

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**PUCP**

**SISTEMA MECATRÓNICO DE BAJO COSTO PARA LA PRODUCCIÓN DE  
MICRO Y NANO FIBRAS USANDO LA TÉCNICA DE ELECTRO-HILADO**

**Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecatrónico**

**AUTOR:**

**Carlos Eduardo Baltazar Baquerizo**

**ASESOR:**

**Fernando Gilberto Torres Garcia, PhD**

**CO-ASESOR:**

**Diego Martín Arce Cigüeñas, Mg**

**Lima, Octubre, 2021**

## RESUMEN

El siguiente documento trata sobre el diseño de un sistema mecatrónico de bajo costo para la producción de micro y nano fibras, haciendo uso del método de electro hilado. Este método recientemente ha tomado relevancia en el mundo académico debido a las novedosas y muy útiles aplicaciones que se han desarrollado con estos materiales nanométricos, tales como pliegues para la protección de heridas contra infecciones, filtros para gases y líquidos, entre otras aplicaciones. Si bien en el Perú, se han realizado algunos estudios para la producción de nanofibras, aún es escasa la investigación y en el caso del laboratorio de polímeros y bionanomateriales de la PUCP (Pontificia Universidad Católica del Perú) no se cuenta con un equipo que pueda procesar biopolímeros y convertirlos en nanofibras. Es por eso, que mediante este trabajo se quiere suplir la necesidad de este tipo de máquina y desarrollar el diseño de la misma tomando como referencia la metodología que comprende la norma VDI 2221. Según esta norma se han consultado documentos académicos para determinar a los principales subsistemas; asimismo, se ha recolectado información de los requerimientos que debería tener este equipo, según los usuarios que son los trabajadores del laboratorio. Como resultado se ha obtenido el diseño a detalle de una máquina que permite al usuario variar los principales parámetros de producción del método de electro hilado que son: la generación de alto voltaje, el caudal de la solución biopolimérica que se procesa, la distancia de la aguja eyectora con respecto al colector y la velocidad de rotación del cilindro colector de nano fibras. De esta manera se ha concluido el diseño del equipo que va permitir realizar el estudio de estos materiales nanométricos y posiblemente desarrollar aplicaciones para la industria, lo que a su vez va promover el desarrollo tecnológico del país.

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar el presente trabajo de tesis:

En primer lugar, a mi abuela Maria Olga Emma Villar Aguirre y a mi madre Carmen Judith Baquerizo Villar, por darme su apoyo en todo momento, por enseñarme a dar siempre lo mejor de mí en todas las cosas, y por enseñarme a confiar en Dios, quien sé que siempre ha guiado mis pasos. Espero con este trabajo, que significa el término de un periodo de estudios recompensar de alguna manera el esfuerzo y sacrificio realizado. Gracias.

En segundo lugar, a todos los familiares y amigos con quienes he compartido las alegrías y dificultades que se han sorteado en este proceso. Les agradezco de todo corazón.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	i
ÍNDICE DE TABLAS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES DEL DISEÑO .....	3
1.1. CONTEXTO .....	3
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	4
1.3. PROCESO DE ELECTRO HILADO.....	5
1.4. ALCANCE DEL PROYECTO.....	6
1.5. METODOLOGÍA.....	6
1.6. OBJETIVO GENERAL.....	7
1.7. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO Y ESTADO DE LAS TECNOLOGÍAS.....	8
2.1. MARCO TEÓRICO.....	8
2.2. ESTADO DE LAS TECNOLOGÍAS .....	12
2.2.1. SISTEMAS INTEGRALES.....	12
2.2.2. SUBSISTEMA DE RECOLECCIÓN DE MICRO Y NANO FIBRAS .....	15
2.2.3. SUBSISTEMA DE INYECCIÓN .....	16
2.2.4. SUBSISTEMA GENERADOR DE ALTO VOLTAJE.....	20
CAPÍTULO 3 DISEÑO CONCEPTUAL.....	22
3.1. LISTA DE EXIGENCIAS .....	22
3.2. BLACK BOX.....	27
3.3. ESTRUCTURA DE FUNCIONES.....	27
3.4. CONCEPTO DE SOLUCIÓN ÓPTIMO.....	34
CAPÍTULO 4 DISEÑO INTEGRAL .....	36
4.1. DISPOSICIÓN FÍSICA AL INTERIOR DE LA CABINA DE ELECTRO HILADO.....	36
CAPÍTULO 5 SUBSISTEMA DE RECOLECCIÓN.....	40
5.1. DESCRIPCIÓN DEL SUBSISTEMA.....	40
5.2. DISEÑO MECÁNICO.....	43

5.3. DISEÑO ELECTRÓNICO .....	49
5.4. DISEÑO DE CONTROL.....	51
5.4.1. ESTRATEGÍA DE CONTROL.....	52
CAPÍTULO 6 SUBSISTEMA DE POSICIONAMIENTO.....	53
6.1. DESCRIPCION DEL SUBSISTEMA.....	53
6.2. DISEÑO MECÁNICO.....	56
6.3. DISEÑO ELECTRÓNICO .....	60
6.4. DISEÑO DE CONTROL.....	61
6.4.1. ESTRATEGÍA DE CONTROL.....	61
CAPÍTULO 7 SUBSISTEMA DE INTERACCIÓN CON EL USUARIO.....	64
7.1. DESCRIPCIÓN DEL SUBSISTEMA.....	64
7.2. DISEÑO ELECTRÓNICO .....	66
7.3. DISEÑO DE CONTROL.....	69
7.3.1. COMUNICACIÓN ENTRE MICROCONTROLADORES .....	73
CAPÍTULO 8 SUBSISTEMA ESTRUCTURA SOPORTE.....	75
8.1. DESCRIPCIÓN DEL SUBSISTEMA.....	75
8.2. DISEÑO MECÁNICO.....	80
CAPÍTULO 9 SUBSISTEMA DE ENERGÍA Y EQUIPOS INTEGRADOS .....	85
9.1. SUBSISTEMA DE ENERGÍA.....	85
9.2. SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS INTEGRADOS .....	89
9.3. DIAGRAMA DE OPERACIONES.....	93
CAPÍTULO 10 ESTIMACIÓN DE COSTOS.....	95
10.1. COSTOS DE MATERIALES Y EQUIPOS .....	95
10.2. COSTOS DE MANUFACTURA .....	98
10.3. COSTO DE IMPLEMENTACIÓN .....	100
10.4. COSTO DE DISEÑO .....	101
10.5. COSTO TOTAL .....	101
CONCLUSIONES .....	102
TRABAJOS FUTUROS .....	104

BIBLIOGRAFÍA .....	105
--------------------	-----

## ANEXOS

Anexo A: Antecedentes del diseño.....	108
Anexo B: Marco teórico y estado de las tecnologías.....	111
Anexo C: Diseño conceptual.....	123
Anexo D: Análisis de tensión y cálculos matemáticos del diseño preliminar.....	150
Anexo E: Selección de materiales, accesorios, componentes mecánicos y electrónicos.....	161
Anexo F: Detalle del programa principal .....	193
Anexo G: Cotizaciones	
Anexo H: Planos eléctricos, de despiece y ensamble	
Diseño integral de la cabina de electro-hilado.....	CE-E-01-A0
Subsistema estructura soporte.....	DI-E-01-A0
Interior de la cabina de electro hilado.....	ES-E-01-A0
Soporte para iluminación interior.....	ES-E-02-A0
Estructura metálica independiente.....	ES-E-03-A0
Compuerta de cristal templado.....	ES-E-04-A0
Compuerta de madera.....	ES-E-05-A0
Gabinete interior primer nivel.....	ES-E-06-A0
Cajón de acrílico.....	ES-E-07-A0
Plancha base de la cabina.....	ES-D-01-A3
Cajón de chapa metálica.....	ES-D-02-A0
Cajón de acrílico – placa lateral derecha.....	ES-D-03-A3
Cajón de acrílico – placa superior.....	ES-D-04-A3
Cajón de acrílico – placa inferior.....	ES-D-05-A3
Cajón de acrílico – placa lateral izquierda.....	ES-D-06-A3
Pared interna derecha – Segundo nivel.....	ES-D-07-A3
Pared interna superior – Segundo nivel.....	ES-D-08-A3
Apoyo para foco led cuadrado.....	ES-D-09-A3
Carcasa externa principal.....	ES-D-10-A3
Pared interna inferior – Segundo nivel.....	ES-D-11-A3
Pared interna posterior – Segundo nivel.....	ES-D-12-A3
Pared interna izquierda – Segundo nivel.....	ES-D-13-A3
Marco soporte izquierdo.....	ES-D-14-A3
Tapón tuerca para soporte nivelador.....	ES-D-15-A3
Placa soporte inferior.....	ES-D-16-A3
Plancha de cristal templado.....	ES-D-17-A3

Goma de caucho interior para sensor magnético.....	ES-D-18-A3
Goma de caucho exterior para sensor magnético.....	ES-D-19-A3
Goma de caucho para cierre magnético.....	ES-D-20-A3
Placa metálica lateral interior.....	ES-D-21-A3
Plancha de madera lateral interior.....	ES-D-22-A3
Compuerta de madera.....	ES-D-23-A3
Carcasa externa para fuente de alto voltaje.....	ES-D-24-A3
Carcasa externa para panel de control.....	ES-D-25-A3
Placa base lateral interior.....	ES-D-26-A3
Subsistema de posicionamiento.....	DI-E-02-A0
Plancha base.....	SP-D-01-A3
Placa lateral izquierda – Primer nivel.....	SP-D-02-A3
Placa lateral derecha – Primer nivel.....	SP-D-03-A3
Camisa para tuerca trapecoidal.....	SP-D-04-A3
Plancha base – Segundo nivel.....	SP-D-05-A3
Placa lateral izquierda – Segundo nivel.....	SP-D-06-A3
Placa lateral derecha – Segundo nivel.....	SP-D-07-A3
Plancha móvil – Segundo nivel.....	SP-D-08-A3
Soporte 3D para conjunto aguja-conector.....	SP-D-09-A3
Plancha niveladora SP.....	SP-D-10-A3
Subsistema de recolección.....	DI-E-03-A0
Plancha soporte superior.....	SR-D-01-A3
Plancha soporte inferior.....	SR-D-02-A3
Soporte en ángulo para encoder.....	SR-D-03-A3
Soporte en ángulo para motor.....	SR-D-04-A3
Capa interna del cilindro colector.....	SR-D-05-A3
Eje escalonado.....	SR-D-06-A3
Capa exterior del cilindro colector.....	SR-D-07-A3
Apoyo aislante para chumacera.....	SR-D-08-A3
Apoyo aislante para escobilla.....	SR-D-09-A3
Escuadra para uniones.....	SR-D-10-A3
Subsistema de interacción con el usuario.....	DI-E-04-A1
Soporte para dispositivos de interfaz.....	IU-D-01-A3
Caja de acrílico para Arduino Mega.....	DI-E-05-A1
Caja de acrílico AM – Placa superior.....	DI-D-01-A3
Caja de acrílico AM – Placa inferior.....	DI-D-02-A3
Caja de acrílico AM – Placa lateral.....	DI-D-03-A3

Caja de acrílico AM – Placa lateral inferior.....	DI-D-04-A3
Caja de acrílico para Arduino Uno.....	DI-E-06-A1
Caja de acrílico AU – Placa superior.....	DI-D-05-A3
Caja de acrílico AU – Placa inferior.....	DI-D-06-A3
Caja de acrílico AU – Placa lateral.....	DI-D-07-A3
Caja de acrílico AU – Placa lateral inferior.....	DI-D-08-A3
Caja para fuente conmutada.....	DI-D-09-A3
Esquema de conexiones eléctricas .....	EE-01-A3
Esquemático de PCB para driver A4988 .....	EE-02-A4





## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 2-1: Ventajas y desventajas de distintas configuraciones de colectores.....	16
Tabla N° 2-2: Valores experimentales de la medida de calibración del caudal de la bomba de inyección.....	18
Tabla N° 2-3: Disolventes utilizados y condiciones de operación para la electro hilatura de gelatina.	20
Tabla N° 2-4: Diámetro medio de las nano fibras y viabilidad de la electro hilatura para disoluciones de gelatina en ácido acético al 25% v/v. ....	20
Tabla N° 5-1: Principales características de los materiales seleccionados - Subsistema de recolección .....	48
Tabla N° 5-2: Principales características de los componentes mecánicos – Subsistema de recolección .....	49
Tabla N° 5-3: Ficha técnica de los componentes electrónicos – Subsistema de recolección .....	50
Tabla N° 5-4: Opciones de microcontrolador para el Subsistema de Recolección.....	51
Tabla N° 6-1: Principales características de los materiales - Subsistema de posicionamiento.....	58
Tabla N° 6-2: Principales características de los componentes mecánicos - Subsistema de posicionamiento .....	59
Tabla N° 7-1: Características técnicas de componentes electrónicos - Subsistema de interacción con el usuario.....	67
Tabla N° 7-2: Tabla comparativa de características y precios de un microcontrolador .....	68
Tabla N° 8-1: Principales características de los materiales - Subsistema estructura soporte .....	83
Tabla N° 9-1: Balance del consumo energético.....	88
Tabla N° 9-2: Tabla comparativa de características y precios de una fuente eléctrica conmutada .....	88
Tabla N° 9-3: Rango de valores de los parámetros de producción del método de electro hilado.....	89
Tabla N° 9-4: Tabla comparativa de características y precios de un generador de alto voltaje.....	90
Tabla N° 9-5: Tabla comparativa de características y precios de una bomba de infusión.....	92
Tabla N° 10-1: Costo de materiales, componentes mecánicos y electrónicos del Subsistema de Recolección.....	95
Tabla N° 10-2: Costo de materiales, componentes mecánicos y electrónicos del Subsistema de Interacción con el Usuario .....	96
Tabla N° 10-3: Costo de materiales, componentes mecánicos y electrónicos del Subsistema de Posicionamiento.....	96
Tabla N° 10-4: Costo de materiales, componentes mecánicos y electrónicos del Subsistema Estructura Soporte.....	97
Tabla N° 10-5: Costo de materiales, componentes mecánicos y electrónicos del Diseño Integral .....	98
Tabla N° 10-6: Costos de manufactura .....	99
Tabla N° 10-7: Costo de las actividades de programación .....	101
Tabla N° 10-8: Costos totales para la construcción e implementación.....	101

Tabla A1: Etapas y resultado que comprende la norma VDI 2221.....	109
Tabla B1: Condiciones de operación para el proceso de electrohilado de quitina y soluciones que contiene quitina.....	120
Tabla B2: Resultado de los 30 experimentos realizados con HYLON VII sometido al proceso de electrohilado .....	122
Tabla C1: Matriz morfológica - Alternativas de solución.....	126
Tabla C2: Matriz morfológica - Conceptos de solución.....	132
Tabla E1: Evaluación de materiales para la capa interna del cilindro colector.....	161
Tabla E2: Evaluación de materiales para la capa externa del cilindro colector.....	162
Tabla E3: Evaluación de materiales para el apoyo soporte.....	163
Tabla E4: Evaluación de materiales para eje escalonado.....	164
Tabla E5: Tabla comparativa de características y precios de una chumacera de piso.....	164
Tabla E6: Tabla comparativa de características y precios de un acople de transmisión.....	165
Tabla E7: Tabla comparativa de características y precios de un motor eléctrico DC.....	166
Tabla E8: Tabla comparativa de características y precios de un conector de puesta a tierra.....	167
Tabla E9: Tabla comparativa de características y precios de un controlador para motor DC.....	168
Tabla E10: Tabla comparativa de características y precios de un encoder rotatorio.....	169
Tabla E11: Evaluación de materiales y costos para el soporte del conjunto aguja conector.....	170
Tabla E12: Tabla comparativa de características y precios de una aguja eyectora.....	171
Tabla E13: Tabla comparativa de características y precios de un conector para la aguja eyectora....	171
Tabla E14: Evaluación de precios de un tornillo trapezoidal con tuerca.....	172
Tabla E15: Evaluación de precios de un acople flexible.....	173
Tabla E16: Evaluación de precios de una chumacera de piso.....	174
Tabla E17: Evaluación de precios de un soporte para ejes.....	174
Tabla E18: Evaluación de precios para un rodamiento lineal.....	175
Tabla E19: Tabla comparativa de características y precios de un motor a pasos.....	176
Tabla E20: Evaluación de precios para driver POLOLU A4988.....	177
Tabla E21: Tabla comparativa de características y precios de un sensor de fin de carrera.....	178
Tabla E22: Tabla comparativa de características y precios de un sensor de distancia.....	179
Tabla E23: Tabla comparativa de características y precios de un interruptor ON/OFF luminoso.....	180
Tabla E24: Tabla comparativa de características y precios de un botón de emergencia.....	180
Tabla E25: Evaluación de precios para un sensor magnético MC-38.....	181
Tabla E26: Tabla comparativa de características y precios de un interruptor de palanca.....	182
Tabla E27: Evaluación de precios de un módulo display TM1637.....	182
Tabla E28: Tabla comparativa de características y precios de un teclado matricial.....	183
Tabla E29: Tabla comparativa de características y precios de un tubo cuadrado de acero.....	184
Tabla E30: Tabla comparativa de características y precios de soporte nivelador.....	185

Tabla E31: Evaluación de precios de una plancha de acero galvanizado.....	185
Tabla E32: Evaluación de precios de una plancha de acero inoxidable.....	186
Tabla E33: Evaluación de precios de una plancha de acrílico.....	187
Tabla E34: Evaluación de precios de un foco led cuadrado empotrable.....	188
Tabla E35: Evaluación de precios de una plancha de cristal templado.....	188
Tabla E36: Evaluación de precios de una bisagra para cristal templado.....	189
Tabla E37: Tabla comparativa de características y precios de un jalador para puertas de vidrio.....	190
Tabla E38: Evaluación de precios para una plancha de madera.....	190
Tabla E39: Tabla comparativa de características y precios de una bisagra de cazoleta recta.....	191
Tabla E40: Tabla comparativa de características y precios de un jalador para puerta de madera.....	192



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1-1: Número de patentes y publicaciones de aplicación de procesos basados en el electrohilado. ....	4
Figura N° 1-2: Potenciales aplicaciones de las nano fibras. ....	4
Figura N° 1-3: Representación esquemática del sistema de electrohilado. ....	6
Figura N° 2-1: Fibras de poliprolactona con A) cúmulos por un proceso de electrohilado a 6 kV y B) sin cúmulos por un proceso de electrohilado a 22 kV. ....	9
Figura N° 2-2: Fibras de poliprolactona con caudal de salida en la aguja de A) 0,5 mL/h y B) 2 mL/h. ....	10
Figura N° 2-3: Malla de nano fibras con agujeros. ....	10
Figura N° 2-4: Deposición de fibras de Nylon con una distancia entre la aguja eyectora y el colector de a) 2cm y b) 0.5 cm. ....	11
Figura N° 2-5: Electrospinning machine. ....	13
Figura N° 2-6: Aguja inyectora coaxial y triaxial. ....	13
Figura N° 2-7: Arreglo circular y lineal de agujas inyectoras. ....	13
Figura N° 2-8: a) Colector de cilindro, b) colector paralelo acanalado, c) colector de disco, d) colector electrodos paralelos. ....	14
Figura N° 2-9: Bomba de inyección. ....	14
Figura N° 2-10: Estructura interna de una bomba peristáltica. ....	17
Figura N° 2-11: Bomba de infusión tipo jeringa. ....	17
Figura N° 2-12: Diseño y construcción de la bomba de inyección. ....	18
Figura N° 2-13: Diagrama esquemático de la máquina para la producción de fibras de PVA/PLATA. ....	19
Figura N° 2-14: Bomba de infusión NE-300. ....	19
Figura N° 2-15: Nano fibras de colágeno obtenidas a partir de suministrar a la aguja eyectora 25 kV. ....	21
Figura N° 2-16: Fuente generadora de alto voltaje DC SPELLMAN UM30P15. ....	21
Figura N° 3-1: Black Box de la máquina. ....	27
Figura N° 3-2: Funciones del subsistema de materia. ....	28
Figura N° 3-3: Funciones del subsistema de actuación. ....	29
Figura N° 3-4: Funciones del subsistema de interacción con el usuario. ....	30
Figura N° 3-5: Funciones del subsistema de control. ....	30
Figura N° 3-6: Funciones del subsistema de medición. ....	32
Figura N° 3-7: Funciones del subsistema de energía. ....	33
Figura N° 3-8: Evaluación técnica vs Evaluación económica. ....	34
Figura N° 3-9: Bosquejo de la solución óptima. ....	35

Figura N° 4-1: Niveles y compartimientos de la cabina de electro-hilado .....	36
Figura N° 4-2: Generador de alto voltaje y ombo de infusión tipo jeringa.....	37
Figura N° 4-3: Subsistemas del segundo nivel .....	37
Figura N° 4-4: Panel de control del Subsistema de Interacción con el Usuario .....	38
Figura N° 4-5: Dispositivos de control y procesamiento de información ubicados en el primer y segundo nivel del compartimiento lateral. ....	39
Figura N° 5-1: Subsistema de recolección.....	40
Figura N° 5-2: Eje escalonado. ....	41
Figura N° 5-3: a) Cilindro colector rotatorio – b) Chumacera de material termoplástico .....	42
Figura N° 5-4: Plancha base de madera - Plancha base metálica. ....	42
Figura N° 5-5: a) Elementos de soporte y fijación para chumacera de piso y conductor eléctrico de carbón.....	43
Figura N° 5-6: a) Acople de fuelle - b) Acople flexible .....	43
Figura N° 5-7: Vista de explosión del cilindro colector y los componentes mecánicos que permiten la transmisión del movimiento giratorio. ....	44
Figura N° 5-8: Capa interna del cilindro colector rotatorio. ....	45
Figura N° 5-9: DCL del eje escalonado.....	46
Figura N° 5-10: Lazo de control de las RPM del motor DC.....	52
Figura N° 6-1: a) Subsistema de Posicionamiento – b) Estructura soporte del primer nivel.....	53
Figura N° 6-2: Elementos mecánicos de soporte y fijación y para el movimiento lineal en el primer nivel .....	54
Figura N° 6-3: a) Plancha base del segundo nivel - b) Conexión del motor a pasos con el acople flexible .....	54
Figura N° 6-4: Segundo nivel del Subsistema de Posicionamiento y componentes mecánicos .....	55
Figura N° 6-5: Soporte impreso en 3D para conector Luer Lock con aguja eyectora .....	55
Figura N° 6-6: Diagrama de cuerpo libre del tornillo trapezoidal. ....	56
Figura N° 6-7: Primer lazo de control de la posición en Y de la aguja eyectora. ....	61
Figura N° 6-8: Segundo lazo de control de la posición en X de la aguja eyectora. ....	62
Figura N° 6-9: Lazo de control de la posición en Y de la aguja eyectora.....	63
Figura N° 7-1: Dispositivos electrónicos del panel de control .....	64
Figura N° 7-2: Sensor de cierre magnético para puertas.....	65
Figura N° 7-3: Interruptor de palanca.....	65
Figura N° 7-4: Diagrama de flujo del programa principal.....	71
Figura N° 7-5: Diagrama de flujo de la función Iniciar_Subsistema_Recolección() .....	72
Figura N° 7-6: Diagrama de flujo de la función Iniciar_Subsistema_Posicionamiento ().....	73
Figura N° 8-1: Estructura metálica de la máquina y nivelador de pie ajustable. ....	75
Figura N° 8-2: Plancha base de madera y placa de acero soporte. ....	76

Figura N° 8-3: a) Gabinete de acero inoxidable – b) Cajón de acrílico.....	76
Figura N° 8-4: Compuerta de madera y componentes.....	77
Figura N° 8-5: Paredes internas del segundo nivel de la cabina de electro-hilado.....	77
Figura N° 8-6: Compuerta de cristal templado y componentes.....	78
Figura N° 8-7: Pared lateral derecha y plancha base interior del compartimiento lateral.....	79
Figura N° 8-8: a) Tapa del panel de control - Tapa de la fuente de alto voltaje – b) 1 principal.....	79
Figura N° 8-9: Diagrama de cuerpo libre de la plancha base del segundo nivel.....	80
Figura N° 8-10: DCL de la plancha base en el plano Y-Z, DFC, DMF.....	81
Figura N° 8-11: DCL del tubo cuadrado en el plano X-Z.....	82
Figura N° 9-1: Diagrama de potencia.....	86
Figura N° 9-2: Arquitectura de hardware.....	86
Figura N° 9-3: Esquema de conexiones eléctricas.....	87
Figura N° 9-4: A) Salida positiva de alto voltaje; B) Salida GND.....	91
Figura N° 9-5: Acondicionamiento para la puesta de conector tipo cocodrilo en cable blindado de alto voltaje.....	91
Figura N° 9-6: A) Aguja eyectora con conector luer lock; B) Virola y tuerca sin brida; C) Adaptador hembra con cierre tipo luer lock.....	93
Figura N° 9-7: Diagrama de operaciones.....	94
Figura A1: Estructura de diseño según la norma VDI 2221.....	108
Figura B1: Fibras de policaprolactona por electro hilado con cúmulos a una concentración de A) 0.1 g/mL y B) 0.12 g/mL.....	111
Figura B2: A) Alta viscosidad, las moléculas del solvente se distribuyen sobre los enredos de las cadenas poliméricas - B) Baja viscosidad, las moléculas del solvente tienden a congregarse bajo la acción de la tensión superficial.....	112
Figura B3: FESEM micrografía de 190 000 g/mol de fibras de polisulfone con tetrahidrofuran variando la humedad del ambiente de electro hilado a) <25%, b) 31-38%, c) 40-45%, d) 60-72%.....	114
Figura B4: a) Cilindro colector rotatorio, b) Cilindro rotatorio de alambres paralelos, c) Disco colector rotatorio.....	115
Figura B5: Cilindro colector rotatorio con electrodo insertado para controlar la dirección de deposición de las fibras.....	115
Figura B6: Cilindro colector rotatorio de alambres paralelos.....	116
Figura B7: Disco colector rotatorio.....	117
Figura B8: Tubo colector rotatorio con electrodos auxiliares detrás.....	117
Figura B9: Colector conductor de placas paralelas.....	118
Figura B10: Histograma de la distribución de los diámetros de las fibras obtenidas.....	121

Figura B11: Modelo matemático para aproximar el diámetro de las fibras producidas por electro hilado en base a 30 experimentos realizados.....	122
Figura C1: Estructura de funciones.....	125
Figura C2: Boceto de la máquina según concepto de solución 1.....	134
Figura C3: Boceto del sistema integrado, bomba de infusión tipo jeringa.....	135
Figura C4: Boceto del recorrido de la manguera de silicona que transporta la solución biopolimérica.....	135
Figura C5: Boceto del sistema de recolección y la máquina cartesiana.....	136
Figura C6: Boceto de la máquina según concepto de solución 2.....	138
Figura C7: Boceto del panel de control de la máquina.....	138
Figura C8: Boceto de los sistemas al interior del gabinete: Máquina CNC y cilindro colector.....	139
Figura C9: Boceto de la máquina según concepto de solución 3.....	141
Figura C10: Boceto del panel de control de la máquina.....	141
Figura C11: Sistemas integrados al interior de la máquina en la parte inferior.....	142
Figura C12: Boceto del sistema de elevación con tornillo sin fin adaptado para controlar el caudal de salida de una jeringa.....	143
Figura C13: Cuadro de evaluación técnica.....	148
Figura C14: Cuadro de evaluación económica.....	149
Figura D1: Análisis de tensión – Esfuerzo máximo de Von Misses.....	150
Figura D2: Análisis de tensión – Deformación máxima equivalente.....	150
Figura D3: Análisis de tensión – Desplazamiento máximo en la dirección Y.....	151
Figura D4: Análisis de tensión – Desplazamiento máximo en Z.....	151
Figura D5: Análisis de tensión – Esfuerzo equivalente de Von Misses – Vista isométrica.....	156
Figura D6: Análisis de tensión – Esfuerzo equivalente de Von Misses – Vista frontal.....	156
Figura D7: Análisis de tensión – Deformación equivalente – Vista frontal.....	156
Figura D8: Análisis de tensión – Desplazamiento en Z – Vista frontal.....	157
Figura D9: Análisis de tensión – Desplazamiento en Z – Vista isométrica.....	157
Figura D10: Análisis de tensión – Esfuerzo equivalente de Von Misses – Vista isométrica.....	159
Figura D11: Análisis de tensión deformación equivalente – Vista frontal.....	159
Figura D12: Análisis de tensión – Coeficiente de seguridad – Vista frontal.....	160
Figura F1: Diagrama de flujo de la función Encender_Apagar_SR().....	193
Figura F2: Diagrama de flujo de la función Detener ().....	193
Figura F3: Diagrama de flujo de la función MOTOR1_H ().....	195
Figura F4: Diagrama de flujo de la función MOTOR1_ANTIH ().....	196
Figura F5: Diagrama de flujo de la función Retornar_Posición_Segura ().....	196

## INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo consiste en el desarrollo del diseño de un sistema mecatrónico conformado por una estructura soporte y 6 subsistemas, el cual va a permitir al usuario poder variar los principales parámetros de producción del método de electro hilado. De esta forma, se desea suplir la necesidad que tiene el Laboratorio de Polímeros y Bionanomateriales de la PUCP, de un prototipo que permita procesar de forma repetida soluciones biopoliméricas y convertirlas en micro o nano fibras.

Antes de iniciar el diseño, en el capítulo 1 y 2 se muestra una revisión de documentos académicos y científicos sobre los principales parámetros de producción que podrían afectar la morfología de las fibras que se producen mediante la técnica del electro hilado. Tomando como referencia teórica esta revisión, se presenta la información más relevante del estado de la tecnología, con respecto a máquinas o sistemas integrados que producen micro y nano fibras. Asimismo, se detallan cuáles son los mecanismos más empleados para su recolección y los equipos o alternativas de solución usados para el ingreso de la solución polimérica al proceso y para la generación del alto voltaje que requiere este método de producción.

En el capítulo 3, se da inicio al diseño conceptual, bajo la metodología VDI 2221, con la presentación de la lista de requerimientos de la máquina, así como el esquema de la estructura de funciones que va desempeñar. Después, se muestran las alternativas de solución a cada función y a partir de ellas, se logran esquematizar 3 factibles soluciones integrales de toda la máquina; las cuales pasan por una evaluación técnico-económica para determinar a la mejor. Como resultado se presenta el concepto de solución óptimo, el cual recoge e implementa las ventajas de los conceptos de solución no seleccionados.

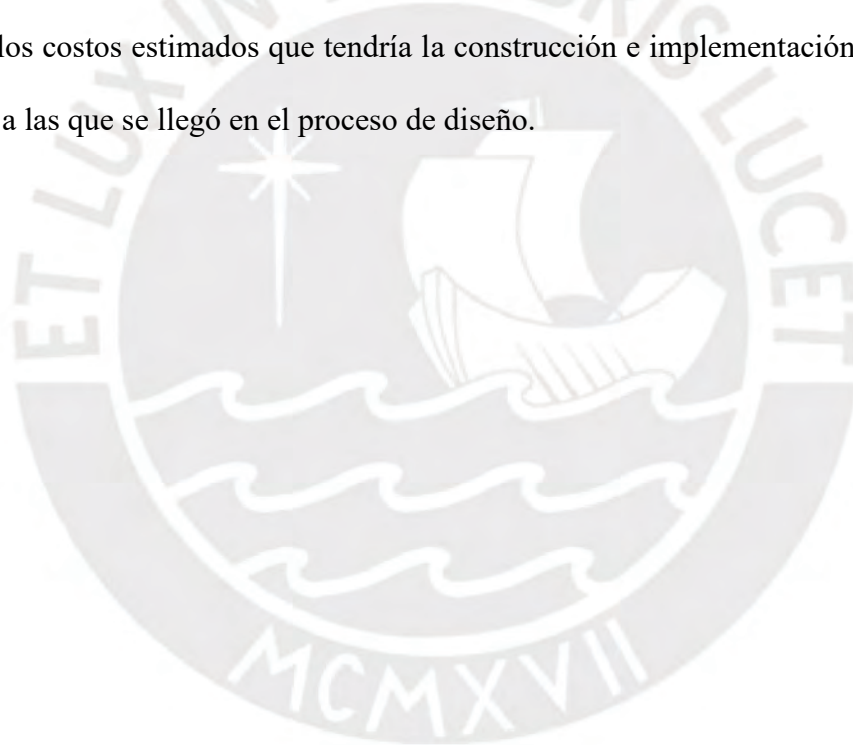
A partir del diseño conceptual, se presenta el diseño preliminar, por lo cual, para un mayor análisis se va dividir la máquina en 5 áreas: recolección, posicionamiento, interacción con el usuario, estructura soporte y energía. Cada una de estas áreas va ser desarrollada a detalle en



los capítulos 4, 5, 6, 7 y 8 del presente documento y se van a tratar el ámbito mecánico, electrónico y de control.

En el ámbito mecánico se presentan los cálculos matemáticos de resistencia de materiales y la selección de componentes mecánicos. En el ámbito electrónico, se muestra la selección de los dispositivos más adecuados que permiten el control de los componentes mecánicos. Por último, en el ámbito de control se describe la estrategia seleccionada para revisar y corregir los valores de las principales variables del proceso que se ejecuta en cada subsistema.

Con el diseño detallado de cada subsistema, se consolida el modelo 3D de la máquina prototipo para la producción de micro y nano fibras a través del método de electro-hilado. Finalmente, se presentan los costos estimados que tendría la construcción e implementación, así como las conclusiones a las que se llegó en el proceso de diseño.



# CAPÍTULO 1

## ANTECEDENTES DEL DISEÑO

En este capítulo se mostrará cual es la perspectiva global y nacional con respecto a la producción de micro y nano fibras, así como sus beneficios y posibles aplicaciones. Además, se expondrán el problema y la necesidad que motivó el desarrollo de este proyecto, igualmente, los alcances, objetivos y metodología que regirán el diseño de la máquina.

### 1.1. CONTEXTO

Actualmente el mundo se ha percatado del enorme potencial de la nanotecnología, ya que a estas dimensiones el comportamiento de las moléculas y los átomos, favorece algunas propiedades de interés para desarrollar productos con características diferentes que pueden mejorar la tecnología existente. En específico, la producción de nano fibras, por su relación entre el gran área superficial y poco volumen que ocupa, ha generado un gran impacto en las investigaciones para la aplicación de este tipo de materiales en diferentes áreas de la industria como se muestra en la *Figura N° 1-1*; de igual forma, se ha vuelto una tendencia la investigación del proceso de electro-hilado y la producción de estas fibras en más de 200 universidades alrededor del mundo (Ramakrishna et al. 2006).

El mercado de las micro y nano fibras aún no se ha desarrollado por completo pero cada año su crecimiento es más acelerado. En el año 2010 BCC Research LLC, de Wellesley Mass, predijo que su producción llegaría a representar en el mercado mundial casi US\$ 183 millones para el 2012. Sin embargo; en la actualidad representa varios miles de millones de dólares más, con una tendencia a seguir creciendo, según el primer programa académico acreditado a nivel mundial para el campo interdisciplinario de tejidos de ingeniería *International Nonwovens Consulting* (Bryce & Gramley, 2013).

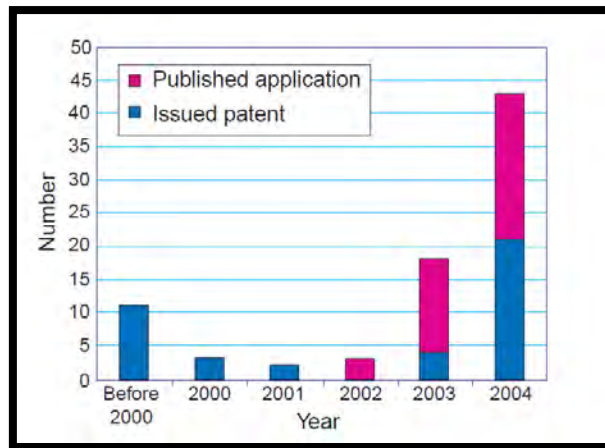


Figura N° 1-1: Número de patentes y publicaciones de aplicación de procesos basados en el electro-hilado.  
Fuente: (Ramakrishna et al. 2006)

Sin embargo, en el contexto nacional la producción de micro o nano fibras no es tomada en cuenta y se ha desarrollado muy poco o casi ningún método para la preparación de estos nuevos materiales. Es por eso que esta tesis busca servir como punto de partida para la investigación y desarrollo de aplicaciones novedosas con micro o nano fibras tales como: filtros para gases y líquidos, pliegues para la protección de heridas contra infecciones, ropa de protección, entre otros (Ramakrishna et al. 2006) (*ver Figura N° 1-2*).

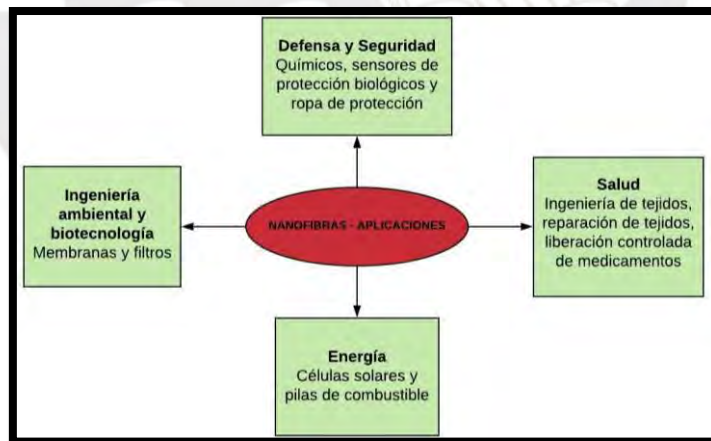


Figura N° 1-2: Potenciales aplicaciones de las nano fibras.  
Fuente: (Ramakrishna et al. 2006)

## 1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El grupo de investigación y desarrollo científico POLYCOM-PUCP (Pontificia Universidad Católica del Perú) tiene como una de sus áreas de investigación, la extracción y procesamiento de biopolímeros como el almidón, la carragenina, la celulosa y la quitina; a partir de fuentes

naturales que incluyen tubérculos y algas marinas, para luego elaborar con ellos mediante procesos mecánicos y químicos nano materiales y nano compuestos tales como films, micro y nano geles, etc. Sin embargo, para seguir profundizando sus investigaciones en el área de procesamiento de biopolímeros requieren de un equipo que les permita obtener micro y nano fibras. Es por eso que a través del siguiente trabajo de investigación se busca diseñar un sistema mecatrónico de bajo costo, que utilice la técnica del electro hilado para producir estas fibras. Asimismo, este equipo debe permitir al usuario poder variar los principales parámetros de producción como: la posición de la aguja eyectora con respecto al cilindro colector, la velocidad de rotación del cilindro colector, el voltaje suministrado a la aguja eyectora y la cantidad de solución polimérica que fluye por ella. De esta forma, se espera obtener el ambiente de producción más adecuado y contribuir al desarrollo de aplicaciones en la industria peruana; igualmente, promover el crecimiento tecnológico del país dentro del campo de la nanotecnología.

### **1.3. PROCESO DE ELECTRO HILADO**

La técnica de electro-hilado consiste en bombear una solución biopolimérica de características determinadas a través de una aguja de tal manera que se obtenga un flujo continuo pero muy reducido a la salida. A la punta de esta aguja se le induce un alto voltaje como se ve en la *Figura N° 1-3* y cada gota cargada a la salida, experimentará una repulsión electrostática, la cual es una fuerza opuesta a la tensión superficial propia de las soluciones líquidas. Este par de fuerzas opuestas (*repulsión electrostática y tensión superficial*) hará que la gota se estire, generando una geometría cónica (Cono de Taylor) y cuando las condiciones sean las adecuadas se llegará a un punto crítico donde la gota permitirá un flujo constante dando como producto un hilo que se irá adhiriendo a una placa colectoras que funciona como tierra del circuito (Huamani, 2011).

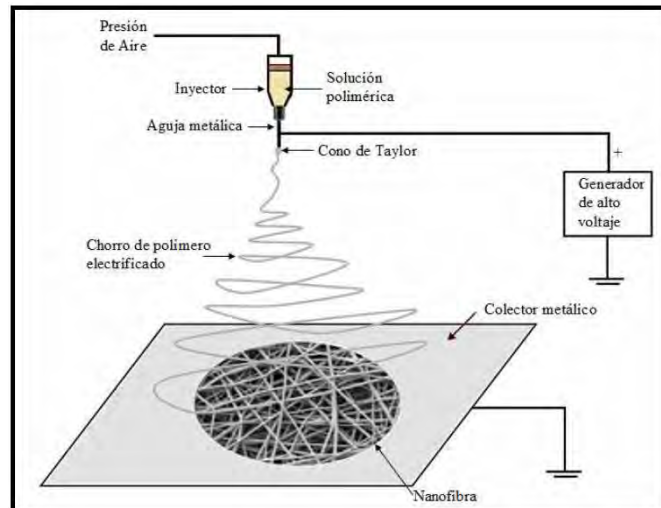


Figura N° 1-3: Representación esquemática del sistema de electro-hilado.  
Fuente: (Huamani, 2011)

#### 1.4. ALCANCE DEL PROYECTO

La tesis que se propone consiste en el diseño y simulación 3D del prototipo de un sistema mecatrónico para la producción de micro o nano fibras. El sistema va estar conformado por una estructura soporte de toda la máquina, un subsistema de inyección de la solución polimérica, un subsistema de recolección de micro o nano fibras, un subsistema de posicionamiento de la aguja eyectora, un subsistema generador de alto voltaje, un subsistema de interacción con el usuario y finalmente un subsistema de energía.

#### 1.5. METODOLOGÍA

El desarrollo del tema de tesis “Sistema mecatrónico de bajo costo para la producción de micro y nano fibras usando la técnica de electro hilado”, describe en el marco teórico los principales parámetros de producción de esta técnica y cuáles son sus efectos en las fibras que se producen. Una vez referenciado el proceso de producción se muestra el estado actual de la tecnología relacionada al proceso de electro hilado con referencias de sistemas integrados de toda la máquina y de cada uno de los principales sub sistemas que hace posible el proceso.

Con una noción teórica y comercial de cada uno de los subsistemas de la máquina ahora es posible desarrollar el proceso de diseño de acuerdo a la norma VDI 2221, la cual comprende 7 pasos y fue creada en Alemania por “La Sociedad de Ingenieros Profesionales” (Cross, 2008)

(Riba, 2002). Se puede observar el diagrama con los pasos que comprende la norma, así como la descripción y resultados de cada uno en el Anexo A.

## 1.6. OBJETIVO GENERAL

Diseñar el prototipo de un sistema mecatrónico de bajo costo para la fabricación de micro y nano fibras, que permita la variación de los principales parámetros de producción del método de electro hilado, tales como: caudal de inyección de la solución biopolimérica, velocidad de giro del cilindro colector, voltaje inducido a la aguja eyectora y su posición con respecto al cilindro colector.

## 1.7. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Recopilar la información más relevante de documentos académicos y científicos (artículos, libros, tesis o papers) con el propósito de conocer los efectos de cada uno de los parámetros de producción del método de electro hilado sobre las fibras elaboradas.
- ❖ Realizar una revisión de la literatura acerca de los rangos de valores más usados para cada parámetro de producción y tomar como referencia estos valores para determinar la capacidad requerida de los equipos integrados y demás componentes de la máquina, de tal manera que se puedan producir micro fibras con un diámetro de entre a 1 a 100  $\mu\text{m}$  y nano fibras con un diámetro de entre 40 a 500  $\text{nm}$ .
- ❖ Diseñar los mecanismos y la estructura más apropiada que permitan el movimiento de la aguja eyectora en dos direcciones y el movimiento rotatorio del cilindro colector.
- ❖ Diseñar una estructura soporte que permita posicionar y acoplar fácilmente a cada uno de los subsistemas y sus componentes.
- ❖ Diseñar una interfaz de pantalla y botones que permita el control del flujo eléctrico y de los parámetros de producción.
- ❖ Desarrollar planos de despiece y ensamble que permitan la construcción de la máquina.
- ❖ Evaluar el costo del equipo diseñado y compararlo con equipos comerciales.

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO Y ESTADO DE LAS TECNOLOGÍAS

En este capítulo, se mostrará información de fuentes académicas y científicas sobre los principales factores que influyen en la morfología de las micro o nano fibras que se producen a través del método de electro hilado. Igualmente, se presentan los principales avances tecnológicos usados hasta la fecha para la producción de estas fibras y una descripción de las investigaciones y experimentos realizados.

#### 2.1. MARCO TEÓRICO

Como resultado de aplicar el método de electro hilado, se obtienen micro o nano fibras con morfologías y alineamientos diferentes en la placa colectora; de acuerdo a parámetros como la viscosidad y conductividad de la solución polimérica, el efecto dieléctrico del disolvente, el voltaje suministrado, el caudal de eyección en la aguja, la temperatura de la solución, el efecto del colector y su geometría, el diámetro de la aguja de la jeringa, la distancia entre el eyector y el colector, la humedad y la presión del ambiente. Para poder diseñar una cabina de electro hilado, es necesario tener en cuenta estos parámetros y saber cómo influyen en las fibras que se desean producir, es por eso que a continuación se van a describir brevemente el efecto de los principales parámetros de producción que se van a poder controlar de acuerdo al diseño de esta máquina. Con respecto, al resto de parámetros de producción, estos serán detallados el Anexo B.

##### a) Alto Voltaje

Uno de los parámetros de vital importancia para producir micro o nano fibras es el alto voltaje que se le aplica a la aguja de una jeringa, que en promedio es mayor a 6 kV ya sea un voltaje positivo o negativo. Como resultado, se acelera el chorro de micro o nano fibras a la salida de

la aguja con lo cual el volumen consumido de solución es mayor y el diámetro del Cono de Taylor en las fibras se reduce evitando así la formación de cúmulos (Zhong et al. 2002).

