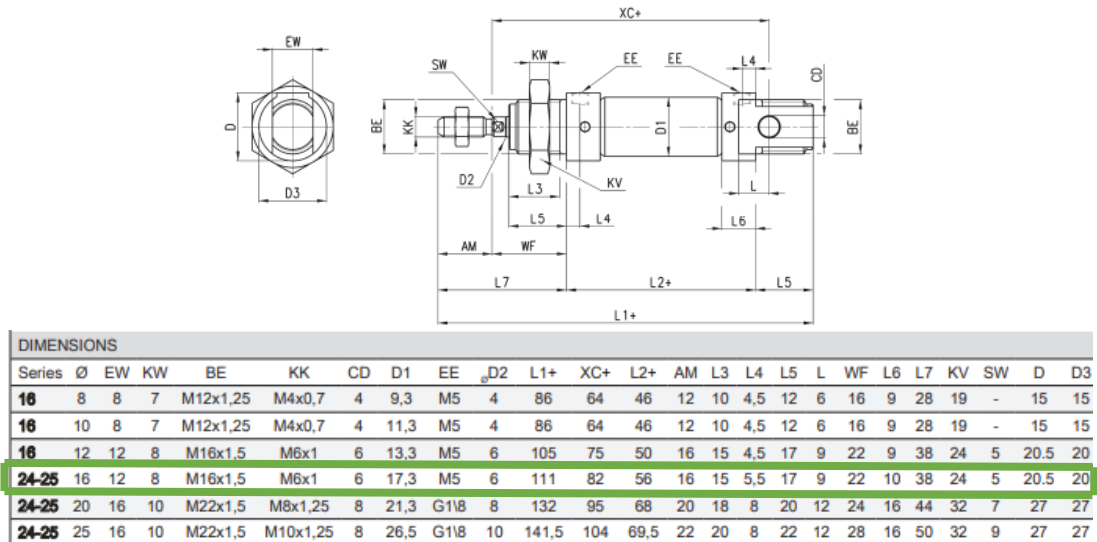


Figura 53. Dimensiones utilizadas para la selección del minicilindro neumático. [18]

La tabla 53 muestra las principales características que posee el minipistón que se ha seleccionado.

Tabla 53. Características del minicilindro de 50 mm de carrera.

Características generales	
Tipo de construcción	compacto sellado
Funcionamiento	doble efecto
Materiales	cabezales AL anodizado - vástago y camisa INOX - pistón AL
Sujeción	tuerca - brida - pies - basculante
Carreras min - Max	50 mm
Diámetro	serie 16= 8 mm
Temperatura	0°C - 80°C (con aire seco -20°C)
Presión de trabajo	1 - 10 bar
Fluido	Aire filtrado
	Sin lubricación.

Fuente: [Autor]

3.3.4. Evaluación de alternativas para el sistema de elevación del colector

Para la construcción de la máquina es necesario tener un sistema de elevación del colector, con el fin de tener variables de distancias al momento de obtener la nanofibra, para ello se toman los siguientes criterios para ser evaluados y obtener un sistema de elevación acorde con las necesidades del usuario:

- **Costo:** En este criterio la parte fundamental que se evalúa es el costo-beneficio del equipo seleccionado.
- **Montaje:** Seleccionar la solución más factible que facilite un montaje o desmontaje del equipo, como se ha dicho en los criterios anteriores.
- **Mantenimiento:** Al igual que el criterio evaluado anteriormente se busca un equipo que cumpla con una excelente durabilidad a lo largo del tiempo, con una buena vida útil, llegando a tener mejores resultados al realizar el proceso de electrohilado.
- **Diseño:** El diseño del equipo que se vaya a utilizar debe ser lo más compacto posible para que la máquina no posea un tamaño inapropiado.
- **Construcción:** Los materiales deben ser encontrados en el comercio nacional, evitando importaciones, evitando tiempo de espera, agilizando la construcción del sistema de elevación.
- **Fiabilidad:** Este criterio es el más importante al momento de seleccionar una alternativa, puesto que se debe tener un sistema adecuado que no presente ninguna falla o anomalía al momento de poner en funcionamiento.

En la tabla 54 se presentan los criterios más relevantes para evaluar y llegar a tener una solución adecuada para ensamblar en la máquina de electrohilado.

Cada uno de los criterios va a ser evaluado de forma individual, con el fin de llegar a la solución más adecuada, evitando cualquier tipo de inconvenientes en un futuro.

Tabla 54. Criterios de selección del sistema de elevación del colector.

Costo>Montaje=Mantenimiento<Diseño>Construcción<Fiabilidad								
Criterios de selección	Costo	Montaje	Mantenimiento	Diseño	Construcción	Fiabilidad	$\Sigma + 1$	Ponderación
Costo		1	1	1	1	0	5	0,238
Montaje	0		0,5	0,5	0,5	0	2,5	0,119
Mantenimiento	0	0,5		0,5	0,5	0	2,5	0,119
Diseño	0	0,5	0,5		1	0	3	0,143
Construcción	0	0,5	0,5	0		0	2	0,095
Fiabilidad	1	1	1	1	1		6	0,286
						Σ	21	1

Fuente: [Autor]

Desde la tabla 55 a la tabla 60, se indica de manera más detallada la evaluación de cada criterio considerado como más importante para este caso.

Tabla 55. Evaluación de criterios de costo para el sistema de elevación del colector.

Costo	Alternativa A< Alternativa B> Alternativa C				
	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa A		0	0,5	1,5	0,25
Alternativa B	1		1	3	0,5
Alternativa C	0,5	0		1,5	0,25
			Σ	6	1

Fuente: [Autor]

Tabla 56. Evaluación de criterios de montaje para el sistema de elevación del colector.

Montaje	Alternativa A< Alternativa B> Alternativa C				
	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa A		0	0	1	0,167
Alternativa B	1		1	3	0,5
Alternativa C	1	0		2	0,333
			Σ	6	1

Fuente: [Autor]

Tabla 57. Evaluación de criterios de mantenimiento para el sistema de elevación del colector.

Mantenimiento	Alternativa A < Alternativa B > Alternativa C				
	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa A		0	0,5	1,5	0,25
Alternativa B	1		1	3	0,5
Alternativa C	0,5	0		1,5	0,25
			Σ	6	1

Fuente: [Autor]

Tabla 58. Evaluación de criterios de diseño para el sistema de elevación del colector.

Diseño	Alternativa A < Alternativa B > Alternativa C				
	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa A		0	0,5	1,5	0,25
Alternativa B	1		1	3	0,5
Alternativa C	0,5	0		1,5	0,25
			Σ	6	1

Fuente: [Autor]

Tabla 59. Evaluación de criterios de construcción para el sistema de elevación del colector.

Construcción	Alternativa A < Alternativa B > Alternativa C				
	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa A		0	1	2	0,333
Alternativa B	1		1	3	0,5
Alternativa C	0	0		1	0,167
			Σ	6	1

Fuente: [Autor]

Tabla 60. Evaluación de criterios de fiabilidad para el sistema de elevación del colector.

Fiabilidad	Alternativa A < Alternativa B > Alternativa C				
	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa A		0	0	1	0,167
Alternativa B	1		1	3	0,5
Alternativa C	1	0		2	0,333
			Σ	6	1

Fuente: [Autor]

La tabla 61 muestra la matriz de resultados, indicando que la solución B es la más óptima para este caso.

Tabla 61. Resultados de la evaluación de criterios del sistema de elevación del colector

Criterios de selección	Costo	Montaje	Mantenimiento	Diseño	construcción	fiabilidad	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa A	0,059	0,019	0,029	0,035	0,031	0,047	1,224	3
Alternativa B	0,119	0,059	0,059	0,071	0,047	0,142	1,499	1
Alternativa C	0,059	0,039	0,029	0,035	0,015	0,095	1,275	2

Fuente: [Autor]

Para la elevación del colector se ha seleccionado un minicilindro que cumple con una carrera de 150 mm, siendo la distancia necesaria en a que la solución polimérica reacciona al voltaje de la fuente de alta tensión. Para poder seleccionar el minicilindro se utiliza la figura 54 en donde se presentan las dimensiones del mismo.

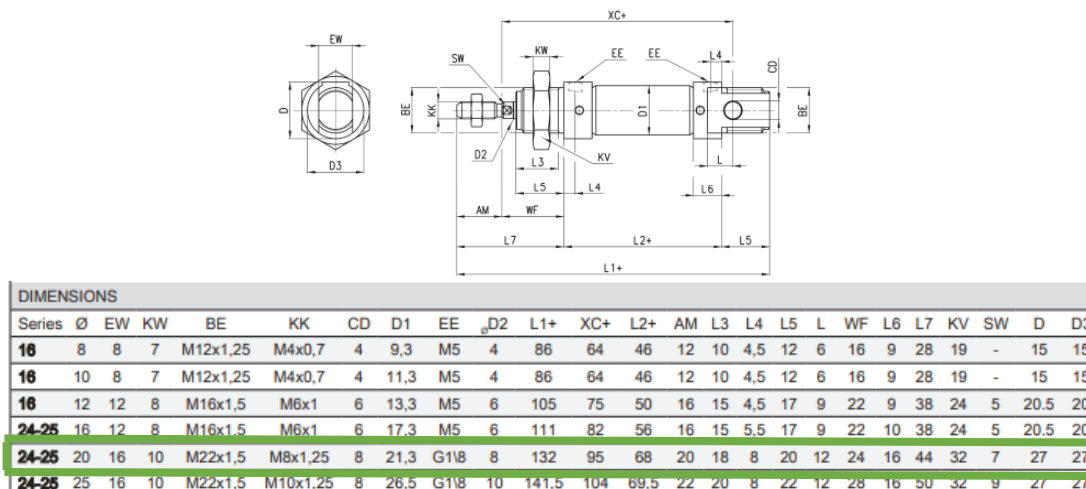


Figura 54. Dimensiones del minicilindro carrera de 150 mm. [18]

La tabla 62 muestra las principales características que posee el minipistón que se ha seleccionado.

Tabla 62. Características principales del minicilindro de carrera 150 mm.

Características generales	
Tipo de construcción	compacto sellado
Funcionamiento	doble efecto
Materiales	cabezales AL anodizado - vástago y camisa INOX - pistón AL
Sujeción	tuerca - brida - pies - basculante
Carreras min - Max	150 mm
Diámetro	serie 25 = 8 mm
Temperatura	0°C - 80°C (con aire seco -20°C)
Presión de trabajo	1 - 10 bar
Fluido	Aire filtrado
	Sin lubricación.

Fuente: [Autor]

3.3.5. Evaluación de alternativas para el sistema electrónico de control

El sistema electrónico de control es muy importante para que se mueva el colector y empiece a inyectar la solución polimérica. Para seleccionar la solución más óptima se tomó en cuenta los siguientes criterios:

- **Costo:** Este criterio a evaluar se basa en el costo-beneficio al momento de adquirir el equipo que sea seleccionado.
- **Montaje:** El equipo que sea seleccionado debe tener una buena disponibilidad al momento de ser montado en la estructura de la máquina, de la misma forma debe tener la mejor comodidad al momento de desmontar.
- **Mantenimiento:** Se debe seleccionar un dispositivo que sea fácil de realizar un mantenimiento, al igual que cumpla con una vida útil aceptable, también se busca un equipo que posea elementos fáciles de adquirir en cualquier momento, es decir que existan en el mercado.
- **Dimensiones:** Este criterio es importante en la construcción de la máquina, al igual que el control con el dispositivo que se vaya a seleccionar, ya que se debe disponer de un dispositivo que se acople a la máquina sin utilizar mucho espacio.
- **Software:** Es necesario tener un buen software de programación para controlar la máquina con mayor facilidad y sin tener ningún tipo de inconveniente al adquirir el mismo.
- **Fiabilidad:** Este criterio al igual que la evaluación que se hizo anteriormente busca en adquirir un equipo que brinde la mejor confianza al momento de utilizarlo.

En la tabla 63 se presentan los criterios más importantes que se van a evaluar de manera individual con el fin de seleccionar la mejor solución que acople a la máquina que se vaya a construir, llegando a evitar cualquier tipo de inconveniente que se pueda presentar al adquirir el equipo de control.

Tabla 63. Criterios de selección del sistema electrónico de control.

Costo<Montaje>Mantenimiento>Dimensiones<Software<Fiabilidad								
Criterios de selección	Costo	Montaje	Mantenimiento	Dimensiones	Software	Fiabilidad	$\Sigma + 1$	Ponderación
Costo		1	0,5	0	0,5	0	3	0,142
Montaje	0		0,5	1	1	0	3,5	0,167
Mantenimiento	0,5	0,5		0,5	0,5	0	3	0,142
Dimensiones	1	0	0,5		0	0	2,5	0,119
Software	0,5	0	0,5	1		0	3	0,142
Fiabilidad	1	1	1	1	1		6	0,286
							Σ	21
								1

Fuente: [Autor]

Desde la tabla 64 a la tabla 69 se presenta el criterio evaluados de manera individual, con el fin de tener una mejor selección final del equipo.

Tabla 64. Evaluación de criterios de costo para el sistema electrónico de control.

Costo	Alternativa A< Alternativa B			
	Alternativa A	Alternativa B	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa A		0	1	0,333
Alternativa B	1		2	0,667
			Σ	3
				1

Fuente: [Autor]

Tabla 65. Evaluación de criterios de montaje para el sistema electrónico de control.

Montaje	Alternativa A= Alternativa B			
	Alternativa A	Alternativa B	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa A		0,5	1,5	0,5
Alternativa B	0,5		1,5	0,5
			Σ	3
				1

Fuente: [Autor]

Tabla 66. Evaluación de criterios de mantenimiento para el sistema electrónico de control.

Mantenimiento	Alternativa A< Alternativa B			
	Alternativa A	Alternativa B	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa A		0	1	0,333
Alternativa B	1		2	0,667
			Σ	3
				1

Fuente: [Autor]

Tabla 67. Evaluación de criterios de dimensiones para el sistema electrónico de control.

Dimensiones	Alternativa A < Alternativa B			
	Alternativa A	Alternativa B	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa A		0	1	0,333
Alternativa B	1		2	0,667
		Σ	3	1

Fuente: [Autor]

Tabla 68. Evaluación de criterios del software para el sistema electrónico de control.

Software	Alternativa A < Alternativa B			
	Alternativa A	Alternativa B	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa A		0	1	0,333
Alternativa B	1		2	0,667
		Σ	3	1

Fuente: [Autor]

Tabla 69. Evaluación de criterios de fiabilidad para el sistema electrónico de control.

Fiabilidad	Alternativa A < Alternativa B			
	Alternativa A	Alternativa B	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa A		1	2	0,667
Alternativa B	0		1	0,333
		Σ	3	1

Fuente: [Autor]

La tabla 70 presenta la matriz de resultados, que indica que la solución B es la mejor adquisición para la construcción de la máquina de electrohilado.

Tabla 70. Resultados de la evaluación de criterios para el sistema electrónico de control.

Criterios de selección	Costo	Montaje	Mantenimiento	Dimensiones	Software	Fiabilidad	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa A	0,047	0,083	0,047	0,039	0,047	0,190	1,456	2
Alternativa B	0,095	0,083	0,095	0,079	0,095	0,095	1,543	1

Fuente: [Autor]

En la tabla 71 se presentan las principales características que posee el equipo seleccionado en la alternativa B.

Tabla 71. Características del equipo arduino.

Características	
Microcontrolador	ATmega328
Voltaje operativo	5v
Voltaje de entrada	7 – 12 v
Pines de entrada/salida digital	14(de las cuales son salidas PWM)
Pines de entrada analógicas	6
Memoria flash	32 KB (ATmega328) de los cuales 0,5 KB es usado por Bootloader.
SRAM	2KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Velocidad del reloj	16 MHz

Fuente: [Autor]

3.4. Resumen de criterios

En la tabla 72 se presenta el resumen de los resultados de materiales y selección de alternativas a utilizar en la construcción de la máquina de electrohilado.

Tabla 72. Resumen de resultados y selección de alternativas.

	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Alternativa D
Fuente de alta tensión	LSP-20kV 20kV de alta tensión de alimentación	Transformador trifásico 75kVA-15kV	Positivo max 35 kV de alta tensión de la fuente de alimentación para el electrospinning.	Fuente de alimentación de alto voltaje generador estática electrospinning 15 kV
Colector	Colector conductor plano	Colector rotatorio	Colector de placas paralelas	Colector de punta
Sistema de inyección de la solución polimérica	sistema manual	Semiautomático	Bomba inyectora para electrospinning	-
Sistema de elevación del colector	Elevación hidráulica	Elevación neumática	Elevación por un sistema eléctrico	-
Sistema electrónico de control	Control por PLC	Control por arduino	-	-

Fuente: [Autor]

Según la evaluación de los criterios se llegó a la selección final de una solución que vaya acorde a la necesidad de la máquina que se desea construir, con la cual se obtendrán fibras de diferentes tipos.

3.5. Diseño de elementos

Para el diseño de elementos de la máquina se realiza por partes o sistemas como: la estructura e soporte, el sistema de elevación y el sistema de inyección polimérica, los mismos que fueron aprobadas por la selección de alternativas.

3.5.1. Estructura de la máquina

La estructura será construida por perfilaría de aluminio, la misma que consta de tres niveles como se puede visualizar en la figura 55, los cuales van a estar separados por un corte de acrílico con el fin de aislar la corriente eléctrica que se va a utilizar en la máquina, reduciendo el riesgo eléctrico para el operario. En la parte inferior es donde se va a ubicar la fuente de alta tensión, el panel de control y la electroválvula que va a ser utilizada para accionar el pistón que sostiene el colector.

En la parte media es donde se realiza el proceso de electrohilado, el cual está la mesa que sirve de colector de la fibra, también se encuentra la aguja por donde va a salir la solución polimérica. Y por último se tiene la parte superior en la cual se va a poner el sistema de inyección de la solución polimérica con la electroválvula.

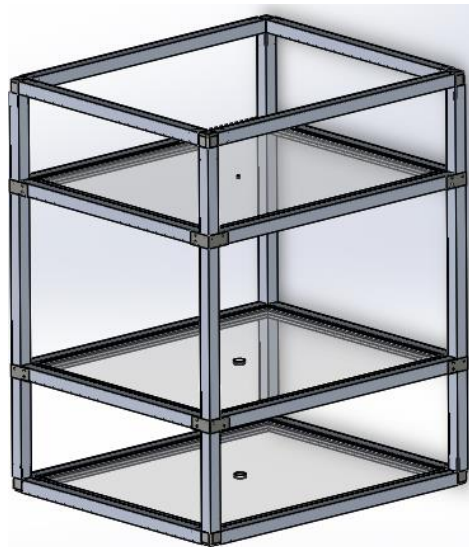


Figura 55. Estructura de aluminio
Fuente [Autor]

3.5.2. Cálculo estructural

Se presenta los cálculos de vigas en las partes más críticas que se consideraron, con el fin de hacer una selección del perfil, la deformación máxima que puede tener y el factor de seguridad.

3.5.2.1. Diseño de elementos de la estructuras

Datos para la carga de la viga crítica de mayor longitud:

En la figura 56 se indica la viga más crítica que va a ser analizada a continuación.

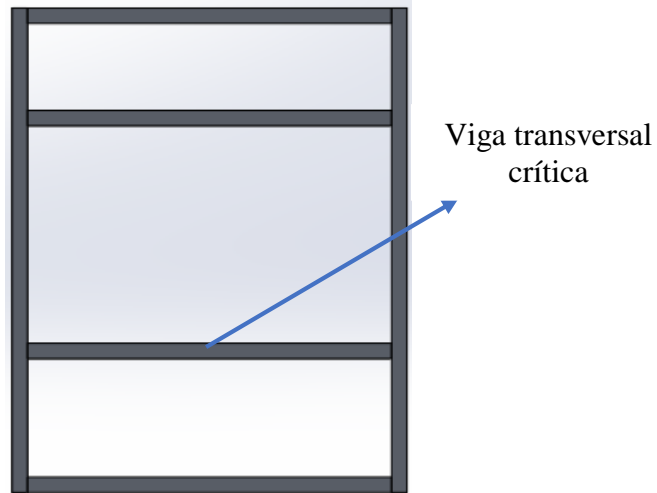


Figura 56. Viga crítica de la estructura.

Fuente: [Autor]

- **Carga crítica:** peso $[w] = 32$ [kg]
- **Longitud [L]:** $L = 602$ [mm] = 60,2 [cm]
- **Carga distribuida:**

$$q = \frac{\text{Peso [kg]}}{\text{Longitud [cm]}}$$

$$q = \frac{32 \text{ [kg]}}{60,2 \text{ [cm]}}$$

$$q = 0,53 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

- **Límite de fluencia del aluminio 6063-T1 [Sy]:**

$$F_y = S_y = 5,6 \left[\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right] = 560 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

- **Factor de diseño:** $\eta_d = 1,5$

Diagrama de cuerpo libre de la viga.

La figura 57 se indica el diagrama de cuerpo libre y momento flector de la viga que se va a analizar con el fin de indicar las cargas que posee.

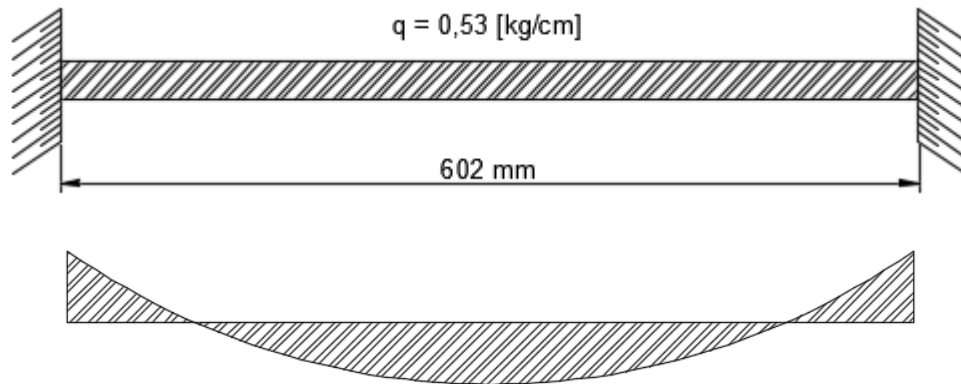


Figura 57. Diagrama de cuerpo libre y momento flector.
Fuente: [Autor]

Cálculo del momento crítico.

La figura 57 muestra una viga sometida a flexión, con lo cual se procede a solucionar sacando el momento crítico con la ecuación 1.

$$M = \frac{qL^2}{12} \quad \text{Ec 1.}$$

Donde:

M = Momento crítico [kg*cm].

q = Carga distribuida [kg/cm].

L = Longitud [cm]

Solución:

$$M = \frac{0,53 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}} \right] * (60,2[\text{cm}])^2}{12}$$

$$\mathbf{M = 160,06[\text{kg} * \text{cm}]}$$

Cálculo del esfuerzo permisible.

Al tener un factor de diseño de 1,5 se presenta la ecuación 2.

$$F_b = 0,66 * F_y \quad \text{Ec 2.}$$

Donde:

F_b = Esfuerzo permisible [kg/cm²]

$F_y = S_y$ = Limite de fluencia [kg/cm²]

Solución:

$$F_b = 0,66 * \left(560 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right] \right)$$

$$\mathbf{F_b = 369,6 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]}$$

Cálculo del módulo de sección

$$S_x = \frac{M}{F_b} \quad \text{Ec 3.}$$

Donde:

S_x = Módulo de sección [cm³]

M = Momento crítico [kg*cm]

F_b = Esfuerzo permisible [kg/cm²]

Solución:

$$S_x = \frac{160,06[\text{kg} * \text{cm}]}{369,6 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]}$$

$$\mathbf{S_x = 0,43[\text{cm}^3]}$$

Selección del perfil

Con el módulo de sección $S_x = 0,43 \text{ [cm}^3\text{]}$, se ingresa al catálogo disponible de CEDAL que se visualiza en la figura 58, con el fin de hacer la mejor elección de un perfil para la construcción de la estructura.

A mm	ESPESOR mm	PESO Kg/m	AREA cm ²	I cm ⁴	W cm ³	i cm
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
25	0,8	0,61	0,77	0,76	0,61	0,99

Figura 58. Perfiles cuadrados. [19]

Conociendo que $S_x = W$

Entonces: $W \text{ calculado} < W \text{ requerido}$

$$0,43 < 0,61 \text{ OK}$$

Con el cálculo mostrado anteriormente se procede a seleccionar un perfil cuadrado de 25 mm, lo que conlleva a un perfil de aproximadamente 1" con un espesor de 0,8 mm.

Datos para la carga de la viga crítica de menor longitud:

En la figura 59 se presenta la viga de menor longitud que va a soportar el peso crítico de 32 [kgf].

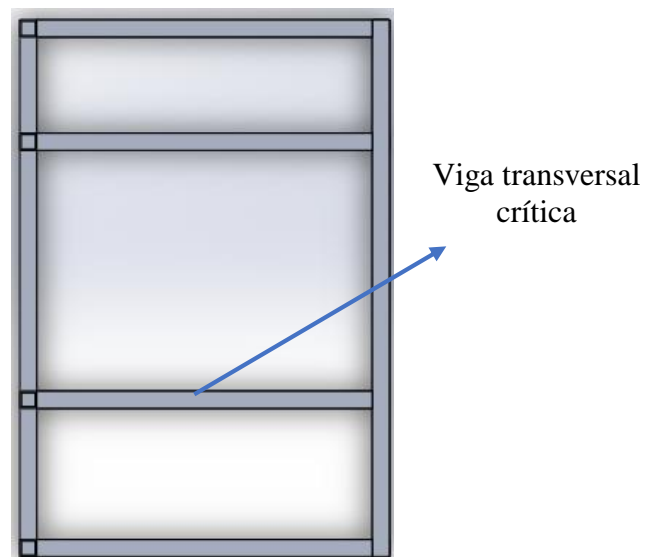


Figura 59. Viga transversal de menor longitud.