Por otro lado, aplicar un alto voltaje a la punta de la aguja hace más rápido el proceso de evaporación del solvente y da como resultado fibras más secas (Pawlowski et al. 2003). Además, si aplicar un alto voltaje puede acelerar la salida del chorro, entonces eso influye en el tiempo de vuelo de las fibras antes de adherirse al colector, dándose un menor estiramiento de las fibras (Zhao et al. 2004). Como se ve en la *Figura N° 2-1*, al aplicar un voltaje de 6 kV las fibras que se producen presentan muchos cúmulos de solución en su morfología, mientras que al aplicar un voltaje de 22 kV las fibras producidas tienen un diámetro uniforme sin distorsiones por la presencia de cúmulos.

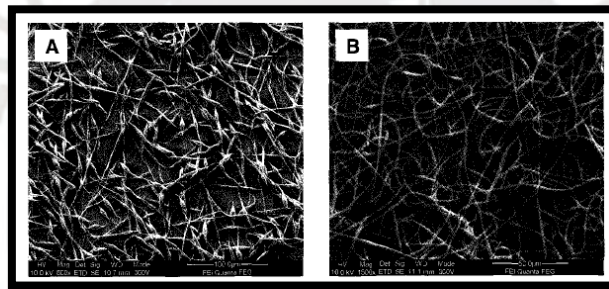


Figura N° 2-1: Fibras de poliprolactona con A) cúmulos por un proceso de electro-hilado a 6 kV y B) sin cúmulos por un proceso de electro-hilado a 22 kV.

Fuente: (Ramakrishna & Fujihara, 2005)

#### b) Caudal a la salida de la aguja

El caudal a la salida de la aguja va determinar el volumen de la solución que va ser estirada por el campo eléctrico. Para un alto voltaje suministrado a la aguja eyectora hay un correspondiente caudal a la salida de tal forma que el chorro de fibras sea continuo. Si la velocidad de salida del líquido por la aguja es mayor a la velocidad con la que las fuerzas electrostáticas jalar la solución de la punta de la aguja, entonces el diámetro de las fibras será de mayor tamaño y se formaran cúmulos en las fibras. Otro inconveniente como consecuencia de lo expuesto antes será la gran cantidad de solvente que no podrá ser evaporado en su totalidad, llegando fibras húmedas al colector y uniéndose con otras fibras para formar una tela. (Yuan et al. 2005) y



(Rutledge et al. 2000) recomiendan un caudal reducido a la salida de aguja para que pueda evaporarse todo el solvente en el tiempo de vuelo hasta el colector. En la *Figura N° 2-2*, se muestran los efectos de suministrar un mayor caudal.

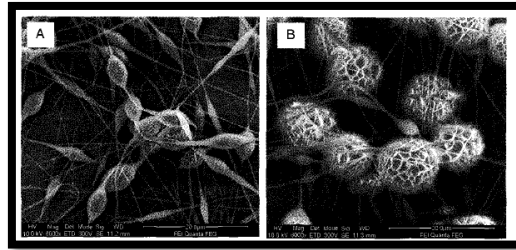


Figura N° 2-2: Fibras de poliprolactona con caudal de salida en la aguja de A) 0,5 mL/h y B) 2 mL/h.  
Fuente: (Ramakrishna & Fujihara, 2005)

### c) Efectos del colector

Generalmente el plato colector o cilindro es de un material conductor o es envuelto en un material conductor como el aluminio, el cual está eléctricamente conectado a tierra de tal manera que se puede formar una diferencia de potencial estable entre el colector y la aguja eyectora. Cuando las fibras se depositan en este colector las cargas eléctricas sobre ellas se disipan y se pueden seguir adhiriendo más fibras (Liu & Hiseh, 2002).

Si el colector es de un material no conductor los chorros de fibras se acumularán más rápido encima de este, recubriéndolo y no permitiendo que las cargas de nuevas fibras que se adhieran, se disipen. Al final se obtendrá una malla con agujeros como se ve en la *Figura N° 2-3*. Sin embargo, si en un colector conductor el espesor de la malla que se lo recubre es grande ocurrirá lo mismo (Deitzel et al. 2001) (Kessick & Tepper, 2004). Por otro lado, si el colector es giratorio pueden obtenerse fibras alineadas en mayor o menor proporción dependiendo de la velocidad de giro.

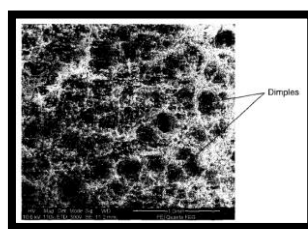


Figura N° 2-3: Malla de nano fibras con agujeros.  
Fuente: (Ramakrishna & Fujihara, 2005)

d) Diámetro del orificio de la aguja

El diámetro interno de la aguja eyectora tiene el efecto de reducir las obstrucciones a la salida de la solución polimérica. Además, un menor diámetro en el orificio de la aguja disminuye la cantidad de cúmulos en las fibras y les da un menor diámetro.

De igual forma, al ser más pequeño el orificio de salida, la gota en la punta de la aguja es más pequeña y las fuerzas de tensión superficial aumentan lo que produce que el chorro de micro o nano fibras sea eyectado con una menor velocidad aumentando así el tiempo de vuelo hasta llegar al colector (Zhang et al. 2004).

e) Distancia entre la aguja eyectora y el colector

Las fibras que se producen son afectadas en su morfología por parámetros como la fuerza del campo eléctrico y el tiempo de vuelo hasta llegar al colector. Estos dos factores van a ser influenciados por la distancia entre la punta de la aguja eyectora y el colector.

Si esta distancia es muy corta lo que va suceder es que las fuerzas producidas por el campo eléctrico van a aumentar con lo cual los chorros de micro o nano fibras van a salir de la punta de la aguja a una mayor velocidad haciendo que el tiempo de vuelo hasta llegar al colector sea menor. Esto produce que el solvente no se evapore y que al llegar al colector las fibras se fusionen y den como resultado no micro o nano fibras sino una malla de varias capas con agujeros como se muestra en la *Figura N° 2-4* (Ramakrishna & Fujihara, 2005).

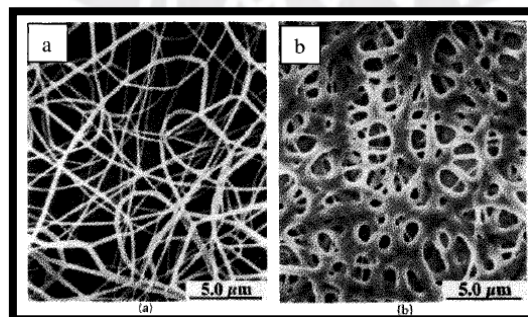


Figura N° 2-4: Deposición de fibras de Nylon con una distancia entre la aguja eyectora y el colector de a) 2cm y b) 0.5 cm.

Fuente: (Ramakrishna & Fujihara, 2005)

Si la distancia es muy larga entonces la fuerza electrostática que estira cada gota de la solución disminuye y hace más inestable el chorro de micro o nano fibras, lo cual se ve reflejado un mayor diámetro de las fibras (Zhang et al. 2004) (Reneker et al. 2000).

Existe una distancia adecuada entre la aguja eyectora y el colector, la cual permite que el tiempo de vuelo de las fibras sea el más apropiado para su estiramiento hasta llegar al colector; asimismo, que se dé una formación de fibras estable y continua sin la aparición de cúmulos (Jarusuwannapoom et al. 2005).

## **2.2. ESTADO DE LAS TECNOLOGÍAS**

Como muestra de todos los avances tecnológicos que se han desarrollado hasta la actualidad en el proceso de electro hilado, se va presentar primero un sistema integrado de gama alta para uso en laboratorio. Luego se van a presentar las soluciones tecnológicas que utilizaron otros investigadores para poder implementar un sistema de recolección, un sistema de inyección y un sistema generador de alto voltaje.

Por otro lado, para conocer los parámetros de producción que permiten obtener fibras a escalas nanométricas se ha realizado una revisión de papers y documentos académicos de diferentes investigadores. Los resultados de sus investigaciones, los parámetros de producción que determinaron para sus experimentos y las relaciones matemáticas que hallaron entre los parámetros de producción se presentan en el Anexo B.

### **2.2.1. SISTEMAS INTEGRALES**

Actualmente las tecnologías de producción de micro y nano fibras han desarrollado equipos que logran controlar todos los parámetros ambientales y del método de electro hilado en sí, para de esta forma lograr producir fibras de una calidad superior. Entre los equipos de gama alta para laboratorio que producen micro y nano fibras resalta el modelo TL-OMNI de la empresa Tong Li Tech y tiene con un costo de \$57.000 dólares (*ver Figura N° 2-5*). Se pueden ver más detalles de los precios en el Anexo G.



Figura N° 2-5: Electrospinning machine.  
Fuente: (TONG LI TECH CO LTD, 2020)

Este equipo cuenta con una fuente de voltaje regulada por un medidor digital de 5 dígitos y puede entregar a la salida hasta 50 kV y una corriente menor a 1mA.

Además, no solo cuenta con las agujas convencionales de diámetro interno de entre 0.1 mm a 1.6 mm, sino que también puede usar agujas coaxiales y triaxiales como se muestra en la *Figura N° 2-6*, las cuales permiten combinar las características de dos o tres polímeros diferentes en una sola fibra. Las agujas antes mencionadas también pueden formar parte de arreglos lineales de hasta 15 agujas y arreglos circulares de 6 como se muestra en la *Figura N° 2-7* (TONG LI TECH CO LTD, 2020).

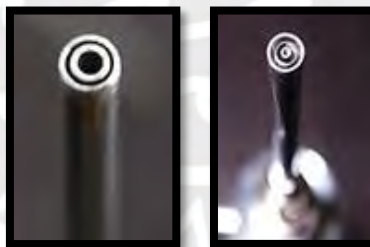


Figura N° 2-6: Aguja inyectora coaxial y triaxial.  
Fuente: (TONG LI TECH CO LTD, 2020)

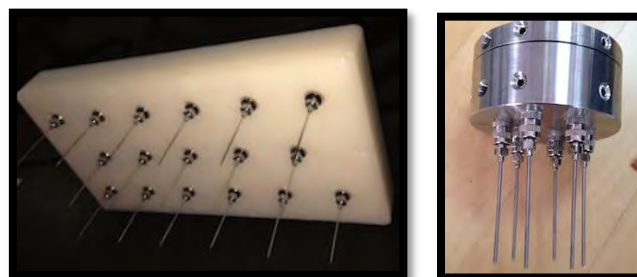


Figura N° 2-7: Arreglo circular y lineal de agujas inyectoras.  
Fuente: (TONG LI TECH CO LTD, 2020)

Con respecto al colector de las micro y nano fibras esta máquina permite usarlos en diferentes formas y tamaños de acuerdo al tipo de alineamiento de fibras que se desee. Entre los colectores que se pueden acoplar a esta máquina están: colector de electrodos paralelos, disco colector, colector paralelo acanalado y colector de cilindro (ver *Figura N° 2-8*).

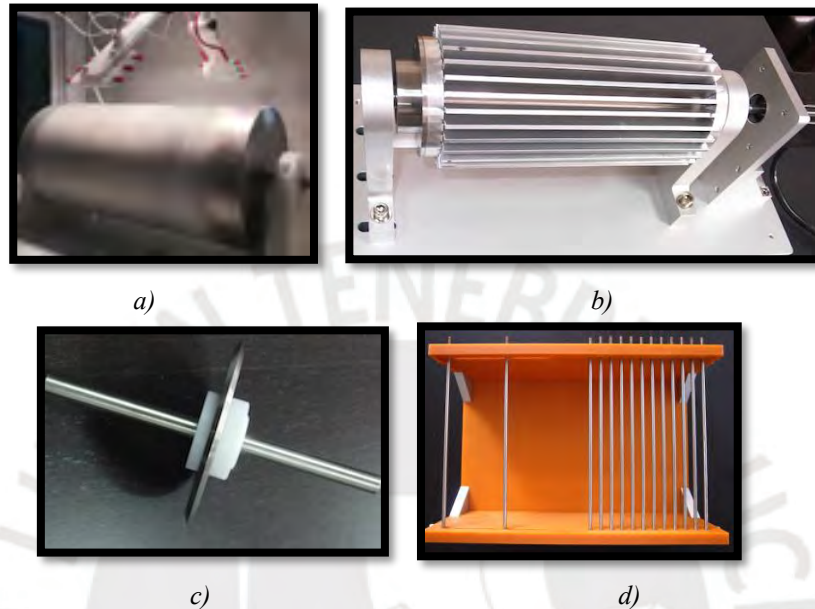


Figura N° 2-8: a) Colector de cilindro, b) colector paralelo acanalado, c) colector de disco, d) colector electrodos paralelos.

Fuente: (TONG LI TECH CO LTD, 2020)

Con respecto al sistema de inyección, esta máquina cuenta con una bomba de jeringa para 2 canales, como se ve en la *Figura N° 2-9*, la cual se ubicada fuera de la cámara de hilado y permite un control del caudal de 0.1 mL/h a 900 mL/h para cada canal desde una pantalla táctil.



Figura N° 2-9: Bomba de inyección.

Fuente: (TONG LI TECH CO LTD, 2020)

El equipo también cuenta con un control de humedad y un soplador de aire caliente. Finalmente cabe resaltar que esta máquina necesita un equipo de puesta tierra que debe ser preparado por el usuario.

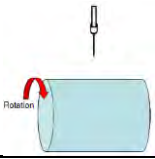

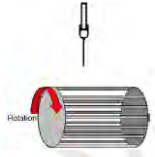
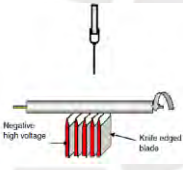
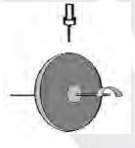
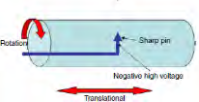
### 2.2.2. SUBSISTEMA DE RECOLECCIÓN DE MICRO Y NANO FIBRAS

La recolección de las micro o nano fibras que se forman a la salida de la aguja eyectora, puede realizarse mediante una plataforma de posición fija o con un cilindro rotativo; pero ambos deben estar elaborados de un material conductor eléctrico y deben servir como punto de referencia o tierra del circuito. Cabe mencionar que, a partir de estas dos configuraciones de colector, parten todos los derivados.

Si se hace uso de una plataforma metálica plana como colector se obtiene una malla de micro o nano fibras no alineadas y sin ninguna orientación. Por el contrario, si el colector es un cilindro rotativo las micro o nano fibras que se formen van a seguir una alineación determinada alrededor del eje axial del cilindro. (Matthews et al. 2002) demostraron los efectos de la velocidad de rotación de un cilindro colector en el alineamiento de nano fibras de colágeno. A una velocidad de rotación menor a 500 RPM se obtuvo una malla con fibras alineadas aleatoriamente, pero al aumentar la velocidad a 4500 RPM las fibras de colágeno mostraron un significativo alineamiento a lo largo del eje de rotación. Sin embargo, para obtener fibras alineadas el cilindro debe girar a una velocidad que se conoce comúnmente como “velocidad de alineamiento”, la cual es diferente para cada tipo de polímero y se obtiene mediante prueba y error. (Ramakrishna & Fujihara, 2005).

A continuación, en la *Tabla N° 2-1*, se presenta un resumen con las principales ventajas y desventajas de las distintas formas y configuraciones de los colectores para un proceso de electro hilado. Asimismo, un mayor detalle de los efectos de la forma del cilindro colector en las fibras que se producen se muestra en el Anexo B.

Tabla N° 2-1: Ventajas y desventajas de distintas configuraciones de colectores.

CONFIGURACIÓN DEL COLECTOR	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>Cilindro rotatorio</p> 	<p>Configuración sencilla</p> <p>Se puede fabricar mallas con una gran área de fibras alineadas.</p>	<p>Es difícil de fabricar mallas con una alta alineación.</p> <p>Las fibras pueden romperse si la velocidad de rotación es muy alta</p>
<p>Electrodos paralelos</p> 	<p>Configuración sencilla</p> <p>Es fácil obtener fibras altamente alineadas</p> <p>Es fácil transferir las fibras alineadas a otro sustrato.</p>	<p>No es posible obtener fibras alineadas con un espesor mayor al de los electrodos</p> <p>Hay un límite en el largo de las fibras.</p>
<p>Cilindro colector de alambres alineados</p> 	<p>Configuración sencilla</p> <p>Es posible obtener fibras altamente alineadas.</p>	<p>No se pueden obtener fibras alineadas de espesores grandes</p> <p>Las fibras pueden no estar alineadas en todo el conjunto.</p>
<p>Tubo colector rotatorio con un arreglo vertical de electrodos detrás</p> 	<p>Es posible obtener fibras altamente alineadas</p> <p>Las fibras alineadas van a cubrir el tubo completo</p> <p>Es posible obtener mallas con espesores mayores</p>	<p>Implementar esta configuración requiere de electrodos cargados con voltaje negativo</p> <p>Solo es posible para un tubo de diámetro pequeño</p>
<p>Disco colector</p> 	<p>Configuración sencilla</p> <p>Es posible obtener fibras altamente alineadas</p>	<p>Incapaz de mantener fibras altamente alineadas a una misma velocidad de rotación cuando las fibras depositadas son de gran espesor</p>
<p>Cilindro rotatorio con un electrodo afilado por dentro</p> 	<p>Se puede fabricar una malla de fibras de gran área</p>	<p>Implementarlo es complicado</p> <p>No se pueden obtener ensambles de fibras de gran espesor</p>

Fuente: Elaboración propia.

### 2.2.3. SUBSISTEMA DE INYECCIÓN

Los investigadores de la unidad académica de la Universidad de Cataluña INTEXTER (Instituto de Investigación Textil y Cooperación Industrial de Terrassa) se han dado cuenta del enorme potencial de usar nano fibras en el sector textil y es por eso que han presentado el

artículo “Producción de nano fibras a partir de un diseño innovador de máquina prototipo de electrospinning”, en el cual se exponen las pruebas de funcionamiento que se realizaron.

Con respecto al subsistema de inyección del prototipo los requerimientos fueron: flujo constante a la salida, caudal de salida entre 0.01 mL/h a 10 mL/h y capacidad de regulación del caudal de forma remota. Como resultado encontraron dos alternativas en el mercado: una bomba peristáltica o una bomba de infusión.

- a) Bomba peristáltica: Es una bomba de desplazamiento positivo para diferentes tipos de fluidos y su funcionamiento consiste en empujar el líquido que este contenido dentro de un tubo flexible empotrado a una cubierta circular de la bomba. Un rotor con un número de carretes determinado comprime el tubo flexible a medida que se va girando como se ve en la *Figura N° 2-10*, obligando a que el fluido se mueva dentro del tubo (Cano C. et al. 2009).

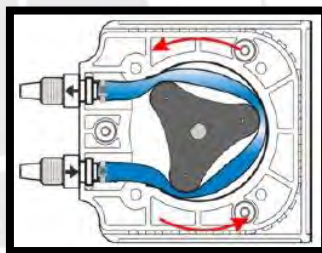


Figura N° 2-10: Estructura interna de una bomba peristáltica.  
Fuente: (Cano C. et al. 2009)

- b) Bomba de infusión tipo jeringa: El fluido que está contenido en una jeringa que se acopla a esta máquina, sale debido a la presión que ejerce el émbolo de una jeringa. Este embolo avanza linealmente por la acción de un motor que hace girar un tornillo sinfín (ver *Figura N° 2-11*).



Figura N° 2-11: Bomba de infusión tipo jeringa.  
Fuente: (Cano C. et al. 2009)



Al final optaron por una bomba de infusión tipo jeringa; sin embargo, los precios del mercado para esta máquina superaban su presupuesto así que decidieron implementar ellos mismos una. En el proceso de construcción de su propio sistema de inyección han considerado en el diseño una bancada soporte de todo el sistema, un soporte para la jeringa, un motor a pasos y una mesa de deslizamiento lineal en base a un tornillo sin fin como se muestra en la *Figura N° 2-12*.

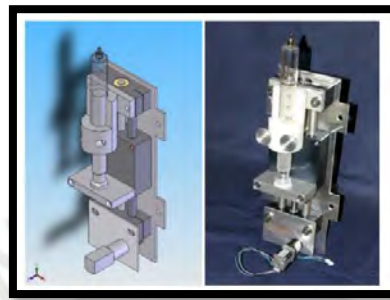


Figura N° 2-12: Diseño y construcción de la bomba de inyección.  
Fuente: (Cano C. et al. 2009)

Luego de implementar su sistema de inyección se realizaron pruebas para calcular el caudal a la salida de la bomba de jeringa por lo cual fue necesario hacer equivalencias a partir del paso del motor que usaron. Una tabla resumen del calibrado manual que hicieron para su prototipo creado se muestra en la *Tabla N° 2-2*.

Tabla N° 2-2: Valores experimentales de la medida de calibración del caudal de la bomba de inyección

Prescaler	Microsteps	Velocidad	Tara [g]	Peso total [g]	Peso neto [g]	Tiempo [min]	Caudal Real [ml/h]	Caudal Teórico [ml/h]
7	1/64	0	2,452315	2,462158	0,009843	268	0,002	0,0091
7	1/64	100	2,447833	2,53819	0,090357	305	0,018	0,0149
7	1/64	200	2,445741	2,543764	0,098023	180	0,033	0,0413
3	1/64	51	2,460774	2,935586	0,474812	169	0,169	0,1767
1	1/64	100	2,447591	2,964966	0,517375	38	0,817	0,8369
1	1/64	200	2,448665	3,079306	0,630641	20	1,892	1,9055
4	Medio paso	100	2,45747	3,005277	0,547807	9	3,652	3,6004
4	Paso completo	120	2,461471	3,002851	0,54138	4	8,121	8,2132
2	Medio paso	150	2,457224	3,019132	0,561908	2	16,857	17,2021
3	Paso completo	200	2,449193	2,988118	0,538925	1	32,336	32,9455

Fuente: (Cano C. et al. 2009)

Una segunda propuesta de solución al sistema de inyección se expone en la tesis para optar el grado de magister (Huamani, 2011). En esta tesis, se usa la neumática en forma de aire comprimido como principio de funcionamiento del sistema de inyección y consiste en emplear

la presión que ejerce el ingreso del aire para empujar el émbolo de una jeringa. Asimismo, se controla la presión con un barómetro regulador de aire fino con una capacidad de entre 0 a 200 psi. Se puede ver una representación esquemática del sistema que se usó en la *Figura N° 2-13*.

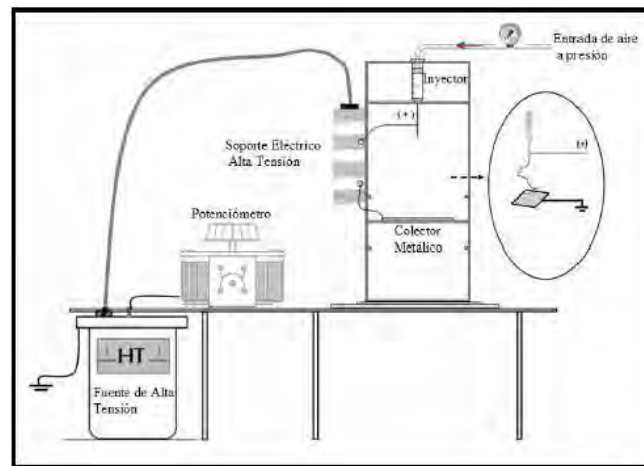


Figura N° 2-13: Diagrama esquemático de la máquina para la producción de fibras de PVA/PLATA.  
Fuente: (Huamani, 2011)

Por otro lado, en el trabajo de titulación (Chugá Mejía & Polanco Salgado, 2018), se usa un sistema ya implementado y se muestra las implicaciones para la selección de este equipo. Este trabajo ha usado para el subsistema de inyección una bomba de infusión de tipo jeringa a la cual se le hicieron adaptaciones para permitir que la jeringa pueda ser soportada y utilizada sin estar conectada a la carcasa de la misma. Asimismo, realizaron un análisis de las opciones de bombas de infusión que ofrece el mercado en base a parámetros como precio, tasa de bombeo, diámetro de jeringas con las que puede operar, exactitud del movimiento, tiempo de importación y tamaño. Como resultado concluyeron que el equipo más adecuado era la bomba de infusión NE-300 (ver *Figura N° 2-14*).



Figura N° 2-14: Bomba de infusión NE-300.  
Fuente: (Chugá Mejía & Polanco Salgado, 2018)

## 2.2.4. SUBSISTEMA GENERADOR DE ALTO VOLTAJE

Un estudio realizado en la Universidad Politécnica de Cataluña por el grupo INTEXTER, muestra los efectos de variar los principales parámetros de electro hilatura, que pueden afectar al diámetro de las fibras que se producen a base de gelatina y colágeno en el sector biomédico. Según la *Tabla N° 2-3*, el voltaje suministrado varía de 6 kV a 25 kV, según el disolvente que se use para la preparación de la solución polimérica de gelatina en polvo procedente de piel de vaca (tipo B con un Bloom – 225g).

Tabla N° 2-3: Disolventes utilizados y condiciones de operación para la electro hilatura de gelatina.

Disolvente	[Gelatina]	[Disolvente]	T (°C)	Voltaje (kV)	Distancia (cm)	Caudal (ml/h)
2,2,2-Trifluoroetanol <sup>64</sup>	2,5 – 15 % w/v	Puro	Ambiente	10-16	12	0,8
Ácido Fórmico <sup>67</sup>	7-12 % w/v	98%	Ambiente	6-25	7,5 – 25	Ajustado
Acético glacial/ Etil acetato <sup>68</sup>	10%	AA 9-81% / EA 0-35%	37	12	8	0,06
Etanol + Ácido fórmico <sup>69</sup>	10-20 wt%	Etanol: 20 wt% Fórmico: 2 wt%	35	15-25	10	1
Acético/Fórmico <sup>68</sup>	5-29 wt%	Acido: 10-100%	40	-	15	-
Ácido acético <sup>61</sup>	6-12% w/v	Acético: 50-90%	Ambiente	10-16	8-15	-
Agua destilada <sup>62</sup>	30-40 wt%	Puro	40	22	12	-
Acético / Agua bidestilada <sup>63</sup>	30 w/v%	Acético: 60% Agua bidest: 40%	50	15	15	0,005
20xPBS/Etanol <sup>64</sup>	90-140 mg/ml	PBS: 5X-20X PBS/Etanol: 3:2/1:1/2:3	-	12	12	0,25

Fuente: (Erencia et al. 2018)

Sin embargo, el trabajo descrito en este artículo se centró en nano fibras de gelatina preparadas usando como disolvente ácido acético a diferentes proporciones. A esta solución se le hicieron pruebas con diferentes voltajes, como se ve en la *Tabla N° 2-4*.

Tabla N° 2-4: Diámetro medio de las nano fibras y viabilidad de la electro hilatura para disoluciones de gelatina en ácido acético al 25% v/v.

Experimento	Voltaje (kV)	Distancia (cm)	Caudal (ml/h)	Diámetro medio (nm)	Viabilidad de electrohilatura
1	10	7	0,25	370 ± 38	Nanofibras
2	14	7	0,25	344 ± 35	Nanofibras
3	18	7	0,25	361 ± 44	Nanofibras
4	10	11	0,25	-	Sin fibras
5	14	11	0,25	352 ± 39	Nanofibras
6	18	11	0,25	347 ± 41	Nanofibras
7	10	15	0,25	-	Sin fibras
8	14	15	0,25	350 ± 45	Inestable
9	18	15	0,25	340 ± 48	Nanofibras
10	10	7	0,5	-	Sin fibras
11	14	7	0,5	351 ± 37	Nanofibras
12	18	7	0,5	364 ± 38	Nanofibras
13	10	11	0,5	346 ± 47	Inestable
14	14	11	0,5	357 ± 30	Nanofibras
15	18	11	0,5	348 ± 26	Nanofibras
16	10	15	0,5	348 ± 29	Inestable
17	14	15	0,5	380 ± 59	Inestable
18	18	15	0,5	332 ± 47	Nanofibras
19	10	7	1	-	No fibras
20	14	7	1	365 ± 39	Nanofibras
21	18	7	1	354 ± 49	Nanofibras
22	10	11	1	-	Inestable
23	14	11	1	348 ± 39	Nanofibras
24	18	11	1	366 ± 29	Nanofibras
25	10	15	1	319 ± 39	Inestable
26	14	15	1	323 ± 37	Nanofibras
27	18	15	1	311 ± 24	Nanofibras

Fuente: (Erencia, et al. 2018)

Por otra parte, en el artículo (Matthews et al. 2002) se describe el estudio que se realizó para adaptar la técnica de electro hilado a la producción de pliegues compuestos por nano fibras de colágeno en la ingeniería de tejidos. Se hicieron diferentes pruebas variando cada uno de los parámetros de producción, pero con respecto a la fuente voltaje se trabajó en un rango de 15 kV a 30 kV, y se concluyó que el voltaje ideal con mejores resultados fue a 25 kV; obteniendo como resultado pliegues de nano fibras de diámetros de entre 100 a 730 nm, como se ve en la *Figura N° 2-15*.

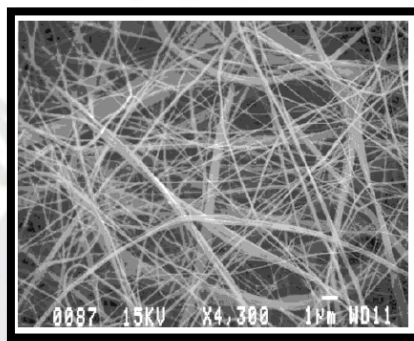


Figura N° 2-15: Nano fibras de colágeno obtenidas a partir de suministrar a la aguja eyectora 25 kV.  
Fuente: (Matthews et al. 2002)

Una referencia de los equipos con sistemas integrados para la generación de alto voltaje se muestra en el trabajo de titulación (Chugá Mejía & Polanco Salgado, 2018). En este trabajo se usó una máquina de electro hilado para laboratorio que cuenta con equipo de doble polarización de alto voltaje de 30 kV. Asimismo, se consultó las opciones del mercado para una fuente generadora de alto voltaje y concluyó que la más conveniente por parámetros como precio, rango de voltajes, indicadores de voltaje, protección eléctrica y tiempo de exportación era una fuente de voltaje SPELLMAN UM30P15 (ver *Figura N° 2-16*).



Figura N° 2-16: Fuente generadora de alto voltaje DC SPELLMAN UM30P15  
Fuente: (Chugá Mejía & Polanco Salgado, 2018)

## CAPÍTULO 3

### DISEÑO CONCEPTUAL

En el siguiente capítulo se va mostrar la lista de exigencias que debe tener la máquina, la cual ha sido formulada en base a los requerimientos expresados por el cliente para el procesamiento de biopolímeros.

Además, se van a definir las principales funciones que va realizar el prototipo y los sistemas integrados, mecanismos o dispositivos electrónicos que podrían desempeñar estas funciones.

Finalmente, se van a definir criterios técnicos y económicos de evaluación que van a permitir elegir al mejor de los 3 conceptos de solución propuestos. Asimismo, se va realizar una descripción detallada del concepto de solución óptimo el cual recoge e incorpora las características positivas de los dos conceptos de solución restantes que no fueron seleccionados.

#### 3.1. LISTA DE EXIGENCIAS

En base a los requerimientos del cliente y las diferentes fuentes revisadas en el capítulo anterior de estado del arte, se presenta la lista de exigencias que la máquina a diseñar debe cumplir.

##### **Función principal**

Producir diferentes tipos de micro o nano fibras mediante la variación de los parámetros de producción del electro-hilado.

**Geometría.** - La cabina de electro hilado debe:

- Tener una base rectangular de 120 cm de largo por 60 cm de ancho para que se pueda instalar sobre una de las mesas de estructura metálica que se encuentran en el Laboratorio de Polímeros y Bionanomateriales.
- Tener una puerta, ya que la extracción de las láminas de micro o nano fibras que se produzcan serán retiradas manualmente por el usuario. Asimismo, debido a que se van

usar componentes intercambiables como jeringas y posiblemente cilindros colectores de diferentes formas es necesario un elemento que no produzca interferencias y que pueda proporcionar un ambiente cerrado o abierto con facilidad.

- Contar con una apertura en la parte posterior por donde puedan ingresar cables de alimentación eléctrica o de otro tipo.
- Contar con una ventana de aproximadamente 40x30 cm, lo suficientemente grande para poder observar el proceso de producción de micro o nano fibras.

**Montaje.** – El eje del cilindro colector debe:

- Contar algún tipo de acople eje motor de rápido y sencillo desmontaje.

### **Materia**

- Ingreso: Solución biopolimérica de características determinadas por el usuario
- Salida: Micro o nano fibras

### **Cinemática**

- El sistema de recolección deberá poder realizar un movimiento lineal en un rango de 0 a 30 cm.
- El recolector de las fibras de tipo tambor rotatorio debe tener una velocidad de giro de 0 a 3000 RPM.
- Se debe contar con un soporte dentro del sistema de recolección que permita fijar de forma estable al tambor colector rotatorio.
- El sistema de inyección de la solución biopolimérica debe permitir caudales en el rango de 0.1 ml/h a 10 ml/h a la salida de la aguja eyectora.

### **Fuerza**

- La estructura soporte deberá ser diseñada de un material con las características mecánicas apropiadas para soportar el peso de todos los subsistemas y sus componentes mecánicos y electrónicos.

- La carcasa que rodea a la máquina debe poder soportar golpes o raspones en caso que se requiera realizar algún traslado.

**Energía.** - Energía que ingresa al sistema:

- Energía eléctrica: 220 VAC/60Hz

### **Ergonomía**

- La máquina debe contar con iluminación homogénea y bien distribuida de 200 luxes, para un trabajo de distinción moderada en detalles dentro de la cámara de electro hilado de tal forma que sea fácil observar el proceso y posteriormente retirar las fibras formadas en el colector, de acuerdo a la Resolución Ministerial N°375-2008-TR, “Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico” (Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo, 2008).

### **Seguridad**

- Se debe proveer al sistema de una puesta a tierra o red equipotencial que permita disipar cualquiera carga eléctrica residual en los equipos de acuerdo a la Norma Técnica Peruana (NTP) 370.053 (INDECOPI, 1999).
- Es deseable que los bordes de la carcasa sean biselados para evitar cualquier corte por contacto.

### **Fabricación**

- La plataforma base del sistema de recolección y del sistema de posicionamiento debe ser fabricada de un material aislante que evite que el alto voltaje al que va estar sometido el colector y la aguja eyectora pueda entrar en contacto con el resto de componentes de la máquina.
- Los soportes del colector tipo tambor rotatorio deben tener buenas propiedades dieléctricas, es decir, estar fabricadas de un material no conductor eléctrico, el cual tenga un espesor lo suficiente para no dejar pasar voltajes de hasta 60 kV.

- El colector de tipo tambor rotatorio debe ser fabricado de un material conductor.
- La manguera o ducto que conecta al sistema de inyección con la aguja eyectora debe ser de un material que soporte la presión a la que se bombea la solución biopolimérica.

### **Software**

- El software utilizado para el diseño será de código abierto y posible de editar desde cualquier computadora con un sistema operativo Windows.

### **Comunicación**

- El ingreso de parámetros de producción, así como la respuesta del estado del proceso debe darse por medio de una pantalla, indicadores luminosos y botones.

**Señales.** - Magnitudes de medición, impulsos de control e información requerida.

Se deben ingresar las siguientes señales al inicio del proceso:

- Señal de encendido. - Señal que energiza a todo el sistema.
- Señal de velocidad de rotación del colector. - Señal que determina las revoluciones por minuto del colector tipo tambor rotatorio.
- Señal de posición del sistema de recolección. - Señal que determina distancia entre la aguja eyectora y el colector de tipo tambor rotatorio
- Señal de caudal. - Señal que establece el caudal a la salida de la aguja eyectora
- Señal de suministro de voltaje. - Señal que determina que voltaje se va suministrar a la aguja eyectora
- Señal de inicio. - Señal que da inicio al proceso electro hilado
- Señal de alumbrado interior. - Señal que enciende o apaga las luminarias dentro de la cámara de electro hilado.
- Señal de parada de emergencia. - Señal que determina la detención de la producción y el corte de energía.

Se deben obtener las siguientes señales durante o al culminar el proceso:



- Señal de estado puerta. - Señal que indica si la puerta de la cámara de electro hilado está abierta de tal forma que se corte la energía eléctrica en el generador de alto voltaje
- Señal de estado del proceso. - Señal que indica si se está ejecutando el proceso de electro hilado o si ya concluyó
- Señal de equipo encendido. - Señal que indica si los actuadores y sensores del sistema están siendo alimentados eléctricamente o no.
- Señal de fin de carrera del sistema de inyección. - Señal que comunica cuando el embolo de jeringa ha llegado a su posición final dentro de la jeringa.
- Señal de posición del sistema de recolección. - Señal que muestra al usuario la posición del colector tipo tambor rotatorio con respecto a la aguja eyectora
- Señal de velocidad de rotación del colector. - Señal que muestra al usuario las rpm a las que gira el colector tipo tambor rotatorio.
- Señal de suministro de voltaje. - Señal que muestra al usuario el voltaje que se le suministra a la aguja eyectora
- Señal de caudal. - Señal que muestra al usuario el caudal a la salida de la aguja eyectora

### **Control**

- El controlador seleccionado debe garantizar la estabilidad y continuidad de parámetros de funcionamiento como la velocidad de giro del colector y la posición de la aguja eyectora.
- Es deseable poder controlar la humedad dentro de la cámara de electro hilado.
- Es deseable poder controlar la viscosidad de la solución polimérica.
- Se debe contar con un controlador que tenga la cantidad suficiente de pines de entrada y salida para cada uno de los componentes de la máquina.
- El controlador elegido debe tener pines con salida PWM (pulse width modulation).

## Costo

- El costo del prototipo de la máquina para la producción de micro y nano fibras no debe superar los S/. 50 000.00 nuevos soles.

## 3.2. BLACK BOX

Mediante este esquema se pueden definir las entradas y salidas de la máquina, como se ve en la *Figura N° 3-1* y la descripción de cada una se presenta en el Anexo C.



Figura N° 3-1: Black Box de la máquina.  
Fuente: Elaboración propia

## 3.3. ESTRUCTURA DE FUNCIONES

En esta sección se presentan las funciones parciales que se desprenden de la función principal “Producir diferentes tipos de micro o nano fibras variando los parámetros de producción al usar la técnica de electro hilado”. Las funciones parciales, se han dividido en seis dominios: interacción con el usuario, control, medición, actuación, mecánico y energía y se muestran a continuación. Se puede ver el diagrama completo de la estructura de funciones en el Anexo C.

## Dominio de Mecánico

Las funciones que van a cumplir los principales componentes mecánicos del prototipo y la interacción entre ellos, se muestra en la *Figura N° 3-2*.

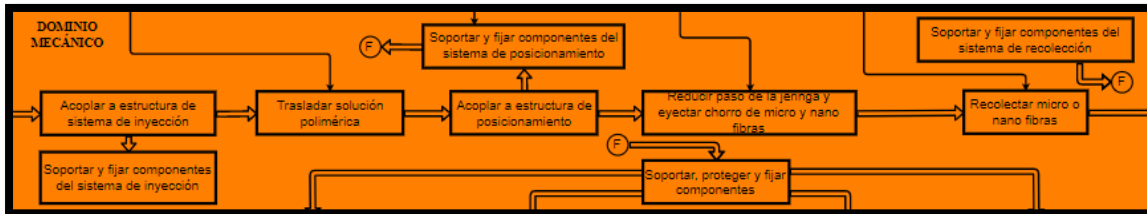


Figura N° 3-2: Funciones del subsistema de materia.

Fuente: Elaboración propia

- **Acoplar a estructura del sistema de inyección:**

Mecanismo que permita acoplar o unir la jeringa con la estructura del sistema de inyección.

- **Trasladar solución polimérica:**

Permite que la solución biopolimérica sea transportada desde la jeringa hasta la aguja eyectora.

- **Acoplar a estructura de posicionamiento:**

Acople o mecanismo que permite fijar y sostener la aguja eyectora a la estructura de posicionamiento.

- **Reducir paso de la jeringa y eyectar chorro de micro o nano fibras:**

Reduce el diámetro del conducto por donde fluye la solución biopolimérica y permite la salida del chorro de micro o nano fibras.

- **Recolectar micro o nano fibras:**

Permite que las micro o nano fibras se puedan recolectar de forma alineada.

- **Soportar y fijar componentes del sistema de inyección:**

Estructura que soporta y fija los componentes del sistema de inyección.

- **Soportar y fijar componentes del sistema de posicionamiento:**

Estructura que sostiene y fija los componentes del sistema de posicionamiento, además de permitir el movimiento a la aguja eyectora en dos direcciones.

- **Soportar y fijar componentes del sistema de recolección:**

Estructura que soportar y fija los componentes del sistema de recolección.

- **Soportar, proteger y fijar componentes:**

Estructura que permite agrupar a todos los componentes de la máquina cada uno en una posición determinada y de forma protegida frente a posibles golpes.

### **Dominio de Actuación**

Las funciones que van a cumplir los principales actuadores del prototipo y la interacción entre ellos, se muestra en la *Figura N° 3-3*.

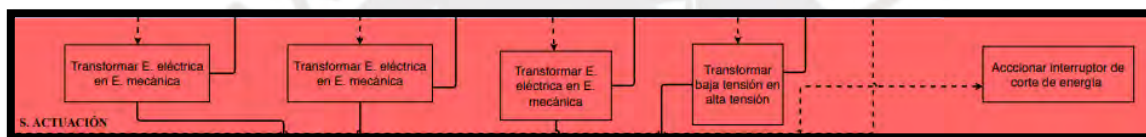


Figura N° 3-3: Funciones del subsistema de actuación.  
Fuente: Elaboración propia

- **Transformar energía eléctrica en energía mecánica:**

Actuador que transforma la energía eléctrica recibida en energía mecánica a través de un movimiento lineal o giratorio.

- **Transformar baja tensión en alta tensión:**

Actuador que transforma una señal de bajo voltaje en una señal de alto voltaje de forma constante.

- **Accionar interruptor de corte de energía:**

Actuador que permite cortar el flujo de energía que se suministra a toda la máquina.

- **Transformar energía eléctrica en energía luminosa:**

Actuador que transforma la energía eléctrica en energía lumínica.

## Dominio de Interacción con el Usuario

Las funciones que van a cumplir los dispositivos de interacción con el usuario del prototipo y la interacción entre ellos, se muestra en la *Figura N° 3-4*.

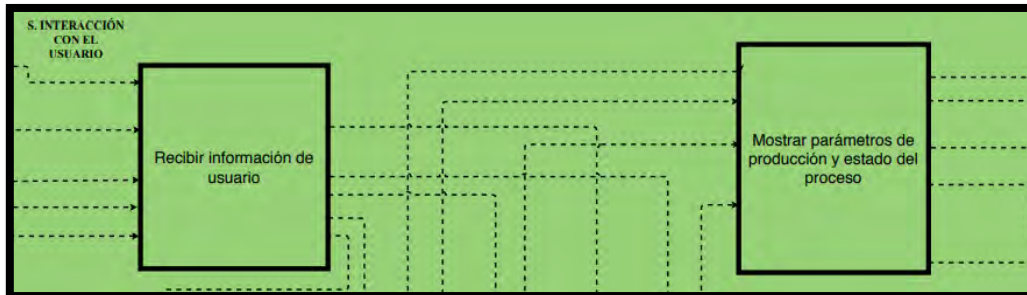


Figura N° 3-4: Funciones del subsistema de interacción con el usuario.

Fuente: Elaboración propia

- **Recibir información de usuario:**

Función que permite ingresar y registrar los datos que el usuario ingrese acerca de los parámetros de producción.

- **Mostrar parámetros de producción y estado del proceso:**

Función que permita la visualización en tiempo real el estado de los parámetros de producción, así como el estado del proceso.

## Dominio de Control

Las funciones que van a desempeñar los dispositivos de almacenamiento de información y control de señales hacia los actuadores se muestra en la *Figura N° 3-5*.

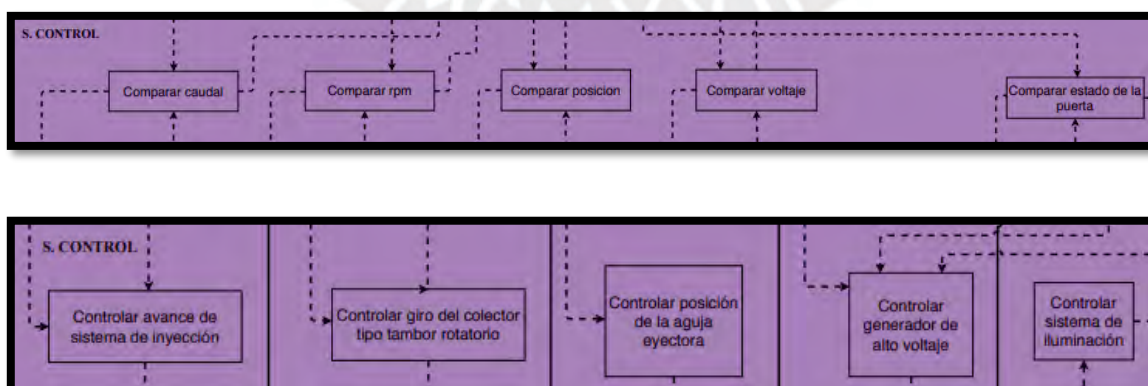


Figura N° 3-5: Funciones del subsistema de control.

Fuente: Elaboración propia

- **Comparar caudal:**

Recibe el dato de caudal que haya ingresado el usuario, compara este dato con los datos proporcionados por un sensor y envía señales a un actuador.

- **Comparar rpm:**

Recibe el dato que ingresa el usuario sobre las revoluciones por minuto del colector, compara este dato con el que le provee un sensor y envía señales a un actuador.

- **Comparar posición:**

Recibe el dato que ingresa el usuario sobre la posición del sistema de colección con respecto al sistema de inyección, compara este dato con el que le provee algún sensor y envía señales a un actuador.

- **Comparar voltaje:**

Recibe el dato que ingresa el usuario sobre el voltaje que se debe suministrar, compara este dato con el que le provee un sensor y envía señales a un actuador.

- **Comparar estado de la puerta:**

Recibe la señal de inicio ingresada por el usuario, revisa el estado de la puerta de la cámara de electro hilado y envía señales a un actuador.

- **Controlar motor del sistema de inyección:**

Proporciona la señal adecuada para el control del motor del sistema de inyección.

- **Controlar motor del colector tipo tambor rotatorio:**

Proporciona la señal adecuada para el control del motor del colector de tipo tambor rotatorio.

- **Controlar posicionamiento de la aguja eyectora:**

Proporciona la señal adecuada para el control del motor usado para el posicionamiento del sistema de inyección

- **Controlar generador de voltaje:**

Proporciona la señal adecuada para el control del nivel de voltaje suministrado a la aguja eyectora.

- **Controlar sistema de iluminación**

Permite el paso de energía eléctrica al sistema de iluminación para su funcionamiento.

### **Dominio de Medición**

Las funciones que van a cumplir los principales sensores del prototipo se muestran en la *Figura N° 3-6*.

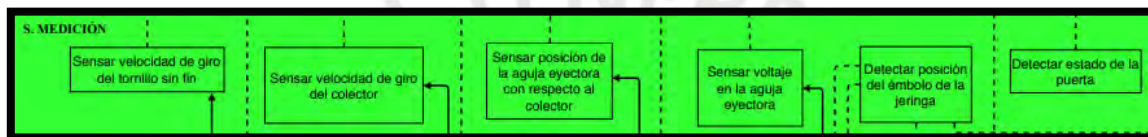


Figura N° 3-6: Funciones del subsistema de medición.

Fuente: Elaboración propia

- **Sensar velocidad de giro del tornillo sin fin:**

Monitorea la velocidad de giro del tornillo sin fin.

- **Sensar velocidad de giro del colector:**

Monitorea la velocidad de giro del colector.

- **Sensar posición de la aguja eyectora con respecto al colector:**

Esta función revisa la posición del sistema de recolección con respecto al sistema de inyección.

- **Sensar voltaje en aguja eyectora:**

Esta función mide constantemente el voltaje en la aguja eyectora

- **Detectar posición del émbolo de la jeringa:**

Permite saber si el émbolo de la jeringa esta expandido o comprimido completamente

- **Detectar estado de la puerta:**

Permite saber si la puerta de la cámara de electro hilado está abierta o cerrada.

## Dominio de Energía

Las principales funciones que van a desempeñar los equipos que adecuan las entradas de energía eléctrica a los diferentes subsistemas se muestran en la *Figura N° 3-7*.

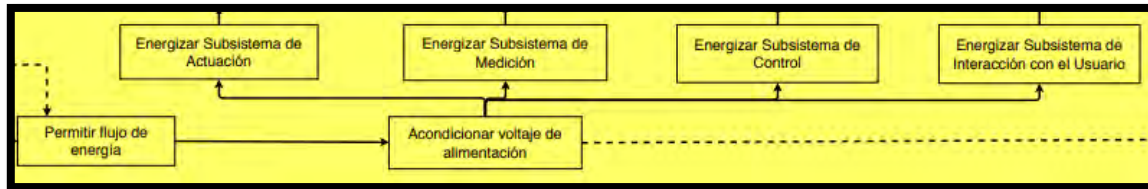


Figura N° 3-7: Funciones del subsistema de energía.

Fuente: Elaboración propia

- **Permitir flujo de energía:**

Esta función determina si hay o no corriente eléctrica a todos los módulos del equipo.

- **Acondicionar voltaje de Alimentación:**

Recoge la señal de 220 VAC y la transforma a 5 o 12 VDC, según requerimiento de los sensores o actuadores.

- **Energizar subsistema de Actuación:**

Proporciona energía eléctrica a los actuadores de la máquina.

- **Energizar subsistema de Medición:**

Proporciona energía eléctrica a los sensores o dispositivos de monitoreo de las variables de producción.

- **Energizar subsistema de Control:**

Proporciona energía al controlador del sistema que permite el funcionamiento lógico de los componentes.

- **Energizar subsistema de Interacción con el Usuario:**

Proporciona energía a los dispositivos que recogen y muestran información del proceso de producción.

A partir de cada una de las funciones parciales antes descritas se han propuesto tres alternativas de solución, que pueden ser piezas mecánicas, dispositivos electrónicos o sistemas integrados,



los cuales se presentan en la *Tabla C-1*, dentro del Anexo C. Igualmente, dentro de este anexo en la *Tabla C2*, se presentan 3 conceptos de solución para el diseño integral de toda la máquina, como resultado de combinar las alternativas de solución.

De acuerdo, a la metodología VDI 2221, se ha logrado determinar la mejor opción de entre las 3 propuestas; a través de una evaluación técnico-económica. La importancia de cada criterio se ha puntuado en base a una escala del 1 al 4; sin embargo, al evaluar cada concepto de solución el puntaje máximo ha sido 3; ya que solo la solución ideal podría tener el puntaje máximo. Cada uno de los criterios, su descripción y valor de importancia son mostrados en el Anexo C. Como resultado, de las ponderaciones o puntajes a cada concepto de solución, se realizó una gráfica que compara cada uno de los conceptos de solución con respecto a la solución ideal, como se muestra en la *Figura N° 3-8*. El concepto de solución ganador es entonces el concepto de solución 3 ya que los otros dos conceptos de solución tienen una puntuación menor al 60 % en la evaluación económica y según la norma VDI 2221, estas opciones deben descartarse.

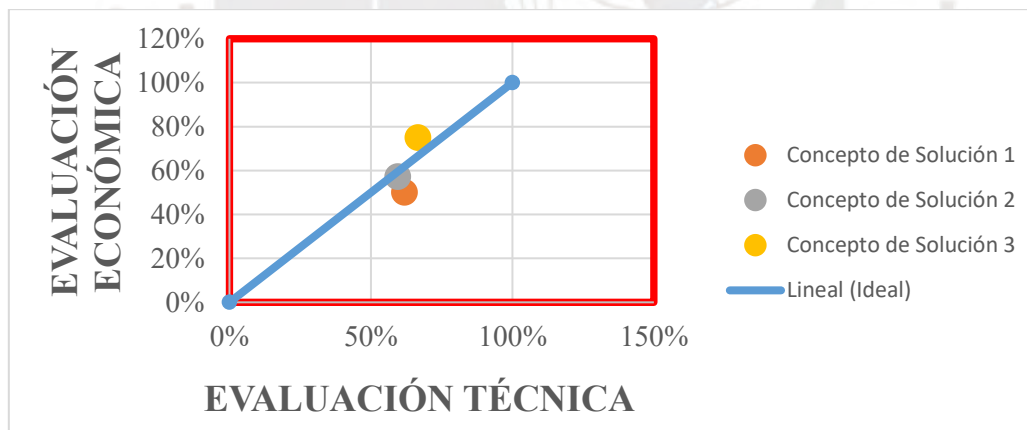


Figura N° 3-8: Evaluación técnica vs Evaluación económica.  
Fuente: Elaboración propia

### 3.4. CONCEPTO DE SOLUCIÓN ÓPTIMO

Con el propósito de que el concepto de solución 3 sea la solución óptima, se deben recoger e implementar los aspectos técnicos y económicos positivos de los otros dos conceptos de solución. Dentro del criterio técnico de dificultad en la fabricación, las formas curvas de la cámara de electro hilado deben cambiar a formas rectas que no necesitan algún molde especial

para su fabricación. En el criterio técnico de interacción máquina-operador, se va adoptar el uso de módulos display de 7 segmentos para la visualización de cada uno de los parámetros de producción. Asimismo, realizar este cambio, a pesar de aumentar la cantidad de actuadores y cableado, reduce el costo de la tecnología ya que 4 módulos displays de 7 segmentos son más económicos que una pantalla táctil.

Por otro lado, con respecto al criterio técnico de dificultad en el algoritmo de control, el concepto de solución 3 debería usar una bomba de infusión tipo jeringa para el sistema de inyección, ya que al hacer esto la lógica de control de toda la máquina se hace más sencilla y precisa. En la *Figura N° 3-9*, se muestra la solución integral óptima.

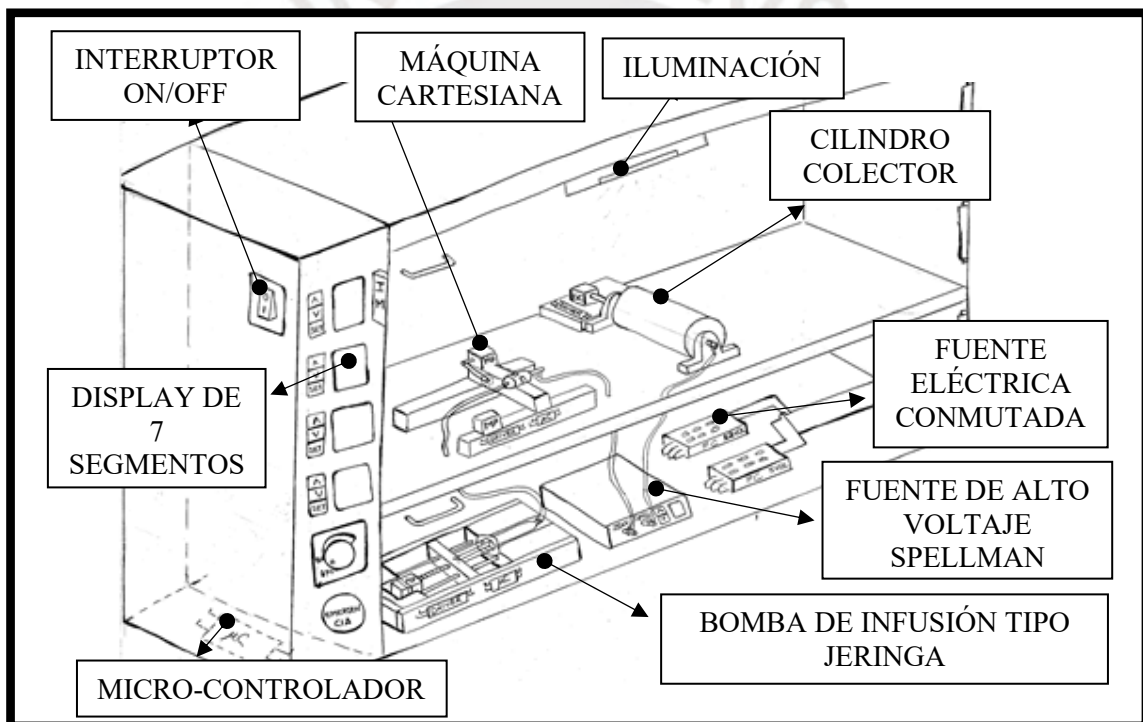


Figura N° 3-9: Bosquejo de la solución óptima.

Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO 4

### DISEÑO INTEGRAL

En este capítulo se va describir la disposición física de cada uno de los subsistemas y sus componentes al interior de la cabina de electro hilado, para luego en los capítulos siguientes explicar a detalle el ámbito mecánico, electrónico y de control cada uno de ellos.

#### 4.1. DISPOSICIÓN FÍSICA AL INTERIOR DE LA CABINA DE ELECTRO HILADO

El diseño integral del sistema mecatrónico de bajo costo para la producción de micro y nano fibras, comprende la unión física y el funcionamiento sistemático del generador de alto voltaje, la bomba de infusión tipo jeringa, el subsistema de posicionamiento, el subsistema de recolección y el subsistema de interacción con el usuario.

La máquina cuenta con dos niveles y un compartimiento lateral, tal como se muestra en el *Figura N° 4-1*. El primer nivel o nivel inferior es para el cableado eléctrico y los sistemas integrados que no tienen necesidad de ser visualizados en todo momento como la bomba de infusión tipo jeringa y el generador de alto voltaje.

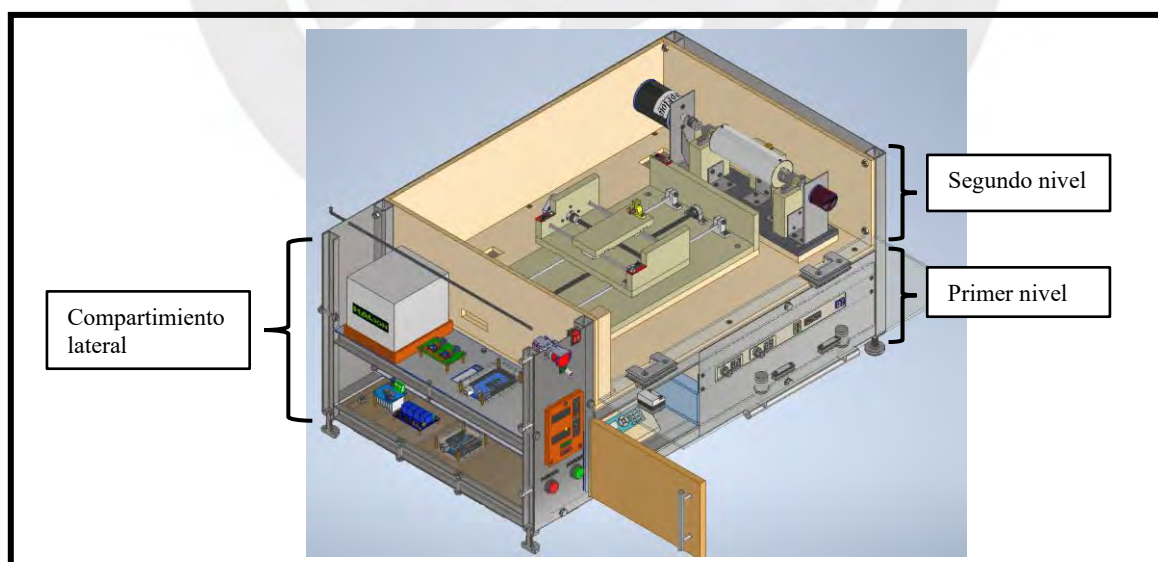


Figura N° 4-1: Niveles y compartimientos de la cabina de electro-hilado  
Fuente: Elaboración propia

El generador de alto voltaje de la cabina consiste de un equipo integrado Spellman SL60-P30, el cual se une a la carcasa externa frontal de la cabina por medio de 4 uniones atornilladas, de tal manera que solo la interfaz de este equipo quede al descubierto, tal como se ve en la *Figura N° 4-2*. Con respecto a la bomba de infusión tipo jeringa FUSION 200, también se ubica en el primer nivel al lado izquierdo del generador de alto voltaje Spellman (*ver Figura N° 4-2*) y el usuario tiene acceso a este equipo por medio de una compuerta de madera. Se puede ver el detalle del ensamble de todo el sistema en el Anexo H, donde se presentan todos los planos de despiece y ensamble de la máquina.

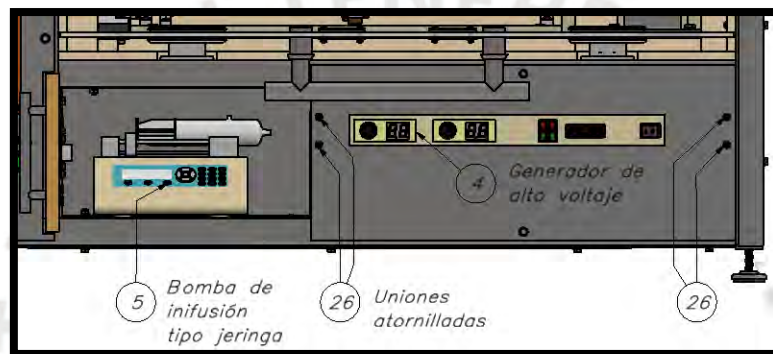


Figura N° 4-2: Generador de alto voltaje y omba de infusión tipo jeringa.  
Fuente: Elaboración propia.

En el segundo nivel se ubican el subsistema de recolección y el subsistema de posicionamiento en base a una máquina CNC casera. Este nivel está protegido del exterior por una compuerta de cristal templado translúcido, tal como ve en la *Figura N° 4-3*.

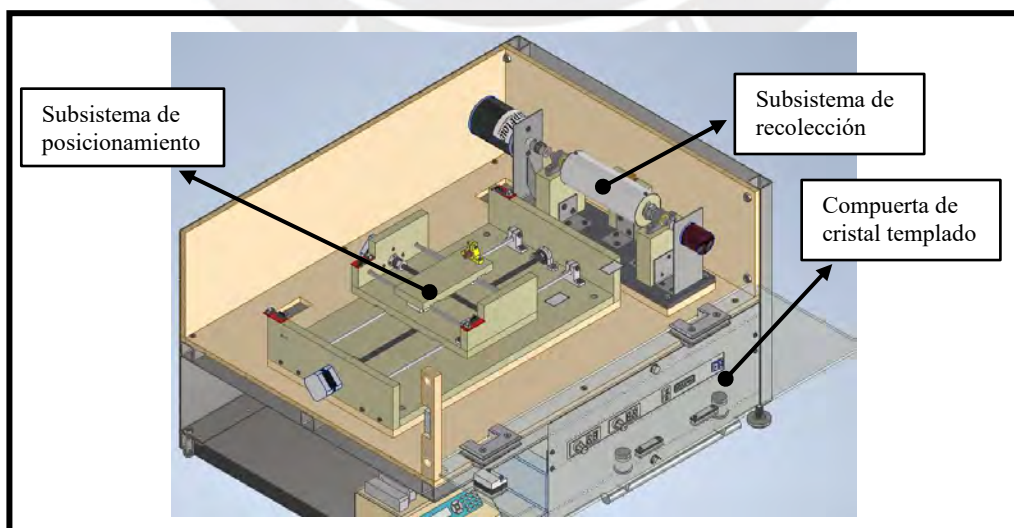


Figura N° 4-3: Subsistemas del segundo nivel  
Fuente: Elaboración propia

La conexión entre la bomba de infusión tipo jeringa y el subsistema de posicionamiento se va dar por medio de una manguera de silicona, la cual va transportar la solución biopolimérica desde la jeringa acoplada a la bomba de infusión hasta la aguja eyectora del subsistema de posicionamiento.

Por otro lado, la conexión entre el generador de alto voltaje con el subsistema de posicionamiento y recolección, se va dar a través de un cable blindado de alto voltaje con terminal de tipo cocodrilo y un cable AWG 12 con terminal de tipo lengüeta. El detalle de las conexiones se va presentar en el capítulo 9.

La máquina también cuenta con un subsistema de interacción con el usuario conformado por dispositivos de interfaz y dispositivos de control y procesamiento de información.

En el caso de los dispositivos de interfaz, como módulos display de 7 segmentos, botoneras, interruptores de palanca, pilotos led y un botón de emergencia, se cuenta con una tapa metálica sobre la cual se adosan estos dispositivos, conformando de esta manera el panel de control de toda la máquina (*ver Figura N° 4-4*).



Figura N° 4-4: Panel de control del Subsistema de Interacción con el Usuario  
Fuente: Elaboración propia

Los dispositivos de control y procesamiento de información, tales como el Arduino Mega 2560, el Arduino Uno, el driver BT6560 para motores a paso, el módulo relé de 4 canales y el módulo

BTS 7960, se ubican detrás del panel de control en dos niveles, como se muestra en la *Figura N° 4-5*.

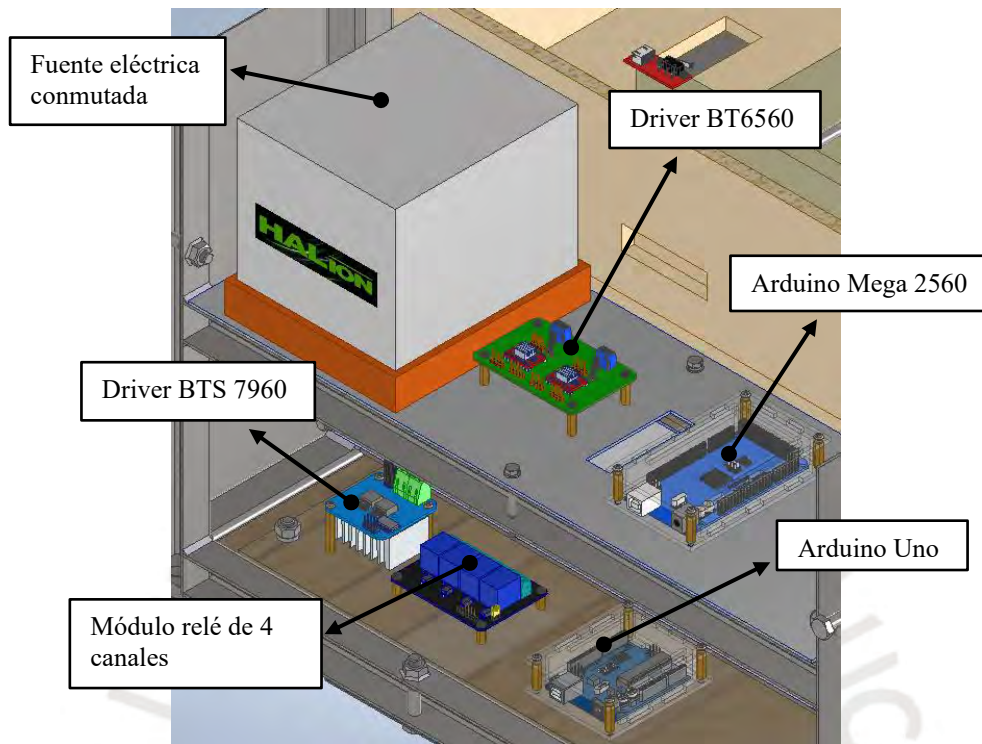


Figura N° 4-5: Dispositivos de control y procesamiento de información ubicados en el primer y segundo nivel del compartimiento lateral.  
Fuente: Elaboración propia

Finalmente, para la conversión de la corriente alterna en corriente continua se cuenta con una fuente eléctrica conmutada, la cual se ubica en el nivel superior del compartimiento lateral sobre una caja impresa en 3D que le permite unirse a la placa base lateral interior por medio 4 uniones atornilladas (*ver Figura N° 4-5*).

## CAPÍTULO 5

### SUBSISTEMA DE RECOLECCIÓN

En este capítulo, se presenta una descripción a detalle del diseño y funcionamiento del subsistema de recolección, asimismo, el desarrollo de la parte mecánica, electrónica y de control de este sistema.

#### 5.1. DESCRIPCIÓN DEL SUBSISTEMA

El subsistema de recolección como se ve en la *Figura N° 5-1*, se compone de un cilindro colector rotatorio, un eje escalonado, un motor, un encoder y una estructura soporte.

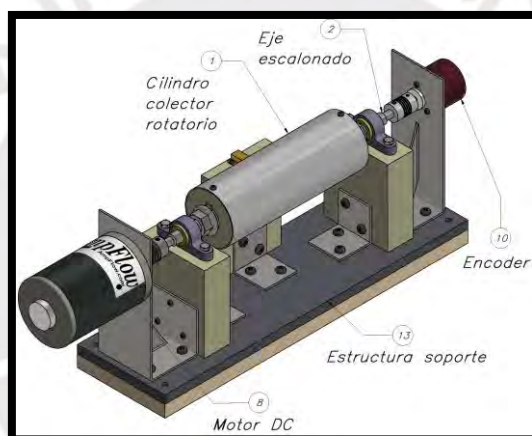


Figura N° 5-1: Subsistema de recolección.  
Fuente: Elaboración propia.

El cilindro colector tiene un eje escalonado que lo atraviesa y se muestra en la *Figura N° 5-2*. Su longitud es de 300 mm y tiene tres secciones circulares diferentes. La sección central del eje tiene un diámetro de 25.4 mm y una longitud de 170 mm, la siguiente sección transversal a cada lado de la parte central tiene un diámetro de 11.835 mm y una longitud de 48 mm; por último, los extremos del eje tienen un diámetro de 7.938 mm, siendo la longitud del lado izquierdo de 24 mm y la longitud del lado derecho de 20 mm.

Por otro lado, para la transmisión del movimiento del eje al cilindro colector se cuentan con un par de canales chaveteros de 20 mm de profundidad a cada extremo de la parte central del eje los cuales tienen un área transversal rectangular con un ancho de 8 mm y una altura de 4 mm.

Por último, cabe mencionar que este eje cuenta con un par de secciones roscadas M14 de 15 mm de profundidad, ubicadas en la sección transversal de diámetro de 11.835 mm y sirven para el ingreso de una tuerca hexagonal con brida que permite fijar el cilindro colector a la parte central de este eje.

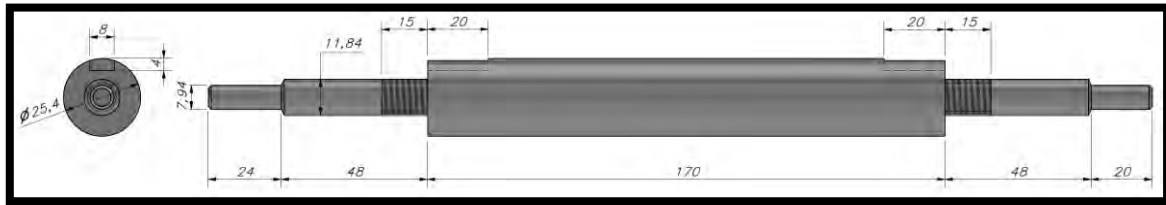
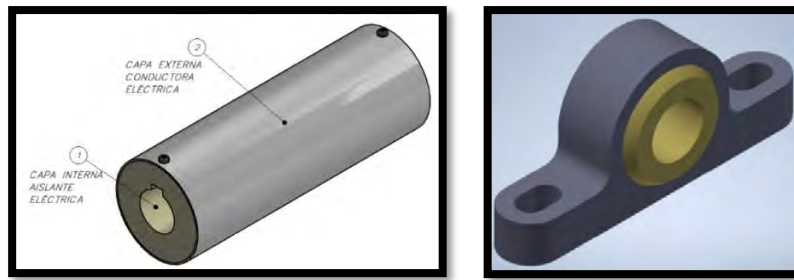


Figura N° 5-2: Eje escalonado.  
Fuente: Elaboración propia

Sobre el eje escalonado descrito anteriormente, descansa el cilindro colector rotatorio como se ve en la *Figura N° 5-3*. Este cilindro está conformado por dos capas: una interna de un material aislante y una externa de un material conductor eléctrico. Ambas capas tienen una longitud de 170 mm y están unidas por 4 tornillos de cabeza redonda ubicados a cada extremo, por la parte superior y la parte inferior. Además, entre la capa interna y la capa externa hay un ajuste de apriete que va impedir que una capa se mueva independientemente de la otra. Como ya se comentó antes, un par de canales chaveteros van a permitir la transmisión del movimiento giratorio al cilindro colector por lo cual a cada extremo del agujero interior de 25.4 mm que tiene la capa interna aislante se han mecanizado tales canales, los cuales tienen una sección transversal rectangular de ancho de 8 mm y una altura de 3 mm. Tanto el eje escalonado como el cilindro colector van a ser soportados por un par de chumaceras de piso dieléctricas (ver *Figura N° 5-3*) seleccionadas en base a los requerimientos que muestra la *Figura N° 5-3*. De esta forma, se logra que el eje gire libremente sin permitir el paso de la corriente eléctrica a todo el sistema de recolección. Las chumaceras tienen un agujero de 12 mm de diámetro para el ingreso del extremo del eje con sección transversal de 11.835 mm.





a)

b)

Figura N° 5-3: a) Cilindro colector rotatorio – b) Chumacera de material termoplástico  
Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, la estructura soporte mostrada en la *Figura N° 5-1*, está constituida en la parte inferior por una plancha de polietileno de alta densidad de 15 mm de espesor con una sección transversal rectangular de 110 mm de ancho y 380 de largo. Sobre esta plancha de polietileno se ubica una plancha metálica de 10 mm de espesor que tiene la misma sección transversal rectangular (ver *Figura N° 5-4*).

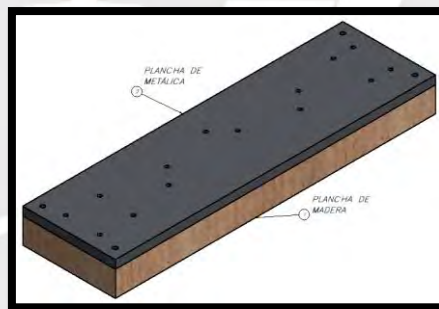


Figura N° 5-4: Plancha base de madera - Plancha base metálica.  
Fuente: Elaboración propia.

Encima del par de planchas apiladas (ver *Figura N° 5-4*) se ubican 3 bloques de polipropileno como se ve en la *Figura N° 5-5*, los cuales van a ser fijados al par de planchas por medio de escuadras de unión en ángulo. El par de bloques que están frente a frente van a soportar a las chumaceras de piso antes descritas y el bloque faltante ubicado al centro va soportar y fijar la caja que contiene al conductor eléctrico de carbón que sirve para conectar a tierra la capa externa del cilindro colector rotatorio.

Además de estos bloques de poliamida se cuenta con un par de apoyos metálicos en ángulo a cada extremo como se ve en la *Figura N° 5-5*. El apoyo en ángulo del lado izquierdo soporta y fija al motor DC del sistema de recolección y además se une a uno de los bloques antes

descritos para su mejor estabilidad sobre la plancha metálica. Por otro lado, el apoyo en ángulo del lado derecho sirve para soportar y fijar un encoder rotatorio que va permitir establecer un sistema de control de lazo cerrado PI (proporcional integrador), para la velocidad de rotación del cilindro colector.

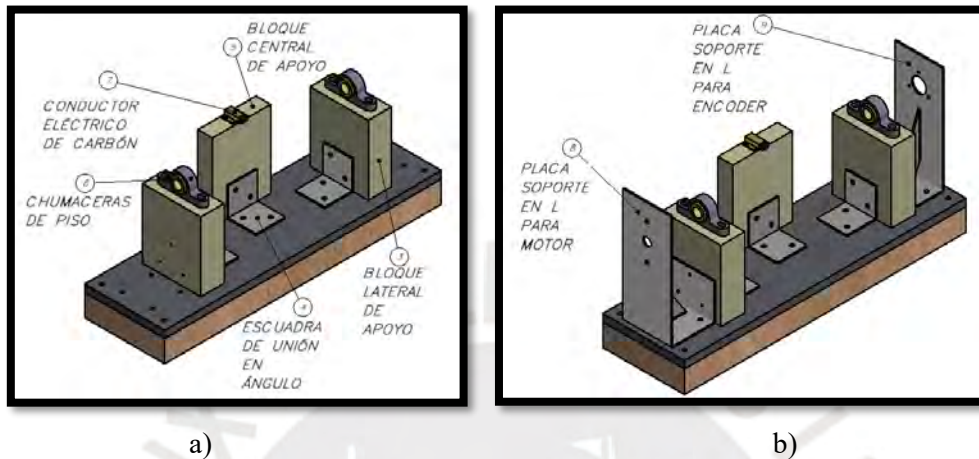


Figura N° 5-5: a) Elementos de soporte y fijación para chumacera de piso y conductor eléctrico de carbón.  
b) Elementos de soporte y fijación para motor DC y encoder rotatorio.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, para la transmisión del movimiento giratorio del motor al eje escalonado se ha usado un acople de fuelle de acero inoxidable y para la transmisión del eje al encoder rotatorio se ha usado acople flexible de aluminio. Los dos elementos mecánicos de transmisión que se muestran en la *Figura N° 5-6*, se han seleccionado en base al cálculo del torque requerido por el sistema, el cual se detalla en el punto 4.2. Diseño Mecánico.

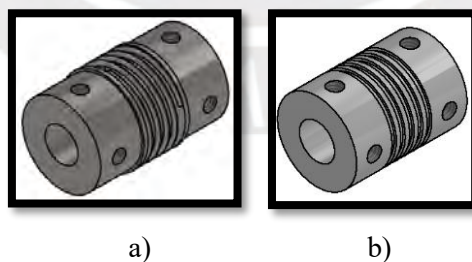


Figura N° 5-6: a) Acople de fuelle - b) Acople flexible

## 5.2. DISEÑO MECÁNICO

El diseño mecánico del subsistema de recolección presenta el modelo 3D del diseño antes descrito y los cálculos matemáticos de resistencia de materiales que modelan el efecto de las fuerzas, sobre los elementos que conforman este sistema; lo cual va a servir para hallar los

requerimientos técnicos que guiaran la selección de materiales, componentes mecánicos y actuadores.

## CÁLCULO DEL TORQUE REQUERIDO

En base al modelo 3D del cilindro colector y a sus componentes mecánicos antes descritos, se muestra la *Figura N° 5-7*. Igualmente, las ecuaciones usadas para calcular el torque que requiere el motor, de tal forma, que se pueda alcanzar una velocidad de rotación de 3500 RPM en 5 segundos desde el reposo.

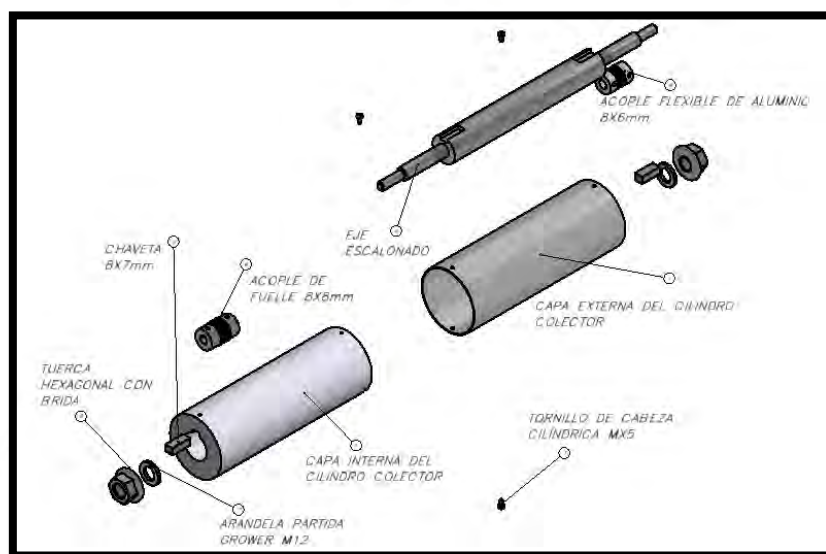


Figura N° 5-7: Vista de explosión del cilindro colector y los componentes mecánicos que permiten la transmisión del movimiento giratorio.  
Fuente: Elaboración propia.

Siguiendo las recomendaciones del libro de Mecánica de materiales (Hibbeler, 2011), la ecuación usada para el cálculo del torque requerido es:

$$Torque = I_{del\ eje\ de\ giro} * \alpha \quad (1)$$

$$T_{motor} = (360.94 * 10^{-6} Kg * m^2) * 62.828 \frac{rad}{seg^2} = 0.026 N * m \quad (1)$$

Algunos datos han sido tomados del programa Inventor, siendo estos valores aproximados. Por lo cual, en este trabajo se va considerar un factor de seguridad de 3, que permita compensar las aproximaciones realizadas y además asegurar una correcta transmisión del torque necesario

para hacer girar a más de 3500 RPM, a cilindros colectores como los mostrados en la *Figura N° 5-7*, y a otros con formas y tamaños diferentes tales como se muestran en la *Tabla N° 2-1*.

$$T_{motor} = 0.026 * 3 = 0.078 \text{ N} * \text{m} \quad (1)$$

Se concluye entonces, que el motor de corriente continua que requiere el sistema de recolección debe tener un torque igual o mayor a 0.078 N\*m. Un mayor detalle de los cálculos que engloba la ecuación (1), se muestran en el Anexo D.

### CÁLCULO DE LA RIGIDEZ DIÉLECTRICA DEL CILINDRO COLECTOR

El material aislante de la capa interna del cilindro colector, como se ve en la *Figura N° 5-8*, debe tener una rigidez dieléctrica suficiente para evitar que el alto voltaje generado por la fuente Spellman se disperse pudiendo generar accidentes o un incorrecto funcionamiento de los actuadores y dispositivos electrónicos de toda la máquina.



Figura N° 5-8: Capa interna del cilindro colector rotatorio.  
Fuente: Elaboración propia.

$$Rigidez\ dieléctrica_{min} \geq \frac{Voltaje\ máximo\ suministrado}{Espesor\ de\ la\ capa\ interna\ aislante} \quad (2)$$

$$Rigidez\ dieléctrica_{min} \geq \frac{60\ kV}{18.0825\ mm} = 3.32\ \frac{kV}{mm} \quad (2)$$

Se concluye entonces, que el material de la capa interna aislante del cilindro colector debe tener una rigidez dieléctrica de por lo menos  $3.32\ \frac{kV}{mm}$ .

### VERIFICACIÓN POR APLASTAMIENTO DEL CILINDRO COLECTOR

El material aislante de la capa interna del cilindro colector debe poder resistir la presión ejercida por la chaveta sin deformarse. Es por eso que se realizará una verificación por aplastamiento de la capa interna aislante, mediante la ecuación (3).

El torque máximo que se va alcanzar en la transmisión va ser de 78 N\*mm como se indica en la ecuación (1); sin embargo, este torque se dividirá a la mitad ya que son 2 chavetas las que transmiten el movimiento.

$$p = \frac{Mt}{\frac{d}{2}x(h-t_1)xL} \leq p_{adm-mínima} \quad (3)$$

Reemplazando valores en la ecuación (3):

$$p = \frac{39 \text{ N}\cdot\text{m}}{\frac{25.4 \text{ mm}}{2}x(7-4)x20} \leq p_{adm-mínima} \quad (3)$$

$$p_{adm-mínima} \geq 0.0512 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (3)$$

Se concluye entonces que con la finalidad de asegurar que no ocurran deformaciones en la capa interior del cilindro colector al momento que se alcance una velocidad de rotación de 3500 RPM, la presión admisible del material debe ser mayor o igual  $0.0512 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ .

### CÁLCULO DEL DIÁMETRO DEL EJE ESCALONADO

El diseño del eje escalonado se va determinar luego de identificar las fuerzas que actúan sobre él, mediante el diagrama de cuerpo libre, como se muestra en la *Figura N° 5-9*.

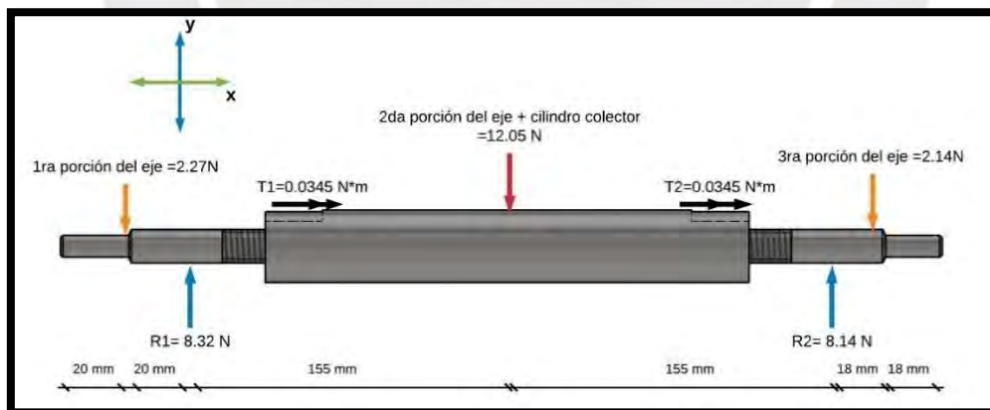


Figura N° 5-9: DCL del eje escalonado.  
Fuente: Elaboración propia.

Se va realizar un cálculo tentativo del diámetro del eje en base al método recomendado para el diseño de un árbol de transmisión cuando se conoce la potencia y la velocidad de giro (Kurt F., 2018), mediante la ecuación (4).

$$\tau_t \leq \tau_{t \text{ admisible}} = \frac{\tau_{t \text{ PUL}}}{FS_{\text{recomendado}}} \quad (4)$$

Reemplazando los valores en la ecuación (9):

$$\frac{16 \cdot 78 \text{ N} \cdot \text{mm}}{\pi \cdot d^3} \leq \frac{170 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{12} \quad (4)$$

$$d \geq 3.04 \text{ mm} \quad (4)$$

Se concluye entonces que el diámetro tentativo del eje escalonado debe ser mayor a 3.04 mm.

### VERIFICACIÓN DINÁMICA DEL SUBSISTEMA DE RECOLECCIÓN

Se va realizar una verificación dinámica del sistema la cual consiste en evaluar el factor  $\lambda$ , definido en la ecuación (5). Los valores recomendados de  $\lambda$  deben ser menores a 0.8 según recomendaciones dadas en el libro *Elementos de Máquinas I* (Kurt F., 2018), con el fin de que la velocidad de giro no esté cerca de la velocidad de giro propia del sistema.

$$\lambda = \frac{\omega}{\omega_n} = \frac{\text{velocidad angular}}{\text{frecuencia natural del sistema}} \leq 0.8 \quad (5)$$

$$\lambda = \frac{\omega}{\omega_n} = \frac{366.5 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}}{605.97 \frac{1}{\text{seg}}} = 0.6 \quad (5)$$

Como el valor de  $\lambda$  es de 0.6 se concluye que no se producirá el fenómeno de resonancia al alcanzar una velocidad de giro de 3500 RPM. El detalle del desarrollo de las ecuaciones (4) y (5), se presenta en el Anexo D.

### SELECCIÓN DE MATERIALES

El material en que se van fabricar la capa interna del cilindro colector y los bloques de apoyo es el polipropileno por sus buenas propiedades dieléctricas, resistencia frente a ácidos y alcalinos fuertes y su estabilidad dimensional frente a la humedad. Mientras que el material de la capa externa del cilindro colector tiene que ser un conductor eléctrico como el aluminio para que se pueda formar el arco eléctrico entre la aguja eyectora y el cilindro colector.

Finalmente, el material del eje escalonado es acero SAE 1020 por la facilidad para su mecanizado. El detalle de las características de cada material mencionado se muestra en la *Tabla N° 5-1* y la comparación de cada material con otros en el Anexo E.

Tabla N° 5-1: Principales características de los materiales seleccionados - Subsistema de recolección

<b>CAPA INTERNA DEL CILINDRO COLECTOR</b>		<b>BARRA DE POLIPROPILENO</b>
		Fabricante DURAFLON
		Rigidez dieléctrica de 80 kV/mm.
		Resistencia a la compresión de 34.5 MPa.
		No absorbe humedad y conserva su estabilidad dimensional.
		Resistencia aceptable frente a ácidos de un ph=3
		Resistencia aceptable frente a alcalinos de un ph=14
Precio = S/. 80.50		
<b>CAPA EXTERNA DEL CILINDRO COLECTOR</b>		<b>ALUMINIO</b>
		Fabricante LUMETAL
		Resistividad eléctrica de $0.03 \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$
		Temperatura de fusión de 45 °C
		Peso de 0.76 Kg/m
Precio = S/. 14.45		
<b>ESTRUCTURA SOPORTE DEL SUBSISTEMA DE RECOLECCIÓN</b>		<b>PLANCHA DE POLIPROPILENO</b>
		Fabricante DURAFLON
		Rigidez dieléctrica de 80 kV/mm
		Dureza Shore de 76
		No absorbe humedad y conserva su estabilidad dimensional.
		Resistencia aceptable frente a ácidos de un ph=3
		Resistencia aceptable frente a alcalinos de un ph=14
		Dimensiones de 1000 x 1000 x 15 mm
		Densidad de $0.9 \text{ g/cm}^3$
Precio = S/. 550.00		
<b>EJE ESCALONADO</b>		<b>BARRA DE ACERO SAE 1020</b>
		Fabricante FERMET
		Esfuerzo de fluencia de 245.3 MPa.
		Dureza Brinell de 110
		Diámetro de 25.4 mm / Longitud de 300 mm
		Peso 3.98 Kg/m
Precio S/. 8.50		

Fuente: Elaboración propia

## SELECCIÓN DE COMPONENTES MECÁNICOS

Los componentes mecánicos seleccionados de acuerdo al cálculo del torque requerido por el subsistema de recolección son un motor DC AMPFLOW y un acople de fuelle, mediante los cuales se va poder transmitir un torque de 0.38 N\*m a 3800 RPM. Asimismo, se ha seleccionado una chumacera de material termoplástico IGLIDE de tal forma que se evite el paso de cargas residuales de corriente eléctrica al resto de componentes del subsistema.

En la *Tabla N° 5-2*, se presentan los componentes mencionados y las principales características por los que fueron escogidos.

Tabla N° 5-2: Principales características de los componentes mecánicos – Subsistema de recolección

<b>CHUMACERA DE PISO</b>		<b>SOPORTE DE PIE IGUS- KSTM12</b>	
		Fabricante IGUS	
		Material termoplástico IGLIDE L280 (dieléctrico)	
		Peso 0.45 Kg	
		Diámetro del agujero de 12 mm	
Precio = S/. 25.93			
<b>ACOPLE DE TRANSMISIÓN</b>		<b>ACOPLAMIENTO DE FUELLE –ACERO INOXIDABLE</b>	
		Fabricante HUCO	
		Torque nominal de transmisión de 7.5 N*m a 3500 RPM	
		Desalineamiento angular de 2.5°	
		Transmisión del movimiento mediante tornillo de fijación	
		Diámetro interno de 8 mm	
Precio = S/. 167.34			
<b>MOTOR ELÉCTRICO DC</b>		<b>MOTOR DC M27-150</b>	
		Fabricante AMPFLOW	
		Tensión de alimentación de 24 VDC	
		3800 RPM (Revoluciones por minuto)	
		Torque de 0.38 N*m	
		Potencia de 150 W	
		Diámetro del eje de 8 mm	
Precio S/. 955.24			

Fuente: Elaboración propia

### 5.3. DISEÑO ELECTRÓNICO

El diseño electrónico del sistema de recolección comprende la selección de los componentes electrónicos más adecuados que permitan un control preciso de las revoluciones por minuto del cilindro colector y una correcta puesta a tierra de la capa externa del cilindro colector.