Fuente: [Autor]

- **Carga crítica:** peso $[w] = 32 \text{ [kg]}$
- **Longitud [L]:** $L = 502 \text{ [mm]} = 50,2 \text{ [cm]}$
- **Carga distribuida:**

$$q = \frac{\text{Peso [kg]}}{\text{Longitud [cm]}}$$

$$q = \frac{32 \text{ [kg]}}{50,2 \text{ [cm]}}$$

$$q = 0,64 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

- **Límite de fluencia del aluminio 6063-T1 [Sy]:**

$$F_y = S_y = 5,6 \left[\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right] = 560 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

- **Factor de diseño:** $\eta_d = 1,5$

Diagrama de cuerpo libre de la viga.

La figura 60 se indica el diagrama de cuerpo libre y momento flector de la viga que se va a analizar con el fin de indicar las cargas que posee.

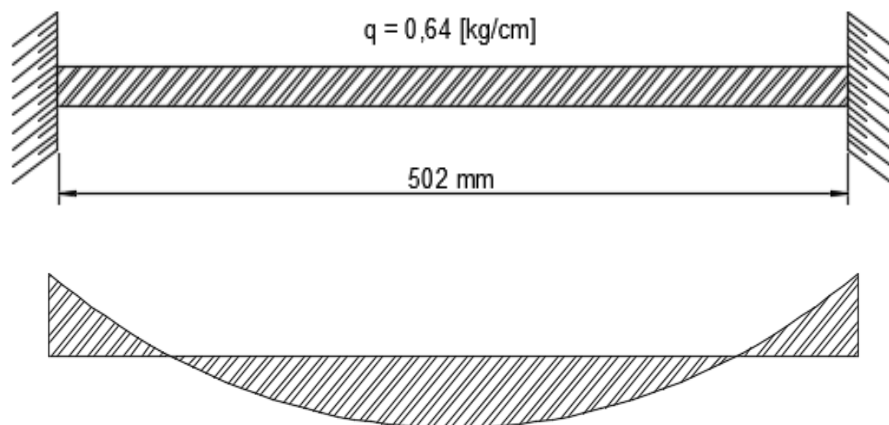


Figura 60. Diagrama de cuerpo libre y momento flector.
Fuente: [Autor]

Cálculo del momento crítico.

La figura 60 muestra una viga sometida a flexión, con lo cual se procede a solucionar sacando el momento crítico con la ecuación 1.

$$M = \frac{qL^2}{12} \quad \text{Ec 1.}$$

Donde:

M = Momento crítico [kg*cm].

q = Carga distribuida [kg/cm].

L = Longitud [cm]

Solución:

$$M = \frac{0,64 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}} \right] * (50,2[\text{cm}])^2}{12}$$

$$\mathbf{M = 134,4[\text{kg} * \text{cm}]}$$

Cálculo del esfuerzo permisible.

Al tener un factor de diseño de 1,5 se presenta la ecuación 2.

$$F_b = 0,66 * F_y \quad \text{Ec 2.}$$

Donde:

F_b = Esfuerzo permisible [kg/cm²]

F_y = S_y = Limite de fluencia [kg/cm²]

Solución:

$$F_b = 0,66 * \left(560 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right] \right)$$

$$\mathbf{F_b = 369,6 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]}$$

Cálculo del módulo de sección

$$S_x = \frac{M}{F_b} \quad \text{Ec 3.}$$

Donde:

S_x = Módulo de sección [cm^3]

M = Momento crítico [$\text{kg} \cdot \text{cm}$]

F_b = Esfuerzo permisible [kg/cm^2]

Solución:

$$S_x = \frac{134,4 [\text{kg} \cdot \text{cm}]}{369,6 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]}$$

$$S_x = 0,36 [\text{cm}^3]$$

Selección del perfil

Con el módulo de sección $S_x = 0,36 [\text{cm}^3]$, se ingresa al catálogo disponible de CEDAL que se visualiza en la figura 61, con el fin de hacer la mejor elección de un perfil para la construcción de la estructura.

A mm	ESPESOR mm	PESO Kg/m	AREA cm ²	I cm ⁴	W cm ³	i cm
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
25	0,8	0,61	0,77	0,76	0,61	0,99

Figura 61. Perfiles cuadrados. [19]

Conociendo que $S_x = W$

Entonces: W calculado < W requerido

$$0,36 < 0,61 \text{ OK}$$

Con el cálculo mostrado anteriormente se procede a seleccionar un perfil cuadrado de 25 mm, lo que conlleva a un perfil de aproximadamente 1" con un espesor de 0,8 mm.

Cálculo de la columna crítica de la estructura

La figura 62 indica la columna que se va a analizar para determinar el tipo de perfil que va a ser utilizado en la construcción de la máquina.

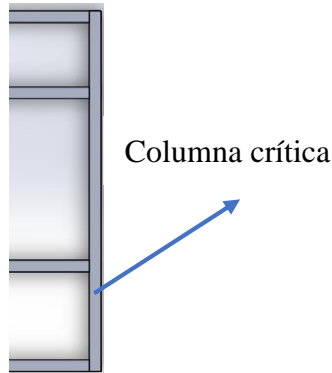


Figura 62. Columna crítica.

Fuente: [Autor]

- **Carga crítica:** peso $[w] = 32 \text{ [kg]}$
- **Longitud [L]:** $L = 752 \text{ [mm]} = 75,2 \text{ [cm]}$
- **Límite de fluencia del aluminio 6063-T1 [Sy]:**

$$F_y = S_y = 5,6 \left[\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right] = 560 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right] = 9,96 \text{ [ksi]}$$

- **Factor de diseño:** $\eta_d = 1,5$
- **Factor K**

Tabla 5.1 Valores aproximados del factor de longitud efectiva, K .						
Las líneas punteadas muestran la forma pandeada de la columna	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Valor K teórico	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Valores recomendados de diseño cuando las condiciones reales son aproximadas	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0

Figura 63. Valor K para cálculo de columnas. [28]

$$K = 0,5$$

- Con la Relación de Esbeltez $KL/r = 38$

Diagrama de cuerpo libre de la viga.

La figura 64 se indica el diagrama de cuerpo libre de la columna que se va a analizar con el fin de seleccionar un perfil adecuado.

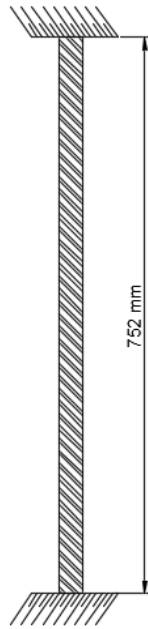


Figura 64. Valor K para cálculo de columnas.
Fuente: [Autor]

Cálculo del esfuerzo permisible F_a

Con un límite de fluencia $F_y = 9,96$ [ksi] se obtiene un valor de $F_a = 5,33$ [ksi]

Cálculo de la sección admisible

$$A = \frac{P}{F_a}$$

Donde:

A = Sección admisible [cm²]

P = Carga requerida [lb]

F_a = Esfuerzo permisible [ksi]

Solución:

$$A = \frac{70,4[\text{lb}]}{5,33[\text{ksi}]}$$

$$A = 0,013 [\text{in}^2] = 0,085[\text{cm}^2]$$

Con el esfuerzo permisible calculado se procede a seleccionar el siguiente perfil:

A mm	ESPESOR mm	PESO Kg/m	AREA cm ²	I cm ⁴	W cm ³	i cm
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
25	0,8	0,61	0,77	0,76	0,61	0,99

Figura 65. Perfiles cuadrados. [19]

Cálculo de la deformación crítica

La deformación se analiza en la columna crítica que se indica en la figura 57, la cual es la que posee mayor longitud, por lo que tendrá mayor riesgo de deformación al momento de soportar algún tipo de carga, para ello se tiene la ecuación 4:

$$\delta = \frac{5qL^4}{384EI} \quad \text{Ec 4.}$$

Donde:

q = Carga distribuida [kg/cm]

L = Longitud crítica de la viga [cm]

E = Modulo de elasticidad [kg/cm²]

I = Momento de inercia [cm⁴]

Solución:

$$E = 69500 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$$

$$\text{Si: } 9,81 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right] = 1 \left[\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right]$$

$$\text{Entonces: } E = 7484,61 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right] = 748460 \left[\frac{\text{N}}{\text{cm}^2} \right]$$

$$I = \frac{a^4}{12}$$

$$I = \frac{(2,54)^4}{12}$$

$$I = 3,47 [\text{cm}^4]$$

$$\delta = \frac{5(0,53)(60,2)^4}{384(748460)(3,47)}$$

$$\delta = 0,037 [\text{cm}] = 0,37 [\text{mm}]$$

Cálculo del factor de seguridad (FDS)

Está determinada por la ecuación 5.

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma} \quad \text{Ec 4.}$$

Donde:

η = Es el factor de seguridad

S_y = Limite de fluencia del aluminio [kg/cm^2]

σ = Esfuerzo [kg/cm^2]

Solución:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

F = Fuerza [kgf]

A = Área del perfil seleccionado [cm^2]

$$\sigma = \frac{32 [\text{kgf}]}{0,77 [\text{cm}^2]}$$

$$\sigma = 41,56 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

Entonces:

$$\eta = \frac{560 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]}{41,56 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]}$$

$$\eta = 13,47$$

3.5.3. Análisis estático de la estructura por medio de un software

Para realizar el análisis estático se tomó en cuenta el peso del vidrio, el peso del acrílico con lo cual se llegó a obtener una fuerza de 32 kgf como se muestra en la figura 66.

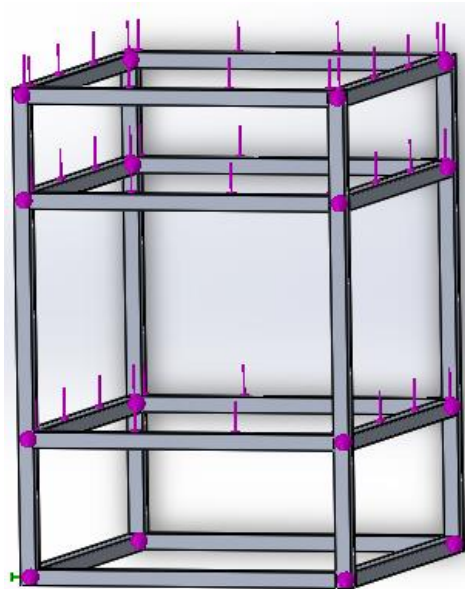


Figura 66. Fuerza aplicada en la estructura.
Fuente: [Autor]

3.5.3.1. Tensión axial y de flexión

En la figura 67 se muestra el análisis realizado en un software, que nos indica la tensión máxima que puede tener la máquina, para las cargas estipuladas de 32 kgf, con pesos y fuerzas calculadas.

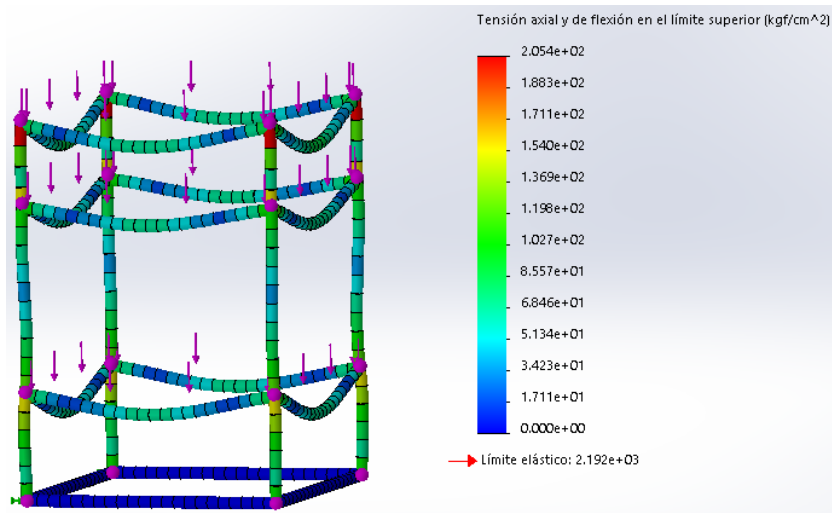


Figura 67. Análisis de tensiones.
Fuente: [Autor]

3.5.3.2. Desplazamiento

Este resultado que se muestra en la figura 68 nos indica el desplazamiento máximo que va a tener la máquina con la fuerza aplicada.

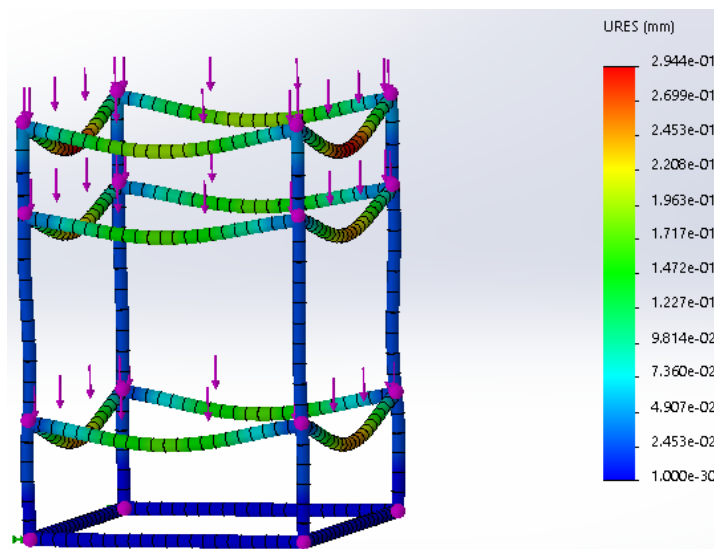


Figura 68. Desplazamiento máximo.
Fuente: [Autor]

3.5.3.3. Factor de seguridad

En la figura 69 se indica la confiabilidad de la estructura gracias al análisis hecho en un software, lo cual me da un valor de 11, que demuestra que si es confiable el diseño.

Nombre del modelo: estructura
Nombre de estudio: Análisis estático 1 (-Predeterminado < Como mecanizada > -)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 11

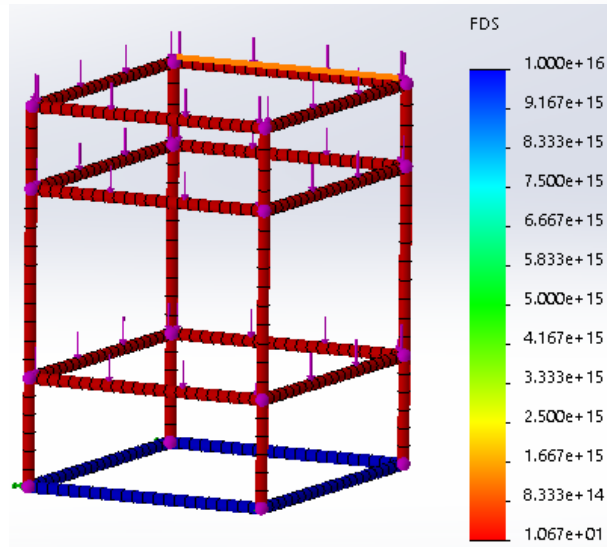


Figura 69. Análisis del factor de seguridad.
Fuente: [Autor]

Con los resultados obtenidos tanto de los cálculos manuales de 13,47 y los realizados en el software de 11 del factor de seguridad, se observa que aproximadamente son iguales, demostrando la fiabilidad de la estructura y la selección del perfil.

3.5.4. Sistema de elevación

El sistema de elevación consta de un pistón que cumple una carrera de 15 cm, el mismo que soporta un elemento de madera cubierto con una lámina de tol galvanizado como se muestra en la figura 70, que esencial para cerrar el circuito entre el colector y la jeringa, este equipo es accionado por medio de una electroválvula que se acciona por medio del panel de control, permitiendo tener diversos parámetro de distancia para obtener la nanofibra y poder evaluar los distintos diámetro que se obtengan, los mismo que se muestran a partir de la tabla 65.

Para seleccionar el pistón se lo hizo por medio de la carrera que se necesita, puesto que la distancia a la que la solución polimérica empieza a reaccionar fue a 25 cm de distancia sin que se accione el pistón, dejando una distancia de 10 cm cuando el pistón alcanza su carrera total, puesto que existe conflictos eléctricos si se sigues disminuyendo la distancia entre el colector y la aguja por donde sale la solución polimérica.

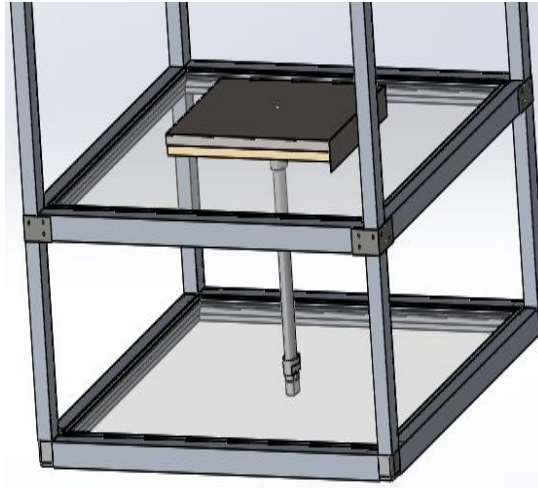


Figura 70. Sistema de elevación neumática.
Fuente: [Autor]

3.5.4.1. Análisis estático del vástago del pistón

Se realizó el análisis para determinar el factor de seguridad y el desplazamiento máximo que tiene el vástago del pistón que soporta al colector. En la figura 71 se indica el cálculo de von Mises.

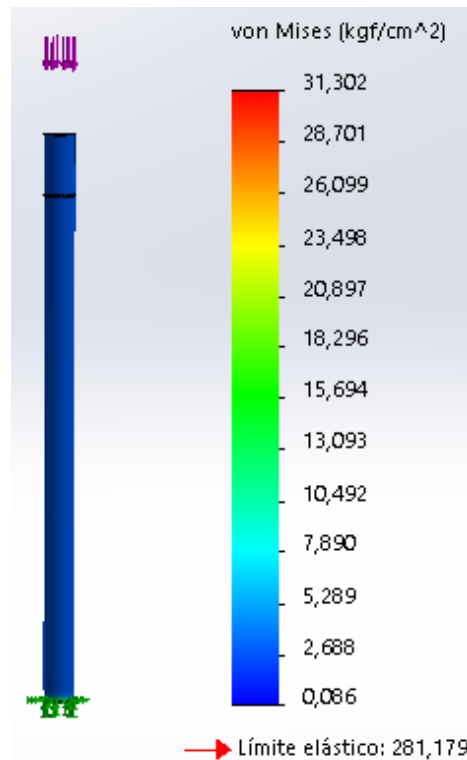


Figura 71. Sistema de elevación neumática.
Fuente: [Autor]

3.5.4.2. Desplazamiento

El desplazamiento máximo en x va a ser mínimo cuando este sosteniendo el colector como se muestra en la figura 72.

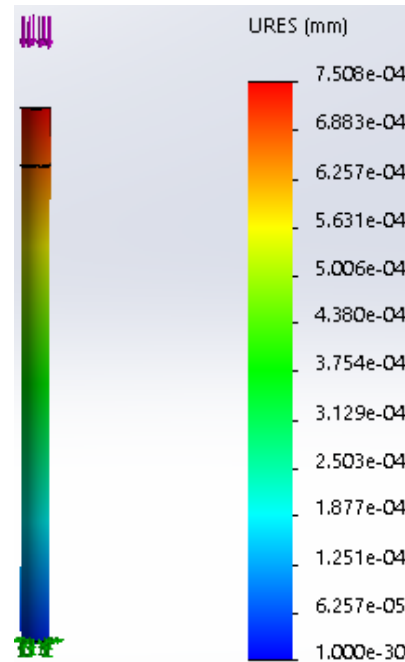


Figura 72. Desplazamiento en x.
Fuente: [Autor]

3.5.4.3. Factor de seguridad

El factor de seguridad es un análisis importante al momento de construir el sistema de elevación, por lo que el vástago del pistón es el que soporta toda la carga cuando se está produciendo la nanofibra.

En la figura 73 y 74 se analizó el vástago del pistón, obteniendo como resultado un factor de seguridad de 9.

Nombre del modelo: barra
Nombre de estudio: Análisis estático 2 [-Predeterminado-]
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 9

Figura 73. Factor de seguridad.
Fuente: [Autor]

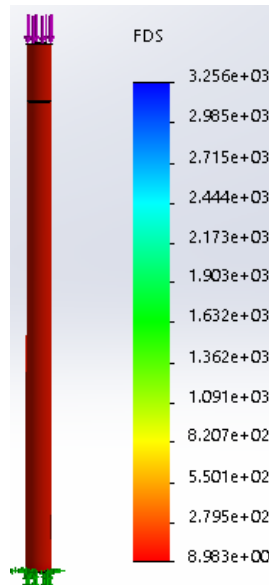


Figura 74. Análisis del vástago.
Fuente: [Autor]

3.5.5. Sistema de inyección

El sistema de inyección de la solución polimérica como se muestra en la figura 75, consta de un pistón neumático que es accionado por medio de una electroválvula 5/3, que se activa por medio del panel de control que posee la máquina. El pistón se utiliza para empujar a una jeringa de 10 ml con una velocidad de 0,9 ml por hora, aquella velocidad se consiguió gracias a un regulador de caudal, el que ayuda a reducir de una manera significativa la salida del pistón.

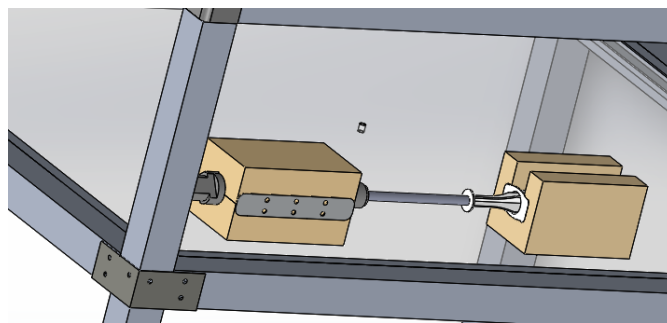
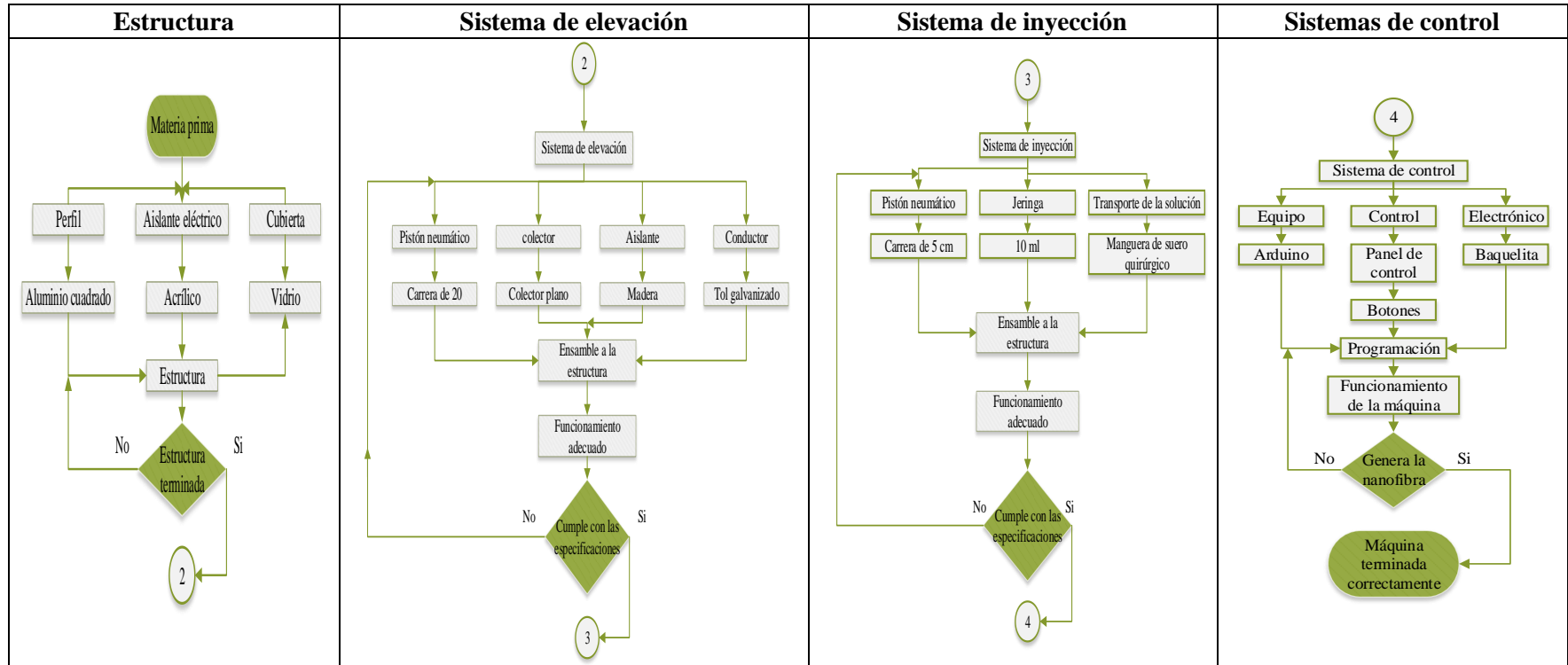


Figura 75. Sistema de inyección polimérica.
Fuente: [Autor]

3.6. Construcción de la máquina de electrohilado

Para la construcción se utilizó el flujograma que se muestra en la tabla 73, en donde se especifica con detalle como fue el proceso paso a paso de cada sistema, el montaje, las herramientas y máquinas que se utilizó, puesto que la máquina tiene varios equipos que cumplen con una función específica.

Tabla 73. Flujogramas de construcción.



Fuente: [Autor]

3.6.1. Construcción de la estructura

La estructura fue construida en un taller mecánico, el cual garantizó que cada proceso de manufactura que se va a realizar llega a tener la manera más adecuada para el tratamiento de la perfilaría en la parte del corte y ensambles de los sistemas de que vayan a desarrollar. Para la parte de la estructura se utilizaron los siguientes equipos y máquinas herramienta que se observan en la tabla 74.