#### SELECCIÓN DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS

La producción de micro o nano fibras por efecto del arco eléctrico entre la aguja eyectora y el cilindro colector, se hace posible si se conecta a tierra la capa exterior conductora del cilindro colector. Por lo cual, se ha seleccionado como conector una escobilla de carbón, que también es usada comúnmente en motores de corriente directa.

El control de la velocidad y sentido de giro del cilindro colector va requerir de un controlador BTS 7960 para motores DC ya que puede soportar corrientes superiores a 4 A. Asimismo, va ser necesario de un encoder rotatorio con una resolución superior a 360 PPR.



En la *Tabla N° 5-3*, se presentan las principales características que deben tener los componentes mencionados. De igual forma un mayor detalle de la selección de los mismos, frente a otras opciones se presenta en el Anexo E.

Tabla N° 5-3: Ficha técnica de los componentes electrónicos – Subsistema de recolección

<b>CONECTOR PARA PUESTA A TIERRA</b>		<b>ESCOBILLA DE CARBÓN</b>
		Fabricante CARBÓN Y GRAFITO S.A.C.
		3500 RPM (Revoluciones por minuto)
		Número de terminales 1
		Precio = S/. 25.00
<b>CONTROLADOR PARA MOTOR DC</b>		<b>DRIVER BTS 7960</b>
		Fabricante HANDSON TECHNOLOGY
		Voltaje de alimentación de 6-27 VDC
		Corriente máxima de operación continua 40 A
		Largo 50 mm / Ancho 50 mm / Profundidad 43 mm
		Pines de control PWM – DIR
		Permite controlar 1 motor DC
		Precio = S/. 40.00
<b>ENCODER</b>		<b>CODIFICADOR ROTATORIO</b>
		Fabricante SPARKFUN ELECTRONICS
		Resolución de 1024 PPR
		Voltaje de alimentación 5-12 VDC
		Diámetro del eje 6 mm
		Velocidad máxima de rotación 6000 RPM
		Incluye un acople flexible de aluminio
Precio = S/. 106.48		

Fuente: Elaboración propia

## SELECCIÓN DE MICROCONTROLADOR




El subsistema de recolección va usar un microcontrolador dedicado solo para el desarrollo del control de velocidad PI (proporcional-integrador) del cilindro colector y para la recepción de señales de control desde otro microcontrolador, convirtiéndose así en un controlador esclavo. Es por eso que el microcontrolador seleccionado debe tener por lo menos 6 pines digitales, de los cuales 2 de ellos deben poder generar señales de salida de tipo PWM (modulación por ancho de pulso) y otros dos deben poder usar la comunicación UART para la recepción y transmisión de datos.

Otro de los requerimientos es que el microcontrolador seleccionado tenga una frecuencia de ejecución para cada instrucción mayor que la frecuencia con la que el encoder manda una señal

cada vez que reconoce un pulso cuando el motor gira a 3500 RPM. De acuerdo a los cálculos realizados en el Anexo D, la frecuencia del encoder a 3500 RPM es de 51200 Hz.

A continuación, en la *Tabla N° 5-4*, se muestran 3 posibles opciones de microcontrolador los cuales deben tener una frecuencia de ejecución por instrucción mayor que la del encoder antes mencionado.

Tabla N° 5-4: Opciones de microcontrolador para el Subsistema de Recolección.

MICRO-CONTROLADOR	Requerimientos	ARDUINO ATMEGA2560	TIVA LAUNCHPAD	ARDUINO UNO
				
Fabricante	<b>Ninguno</b>	ARDUINO LLC	TEXAS INSTRUMENTS	ARDUINO LLC
Voltaje de alimentación	<b>5 VDC</b>	5 VDC	4.75 - 5.25 VDC	5 VDC
Pines digitales E/S	<b>6 (2 PWM)</b>	54 (14 PWM)	43 (16 PWM)	14 (6 PWM)
Pines analógicos	<b>Ninguno</b>	16	12	6
Pines para comunicación serial UART	<b>2</b>	4	8	2
Memoria FLASH	<b>32 KB</b>	256 KB	256 KB	32 KB
SRAM	<b>2 KB</b>	8 KB	32 KB	2 KB
EEPROM	<b>1 KB</b>	4 KB	2 KB	1 KB
Frecuencia de ejecución para cada instrucción	<b>&gt; 51200 Hz</b>	16 MHz	80 MHz	16 MHz
Lenguaje de programación	<b>Lenguaje C</b>	Lenguaje C	Lenguaje C	Lenguaje C
Precio	<b>&lt; S/ 70</b>	S/70	S/80	S/. 40.00

Fuente: Elaboración propia.

Los 3 microcontroladores mostrados son adecuados para los requerimientos expuestos anteriormente, pero se va seleccionar como microcontrolador del sistema al ARDUINO UNO, ya que es la opción más económica y además su programación en la plataforma ARDUINO es más sencilla.

#### 5.4. DISEÑO DE CONTROL

El diseño de control del subsistema de recolección tiene por objetivo establecer un método eficaz que permita regular las revoluciones por minuto del cilindro colector. Asimismo,

determinar la lógica, de recolección y entrega de información haciendo uso de los sensores y actuadores.

#### 5.4.1. ESTRATEGÍA DE CONTROL

El sistema de recolección tiene como principal variable a monitorear y controlar **las revoluciones por minuto (RPM) del cilindro colector**. Ya que este parámetro de producción es prioritario se ha diseñado un sistema de control de velocidad de lazo cerrado proporcional-integral que se presenta en la *Figura N° 5-10*.

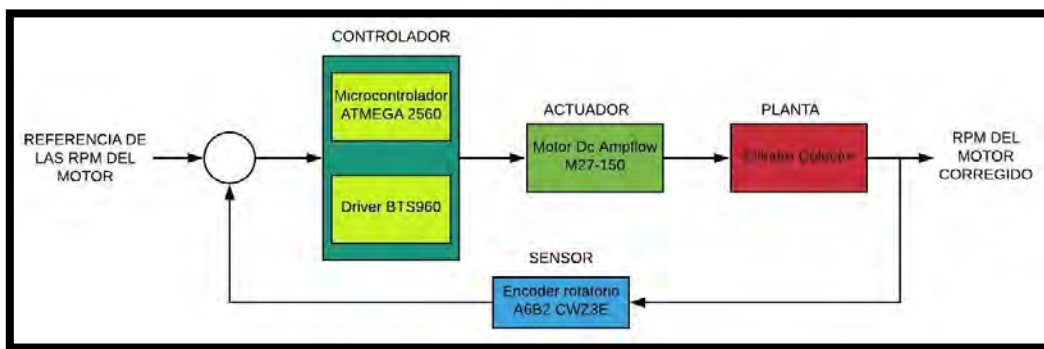


Figura N° 5-10: Lazo de control de las RPM del motor DC.  
Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO 6

### SUBSISTEMA DE POSICIONAMIENTO

En este capítulo, se presenta una descripción a detalle del diseño y funcionamiento del subsistema de posicionamiento, asimismo, el desarrollo de la parte mecánica, electrónica y de control de este sistema.

#### 6.1. DESCRIPCION DEL SUBSISTEMA

El Subsistema de Posicionamiento como se muestra en la *Figura N° 6-1*, está conformado por una estructura soporte elaborada en base a placas de polipropileno de espesor de 15 mm unidas por tornillos. Esta estructura tiene dos niveles, el primero para el desplazamiento en la dirección X y el segundo para la dirección Y; además cada nivel cuenta con un par de placas laterales que van a servir como topes de desplazamiento.

El primer nivel de la estructura se compone de una plancha base de 286 mm de ancho y 490 mm de largo, la cual a cada lado tiene acoplada una placa lateral de 286 mm de largo y 85 mm de altura como se observa en la *Figura N° 6-1*.

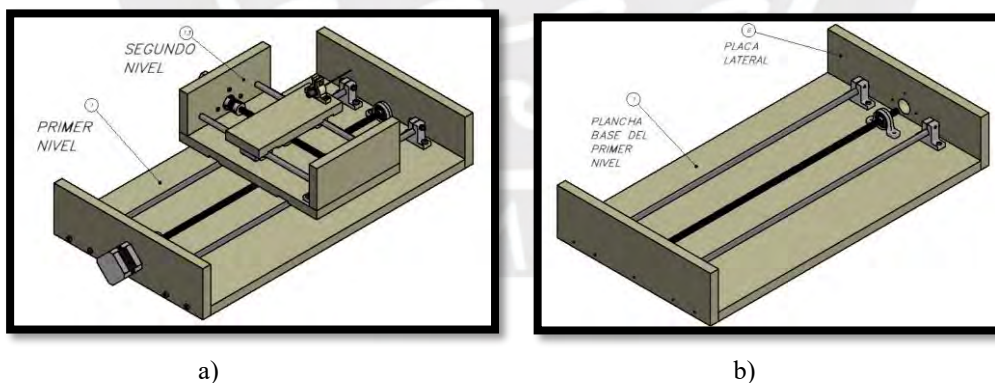


Figura N° 6-1: a) Subsistema de Posicionamiento – b) Estructura soporte del primer nivel  
Fuente: Elaboración propia.

Sobre la plancha base se han posicionado y fijado 4 soportes para ejes de 8 mm de diámetro como se ve en la *Figura N° 6-2*, un par para cada eje acerado que sostiene y permite el desplazamiento de un rodamiento lineal guía. De igual forma, 2 chumaceras de piso se han anclado a la plancha base para soportar y permitir el libre giro de un tornillo trapezoidal de 8

mm de diámetro que tiene acoplado una tuerca trapezoidal de latón con camisa. Tanto los rodamientos lineales guía como la camisa de la tuerca trapezoidal soportan la plancha base del segundo nivel del sistema como se muestra en la *Figura N° 6-2* y *Figura N° 6-3*.

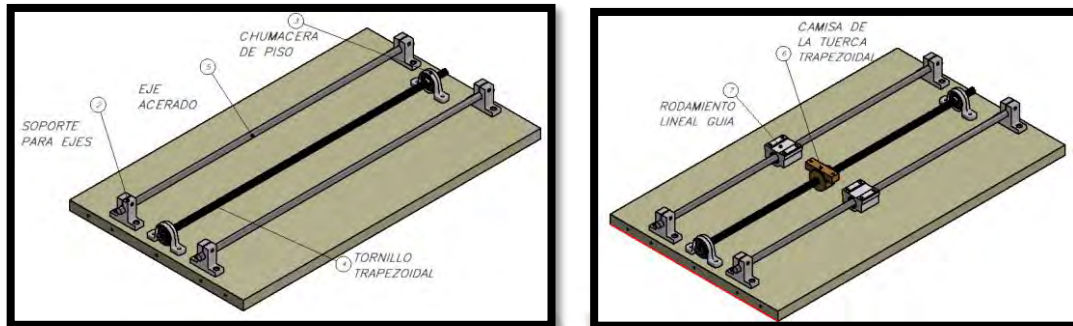


Figura N° 6-2: Elementos mecánicos de soporte y fijación y para el movimiento lineal en el primer nivel  
Fuente: Elaboración propia.

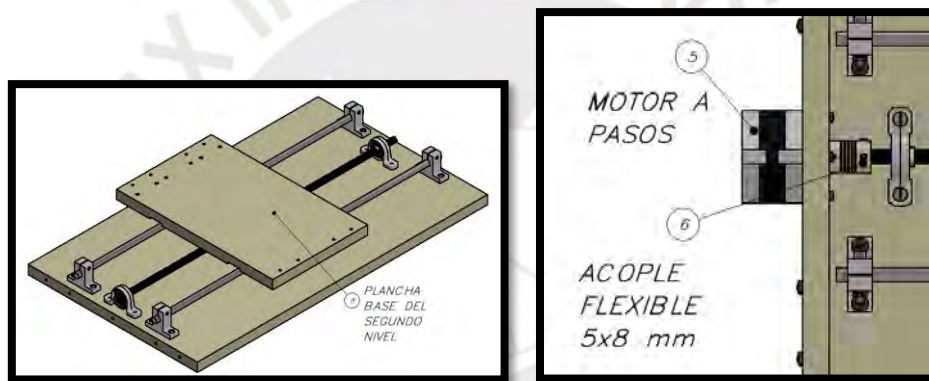


Figura N° 6-3: a) Plancha base del segundo nivel - b) Conexión del motor a pasos con el acople flexible  
Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la transmisión del movimiento rotacional al tornillo, se ha anclado un motor a pasos en una de las placas laterales y se transmite el movimiento del eje del motor al tornillo gracias a un acople flexible de aluminio, el cual tiene una entrada de 8 mm de diámetro a un extremo y al otro una entrada de 5 mm de diámetro como se presenta en la *Figura N° 6-3*.

El segundo nivel de la estructura soporte como se muestra en la *Figura N° 6-4*, está conformada por una plancha base de 264 mm de largo y 160 mm de ancho, la cual tiene acoplada un par de placas laterales de 160 mm de largo y 70 mm de altura. Tanto este nivel como el primero tienen una configuración muy similar, con la diferencia de que en este nivel solo hay 2 soportes para ejes y una chumacera de piso. Esto debido a que se ha usado una de las placas laterales como

apoyo para sostener el otro extremo del par de ejes acerados. Asimismo, el tornillo trapezoidal del segundo nivel que permite el desplazamiento en Y, se soporta en un extremo por una chumacera de piso y el otro extremo va directamente unido al acople flexible que permite la transmisión del movimiento.

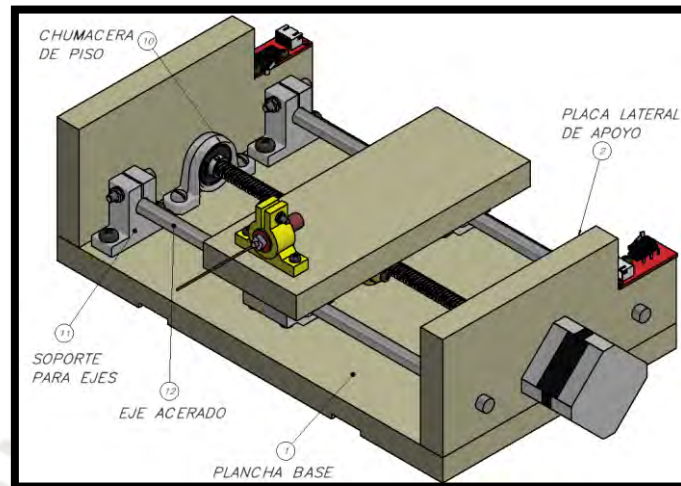


Figura N° 6-4: Segundo nivel del Subsistema de Posicionamiento y componentes mecánicos  
Fuente: Elaboración propia

Al igual que en el primer nivel, un par de rodamientos lineales guía y la camisa de una tuerca trapezoidal soportan una plancha base 160 mm de largo y 64 mm de ancho, sobre la cual se va fijar un soporte impreso en 3D que se muestra en la *Figura N° 6-5*, el cual tiene un agujero de 12 mm de diámetro para el ingreso del conector de la aguja eyectora con cierre Luer Lock. Además, el soporte cuenta con un agujero transversal en la parte superior similar al que tiene el soporte para ejes antes mencionado, que permite el ingreso de un tornillo por un lado y por el otro extremo el ingreso de una tuerca para ajustar la presión sobre el conector.

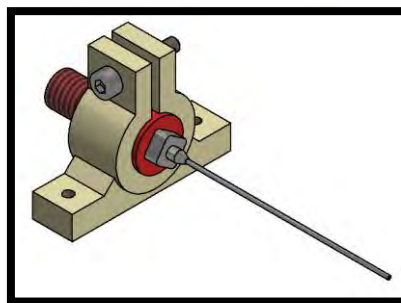


Figura N° 6-5: Soporte impreso en 3D para conector Luer Lock con aguja eyectora  
Fuente: Elaboración propia.

## 6.2. DISEÑO MECÁNICO

El diseño mecánico del subsistema de posicionamiento muestra los cálculos de resistencia de materiales, que representan el efecto de las fuerzas que soportan los elementos de este sistema. Dando como resultado, los requerimientos técnicos para la selección de materiales, componentes mecánicos y electrónicos.

### CÁLCULO DEL TORQUE REQUERIDO

El mayor torque que el motor debe ejercer, se da para el desplazamiento en la dirección X ya que se mueve tanto el primer como el segundo nivel de la estructura. Como primer paso para calcular el torque requerido del motor se muestra el diagrama de cuerpo libre del tornillo trapezoidal en la *Figura N° 6-6*.

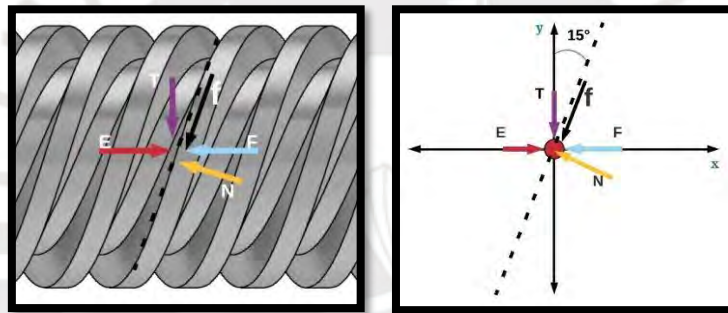


Figura N° 6-6: Diagrama de cuerpo libre del tornillo trapezoidal.  
Fuente: Elaboración propia.

E: Fuerza de empuje sobre el tornillo

F: Fuerza de fricción entre los rodamientos lineales y los ejes acerados

T: Peso de la tuerca con camisa

f: Fuerza de fricción entre el tornillo trapezoidal y la tuerca

N: Fuerza normal entre el tornillo trapezoidal y la tuerca

A partir de las ecuaciones de sumatoria de fuerzas en los ejes y el valor de 0.17 del coeficiente de rozamiento entre el acero y el latón, obtenido de la tabla 8-5 del libro de Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley (Budynas & K., 2012); se han logrado obtener los valores de la fuerza normal y la fuerza de empuje, como se muestra en las ecuaciones (6) y (7).

$$N = 3.28 \text{ Newtons} \quad (6)$$

$$E = 3.31 \text{ Newtons} \quad (7)$$

Siguiendo los cálculos sugeridos (Budynas & K., 2012) para tornillos de potencia, se va a calcular el torque necesario para que el tornillo trapezoidal mueva la carga del primer y segundo nivel, mediante la ecuación (8) mostrada a continuación.

$$Tr = \frac{F \cdot d_m}{2} * \left[ \frac{l + \pi \cdot f \cdot d_m}{\pi \cdot d_m - f \cdot l} \right] \quad (8)$$

Donde:

$F$ : Suma de todas las fuerzas unitarias axiales que actúan sobre el área normal de la rosca

$d_m$ : Diámetro de paso

$f$ : Coeficiente de rozamiento entre el tornillo y la tuerca

$l$ : Avance lineal por vuelta

El valor de la fuerza  $F$  es el mismo que el de la fuerza de empuje sobre el tornillo calculada en la ecuación (7). Entonces, reemplazando todos los valores en la ecuación (8), se obtiene el valor del torque requerido por el motor.

$$Tr = \frac{0.0033 \text{ kN} * 4 \text{ mm}}{2} * \left[ \frac{8 \text{ mm} + \pi * 0.17 * 4 \text{ mm}}{\pi * 4 \text{ mm} - 0.17 * 8 \text{ mm}} \right] = 0.006 \text{ N} * \text{m} \quad (8)$$

Se concluye que el torque del motor debe ser igual o mayor a 0.006 N\*m. El detalle de los cálculos realizados en la ecuación (6), (7) y (8) se presenta en el Anexo D.

## PLANCHA SOPORTE

Se necesita fijar el soporte impreso en 3D y evitar que se pueda disipar el alto voltaje inducido en la aguja a todo el sistema de posicionamiento por lo cual se requiere una plancha de que tenga propiedades dieléctricas. El máximo valor de voltaje que se va suministrar a la aguja es de 60 kV y el espesor de la plancha es de 15 mm; entonces la rigidez dieléctrica que se requiere que tenga el material de la plancha se determina en la ecuación (2).

$$\text{Rigidez dieléctrica} \geq \frac{60 \text{ kV}}{15 \text{ mm}} = 4 \frac{\text{kV}}{\text{mm}} \quad (2)$$



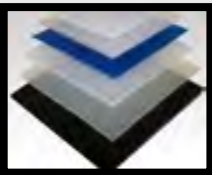



Se concluye de la ecuación antes mostrada que el material de la plancha soporte requiere tener una rigidez dieléctrica mayor o igual a 4 kV por mm de espesor.

## SELECCIÓN DE MATERIALES Y ACCESORIOS

El material seleccionado tanto para la camisa de la tuerca trapezoidal como para el bloque soporte de la aguja es el ABS (acrilonitrilo butadieno estireno), mientras que para la estructura soporte es el polipropileno. Ambos materiales tienen buenas propiedades dieléctricas, son resistentes frente a ácidos y alcalinos fuertes, además de no perder su estabilidad dimensional en contacto con líquidos como los que se procesaran al interior de la cabina.

Además, se ha seleccionado como aguja eyectora una aguja de acero inoxidable orientada para uso con bombas de inyección la cual se va conectar a un adaptador dieléctrico con cierre luer lock. Las características de los componentes mencionados se muestran en la Tabla N° 6-1.

Tabla N° 6-1: Principales características de los materiales - Subsistema de posicionamiento

<b>ESTRUCTURA DEL SUBSISTEMA DE POSICIONAMIENTO</b>		<b>POLIPROPILENO</b>	
		Fabricante DURAFLOX	
		Rigidez dieléctrica de 80 kV/mm	
		Dureza Shore de 76	
		Conserva su estabilidad dimensional frente al agua	
		Resistencia aceptable frente a ácidos de un ph=3	
		Resistencia aceptable frente a alcalinos de un ph=14	
		Dimensiones de 1000 x 1000 x 15 mm	
		Precio = S/. 550.00	
<b>CAMISA DE LA TUERCA TRAPEZOIDAL Y BLOQUE SOPORTE DEL CONJUNTO AGUJA-CONECTOR</b>		<b>ABS (Acrilnitrilo Butadieno Estireno)</b>	
		Fabricante SMARTFIL ABS	
		Conserva su estabilidad dimensional a 90 °C	
		Resistente frente a ácidos y alcalinos	
		Dureza Rockwell de 107	
		Rigidez dieléctrica de 23 kV/mm	
		Precio = S/. 80.42	
<b>AGUJA EYECTORA</b>		<b>AGUJA DE CUBO METÁLICO</b>	
		Fabricante HAMILTON	
		Material del cubo – Acero inoxidable	
		Cierre de tipo Luer Lock roscado	
		Estilo de punta tipo 3 para bombas de inyección	
		Calibre G20	
Precio = S/. 111.70			
<b>CONECTOR AGUJA EYECTORA</b>		<b>CONJUNTO DE ADAPTADOR LUER LOCK</b>	
		Fabricante IDEX HEALTH AND SCIENCE	
		Material PEEK (Poliéter éter cetona)	
		Tipo de cierre Luer Lock roscado	
		Tipo de conector hembra/macho	
Precio = S/. 98.10			

Fuente: Elaboración propia

## SELECCIÓN DE COMPONENTES MECÁNICOS

Se ha seleccionado un tornillo trapezoidal de 4 hilos, un acople flexible de aluminio, un soporte vertical para ejes, un rodamiento lineal, una chumacera de piso y un motor a pasos NEMA 17, con la finalidad de garantizar un avance lineal rápido y preciso en la dirección X e Y. Esto como consecuencia de eliminar la fricción en el movimiento a través de los rodamientos lineales y trabajar con un motor a pasos que emite 200 pulsos por revolución de tal forma que la imprecisión en el avance sea de solo 0.04 mm. Los componentes mencionados se muestran en la *Tabla N° 6-2* y los detalles de su selección en el Anexo E.

Tabla N° 6-2: Principales características de los componentes mecánicos - Subsistema de posicionamiento

<b>TORNILLO TRAPEZOIDAL CON TUERCA</b>	<b>TORNILLO TRAPEZOIDAL CON TUERCA DE AVANCE</b>	
		Distribuidor ELECTRÓNICA HI-FI S.A.C.
		Diámetro 8 mm / Longitud 700 mm
		Número de hilos 4 / Paso del tornillo 8 mm
		Precio = S/. 27.80
<b>ACOPLE FLEXIBLE</b>	<b>ACOPLE FLEXIBLE</b>	
		Distribuidor ELECTRÓNICA HI-FI S.A.C.
		Diámetro interior de 5 mm y 8 mm
		Material - Aluminio
		Largo 25 mm
Precio = S/. 4.80		
<b>CHUMACERA DE PISO</b>	<b>SOPORTE CON RODAMIENTO KP08</b>	
		Distribuidor ELECTRÓNICA HI-FI S.A.C.
		Diámetro interior 8 mm / Altura del eje 15 mm
		Carga vertical máxima de 8 Kg
		Precio S/. 7.50
<b>SOPORTE PARA EJES</b>	<b>SOPORTE VERTICAL PARA EJE SK8</b>	
		Distribuidor ELECTRÓNICA HI-FI S.A.C.
		Diámetro interior 8 mm
		Altura del eje 8 mm
		Tornillo de sujeción del eje M4
Precio = S/. 4.80		
<b>RODAMIENTO LINEAL</b>	<b>RODAMIENTO LINEAL SC8UU</b>	
		Distribuidor ELECTRÓNICA HI-FI S.A.C.
		Diámetro interior 8 mm
		Tornillo de sujeción M4 (04 unid.)
		Carga dinámica que puede soportar 260 N
Precio = S/. 8.00		
<b>MOTOR A PASOS</b>	<b>MOTOR NEMA 17</b>	
		Distribuidor UNITUTORES
		Voltaje de alimentación 12 VDC
		Motor bipolar / corriente de fase 0.4 A
		200 pasos por revolución
		Torque 0.26 N*m
		Diámetro del eje 5 mm
Precio = S/. 65.00		

Fuente: Elaboración propia

### 6.3. DISEÑO ELECTRÓNICO




El diseño electrónico del subsistema de posicionamiento busca seleccionar los dispositivos electrónicos más adecuados que permitan controlar con precisión el avance lineal en la dirección X y en la dirección Y. Asimismo, impedir la posibilidad de algún choque entre los elementos que conforman la estructura.

#### SELECCIÓN DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS

Se ha seleccionado al driver TB6560 ya que permite un control del giro del eje del motor mediante el modo de pasos completos y ofrece una protección contra el sobrecalentamiento y sobrecorriente lo que lo hace ideal para su uso continuo, como se requiere en el caso de la presente máquina.

Por otro lado, se ha seleccionado un sensor de fin de carrera mecánico y un sensor laser de distancia, los cuales van a permitir que la medición de la posición de la aguja eyectora sea precisa y no afectada por condiciones del entorno como calor, humedad y ruido. Todos los componentes mencionados y sus principales características se muestran en la *Tabla N° 6-3*.

Tabla N° 6-3: Principales características de los componentes electrónicos – Subsistema de posicionamiento

<b>DRIVER PARA MOTOR A PASOS</b>	<b>DRIVER TB6560</b>	
		Distribuidor UNITUTORES
		Voltaje de alimentación – operación 12 – 24 VDC
		Voltaje de salida para motor a pasos 10 – 35 VDC
		Corriente de salida de hasta 3 Amperios
		Resolución de pasos – Pasos completos
		Precio = S/. 42.00
<b>SENSOR DE FIN DE CARRERA</b>	<b>SENSOR DE FINAL DE CARRERA MECÁNICO</b>	
		Distribuidor NAYLAMP MECHATRONICS
		Voltaje de alimentación 5 VDC
		Salida de voltaje del pin de control 0 – 5 VDC
		Precio = S/. 6.00
<b>SENSOR DE DISTANCIA</b>	<b>SENSOR DE DISTANCIA LÁSER VL53LOX</b>	
		Distribuidor ELECTRÓNICA HI-FI S.A.C.
		Voltaje de operación 3- 5 VDC
		Rango de medición 50 – 1200 mm
		Señal de salida – Analógica
		Error de medición aceptable 10 mm
		La medición no es afectada por factores del medio ambiente
		Precio = S/. 39.00

Fuente: Elaboración propia

## MICROCONTROLADOR

El microcontrolador de este sistema necesita tener por lo menos 2 pines analógicos y 8 pines digitales de los cuales 2 deben poder generar una señal PWM (modulación por ancho de pulso). Asimismo, debe poder alimentarse con 5 VDC y utilizar el lenguaje C para su programación. La selección del microcontrolador, en base a los requerimientos antes mencionados va darse en el capítulo 7, en específico en el punto 7.1.1. Selección de componentes electrónicos.

### 6.4. DISEÑO DE CONTROL

El diseño de control del subsistema de posicionamiento tiene por objetivo establecer un método eficaz que permita verificar y corregir la posición de la aguja eyectora conforme avance en la dirección X e Y.

#### 6.4.1. ESTRATEGÍA DE CONTROL

El subsistema de posicionamiento tiene como principales variables a monitorear y controlar: **la posición de la aguja eyectora en la dirección X y en la dirección Y**. Dada la importancia de este parámetro se ha determinado diseñar un control de posición de lazo cerrado como el que se muestra en la *Figura N° 6-7*.

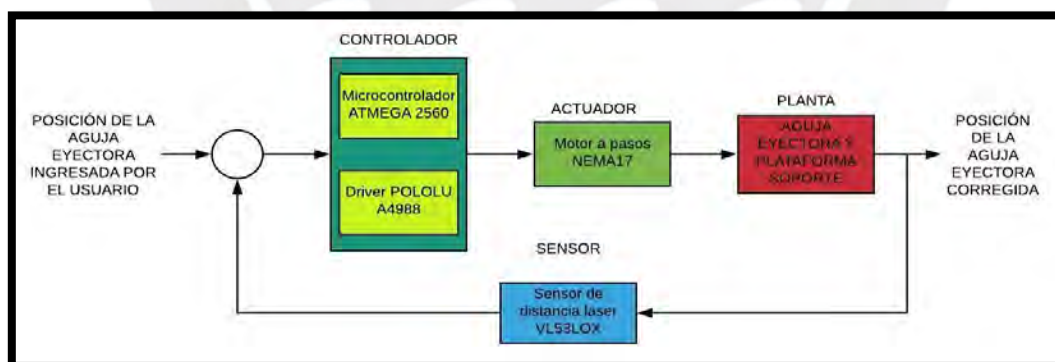


Figura N° 6-7: Primer lazo de control de la posición en Y de la aguja eyectora.  
Fuente: Elaboración propia.

El funcionamiento del sistema de control (ver *Figura N° 6-7*) para regular la posición de la aguja eyectora en la dirección X se ejecuta de la siguiente manera:

Primero, el microcontrolador hace un escalamiento de la posición ingresada por el usuario, hallando su equivalente en número de pasos que el motor debe dar, luego esta señal es enviada al driver y finalmente al motor.

Una vez que el motor termina de completar el número de pasos calculados por el microcontrolador, se verifica que la aguja eyectora este en la posición correcta a través del sensor láser de distancia el cuál registra la posición exacta y se la envía al microcontrolador para poder corregirla.

Además, del sensor láser de distancia se va contar con un par de sensores de contacto mecánico de fin de carrera, los cuales van a proporcionar al subsistema otro control de posición de lazo cerrado como se muestra en la *Figura N° 6-9*; el cual va enviar una señal al microcontrolador cuando se halla alcanzado el límite del movimiento en la dirección X. La señal de este sensor tiene una prioridad mayor al del sensor láser de distancia ya que al activarse, el valor de la posición de la aguja eyectora que tiene el microcontrolador va tomar el valor de 300 o 0, dejando de lado la medición realizada por el sensor láser.

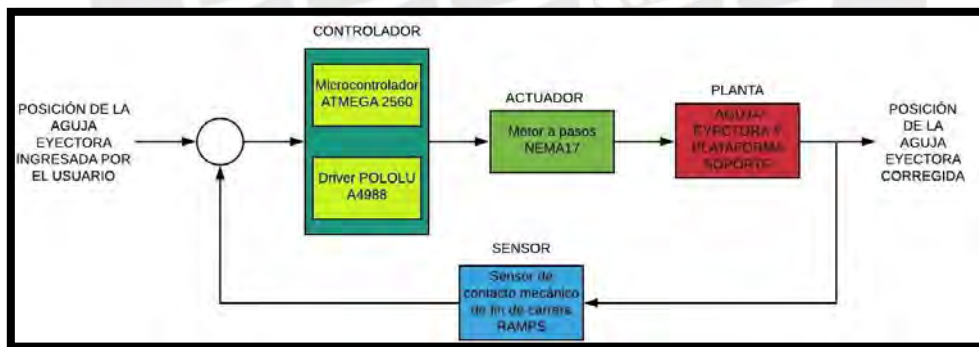


Figura N° 6-8: Segundo lazo de control de la posición en X de la aguja eyectora.  
Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, para el control del movimiento de la aguja eyectora en la dirección Y se ha establecido un control de posición de lazo cerrado parecido al descrito anteriormente (ver *Figura N° 6-9*), con la diferencia de que no sólo se corrige la posición registrada, sino que también se invierte el sentido de giro del eje. Es decir, al igual que se tienen un par de sensores

de fin de carrera en la dirección X que sirven como topes del rango de movimiento en esa dirección, también se va contar con un par de ellos para el movimiento en la dirección Y.

El funcionamiento del lazo de control para regular la posición en la dirección Y, empieza cuando el microcontrolador envía una señal continua al driver y por consiguiente al motor, lo cual produce un giro indefinido en el eje del motor en un sentido determinado ya sea horario o anti horario.

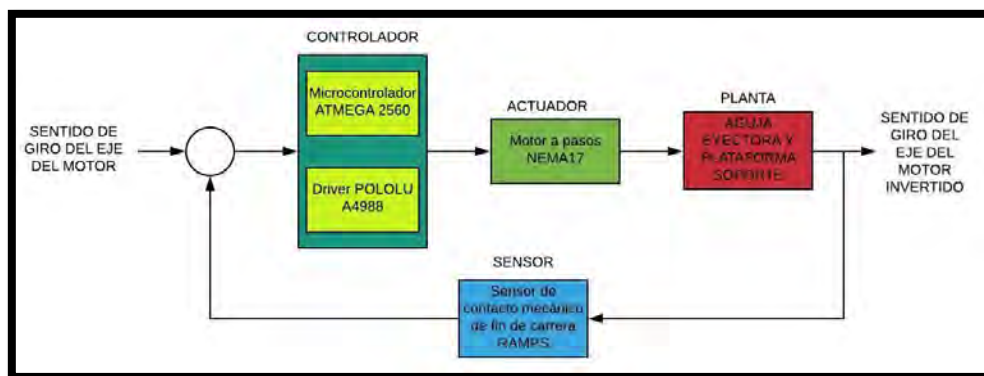


Figura N° 6-9: Lazo de control de la posición en Y de la aguja eyectora.  
Fuente: Elaboración propia.

La señal antes mencionada solo se detendrá cuando la plancha móvil que soporta a la aguja eyectora toque una de las placas laterales del sistema de posicionamiento, lo cual producirá que un sensor de contacto de fin de carrera se active y el microcontrolador enviará una señal al driver para invertir el sentido de giro del eje del motor, con lo cual la plancha móvil empezará a realizar un movimiento en el sentido opuesto. El proceso se repite cuando la plancha móvil toca la placa lateral opuesta ya que al hacer esto, se activará otro sensor de contacto mecánico de fin de carrera.

## CAPÍTULO 7

### SUBSISTEMA DE INTERACCIÓN CON EL USUARIO

En este capítulo, se presenta una descripción a detalle del diseño y funcionamiento del subsistema de interacción con el usuario, asimismo, el desarrollo de la parte electrónica y de control de este subsistema.

#### 7.1. DESCRIPCIÓN DEL SUBSISTEMA

El subsistema de interacción con el usuario o panel de control como se muestra en la *Figura N° 7-1* ; está conformado por un conjunto de componentes electrónicos de entrada y salida de datos que permiten controlar el flujo de energía eléctrica en la máquina de manera parcial o total, así como controlar la iluminación interna de la cabina, el funcionamiento del subsistema de recolección y del subsistema de posicionamiento.

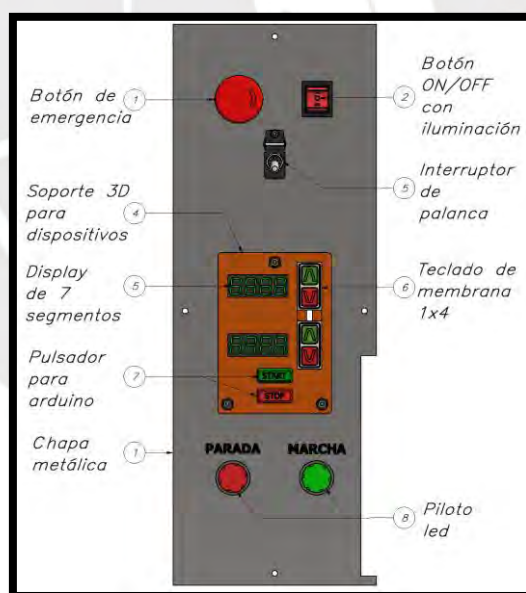


Figura N° 7-1: Dispositivos electrónicos del panel de control  
Fuente: Elaboración propia.

El control total del flujo de energía eléctrica en la máquina se da mediante el uso de un botón hongo de emergencia (*ver Figura N° 7-1*), que se presionará en caso de algún accidente o contingencia y permitirá abrir el circuito eléctrico general de toda la máquina. Si no se presiona este botón, el flujo eléctrico se divide en 6 ramas y para el control parcial en cada una de ellas

se cuenta con un interruptor o relé. Se puede ver un mejor detalle de las conexiones eléctricas en el capítulo 8; asimismo, se pueden consultar los planos eléctricos en el Anexo H.

El botón ON/OFF con iluminación sirve para el control parcial del flujo eléctrico en la primera rama y al cambiar a estado ON permite energizar a todos los sensores y actuadores de la máquina incluyendo a los dispositivos que se fijan al soporte 3D (ver Figura N° 7-1).

Con respecto al control parcial de la segunda y tercera rama del circuito eléctrico, depende del estado de un sensor magnético (ver Figura N° 7-2), el cual envía una señal al microcontrolador principal de toda la máquina cuando detecta que la compuerta superior está abierta. Al recibir esta señal el microcontrolador a través de relés des energiza la fuente de alto voltaje Spellman, la bomba de infusión tipo jeringa, el motor DC del subsistema de recolección y los motores a paso del subsistema de posicionamiento. Si se cierra la compuerta superior cada uno de los subsistemas y componentes electrónicos antes mencionados vuelven a tener fluido eléctrico.

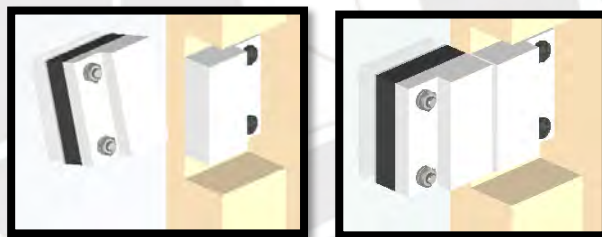


Figura N° 7-2: Sensor de cierre magnético para puertas.  
Fuente: Elaboración propia.

Con respecto al sistema de iluminación, este es indiferente al estado del sensor magnético de la compuerta superior; pero si obedece al estado de encendido o apagado de un interruptor tipo palanca como se muestra en la Figura N° 7-3.



Figura N° 7-3: Interruptor de palanca.  
Fuente: Elaboración propia.



Por otra parte, el control del funcionamiento del subsistema de recolección y el subsistema de posicionamiento se realiza por medio de un teclado de membrana 1x4 y dos módulos display de 7 segmentos, como se muestra en la *Figura N° 7-1*. Además, se cuenta con un botón de inicio para poner en marcha a los actuadores de ambos subsistemas. El teclado de membrana antes mencionado sirve para elevar o disminuir las revoluciones del cilindro colector desde 0 a 3500 RPM y para elevar o disminuir la distancia entre la aguja eyectora y el cilindro colector desde 0 a 300 milímetros. Los parámetros de producción de posición y revoluciones son mostrados en cada uno de los módulos display de 7 segmentos. Cuando se presiona el botón de inicio, los actuadores de ambos subsistemas se detienen y esperan 5 segundos para volver a activarse de acuerdo a los nuevos parámetros de producción ingresados por el usuario.

Finalmente, el subsistema de interacción con el usuario cuenta con dos pilotos led, uno rojo y uno verde (*ver Figura N° 7-1*), que se encienden dependiendo del estado del proceso de electro hilado. Si el proceso aún no se ha iniciado solo se encenderá el piloto led rojo, pero si el proceso ya está en marcha se encenderá solo el piloto led verde.

## **7.2. DISEÑO ELECTRÓNICO**

El diseño electrónico del subsistema de interacción con el usuario busca seleccionar los componentes electrónicos más adecuados, que permitan ingresar y visualizar los parámetros de producción como la posición de la aguja eyectora y las revoluciones del cilindro colector. Además, deben hacer posible el control del flujo de energía eléctrica en toda la máquina de forma parcial y total, en caso de algún accidente o para retirar de forma segura las fibras que se produzcan al terminar el proceso de electro hilado.

Por último, en esta sección se busca seleccionar el microcontrolador más apropiado que pueda recibir, codificar y almacenar la información recogida por todos los sensores; así como poder generar respuestas en base a esta información y enviar señales de control a los actuadores de los diferentes subsistemas.

## SELECCIÓN DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS

Los interruptores, visualizadores digitales y botones seleccionados son los modelos más comerciales, con la menor cantidad de pines de control y seguros en su uso para evitar errores en el ingreso y visualización de los parámetros de producción. En la *Tabla N° 7-1*, se muestra el detalle de las características para cada uno de ellos.

Tabla N° 7-1: Características técnicas de componentes electrónicos - Subsistema de interacción con el usuario




<b>INTERRUPTOR ON/OFF LUMINOSO</b>	<b>SWITCH ROCKER CON LUZ</b>	
		Distribuidor ELECTRÓNICA HI-FI S.A.C.
		Capacidad de corte de voltaje 220 VAC
		Corriente máxima 16 A
		Número de pines 6
Precio = S/. 2.20		
<b>BOTÓN DE EMERGENCIA</b>	<b>PARADA DE EMERGENCIA CON RETENCIÓN</b>	
		Distribuidor CHINT
		Grado de protección IP40
		1 contacto NA y 1 contacto NC
		Capacidad de corte de voltaje de 250 VAC
Precio = S/. 12.00		
<b>INTERRUPTOR MAGNÉTICO</b>	<b>SENSOR MÁGNETICO MC-38</b>	
		Distribuidor ZACETREX TECHNOLOGY S.A.C.
		Voltaje de operación de hasta 100 VDC
		Distancia máxima de activación 15 mm
Precio = S/. 5.00		
<b>INTERRUPTOR DE PALANCA</b>	<b>SWITCH CODILLO DPST</b>	
		Distribuidor ELECTRÓNICA HI-FI S.A.C.
		Capacidad de corte de voltaje de 250 VAC
		Corriente máxima 10 A
		Número de pines 4
Precio = S/. 2.50		
<b>MÓDULO DISPLAY DE 7 SEGMENTOS</b>	<b>MÓDULO DISPLAY TM1637</b>	
		Distribuidor ELECTRÓNICA HI-FI S.A.C.
		Voltaje de operación 5 VDC
		Número de pines de control 2
		Número de dígitos mostrados 4
Precio = S/. 7.00		
<b>TECLADO MATRICIAL</b>	<b>TECLADO MATRICIAL DE MEMBRANA 1x4</b>	
		Distribuidor ELECTRÓNICA AFG
		Voltaje de operación 5 VDC
		Número de pines de control 3
		Número de teclas 4 / Cada tecla de 20x20 mm
		Ciclos de operación 1 000 000
Precio = S/. 2.50		
<b>BOTÓN START / BOTÓN STOP</b>	<b>PULSADOR PARA ARDUINO</b>	
		Distribuidor ELECTRÓNICA HI-FI S.A.C.
		Voltaje de operación 5 VDC
		Número de pines de control 1
		Número de teclas 1 / Dimensiones de 20x14 mm
		Ciclos de operación 100 000
Precio = S/. 2.30		

Fuente: Elaboración propia

## MICROCONTROLADOR

El microcontrolador del subsistema de interacción con el usuario, es el controlador maestro que va conducir la lógica de funcionamiento de toda la máquina. Es decir, tanto el microcontrolador esclavo ARDUINO UNO del subsistema de recolección como los sensores, drivers y actuadores del subsistema de posicionamiento y de interacción con el usuario, van a enviar y recibir señales de este controlador por lo cual se necesita que el dispositivo tenga por lo menos 23 pines digitales, 2 pines analógicos y 2 pines para comunicación serial UART. Finalmente, el microcontrolador seleccionado debe poder alimentarse con 5 VDC y utilizar el lenguaje C para su programación. A continuación, se muestra la *Tabla N° 7-2*, que se ha elaborado para comparar las características técnicas y precios de 3 opciones.

Tabla N° 7-2: Tabla comparativa de características y precios de un microcontrolador

MICRO-CONTROLADOR	Requerimientos	ARDUINO ATMEGA2560	TIVA LAUNCHPAD TM4C123GH6PM	TEENSY 3.6 TNSY-306
				
Fabricante	<b>Ninguno</b>	SMART PROJECTS	TEXAS INSTRUMENTS	PJRC
Voltaje de alimentación	<b>5 VDC</b>	5 VDC	4.75 - 5.25 VDC	3.6-6 VDC
Pines digitales E/S	<b>23 (2 PWM)</b>	54 (14 PWM)	43 (16 PWM)	62 (22PWM)
Pines analógicos	<b>2</b>	16	12	25
Pines para comunicación serial UART	<b>2</b>	4	8	6
Memoria FLASH	<b>256 KB</b>	256 KB	256 KB	1 MB
Velocidad del reloj	<b>Ninguno</b>	16 MHz	80 MHz	180 MHz
Lenguaje de programación	<b>Lenguaje C</b>	Lenguaje C	Lenguaje C	Lenguaje C
Precio	<b>&lt; S/ 80</b>	S/70	S/80	S/200.00

Fuente: Elaboración propia.

De las 3 opciones de microcontroladores mostrados se va seleccionar la placa ARDUINO MEGA 2560, ya que su entorno de programación es el más sencillo de utilizar de los 3, cumple todos los requerimientos técnicos y su costo es el más económico.

### 7.3. DISEÑO DE CONTROL

El diseño de control del subsistema de interacción con el usuario busca definir la secuencia lógica más adecuada para la recepción y entrega de información entre los dispositivos que conforman el panel de control y los sensores, drivers y actuadores de los diferentes subsistemas de la máquina.

#### DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA PRINCIPAL

El programa principal que va regir la lógica de funcionamiento de toda la máquina se describe a través del diagrama de flujo que se muestra en la *Figura N° 7-4*. Todo empieza con el paso del flujo eléctrico a todos los sistemas de la máquina, luego se inicializan todas las variables y en específico las variables globales de posición de la aguja eyectora (POS) y revoluciones del cilindro colector (RPM). A continuación, se activa una señal para encender solo el piloto led rojo, ya que el proceso de electro hilado aún no comienza.

La prioridad del sistema es el estado de la compuerta superior por lo que se va sondear constantemente el estado del sensor de cierre magnético. Si el sensor se activa entonces se va a desenergizar la fuente de alto voltaje Spellman y se van a detener las acciones del subsistema de posicionamiento y recolección, hasta que la compuerta superior sea cerrada de nuevo. Una vez cerrada la compuerta superior, se va volver a suministrar energía eléctrica a la fuente de alto voltaje Spellman y se va esperar a que se presione el botón START para retomar el funcionamiento del subsistema de recolección y posicionamiento; de acuerdo, a los últimos valores ingresados por el usuario en algún momento anterior, los cuales fueron guardados en las variables de posición (POS) y revoluciones (RPM).

Luego de sondear el estado del sensor magnético, la máquina tiene como prioridad revisar el estado del botón START, después del botón STOP, luego de los botones subir y bajar para el subsistema de posicionamiento y finalmente los botones subir y bajar para el subsistema de recolección.

Si se presiona el botón subir del subsistema de posicionamiento la variable POS aumentará su valor en 1 unidad, por el contrario, si se presiona el botón bajar se le restará 1 unidad. Lo mismo sucederá si se presiona el botón subir o bajar del subsistema de recolección, solo que en este caso la variable que irá modificándose será la variable RPM.

Por otro lado, si se presiona el botón inicio, se detendrán tanto el subsistema de recolección como el de posicionamiento durante 5 segundos, después se enviará una señal para encender el piloto led verde y apagar el piloto led rojo, como muestra de que el proceso de electro hilado ha comenzado. Inmediatamente después se ejecutarán al mismo tiempo y de acuerdo al valor de las variables POS y RPM las funciones `Iniciar_Subsistema_Recolección()` e `Iniciar_Subsistema_Posicionamiento()`. En caso de que se haya presionado el botón de inicio sin ingresar ningún valor por medio de los botones subir y bajar antes mencionados se procederá a iniciar el funcionamiento de la máquina con los valores de las variables POS y RPM igual a cero.

Finalmente, cabe resaltar que para lograr que la función `Iniciar_Subsistema_Recolección()` e `Iniciar_Subsistema_Posicionamiento()`, se realicen al mismo tiempo cada una de ellas se va ejecutar en un microcontrolador diferente.

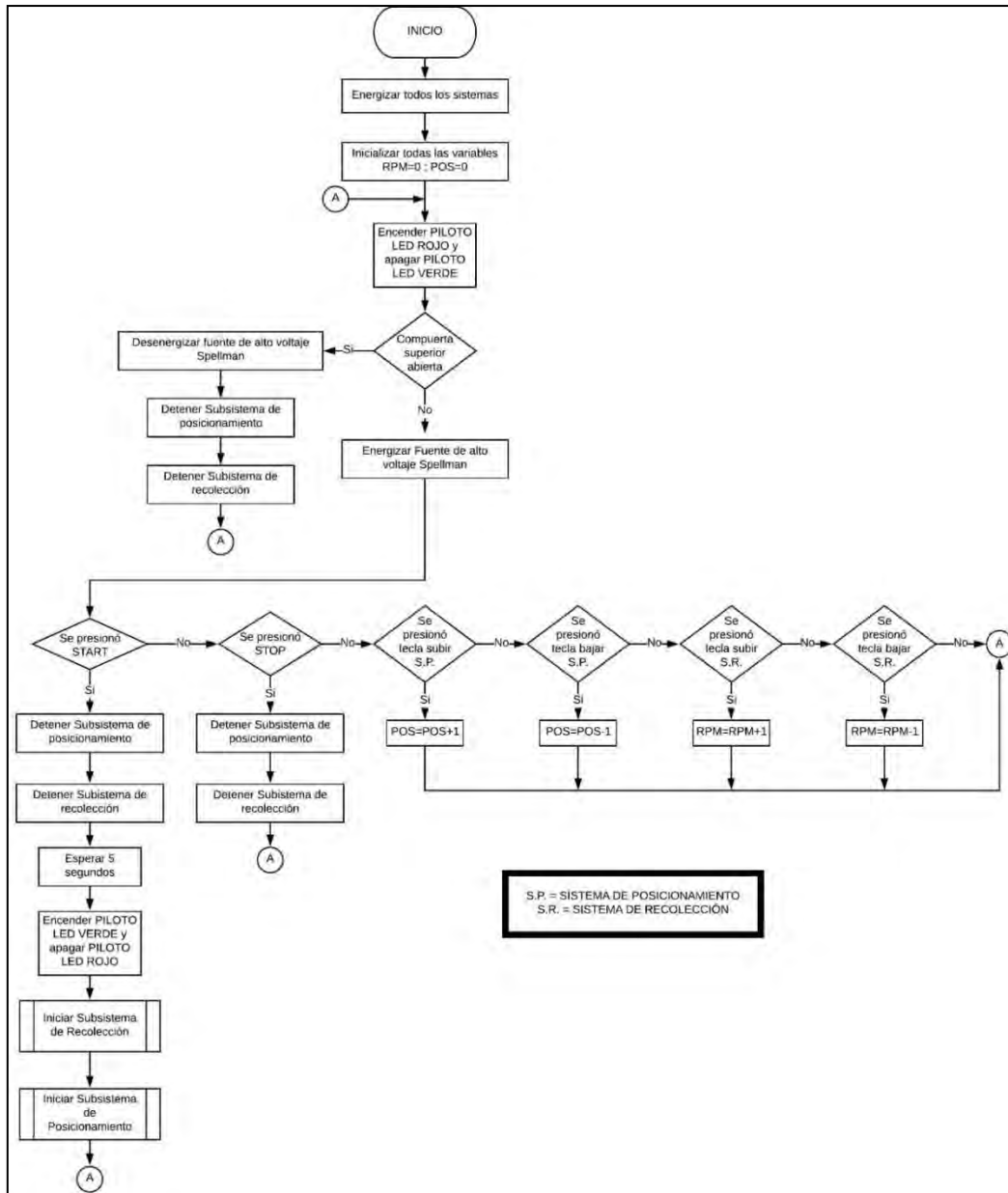


Figura N° 7-4: Diagrama de flujo del programa principal.  
Fuente: Elaboración propia

### **FUNCIÓN: Iniciar\_Subсистема\_Recoleccion ()**

La función *Iniciar\_Subсистема\_Recoleccion ()*, que se describe mediante el diagrama de flujo presentado en la *Figura N° 7-5*, va sondear continuamente si ha llegado algún dato de tipo cadena al buffer de recepción del ARDUINO UNO. Si es que ha llegado algún dato se va almacenar su valor en una variable para luego validar si esta información es útil o no. En caso de que el dato sea un número de 0 a 3500, su valor se va copiar a la variable RPM y se va ejecutar el control de velocidad PI (proporcional-integrador) en base al nuevo valor de la

variable RPM. Por otro lado, si el dato es la palabra START, también se va ejecutar el control de velocidad PI (proporcional-integrador), pero con el valor anterior más reciente de la variable RPM.

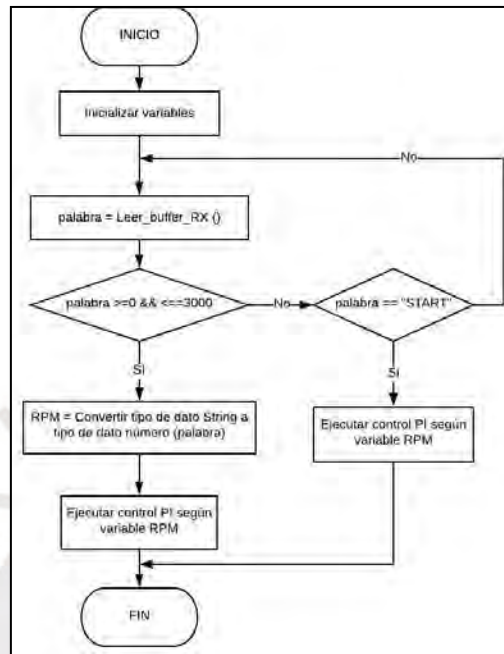


Figura N° 7-5: Diagrama de flujo de la función Iniciar\_Subsistema\_Recolección()  
Fuente: Elaboración propia.

La lógica del funcionamiento del subsistema de recolección también hace uso de funciones de interrupción que se ejecutan de forma automática a pesar de que se esté ejecutando un programa alterno. El detalle de estas funciones se explica en el Anexo F.

### **FUNCIÓN: Iniciar\_Subsistema\_Posicionamiento ()**

La función *Iniciar\_Subsistema\_Posicionamiento ()*, se describe mediante el diagrama de flujo presentado en la *Figura N° 7-6* y es la encargada de controlar el sentido de giro y las revoluciones o pasos ejecutados por dos motores mediante las funciones *MOTOR1\_H ()*, *MOTOR1\_ANTIH ()*, *MOTOR2\_H ()* y *MOTOR2\_ANTIH ()*, las cuales tienen el propósito de desplazar la aguja eyectora de 0 a 300 mm en la dirección X y de 0 a 170 mm en la dirección Y. Además, estas funciones permiten a la aguja realizar un barrido constante en la dirección Y. El movimiento tanto en la dirección X como en la dirección Y, está limitado por 4 sensores de fin de carrera que van a determinar el final del rango de movimiento en cada dirección.

Por otro lado, esta función va sondear continuamente el estado de un sensor de fin de carrera montado en la bomba de infusión, el cual al activarse va determinar la conclusión del proceso de electro hilado y por lo cual se deberá ejecutar la función *Retornar\_Posición\_Segura ()*. Finalmente, luego de ejecutarse la función antes mencionada se reiniciarán a cero los valores de las variables globales POS y RPM. El detalle de las funciones anidadas en la función *Iniciar\_Subsistema\_Posicionamiento()*, se detalla en el Anexo F.

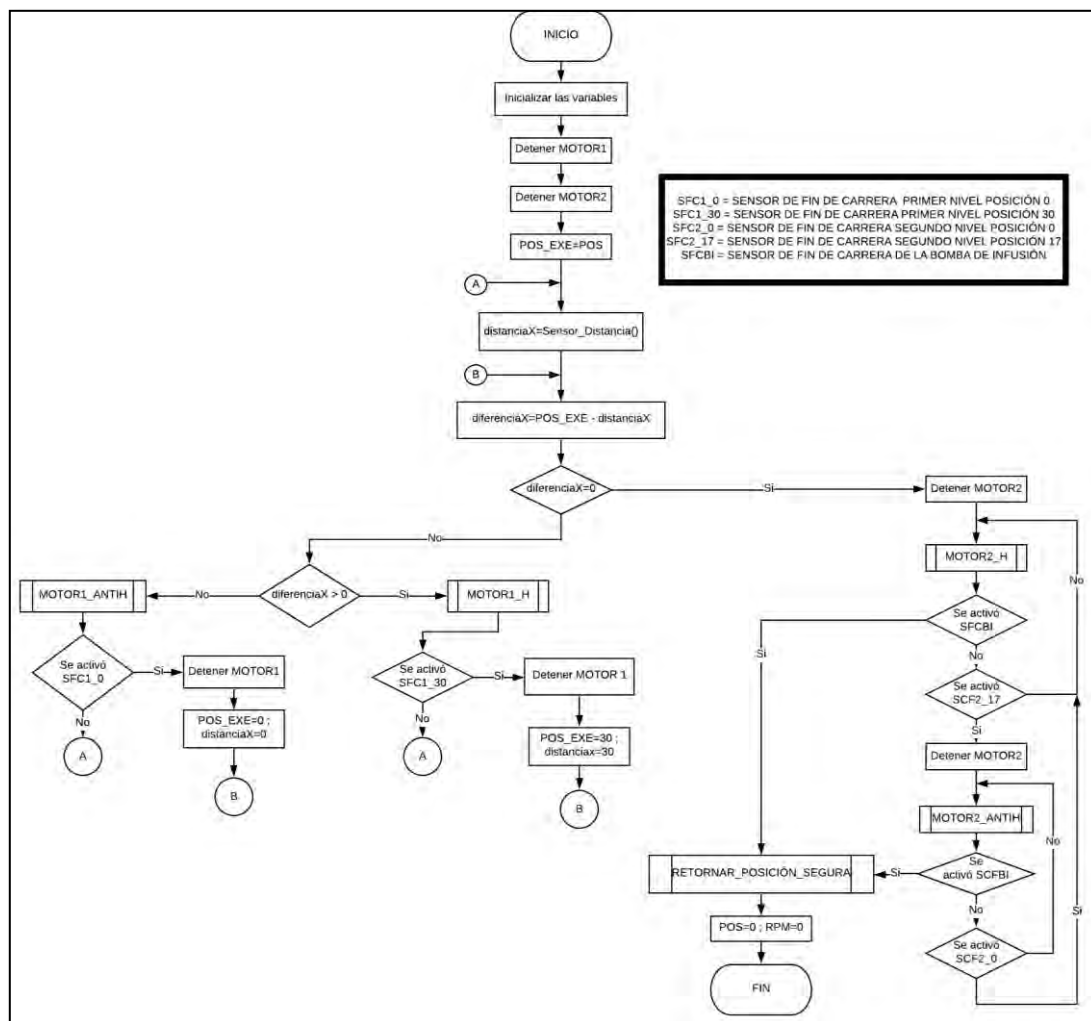


Figura N° 7-6: Diagrama de flujo de la función *Iniciar\_Subsistema\_Posicionamiento ()*  
 Fuente: Elaboración propia.

### 7.3.1. COMUNICACIÓN ENTRE MICROCONTROLADORES

La comunicación entre el controlador maestro ARDUINO MEGA 2560 y el controlador esclavo ARDUINO UNO, va usar el protocolo RS232, el cual permite recibir o transmitir cadenas de caracteres ASCII. Como resultado de usar este protocolo el tipo de comunicación



va ser asíncrona y se ha establecido una velocidad de 9600 bits por segundo para el intercambio de datos. Tanto el ARDUINO UNO como el ARDUINO MEGA 2560 cuentan con terminales UART (transmisor-receptor asíncrono universal) que tienen por nombre TX (transmisión) y RX (recepción). Se puede ver el detalle de las conexiones eléctricas entre los dos microcontroladores antes mencionados en el “Capítulo 9: Diseño Integral”.



## CAPÍTULO 8

### SUBSISTEMA ESTRUCTURA SOPORTE

En este capítulo, se presenta una descripción a detalle del diseño del subsistema estructura soporte, asimismo, el desarrollo de la parte mecánica.

#### 8.1. DESCRIPCIÓN DEL SUBSISTEMA

La cabina de electro hilado tiene una estructura metálica conformada por tubos cuadrados de dimensiones 30x30x2 mm, los cuales se han unido mediante cordones de soldadura para formar el armazón de la cabina tal como se ve en la *Figura N° 8-1*. El armazón metálico cuenta con 2 niveles y un compartimiento al lado izquierdo para el panel de control. Asimismo, forman parte de la estructura 4 niveladores de pie ajustable, sobre los cuales descansa el armazón y que permiten nivelar su distancia con respecto al piso de 0 a 40 mm.

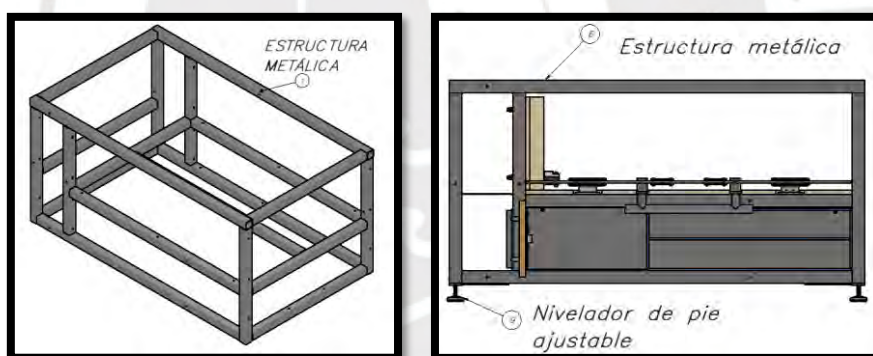


Figura N° 8-1: Estructura metálica de la máquina y nivelador de pie ajustable.  
Fuente: Elaboración propia

La base de la estructura metálica cuenta con una plancha de madera de dimensiones 920x520x30 mm como se muestra en el *Figura N° 8-2*, la cual impide el acceso de cualquier objeto o material al interior de la cabina por la parte inferior. La plancha base se sostiene sobre 4 placas de acero de espesor de 2 mm (*ver Figura N° 8-2*) que van soldadas en cada esquina de la base de la estructura metálica; asimismo, se unen tanto la plancha base de madera como las placas mediante uniones tornillo tuerca en 4 puntos.

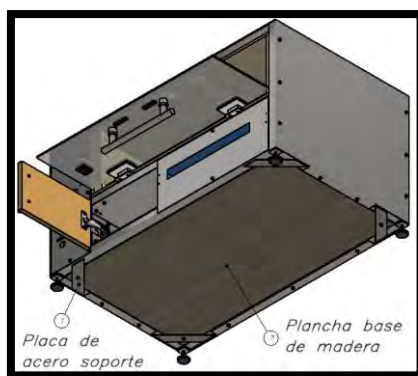


Figura N° 8-2: Plancha base de madera y placa de acero soporte.  
Fuente: Elaboración propia.

El primer nivel, cuenta con un gabinete fabricado en chapa metálica de acero inoxidable de 0.7 mm de espesor tal como se muestra en la *Figura N° 8-3*, el cual va cubrir y proteger a los equipos integrados como la bomba de infusión y la fuente de alto voltaje. Dentro de este gabinete, va posicionarse al lado derecho un cajón de acrílico de 5 mm de espesor con dos niveles (*ver Figura N° 8-3*), el cual va permitir aprovechar el espacio ya que en el segundo nivel de este cajón va descansar la fuente de alto voltaje mientras que el primer nivel va quedar libre para poder poner algún otro componente electrónico. Al interior del gabinete al lado izquierdo se va posicionar la bomba de infusión.

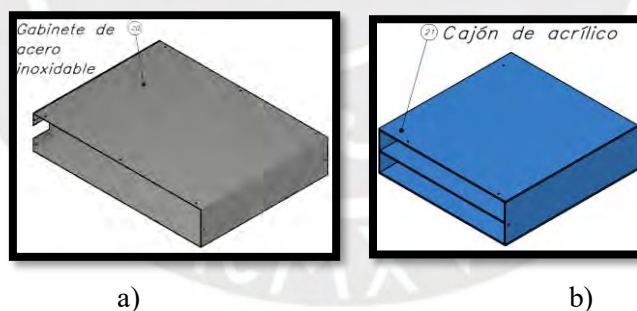


Figura N° 8-3: a) Gabinete de acero inoxidable – b) Cajón de acrílico.  
Fuente: Elaboración propia.

El acceso al primer nivel es sólo para la bomba de infusión mediante una compuerta de madera, como se muestra en la *Figura N° 8-4*, la cual ocupa menos de la mitad del largo de este compartimiento y tiene acoplado un tirador tipo sevilla de acero inoxidable que va permitir al usuario abrir o cerrar la compuerta fácilmente. Para poder fijar esta compuerta se ha usado una bisagra de cazoleta recta la cual se va unir a la pared lateral izquierda mediante tornillos. Por

otro lado, para cubrir la parte frontal que ocupa el cajón de acrílico se ha acoplado una tapa de acero galvanizado que solo permite el acceso a la interfaz de la fuente de alto voltaje y que tiene además un par de agujeros para poder fijarla (ver Figura N° 8-8).

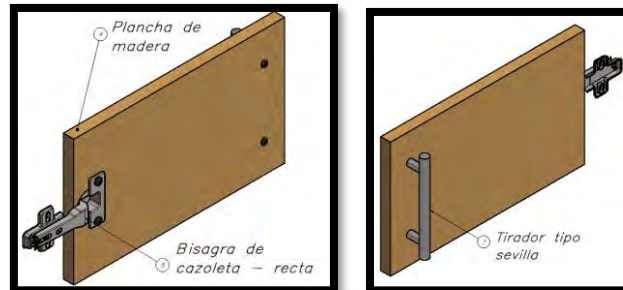


Figura N° 8-4: Compuerta de madera y componentes.  
Fuente: Elaboración propia

En el segundo nivel se va dar el proceso de electro hilado por lo cual las paredes de este compartimiento son planchas de 10 mm de espesor de polietileno de alta densidad, un material resistente a ataques químicos (ver Figura N° 8-5). Las paredes laterales y la base inferior se acoplan a la estructura por medio de uniones tornillo tuerca, mientras que la pared superior y la pared posterior se sostienen y unen a las demás paredes por medio de un pegamento especial para polietileno de alta densidad. Además, la pared superior de este nivel tiene una perforación cuadrada pasante de 210 mm que va permitir que un foco led cuadrado pueda empotrarse (ver Figura N° 8-5) apoyándose en un par de cuñas fijadas a esta misma pared superior por medio de tornillos.

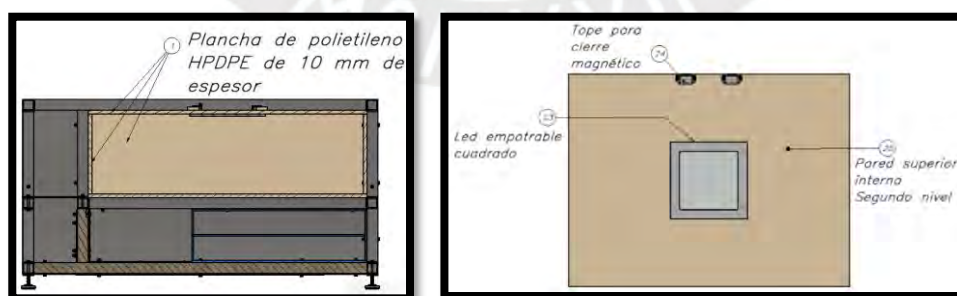


Figura N° 8-5: Paredes internas del segundo nivel de la cabina de electro-hilado.  
Fuente: Elaboración propia.

El acceso al segundo nivel es mediante una compuerta de cristal templado translúcido de 5 mm de espesor, la cual se sostiene y fija a la estructura metálica por medio de una bisagra especial

para puertas de vidrio con retención a 0 y 90 grados, como se muestra en la *Figura N° 8-6*. La unión entre la bisagra y la estructura metálica se ha realizado por medio de cordones de soldadura. Asimismo, para abrir y cerrar esta compuerta se ha acoplado un manillón tipo H de acero inoxidable también orientado para ser usado en puertas de vidrio (*ver Figura N° 8-6*). Además, se han incorporado un par de cierres magnéticos en la parte superior de esta compuerta para poder asegurar un cierre estable cuando se dé el proceso de electro hilado.

Por otro lado, ya que en capítulos previos se ha decidido usar un sensor de cierre magnético para determinar el estado de la compuerta, el diseño ha considerado acoplar una de las partes de este sensor en el cristal templado tal como se ve en la *Figura N° 8-6*. Cabe mencionar que tanto el sensor magnético como las placas imantadas que sirven para mejorar el cierre de la compuerta, se unen a la misma por medio de uniones tornillo tuerca y además todas ellas usan una goma de caucho que impide que la tuerca pueda dañar la superficie del cristal templado.

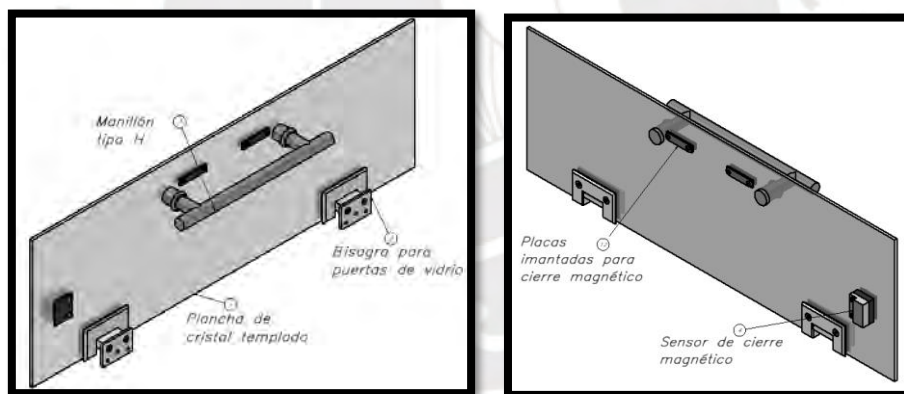


Figura N° 8-6: Compuerta de cristal templado y componentes.  
Fuente: Elaboración propia.

El compartimiento al lado izquierdo para el panel de control tiene un ancho de 180 mm y una altura de 480 mm y también cuenta con dos niveles. El primer nivel lo conforman la plancha de madera antes descrita la cual le otorga una base a este nivel (*ver Figura N° 8-2*), y una pared lateral derecha constituida por una placa metálica de aluminio, una pequeña plancha de madera y la pared lateral izquierda del gabinete de acero inoxidable antes mencionado. Estas tres partes se unen por medio de 4 uniones atornilladas y al formar un solo cuerpo se adhieren a la

estructura metálica de la cabina por medio de otras 4 uniones tornillo tuerca tal como señala en la *Figura N° 8-7*.

El segundo nivel del compartimiento lateral, cuenta con una plancha base de aluminio pequeña de dimensiones 512x176x2 mm, la cual se fija a un par de tubos de la estructura metálica por medio de 2 uniones tornillo tuerca (*ver Figura N° 8-7*). Asimismo, para proteger a los componentes electrónicos que estén dentro de este compartimiento lateral se cuenta con una tapa de acero galvanizado que se une al armazón metálico por medio de 4 uniones atornilladas, tal como se muestra en la *Figura N° 8-8* y que además va permitir el montaje de los componentes de interacción con el usuario.

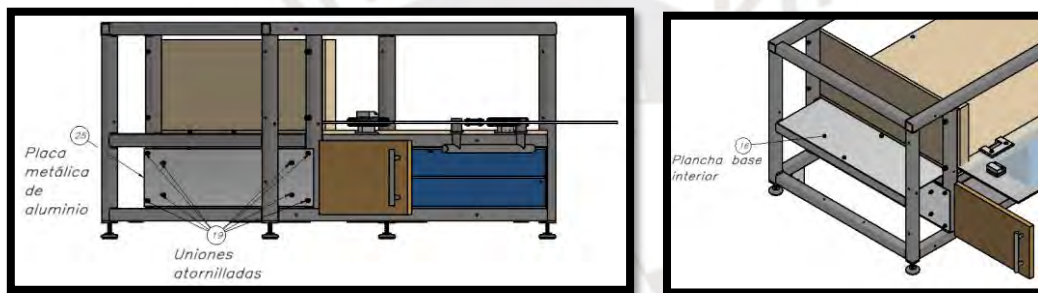


Figura N° 8-7: Pared lateral derecha y plancha base interior del compartimiento lateral.  
Fuente: Elaboración propia.

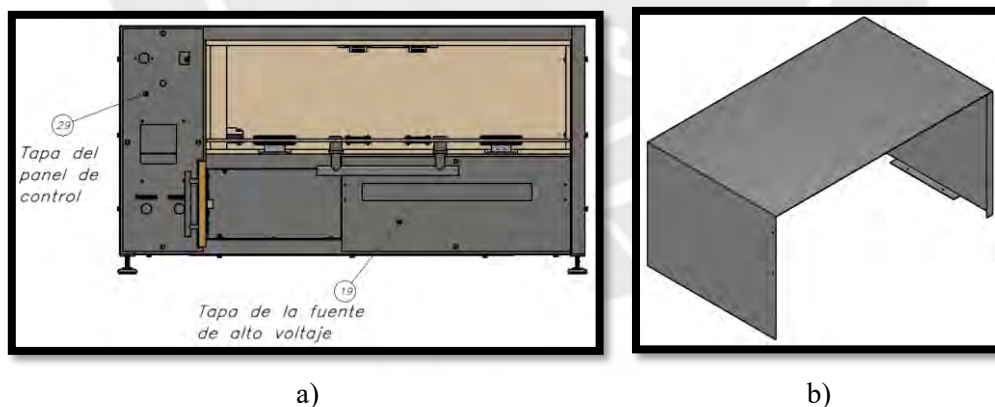


Figura N° 8-8: a) Tapa del panel de control - Tapa de la fuente de alto voltaje – b) Carcasa exterior principal  
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, para proteger de manera global a todos los componentes que alberga la cabina de electro hilado se va usar una carcasa elaborada de chapa metálica de acero galvanizado de espesor de 1 mm que va cubrir tanto las paredes laterales como la pared posterior de toda la máquina (*ver Figura N° 8-8*).

## 8.2. DISEÑO MECÁNICO

El diseño mecánico de la estructura soporte de toda la máquina muestra los cálculos matemáticos que representan los efectos de las fuerzas que soportan los elementos de este sistema. Dando como resultado, los requerimientos técnicos para la selección de componentes mecánicos y materiales.

### CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA PLANCHA BASE DEL SEGUNDO NIVEL

A pesar de que, en el diseño final, la plancha base del segundo nivel se apoya en 3 tubos metálicos, para el análisis se van a considerar solamente 2 tubos, ubicados uno a cada extremo; ya que, de lo contrario el sistema sería hiperestático y no se podrían determinar fácilmente el valor de las reacciones. A continuación, en la *Figura N° 8-9* se muestra el DCL (diagrama de cuerpo libre) de la plancha base del segundo nivel.

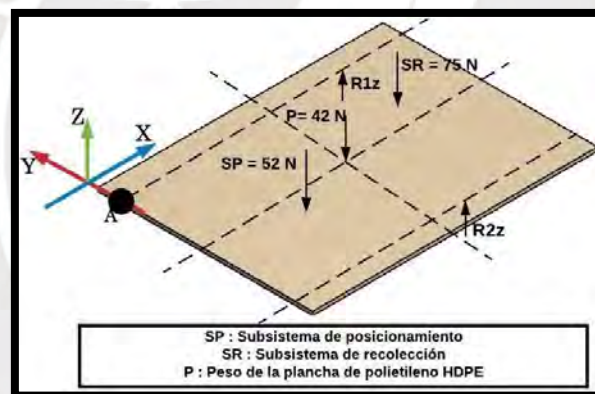


Figura N° 8-9: Diagrama de cuerpo libre de la plancha base del segundo nivel.  
Fuente: Elaboración propia.

No se va poder hallar el punto crítico que soporta la mayor carga en el plano X-Z; ya que no se conoce la ubicación de las reacciones con respecto al eje Y. Sin embargo, si se va poder hallar el punto crítico en el plano Y-Z, para lo cual se desarrollan las ecuaciones (27) y (28) desarrolladas en el Anexo D.

A partir de los valores hallados en la ecuación (27) y (28) de las reacciones en los extremos se presenta el DCL (diagrama de cuerpo libre) de la plancha base en el plano Y-Z (*ver Figura N° 8-10*), acompañado del diagrama de fuerzas cortantes (DFC) y de momentos flectores (DMF).

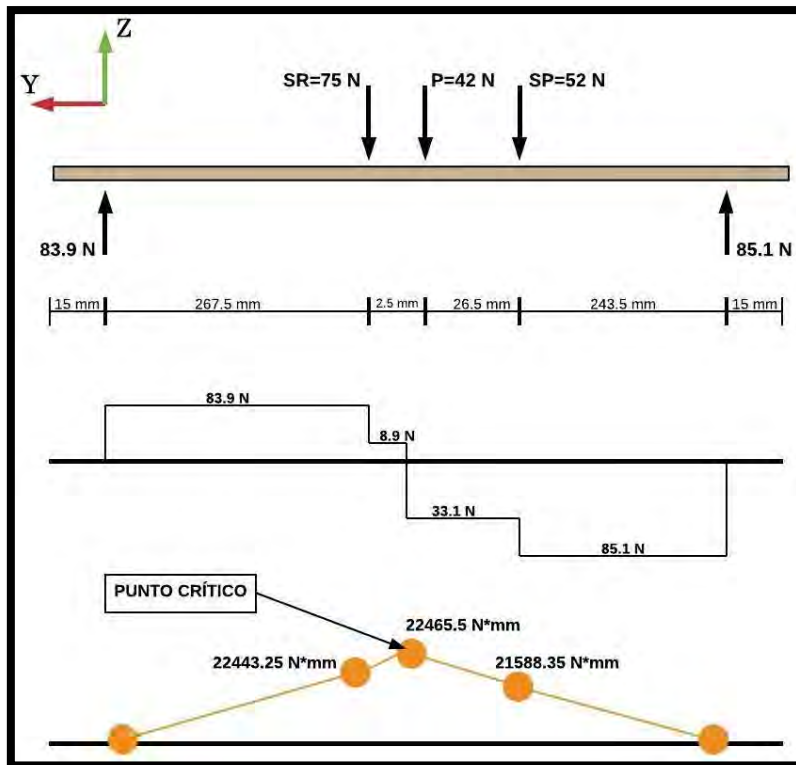


Figura N° 8-10: DCL de la plancha base en el plano Y-Z, DFC, DMF.  
Fuente: Elaboración propia.

Del análisis se concluye, que para el plano Y-Z el punto crítico se ubica al centro de la plancha, lo que probablemente podría causar la deflexión de la plancha en este punto. Adicionalmente al análisis estático, se va realizar un análisis por el criterio de falla de resistencia, para determinar el espesor mínimo de la plancha base del segundo nivel, de tal manera que la posibilidad de deflectarse sea nula. De acuerdo a este criterio, se debe cumplir la relación expresada en la ecuación (9).

$$\sigma_{equivalente} * FS \leq \sigma_{fluencia \text{ del polietileno HDPE}} \quad (9)$$

El factor de seguridad va ser 1.5, y ha sido determinado en base a las recomendaciones encontradas en el libro Mecánica de Materiales (Hibbeler, 2011).

$$\sqrt{\left[\frac{12 * 11232.75}{770 * e^2}\right]^2 + 3 * \left[\frac{33.1}{770 * e}\right]^2} * 1.5 \leq 24 \quad (9)$$

$$e \geq 6.62 \text{ mm} \quad (9)$$

Se concluye que el espesor de la plancha base del segundo nivel de acuerdo a medidas comerciales debe ser de 10 mm. Adicionalmente, para evitar que este elemento pueda fallar, si



es que en el segundo nivel de la cabina se pusiera más peso; se ha incluido un tercer tubo como apoyo, el cual cruza longitudinalmente el centro de la plancha base.

### TUBO CUADRADO DEL ARMAZÓN

La mayor parte del peso que va sostener la estructura soporte se encuentra en el segundo nivel. Por lo cual, los requerimientos técnicos para la selección de los tubos cuadrados, que sirven de armazón soporte de toda la máquina van a determinarse luego de analizar las cargas estáticas que soporta este nivel.

A partir del valor de las reacciones a los extremos de la plancha base y de acuerdo a la misma situación planteada anteriormente de solo 2 tubos como soporte del segundo nivel, se va realizar un análisis estático del tubo que soporta la mayor reacción. A continuación, se muestra el DCL (diagrama de cuerpo libre) del tubo en el plano X-Z (ver *Figura N° 8-11*), considerando el caso crítico; es decir que la carga se ubique al centro del tubo.

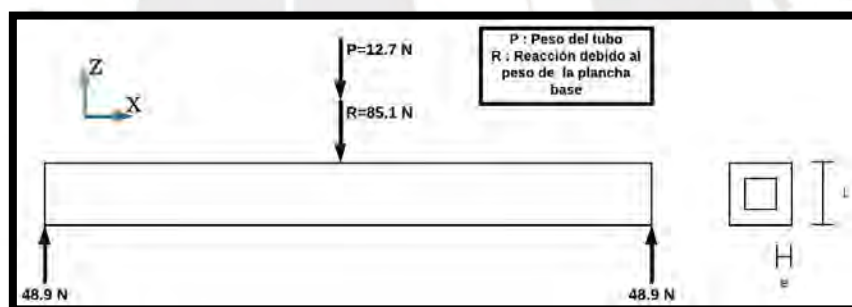


Figura N° 8-11: DCL del tubo cuadrado en el plano X-Z.  
Fuente: Elaboración propia.

Ya que el requerimiento es que el tubo cuadrado no se deflece, se van tener como incógnitas al espesor y a la longitud de uno de los lados de la sección transversal del tubo cuadrado, y se va determinar un intervalo de seguridad para las medidas de estos dos valores mediante las ecuaciones que sugieren las tablas de deflexión de vigas encontradas en el libro de Mecánica de Materiales (Hibbeler, 2011).

En base a la *Figura N° 8-11*, el tubo analizado se asemeja al caso de una viga simplemente apoyada con una carga puntual en el centro, y por lo tanto la deflexión máxima se determina mediante la ecuación (10), la cual debe ser menor o igual a 0.5 para que el tubo no se deflece.

$$\text{deflexión}_{\text{max en } z} = \frac{-P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} \leq 0.5 \quad (10)$$

$$\text{deflexión}_{\text{max en } z} = \frac{-97.8 \text{ N} \cdot (770 \text{ mm})^3}{48 \cdot 210000 \text{ MPa} \cdot (492 \cdot e^4) \text{ mm}^4} \leq 0.5 \quad (10)$$

$$e \geq 2 \quad (10)$$

La relación entre uno de los lados de la sección transversal cuadrada y el espesor se muestra en la ecuación (11).

$$L = 10 \cdot e \quad (11)$$

Se concluye entonces, que de acuerdo a medidas comerciales se requiere de un tubo cuadrado de 2 mm de espesor y con una sección transversal de 30 mm de largo.

### SELECCIÓN DE MATERIALES Y ACCESORIOS

Los materiales y accesorios seleccionados para la cabina de electro-hilado son resistentes a raspones o golpes y al contacto con ácidos o alcalinos fuertes como los que se van a procesar al interior de la cabina de electro hilado. Además, para los tubos que conforman la estructura, así como para las planchas de acero de la carcasa y gabinete interno se han seleccionado productos fabricados bajo normas internacionales que certifican sus propiedades mecánicas y buena resistencia. Es decir, deben ser duros y tenaces, de tal manera que puedan resistir rayaduras y golpes. El detalle de los componentes mencionados y las características por los que fueron seleccionados se muestran en la *Tabla N° 8-1*.

Tabla N° 8-1: Principales características de los materiales - Subsistema estructura soporte

TUBOS CON COSTURA CUADRADOS	
<b>ESTRUCTURA METÁLICA DE LA CABINA</b>	
	Distribuidor MIROMINA
	Límite de fluencia 270 MPa
	Dimensiones 30x30x2 mm
	Longitud 13 m
	Norma de fabricación ASTM A500 GRADO A
Precio = S/. 90.00	
PATA AJUSTABLE A300/001	
<b>SOPORTE NIVELADOR DE LA CABINA</b>	
	Distribuidor NU-TECH ENGINEERING
	Capacidad de carga estática 450 Kg
	Tamaño de la roca M8
	Longitud de la rosca 40 mm
Precio = S/. 25.00	

<b>CARCASA EXTERNA DE LA CABINA</b>	<b>PLANCHA GALVANIZADA</b>	
		Distribuidor MIROMINA
		Dimensiones 2400x1200x1 mm
		Norma de fabricación ASTM A653/A653M
Precio = S/. 69.00		
<b>GABINETE INTERIOR DEL PRIMER NIVEL</b>	<b>PLANCHA DE ACERO INOXIDABLE</b>	
		Distribuidor MACCINOX
		Dimensiones 2400x1200x1 mm
		Norma de fabricación AISI 304
Precio = S/. 385.00		
<b>CARCASA INTERIOR DEL SEGUNDO NIVEL</b>	<b>POLIETILENO HDPE</b>	
		Distribuidor CIDELSA
		Rigidez dieléctrica 44 kV/mm
		Dureza Shore 66
		Conserva su estabilidad dimensional frente al agua
		Resistencia aceptable frente ácidos de ph=3
Resistencia aceptable frente a alcalinos de ph=14		
Precio = S/. 411.00		
<b>CAJÓN INTERIOR DEL PRIMER NIVEL</b>	<b>ACRÍLICO COLOR OPAL</b>	
		Distribuidor DARGLOSS PERUANA
		Dimensiones 1250x1850x5 mm
		Acrílico no translúcido
Precio = S/. 36.00		
<b>ILUMINACIÓN AL INTERIOR DE LA CABINA</b>	<b>DOWNLIGHT LED EMPOTRABLE CUADRADO</b>	
		Distribuidor OECHSLE
		Potencia 18 W
		Dimensiones 210x210x15 mm
		Temperatura de color 4000 °K
Precio = S/. 44.90		
<b>COMPUERTA DEL SEGUNDO NIVEL</b>	<b>CRISTAL TEMPLADO</b>	
		Distribuidor GLASS-TEMPCOR
		Espesor 5 mm
		Color traslúcido
		Dimensiones 800 x 257.5 mm
Precio = S/. 143.00		
<b>BISAGRA PARA COMPUERTA DE CRISTAL TEMPLADO</b>	<b>BISAGRA PARA PUERTA DE DUCHA</b>	
		Distribuidor MIYASATO
		Retención a 0° y 90 °
		Peso máximo de la puerta 55 Kg
		Retorno automático desde los 70°
Precio = S/. 68.00		
<b>JALADOR PARA COMPUERTA DE CRISTAL TEMPLADO</b>	<b>MANILON PARA VIDRIO TIPO H</b>	
		Distribuidor PROMART
		Dimensiones 300x100x20 mm
		Material acero inoxidable
Precio = S/. 52.90		
<b>COMPUERTA DEL PRIMER NIVEL</b>	<b>MADER PINO RADIATA</b>	
		Distribuidor SODIMAC
		Dimensiones 300x204x19 mm
		Madera seca pino radiata
Precio = S/. 18.30		
<b>BISAGRA PARA COMPUERTA DEL PRIMER NIVEL</b>	<b>BISAGRA DE CAZOLETA RECTA</b>	
		Distribuidor PROMART
		Retención en 0° y 90°
		Cierre suave desde los 10°
		Material acero inoxidable
Precio = S/. 12.90		

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO 9

### SUBSISTEMA DE ENERGÍA Y EQUIPOS INTEGRADOS

En este capítulo se va detallar el funcionamiento y la distribución del subsistema de energía. Además, se van a presentar las características y los requerimientos técnicos necesarios para la selección de los equipos integrados.

#### 9.1. SUBSISTEMA DE ENERGÍA

Los componentes y dispositivos electrónicos que se utilizan para el correcto funcionamiento de la cabina de electro hilado, así como el flujo de energía eléctrica a través de ellos se representa mediante la arquitectura de hardware y el diagrama de potencia, tal como se muestra en la *Figura N° 9-1* y *Figura N° 9-2*.

Al inicio la energía se toma de la red eléctrica, la cual provee 220 VAC, luego fluye a través del botón de emergencia y después la red principal se divide en 6 ramas eléctricas (*ver Figura N° 9-1*). Este tipo de distribución eléctrica, permite al usuario poder tener un control total del flujo eléctrico de la máquina, ya que, en caso de alguna contingencia o accidente, tan sólo al presionar el botón de emergencia se podrá cortar el suministro de energía en todo el sistema.

También se cuenta con un control parcial del flujo eléctrico en cada rama. Por ejemplo, en el caso de la segunda a la quinta rama el control del flujo eléctrico en ellas es por medio de un relé el cual abrirá o cerrará el circuito (*ver Figura N° 9-1*), dependiendo de la señal de control que reciba del microcontrolador principal. En el caso de la primera y la sexta rama, el control es por medio de un interruptor.

Con respecto a la primera rama, si el interruptor cierra el circuito, la energía llega a la fuente conmutada Halion ATP600P8, la cual transforma la corriente alterna en corriente continua y provee salidas de voltaje de 5, 12 y 24 VDC. El detalle del flujo eléctrico en esta rama se puede ver en la arquitectura de hardware de todo el sistema.

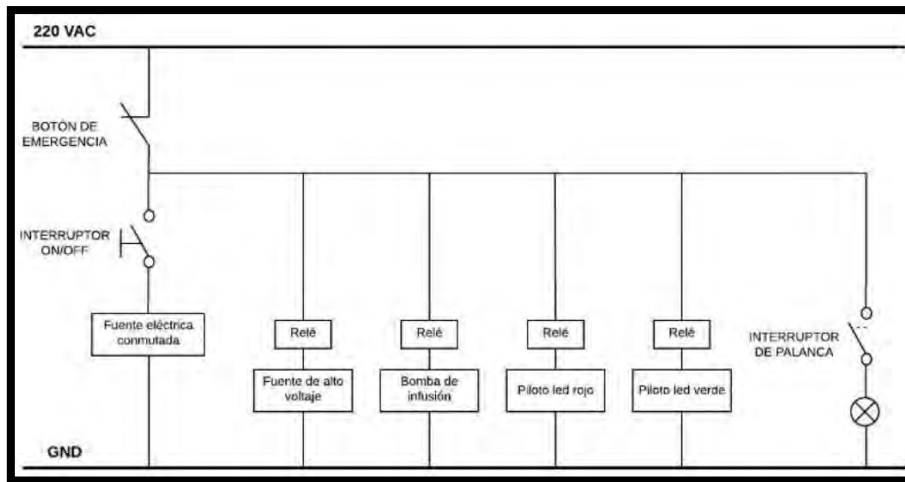


Figura N° 9-1: Diagrama de potencia.  
Fuente: Elaboración propia.