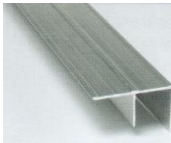
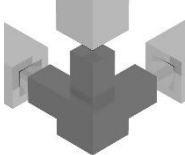

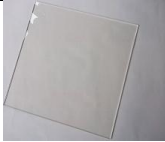

Tabla 74. Herramienta y maquinaria utilizada para la construcción de la máquina

Máquinas herramientas	Herramientas manuales	Herramientas de medición
Taladro pedestal	brocas	Fluxómetro
Amoladora	Disco de corte	Calibrador pie de rey
Máquina CNC/corte a laser del acrílico	Cuchillas cortadora de vidrio	Nivel

Fuente: [Autor]

En la tabla 75 se muestra la manera en la que la estructura fue construida paso a paso, según las especificaciones del diseño.

Tabla 75. Armazón de la estructura.

Proceso		
Corte	Perfilaría de aluminio cuadrado	
	Perfilaría de aluminio tipo F	
Unión	Codos para aluminio cuadrado	
Unión media	Tornillos	
Ensamble	Acrílico	
	Vidrio	

Fuente: [Autor]

En la figura 76 se muestra la estructura terminada según las especificaciones del diseño de estructura.



Figura 76. Estructura.
Fuente: [Autor]

La estructura fue ensamblada por medio de tornillos, lo que permite tener facilidad para un desmontaje, con lo cual nos ayuda al mantenimiento de la misma, facilitando el montaje de cada sistema que se vaya a acoplar en la máquina.

3.6.2. Sistema de elevación

Después de haber seleccionado el pistón adecuado, que cumple con la carrera que se necesita, se procede al diseño del colector plano que fue construido con madera, que sirve como aislante eléctrico, y una cubierta de tol galvanizado, utilizado para la recolección de la fibra, el colector se muestra en la figura 77.



Figura 77. Colector plano.
Fuente: [Autor]

El montaje de colector a la estructura se muestra en la figura 78, en el cual indica que el pistón y el colector de la fibra se encuentra acoplado al acrílico, que sirve de aislante eléctrico, evitando que la cubierta de tol galvanizado haga contacto con el pistón y la estructura.








Figura 78. Colector plano.
Fuente: [Autor]

3.6.3. Sistema de inyección

La solución polimérica debe ser inyectada con la precisión necesaria para que no exista goteo, para ello se utilizó un sistema que está constituido por los siguientes elementos que se muestra en la tabla 76.

Tabla 76. Elementos utilizados para la construcción del sistema de inyección

Elementos		
Nombre	Función	Grafica
Minicilindro 50 mm	Empuje	
Jeringa 10 ml	Inyección	
Manguera quirúrgica	Transporte de la solución	
Válvula de tres vías	Unión manguera/aguja	
Aguja	Salida de la solución polimérica	

Fuente: [Autor]

Se construye una caja que asegure tanto al pistón como a la jeringa como se muestra en la figura 79, la cual permite que el pistón se quede de manera estática, ayudando a mantener la distancia necesaria para que el vástago del pistón empuje a la jeringa.



Figura 79. Inyector de la sustancia polimérica.
Fuente: [Autor]

Manteniendo la distancia necesaria para que el pistón empuje y la jeringa inyecte a través de la manguera, para llegar al montaje en la máquina como se muestra en la figura 80.

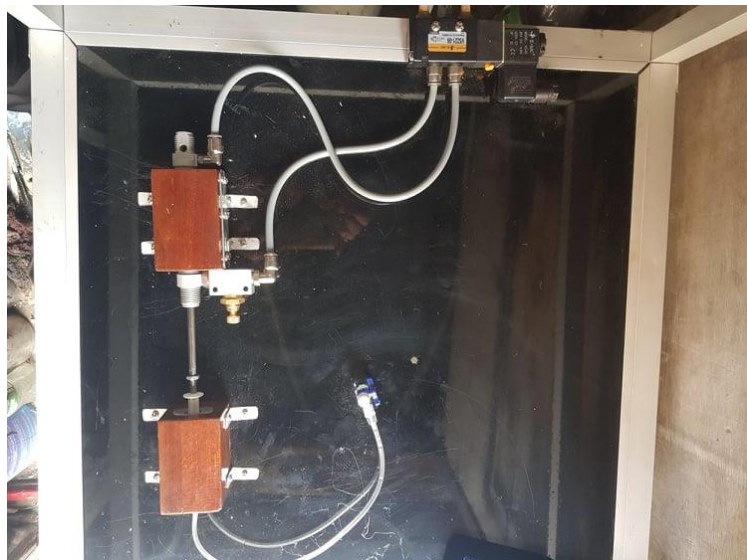


Figura 80. Montaje del sistema de inyección.
Fuente: [Autor]

3.6.4. Sistema de control

Se ha realizado la construcción del panel de control que se muestra en la figura 81, compuesto de botones que cumplen con funciones específicas, el cual se entiende de mejor manera en el manual de la máquina que está en el anexo 5.



Figura 81. Panel de control.
Fuente: [Autor]

En el panel de control se indica el equipo de alta tensión el cual es encendido de manera independiente por un interruptor que esta acoplado en la parte izquierda de la máquina como se indica en la figura 82.



Figura 82. Interruptor de la fuente de alta tensión.
Fuente: [Autor]

La tarjeta de baquelita que se muestra en la figura 83, es el principal componente del sistema de control, puesto que gracias a ella se puede manipular el panel de control, ya que se diseñó con el fin de ser acoplada al arduino que por medio del cable USB se llegue a cargar la programación que controle cada electroválvula, la programación que se muestra en el anexo 4.

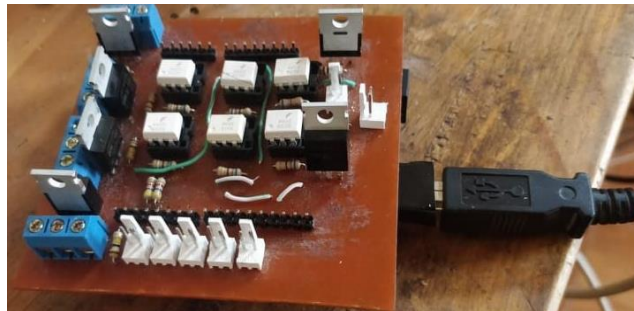


Figura 83. Baquelita de control de la máquina.
Fuente: [Autor]

3.7. Máquina terminada

Después de probar cada uno de los sistemas que se utilizaron para construir la máquina, se realiza la cubierta de vidrio con el fin de detener alguna corriente de aire que quiera ingresar cuando se esté realizando la generación de nanofibras, y con la ayuda del sistema de mantenimiento neumático que regula la presión de aire que ingresa a cada electroválvula, llegando a tener la máquina deseada como se observa en la figura 84 capaz de generar una nanofibra que cumpla con los requisitos de aprobación, y pueda ser apreciada en el microscopio de barrido.

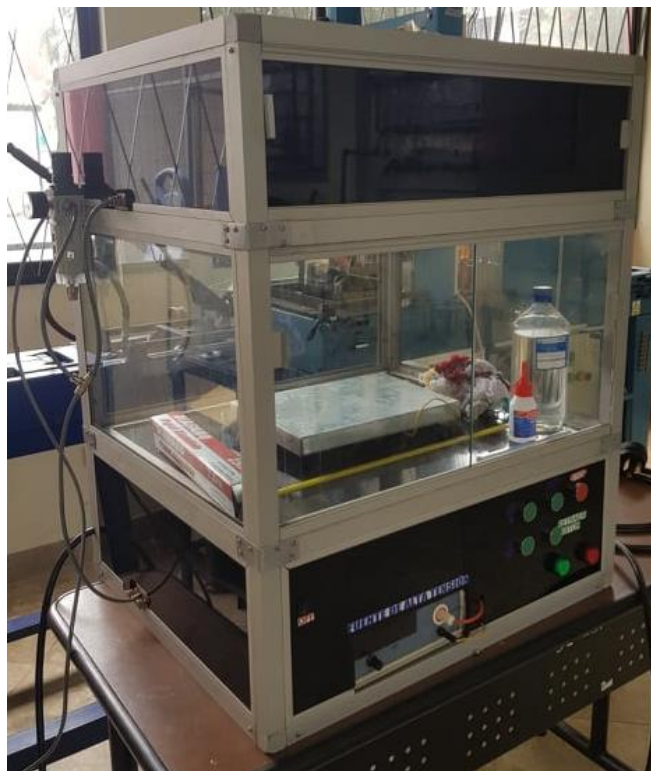


Figura 84. Máquina de electrohilado vertical.
Fuente: [Autor]

3.8. Análisis de resultados



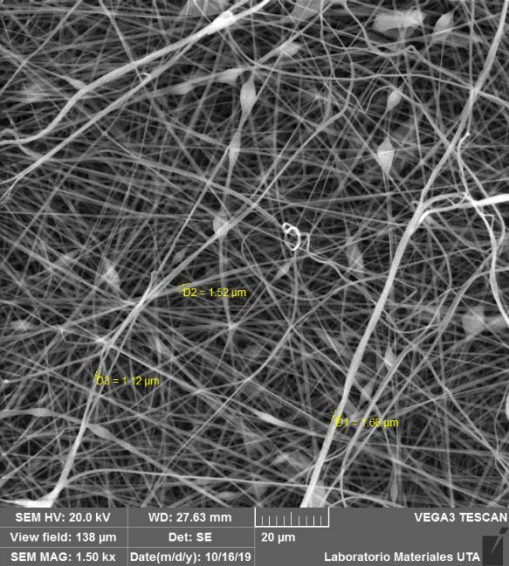
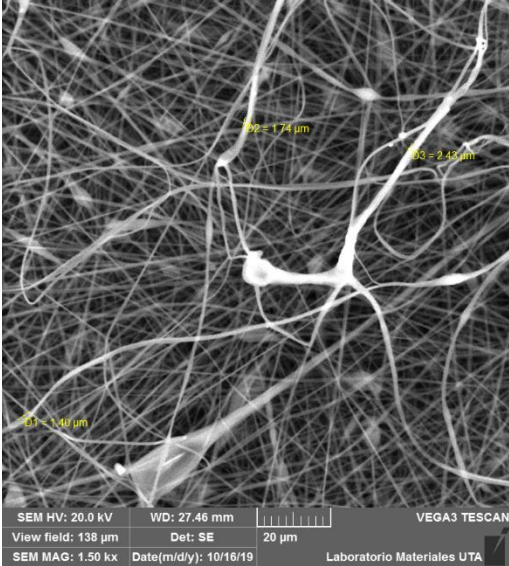
En este punto se muestra los resultados analizados en el microscopio de barrido, en el cual se ha medido el diámetro medio de la fibra que se llegó a producir con la máquina.

Las fichas que se indican a continuación son una prueba de la funcionalidad adecuada que posee la máquina a través de la uniformidad del diámetro de la fibra, demostrando que cada sistema de elevación del colector, sistema de inyección de la solución polimérica y sistema de control, se comportan de manera correcta, obteniendo una muestra de nanofibra con cada parámetro que se analizó en el microscopio electrónico de barrido (FEM) que posee la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

3.8.1. Ficha de muestras



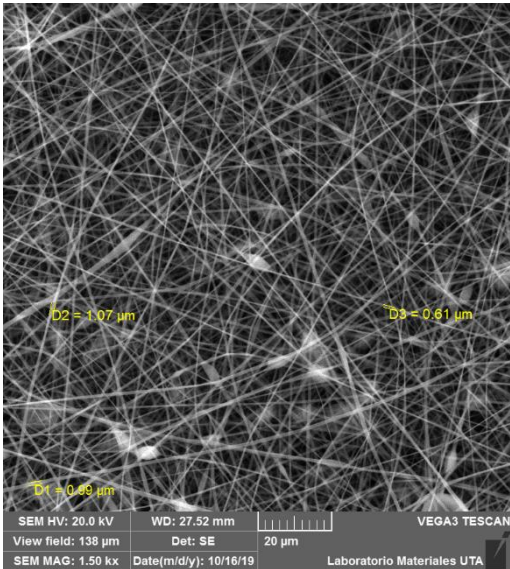
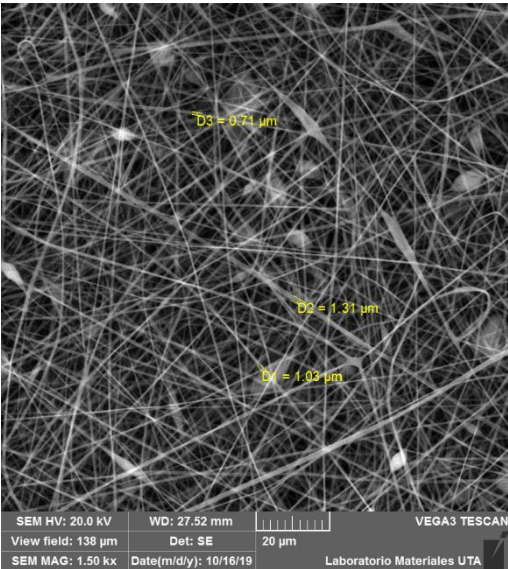
Desde la tabla 77 a la tabla 94 se presentan los resultados obtenidos, en los mismos que se ven los diámetros y el promedio general de cada una de las muestras, de la misma manera se indican los parámetros en los que se realizó el proceso de electrohilado.

Tabla 77. Ficha 1 - Nanofibra visualizada a 1.5 Kx

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
SOLUCION POLIMÉRICA			
POLÍMERO		30% Polisisiloxano	
SOLVENTE		70% Etanol	
PARÁMETROS			
VOLTAJE		10 kV	
DISTANCIA		10 cm	
VELOCIDAD		0,9 ml/h	
IMÁGENES			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
			
RESULTADOS			
DIAMETROS 1 (μm)		DIAMETROS 2 (μm)	
1,4		1,66	
1,74		1,52	
2,43		1,12	
PROMEDIOS			
PROMEDIO 1 (μm)		PROMEDIO 2 (μm)	
1,86		1,43	
DATOS			
Lugar y fecha		Ambato, 22 de Octubre del 2019	
Responsable		Eddy Santiago Ruiz Silva	



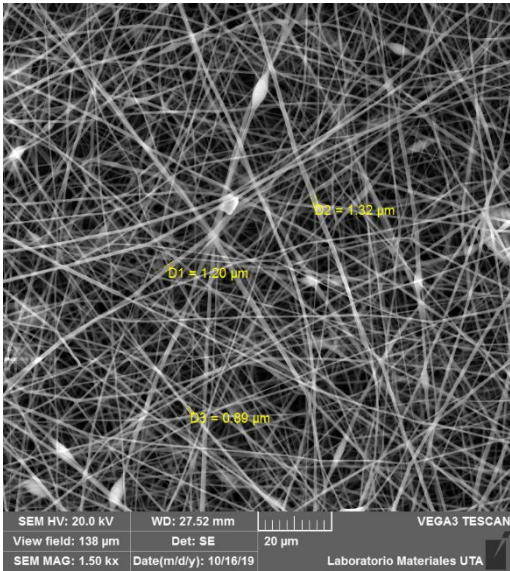
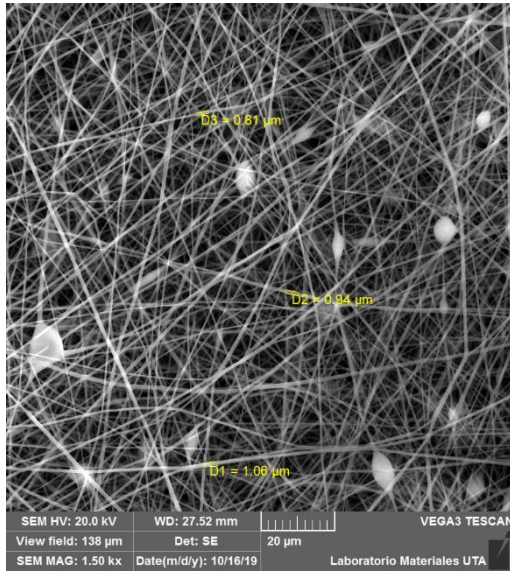
Fuente: [Autor]

Tabla 78. Ficha 2 - Nanofibra visualizada a 1.5 Kx

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
SOLUCION POLIMÉRICA			
POLÍMERO		30% Polisiloxano	
SOLVENTE		70% Etanol	
PARÁMETROS			
VOLTAJE		11 kV	
DISTANCIA		10 cm	
VELOCIDAD		0,9 ml/h	
IMÁGENES			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
			
RESULTADOS			
DIAMETROS 1 (μm)		DIAMETROS 2 (μm)	
0,99		1,03	
1,07		1,31	
0,61		0,71	
PROMEDIOS			
PROMEDIO 1 (μm)		PROMEDIO 2 (μm)	
0,89		1,02	
DATOS			
Lugar y fecha		Ambato, 22 de Octubre del 2019	
Responsable		Eddy Santiago Ruiz Silva	



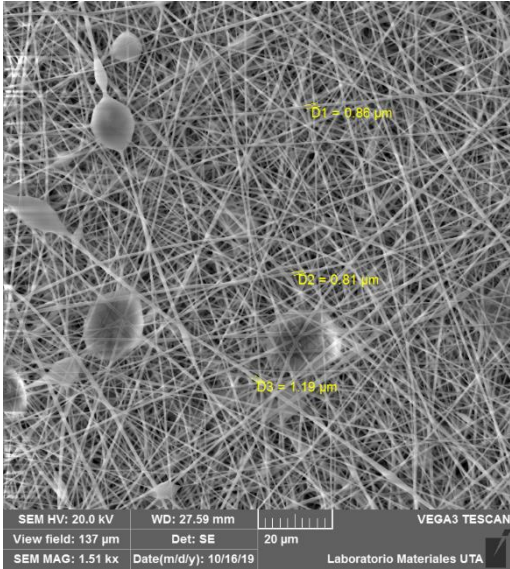
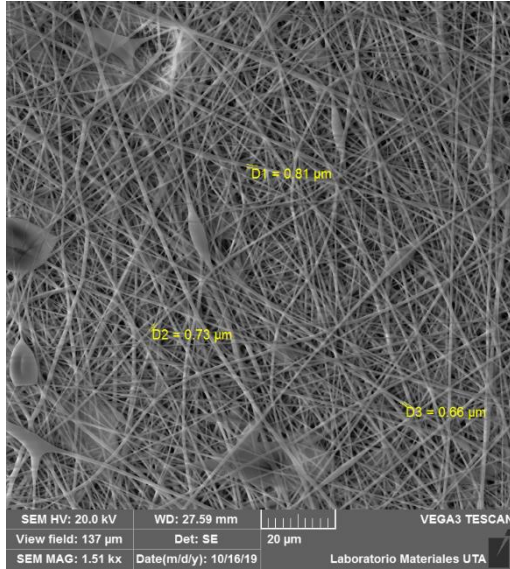
Fuente: [Autor]

Tabla 79. Ficha 3 - Nanofibra visualizada a 1.5 Kx

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 	
SOLUCION POLIMÉRICA	
POLÍMERO	30% Polisiloxano
SOLVENTE	70% Etanol
PARÁMETROS	
VOLTAJE	12 kV
DISTANCIA	10 cm
VELOCIDAD	0,9 ml/h
IMÁGENES	
MUESTRA 1	MUESTRA 2
	
RESULTADOS	
DIAMETROS 1 (μm)	DIAMETROS 2 (μm)
1,2	1,06
1,32	0,94
0,89	0,81
PROMEDIOS	
PROMEDIO 1 (μm)	PROMEDIO 2 (μm)
1,14	0,94
DATOS	
Lugar y fecha	Ambato, 22 de Octubre del 2019
Responsable	Eddy Santiago Ruiz Silva



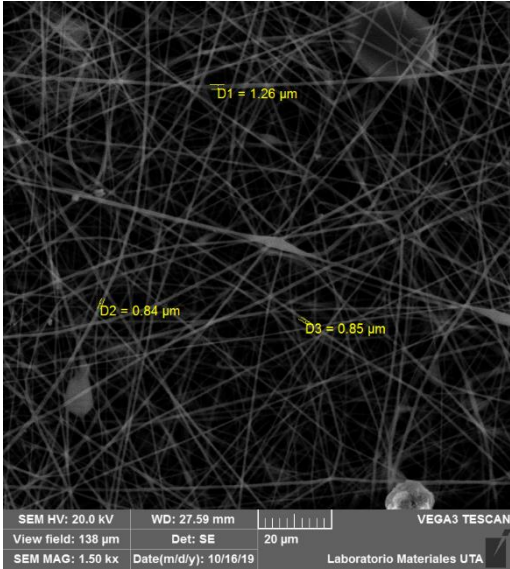
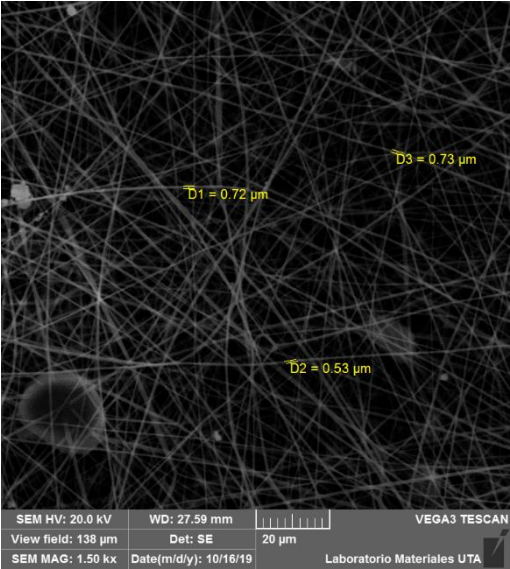
Fuente: [Autor]

Tabla 80. Ficha 4 - Nanofibra visualizada a 1.5 Kx

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
SOLUCION POLIMÉRICA			
POLÍMERO		30% Polisiloxano	
SOLVENTE		70% Etanol	
PARÁMETROS			
VOLTAJE		13 kV	
DISTANCIA		10 cm	
VELOCIDAD		0,9 ml/h	
IMÁGENES			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
			
RESULTADOS			
DIAMETROS 1 (μm)		DIAMETROS 2 (μm)	
0,86		0,81	
0,81		0,73	
1,19		0,66	
PROMEDIOS			
PROMEDIO 1 (μm)		PROMEDIO 2 (μm)	
0,95		0,73	
DATOS			
Lugar y fecha		Ambato, 22 de Octubre del 2019	
Responsable		Eddy Santiago Ruiz Silva	



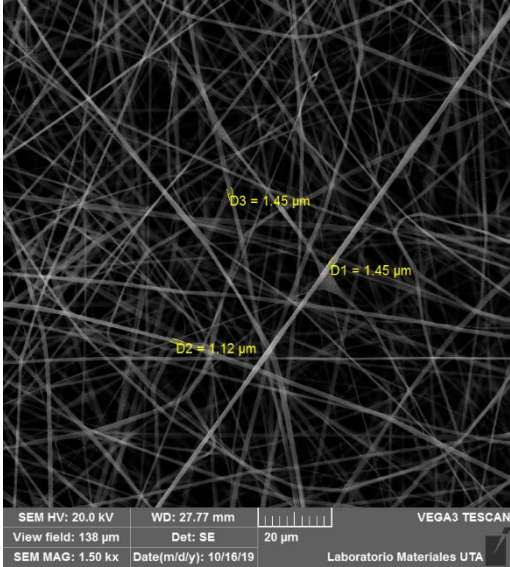
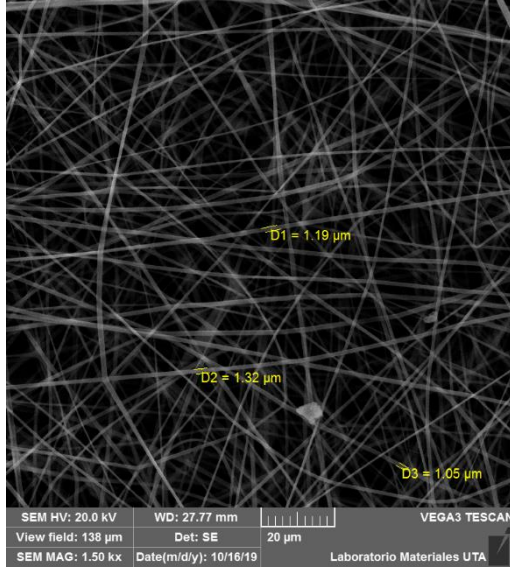
Fuente: [Autor]

Tabla 81. Ficha 5 - Nanofibra visualizada a 1.5 Kx

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
SOLUCION POLIMÉRICA			
POLÍMERO		30% Polisiloxano	
SOLVENTE		70% Etanol	
PARÁMETROS			
VOLTAJE		14 kV	
DISTANCIA		10 cm	
VELOCIDAD		0,9 ml/h	
IMÁGENES			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
			
<small>SEM HV: 20.0 kV WD: 27.59 mm VEGA3 TESCAN View field: 138 μm Det: SE 20 μm SEM MAG: 1.50 kx Date(m/d/y): 10/16/19 Laboratorio Materiales UTA</small>		<small>SEM HV: 20.0 kV WD: 27.59 mm VEGA3 TESCAN View field: 138 μm Det: SE 20 μm SEM MAG: 1.50 kx Date(m/d/y): 10/16/19 Laboratorio Materiales UTA</small>	
RESULTADOS			
DIAMETROS 1 (μm)		DIAMETROS 2 (μm)	
1,26		0,72	
0,84		0,53	
0,85		0,73	
PROMEDIOS			
PROMEDIO 1 (μm)		PROMEDIO 2 (μm)	
0,98		0,66	
DATOS			
Lugar y fecha		Ambato, 22 de Octubre del 2019	
Responsable		Eddy Santiago Ruiz Silva	