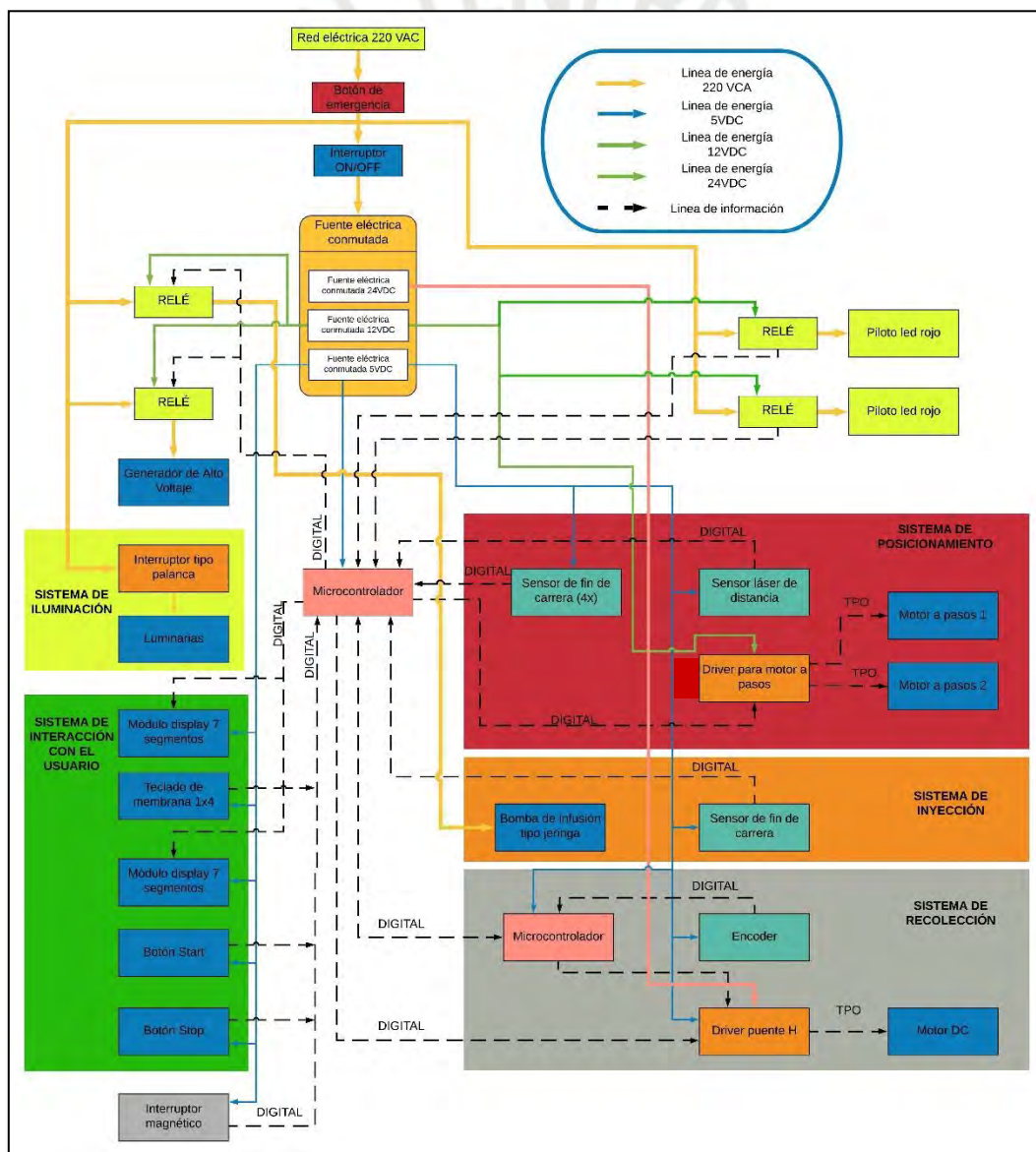


Figura N° 9-2: Arquitectura de hardware  
Fuente: Elaboración propia

## ESQUEMA DE CONEXIONES ELÉCTRICAS

La lógica del funcionamiento de todo el sistema lo realiza un microcontrolador maestro el Arduino Mega 2560 y un microcontrolador esclavo, el Arduino Uno. Estos dos dispositivos reciben señales con información de los sensores (INPUT) y luego de procesar e interpretar esta información mandan señales de control a los actuadores (OUTPUT). El plano que presenta las conexiones eléctricas entre ellos, se muestra en una escala menor en la *Figura N° 9-3*. Sin embargo, para más detalle de las conexiones eléctricas entre dispositivos se recomienda revisar el Anexo H, donde se presentan los planos electrónicos.

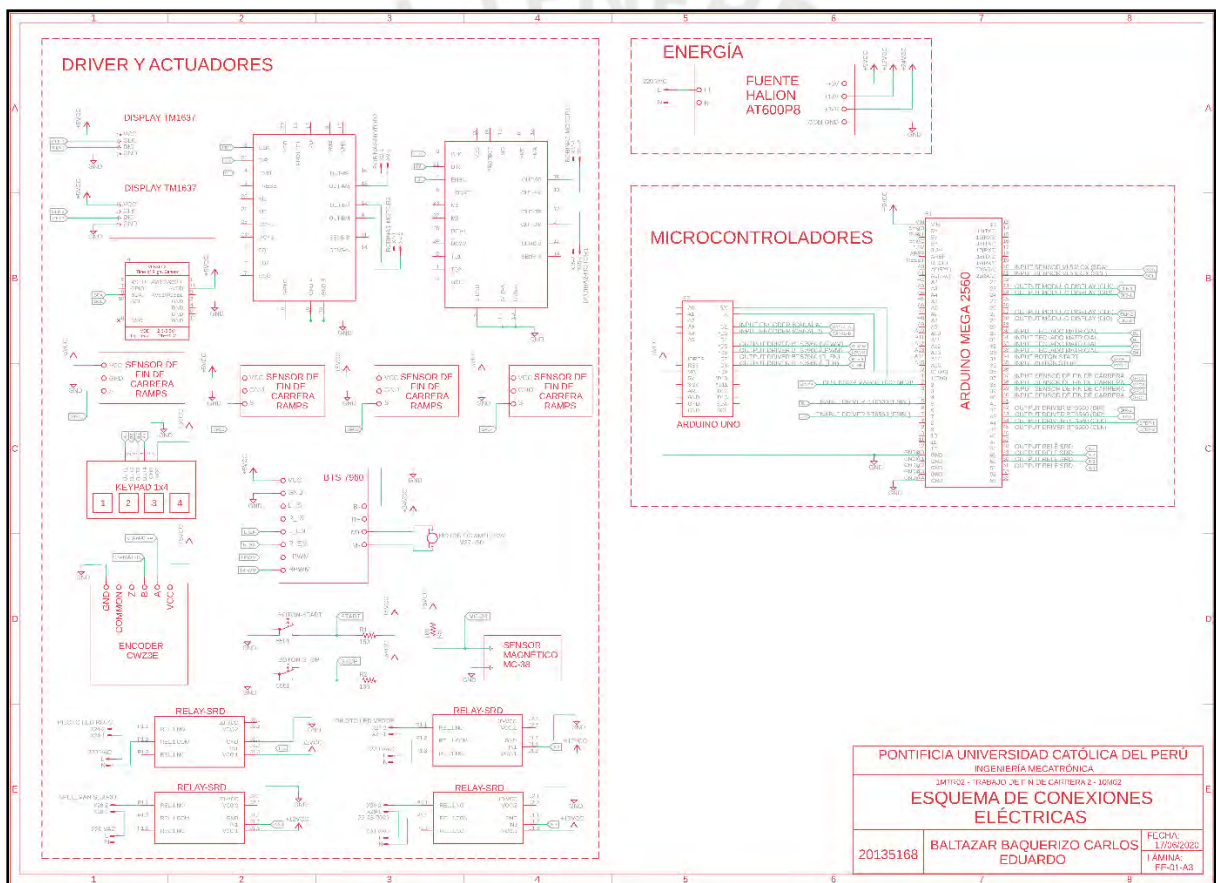


Figura N° 9-3: Esquema de conexiones eléctricas  
Fuente: Elaboración propia

## SELECCIÓN DE LA FUENTE CONMUTADA

La fuente eléctrica conmutada seleccionada debe tener la suficiente capacidad para poder satisfacer la demanda de potencia de cada uno de los sensores, actuadores y dispositivos de

control del sistema. Es por eso que se ha realizado un balance del consumo energético, el cual se presenta en la *Tabla N° 9-1*.




Tabla N° 9-1: Balance del consumo energético

NOMBRE DEL DISPOSITIVO	VOLTAJE DE OPERACIÓN (V)	CORRIENTE DE OPERACIÓN (A)	CANTIDAD	POTENCIA (W)
Motor AmpFlow M27-150	24	6.5	1	150
Driver para motor DC BTS7960	5	0,04	1	0,2
Encoder rotatorio	12	0,3	1	3,6
Motor a pasos NEMA 17	12	0,4	2	9,6
Driver para motor a pasos TB6560	12	0,6	2	14.4
Sensor de fin de carrera mecánico	5	0,002	4	0,04
Sensor de distancia láser VL53LOX	5	0,01	1	0,05
Módulo display de 7 segmentos	5	0,04	2	0,4
Teclado matricial 1x4	5	0,03	1	0,15
Relé para activación de los indicadores Led de panel	5	0,075	2	0,75
Relé para la activación de los equipos integrados	5	0,075	2	0,75
			<b>POTENCIA TOTAL</b>	<b>179, 94 W</b>

Fuente: Elaboración propia.

La potencia necesaria que requiere el sistema es de 179, 94 W; sin embargo, a toda fuente de alimentación conmutada debe aplicársele un factor de corrección de potencia ya que la transformación de corriente alterna a corriente continua no es ideal. En este caso se le va aplicar un factor de corrección de 0.8 dando como resultado una potencia requerida de 225 W. A continuación, se muestra la *Tabla N° 9-2*, la cual presenta 3 opciones de este producto.

Tabla N° 9-2: Tabla comparativa de características y precios de una fuente eléctrica conmutada

FUENTE ELÉCTRICA CONMUTADA	Requerimientos	HTT-120F-D	ATX600P8	S-12-24
				
Fabricante	<b>Ninguno</b>	HAITAK	HALION	MEAN WELL
Voltaje de salida	<b>5VDC/10A; 12VDC/10A; 24VDC/10A</b>	5VDC/12A; 12VDC/5A; 24VDC/2A	5VDC/40A; 12VDC/20A; 24VDC/10A	24 VDC
Voltaje de entrada	<b>35 mm</b>	132 VAC - 264 VAC	230 VAC	100 VAC- 240 VAC
Frecuencia de entrada	<b>60 Hz</b>	47 Hz - 63 Hz	60 Hz	60 Hz
Dimensiones	<b>150x150x150 mm</b>	199x110x50 mm	150x130x150 mm	180x130x40 mm
Potencia	<b>&gt; 225 W</b>	120 W	600 W	60 W
Precio	<b>&lt; S/. 50.00</b>	S/. 175.00	S/. 47.00	S/. 67.00

Fuente: Elaboración propia.

A partir de las opciones mostradas, se va seleccionar la fuente conmutada HALION ATX600P8, ya que permite salidas de 5, 12 y 24 VDC. Igualmente, cumple el requerimiento de potencia y su costo es el menor de las 3 opciones.

## 9.2. SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS INTEGRADOS

La selección de los equipos integrados y los requerimientos técnicos que deben cumplir se van a determinar tomando como referencia la *Tabla N° 9-3*, la cual presenta un resumen comparativo entre los parámetros de producción reportados en la revisión de la literatura del capítulo 2 y los propuestos en la presente tesis.

En conclusión, como resultado del amplio rango de valores propuestos que puede tomar cada uno de los parámetros de producción, se va obtener una máquina de gran capacidad que va permitir procesar la mayoría de biopolímeros y obtener como resultado micro fibras con diámetros de entre 1 a 100  $\mu\text{m}$  y nano fibras con diámetros de entre 40 a 500 nm.

Tabla N° 9-3: Rango de valores de los parámetros de producción del método de electro hilado

TIPO DE FIBRA	DIÁMETRO	PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN				REFERENCIA
		Voltaje	Caudal	Distancia	RPM	
Nano fibras no alineadas de gelatina procedente de piel de vaca	311-380 nm	6-25 kV	0.005-1 ml/h	7-25 cm		(Erencia et al. 2018)
Nano fibras alineadas de colágeno liofilizado tipo 1 de piel de becerro	100-730 nm	15-30 kV	0-25 ml/h	12.5-25 cm	500-4500 rpm	(Matthews et al. 2002)
Nano fibras no alineadas de quitina	50-460 nm	15-24 kV	1.2 – 4 ml/h	6-7 cm		(Min et al. 2004)
Micro fibras no alineadas de almidón HYLON VII	3–12 $\mu\text{m}$	6-10 kV	2-4 ml/h	5-8 cm		(Kong & Ziegler,2013)
Micro fibras alineadas procedente de biopolímeros	1-100 $\mu\text{m}$	1-60 kV	0.000006-5100 ml/h	0-30 cm	0-3800 rpm	Presente trabajo
Nano fibras alineadas procedente de biopolímeros	40-500 nm	1-60 kV	0.000006-5100 ml/h	0-30 cm	0-3800 rpm	Presente trabajo




Fuente: Elaboración propia.



## SELECCIÓN DEL GENERADOR DE ALTO VOLTAJE

El proceso de electro hilado requiere de un dispositivo que pueda generar voltajes de entre 0 a 60 kV y que pueda conectarse directamente a la red eléctrica para su funcionamiento. Además, no debe consumir más de 50 W de potencia y debe tener una interfaz física que permita al usuario poder variar el voltaje de salida. A continuación, se muestra la *Tabla N° 9-4*, en la cual se presentan 3 equipos integrados que pueden cumplir los requerimientos.

Tabla N° 9-4: Tabla comparativa de características y precios de un generador de alto voltaje

FUENTE DE ALTO VOLTAJE	Requerimientos	SL60P30	MPS30P10	UM840
				
Fabricante	Ninguno	SPELLMAN	SPELLMAN	SPELLMAN
Voltaje de salida	Desde 1 a 60 kV	Desde 1 a 60 kV	Desde 1 a 30 kV	Desde 1 a 40 kV
Interfaz con el usuario	Ninguno	Botones, potenciómetro y pantalla	Conector tipo D para interfaz desde una computadora	Conector para interfaz desde una computadora
Voltaje de alimentación	220 VAC - 60 Hz	220 VAC - 60 Hz	24 VDC	24 VDC
Consumo de potencia	< 50 W	30 W	10 W	30 W
Dimensiones	483x48x610 mm	483x48x610 mm	65x75x215 mm	177x41x29 mm
Peso	< 10 Kg	8 Kg	0.95 Kg	0.371 Kg
Precio	< S/. 12 000	S/. 11 150	S/. 2 470	S/. 4 600

Fuente: Elaboración propia.

En base a las opciones presentadas, se va seleccionar la fuente de voltaje SPELLMAN SL60P30, ya que es la única que puede generar hasta 60 kV y no necesita de una computadora para su uso.

El equipo seleccionado tiene en la parte trasera una salida de voltaje positivo y una de tierra o GND, tal como se muestra en la *Figura N° 9-4*. Mediante la salida de voltaje positivo se va poder dar la conexión con el subsistema de posicionamiento, mientras que, con la salida de tierra, la conexión con el subsistema de recolección.

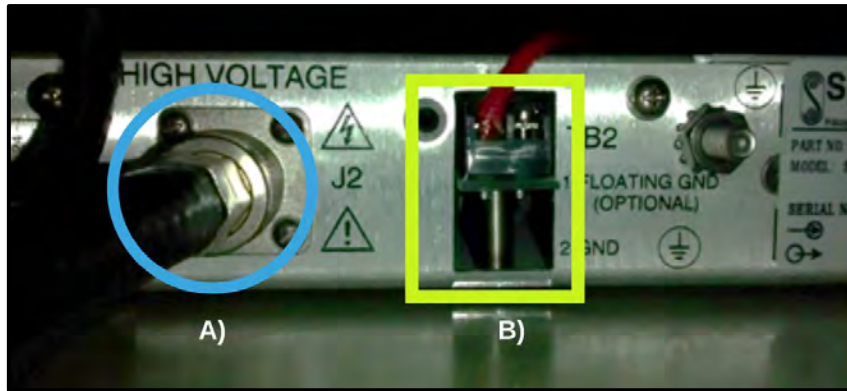


Figura N° 9-4: A) Salida positiva de alto voltaje; B) Salida GND  
Fuente: Elaboración propia

La salida de voltaje positivo ya tiene acoplado un cable blindado de alto voltaje, al cual se le va adaptar un conector de tipo cocodrilo en el extremo libre, como se muestran en la *Figura N° 9-5*, de tal forma que al iniciar el proceso de electro hilado la aguja eyectora se conecte fácilmente al generador de alto voltaje SPELLMAN por medio del conector tipo cocodrilo.

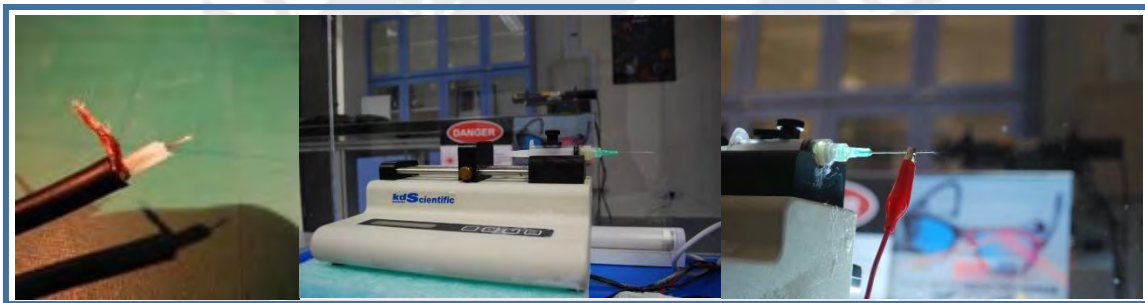


Figura N° 9-5: Acondicionamiento para la puesta de conector tipo cocodrilo en cable blindado de alto voltaje  
Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, la salida de tierra del generador de alto voltaje cuenta con una bornera de tipo tornillo a la que se le va conectar un cable de tipo AWG 12, el cual en uno de sus extremos libres va tener acoplado un terminal eléctrico de tipo lengüeta.


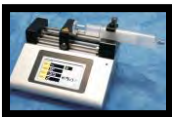

Finalmente, para que se pueda conectar el subsistema de recolección con el generador de alto voltaje se va soldar el terminal de tipo lengüeta al porta-escobilla del subsistema de recolección.

### **SELECCIÓN DE LA BOMBA DE INFUSIÓN TIPO JERINGA**

El proceso de electro hilado necesita de un sistema de inyección que pueda suministrar caudales de entre 0.01 mL/h a 10 mL/h. Además, el equipo seleccionado debe permitir el acoplamiento

de las jeringas más comerciales con capacidad de entre 0.5 mL a 50 mL. A continuación, se muestra la *Tabla N° 9-5*, en la cual se presentan propuestas de 3 equipos integrados.

Tabla N° 9-5: Tabla comparativa de características y precios de una bomba de infusión

BOMBA DE INFUSIÓN TIPO JERINGA	Requerimientos	KDS 100 - 781100	LEGATO 100	FUSION 200 - 2 CANALES
				
Fabricante	<b>Ninguno</b>	KD SCIENTIFIC	KD SCIENTIFIC	CHEMIX
Caudal de salida	<b>Desde 0.01 mL/h a 10 mL/h</b>	Desde 0.0001 mL/h a 423 mL/h	Desde 76.8 pL/h a 5297 mL/h	Desde 0,006 uL/h a 5100 mL/h
Interfaz con el usuario	<b>Ninguno</b>	Botones y pantalla	Pantalla táctil	Pantalla táctil
Voltaje de alimentación	<b>220 VAC - 60 Hz</b>	220 VAC - 60 Hz	12 - 32 VDC	220 VAC - 60 Hz
Jeringas compatibles	<b>De 0.5 mL a 50 mL</b>	De 10 uL a 60 mL	De 0.5 uL a 60 mL	Desde 0.5 uL a 60 mL
Dimensiones	<b>230x150x150 mm</b>	230x153x130 mm	226x190x150 mm	240x170x120
Peso	<b>&lt; 4 Kg</b>	2 Kg	2,66 Kg	3 Kg
Precio	<b>&lt; S/. 8 000</b>	S/. 7 800	S/. 9 000	S/. 6 316

Fuente: Elaboración propia.

A partir de las opciones presentadas, se va elegir a la bomba de infusión tipo jeringa de dos canales FUSION 200, ya que puede manejar hasta dos jeringas y además tiene el menor costo. La bomba de infusión seleccionada va conectarse con el subsistema de posicionamiento mediante un tubo de silicona a través del cual va transportarse la solución biopolimérica desde la jeringa acoplada a la bomba de infusión hasta el conector de tipo luer lock de la aguja eyectora.

A la jeringa usada por la bomba de infusión, se le va acoplar un conector hembra con cierre de tipo luer lock, tal como se muestra en la *Figura N° 9-6*. Luego, al tubo de silicona en cada uno de sus extremos se le va conectar una virola y una tuerca sin brida para que al acoplar el tubo de silicona a la jeringa y al conector de la aguja eyectora, no se tenga mayor dificultad y la conexión no tenga fugas de la solución biopolimérica.

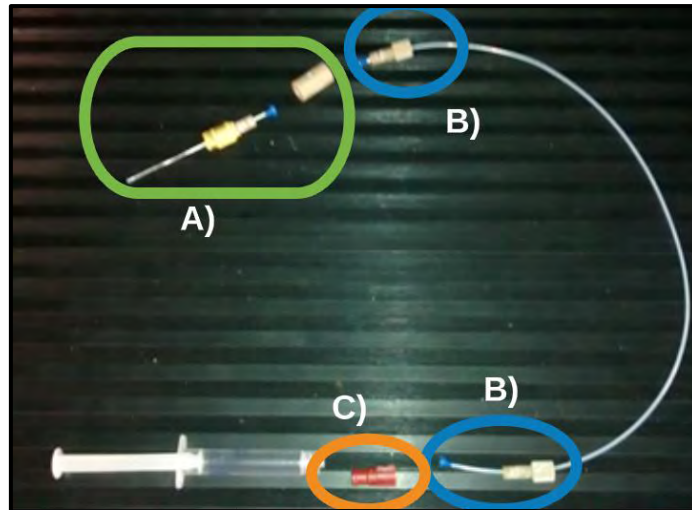


Figura N° 9-6: A) Aguja eyectora con conector luer lock; B) Virota y tuerca sin brida; C) Adaptador hembra con cierre tipo luer lock.

Fuente: Elaboración propia

### 9.3. DIAGRAMA DE OPERACIONES

En la *Figura N° 9-7*, se muestra el orden de las operaciones que el usuario debe realizar para poder obtener micro o nano fibras a partir del método de electro hilado.

Se inicia el proceso con el energizado de cada uno de los componentes de la máquina, al presionar el botón ON/OFF con iluminación, ubicado en el panel de control. Luego el usuario debe abrir la compuerta del nivel inferior de la cabina de electro hilado para acoplar la jeringa a la bomba de infusión FUSION 200. Cabe mencionar que el usuario previamente ya preparó la solución biopolimérica de características determinadas y la introdujo en la jeringa con la que trabaja la bomba de infusión. Una vez puesta la jeringa, el usuario a través de los dispositivos de interfaz del panel de control, debe ingresar los parámetros de producción tales como: la posición de la aguja eyectora y las revoluciones por minuto del cilindro colector. A continuación, el usuario debe cerrar la compuerta del nivel superior de la cámara de electro hilado y presionar el botón de inicio. Luego, se deberá ingresar los parámetros de producción del voltaje aplicado en la aguja eyectora mediante la interfaz propia que tiene el equipo integrado SPELLMAN. Finalmente, el usuario deberá ingresar los parámetros de producción del caudal de la solución biopolimérica mediante la interfaz de la bomba de infusión.

Es deseable que el usuario cierre también la compuerta del nivel inferior ya que cuando el proceso de producción de micro o nano fibras finalice se desenergizará automáticamente la fuente de alto voltaje sin necesidad de apagar el equipo manualmente. Además, al finalizar el proceso el indicador luminoso de estado del proceso se apagará y con esta señal será seguro para el usuario poder retirar el pliegue de micro o nano fibras producidas. En caso de que ocurriese algún accidente o contingencia fuera o dentro de la máquina cuando el proceso se está ejecutando, el usuario debe presionar el botón de emergencia para desenergizar cada uno de los componentes y solicitar apoyo técnico.

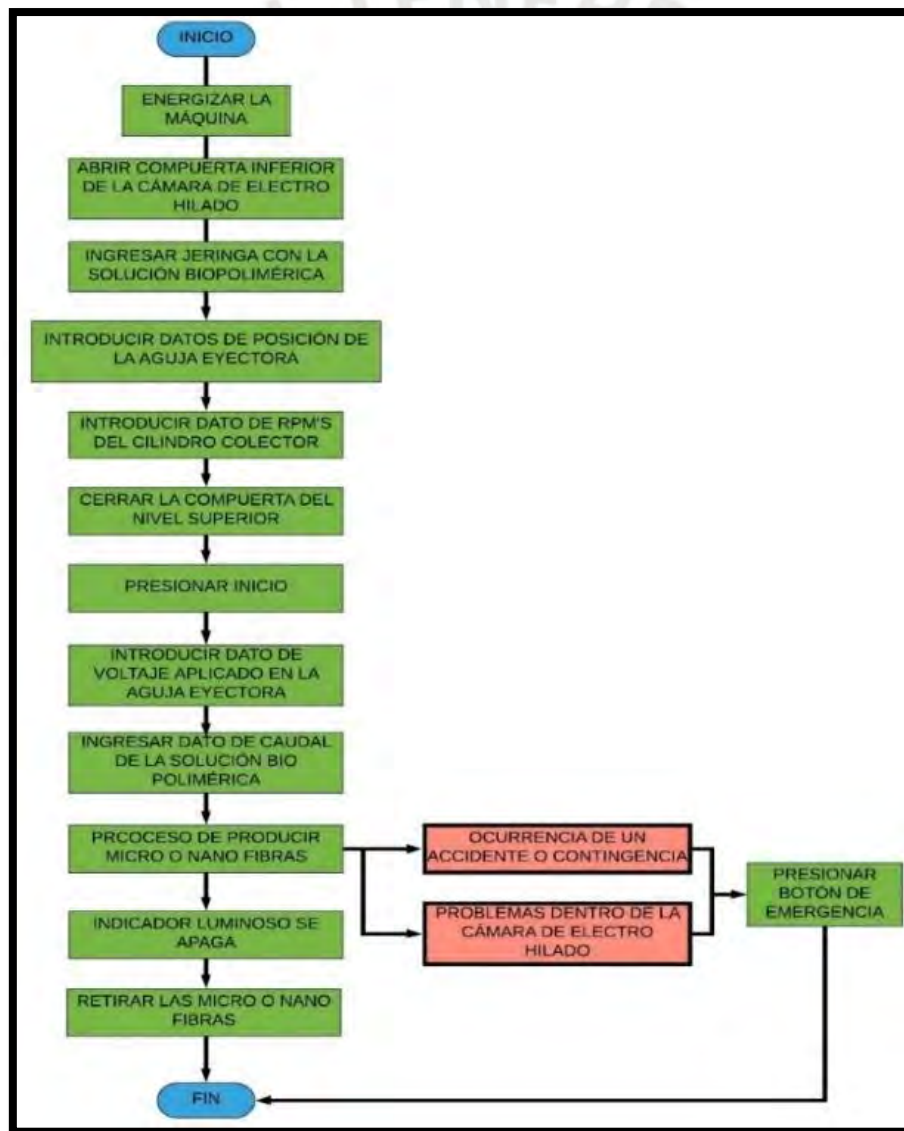


Figura N° 9-7: Diagrama de operaciones  
Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO 10

### ESTIMACIÓN DE COSTOS

En este capítulo se va presentar un detalle del costo total aproximado necesario para poder construir e implementar un sistema mecatrónico que pueda producir de micro y nano fibras usando la técnica del electro hilado.

#### 10.1. COSTOS DE MATERIALES Y EQUIPOS

En el proceso de diseño de cada subsistema, se han consultado los precios de materiales, componentes mecánicos y electrónicos y se ha llegado a la conclusión de que el costo total para la construcción de la cabina de electro hilado es de S/. 23 647,4 nuevos soles. El detalle de los costos para cada subsistema se presenta en la *Tabla N° 10-1*, *Tabla N° 10-2*, *Tabla N° 10-3*, *Tabla N° 10-4* y *Tabla N° 10-5*.

Tabla N° 10-1: Costo de materiales, componentes mecánicos y electrónicos del Subsistema de Recolección

SUBSISTEMA DE RECOLECCIÓN				
C	OBJETO	CANT	PRECIO UNITARIO (S/.)	TOTAL (S/.)
1	Barra redonda de polipropileno Ø=60 mm; L=170 mm	1	81	81
2	Tubo redondo de aluminio Ø=63 mm; L=170 mm; e = 1.5 mm	1	15	15
3	Plancha de polipropileno 1000x1000x15 mm	1	550	550
4	Barra redonda de acero SAE 1020 Ø=25.4 mm; L=300 mm	1	9	9
5	Chaveta de acero 8x7x20 mm	2	8	16
6	Arandela partida (Grower) W12	2	0.2	0.4
7	Acople flexible Ø interior=8 mm; Ø exterior=6.35 mm	1	12	15
8	Acoplamiento de fuelle Ø interior=8 mm	1	168	168
9	Tornillo de fijación DIN 913 M4-6	8	0.5	4
10	Tornillo de cabeza cilíndrica ISO 7045 M5-14	2	0.3	0.6
11	Tornillo de cabeza cilíndrica ISO 7045 M3-14	6	0.3	1.8
12	Tornillo de cabeza cilíndrica ISO 7045 M2-8	2	0.3	0.6
13	Tornillo hexagonal media rosca ISO 4014 M5-35	4	0.5	2
14	Tornillo de cabeza cilíndrica ISO 7045 M5-25	16	0.3	4.8
15	Tornillo de cabeza cilíndrica ISO 7045 M3-12	3	0.3	0.9
16	Tornillo de cabeza cilíndrica ISO 7045 M5-16	4	0.3	1.2
17	Tuerca hexagonal con brida M14	2	2	4
18	Tornillo de cabeza cilíndrica M3-6	4	0.3	1.2
19	Chumacera de piso IGUS-KSTM12	2	26	52
20	Motor DC AMPFLOW M27-150	1	956	956
21	Escobilla de carbón	1	25	25
22	Driver BTS 7960	1	40	40
23	Encoder rotatorio incremental CWZ3E	1	107	107

IT	OBJETO	CANT	PRECIO UNITARIO (S./)	TOTAL (S./)
24	Microcontrolador Arduino Uno	1	40	40
				2 095,5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 10-2: Costo de materiales, componentes mecánicos y electrónicos del Subsistema de Interacción con el Usuario

SUBSISTEMA DE INTERACCIÓN CON EL USUARIO				
IT	OBJETO	CANT	PRECIO UNITARIO (S./)	TOTAL (S./)
1	Tornillo de cabeza cilíndrica ISO 7045 M3-8	9	0.3	2,7
2	Arandela plana sin bisel ISO 7089 W3	3	0.2	0,6
3	Tornillo de cabeza hueca hexagonal ISO 4762 M3-16	2	0.5	1
4	Arandela partida (Grower) W3	3	0.2	0,6
5	Tuerca hexagonal baja ISO 4035 M3	3	0.5	1,5
6	Arandela plana sin bisel ISO 7089 W4	6	0.2	1,2
7	Tornillo de cabeza cilíndrica ISO 7045 M4-8	3	0.3	0,9
8	Arandela partida (Grower) W4	3	0.2	0,6
9	Tuerca hexagonal baja ISO 4035 M4	3	0.5	1,5
10	Interruptor on/off luminoso ROCKER 250 VAC-16A	1	2.2	2,2
11	Botón de emergencia CHINT	1	12	12
12	Interruptor magnético MC-38	1	8	8
13	Interruptor de palanca DPST	1	2.5	2,5
14	Módulo display TM1637	2	7	14
15	Teclado matricial 1x4	1	2.5	2,5
16	Pulsador para arduino	2	2.3	4,6
17	Módulo relé de 4 canales SRD-5VDC-SL-C	1	25	25
18	Microcontrolador Arduino Mega 2560	1	70	70
19	Indicador de panel JD16-22DS	2	3.7	7,4
				158,8

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 10-3: Costo de materiales, componentes mecánicos y electrónicos del Subsistema de Posicionamiento

SUBSISTEMA DE POSICIONAMIENTO				
IT	OBJETO	CANT	PRECIO UNITARIO (S./)	TOTAL (S./)
1	Plancha de polipropileno 1000x1000x15 mm	1	550	550
2	Rollo de filamento ABS para impresión 3D - Ø =1.75 mm	1	81	81
3	Aguja HAMILTON G20	6	19	114
4	Adaptador Luer Lock hembra-macho P655	6	16.5	99
5	Acople flexible Ø interior=8 mm ; Ø exterior=5 mm	2	5	10
6	Chumacera de piso KP08	3	8	24
7	Soporte para ejes SK8	6	5	30
8	Rodamiento lineal SC8UU	4	8	32
9	Tornillo trapezoidal de 4 hilos y paso de 8 mm más tuerca de avance	1	28	28
10	Eje acerado Ø =8 mm; L=251 mm	2	5	10
11	Eje acerado Ø =8 mm; L=482 mm	2	8.5	17
12	Tornillo de cabeza cilíndrica ISO 7045 M4-30	17	0.3	5,1
13	Tornillo de cabeza cilíndrica ISO 7045 M3-12	8	0.3	2,4
14	Tornillo de fijación DIN 913 M4-6	8	0.5	4
15	Tornillo de cabeza cilíndrica ISO 7045 M3-20	6	0.3	1,8
16	Tornillo de cabeza cilíndrica ISO 7045 M5-16	16	0.3	4,8

IT	OBJETO	CANT	PRECIO UNITARIO (S./.)	TOTAL (S./.)
17	Tornillo de cabeza ranurada con relleno M4.5-14	6	0.3	1,8
18	Tornillo de cabeza hueca hexagonal M4-25	6	0.5	3
19	Arandela partida (Grower) W4	6	0.2	1,2
20	Tuerca hexagonal baja ISO 4035 M4	4	0.5	2
21	Tornillo de cabeza hueca hexagonal ISO 4762 M3-16	1	0.5	0.5
22	Tuerca hexagonal baja ISO 4035 M3	1	0.5	0.5
23	Tornillo de cabeza cilíndrica ISO 7045 M3.5-30	16	0.3	4,8
24	Tornillo de cabeza cilíndrica ISO 7045 M4-20	4	0.3	1,2
25	Tornillo de cabeza cilíndrica ISO 7045 M3-6	8	0.3	2,4
26	Tornillo de cabeza cilíndrica ISO 7045 M3-8	2	0.3	0,6
27	Tornillo de cabeza cilíndrica ISO 7045 M3-14	2	0.3	0,6
28	Motor NEMA17 de 0.4 A y 12 VDC	2	65	130
29	Driver para motor a pasos TB-6560	1	42	42
30	Sensor de fin de carrera RAMPS	4	6	24
31	Sensor de distancia VL53LOX	1	39	39
				1 266,7

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 10-4: Costo de materiales, componentes mecánicos y electrónicos del Subsistema Estructura Soporte

SUBSISTEMA DE ESTRUCTURA SOPORTE				
IT	OBJETO	CANT	PRECIO UNITARIO (S./.)	TOTAL (S./.)
1	Tubo cuadrado de acero ASTM A500 grado A	3	30	90
2	Soporte de pie ajustable A300-M8	4	25	100
3	Plancha de acero galvanizado 2400x1200x1 mm	1	69	69
4	Plancha de acero inoxidable 2400x1200x1 mm	1	385	385
5	Plancha de acrílico 1250x1850x5 mm	1	36	36
6	Foco led cuadrado empotrable	1	15	15
7	Plancha de cristal templado 800x258x5 mm	1	143	143
8	Bisagra para vidrio con retención a 0° y 90° MYSATO	1	68	68
9	Manillón para vidrio tipo H	1	53	53
10	Plancha de madera pino radiata	1	19	19
11	Bisagra de cazoleta recta	1	13	13
12	Tirador Sevilla	1	8	8
13	Arandela plana sin bisel ISO 7089 W5	45	0.2	9
14	Tornillo hexagonal media rosca ISO 4014 M5-45	31	0.5	15,5
15	Arandela partida (Grower) W5	46	0.2	9,2
16	Tuerca hexagonal ISO 4032 M5	44	0.5	22
17	Tornillo hexagonal media rosca ISO 4014 M5-50	2	0.5	1
18	Tornillo hexagonal media rosca ISO 4014 M5-40	13	0.5	6,5
19	Arandela plana sin bisel ISO 7089 W4	3	0.2	0,6
20	Tornillo hexagonal media rosca ISO 4014 M4-40	1	0.5	0,5
21	Arandela partida (Grower) W4	3	0.2	0,6
22	Tornillo de cabeza cilíndrica ISO 7045 M5-20	2	0.3	0,6
23	Arandela plana sin bisel CNS 153 W7.6	2	0.2	0,4
24	Tornillo hexagonal DIN 933 M7-60	2	0.5	1
25	Arandela partida (Grower) W7	2	0.2	0,4
26	Tuerca hexagonal CNS 3128 M7	2	0.5	1
27	Tornillo de cabeza cilíndrica ISO 7045 M4-12	2	0.3	0,6
28	Tornillo avellanado M6-16	4	0.3	1,2
29	Tornillo de cabeza cilíndrica ISO 7045 M5-16	2	0.3	0,6
30	Tornillo de cabeza hueca hexagonal ISO 4762 M4-30	2	0.5	1



IT	OBJETO	CANT	PRECIO UNITARIO (S/.)	TOTAL (S/.)
31	Tuerca hexagonal baja ISO 4035 M4	2	0.5	1
32	Tornillo de cabeza cilíndrica ISO 7045 M3.5-16	4	0.3	1,2
33	Arandela partida (Grower) W3.5	4	0.2	1,2
34	Tuerca hexagonal baja ISO 4035 M3.5	4	0.5	2
35	Tornillo de cabeza cilíndrica ISO 7045 M5-12	2	0.3	0,6
36	Tornillo de cabeza cilíndrica ISO 7045 M4-25	2	0.3	0,6
				1 077,3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 10-5: Costo de materiales, componentes mecánicos y electrónicos del Diseño Integral

DISEÑO INTEGRAL				
IT	OBJETO	CANT	PRECIO UNITARIO (S/.)	TOTAL (S/.)
1	Fuente de alto voltaje SPELLMAN SL3-60	1	11 150	11 150
2	Bomba de infusión KD SCIENTIFIC – KDS 100	1	7 800	7 800
3	Fuente eléctrica conmuta ATX600P8	1	47	47
4	PCB dos capas 85x60 mm	1	8	8
5	Arandela plana sin bisel ISO 7089 W4	15	0.2	3
6	Arandela partida (Grower) W4	15	0.2	3
7	Tuerca hexagonal baja ISO 4035 M4	15	0.5	7,5
8	Tornillo de cabeza cilíndrica ISO 7045 M4-14	4	0.3	1,2
9	Tornillo de cabeza cilíndrica ISO 7045 M4-35	8	0.3	2,4
10	Arandela plana sin bisel ISO 7089 W6	16	0.2	3,2
11	Tornillo hexagonal media rosca ISO 4014 M6-45	8	0.5	4
12	Arandela partida (Grower) W6	8	0.2	1,6
13	Tuerca hexagonal baja ISO 4035 M6	8	0.5	4
14	Arandela plana sin bisel ISO 7089 W3.5	8	0.2	1,6
15	Tornillo de cabeza cilíndrica ISO 7045 M3.5-8	4	0.3	1,2
16	Arandela partida CNS 161 W3.5	4	0.2	0,8
17	Tuerca hexagonal baja ISO 4035 M3.5	4	0.5	2
18	Tornillo de cabeza cilíndrica ISO 7045 M4-30	4	0.3	1,2
19	Tornillo de cabeza cilíndrica ISO 7045 M5-40	4	0.3	1,2
20	Espaciador electrónico hexagonal M3-30	8	0.2	1.6
21	Espaciador electrónico hexagonal M3-10	8	0.2	1.6
22	Espaciador electrónico hexagonal M3-18	15	0.2	3
				19 049,1

Fuente: Elaboración propia.

## 10.2. COSTOS DE MANUFACTURA

El costo de los procesos de manufactura que requieren las diversas piezas que conforman cada uno de los subsistemas de la cabina de electro hilado es de S/. 1550.00. En la *Tabla N° 10-6*, se presenta el conjunto de operaciones que se necesitan realizar para la fabricación de cada pieza y su costo en conjunto. Los valores monetarios presentados, han sido determinados en base a una consulta del costo por hora de trabajo con diferentes equipos tales como: un torno

CNC; una plegadora hidráulica, una amoladora, un equipo oxicorte, un equipo electrógeno y una impresora 3D Ultimaker. El detalle de estos costos se muestra en el Anexo G.

Tabla N° 10-6: Costos de manufactura

ÁREA	PIEZA	PROCESO DE MANUFACTURA	COSTO TOTAL (S./)
SUBSISTEMA DE RECOLECCIÓN	Capa interna del cilindro colector	Cilindrado	90
		Refrentado	
		Fresado de canal chavetero	
	Eje escalonado	Taladrado	90
		Cilindrado	
		Refrentado	
	Plancha soporte superior	Fresado de canal chavetero	60
		Oxicorte	
	Plancha soporte inferior	Taladrado	40
		Corte con sierra metálica	
	Soporte en ángulo para motor Soporte en ángulo para encoder	Doblado de chapa metálica	80
		Soldadura de nervio por arco eléctrico	
Taladrado			
Capa exterior del cilindro colector	Taladrado	25	
Apoyo aislante para chumacera Apoyo aislante para escobilla	Corte con sierra metálica	35	
	Taladrado		
SUBSISTEMA DE POSICIONAMIENTO	Plancha base Placa lateral izquierda – Primer nivel Placa lateral derecha – Primer nivel Plancha base – Segundo nivel Placa lateral izquierda – Segundo nivel	Corte con sierra metálica	350
		Taladrado	
	Placa lateral derecha – Segundo nivel Plancha móvil Plancha niveladora	Taladrado	
		Camisa para tuerca trapezoidal Soporte para aguja-conector	
SUBSISTEMA ESTRUCTURA SOPORTE	Plancha base de la cabina	Fresado	35
		Taladrado	
	Cajón de chapa metálica	Corte con sierra metálica	80
		Doblado de chapa metálica	
		Taladrado	
		Remache	
	Cajón de acrílico – Placa lateral derecha Cajón de acrílico – Placa superior Cajón de acrílico – Placa inferior Cajón de acrílico – Placa lateral izquierda	Corte láser	35
		Taladrado	
	Pared interna derecha-Segundo nivel Pared interna superior-Segundo nivel Apoyo para foco led cuadrado Pared interna inferior- Segundo nivel Pared interna posterior-Segundo nivel Pared interna izquierda-Segundo nivel Marco soporte izquierdo	Corte con sierra metálica	140
		Taladrado	

ÁREA	PIEZA	PROCESO DE MANUFACTURA	COSTO TOTAL (S/.)
SUBSISTEMA ESTRUCTURA SOPORTE	Carcasa externa principal	Corte con sierra metálica	90
		Taladrado	
		Doblado de chapa de metálica	
	Tapón tuerca para soporte nivelador	Oxicorte	60
		Fresado	
		Taladrado	
	Placa soporte inferior	Corte con sierra metálica	15
		Taladrado	
	Plancha de cristal templado	Taladrado	20
	Placa metálica lateral interior Carcasa externa para fuente de alto voltaje Carcasa externa para panel de control Placa base lateral interior	Corte con sierra metálica	75
		Taladrado	
		Troquelado	
	Plancha de madera lateral interior	Corte con sierra metálica	20
		Fresado	
		Taladrado	
Compuerta de madera	Corte con sierra metálica	40	
	Taladrado		
Estructura metálica	Corte con sierra metálica	50	
	Taladrado		
	Soldadura por arco eléctrico		
TOTAL			1 550

Fuente: Elaboración propia.

### 10.3. COSTO DE IMPLEMENTACIÓN

Una vez concluido el proceso de construcción de la cabina de electro hilado, hace falta implementar el programa principal, el cual va determinar la lógica de funcionamiento de cada uno de los subsistemas que conforman la cabina de electro hilado.

La implementación de este programa considera un costo por proyecto, el cual incluye, el desarrollo del código de programación requerido y la puesta en funcionamiento de un panel de control como el mostrado en el capítulo 6. Además, también se considera el alquiler de un ordenador con la capacidad y recursos adecuados para el desarrollo del programa principal.

En conclusión, el costo total de implementación sería de S/. 10 500.00. Cabe mencionar que la capacitación a los usuarios de esta máquina será completamente gratis; asimismo, se les hará entrega de una guía de usuario. El detalle de las actividades que se plantean desarrollar por subsistema se presenta en la *Tabla N° 10-7*.

Tabla N° 10-7: Costo de las actividades de programación

ÁREA	ACTIVIDADES	DURACIÓN	COSTO TOTAL (S/.)
Subsistema de Recolección	Desarrollo de un controlador proporcional integral para las revoluciones por minuto del cilindro colector	3 semanas = 90 horas	4 500
Subsistema de Posicionamiento	Desarrollo de un control on/off para el movimiento de la aguja eyectora tanto en la dirección X como en la dirección Y	1 semana y media = 45 horas	2 250
Subsistema de interacción con el usuario	Desarrollo de un programa de control para los dispositivos de interfaz con el usuario. Desarrollo del programa principal que acopla a cada uno de los programas desarrollados en cada subsistema	2 semanas y media = 75 horas	3 750
<b>TOTAL (S/.)</b>			<b>10 500</b>

Fuente: Elaboración propia.

#### 10.4. COSTO DE DISEÑO

El diseño del sistema mecatrónico para la producción de micro y nano fibras ha tenido una duración de 13 semanas, trabajando 30 horas en cada una de ellas, por lo que en total se han laborado 390 horas. A un costo hora-hombre de S/.15.00, el costo total del diseño sería de S/.5 850.00.

#### 10.5. COSTO TOTAL

En base al detalle de los costos para la construcción e implementación de una cabina de electro hilado que permita producir micro y nano fibras usando la técnica de electro hilado, se ha llegado a la conclusión de que el gasto total sería de aproximadamente S/. 35 754,40 nuevos soles, tal como se muestra en la *Tabla N° 10-8*.

Tabla N° 10-8: Costos totales para la construcción e implementación.

TIPO DE COSTO	MONTO
Costo de materiales y equipos	S/. 23 647,4
Costo de manufactura	S/. 1 550,00
Costo de implementación	S/. 10 500,00
Costo de diseño	S/. 5 850,00
<b>TOTAL</b>	<b>S/. 41 547,40</b>

Fuente: Elaboración propia

## CONCLUSIONES

- Se ha logrado desarrollar por completo un diseño funcional del prototipo de sistema mecatrónico para la producción de micro y nano fibras, el cual va permitir al usuario variar los principales parámetros de producción del método de electro hilado que son: el caudal de inyección de la solución biopolimérica, la velocidad de giro del cilindro colector, el voltaje inducido a la aguja eyectora y su posición con respecto al cilindro colector.
- Se concluye a partir de la información recopilada de documentos académicos y científicos, que los parámetros de producción del método de electro hilado, pueden provocar variaciones en las fibras con respecto a su diámetro, morfología y propiedades mecánicas relacionadas con el tipo de alineamiento entre ellas. Por lo cual, en base a una revisión de la literatura y tomando en cuenta la importancia del rango de valores para cada parámetro de producción, se ha seleccionado una fuente de voltaje que permite trabajar con hasta 60 kV y una bomba de infusión que puede suministrar caudales de hasta 0.006 uL/h, permitiendo al usuario experimentar con valores iguales y mayores a los usados por otros investigadores para producir nanofibras.
- Se concluye que, los mecanismos y el diseño de la estructura tanto del subsistema de posicionamiento, como del subsistema de recolección, van a permitir que la aguja eyectora pueda moverse hasta 30 cm en la dirección X y hasta 17 cm en la dirección Y, mientras que el cilindro colector va poder llegar a revoluciones de hasta 3500 RPM.
- La estructura metálica de toda la máquina, conformada por tubos cuadrados de 30x30x2 mm, ha dado como resultado frente a un análisis de tensión, un factor de seguridad de 3.72, por lo que se concluye que el usuario, tendrá la posibilidad de trabajar con equipos más pesados y de mayor capacidad como por ejemplo: un sistema de posicionamiento que maneje arreglos de hasta 16 agujas eyectoras o un sistema de recolección que use un

cilindro colector más grande, obteniendo como consecuencia una mayor producción de nano fibras por experimento.

- Se ha logrado diseñar un subsistema de interacción con el usuario que permite controlar de forma parcial y total el flujo eléctrico dentro de la máquina mediante interruptores y un botón de emergencia. Asimismo, recibir y mostrar los parámetros de producción mediante módulos display de 7 segmentos y botones, por lo que se concluye que se ofrece al usuario una experiencia segura al momento de realizar experimentos con voltajes de hasta 60 kV, a través de una interfaz amigable y fácil de usar.
- Se concluye que las propiedades físicas y químicas de la solución biopolimérica tales como la viscosidad de la solución y su conductividad eléctrica, van a ser determinadas por el usuario, previo al proceso de electro hilado. Además, parámetros de producción como la temperatura de la solución, humedad y presión dentro de la cabina de electro hilado no van a poder ser controlados, ya que esto excedería la complejidad del diseño y su costo de implementación, dejando de ser un prototipo de bajo costo.
- La construcción e implementación de este sistema mecatrónico tiene un costo aproximado de S/. 41 547,40 soles, con lo cual se concluye que es un equipo de bajo costo en comparación a equipos comerciales orientados para uso en laboratorio con precios de S/. 50 000,00 soles a más. Asimismo, su bajo costo hace más viable su financiamiento a través de programas o fondos del estado que impulsen el desarrollo de estudios y aplicaciones en el área de electrospinning y nanotecnología.

## TRABAJOS FUTUROS

En base a la presente tesis, la cual desarrolla por completo, bajo la norma VDI 2221, el diseño de un sistema mecatrónico de bajo costo para la producción de micro y nano fibras usando la técnica de electro-hilado, se van poder seguir trabajos futuros orientados a la construcción e implementación de cada uno de los subsistemas descritos y desarrollados en este documento.

A continuación, se presentan algunos de los principales trabajos a futuro que pueden desarrollarse, como resultado de esta tesis:

- Construir el armazón metálico de la cabina, en base a tubos cuadrados de 30x30x2 mm.
- Fabricar la carcasa externa haciendo trabajos de doblez y punzonado en chapa de metálica de acero galvanizado de 1 mm de espesor.
- Construir la estructura soporte del subsistema de recolección y el subsistema de posicionamiento usando como materiales polipropileno, acero y aluminio.
- Desarrollar en la plataforma Arduino, un control proporcional-integral para el motor DC M27-150 de la marca AMPFLOW, que permita monitorear y controlar las revoluciones por minuto del cilindro colector.
- Desarrollar en la plataforma Arduino, un programa que permita monitorear y controlar la posición de la aguja eyectora en la dirección X y en la dirección Y, usando como estrategia el lazo de control presentado en el capítulo 5.
- Fabricar el panel de control y hacer el montaje de todos los dispositivos electrónicos de entrada y salida de información, tal como se muestra en el capítulo 6.
- Desarrollar en la plataforma Arduino, el programa principal de todo el sistema, haciendo uso de los programas ya desarrollados para cada subsistema y de esta forma definir la lógica de funcionamiento de toda la máquina, en base a los diagramas de flujo presentados en el capítulo 6.

## BIBLIOGRAFÍA

- Baumgarten, P. K. (1971). Electrostatic spinning of acrylic microfibers. *Journal of Colloid and Interface Science*, 36(1), 71-79.
- Bryce, W., & Gramley, K. (2013). Mas allá de la Electro-hilatura: Producción de nanofibras por fusión. *Textiles Panamericanos*, 97.
- Budynas, R. G., & K., N. J. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. Novena Edición*. México: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Cano C., F., Tornero G., J., & Naik Kardile, A. (2009). Producción de nanofibras a partir de un diseño innovador de máquina prototipo de electrospinning. *Boletín Intexter Del Instituto de Investigación Textil y de Cooperación Industrial*, 195(31), 14-29.
- Chugá Mejía, J. A., & Polanco Salgado, J. R. (2018). *Diseño y construcción de una máquina para la obtención de fibras submicrométricas mediante electrospinning con sistema móvil de inyección y atmósfera controlada*.
- Cross, N. (2008). *Engineering Design Methods. Strategies for product design*. Wiley.
- Deitzel, J. M., Kleinmeyer, J., Harris, D., & Tan, N. C. (2001). The effect of processing variables on the morphology of electrospun nanofibers and textiles. *Polymer*, 42, 261-272.
- Demir, M. M., Yilgor, I., Yilgor, E., & Erman, B. (2002). Electrospinning of polyurethane fibers. *Polymer*, 43, 3303-3309.
- Erencia, M., Macanás, J., & Carrillo, F. (2018). Preparación de soportes biomateriales de naturaleza proteica mediante electrohilatura. *Afinidad*, 75(582), 83-90.
- Fong, H., Chun, I., & Reneker, D. H. (1999). Beaded nanofibers formed during electrospinning. *Polymer*, 40, 4885-4592.
- Hibbeler, R. C. (2011). *Mecánica de materiales, Octava edición*. México: Peason Educación.
- Huamani, E. (2011). *Síntesis y caracterización de nano y microfibras de PVA/PLATA fabricados por la técnica de electrospinning para la descontaminación del agua*.



INDECOPI. (1999). *Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales*.

doi:[https://www.academia.edu/7335638/NORMA\\_T%C3%89CNICA\\_PERUANA\\_Comisi%C3%B3n\\_de\\_Reglamentos\\_T%C3%A9cnicos\\_y\\_Comerciales-INDECOPI](https://www.academia.edu/7335638/NORMA_T%C3%89CNICA_PERUANA_Comisi%C3%B3n_de_Reglamentos_T%C3%A9cnicos_y_Comerciales-INDECOPI)

Jaeger, R., Bergshoef, M. M., Batlle, C. M., Schoenherr, H., & Vansco, G. J. (1998). Electrospinning of ultra thin polymer fibers. *Macromolecular symposia*, 141-150.

Jarusuwannapoom, T., Hongrojjanawiwat, W., Jitjaicham, S., Wannatong, L., Nithitanakul, M. P., C Koombhongse, P., . . . Supaphol, P. (2005). Effect of solvents on electro-spinnability of polystyrene solutions and morphological appearance of resulting electrospun polystyrene fibers. *European Polymer Journal*, 41, 409-421.

Kessick, R., & Tepper, G. (2004). Microscale polymeric helical structures produced by electrospinning. *Applied Physics Letters*, 84(23), 4807-4809.

Kong, L., & Ziegler, G. R. (2012). Role of Molecular Entanglements in Starch Fiber Formation by Electrospinning. *Biomacromolecules*, 1-4.

Kong, L., & Ziegler, G. R. (2013). Quantitative relationship between electrospinning parameters and starch fiber diameter. *Carbohydrate Polymers*, 1416-1422.

Kulpinski, P. (2005). Cellulose nanofibers prepared by the N-methylmorpholine-N-oxide method. *Journal Application Polymer Science*, 1855-1859.

Kurt F., P. M. (2018). *Elementos de Máquinas I*. Lima: Publicaciones PUCP.

Liu, H. Q., & Hsieh, Y. L. (2002). Ultrafine Fibrous Cellulose Membranes from Electrospinning of Cellulose Acetate. *Polymer Physics*, 40(18), 2119-2129.

Liu, H., & Hsieh, Y. L. (2002). Ultrafine fibrous cellulose membranes from electrospinning of cellulose acetate. *Journal Polymer Science*, 2119-2129.

Matthews, J., Wnek, G., Simpson, D., & Bowlin, G. (2002). Electrospinning of Collagen Nanofibers. *Biomacromolecules*, 3, 232-238.

Megelski, S., Stephens, J., Chase, D., & Rabolt, J. (2002). Micro- and Nanostructured Surface Morphology on Electrospun Polymer Fibers. *Macromolecules*, 35(22), 8456-8466.

- Min, B. M., Lee, S. W., Lim, J. N., You, Y., Lee, T. S., Kang, P. H., & Park, W. H. (2004). Chitin and chitosan nanofibers: Electrospinning of chitin and deacetylation of chitin nanofibers. *Polymer*, 7137-7142.
- Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo. (2008, Noviembre 28). *MINTRA*. Retrieved from [www.mintra.gob.pe](http://www.mintra.gob.pe)
- Mit-uppatham, C., Nithitanakul, M., & Supaphol, P. (2004). Ultrafine Electrospun Polyamide-6 Fibers: Effect of Solution Conditions on Morphology and Average Fiber Diameter. *Macromolecular Chemistry and Physics*, 205(17), 2327-2338.
- Noh, H. K., Lee, S. W., Kim, J. M., Oh, J. E., Kim, K. H., Chung, C. P., . . . Min, B. M. (2006). Electrospinning of chitin nanofibers: Degradation behavior and cellular response to normal human keratinocytes and fibroblasts. *Biomaterials*, 3934-3944.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Gorte, K. (2007). *Engineering design: a systematic approach Third Edition*. Springer.
- Park, K. E., Jung, S. Y., Lee, S. J., Min, B.-M., & Park, W. H. (2006). Biomimetic nanofibrous scaffolds: Preparation and characterization of chitin/silk fibroin blend nanofibers. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165-173.
- Park, K. E., Kang, H. K., Lee, S. J., Min, B.-M., & Park, W. H. (2006). Biomimetic nanofibrous scaffolds: Preparation and characterization of PGA/chitin blend nanofibers. *Biomacromolecules*, 635-643.
- Pawlowski, K. J., Belvin, H. L., Raney, D. L., Su, J., Harrison, J. S., & Siochi, E. J. (2003). Electrospinning of a micro-air vehicle wing skin. *Polymer*, 44, 1309-1314.
- Ramakrishna, S., & Fujihara, K. (2005). *An introduction to Electrospinning and Nanofibers*.
- Ramakrishna, S., Fujihara, K., Teo, W., Yong, T., Ma, Z., & Ramaseshan, R. (2006). Electrospun nanofibers: solving global issues. *materialstoday*, 9(3), 40-50.
- Reneker, D. H., Yarin, A. L., Fong, H., & Koombhongse, S. (2000). Bending Instability of Electrically Charged Liquid Jets of Polymer Solutions in Electrospinning. *Applied Physics*, 87(9), 4531-4547.
- Riba, C. (2002). *Diseño Concurrente*. Barcelona: Edicions UPC.

- Rutledge, G. C., Li, Y., Fridrikh, S., Warner, S. B., Kalayci, V. E., & Patra, P. (2000). Electrostatic Spinning and Properties of Ultrafine Fibers, National Textile Center, 2000 Annual Report (M98-D01). *National Textile Center*, 1-10.
- Schiffman, J. D., & Schauer, C. L. (2008). A Review: Electrospinning of Biopolymer Nanofibers and their Applications. *Polymer Reviews*, 317-352.
- Son, W. K., Youk, J. H., Lee, T. S., & Park, W. H. (2004). The effects of solution properties and polyelectrolyte on electrospinning of ultrafine poly(ethylene oxide) fibers. *Polymer*, 45, 2959-2966.
- Teo, W. E., & Ramakrishna, S. (2006). A review on electrospinning design and nanofibre Assemblies. *Nanotechnology*, 17, 89-106.
- TONG LI TECH CO LTD. (2020, Julio Viernes 10). *TONG LI TECH ELECTROSPINNING*. Retrieved from TONG LI TECH ELECTROSPINNING: <https://www.electrospinning.com/TL-OMNI.html>
- Yuan, X., Zhang, Y., Dong, C., & Sheng, J. (2005). Morphology of ultrafine polysulone fibers prepared by electrospinning. *Polymer*.
- Zhang, Y. Z., Huang, Z. M., Xu, X. J., Lim, C. T., & Ramakrishna, S. (2004). Preparation of Core-Shell Structured PCL-r-Gelatin Bi-Component Nanofibers by Coaxial Electrospinning. *Chemistry of Materials*, 16(18), 3406-3409.
- Zhao, S. L., Wu, X. H., Wang, L. G., & Huang, Y. (2004). Electrospinning of ethyl-cyanoethyl cellulose/tetrahydrofuran solutions. *Applied Polymer Science*, 91(1), 242-246.
- Zhong, X. H., Kim, K. S., Fang, D. F., Ran, S. F., Hsiao, B. S., & Chu, B. (2002). Structure and process relationship of Electrospun bioabsorbable nanofiber membranes. *Polymer*, 43, 4403-4412.

# ANEXOS



## ANEXO A: ANTECEDENTES DEL DISEÑO

### METODOLOGÍA VDI 2221

Los 7 pasos de la estructura de diseño según la norma VDI 2221, pueden agruparse en cuatro etapas básicas: definición del producto, diseño conceptual, diseño preliminar y diseño definitivo, tal como se muestra en la *Figura A1* (Riba, 2002). En la *Tabla A1*, se describen más a detalle cada una de las etapas básicas.

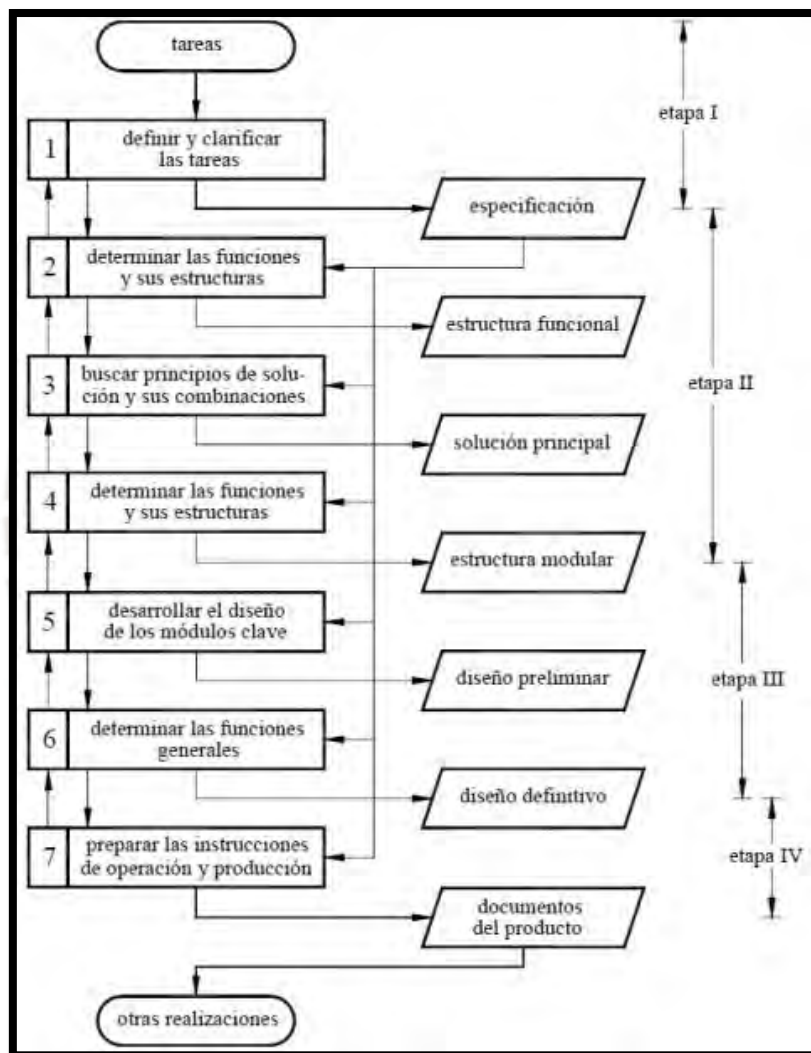


Figura A1: Estructura de diseño según la norma VDI 2221.

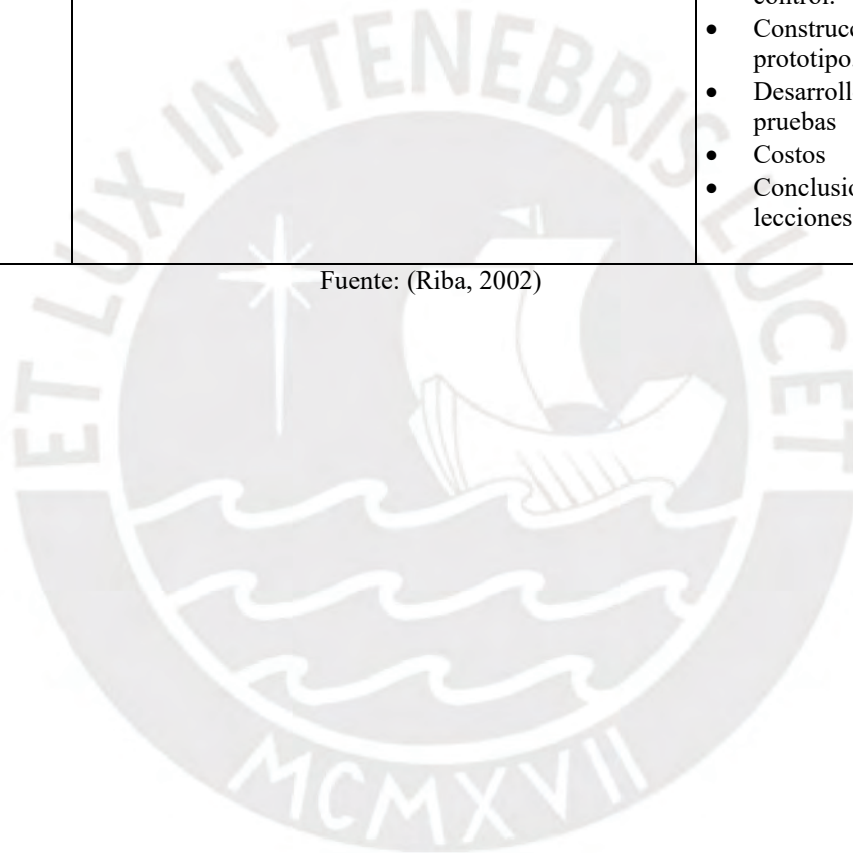
Fuente: (Riba, 2002)

Tabla A1: Etapas y resultados que comprende la norma VDI 2221

ETAPAS BÁSICAS	Norma VDI 2221	Resultados
ETAPA 1 DEFINICIÓN DEL PRODUCTO	<p>Paso 1: Se recoge y toma en consideración los requerimientos del cliente y se traduce estos requerimientos en especificaciones técnicas</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lista de requerimientos</li> </ul>
ETAPA 2 DISEÑO CONCEPTUAL	<p>Paso 2: Desarrollo de la estructura de funciones en base a los requerimientos técnicos. Se identifica la función principal de la máquina y se la divide en sub funciones hasta tener una perspectiva detallada de la acción que va desempeñar cada posible mecanismo, actuador o controlador</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estructura de funciones</li> <li>• Matriz morfológica</li> <li>• Concepto de solución integral</li> <li>• División de la máquina en sub módulos</li> <li>• Evaluación técnico-económica</li> </ul>
	<p>Paso 3: Se proponen como mínimo tres portadores de funciones (o principios de solución) para cada función, con bosquejos que muestren su forma y funcionamiento.  Se combinan los diferentes portadores de funciones para formar la matriz morfológica con 3 conceptos de solución integral de toda la máquina  Se escoge el concepto de solución más eficiente y de menor complejidad de la matriz morfológica en base a una evaluación técnico-económica.</p>	
ETAPA 3 DISEÑO PRELIMINAR	<p>Paso 4: Se divide el sistema integral de la máquina en módulos realizables que faciliten el proceso de diseño y las etapas posteriores del producto (mantenimiento, adaptabilidad, futuras modificaciones). Se define la distribución preliminar de los componentes, y sus posibles dimensiones.</p> <p>Paso 5:  Desarrollar el diseño de los módulos seleccionados en la etapa previa.  Simulación de las soluciones con prototipos o haciendo uso de programas que permitan evaluar la durabilidad y fiabilidad de los componentes.  Cálculos mecánicos y eléctricos con asistencia de programas de diseño.  Se determinarán los procesos de fabricación para las piezas elegidas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño de la máquina mediante un programa asistido por computadora.</li> <li>• Planos de conjunto o esquemas de configuración</li> <li>• Cálculos mecánicos y eléctricos</li> <li>• Selección de sensores, actuadores y controladores.</li> <li>• Lista de posibles piezas</li> <li>• Documentación de las opciones descartadas</li> </ul>
	<p>Paso 6: Determinar las funciones generales. Se definirán los diagramas de operaciones.</p>	

ETAPAS BÁSICAS	Norma VDI 2221	Resultados
ETAPA 4 DISEÑO DEFINITIVO	<p>Paso 7:</p> <p>Preparar las instrucciones de operación y producción.</p> <p>Se establecen las dimensiones y formas de todos los componentes.</p> <p>Se definen los materiales y sus procesos de producción.</p> <p>Se establecen las estrategias de control para las variables a monitorear.</p> <p>Se definen las conexiones eléctricas.</p> <p>Evaluación de costos totales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arquitectura de hardware</li> <li>• Lista de piezas y materiales</li> <li>• Lista de sensores y actuadores</li> <li>• Planos de montaje</li> <li>• Planos de soldadura</li> <li>• Diagramas de circuitos de potencia</li> <li>• Diagrama de circuitos eléctricos y electrónicos para la automatización y control.</li> <li>• Construcción de prototipo.</li> <li>• Desarrollo de pruebas</li> <li>• Costos</li> <li>• Conclusiones y lecciones aprendidas.</li> </ul>

Fuente: (Riba, 2002)



## ANEXO B: MARCO TEÓRICO Y ESTADO DE LAS TECNOLOGÍAS PRINCIPALES PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN DEL MÉTODO DE ELECTRO HILADO

### Peso molecular y viscosidad de la solución

El peso molecular del polímero que se quiera someter al método del electro hilado es directamente proporcional al largo de las cadenas poliméricas de esta sustancia y esta característica es la que determina la viscosidad de una solución, ya que si las cadenas poliméricas son más largas los enredos entre ellas harán que la solución sea más o menos viscosa. La continuidad del chorro con las micro o nano fibras a la salida de la aguja eyectora se determina por la viscosidad de la solución.

Muchos experimentos (Megelski et al. 2002) (Fong et al. 1999) han demostrado que una baja viscosidad en la solución polimérica produce cúmulos en las micro o nano fibras que se producen, mientras que conforme aumenta la viscosidad de la solución los cúmulos desaparecen y se obtiene una fibra continua y sin cúmulos como se ve en la *Figura B1*.

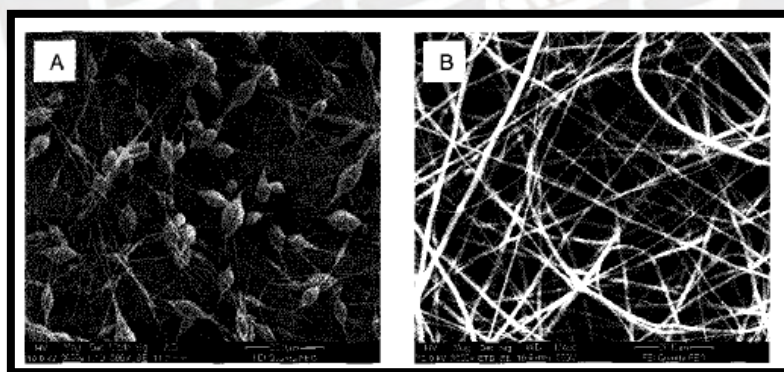


Figura B1: Fibras de policaprolactona por electro hilado con cúmulos a una concentración de A) 0.1 g/mL y B) 0.12 g/mL.

Fuente: (Ramakrishna & Fujihara, 2005)

Lo que sucede en realidad es que, si la solución tiene una baja viscosidad, la fuerza producida por la tensión superficial propia de los líquidos será mayor a la fuerza electrostática del campo eléctrico, lo cual hará que no se puedan estirar por completo las gotas de la solución polimérica



a la salida de la aguja eyectora. Otro efecto de aumentar la viscosidad es que el diámetro de las fibras se incrementa (Megelski et al. 2002) (Fong et al. 1999).

### Tensión superficial

El proceso de electrohilado ocurre solo si las cargas eléctricas sobre la solución vencen a las fuerzas de tensión superficial. La tensión superficial tiene el efecto de reducir el área de superficie por unidad de masa de un fluido, por cual cuando hay una gran cantidad de moléculas de solvente libres en la solución, estas moléculas tienden a juntarse y adoptar formas esféricas produciendo cúmulos de solvente en las micro y nano fibras.

Una alta viscosidad significa que hay una gran interacción entre las moléculas del polímero y el solvente. Como resultado cuando la solución es estirada bajo la influencia del campo eléctrico las moléculas del solvente tienden a extenderse sobre las cadenas poliméricas del polímero como se ve en la *Figura B2*, de tal forma que se impide que estas moléculas del solvente se congreguen y adopten formas esféricas (Ramakrishna & Fujihara, An introduction to Electrospinning and Nanofibers, 2005).

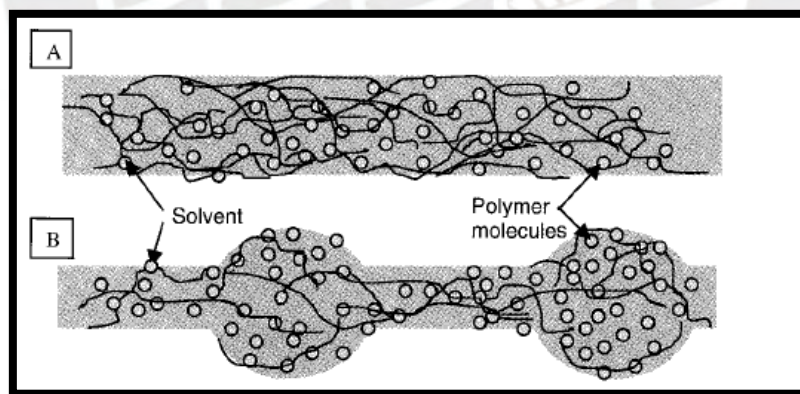


Figura B2: A) Alta viscosidad, las moléculas del solvente se distribuyen sobre los enredos de las cadenas poliméricas - B) Baja viscosidad, las moléculas del solvente tienden a congregarse bajo la acción de la tensión superficial.

Fuente: (Ramakrishna & Fujihara, 2005)

Una forma de mejorar la morfología de las fibras que se producen es usar solvente de baja tensión superficial como el etanol, el cual promueve la producción de fibras lisas (Fong et al. 1999). Otra forma de reducir la tensión superficial es agregar un surfactante con lo cual de producen fibras más lisas y de una mejor morfología.

### Conductividad de la solución

El estiramiento de la solución polimérica es causado por la repulsión de las cargas en la superficie de la solución (fuerza electrostática), de tal manera que si la conductividad de la solución aumenta mayor cantidad de cargas podrán ser transportadas a la salida de la aguja eyectora y de esta forma la fuerza electrostática aumentara, lo que a su vez incrementará el estiramiento de la solución polimérica e impedirá que se formen cúmulos en las fibras.

Se puede aumentar la conductividad de la solución añadiendo iones. La mayoría de las drogas y proteínas forman iones al disolverse con agua o también puede agregarse una sal a la solución con lo cual aumentan las cargas eléctricas (Zhong et al. 2002).

### Efecto dieléctrico del solvente

La constante dieléctrica del solvente tiene una significativa influencia en las fibras por electrohilado. Una solución con una gran propiedad dieléctrica reduce la formación de cúmulos y produce fibras de diámetros más pequeños (Son et al.2004).

### Temperatura

Poder variar la temperatura de la solución polimérica tiene dos efectos: incrementar la tasa de evaporación del solvente y reducir la viscosidad de la solución. Al incrementar la temperatura se incrementa la movilidad de las moléculas del polímero con lo cual las fuerzas de Coulomb que estiran la solución también aumentan; sin embargo, aumentar la temperatura a soluciones con proteínas o enzimas puede hacer que pierdan su funcionalidad (Demir et al. 2002) (Mittupatham et al. 2004).

### Humedad del ambiente

La humedad del ambiente también tiene efecto en la formación de las micro o nano fibras. A una alta humedad el agua del ambiente se condensa en la superficie de las fibras y como resultado su morfología es afectada, especialmente con polímeros disueltos en solventes volátiles (Megelski et al. 2002).

Experimentos usando polisulfone (PS) disuelto en tetrahydrofuran (THF) y a una humedad menor al 50 % muestra fibras con una superficie lisa, pero a medida que la humedad aumenta durante el proceso de electro hilado se van formando poros circulares en la superficie de las fibras (Baumgarten, 1971) (Bryce & Gramley, 2013) (Cano C. et al. 2009). El diámetro de estos poros va aumentando conforme aumenta la humedad hasta que se unen para formar estructuras grandes de forma no uniforme como se muestra en la *Figura B3*.

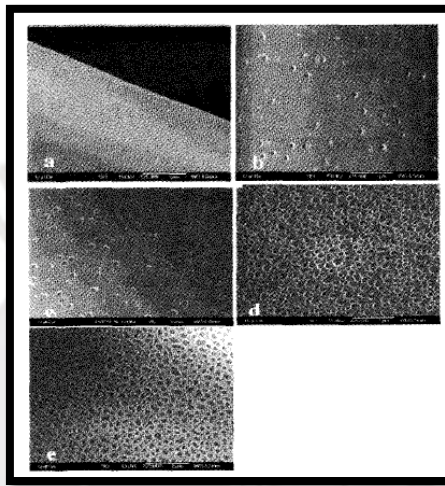


Figura B3: FESEM micrografía de 190 000 g/mol de fibras de polisulfone con tetrahydrofuran variando la humedad del ambiente de electro hilado a) <25%, b) 31-38%, c) 40-45%, d) 60-72%.

Fuente: (Ramakrishna & Fujihara, 2005)

La humedad en el ambiente también determina la tasa de evaporación del solvente en la solución. A una baja humedad solventes volátiles pueden secar rápidamente. Si esto sucede la evaporación del solvente puede ser más rápida que la extracción del solvente de la aguja por las fuerzas electrostáticas, reduciendo el tiempo del proceso de electro hilado a unos pocos minutos antes de que el orificio de salida de obstruya (Baumgarten, 1971) (TONG LI TECHNO LTD, 2020).

### **TIPOS DE COLECTOR ROTATORIO Y SUS EFECTOS EN LAS FIBRAS**

La manera en la que actualmente se ha optimizado el proceso de alineamiento de las fibras consiste en usar colectores rotatorios con formas derivadas de un cilindro tales como: cilindro de alambres paralelos o discos como se ven en la *Figura B4*.

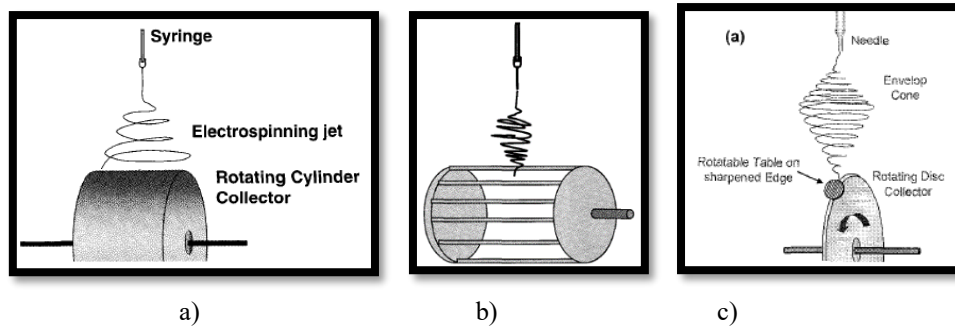


Figura B4: a) Cilindro colector rotatorio, b) Cilindro rotatorio de alambres paralelos, c) Disco colector rotatorio.  
Fuente: (Ramakrishna & Fujihara, 2005)

### Cilindro colector rotatorio

En el caso del cilindro colector para mejorar el alineamiento de las fibras se introduce un electrodo de potencial negativo por el eje de giro de este, de tal forma que la punta del electrodo se alinee verticalmente a la punta de la jeringa eyectora de las micro o nano fibras como se muestra en la *Figura B5*, extraída el libro *Introduction to Electrospinning and Nanofibers*.

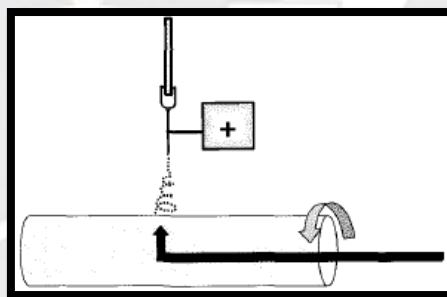


Figura B5: Cilindro colector rotatorio con electrodo insertado para controlar la dirección de deposición de las fibras.  
Fuente: (Ramakrishna & Fujihara, 2005)

Sin embargo, la distancia entre el electrodo dentro del cilindro rotativo y la jeringa no debe ser mayor a 3cm, para que el electrodo pueda alterar las líneas de campo eléctrico que hacen posible alinear las fibras alrededor de la superficie del cilindro. Este método de recolección de fibras puede ser no recomendable cuando se usa un solvente poco volátil para disolver el polímero, ya que es en el camino entre la aguja inyectora y el cilindro que el solvente se evapora.

### Cilindro colector rotatorio de alambres alineados

En el caso de usar un cilindro colector de alambres alineados como se en la *Figura B6*, según los reportes de experimentos descritos en el libro *Introduction to Electrospinning and*

*Nanofibers*, la velocidad promedio de giro debe ser de 100 RPM, con lo cual se obtienen fibras mejor alineadas que en el caso anteriormente descrito; sin embargo, esto solo puede hacerse durante aproximadamente los 15 primeros minutos ya que luego de esto se pierde la alineación debido a la acumulación de nano fibras. La mejor alineación entre fibras que se obtiene por este método puede deberse al perfil de campo eléctrico producido por los cables paralelos con espacios entre ellos (Ramakrishna & Fujihara, 2005).



Figura B6: Cilindro colector rotatorio de alambres paralelos.  
Fuente: (TONG LI TECH CO LTD, 2020)

### **Disco colector rotatorio**

De los casos anteriores se muestra que es posible guiar el camino de las micro o nano fibras que se forman en la punta de la aguja hacia el colector alterando el perfil del campo eléctrico. Usando como colector un disco como el que se ve en la *Figura B7*, es posible concentrar y dirigir las líneas de campo eléctrico hacia el filo del disco colector con lo cual se obtiene un excelente alineamiento de las fibras. A sido demostrado que las nanofibras de óxido de polietileno con diámetro alrededor de 100 nm a 400nm pueden alinearse al filo del disco con un paso entre fibras de 1 a 2  $\mu\text{m}$  (Ramakrishna & Fujihara, 2005). El paso es causado por la repulsión de las fibras que se depositan en el filo del disco y la velocidad de rotación para obtener el alineado antes mencionado fue de 1000 RPM.



Figura B7: Disco colector rotatorio.  
Fuente: (TONG LI TECH CO LTD, 2020)

### **Electrodo auxiliar para mejorar la recolección de micro o nano fibras**

En el proceso de electro-hilado es posible controlar el camino que siguen los chorros de micro o nano fibra a la salida de la aguja eyectora, para lo cual se puede hacer uso de un electrodo auxiliar cargado con un voltaje negativo de tal forma el campo eléctrico se extienda desde el punto positivo que es la aguja hasta estos electrodos auxiliares. Una aplicación de estos electrodos auxiliares mencionados en el libro *Introduction to the Electrospinning and Nanofibers*, es el de un arreglo vertical de tiras conductoras paralelas o barras paralelas con filo de cuchilla, ubicadas detrás de un cilindro colector normal como se ve en la *Figura B8*, de tal forma que las fibras que recoge el cilindro giratorio tienen una mejor alineación y la velocidad de rotación puede ser menor a 1000 rpm.

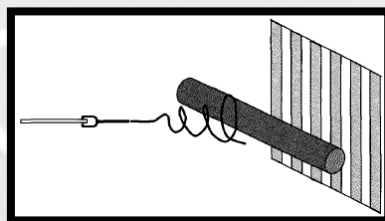


Figura B8: Tubo colector rotatorio con electrodos auxiliares detrás.  
Fuente: (Ramakrishna & Fujihara, 2005)

### **Colector conductor de placas paralelo**

Como se mencionó antes la manera en la que se puede lograr que las fibras se alineen es manipulando de alguna manera las líneas del campo eléctrico. La idea de este colector consiste en posicionar dos placas paralelas de las mismas dimensiones con un espaciado entre ellas, debajo de la aguja eyectora y conectarlas ambas a la tierra del circuito. Lo que sucede con esta configuración de colectores es que las líneas de campo eléctrico se concentran en los bordes de

las placas colectoras como se ve en la *Figura B9*, y se alinean una al lado de otra debido a que cada fibra se carga negativamente y repele a la siguiente fibra de tal forma que se obtienen fibras paralelas con una distribución relativamente uniforme (Ramakrishna & Fujihara, 2005).

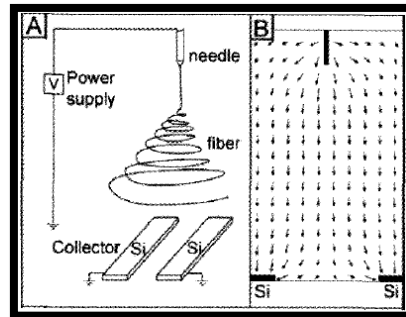


Figura B9: Colector conductor de placas paralelas.  
Fuente: (Ramakrishna & Fujihara, 2005)

## INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA OBTENER NANOFIBRAS A PARTIR DE BIOPOLÍMEROS, USANDO EL MÉTODO DE ELECTRO HILADO

A partir del artículo científico publicado por (Schiffman & Schauer, 2008), sobre el proceso de electro hilado y las fibras obtenidas a partir de biopolímeros como la celulosa y quitina, se muestra un resumen de los principales hallazgos.

### Celulosa:

La celulosa es el polímero natural renovable, biodegradable y más abundante. Es un biopolímero lineal polidispersado de unidades de poli- $\beta$ (1,4)-D-glucosa con una configuración asintotática. Debido a los fuertes enlaces de hidrógeno intra e inter moleculares, la celulosa no se disuelve en solventes comunes; sino solo en dimetil sulfóxido/paraformaldehído o dióxido de azufre. Sin embargo, estos solventes no son adecuados para el proceso de electro hilado. Es por esta razón que es común usar derivados de la celulosa que, si pueden disolverse en solventes comunes, pero con desventajas como la reducción de la estabilidad y la degradación acelerada de la estructura de la celulosa.

En el 2005 Kulpinski utilizando como solvente NMMO (óxido N-metilmorfolina) y celulosa mercerizada al 2%, obtuvo fibras electro hiladas con diámetros entre 200 a 400 nm, y con algunas fibras que alcanzaron hasta 700 nm (Kulpinski, 2005).

(Jaeger et al. 1998) electro hiló una solución de acetato de celulosa que resultó en fibras con diámetros de entre 100 a 1000 nm. Además, para obtener este tipo de fibras, se usaron diferentes valores de voltaje en un rango de 5 a 18 kV y con respecto a la distancia de la aguja al colector, esta varió de entre 6 a 13 pulgadas.

En base a las inconsistencias en la morfología de estas fibras otro grupo de investigadores Liu y Hsieh en el 2002 (citar) usó ácido acético y dimetilacetamida como solventes ya que el acetato de celulosa solo se disuelve en líquidos con parámetros de solubilidad de Hildebrand de entre 9.5 y 12.5 (cal/cm<sup>3</sup>). Combinar estos solventes con el acetato de celulosa produjo fibras más consistentes con diámetros que variaron entre 100 nm a 1 um (Liu & Hsieh, 2002).

### **Quitina:**

Después de la celulosa, la quitina es el material orgánico más abundante producido por biosíntesis. Este biopolímero neutralmente cargado es soluble en 1,1,1,3,3,3- hexafluoro-2-propanol (HFIP), hexafluoroacetona y cloroalcoholes en combinación con soluciones acuosas de ácidos minerales. En la *Tabla B1*, que se muestra a continuación, se presentan las condiciones de operación de todos los procesos de electro hilado realizados con quitina y con soluciones que tienen quitina. Se muestra información sobre el peso molecular (MW), grado de desacetilación (DD), solvente, requisitos especiales de procesamiento y parámetros de producción del proceso de electro hilado.



Tabla B1: Condiciones de operación para el proceso de electro hilado de quitina y de soluciones que contienen quitina

Polymer(s)	MW	DD	Solvent	Processing	Conditions
Chitin	910 k	8%	HFIP	Chitin irradiated mixed 3 days	15 kV, 7 cm
Chitin	920 k	8%	HFIP	Chitin irradiated mixed 20 days	17 kV, 7 cm
Practical grade chitin		9%	HFIP	Mixed 3–4 days	24 kV, 6 cm, 1.2 mL/h
Chitin/PGA	91 k	8%	HFIP	Chitin irradiated	17 kV, 7 cm, 4 mL/h
Chitin/SF	91 k	8%	HFIP	Chitin irradiated silk dissolved in CaCl <sub>2</sub> /EtOH/H <sub>2</sub> O	17 kV, 7cm, 4 mL/h

Fuente: (Min et al. 2004) (Noh et al. 2006) (Park, Kang, Lee, Min, & Park, 2006) (Park, Jung, Lee, Min, & Park, 2006)

Park utilizó irradiación para facilitar la disolución de la quitina. Sin embargo, al hacerlo, hubo una disminución en el peso molecular (MW) del polímero. Se analizaron las fibras producidas utilizando un microscopio de fuerza atómica (SEM), y las fibras tenían un diámetro máximo y mínimo de 460 y 50 nm, con un diámetro promedio de 163 nm. (Min et al. 2004)

Schiffman produjo fibras por el método de electro hilado con quitina de grado práctico usando 1,1,1,3,3,3- hexafluoro-2-propanol (HFIP) como solvente. En la *Figura B10*, se muestra un histograma con la distribución de los diámetros de las fibras obtenidas. Para hallar estos resultados se usó un electrón de exploración de emisión de campo Zeiss Supra 50/VP microscopio (FESEM) con el cual se pudo promediar 50 diámetros de fibra aleatorios, y hallar el máximo y mínimo diámetro que fueron de 391 y 41 nm respectivamente. La media del diámetro de las fibras obtenidas fue de 152 +/- 70 nm que está dentro de los hallazgos de Park (Schiffman & Schauer, 2008).