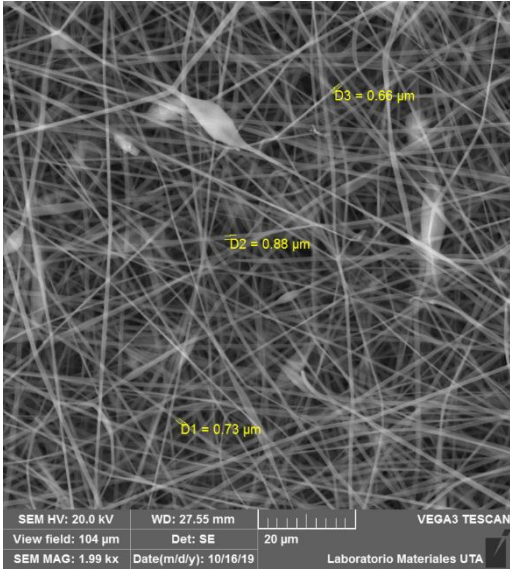
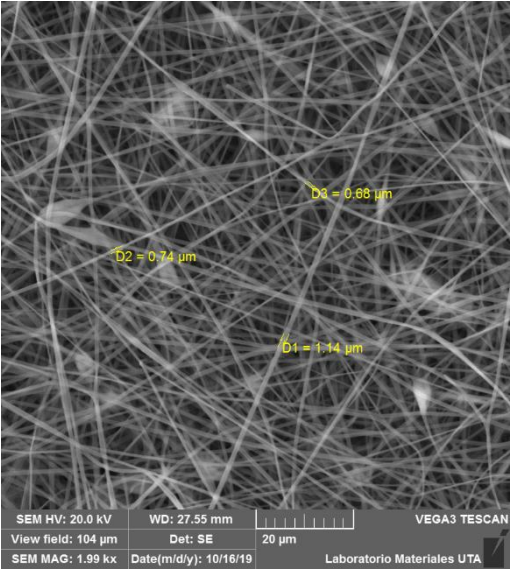
Fuente: [Autor]

Tabla 82. Ficha 6 - Nanofibra visualizada a 1.5 Kx

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
SOLUCION POLIMÉRICA			
POLÍMERO		30% Polisiloxano	
SOLVENTE		70% Etanol	
PARÁMETROS			
VOLTAJE		15 kV	
DISTANCIA		10 cm	
VELOCIDAD		0,9 ml/h	
IMÁGENES			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
			
RESULTADOS			
DIAMETROS 1 (μm)		DIAMETROS 2 (μm)	
1,45		1,19	
1,12		1,32	
1,45		1,05	
PROMEDIOS			
PROMEDIO 1 (μm)		PROMEDIO 2 (μm)	
1,34		1,19	
DATOS			
Lugar y fecha		Ambato, 22 de Octubre del 2019	
Responsable		Eddy Santiago Ruiz Silva	



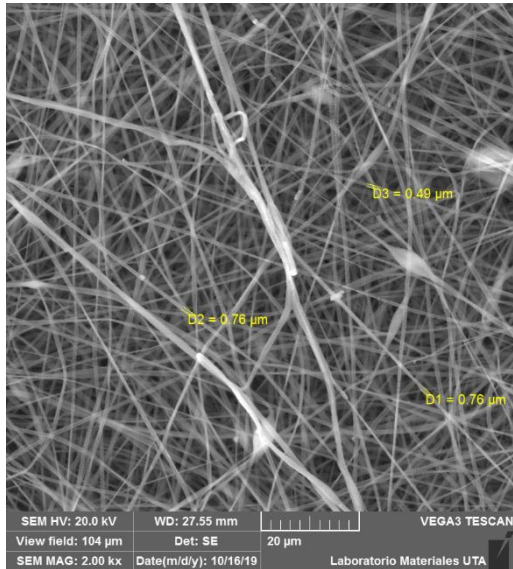
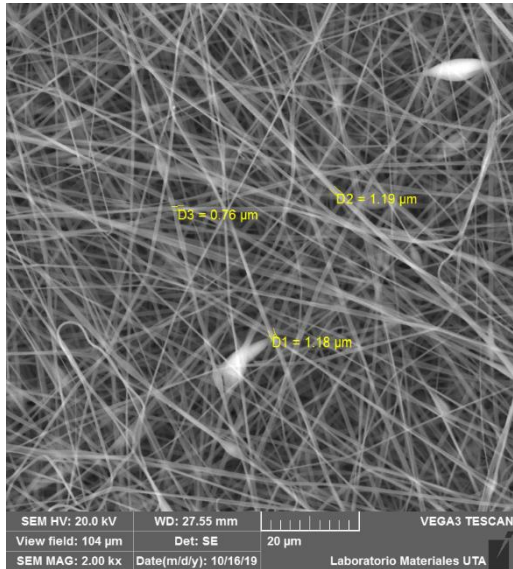
Fuente: [Autor]

Tabla 83. Ficha 7 - Nanofibra visualizada a 2 Kx

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
SOLUCION POLIMÉRICA			
POLÍMERO		30% Polisiloxano	
SOLVENTE		70% Etanol	
PARÁMETROS			
VOLTAJE		10 kV	
DISTANCIA		17,5 cm	
VELOCIDAD		0,9 ml/h	
IMÁGENES			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
			
RESULTADOS			
DIAMETROS 1 (μm)		DIAMETROS 2 (μm)	
0,73		1,14	
0,88		0,74	
0,73		0,68	
PROMEDIOS			
PROMEDIO 1 (μm)		PROMEDIO 2 (μm)	
0,78		0,85	
DATOS			
Lugar y fecha		Ambato, 22 de Octubre del 2019	
Responsable		Eddy Santiago Ruiz Silva	



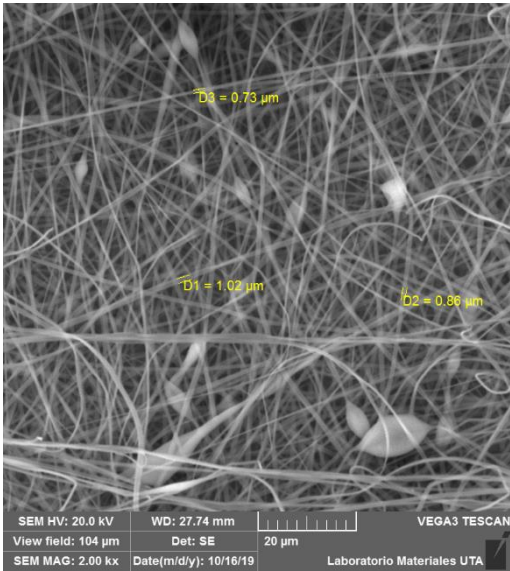
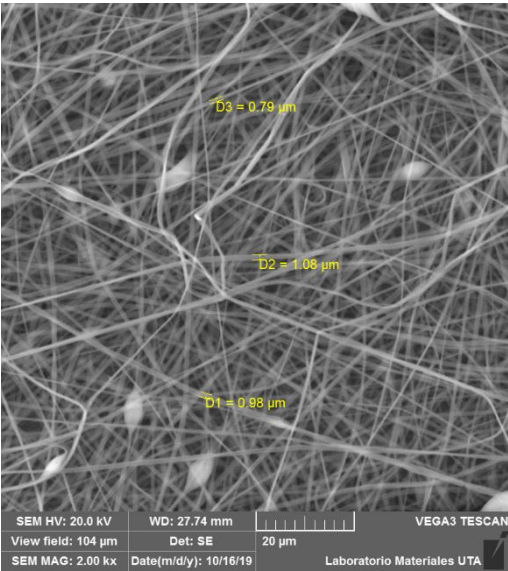
Fuente: [Autor]

Tabla 84. Ficha 8 - Nanofibra visualizada a 2 Kx

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
SOLUCION POLIMÉRICA			
POLÍMERO		30% Polisiloxano	
SOLVENTE		70% Etanol	
PARÁMETROS			
VOLTAJE		11 kV	
DISTANCIA		17,5 cm	
VELOCIDAD		0,9 ml/h	
IMÁGENES			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
			
RESULTADOS			
DIAMETROS 1 (μm)		DIAMETROS 2 (μm)	
0,76		1,18	
0,76		1,19	
0,49		0,76	
PROMEDIOS			
PROMEDIO 1 (μm)		PROMEDIO 2 (μm)	
0,67		1,04	
DATOS			
Lugar y fecha		Ambato, 22 de Octubre del 2019	
Responsable		Eddy Santiago Ruiz Silva	



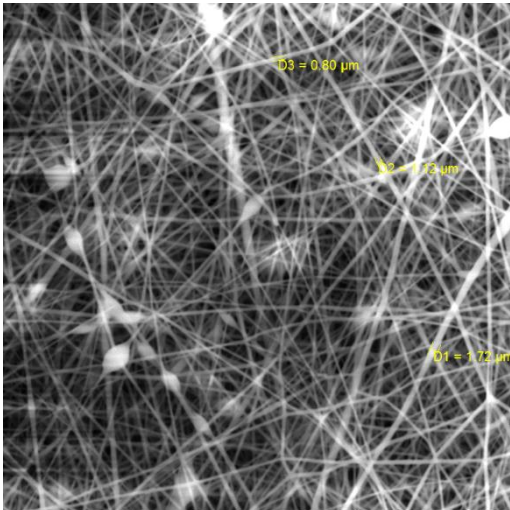
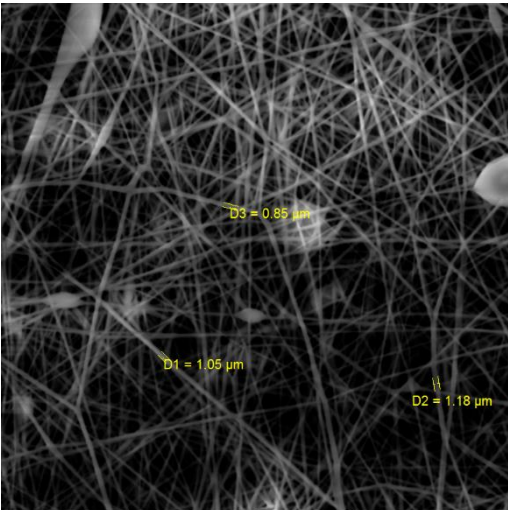
Fuente: [Autor]

Tabla 85. Ficha 9 - Nanofibra visualizada a 2 Kx

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
SOLUCION POLIMÉRICA			
POLÍMERO		30% Polisiloxano	
SOLVENTE		70% Etanol	
PARÁMETROS			
VOLTAJE		12 kV	
DISTANCIA		17,5 cm	
VELOCIDAD		0,9 ml/h	
IMÁGENES			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
			
RESULTADOS			
DIAMETROS 1 (μm)		DIAMETROS 2 (μm)	
1,02		0,98	
0,86		1,08	
0,73		0,79	
PROMEDIOS			
PROMEDIO 1 (μm)		PROMEDIO 2 (μm)	
0,87		0,95	
DATOS			
Lugar y fecha		Ambato, 22 de Octubre del 2019	
Responsable		Eddy Santiago Ruiz Silva	



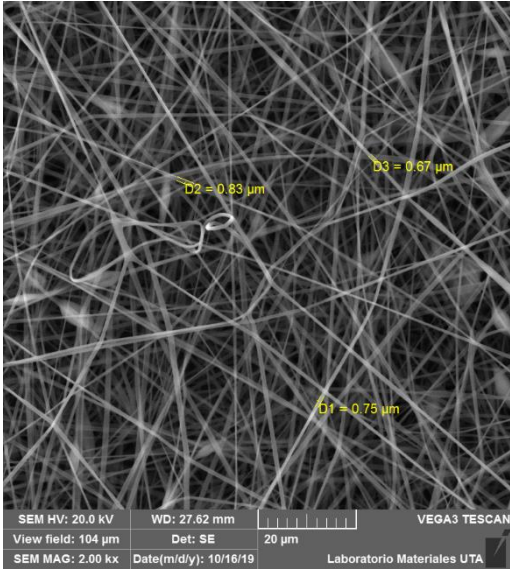
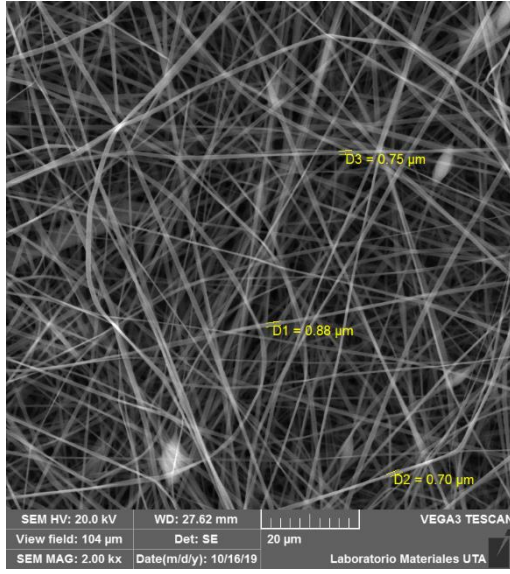
Fuente: [Autor]

Tabla 86. Ficha 10 - Nanofibra visualizada a 2 Kx

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
SOLUCION POLIMÉRICA			
POLÍMERO		30% Polisiloxano	
SOLVENTE		70% Etanol	
PARÁMETROS			
VOLTAJE		13 kV	
DISTANCIA		17,5 cm	
VELOCIDAD		0,9 ml/h	
IMÁGENES			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
			
<small>SEM HV: 20.0 kV WD: 27.55 mm VEGA3 TESCAN View field: 103 µm Det: SE 20 µm SEM MAG: 2.01 kx Date(m/d/y): 10/16/19 Laboratorio Materiales UTA</small>		<small>SEM HV: 20.0 kV WD: 27.55 mm VEGA3 TESCAN View field: 103 µm Det: SE 20 µm SEM MAG: 2.01 kx Date(m/d/y): 10/16/19 Laboratorio Materiales UTA</small>	
RESULTADOS			
DIAMETROS 1 (µm)		DIAMETROS 2 (µm)	
1,72		1,05	
1,12		1,18	
0,8		0,85	
PROMEDIOS			
PROMEDIO 1 (µm)		PROMEDIO 2 (µm)	
1,21		1,03	
DATOS			
Lugar y fecha		Ambato, 22 de Octubre del 2019	
Responsable		Eddy Santiago Ruiz Silva	



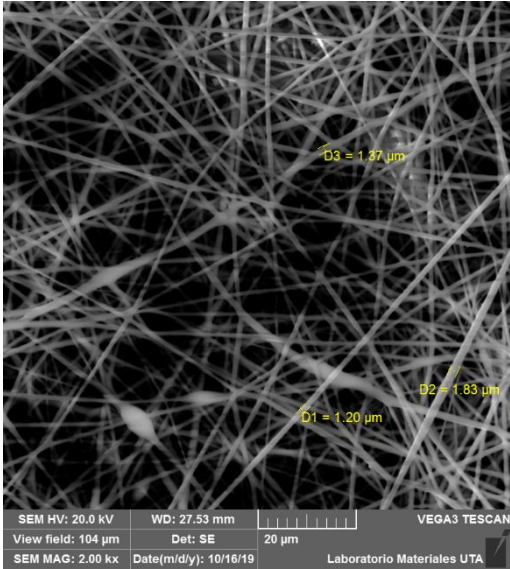
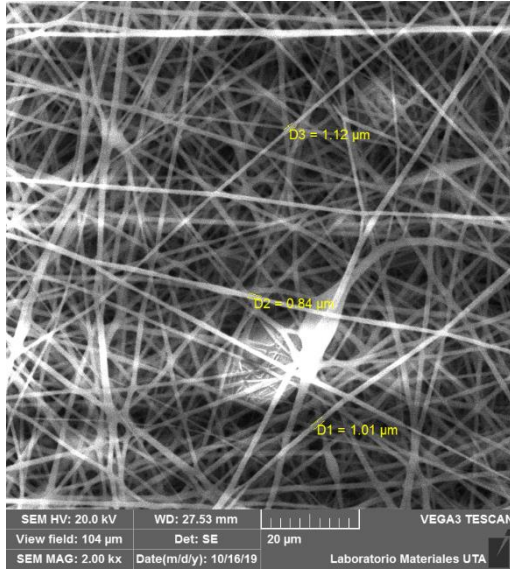
Fuente: [Autor]

Tabla 87. Ficha 11 - Nanofibra visualizada a 2 Kx

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
SOLUCION POLIMÉRICA			
POLÍMERO		30% Polisiloxano	
SOLVENTE		70% Etanol	
PARÁMETROS			
VOLTAJE		14 kV	
DISTANCIA		17,5 cm	
VELOCIDAD		0,9 ml/h	
IMÁGENES			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
			
RESULTADOS			
DIAMETROS 1 (μm)		DIAMETROS 2 (μm)	
0,75		0,88	
0,83		0,7	
0,67		0,75	
PROMEDIOS			
PROMEDIO 1 (μm)		PROMEDIO 2 (μm)	
0,75		0,78	
DATOS			
Lugar y fecha		Ambato, 22 de Octubre del 2019	
Responsable		Eddy Santiago Ruiz Silva	



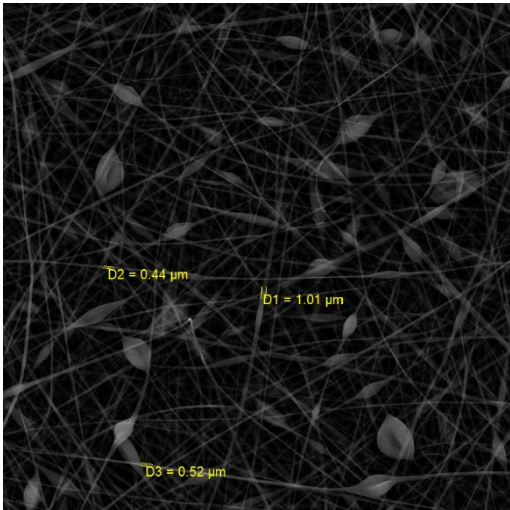
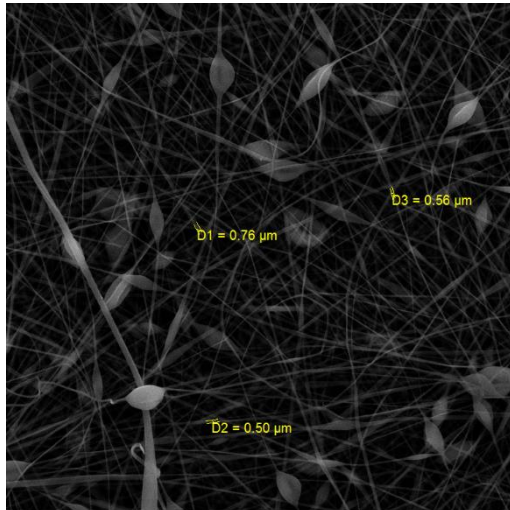
Fuente: [Autor]

Tabla 88. Ficha 12 - Nanofibra visualizada a 2 Kx

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
SOLUCION POLIMÉRICA			
POLÍMERO		30% Polisiloxano	
SOLVENTE		70% Etanol	
PARÁMETROS			
VOLTAJE		15 kV	
DISTANCIA		17,5 cm	
VELOCIDAD		0,9 ml/h	
IMÁGENES			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
			
<small>SEM HV: 20.0 kV WD: 27.53 mm VEGA3 TESCAN View field: 104 μm Det: SE 20 μm SEM MAG: 2.00 kx Date(m/d/y): 10/16/19 Laboratorio Materiales UTA</small>		<small>SEM HV: 20.0 kV WD: 27.53 mm VEGA3 TESCAN View field: 104 μm Det: SE 20 μm SEM MAG: 2.00 kx Date(m/d/y): 10/16/19 Laboratorio Materiales UTA</small>	
RESULTADOS			
DIAMETROS 1 (μm)		DIAMETROS 2 (μm)	
1,2		1,01	
1,83		0,84	
1,37		1,12	
PROMEDIOS			
PROMEDIO 1 (μm)		PROMEDIO 2 (μm)	
1,47		0,99	
DATOS			
Lugar y fecha		Ambato, 22 de Octubre del 2019	
Responsable		Eddy Santiago Ruiz Silva	



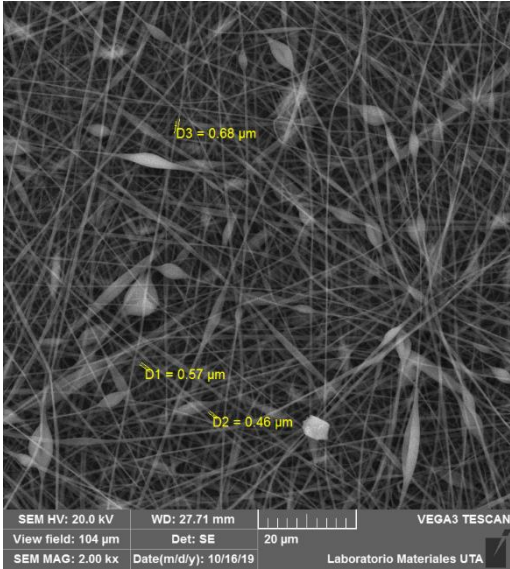
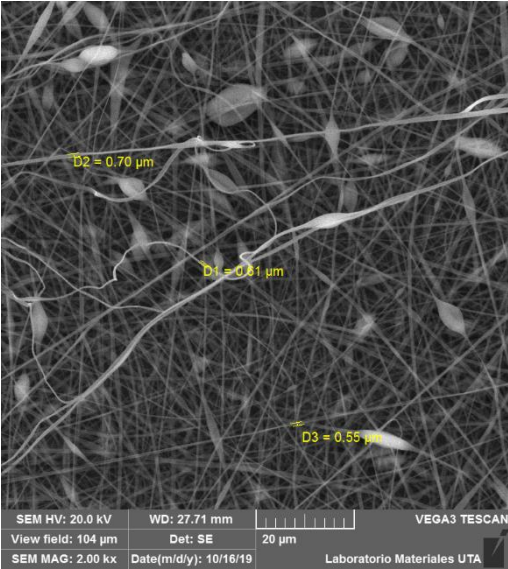
Fuente: [Autor]

Tabla 89. Ficha 13 - Nanofibra visualizada a 2 Kx

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
SOLUCION POLIMÉRICA			
POLÍMERO		30% Polisiloxano	
SOLVENTE		70% Etanol	
PARÁMETROS			
VOLTAJE		10 kV	
DISTANCIA		25 cm	
VELOCIDAD		0,9 ml/h	
IMÁGENES			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
			
<small>SEM HV: 20.0 kV WD: 27.74 mm VEGA3 TESCAN View field: 104 μm Det: SE 20 μm SEM MAG: 2.00 kx Date(m/d/y): 10/16/19 Laboratorio Materiales UTA</small>		<small>SEM HV: 20.0 kV WD: 27.74 mm VEGA3 TESCAN View field: 104 μm Det: SE 20 μm SEM MAG: 2.00 kx Date(m/d/y): 10/16/19 Laboratorio Materiales UTA</small>	
RESULTADOS			
DIAMETROS 1 (μm)		DIAMETROS 2 (μm)	
1,01		0,76	
0,44		0,5	
0,52		0,56	
PROMEDIOS			
PROMEDIO 1 (μm)		PROMEDIO 2 (μm)	
0,66		0,61	
DATOS			
Lugar y fecha		Ambato, 22 de Octubre del 2019	
Responsable		Eddy Santiago Ruiz Silva	



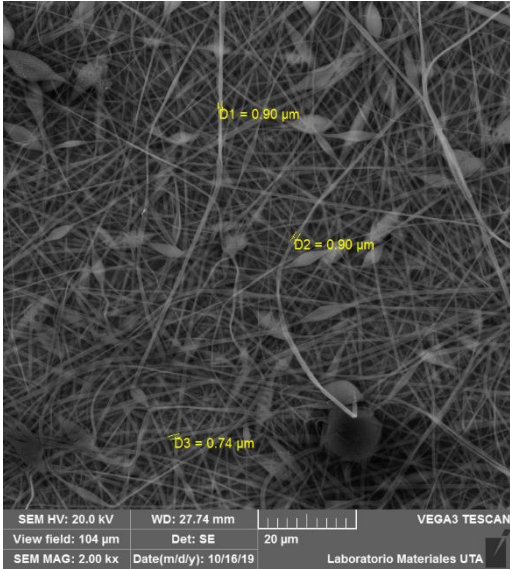
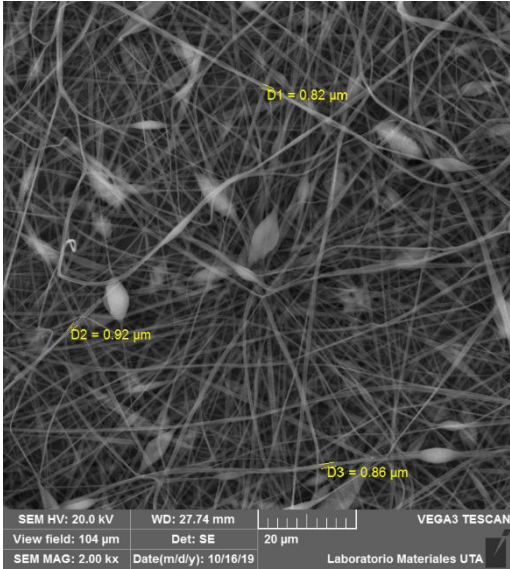
Fuente: [Autor]

Tabla 90. Ficha 14 - Nanofibra visualizada a 2 Kx

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 	
SOLUCION POLIMÉRICA	
POLÍMERO	30% Polisiloxano
SOLVENTE	70% Etanol
PARÁMETROS	
VOLTAJE	11 kV
DISTANCIA	25 cm
VELOCIDAD	0,9 ml/h
IMÁGENES	
MUESTRA 1	MUESTRA 2
 <p>SEM HV: 20.0 kV WD: 27.71 mm VEGA3 TESCAN View field: 104 μm Det: SE 20 μm SEM MAG: 2.00 kx Date(m/d/y): 10/16/19 Laboratorio Materiales UTA</p>	 <p>SEM HV: 20.0 kV WD: 27.71 mm VEGA3 TESCAN View field: 104 μm Det: SE 20 μm SEM MAG: 2.00 kx Date(m/d/y): 10/16/19 Laboratorio Materiales UTA</p>
RESULTADOS	
DIAMETROS 1 (μm)	DIAMETROS 2 (μm)
0,57	0,61
0,46	0,7
0,68	0,55
PROMEDIOS	
PROMEDIO 1 (μm)	PROMEDIO 2 (μm)
0,57	0,62
DATOS	
Lugar y fecha	Ambato, 22 de Octubre del 2019
Responsable	Eddy Santiago Ruiz Silva



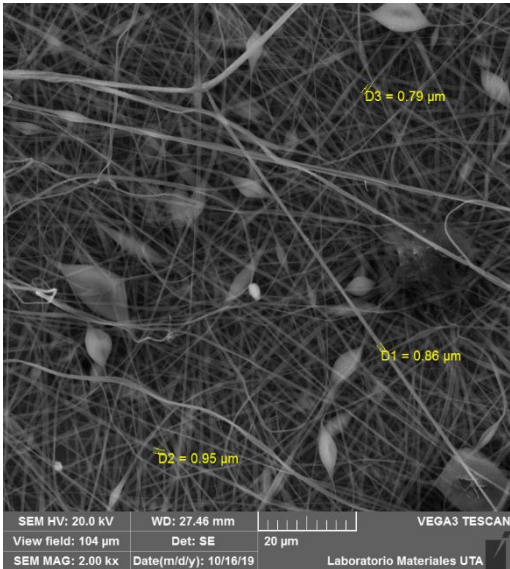
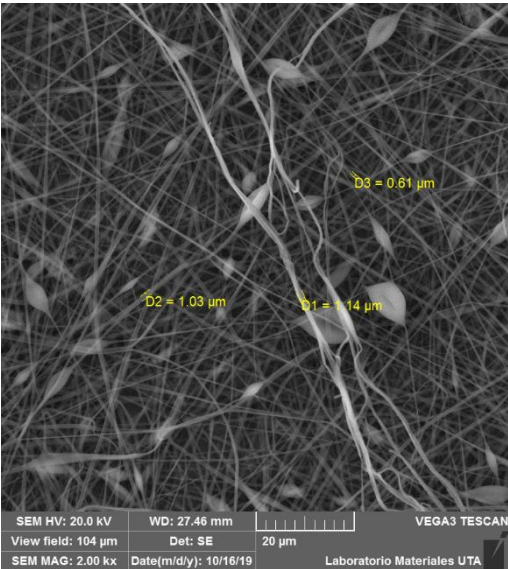
Fuente: [Autor]

Tabla 91. Ficha 15 - Nanofibra visualizada a 2 Kx

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 	
SOLUCION POLIMÉRICA	
POLÍMERO	30% Polisiloxano
SOLVENTE	70% Etanol
PARÁMETROS	
VOLTAJE	12 kV
DISTANCIA	25 cm
VELOCIDAD	0,9 ml/h
IMÁGENES	
MUESTRA 1	MUESTRA 2
	
RESULTADOS	
DIAMETROS 1 (μm)	DIAMETROS 2 (μm)
0,9	0,82
0,9	0,92
0,74	0,86
PROMEDIOS	
PROMEDIO 1 (μm)	PROMEDIO 2 (μm)
0,85	0,87
DATOS	
Lugar y fecha	Ambato, 22 de Octubre del 2019
Responsable	Eddy Santiago Ruiz Silva



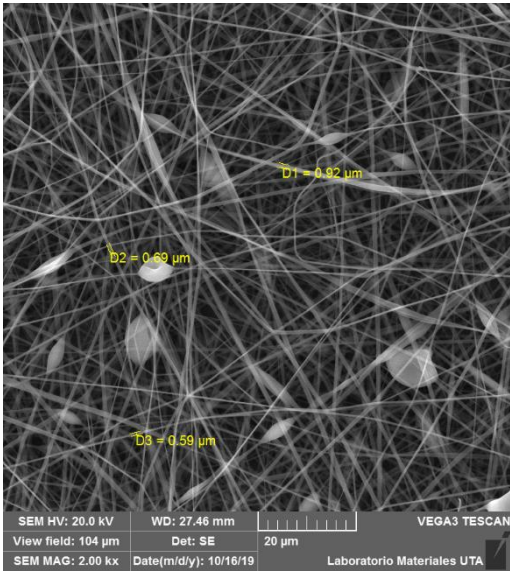
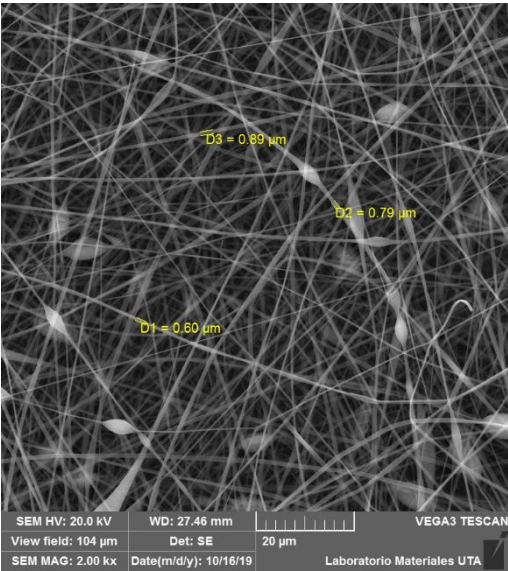
Fuente: [Autor]

Tabla 92. Ficha 16 - Nanofibra visualizada a 2 Kx

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
SOLUCION POLIMÉRICA			
POLÍMERO		30% Polisiloxano	
SOLVENTE		70% Etanol	
PARÁMETROS			
VOLTAJE		13 kV	
DISTANCIA		25 cm	
VELOCIDAD		0,9 ml/h	
IMÁGENES			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
			
RESULTADOS			
DIAMETROS 1 (μm)		DIAMETROS 2 (μm)	
0,86		1,14	
0,95		1,03	
0,79		0,61	
PROMEDIOS			
PROMEDIO 1 (μm)		PROMEDIO 2 (μm)	
0,87		0,93	
DATOS			
Lugar y fecha		Ambato, 22 de Octubre del 2019	
Responsable		Eddy Santiago Ruiz Silva	



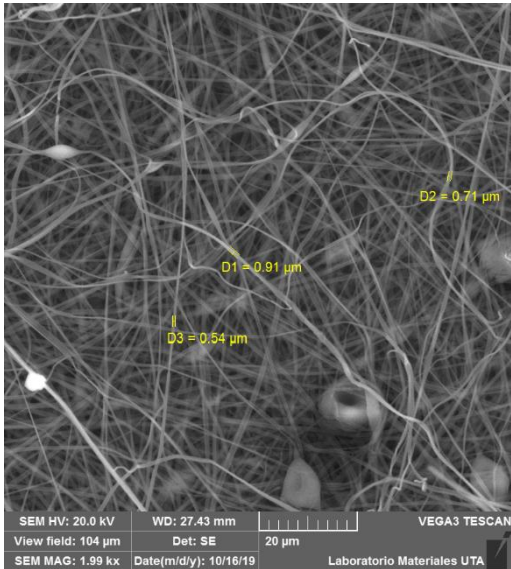
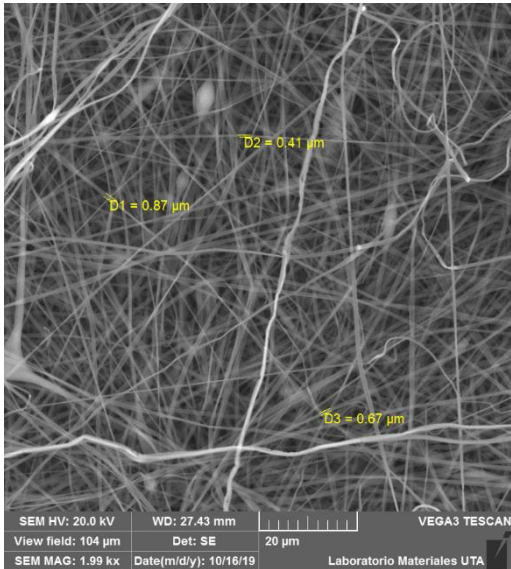
Fuente: [Autor]

Tabla 93. Ficha 17 - Nanofibra visualizada a 2 Kx

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
SOLUCION POLIMÉRICA			
POLÍMERO		30% Polisiloxano	
SOLVENTE		70% Etanol	
PARÁMETROS			
VOLTAJE		14 kV	
DISTANCIA		25 cm	
VELOCIDAD		0,9 ml/h	
IMÁGENES			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
			
RESULTADOS			
DIAMETROS 1 (μm)		DIAMETROS 2 (μm)	
0,92		0,6	
0,69		0,79	
0,59		0,89	
PROMEDIOS			
PROMEDIO 1 (μm)		PROMEDIO 2 (μm)	
0,73		0,76	
DATOS			
Lugar y fecha		Ambato, 22 de Octubre del 2019	
Responsable		Eddy Santiago Ruiz Silva	

Fuente: [Autor]

Tabla 94. Ficha 18 - Nanofibra visualizada a 2 Kx

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
SOLUCION POLIMÉRICA			
POLÍMERO		30% Polisiloxano	
SOLVENTE		70% Etanol	
PARÁMETROS			
VOLTAJE		15 kV	
DISTANCIA		25 cm	
VELOCIDAD		0,9 ml/h	
IMÁGENES			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
			
RESULTADOS			
DIAMETROS 1 (μm)		DIAMETROS 2 (μm)	
0,91		0,87	
0,71		0,41	
0,54		0,67	
PROMEDIOS			
PROMEDIO 1 (μm)		PROMEDIO 2 (μm)	
0,72		0,65	
DATOS			
Lugar y fecha		Ambato, 22 de Octubre del 2019	
Responsable		Eddy Santiago Ruiz Silva	

Fuente: [Autor]

3.9. Diámetros promedio de las fibras obtenidas por la máquina de electrohilado.

Las tablas 95 se presentan los promedios que se calculó de las muestras a diferentes parámetros. Para ello se utilizó un promedio general del promedio 1 y promedio 2 que se aprecia en cada ficha que se presentó anteriormente, con el fin de unificar en un solo diámetro de cada variación de los parámetros.

Tabla 95. Matriz de promedios general de las fibras.

Promedio general						
Diámetro [cm]	10 kV	11 kV	12 kV	13 kV	14 kV	15 kV
10	1,65	0,96	1,04	0,84	0,82	1,27
17,5	0,82	0,86	0,91	1,12	0,77	1,23
25	0,64	0,6	0,86	0,9	0,75	0,69

Fuente: [Autor]

En la figura 85 se presenta el análisis obtenido de los diámetros obtenidos, analizando el diámetro en función del voltaje.

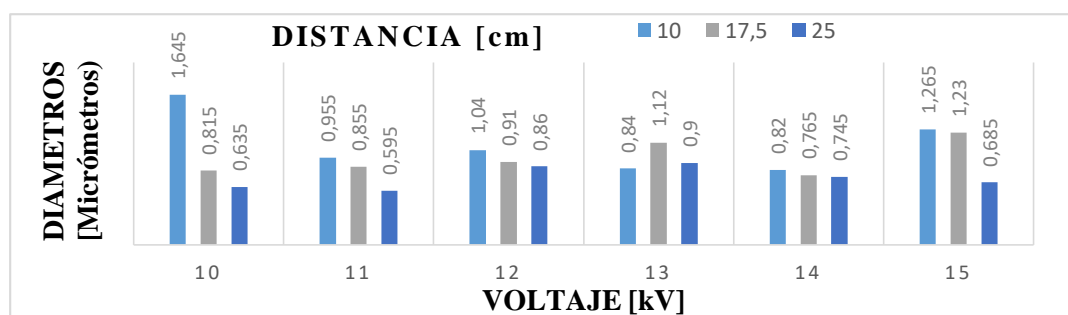


Figura 85. Grafica de diámetros visualizados en el microscopio.

Fuente: [Autor]

La figura 81 muestra que mientras más distancia del colector con respecto a la aguja exista, el diámetro medio va a ser menor, con excepción del voltaje a 13 kV, que indica una variación diferente a las demás, por lo que se puede decir que tuvo factores ambientales que cambiaron los resultados.

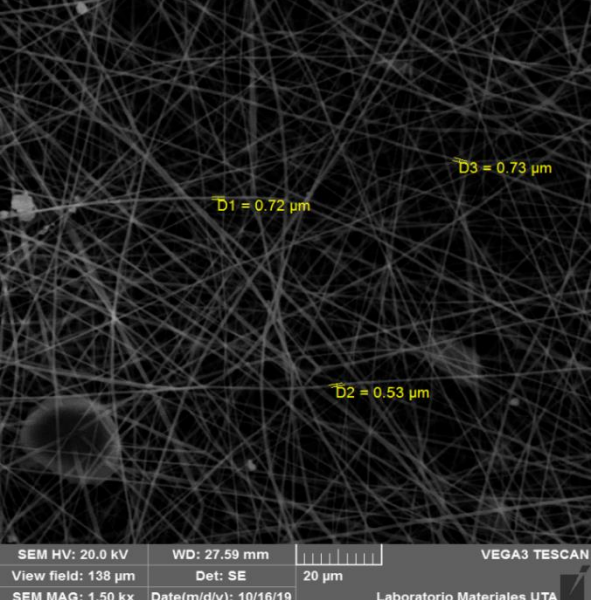
3.10. Análisis de diámetros de la fibra

En este punto se procede en analizar el diámetro menor y mayor obtenido, con el fin de identificar si existe algún tipo de discontinuidad como son: grumos, uniformidades, cortes del proceso y ramificaciones, para poder definir el mejor parámetro para producir la nanofibra. Para ellos se procede a realizar una evaluación cualitativa.

3.10.1. Análisis a 10 cm

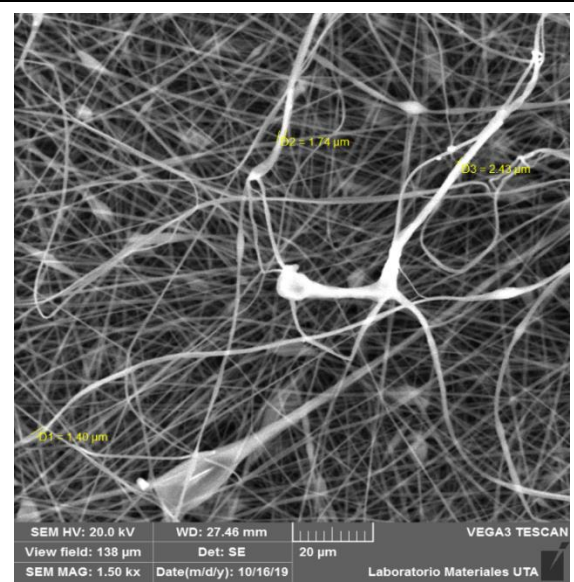
En la tabla 96 y 97 se encuentra el diámetro menor y mayor, de las cuales se indican las discontinuidades que se identifiquen en cada una de ellas.

Tabla 96. Diámetro menor a 10 cm.

10 cm - 14 kV (muestra 2)	Gráfica (Diámetro menor)
<p>Observaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se aprecia una pequeña visualización de grumos. - No presenta cortes o signos que muestre que el proceso de electrohilado se detuvo. - No existe la presencia de ramificaciones. - No existe la presencia de uniformidades. 	

Fuente: [Autor]

Tabla 97. Diámetro mayor a 10 cm.

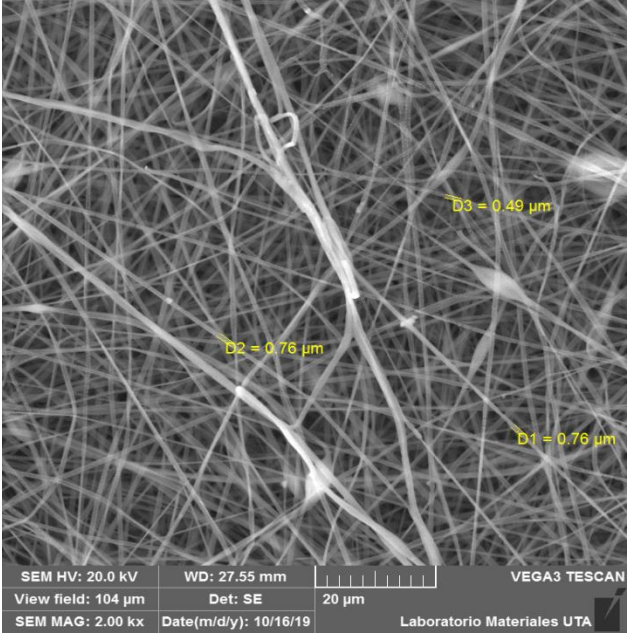
10 cm - 10 kV (muestra 1)	Gráfica (Diámetro mayor)
<p>Observaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se aprecia una mayor cantidad de grumos. - No presenta cortes o signos que muestre que el proceso de electrohilado se detuvo. - Existe la presencia de ramificaciones en varias partes de la imagen. - Existe la presencia de uniformidades en cuanto al diámetro de la fibra. 	

Fuente: [Autor]

3.10.2. Análisis a 17,5 cm

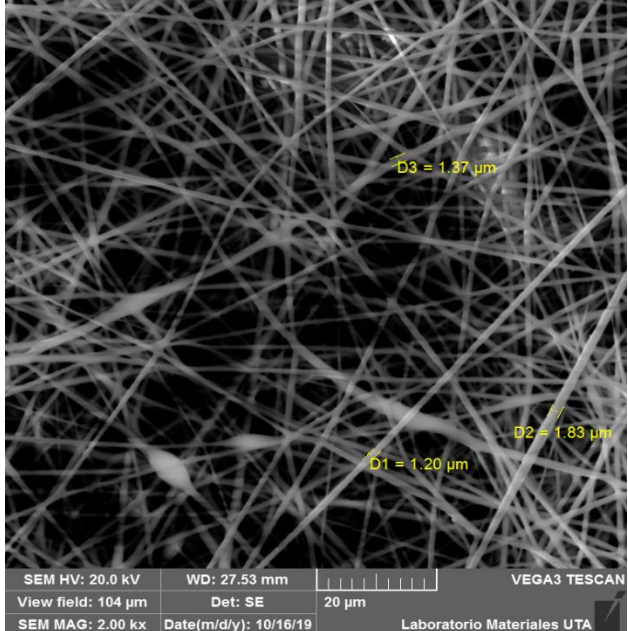
La tabla 98 y 99 indican tanto el diámetro menor y mayor que se va a analizar.

Tabla 98. Diámetro menor a 17,5 cm.

17,5 cm - 11 kV (muestra 1)	Grafica (Diámetro menor)
<p>Observaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se aprecia una pequeña cantidad de grumos. - No presenta cortes o signos que muestre que el proceso de electrohilado se detuvo. - Existe la presencia de ramificaciones. - Existe la presencia de uniformidades de mucha apreciación. 	

Fuente: [Autor]

Tabla 99. Diámetro mayor a 17,5 cm.

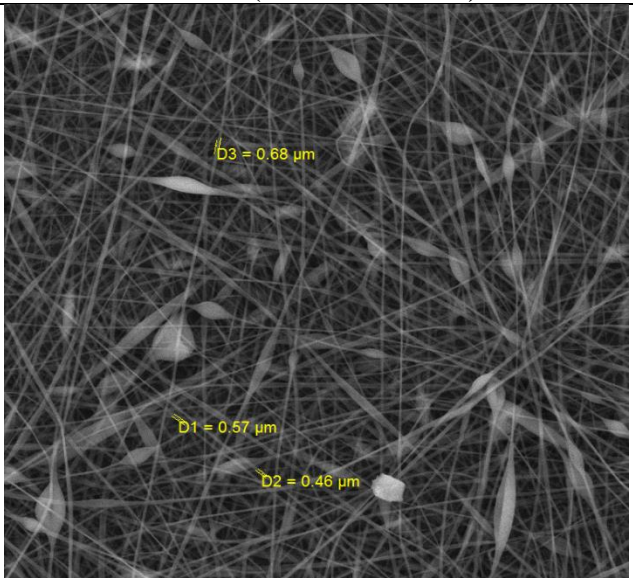
7,5 cm - 15 kV (muestra 1)	Grafica (Diámetro mayor)
<p>Observaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se aprecia una pequeña cantidad de grumos. - No presenta cortes o signos que muestre que el proceso de electrohilado se detuvo. - No Existe la presencia de ramificaciones. - Existe la presencia de uniformidades en mayor parte de la imagen. 	

Fuente: [Autor]

3.10.3. Análisis a 25 cm

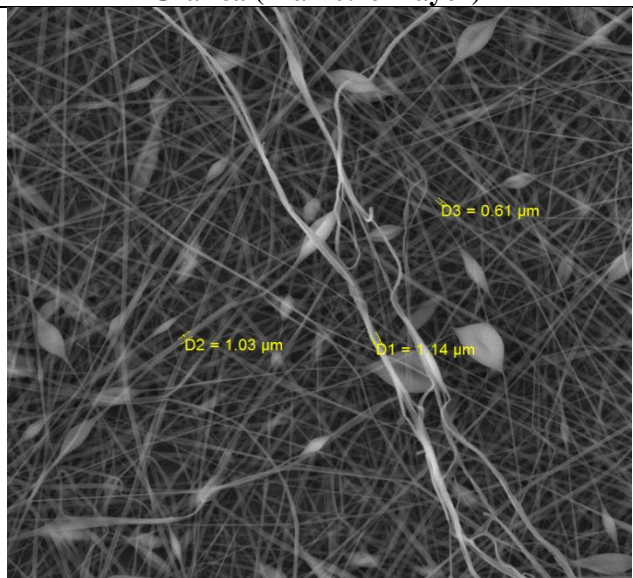
Las tablas 100 y 101 muestran los diámetros menor y mayor que se van a evaluar las discontinuidades que se puedan encontrar.

Tabla 100. Diámetro menor a 25 cm.

25 cm - 11 kV (muestra 1)	Grafica (Diámetro menor)
<p>Observaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se aprecia una cantidad excesiva de grumos. - No presenta cortes o signos que muestre que el proceso de electrohilado se detuvo. - No Existe la presencia de ramificaciones. - Existe la presencia de uniformidades en el diámetro de la fibra. 	 <p>SEM HV: 20.0 kV WD: 27.71 mm VEGA3 TESCAN View field: 104 µm Det: SE 20 µm SEM MAG: 2.00 kx Date(m/d/y): 10/16/19 Laboratorio Materiales UTA</p>

Fuente: [Autor]

Tabla 101. Diámetro mayor a 25 cm.

25 cm - 13 kV (muestra 1)	Grafica (Diámetro mayor)
<p>Observaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se aprecia una cantidad excesiva de grumos. - No presenta cortes o signos que muestre que el proceso de electrohilado se detuvo. - Existe la presencia de ramificaciones. - Existe la presencia de uniformidades en mayor parte de la imagen. 	 <p>SEM HV: 20.0 kV WD: 27.46 mm VEGA3 TESCAN View field: 104 µm Det: SE 20 µm SEM MAG: 2.00 kx Date(m/d/y): 10/16/19 Laboratorio Materiales UTA</p>

Fuente: [Autor]

En la tabla 102 se encuentra una matriz generada de las conclusiones que se obtuvieron después de analizar las discontinuidades del diámetro menor y mayor a diferentes parámetros.

Tabla 102. Matriz de conclusiones de resultados.

Parámetros		Conclusión
10 cm	14 kV	La muestra 1 presenta menos discontinuidades, con una mejor uniformidad, y se obtiene un diámetro mejor que se indica en la muestra 2.
	10 kV	
17,5 cm	11 kV	La muestra 1 a pesar que presenta uniformidades, tiene una mejor uniformidad en cuanto al posicionamiento de la fibra.
	15 kV	
25 cm	11 kV	Tanto la muestra 1 como la muestra 2 poseen las mismas discontinuidades, por lo tanto con ninguno de estos parámetros se debe realizar la obtención de la fibra.
	13 kV	

Fuente: [Autor]

3.11. Análisis de costos

Es necesario tener puesto que se requiere saber cuál es el precio de producir una máquina de este tipo, para ellos se ha realizado las tablas que indica el costo de el armazón de la estructura, los valores de la parte neumática y electrónica.

3.11.1. Costo de la estructura

La tabla 103 se tiene el costo de la materia prima utilizada para la construcción de la estructura.

Tabla 103. Costo de construcción de la estructura del equipo.

Material	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Tubo cuadrado de aluminio 1" 6m	2	\$ 15,00	\$ 30,00
Juego de codos de unido para el perfil cuadrado	2	\$ 4,00	\$ 8,00
Perfil tipo F 6m	3	\$ 1,50	\$ 4,50
Acrílico 6mm (1/4 de plancha)	2	\$ 51,30	\$ 102,60
Vidrio 4mm	1	\$ 90,00	\$ 90,00
Total			\$ 235,10

Fuente: [Autor]

3.11.2. Costos neumáticos y electrónicos

En la tabla 104 se indican los costos que los equipos neumáticos adquiridos para la construcción de los sistemas acoplados en el equipo de electrohilado.

Tabla 104.Costos de equipos neumáticos.

Neumáticos			
Material	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Racor recto súper rápido metálico	10	\$ 1,70	\$ 17,00
Silenciador de bronce 1/8	2	\$ 2,86	\$ 5,72
Minicilindro 20 x 150 amortiguado	1	\$ 89,53	\$ 89,53
Manguera poliuretano 1/8	8	\$ 0,96	\$ 7,68
Regulador de caudal	2	\$ 8,00	\$ 16,00
Filtro regulador 1/4 completo	1	\$ 63,64	\$ 63,64
Minicilindro de 16 x 50	1	\$ 57,00	\$ 57,00
Regulador de caudal RFU	1	\$ 15,00	\$ 15,00
Racor codo súper rápido M5	1	\$ 3,68	\$ 3,68
Racor codo súper rápido 1/8	1	\$ 3,25	\$ 3,25
Racor Tee súper rápido metálico	1	\$ 3,90	\$ 3,90
Total			\$ 282,40

Fuente: [Autor]

La tabla 105 tiene los costos de la parte electrónica utilizada para realizar el control del equipo de electrohilado.

Tabla 105. Costos electrónicos.

Electrónicos			
Material	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Electroválvula 5/3, 1/8 24 v	2	\$ 165,50	\$ 331,00
Placa de baquelita	1	\$ 30,00	\$ 30,00
Fuente de alto voltaje 0 - 15 kV	1	\$ 565,00	\$ 565,00
Fuente transformado de 220 a 24 v	1	\$ 25,00	\$ 25,00
Enchufe trifásico	1	\$ 6,52	\$ 6,52
Cable sucre	5	\$ 2,41	\$ 12,05
Total			\$ 969,57

Fuente: [Autor]

3.11.3. Total de costos

La tabla 106 presenta el costo total de la construcción de todos los sistemas del equipo de electrohilado.

Tabla 106.Costo total.

Costo	Valor
Estructural	\$ 235,10
Neumático	\$ 282,40
Electrónico	\$ 969,57
Total	\$ 1.487,07

Fuente: [Autor]

CAPITULO IV.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Los factores más importantes para la obtención de la nanofibra son el voltaje de la fuente de alta tensión la cual rompe la tensión superficial de la solución polimérica y la distancia del colector respecto a la aguja, ayudando a obtener un menor diámetro medio de la nanofibra, con las cuales se obtiene una mejor reacción de la solución polimérica.
- Para el diseño del equipo de electrohilado se estipularon diferentes sistemas, tanto de control que compone de un arduino que es el equipo sencillo y eficiente para programar, el sistema de elevación compuesto por un minipistón neumático que soporta una 10 bar de presión, además posee una carrera de 150 mm accionado por una electroválvula 5/3 (camozzi) capaz de controlar la distancia que existe entre la aguja y el colector, un sistema de inyección que controla la velocidad en la que se envía la solución polimérica de una manera constante, permitiendo obtener un equipo de buenas características siendo eficiente y de fácil de utilización.
- Fundamentando en los parámetros de diseño y flujogramas de construcción se puede ensamblar un equipo de electrohilado que posean una gran funcionalidad, versatilidad, fácil mantenimiento, un cómodo montaje y desmontaje de cada uno de los sistemas tanto de inyección como de elevación que se está utilizando para la generación de nanofibras, con un costo total de construcción del equipo de 1487,07 dólares.
- Con los diferentes parámetros de la máquina, permite tener diferentes variaciones tanto en el voltaje (0 – 15 kV), la distancia entre la aguja y el colector (25 – 10 cm), con ello puede obtener fibras de diferentes tipos formas y dimensiones, lo cual garantiza la funcionalidad de la máquina.

- Luego del análisis cualitativo y cuantitativo, se obtuvo una fibra de mejor característica, con un diámetro promedio de $0,73 \mu\text{m}$ a base de los parámetros de 13 kV, distancia del colector de 10 cm y una velocidad de 0,9 ml/h.

4.2. Recomendaciones

- Utilizar las normas de seguridad eléctricas necesarias al momento de utilizar el equipo, puesto que se va a manejar corrientes elevadas que puede causar algún daño al usuario.
- La preparación de la solución polimérica debe tener el porcentaje adecuado tanto del polímero y solvente, lo cual permite tener una mejor fibra.
- Se debe leer el manual de funcionamiento antes de usar el equipo por lo que en él se presenta como se puede utilizar el equipo.
- No apoyar ningún objeto en las partes laterales del equipo, ya que está cubierto de vidrio y podría causar alguna fisura o ruptura.
- Para realizar el análisis en el microscopio de barrido es necesario utilizar cinta de carbono para adherir la fibra al porta probetas, de tal manera que se tenga una mejor visualización de la fibra.

BIBLIOGRAFIA

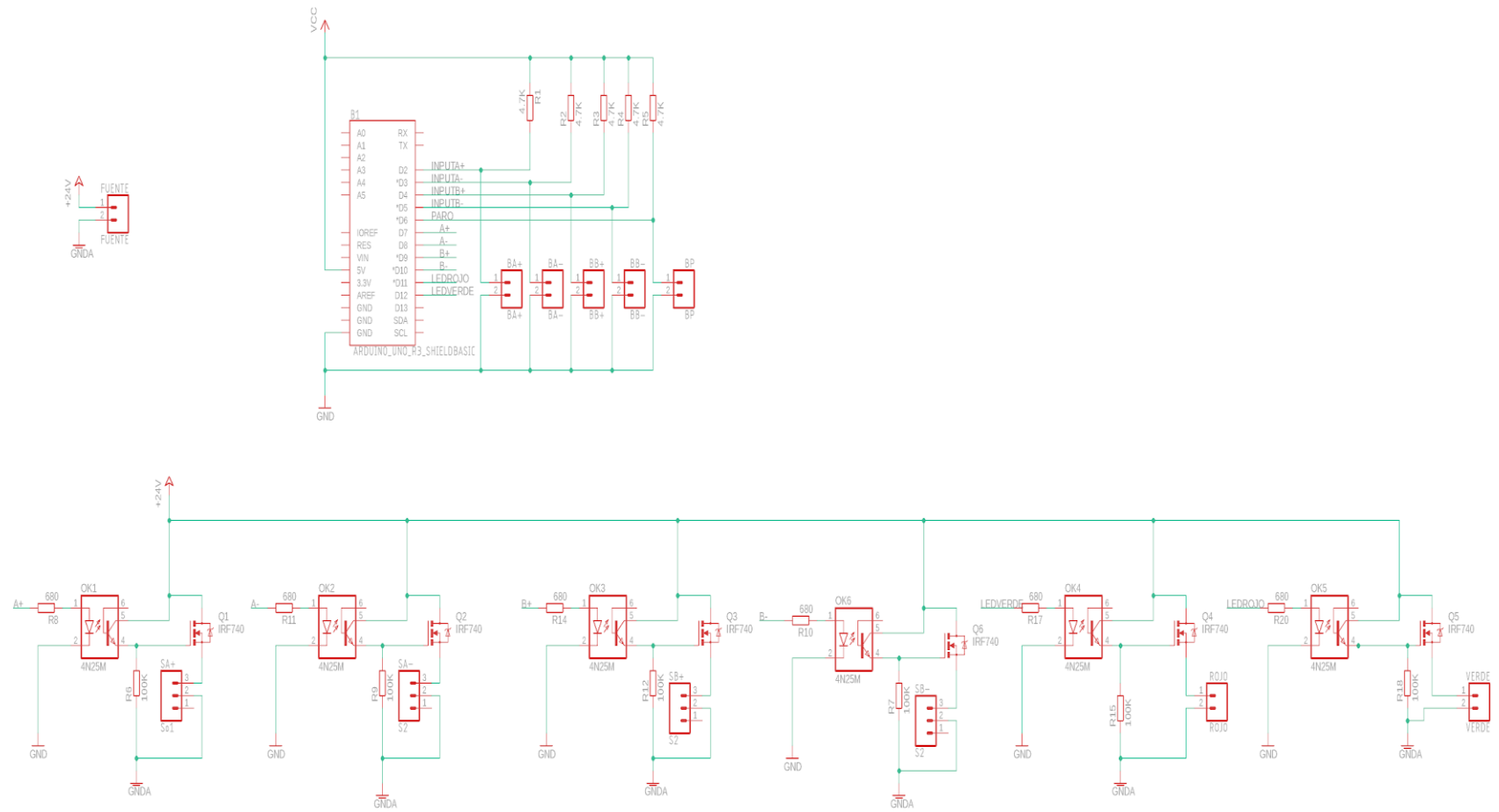
- [1] E. Ewaldz , R. Patel , M. Banerjee y B. Brettmann, «Material selection in electrospinning microparticle,» *ELSEVIER*, pp. 1-9, 2018.
- [2] S. Gee, B. Johnson y A. L. Smith, «Optimizing electrospinning parameters for piezoelectric PVDF nanofiber membranes,» *ELSEVIER*, pp. 1-9, 2018.
- [3] S. Y. Quek, J. Hadi y H. Tanambell, «Application of Electrospinning as Bioactive Delivery System,» *ELSEVIER*, pp. 1-5, 2018.
- [4] X. H. Zong, X. Xia, Y. Liang, S. Dai, A. Alsaedi, H. Tasawar y F. Kong, «el diseño de los nanomateriales y las membranas artificiales orientados a la función a través de técnicas de electrospinning y electrospraying,» *ELSEVIER*, pp. 1-51, 2017.
- [5] J. Zhong, S. Mohan, A. Bell, A. Terry, G. Mitchell y F. Davis, «Electrospinning of food-grade nanofibres from whey protein,» *ELSEVIER*, pp. 1-37, 2018.
- [6] U. E. Espinoza Nava, «Principios de diseño cinemático aplicados a la reinterpretación del colector de fibras de la tecnica de electrohilado,» UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO , México , 2016.
- [7] N. Bhaardwaj y S. Kundu, «Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique,» *ELSEVIER*, pp. 1-23, 2010.
- [8] Z. Huang, Z. Zhang, M. Kotaki y S. Ramakrishna, «A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites,» *ELSEVIER*, pp. 1-31, 2003.
- [9] A. Frenot y I. Chronakis, «Polymer nanofibers assembled by electrospinning,» *ELSEVIER*, pp. 1-12, 2003.
- [10] J. Muñoz Noriega, «Electrohilado de nanofibras fotosensibles a partir de biopolímeros tipo elastina,» UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES, Valladolid, 2015.
- [11] R. Caro Briones y A. S. Garzóz Pérez, «Implementación de un sistema de co-electrohilado para mejorar la fluorescencia de fibras poliméricas,» INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, México, 2016.
- [12] X. Hu, S. Liu, G. Zhou, H. Yubin, Z. Xie y X. Jing, «Electrospinning of polymeric nanofibers for drug delivery applications,» *ELSEVIER*, pp. 1-10, 2014.
- [13] A. Calzón Gutiérrez, «DESARROLLO DE UN EQUIPO DE ELECTROSPINNING PARA OBTENCIÓN DE NANOFIBRAS ALINEADAS DE RECOMBINÁMEROS TIPO ELASTINA,» Universidad de Valladolid, Valladolid, 2016.
- [14] F. Ballarin Montini y P. Tornello Cortez, «Nanofibras electrohiladas para usos terapéuticos,» *Pombalina*, pp. 1-35, 2015.
- [15] L. M. Duque Sánchez y M. L. Rodríguez López, «Electrospinning: la era de las nanofibras,» *Iberoamericana de Polímeros* , vol. 14, pp. 1-18, 2012.

- [16] M. A. Robles Garia, F. F. Rodriguez, E. Márquez Rios , A. Barrera Rodriguez, J. Aguilar Martínez y C. L. Del toro Sánchez, «Biomedic, textile and alimentary applications of nanostructures produced by electrospinning,» *Biotecnia*, pp. 1-9, 2014.
- [17] M. A. Osorio Delgado, L. J. Henao Tamayo y J. A. Velásquez Cock, «Biomedical applications of polymeric biomaterials,» *Universidad Nacional de Colombia*, pp. 1-12, 2017.
- [18] CAMOZZI, «CAMOZZI AUTOMATION,» [En línea]. Available: <http://catalogue.camozzi.com/>. [Último acceso: 29 Abril 2019].
- [19] CEDAL, «CEDAL ALUMINIO,» [En línea]. Available: <http://www.cedal.com.ec/>. [Último acceso: 29 Abril 2019].
- [20] GLOSS, «GLOSSPUBLINEON,» [En línea]. Available: <http://www.glosspublineon.com/cristal.html>. [Último acceso: 29 Abril 2019].
- [21] L. Malavé, «PortalSalud,» 13 Junio 2018. [En línea]. Available: https://www.portalsalud.com/tipos-de-jeringas-y-agujas_13176060/. [Último acceso: 29 Julio 2019].
- [22] Ebay, «Ebay-compra de productos online,» [En línea]. Available: <https://www.ebay.com/>.
- [23] «Olesa,» Olehidraulica española, [En línea]. Available: <http://www.olesa.es/portfolio/sistema-hidraulico-de-elevacion-de-rampas>. [Último acceso: 25 septiembre 2019].
- [24] «Sistemas tecnológicos,» 05 junio 2014. [En línea]. Available: <http://1995eduar.blogspot.com/2014/06/sistemas-neumaticos.html>. [Último acceso: 25 septiembre 2019].
- [25] «Instalaciones electromecánicas,» wordpress, [En línea]. Available: <https://ie2mmo.wordpress.com/2017/08/30/p18-15-ascensor/>. [Último acceso: 25 septiembre 2019].
- [26] «EDIMAR,» Autómata programable, [En línea]. Available: <https://www.edimar.com/tienda-electronica/industrial/sistemas-de-control/automatas-programables/automata-programable-plc-omron-cp1l/>. [Último acceso: 25 septiembre 2018].
- [27] [En línea]. Available: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/category/pwm/>. [Último acceso: 25 septiembre 2019].
- [28] J. McCormac, Diseño de estructuras de acero, México: Alfaomega, 2013.

Anexos

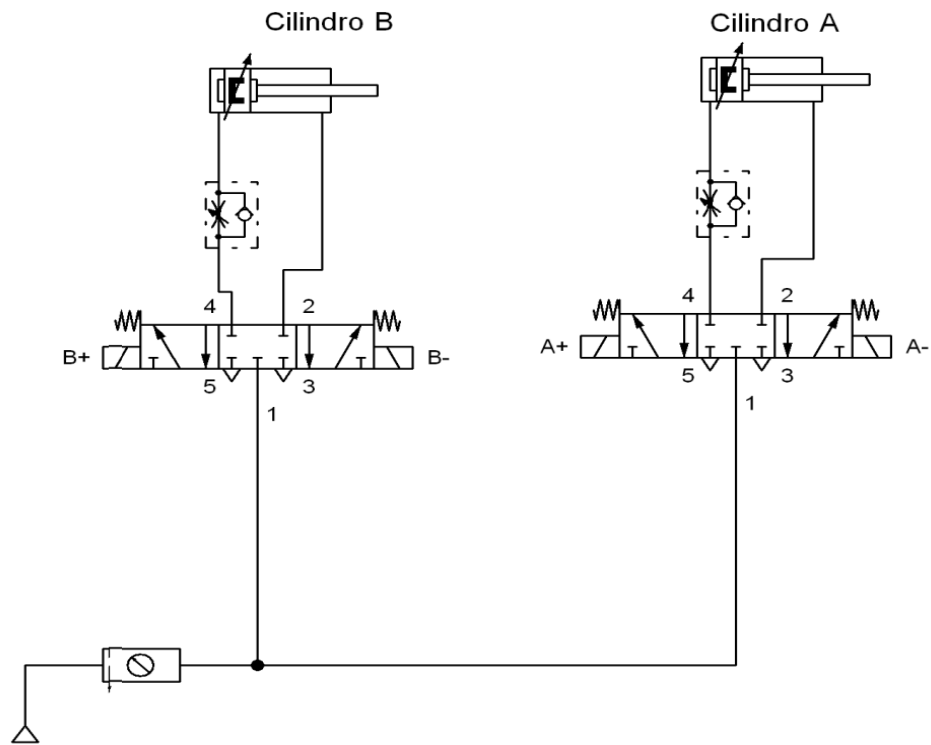
Anexo 1

Diagrama de mando



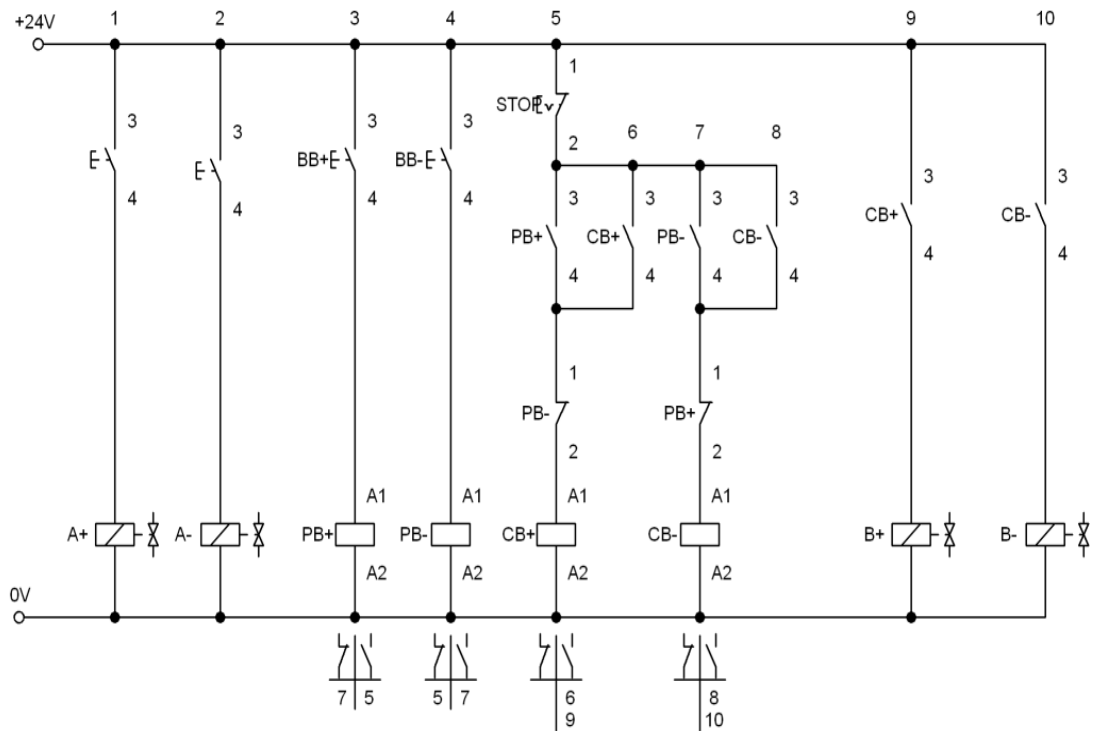
Anexo 2

Diagrama neumático



Anexo 3

Diagrama de control



Anexo 4

Descripción del programa cargado a arduino

El siguiente programa se encuentra hecho en c, con la ayuda del software y librerías de arduino, para el microcontrolador arduino uno, que se programa a través del puerto USB por el arduino IDE. El programa tiene varias fases a saber, como son:

ALIAS

Los alias son una forma de guardar variables con nombres conocidos y además las variables se guardan de forma constante, lo que es ideal para definir pines de Arduino en una manera amigable con humanos, en C se utiliza la palabra `#define` para definirlos, como se muestra en las siguientes figuras.

```
1 //Definicion de Alias para la prgramacion
2 //Definicion de botones(ENTRADAS)
3 #define INPUTAextendido 4
4 #define INPUTAretraido 5
5 #define INPUTBextendido 2
6 #define INPUTBretraido 3
7 #define Emergencia 6
8 //Definicion de salidas
9 #define Aextendido 7
10 #define Aretraido 8
11 #define Bextendido 9
12 #define Bretraido 10
13 #define LEDRojo 12
14 #define LEDVerde 11
```

Ahí como se ve, cada número de pin de entrada está definido la palabra INPUT al inicio de la palabra y de la línea 9 a la 14 se definen la ubicación física de los pines de salida que son los encargados de activar las electroválvulas y los pilotos de señalización.

VARIABLE

Las variables en este caso **estadoEmergencia** y **estadoAnterior** son de tipo booleano(es decir binario 0 o 1) y en el caso de la primera se usará para definir que si el sistema está en emergencia o no, mientras que el otro sirve para saber en qué estado se encontraba el Cilindro B, para que luego pasado la emergencia, pueda contraerse o retraerse y así pueda continuar con su recorrido normal luego de la emergencia.

```

15 //Bandera que sirve para guardar el estado anterior
16 bool estadoEmergencia = false;
17 bool estadoAnterior = false;

```

CONFIGURACION DE ENTRADAS Y SALIDAS

Esta es una parte fundamental del programa, esto se hace una vez en la función setup de Arduino (que es propia de las librerías de Arduino y se ejecuta solo una vez), entonces se usa la función **pinMode** (numeroPIN, entrada o salida) para definir entradas (INPUT) o salidas (OUTPUT), como se ve en la figura de abajo.

```

19 void setup() {
20   //Definicion de las entradas en el microcontrolador
21   pinMode(INPUTAextendido, INPUT);
22   pinMode(INPUTAretraido, INPUT);
23   pinMode(INPUTBextendido, INPUT);
24   pinMode(INPUTBretraido, INPUT);
25   pinMode(Emergencia, INPUT);
26   //Definicion de salidas en el microcontrolador
27   pinMode(Aextendido, OUTPUT);
28   pinMode(Aretraido, OUTPUT);
29   pinMode(Bextendido, OUTPUT);
30   pinMode(Bretraido, OUTPUT);
31   pinMode(LEDVerde, OUTPUT);
32   pinMode(LEDRojo, OUTPUT);

```

INICIALIZACIÓN DE VARIABLES

Como paso final de la configuración, se inicializan tanto electroválvulas como leds piloto en LOW, es decir apagado, para que el sistema inicie en la posición inicial, además se inicializa el puerto serial y de esa forma permite ver cada acción del sistema en la

```

33 //Inicializacion de variables, todo se apaga al principio
34 digitalWrite(Aextendido, LOW);
35 digitalWrite(Aretraido, LOW);
36 digitalWrite(Bextendido, LOW);
37 digitalWrite(Bretraido, LOW);
38 digitalWrite(LEDVerde, LOW);
39 digitalWrite(LEDRojo, LOW);

```

INICIO DEL CICLO

El ciclo principal inicia con la palabra loop que es la que define un ciclo en Arduino, como los botones del Cilindro A definen que cada que se aplasta, salga o se retraiga, entonces, es de acción simple, como los botones cierran el circuito y están configurados en la configuración Pull-up, cada vez que esté en estado bajo, se extiende

A+ y A- y si está en Alto, se desactivan esas salidas. Se espera un tiempo con la función delay para que se vea el efecto de la salida.

```

46 void loop() {
47   //Cuando se presiona el botón A+
48   if (!digitalRead(INPUTAextendido)) {
49     Serial.println("Aplastado A+");
50     digitalWrite(Aextendido, HIGH);
51     digitalWrite(Aretraido, LOW);
52     delay(50);
53     if (!estadoEmergencia) digitalWrite(LEDVerde, HIGH);
54   }
55   else {
56     digitalWrite(Aextendido, LOW);
57   }
58   //Cuando se presiona el Botón A-
59   if (!digitalRead(INPUTAretraido)) {
60     Serial.println("Aplastado A-");
61     digitalWrite(Aextendido, LOW);
62     digitalWrite(Aretraido, HIGH);
63     if (!estadoEmergencia) digitalWrite(LEDVerde, HIGH);
64     delay(10);

```

En cambio el Cilindro B+, la acción de cada botón es presionar una vez y hacer que salga, entonces como está en configuración Pull-up igualmente, se propone la configuración antirebote, por lo que se usando dos ifs, se extienden y retraen las válvulas.

```

69   //Cuando se presiona el Botón B+
70   if (!digitalRead(INPUTBextendido)) {
71     delay(250);
72     if (digitalRead(INPUTBextendido)) {
73       delay(100);
74       digitalWrite(Bextendido, HIGH);
75       digitalWrite(Bretraido, LOW);
76       Serial.println("Aplastado B+");
77       estadoAnterior = HIGH;
78       delay(500);
79       if (!estadoEmergencia) digitalWrite(LEDVerde, HIGH);
80     }
81   }
82   //Cuando se presiona el botón B-
83   if (!digitalRead(INPUTBretraido)) {
84     delay(250);
85     if (digitalRead(INPUTBretraido)) {
86       if (!estadoEmergencia) digitalWrite(LEDVerde, HIGH);
87       delay(250);
88       digitalWrite(Bextendido, LOW);
89       digitalWrite(Bretraido, HIGH);
90       Serial.println("Aplastado B-");
91       estadoAnterior = LOW;
92       delay(500);

```

En cambio en la emergencia, el pulsador es momentaneo y normalmente cerrado(NC), entonces, el primer if es true y el segundo false, se activa o se desactiva la variable estadoEmergencia, cuando esta está activada, se activa el led rojo y las electroválvulas del cilindro B se desactivan. Cuando la variable estadoEmergencia está desactivada, se continúa el proceso, se cambia el color de los LEDs pilotos verde se encienden y el rojo se apaga, y continúa el último proceso que estaba haciendo Cilindro B.

```

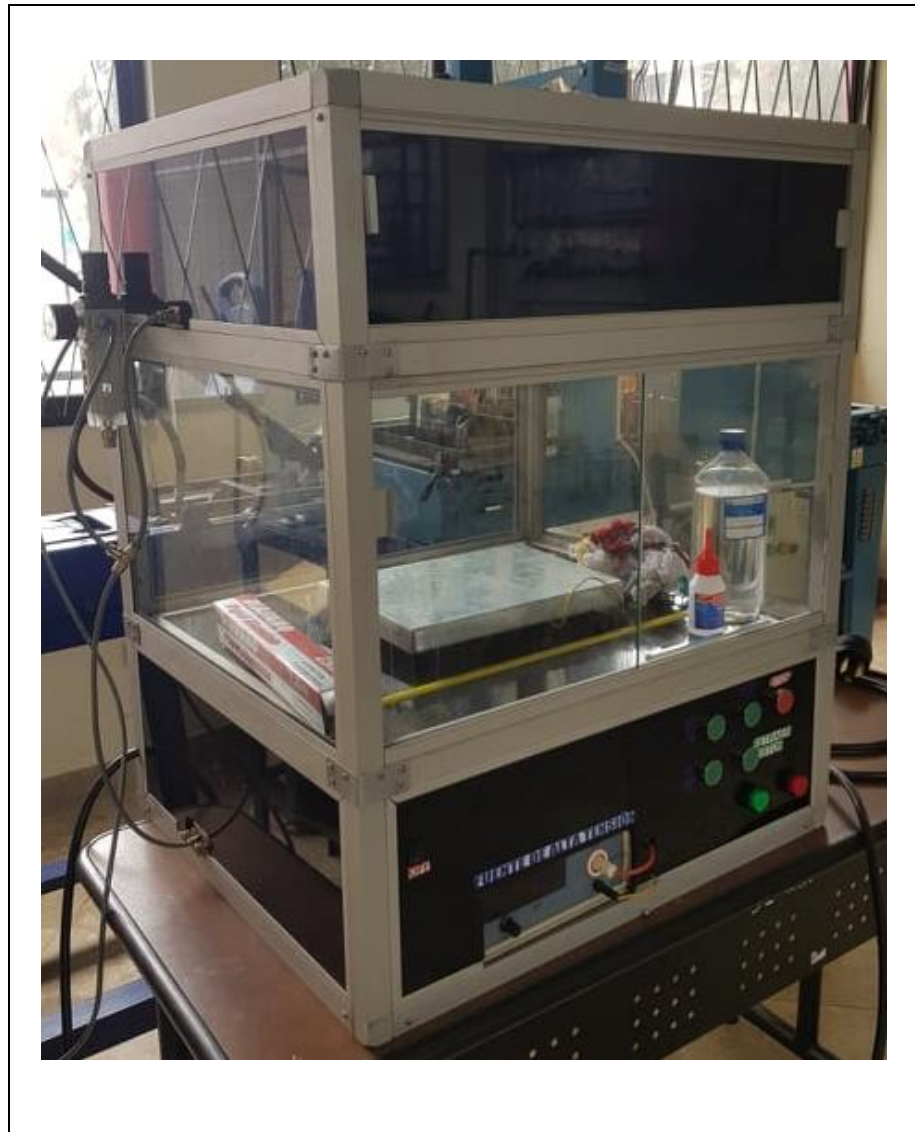
95 //Cuando se presiona el botón de emergencia
96 if (digitalRead(Emergencia) == true) {
97     delay(25);
98     if (digitalRead(Emergencia) == false) {
99         delay(25);
100        if (estadoEmergencia == false) {
101            Serial.println("Emergencia = true");
102            estadoEmergencia = true;
103        }
104        else {
105            Serial.println("Emergencia = false");
106            estadoEmergencia = false;
107        }
108        if (estadoEmergencia) {
109            Serial.println("STOP");
110            digitalWrite(LEDVerde, LOW);
111            digitalWrite(LEDRojo, HIGH);
112            //Este codigo está de cambiarle
113            digitalWrite(Bextendido, LOW);
114            digitalWrite(Bretraido, LOW);
115            delay(250);
116            //////////////////////////////////////

```

Anexo 5



**MÁQUINA DE ELECTROHILADO TIPO VERTICAL PARA LA
ELAVORACION DE NANOFIBRAS A BASE DEL POLÍMERO
POLISILOXANO**




1. Introducción

Elementos

La máquina de electrohilado conforma de varios componentes que son esenciales para el funcionamiento como son los siguientes:

N°	CANT	NOMBRE DEL COMPONENTE
1	2	Electroválvula 5/3
2	1	Minipistón 16 x 50 serie 24
3	1	Minipistón 20 x 150 amortiguado
4	2	Regulador de caudal
5	1	Regulador de caudal RFU
6	2	Silenciador
7	8	Racor recto metálico
8	2	Racor/codo
9	1	Racor Tee
10	1	Fuente de alta tensión 0 - 15 kV
11	1	Fuente de 220 v a 24 v
12	1	Unidad de mantenimiento
13	1	Tarjeta arduino UNO
14	1	Tarjeta electrónica de mando

Nota:

	<p>La persona que vaya a dar uso de la máquina debe leer el manual en la página N°5 donde se explica el funcionamiento detallado de la misma para poder evitar cualquier inconveniente.</p>
---	--

2. Descripción de la máquina

En el presente proyecto técnico el cual está enfocado en la construcción de una máquina de electrohilado con una estructura a base de aluminio, que tienen la finalidad de generar nanofibras, utilizando una fuente de alto voltaje la cual genera de 0 a 15 kV que es la parte fundamental para generar duchas nanofibras a base del polímero polisiloxano.

3. Características

Características generales de la máquina	
Altura	90 cm
Ancho	55 cm
Largo	65 cm
Voltaje	220 v
Tiempo de uso mínimo	5 minutos.
Presión Max	10 bar
Material/estructura	Aluminio
Material/laterales	vidrio 4 mm
Material/base/superior	acrílico 6mm

4. Condiciones de seguridad

4.1. Referente a la máquina

En el siguiente apartado se indica las condiciones que se debe cumplir al momento que se quiera utilizar la máquina para realizar el proceso de electrohilado.

4.1.1. Alimentación de energía





La máquina debe ser alimentada únicamente con un voltaje de 220 voltios, puesto que este es el voltaje adecuado para un buen funcionamiento y evitar un cortocircuito o daño en los equipos que compone.

4.1.2. Fragilidad de la máquina


Para mayor seguridad el operario no debe apegarse a los laterales de la máquina, puesto que el material es frágil ya que es de vidrio y podría trizarse o incluso romperlo, causando algún daño al operario.

4.1.3. Seguridad del operario






Antes de utilizar la maquinaria el operario debe llevar puesto los siguientes equipos de seguridad:


Equipos de seguridad para el operario		
Equipo	uso	grafico
Lentes de seguridad	Previene que elementos del ambiente en el que se esté trabajando lleguen directamente a la vista.	
Guantes de látex	Para manipular el disolvente utilizado en la creación de la solución polimérica	
Guantes de seguridad	Previene que el operario haga contacto con la electricidad al momento de conectar la máquina a fuentes de elevado voltaje	
Mascarilla	Previene el ingreso de cualquier sustancia que se presente en el ambiente de trabajo	

Nota:

	- No manipular de una manera inadecuada los cables que sean alimentados con un enchufe bifásico (220 voltios) cuando la máquina esté en funcionamiento.
	- Cuando se requiera realizar algún tipo de mantenimiento, asegúrese de que la máquina sea desconectada.

5. Funcionamiento de la máquina

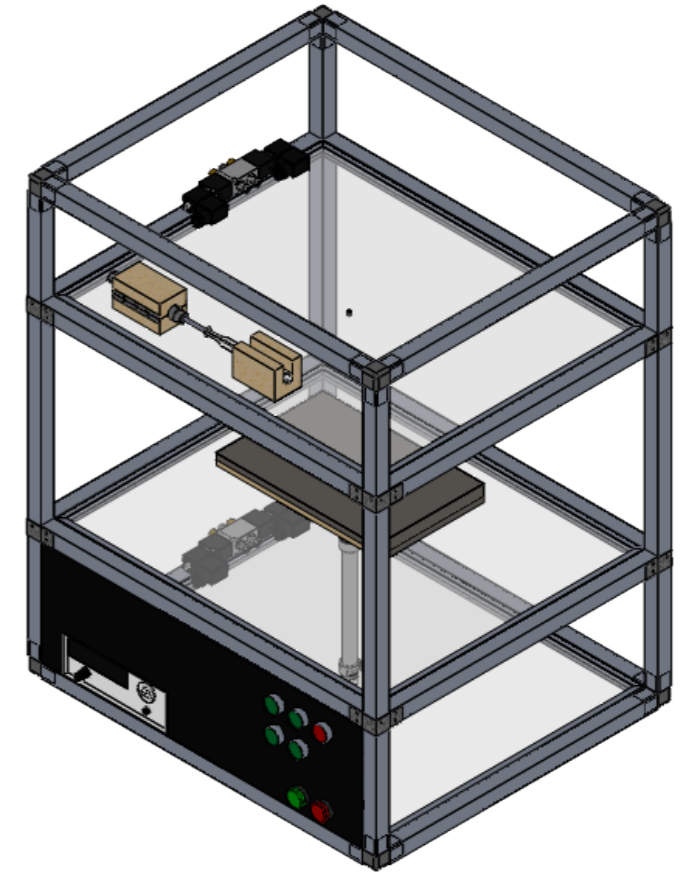
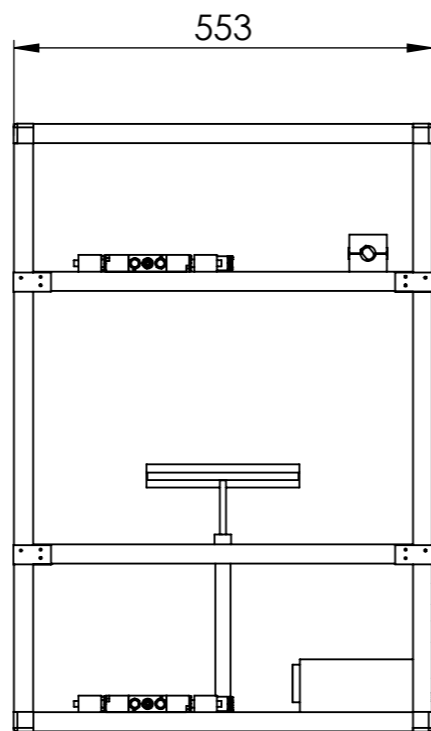
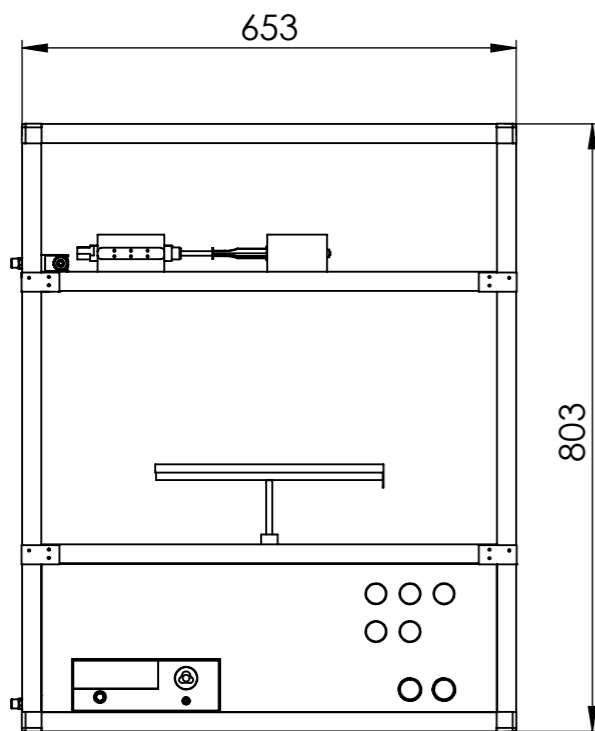
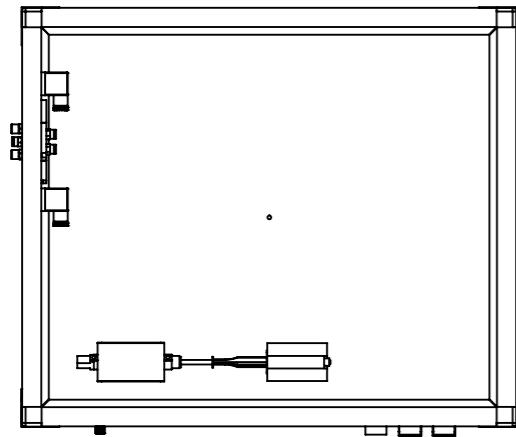
Sistema de funcionamiento		
Nº	Descripción	Figura
1	Alimentar el aire con la manguera de 1/8 en la unidad de mantenimiento	
2	Regular la presión en la unidad de mantenimiento	
3	Encender la fuente de alto voltaje y regularlo con el voltaje deseado	
4	Con los botones regular la distancia entre el colector y la aguja	
5	Encender el sistema de inyección, para que fluya la solución polimérica a través de la manguera quirúrgica.	

<p>6</p>	<p>Cuando se necesite retirar la probeta, es necesario oprimir el botón de stop.</p>	
<p>7</p>	<p>Cerrar las puertas corredizas para que no exista ningún ingreso de aire</p>	
<p>8</p>	<p>Cuando se termine el proceso se debe oprimir el botón de retracción del pistón para ingresar una nueva jeringa con solución polimérica.</p>	

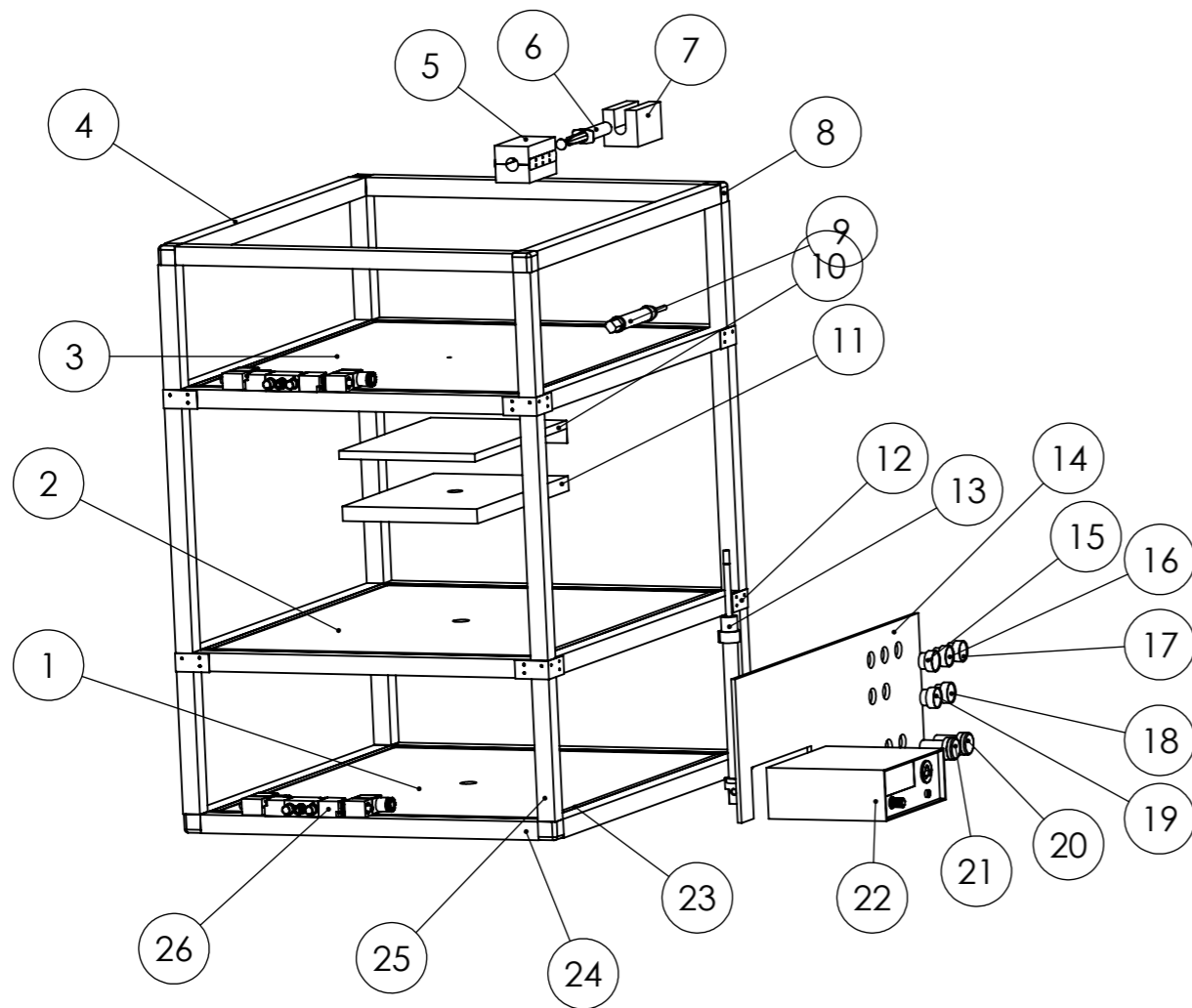
PLANOS



				TOLERANCIA: ±1	PESO: 27,5 Kg	MATERIAL: VARIOS	
							ESCALA: 1:5
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO: EQUIPO DE ELECTROHILADO	
				DIBUJO: 4/11/2019	EDDY RUIZ		
				REVISO: 6/11/2019	ING. OSCAR ANALUIZA		
				APROBO: 6/11/2019	ING. OSCAR ANALUIZA		
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA		N.º DE LAMINA HOJA 1 DE 14	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:	



				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
				±1	27,5 Kg	VARIOS		
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:		ESCALA:
				DIBUJO: 30/10/2019	EDDY RUIZ	EQUIPO DE ELECTROHILADO		1:10
				REVISO: 06/11/2019	ING. OSCAR ANALUIZA			
				APROBO: 06/11/2019	ING. OSCAR ANALUIZA			
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA		N.º DE LAMINA	REGISTRO:	
						HOJA 2 DE 14		
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:		



N°	Nombre	Descripción	Cantidad
1	Acrílico inferior	Base del pistón de elevación (plano 2)	1
2	Acrílico medio	Soporte superior del pistón (plano 10)	1
3	Acrílico superior	Parte donde se acopla la aguja y el sistema de inyección (plano 9)	1
4	Perfil Aluminio 60 cm	Estructura (adquirido)	8
5	Abrasadera-pitón pequeño	Fijar el pistón(plano 11 y 12)	1
6	Jeringa 10 ml	Resipiente de la solución polimérica (adquirido)	1
7	Porta jeringa	Sostiene la jeringa de 10 ml (plano 13)	1
8	Codo	Unión de los perfiles de 50, 60 y 80cm (adquirido)	8
9	Pistón-carrera 50 mm	Ayuda en la inyección de la solución (adquirido)	1
10	Colector	Donde se deposita la fibra (plano 8)	1
11	Aislante eléctrico	Aisla la corriente del colector con la estructura (plano 7)	1
12	Seguro	Mantiene estática a la estructura (plano 4)	8
13	Piston-carrera 150 mm	Eleva el colector (adquirido)	1
14	Panel de control	Controla las lectroválvulas (plano 6)	1
15	Botón 1	Eleva el colector (adquirido)	1
16	Botón 2	Intecta la solución (adquirido)	1
17	Botón 3	Stop (adquirido)	1
18	Botón 4	Retrae el pistón inyector (adquirido)	1
19	Botón 5	Retrae el pistón del colector (adquirido)	1
20	Indicador 1	Stop (adquirido)	1
21	Indicador 2	Inyectando solución (adquirido)	1
22	Fuente de alta tensión	0 a 15Kv (adquirido)	1
23	Perfil F	Fija los acrílicos (adquirido)	16
24	Perfil aluminio 50 cm	Estructura (adquirido)	8
25	Perfil aluminio 80 cm	Estructura (adquirido)	4
26	Electroválvula 5/3	Controlador de pistones (adquirido)	2

TOLERANCIA:		PESO:		MATERIAL:	
±1		27,5 Kg		VARIOS	
FECHA:		NOMBRE:		TÍTULO:	
DIBUJO: 30/10/2019		EDDY RUIZ		EQUIPO DE ELECTROHILADO	
REVISO: 06/11/2019		ING. OSCAR ANALUIZA		ESCALA: 1:10	
APROBO: 06/11/2019		ING. OSCAR ANALUIZA		REGISTRO:	
U.T.A.				N.º DE LAMINA	
INGENIERIA MECANICA				HOJA 3 DE 14	
EDICIÓN:		MODIFICACION:		SUSTITUCION:	
FECHA:		NOMBRE:			

1 2 3 4

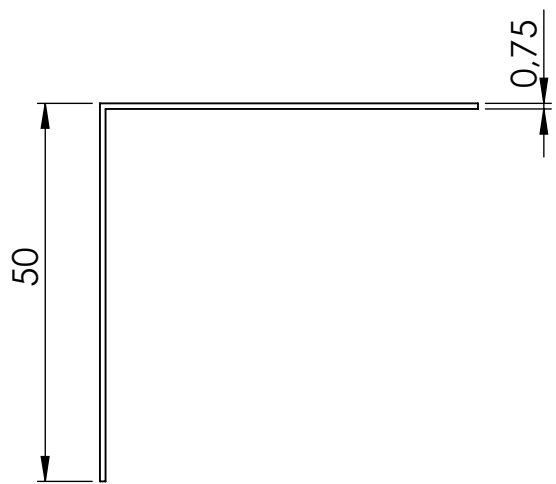
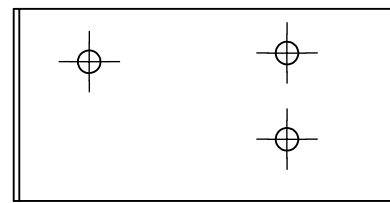
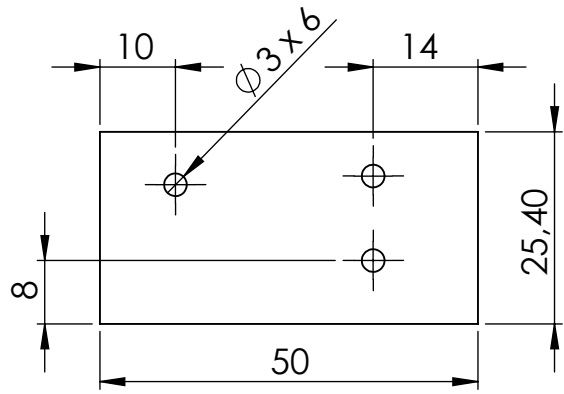
A

B

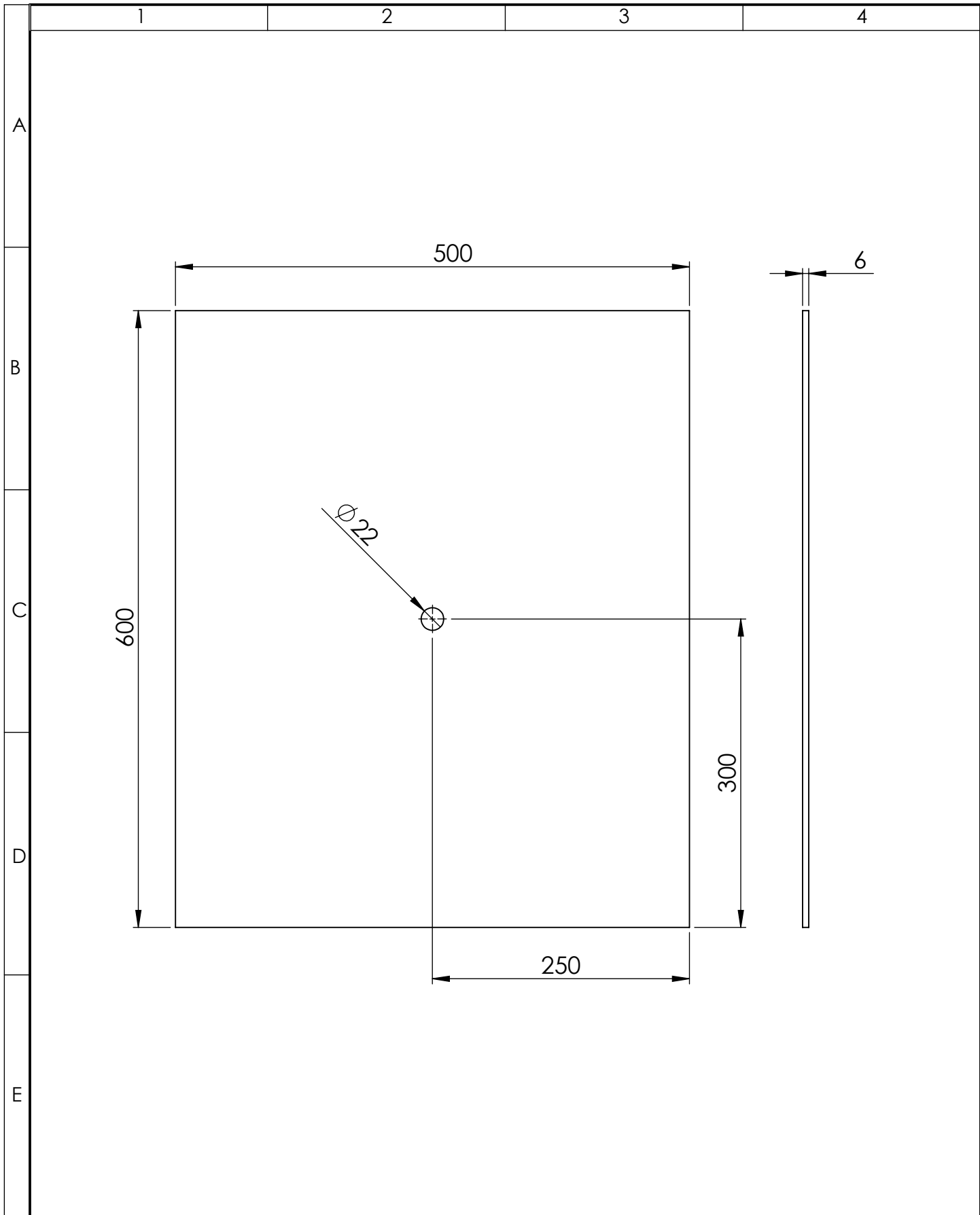
C

D

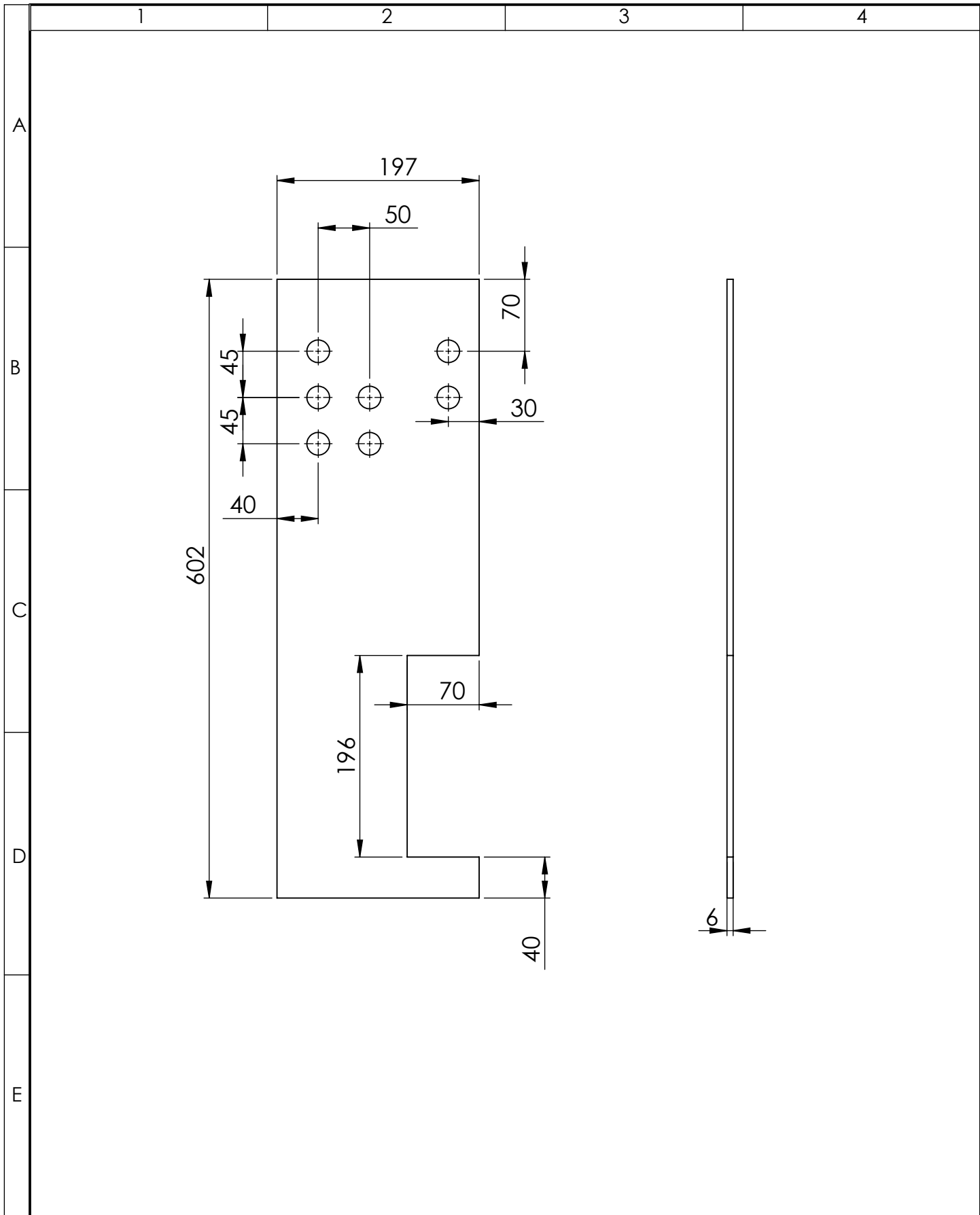
E



				TOLERANCIA: ±1	PESO: 2 gr	MATERIAL: ACERO GALVANIZADO	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO: Seguro	
				DIBUJO: 4/11/2019	EDDY RUIZ	ESCALA: 1:1	
				REVISO: 06/11/2019	ING. OSCAR ANALUIZA		
				APROBO: 06/11/2019	ING. OSCAR ANALUIZA		
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA		N.º DE LAMINA HOJA 4 DE 14	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:	



				TOLERANCIA: ±1	PESO: 2 kg	MATERIAL: Acrílico	
						TÍTULO: Base del pistón	ESCALA: 1:5
				DIBUJO: 4/11/2019	EDDY RUIZ		
				REVISO: 06/11/2019	ING. OSCAR ANALUIZA		
				APROBO: 06/11/2019	ING. OSCAR ANALUIZA		
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA		N.º DE LAMINA HOJA 5 DE 14	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:	



				TOLERANCIA: ±1	PESO: 1,04kg	MATERIAL: Acrílico	
						TÍTULO: Panel de control	ESCALA: 1:5
				DIBUJO: 4/11/2019	EDDY RUIZ		
				REVISO: 06/11/2019	ING. OSCAR ANALUIZA		
				APROBO: 06/11/2019	ING. OSCAR ANALUIZA		
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA		N.º DE LAMINA HOJA 6 DE 14	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:	

1

2

3

4

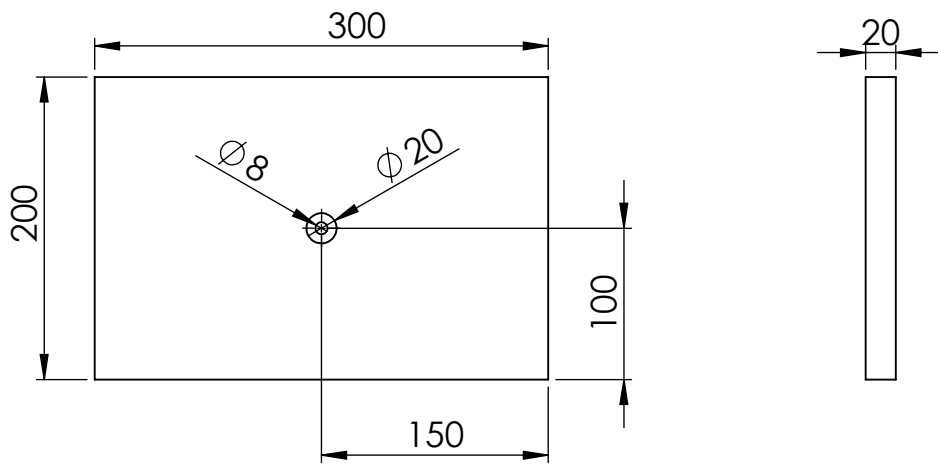
A

B

C

D

E



				TOLERANCIA: ± 1	PESO: 1,03 Kg	MATERIAL: Madera	
						TÍTULO: Aislate eléctrico	ESCALA: 1:5
				FECHA	NOMBRE		
				DIBUJO: 4/11/2019	EDDY RUIZ		
				REVISO: 06/11/2019	ING. OSCAR ANALUIZA		
				APROBO: 06/11/2019	ING. OSCAR ANALUIZA		
				U.T.A.		N.º DE LAMINA	REGISTRO:
						INGENIERIA MECANICA	
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:	

1 2 3 4

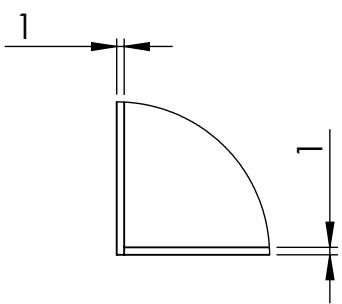
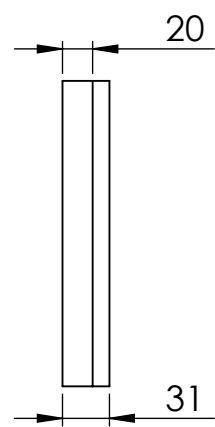
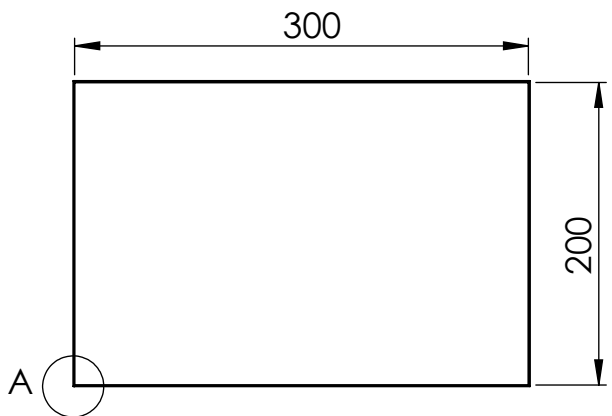
A

B

C

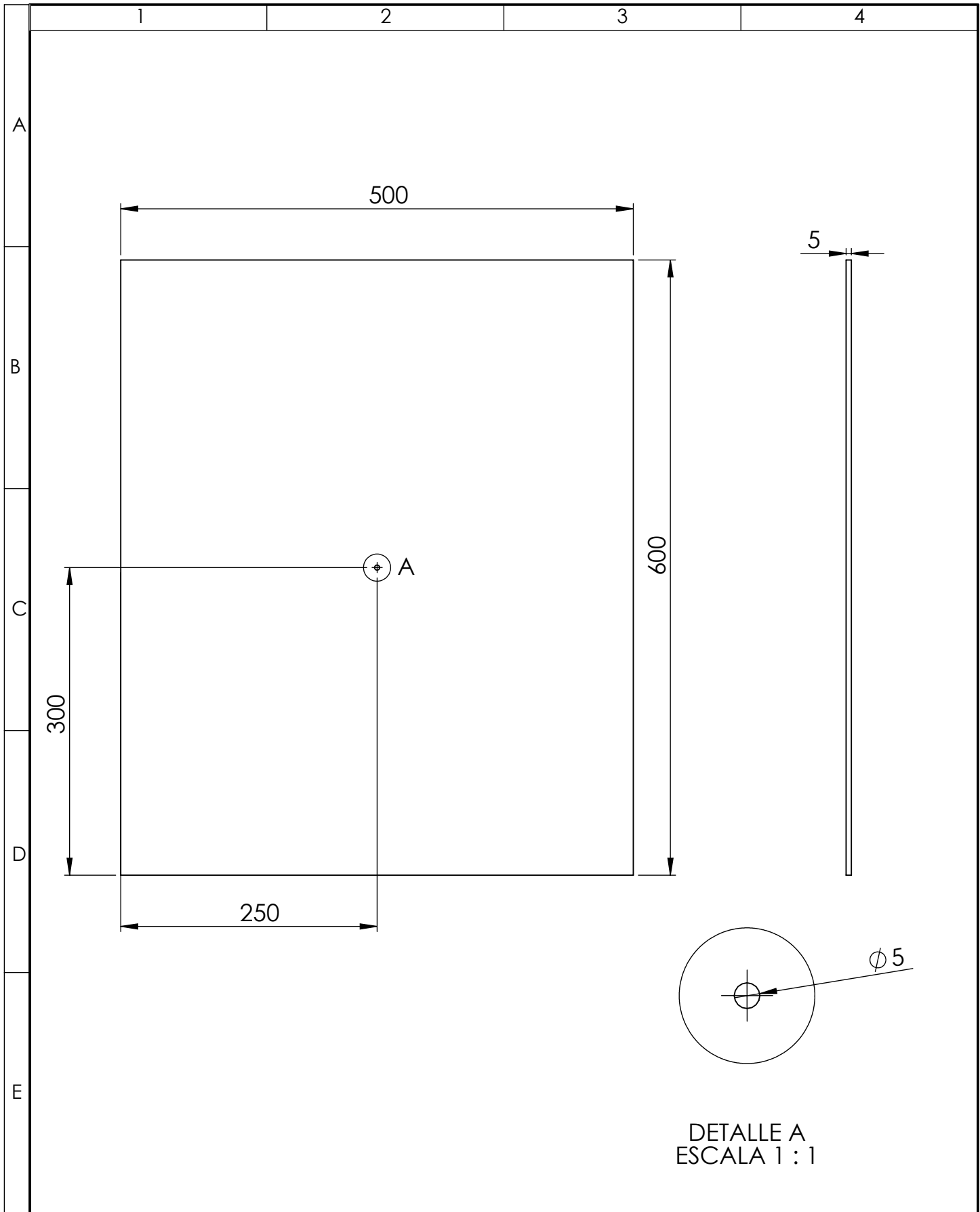
D

E



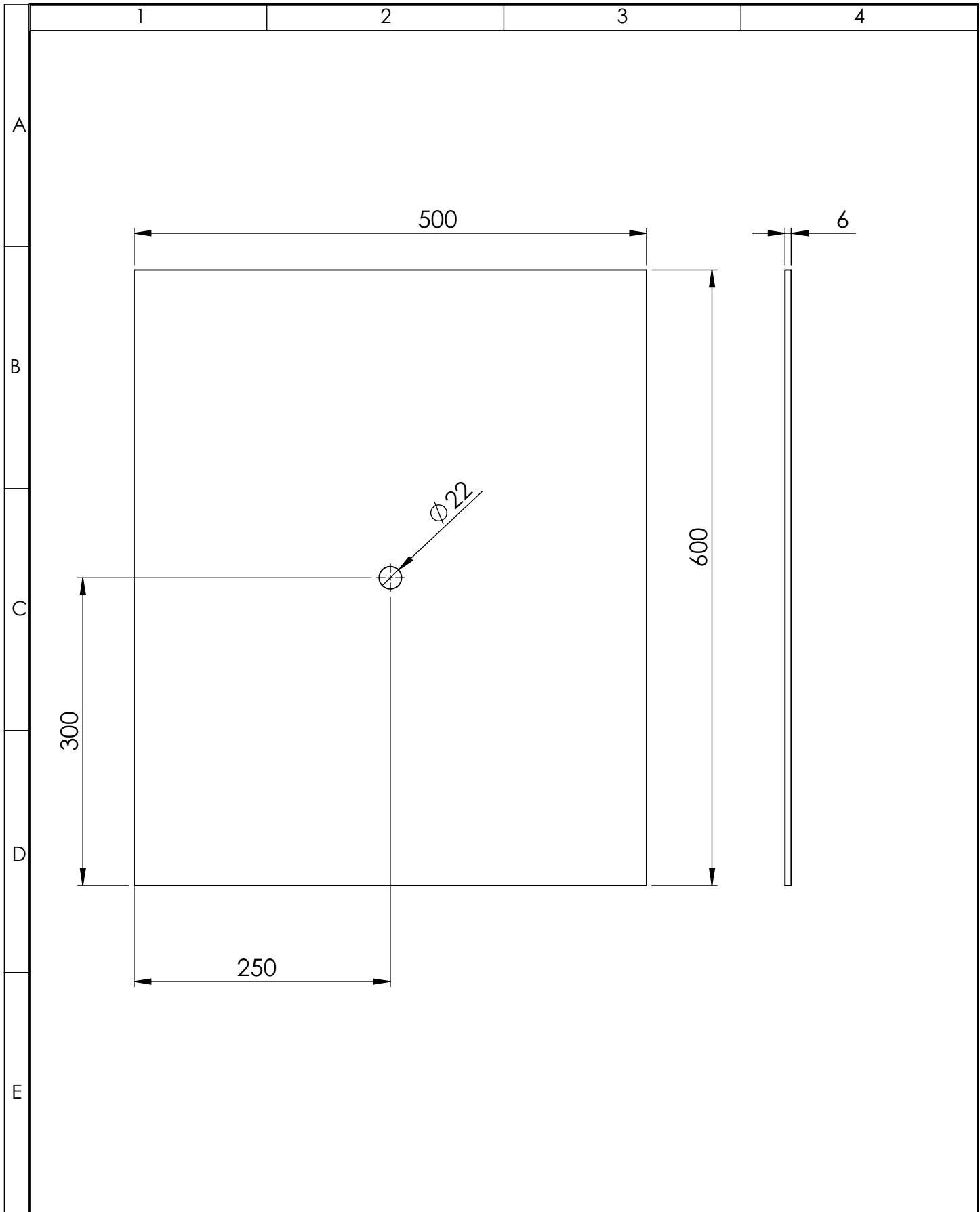
DETALLE A
ESCALA 1 : 1

				TOLERANCIA: ±1	PESO: 0,5 Kg	MATERIAL: Acero galvanizado	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO: Colector	ESCALA: 1:5
				DIBUJO: 4/11/2019	EDDY RUIZ		
				REVISO: 06/11/2019	ING. OSCAR ANALUIZA		
				APROBO: 06/11/2019	ING. OSCAR ANALUIZA		
				U.T.A.		N.º DE LAMINA HOJA 8 DE 14	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	INGENIERIA MECANICA		SUSTITUCION:	



DETALLE A
ESCALA 1 : 1

				TOLERANCIA: ± 1	PESO: 2 Kg	MATERIAL: Acrílico	
						TÍTULO: Acrílico superior	ESCALA: 1:5
				DIBUJO: 4/11/2019	EDDY RUIZ		
				REVISO: 06/11/2019	ING. OSCAR ANALUIZA		
				APROBO: 06/11/2019	ING. OSCAR ANALUIZA		
				U.T.A.		N.º DE LAMINA HOJA 9 DE 14	REGISTRO:
						INGENIERIA MECANICA	
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCION:			



				TOLERANCIA: ±1	PESO: 2 Kg	MATERIAL: Acrílico	
						TÍTULO: Acrílico intermedio	ESCALA: 1:5
				DIBUJO: 4/11/2019	EDDY RUIZ		
				REVISO: 06/11/2019	ING. OSCAR ANALUIZA		
				APROBO: 06/11/2019	ING. OSCAR ANALUIZA		
				U.T.A.		N.º DE LAMINA HOJA 10 DE 14	REGISTRO:
						INGENIERIA MECANICA	
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCION:			

1

2

3

4

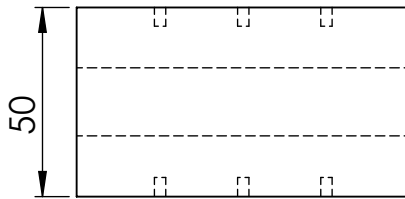
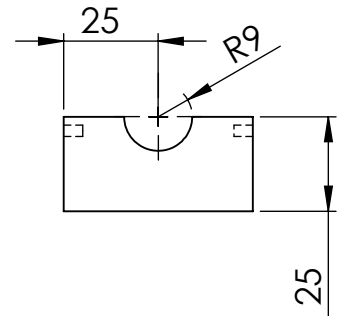
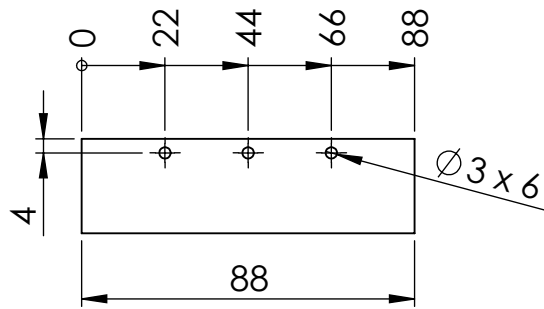
A

B

C

D

E



				TOLERANCIA: ± 1	PESO: 45 gr	MATERIAL: Madera	
						ESCALA: 1:2	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO: Abrasadera piston-parte superior	
				DIBUJO: 4/11/2019	EDDY RUIZ		
				REVISO: 06/11/2019	ING. OSCAR ANALUIZA		
				APROBO: 06/11/2019	ING. OSCAR ANALUIZA		
				U.T.A.		N.º DE LAMINA	REGISTRO:
				INGENIERIA MECANICA		HOJA 11 DE 14	
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:	

1

2

3

4

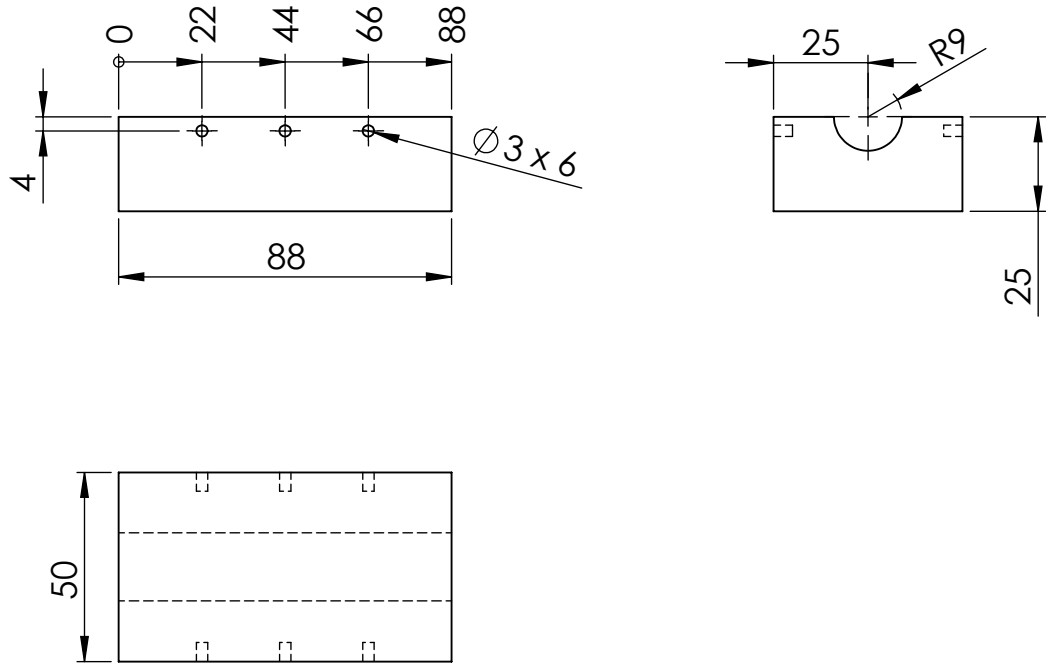
A

B

C

D

E



				TOLERANCIA: ± 1	PESO: 45 gr	MATERIAL: Madera	
						ESCALA: 1:2	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO: Abrasaddera piston-parte inferior	
				DIBUJO: 4/11/2019	EDDY RUIZ		
				REVISO: 06/11/2019	ING. OSCAR ANALUIZA		
				APROBO: 06/11/2019	ING. OSCAR ANALUIZA		
				U.T.A.		N.º DE LAMINA	REGISTRO:
				INGENIERIA MECANICA		HOJA 12 DE 14	
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:	

1

2

3

4

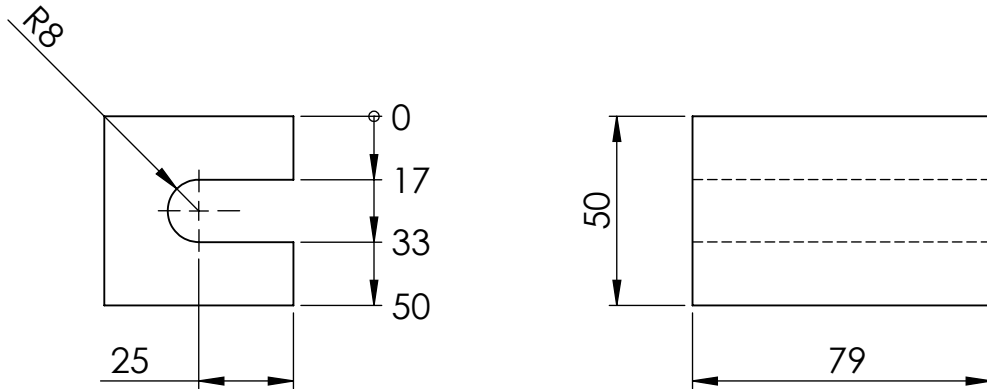
A

B

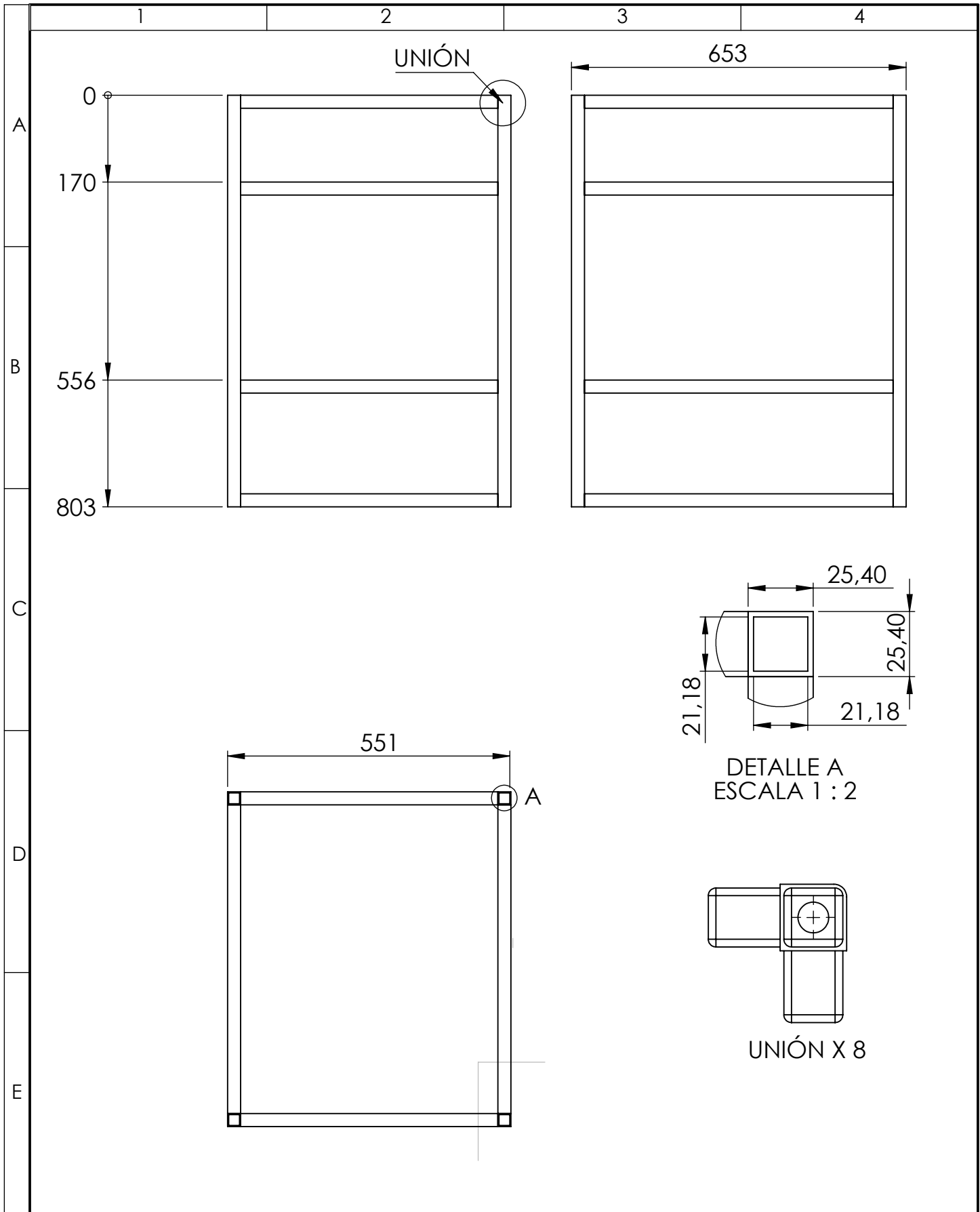
C

D

E



				TOLERANCIA: ± 1	PESO: 40 gr	MATERIAL: Madera	
						TÍTULO: Porta jeringa	ESCALA: 1:2
				DIBUJO: 4/11/2019	EDDY RUIZ		
				REVISO: 06/11/2019	ING. OSCAR ANALUIZA		
				APROBO: 06/11/2019	ING. OSCAR ANALUIZA		
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA		N.º DE LAMINA HOJA 13 DE 14	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:	



				TOLERANCIA: ±1	PESO: 15Kg	MATERIAL: Aluminio 6063	
						TÍTULO: ESTRUCTURA	ESCALA: 1:10
				FECHA	NOMBRE		
				DIBUJO: 4/11/2019	EDDY RUIZ		
				REVISO: 06/11/2019	ING. OSCAR ANALUIZA		
				APROBO: 06/11/2019	ING. OSCAR ANALUIZA		
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA		N.º DE LAMINA HOJA 14 DE 14	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:	