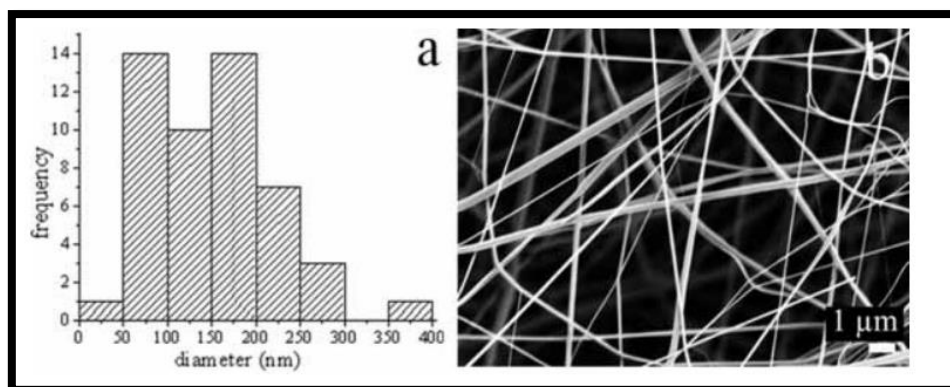


Figura B10: Histograma de la distribución de los diámetros de las fibras obtenidas.  
Fuente: (Ramakrishna & Fujihara, 2005)

Por otro lado, según Kong y Ziegler han documentado los efectos de variar los parámetros de producción en el proceso de electro hilado usando una solución biopolimérica en base al almidón Hylon VII; ha permitido establecer una relación matemática cuantitativa entre los parámetros de producción del proceso de electro hilado y el diámetro de las fibras (Kong & Ziegler, 2013).

Kong y Ziegler en su artículo “Relación cuantitativa entre los parámetros de electro hilado y el diámetro de las fibras de almidón”; señala que se realizaron experimentos variando 4 parámetros que son: la concentración de almidón en la solución, el voltaje aplicado a la aguja, la distancia entre colector y aguja y la velocidad del caudal de salida de la solución polimérica. Dentro de los resultados de los experimentos que se van a mostrar se identificaron dos combinaciones extremas como condiciones no operativas según experimentos previos. La primera combinación fue de una concentración del 10 % de almidón en la solución, voltaje de 6 kV, distancia entre colector y aguja de 8 cm y caudal de salida de 2 mL/h. La segunda combinación fue de una concentración del 15% de almidón, voltaje de 10 Kv, distancia entre colector y aguja de 5 cm y caudal de salida de 4 mL/h (Kong & Ziegler, 2013).

Se realizaron 30 experimentos de los cuales 18 ejecuciones produjeron buenas fibras; es decir, fibras continuas y con pocos cúmulos o gotas de solución. El diámetro de las fibras abarcó desde 3.35 um hasta 12.16 um. Los resultados de muestran en la *Tabla B2*.

Tabla B2: Resultado de los 30 experimentos realizados con Hylon VII sometido al proceso de electro hilado.

Run <sup>a</sup>	Trial <sup>b</sup>	Feed rate (ml/h)	Spinning distance (cm)	Voltage (kV)	Starch concentration (% w/v)	Diameter (μm)	SD <sup>c</sup>	Fiber evaluation <sup>d</sup>
1	12	3.2	5	8.4	10	10.38	2.21	++
2	20	2	6.5	10	12.5	9.56	3.57	++
3	4	4	7.4	10	10	4.74	2.54	+
4	19	3	8	8	15	16.34	5.30	+
5	7	3.6	8	10	10	3.64	1.69	-
6	3	4	7.4	6	15	12.09	3.96	++
7	5	4	8	7.6	12	8.33	3.33	+
8	15	2	5	10	11	12.84	3.02	+
9	13	2	5	6.8	15	21.18	4.97	-
10	18	4	8	8.4	13	8.84	2.40	++
11	3	4	7.4	6	15	12.16	3.56	++
12	2	4	5	6	10	7.81	3.86	++
13	1	2	5	6	15	21.79	7.92	-
14	9	2.8	5	6	12	9.15	3.03	++
15	14	4	5.6	6	10	11.18	4.11	+
16	22	4	8	10	10	4.12	2.72	-
17	6	2	8	10	14	11.11	2.42	++
18	2	4	5	6	10	8.06	3.52	++
19	10	3	6.5	8	12.5	4.70	2.00	++
20	23	2	7.4	10	15	13.24	5.68	-
21	25	3.2	8	10	13	8.99	2.01	++
22	8	3.8	8	6	14.5	4.43	1.41	++
23	21	4	5	6	11	10.93	3.11	++
24	24	2.8	6.8	6	15	12.14	4.06	++
25	17	2	6.8	7.6	15	22.35	6.37	-
26	16	2.8	6.8	10	10	3.35	1.43	++
27	11	2	5	9.2	10	10.39	1.96	++
28	1	2	5	6	15	20.56	8.41	-
Validation runs <sup>e</sup>								
29	26	3	6	7	10	7.40	2.13	++
30	27	4	5.5	8	10.5	5.66	1.67	++
31	28	3	6.5	7	13.5	9.26	2.16	++
32	29	3.5	6	10	11.5	10.95	1.75	++
33	30	2.8	7.5	7.5	14.5	9.64	2.00	++

Fuente: (Kong & Ziegler, 2013)

A partir de los experimentos realizados en esta investigación se llegó a definir una ecuación matemática en base a los parámetros de producción de distancia entre colector y aguja, voltaje suministrado y la concentración de almidón en la solución. Según este modelo (*ver Figura B11*) el diámetro de fibra más pequeño que se puede obtener es de 3.98 μm con una combinación de 10 % de concentración de almidón en la solución, un caudal de salida de 2.8 ml/h, un voltaje de 10 Kv y una distancia entre colector y aguja de 6.8 cm.

$$\begin{aligned} \text{Diameter} = & 165.924 - 2.465 \times \text{Distance} - 6.475 \times \text{Voltage} \\ & - 24.825 \times \text{StarchConc} - 1.13 \times \text{Distance} \times \text{Voltage} \\ & - 2.25 \times \text{Distance} \times \text{StarchConc} + 1.22 \times \text{Voltage} \\ & \times \text{StarchConc} + 2.38 \times \text{Distance}^2 + 1.32 \times \text{StarchConc}^2 \end{aligned}$$

Figura B11: Modelo matemático para aproximar el diámetro de las fibras producidas por electro hilado en base a 30 experimentos realizados.

Fuente: (Kong & Ziegler, 2013)

## ANEXO C: DISEÑO CONCEPTUAL

### BLACK BOX

#### Entradas

- **Jeringa con solución biopolimérica:** Esta es la única entrada de tipo materia con características de temperatura y concentración que van a ser definidas por el usuario.
- **Señal de encendido:** Señal que permite el flujo de energía eléctrica a todos los módulos de la máquina.
- **Señal de caudal:** Señal que determina el volumen y la velocidad de salida de la solución biopolimérica en la aguja eyectora.
- **Señal de posición de la aguja eyectora:** Señal que determina la posición de la aguja eyectora con respecto al colector de tipo tambor rotatorio.
- **Señal de suministro de voltaje:** Señal que determina el voltaje que se le va aplicar a la aguja eyectora.
- **Señal de velocidad de rotación del colector:** Señal que determina las revoluciones por minutos a las que va girar el colector tipo tambor rotatorio.
- **Señal de inicio:** Señal que va dar inicio al movimiento de barrido del sistema de posicionamiento y al giro del cilindro colector.
- **Señal de parada de emergencia:** Señal que desenergiza todos los sistemas de la máquina.
- **Señal de alumbrado interior:** Señal que enciende o apaga las luminarias dentro de la cámara de electro hilado.
- **Energía eléctrica:** Es la energía que permite el funcionamiento de todos los sistemas.

#### Salidas

- **Micro o nano fibras:** Materia que se obtiene como resultado del proceso de electro hilado
- **Señal de equipo encendido:** Señal que comunica al usuario que todos los sistemas están energizados.

- **Señal de fin de carrera de la bomba de inyección:** Señal que comunica al usuario el final del proceso de electro hilado ya que no se cuenta con solución biopolimérica en la aguja eyectora.
- **Señal de posición de la aguja eyectora:** Señal que muestra al usuario en qué posición se encuentra la aguja eyectora con respecto al colector de tipo tambor rotatorio.
- **Señal de estado de puerta:** Señal que comunica al usuario si la puerta del nivel superior de la cámara de electro hilado está abierta o cerrada.
- **Señal de velocidad de rotación del colector:** Señal que indica al usuario a cuantas revoluciones por minutos está girando el colector de tipo tambor rotatorio.
- **Señal de suministro de voltaje:** Señal que indica el voltaje que se está aplicando a la aguja eyectora.
- **Señal de caudal:** Señal que indica cual es el caudal a la salida de la aguja eyectora.
- **Señal de estado del proceso:** Señal que comunica al usuario si el sistema de recolección, el sistema de eyección o el sistema generador de alto voltaje están en funcionamiento.
- **Energía mecánica:** Es la energía que produce el movimiento lineal y giratorio de colector tipo tambor rotatorio.
- **Energía lumínica:** Es la energía que se desprende como resultado de encender las luminarias al interior de la cámara de electro hilado.

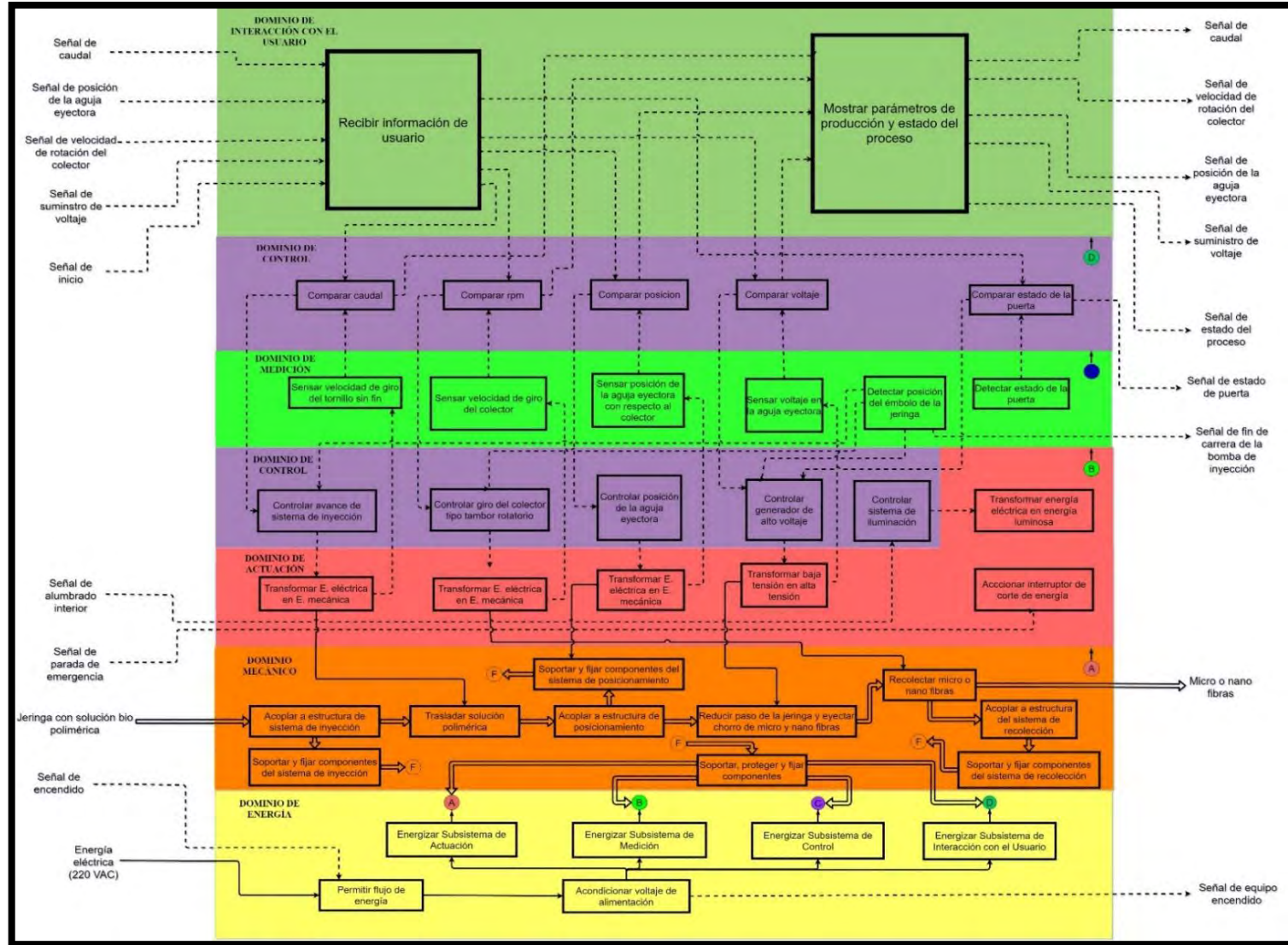

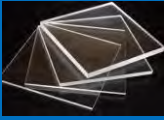

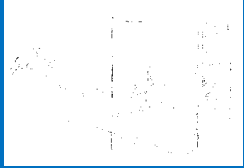
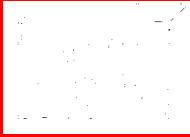


















Figura C1: Estructura de funciones.  
Fuente: Elaboración propia.




















Tabla C1: Matriz morfológica – Alternativas de solución



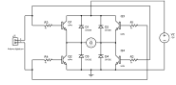


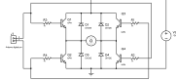













DOMINIO MECANICO			
FUNCIÓN PARCIAL	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
Sujetar jeringa	<b>Estribo de jeringa</b> 	<b>Abrazadera</b> 	<b>Soporte ajustable para ejes</b> 
Trasladar solución polimérica	<b>Manguera de hule</b> 	<b>Tubo de silicona</b> 	<b>Tubo de PVC flexible</b> 
Acoplar a estructura de posicionamiento	<b>Abrazadera</b> 	<b>Nuez con pinza</b> 	<b>Soporte ajustable para ejes</b> 
Reducir paso de la jeringa y eyectar chorro de micro y nano fibras	<b>Aguja removible de punta plana para bombas de inyección</b> 	<b>Aguja de jeringa simple punta roma</b> 	<b>Aguja metálica con rosca de sujeción Luer Lock para bombas de inyección</b> 
Recolectar micro o nano fibras	<b>Colector de tipo tambor rotatorio</b> 	<b>Colector tipo placa metálica.</b> 	<b>Colector tipo disco rotatorio</b> 
Acoplar a estructura del sistema de recolección	<b>Chumacera de piso</b> 	<b>Brida con rodamiento radial</b> 	<b>Acople rígido quijada</b> 
Soportar y fijar componentes del sistema de inyección	<b>Estructura de una bomba de infusión</b> 	<b>Elevador de tornillo sin fin adaptado</b> 	
Soportar y fijar componentes del sistema de posicionamiento	<b>Máquina cartesiana</b> 	<b>Máquina CNC casera</b> 	




FUNCIÓN PARCIAL	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
Soportar y fijar componentes del sistema de recolección	<p>Plancha de poliamida (DURALON)</p> 	<p>Plancha de Plexiglás (acrílico)</p> 	<p>Plancha de poliestireno expandido</p> 
Soportar, proteger y fijar componentes	<p>Boceto de una cámara de acrílico</p> 	<p>Boceto de una cámara hermética de acero al carbono</p> 	<p>Boceto de un gabinete de acero al carbono</p> 
<b>DOMINIO DE ENERGÍA</b>			
FUNCIÓN PARCIAL	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
Permitir flujo de energía	<p>Interruptor ON / OFF</p> 	<p>Botonera ON/OFF</p> 	<p>Interruptor de leva</p> 
Acondicionar voltaje de alimentación	<p>Fuente eléctrica conmutada</p> 	<p>Fuente de alimentación lineal</p> 	<p>Convertor AC/DC</p> 
Energizar subsistema de actuación	<p>Regulador de voltaje lineal DC</p> 	<p>Regulador de voltaje conmutado DC</p> 	<p>Regulador de voltaje lineal- valor único de voltaje a la salida</p> 
Energizar subsistema de medición	<p>Regulador de voltaje lineal DC</p> 	<p>Regulador de voltaje conmutado DC</p> 	<p>Regulador de voltaje lineal- valor único de voltaje a la salida</p> 
Energizar subsistema de control	<p>Regulador de voltaje lineal DC</p> 	<p>Regulador de voltaje conmutado DC</p> 	<p>Regulador de voltaje lineal- valor único de voltaje a la salida</p> 



FUNCIÓN PARCIAL	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
Energizar subsistema de interacción con el usuario	Regulador de voltaje lineal DC 	Regulador de voltaje conmutado DC 	Regulador de voltaje lineal- valor único de voltaje a la salida 
<b>DOMINIO DE INTERACCIÓN CON EL USUARIO</b>			
FUNCIÓN PARCIAL	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
Recibir información de usuario	Teclado matricial 	Módulo bluetooth 	Pantalla táctil 
Mostrar parámetros de producción y estado del proceso	Pantalla RGB a colores 	Display de 7 segmentos 	Pantalla táctil 
<b>DOMINIO DE MEDICIÓN</b>			
FUNCIÓN PARCIAL	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
Sensar velocidad de giro del tornillo sin fin	Encoder Incremental  La precisión de un motor a pasos es suficiente para los requerimientos del cliente y no es necesario un encoder.	Encoder Absoluto  La precisión de un motor a pasos es suficiente para los requerimientos del cliente y no es necesario un encoder.	Encoder óptico  La precisión de un motor a pasos es suficiente para los requerimientos del cliente y no es necesario un encoder.
Sensar velocidad de giro del colector	Encoder Incremental rotatorio 	Encoder Incremental rotatorio tipo disco 	Encoder óptico 
Sensar posición de la aguja eyectora	Sensor de distancia ultrasónico 	Sensor de distancia laser 	Sensor de distancia infrarrojo 
Sensar voltaje en la aguja eyectora	Sistema integrado generador de alto voltaje 		

FUNCIÓN PARCIAL	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
Detectar posición del émbolo de la jeringa	<b>Sensor de contacto</b> 	<b>Interruptor magnético</b> 	<b>Sensor de distancia infrarrojo</b> 
Detectar estado de la puerta	<b>Sensor de contacto</b> 	<b>Interruptor magnético</b> 	<b>Sensor de distancia infrarrojo</b> 
<b>DOMINIO DE CONTROL</b>			
FUNCIÓN PARCIAL	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	
Comparar caudal	<b>Micro controlador o sistema embebido</b> 	<b>Controlador Lógico Programable</b> 	
	<b>Control PTO (Tren de pulsos)</b>	<b>Control ON/OFF</b>	
Comparar rpm	<b>Micro controlador o sistema embebido</b> 	<b>Controlador Lógico Programable</b> 	
	<b>Control PTO (Tren de pulsos)</b>	<b>Control PWM (Ciclo de trabajo)</b>	
Comparar posición	<b>Micro controlador o sistema embebido</b> 	<b>Controlador Lógico Programable</b> 	
	<b>Control PTO (Tren de pulsos)</b>	<b>Control PTO (Tren de pulsos)</b>	
Comparar voltaje	<b>Micro controlador o sistema embebido</b> 	<b>Sistema integrado generador de alto voltaje</b> 	
	<b>Control ON/OFF</b>	<b>Control PI</b>	
FUNCIÓN PARCIAL	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	
Comparar estado de la puerta	<b>Micro controlador o sistema embebido</b> 	<b>Controlador Lógico Programable</b> 	
	<b>Control ON/OFF</b>	<b>Control ON/OFF</b>	
Controlar motor del sistema de inyección	<b>Puente H integrado</b> 	<b>Driver controlador</b> 	<b>Rele electromecánico</b> 

FUNCIÓN PARCIAL	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
Controlar motor del colector tipo tambor rotatorio	<b>Puente H integrado</b> 	<b>Driver controlador</b> 	<b>Circuito puente H</b> 
Controlar motor del subsistema de posicionamiento de la aguja eyectora	<b>Puente H integrado</b> 	<b>Driver controlador</b> 	<b>Circuito puente H</b> 
Controlar generador de alto voltaje	<b>Sistema integrado generador de alto voltaje</b> 		
Controlar sistema de iluminación	<b>Dimmer Rotativo</b> 	<b>Interruptor de palanca unipolar</b> 	<b>Interruptor ON / OFF</b> 
<b>DOMINIO DE ACTUACIÓN</b>			
FUNCIÓN PARCIAL	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
Transformar energía eléctrica en energía mecánica (Sistema de Inyección)	<b>Motor a pasos</b> 	<b>Actuador neumático</b> 	<b>Actuador lineal</b> 
Transformar energía eléctrica en energía mecánica (Colector tipo tambor rotatorio)	<b>Motor a pasos</b> 	<b>Motor DC</b> 	
Transformar energía eléctrica en energía mecánica (Posicionamiento de la aguja eyectora)	<b>Motor a pasos</b> 	<b>Motor DC con caja reductora</b> 	<b>Motor DC</b> 
Transformar baja tensión en alta tensión	<b>Sistema integrado generador de alto voltaje</b> 		

FUNCIÓN PARCIAL	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
Accionar interruptor de corte de energía	<b>Botón hongo – paro de emergencia</b> 	<b>Interruptor eléctrico</b> 	<b>Palanca de emergencia manual</b> 
Accionar alumbrado interior	<b>Tira de luces led</b> 	<b>Bombilla led</b> 	<b>Foco led plano empotrable</b> 

Fuente: Elaboración propia



Tabla C2: Matriz morfológica – Conceptos de solución

<b>FUNCIÓN PARCIAL</b>	<b>CONCEPTO DE SOLUCIÓN 1</b>	<b>CONCEPTO DE SOLUCIÓN 2</b>	<b>CONCEPTO DE SOLUCIÓN 3</b>
Acoplar a estructura del sistema de inyección	Estribo de jeringa	Soporte ajustable para ejes	Abrazadera
Trasladar solución polimérica	Tubo de silicona	Tubo de silicona	Tubo de silicona
Acoplar a estructura de posicionamiento	Abrazadera	Soporte ajustable para ejes	Abrazadera
Reducir paso de jeringa y eyectar chorro de micro o nano fibras	Aguja metálica con rosca de sujeción Luer Lock para bombas de inyección	Aguja metálica con rosca de sujeción Luer Lock para bombas de inyección	Aguja metálica con rosca de sujeción Luer Lock para bombas de inyección
Recolectar micro o nano fibras	Colector de tipo tambor rotatorio	Colector de tipo tambor rotatorio	Colector de tipo tambor rotatorio
Acoplar a estructura del sistema de recolección	Chumacera de piso con rodamiento axial	Brida con rodamiento axial	Acople flexible tipo quijada
Soportar y fijar componentes del sistema de inyección	Estructura de una bomba de infusión	Elevador de tornillo sin fin adaptado	Elevador de tornillo sin fin adaptado
Soportar y fijar componentes del sistema de posicionamiento	Máquina cartesiana	Máquina CNC casera	Máquina CNC casera
Soportar y fijar componentes del sistema de recolección	Plancha de poliamida (DURALON)	Plancha de poliamida (DURALON)	Placas en C metálicas
Soportar, proteger y fijar componentes	Boceto de una caja hermética de acero al carbono	Boceto de un gabinete de acero al carbono	Boceto de una cámara de acrílico
Permitir flujo de energía	Interruptor ON / OFF luminoso	Interruptor de leva	Interruptor ON / OFF luminoso
Acondicionar voltaje de alimentación	Fuente de alimentación conmutada	Fuente de alimentación conmutada	Fuente de alimentación conmutada
Energizar subsistema de actuación	Regulador de voltaje conmutado DC	Regulador de voltaje conmutado DC	Regulador de voltaje conmutado DC
Energizar subsistema de medición	Regulador de voltaje conmutado DC	Regulador de voltaje conmutado DC	Regulador de voltaje conmutado DC
Energizar subsistema de control	Regulador de voltaje conmutado DC	Regulador de voltaje conmutado DC	Regulador de voltaje conmutado DC
Energizar subsistema de interacción con el usuario	Regulador de voltaje conmutado DC	Regulador de voltaje conmutado DC	Regulador de voltaje conmutado DC
Recibir información de usuario	Teclado matricial	Teclado matricial	Pantalla táctil
Mostrar parámetros de producción y estado del proceso	Módulos display de 7 segmentos	Pantalla RGB a colores	Pantalla táctil
Sensar velocidad de giro del tornillo sin fin	No necesita porque se va usar un motor a pasos	Encoder incremental	No necesita porque se va usar un motor a pasos
Sensar velocidad de giro del colector	No necesita un encoder porque se usa un motor a pasos	Encoder Incremental rotatorio	Encoder Incremental rotatorio de tipo disco
Sensar posición de la aguja eyectora	Sensor de distancia laser	Sensor de distancia infrarrojo	Sensor de distancia laser
Sensar voltaje en la aguja eyectora	Sistema integrado generador de alto voltaje	Sistema integrado generador de alto voltaje	Sistema integrado generador de alto voltaje

<b>FUNCIÓN PARCIAL</b>	<b>CONCEPTO DE SOLUCIÓN 1</b>	<b>CONCEPTO DE SOLUCIÓN 2</b>	<b>CONCEPTO DE SOLUCIÓN 3</b>
Detectar posición del émbolo de la jeringa	Sensor de contacto	Sensor de distancia infrarrojo	Sensor de contacto
Detectar estado de la puerta	Interruptor magnético	Sensor de contacto	Interruptor magnético
Comparar caudal	Micro controlador o sistema embebido	Controlador Lógico Programable	Micro controlador o sistema embebido
	Control PTO (Tren de pulsos)	Control ON/OFF	Control PTO (Tren de pulsos)
Comparar rpm	Micro controlador o sistema embebido	Controlador Lógico Programable	Micro controlador o sistema embebido
	Control PTO (Tren de pulsos)	Control ON/OFF	Control PTO (Tren de pulsos)
Comparar posición	Micro controlador o sistema embebido	Controlador Lógico Programable	Micro controlador o sistema embebido
	Control PTO (Tren de pulsos)	Control ON/OFF	Control PTO (Tren de pulsos)
Comparar voltaje	Sistema integrado generador de alto voltaje	Sistema integrado generador de alto voltaje	Sistema integrado generador de alto voltaje
	Control PI	Control PI	Control PI
Controlar sistema de iluminación	Interruptor ON / OFF	Interruptor de palanca unipolar	Dimmer Rotativo
Transformar energía eléctrica en energía mecánica (Sistema de Inyección)	Motor a pasos	Actuador lineal	Motor a pasos
Transformar energía eléctrica en energía mecánica (Colector tipo tambor rotatorio)	Motor a pasos	Motor DC	Motor DC
Transformar energía eléctrica en energía mecánica (Posicionamiento de la aguja eyectora)	Motor a pasos	Motor a pasos	Motor a pasos
Transformar baja tensión en alta tensión	Sistema integrado generador de alto voltaje	Sistema integrado generador de alto voltaje	Sistema integrado generador de alto voltaje
Controlar motor del sistema de inyección	Driver controlador	Rele electromecánico	Driver controlador
Controlar motor del colector tipo tambor rotatorio	Driver controlador	Puente H integrado	Puente H integrado
Controlar posición de la aguja eyectora	Driver controlador	Driver controlador	Driver controlador
Controlar generador de alto voltaje	Sistema integrado generador de alto voltaje	Sistema integrado generador de alto voltaje	Sistema integrado generador de alto voltaje
Controlar sistema de iluminación	Interruptor ON / OFF	Interruptor de palanca unipolar	Dimmer Rotativo
Accionar interruptor de corte de energía	Botón hongo – paro de emergencia	Palanca de emergencia manual	Botón hongo – paro de emergencia
Accionar alumbrado interior	Foco led plano empotrable	Tira de luces led	Foco led plano empotrable

Fuente: Elaboración propia

## DESCRIPCIÓN DE LOS CONCEPTOS DE SOLUCIÓN

### Concepto de solución 1

La primera solución integral de toda la máquina consiste de una cámara hermética de acero al carbono con un panel de control en la parte inferior de la máquina y todos los componentes al interior (ver Figura C2).

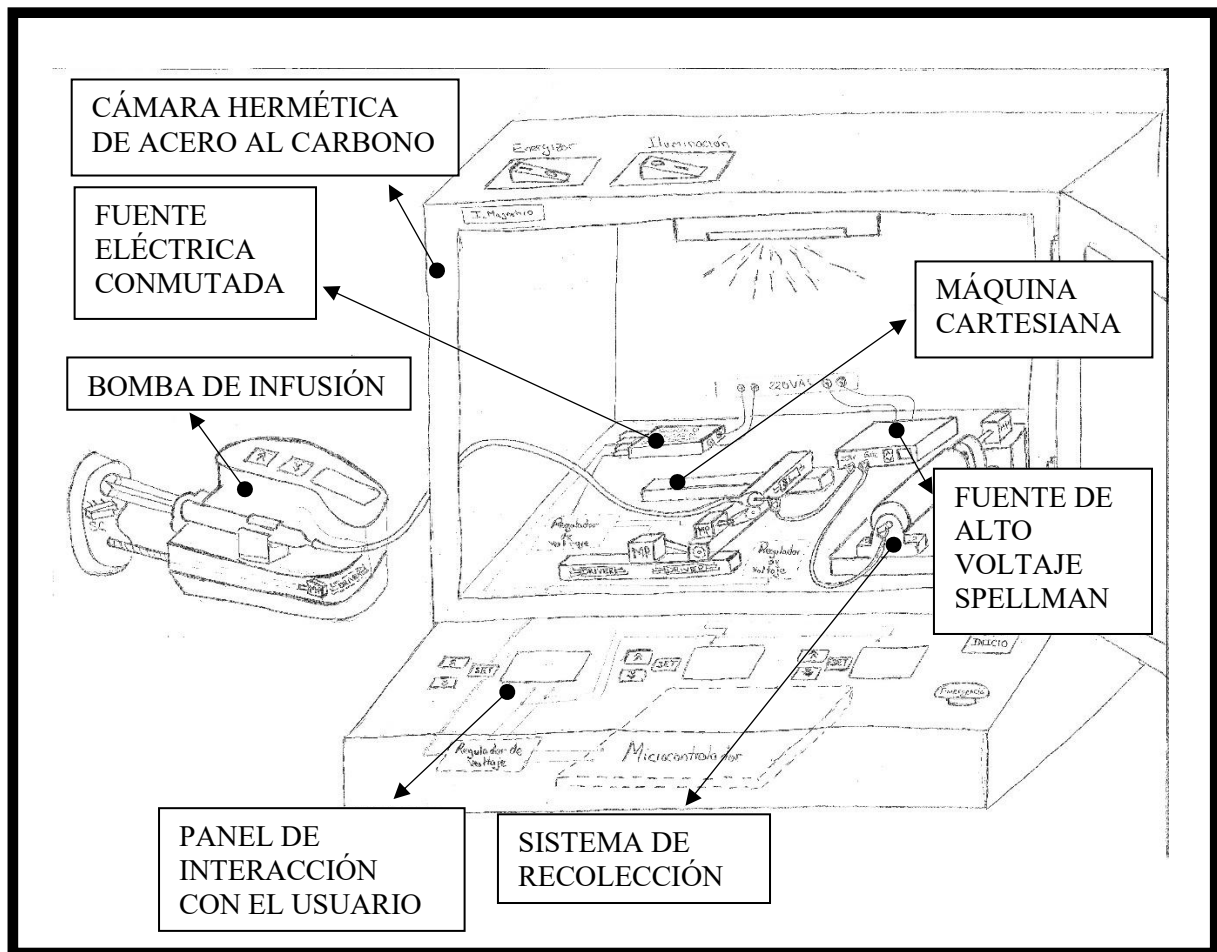


Figura C2: Boceto de la máquina según concepto de solución 1.

Fuente: Elaboración propia.

Con el propósito de mejorar la producción de micro o nano fibras es una bomba de infusión tipo jeringa la que permite acoplar una jeringa con la solución biopolimérica de características determinadas que el usuario ingresa. La jeringa se asegura por medio de una abrazadera como se ve en la Figura C3. Una vez asegurado el tubo de la jeringa se desliza una tapa que tiene un agujero con la forma del apoyo del émbolo de la jeringa, hasta tocar, pero no presionar el apoyo del émbolo.

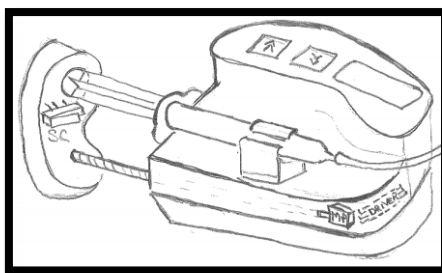


Figura C3: Boceto del sistema integrado, bomba de infusión tipo jeringa.  
Fuente: Elaboración propia.

La inyección de la solución biopolimérica se realiza por medio de una varilla roscada unida por un extremo a la tapa antes mencionada y por el otro extremo a un motor a pasos que al girar va a producir que la tapa avance y presione al apoyo del émbolo de la jeringa y de esta forma tener un caudal controlado a la salida de la jeringa antes acoplada. El paso de la varilla roscada, así como las revoluciones por minuto del motor a pasos van a determinar el caudal de salida. La solución biopolimérica bombeada por el sistema de inyección se traslada hasta la aguja eyectora por medio de una manguera de silicona, la cual luego se conecta a una aguja metálica con rosca (ver Figura C4).



Figura C4: Boceto del recorrido de la manguera de silicona que transporta la solución biopolimérica.  
Fuente: Elaboración propia.

La aguja eyectora o aguja metálica con rosca de sujeción va ser soportada y fijada en un bloque que forma parte de una máquina cartesiana que va permitir a la aguja eyectora desplazarse en dos direcciones coplanares, hacia adelante o atrás o hacia la derecha e izquierda. El movimiento en ambas direcciones es posible gracias a dos motores a pasos, uno para cada dirección, los cuales por una transmisión de cadena logran convertir su movimiento giratorio en movimiento lineal.

A un lado de la máquina cartesiana, en un rango de 3 cm a 5 cm, se encuentra el sistema de recolección como se ve en la Figura C5. Este sistema se encuentra conformado por el colector



de tipo tambor rotatorio que va ser soportado por un par de chumaceras y estas últimas unidas a la estructura de la cámara de electro hilado con una unión tornillo-tuerca. El eje del colector tipo tambor rotatorio se acopla a un motor a pasos que es fijado a una estructura soporte que se encuentra al lado de una de las chumaceras.

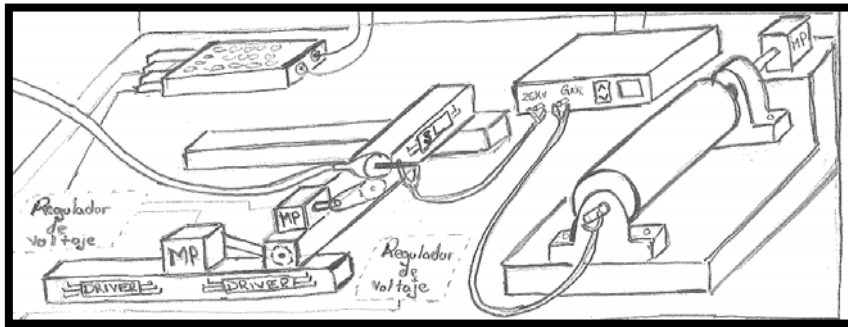


Figura C5: Boceto del sistema de recolección y la máquina cartesiana.  
Fuente: Elaboración propia.

En la parte posterior de la cámara de electro hilado se ubican el módulo generador de alto voltaje y la fuente de alimentación eléctrica conmutada. Por su parte la salida de voltaje del módulo generador se conecta a la aguja eyectora por un medio de un cable tipo cocodrilo mientras que su salida de tierra o referencia se conecta al eje del colector tipo tambor rotatorio también por medio de un cable tipo cocodrilo. Por otro lado, la fuente de alimentación eléctrica conmutada recibe una señal de entrada de 220 VCA y cada una de sus salidas se conecta a reguladores de voltaje conmutado que energizan adecuadamente los sensores, actuadores, controlador y dispositivos de interfaz.

En la parte superior de la cámara de electro hilado se encuentra el sistema de iluminación conformado por un foco led plano empotrado que es controlado por un interruptor ON/OFF que recibe la señal del usuario.

El control de todos los sensores, actuadores y dispositivos de interfaz lo realiza un sistema embebido o micro controlador que para el caso de los motores a pasos usa un driver para su accionamiento, estos drivers usan un control de tipo encendido/apagado.

El funcionamiento de la máquina de acuerdo a este concepto de solución empieza con el paso de la energía eléctrica a todos los sistemas, para lo cual el usuario debe cambiar de estado un interruptor de tipo ON/OFF puesto en la parte superior de la cámara hermética de acero al carbono. Luego el usuario debe ingresar los parámetros de funcionamiento como la velocidad de giro del colector tipo tambor, el voltaje que se va suministrar a la aguja eyectora y la posición de la aguja eyectora con respecto al colector de tipo tambor rotatorio; para lo cual usa 3 botones y una pantalla para cada uno de los parámetros antes mencionados. Estos botones permiten aumentar o reducir el valor de un parámetro determinado y luego de esto para fijar y registrar ese valor se debe presionar el botón “Set”. Para el caso del parámetro de caudal de la solución biopolimérica los valores se ingresan desde el sistema de inyección que va fuera de la cámara de electro hilado.

Una vez ingresado todos los parámetros de producción se procede a cerrar la puerta de la cámara de electro hilado con cual el interruptor magnético fijado en uno de los bordes de la cámara detecta el estado cerrado de la puerta. Si la puerta está cerrado ahora el usuario puede presionar el botón de inicio para comienzo al proceso de electro hilado. Si ocurriese alguna contingencia o algún tipo de problema puede presionarse el botón de emergencia tipo hongo y toda la máquina quedara des energizada. En caso se trabaje con esta máquina en un lugar con poca iluminación el usuario puede activar un foco led interior a la cámara cambiando de estado un interruptor de tipo ON/OFF que se encuentra al lado del interruptor que permite el flujo de energía en toda la máquina.

### **Concepto de solución 2:**

Este concepto de solución está conformado de un gabinete metálico con un panel de control en el lado posterior izquierdo como se ve en la *Figura C6*.

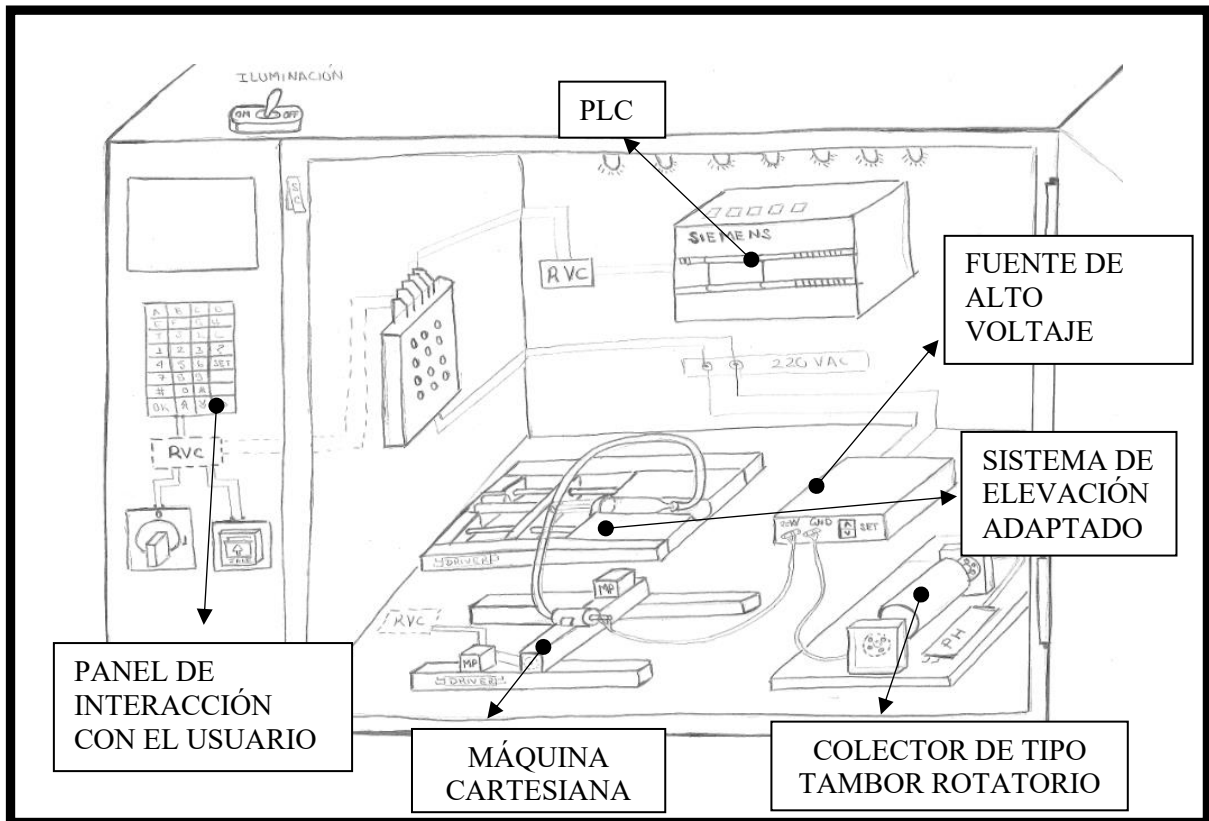


Figura C6: Boceto de la máquina según concepto de solución 2.  
Fuente: Elaboración propia.

El panel de control tiene una pantalla a colores interactiva que muestra diferentes tipos de mensajes para la configuración de los parámetros de producción según las señales que el usuario ingrese al teclado matricial que se encuentra debajo de la pantalla. Además, este panel también cuenta con un interruptor de leva que va permitir el flujo de energía en toda la máquina y de una palanca de emergencia manual (ver Figura C7).

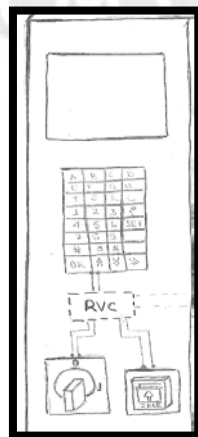


Figura C7: Boceto del panel de control de la máquina.  
Fuente: Elaboración propia.

Dentro del gabinete (ver Figura C8), se encuentra una máquina CNC casera a la cual va acoplado un bloque donde puede sujetarse la aguja metálica eyectora. Al lado de la máquina CNC se encuentra el colector de tipo tambor rotatorio, soportado por un par de bloques de poliamida que tienen acoplados una brida cada uno, la cual sirve de soporte para el eje del colector. El par de bloques forma parte de una estructura más grande también de poliamida o conocido también como DURALON, donde se apoyan y fijan el driver puente H, el motor DC y el encoder rotatorio.

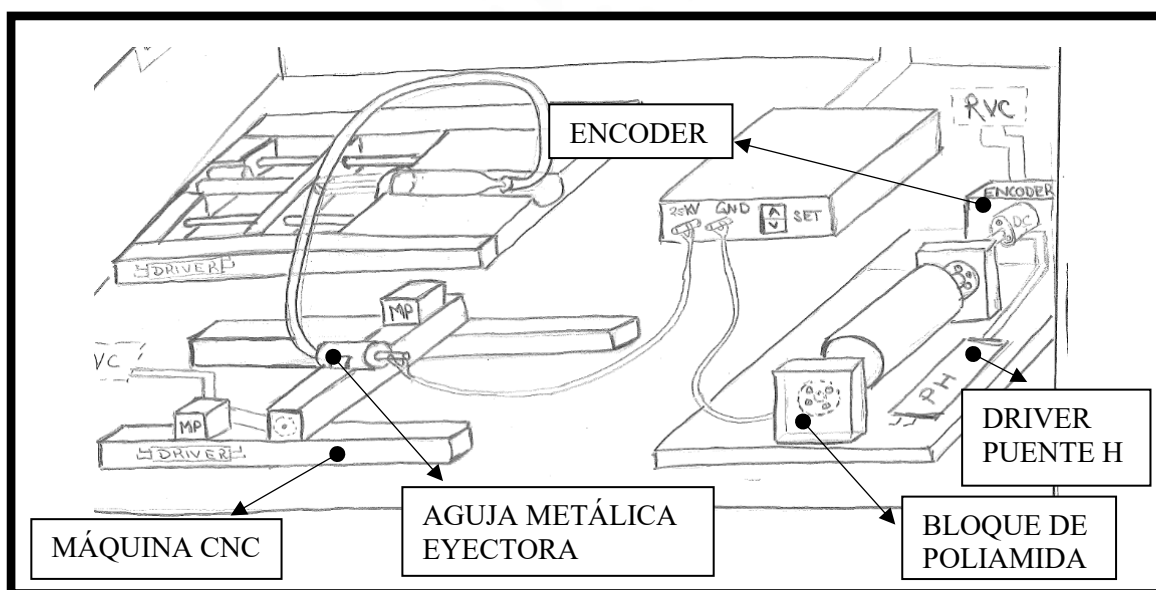


Figura C8: Boceto de los sistemas al interior del gabinete: Máquina CNC y cilindro colector.  
Fuente: Elaboración propia.

Al interior del gabinete empotrado en la pared interior se encuentra un PLC (controlador lógico programable) que va comandar el funcionamiento de todos los componentes del equipo. Debajo del PLC, se ubican el sistema de elevación con tornillo sin fin adaptado y la fuente generadora de alto voltaje. El sistema de elevación adaptado va permitir bombear una cantidad de líquido controlado a la aguja eyectora antes mencionada por medio un tubo de silicona que une la salida de la jeringa a la entrada de la aguja eyectora.

En la cara lateral izquierda se encuentra empotrada una fuente de alimentación eléctrica conmutada que va permitir entregar corriente continua a los reguladores de voltaje ubicados en diferentes posiciones dentro del gabinete.

En la parte externa del gabinete, en la cara superior se encuentra un interruptor de palanca ON/OFF que controla el sistema de iluminación al interior del gabinete, conformado por una tira de luces led.

El funcionamiento de la máquina de acuerdo a este concepto de solución empieza cuando el usuario gira el interruptor de leva a la posición 1 para permitir el flujo de energía eléctrica a todos los componentes del sistema. Luego, el usuario debe ingresar y fijar la jeringa con la solución biopolimérica en el sistema de elevación de tornillo sin fin adaptado, al interior del gabinete. Después de esto el usuario debe cerrar la puerta del gabinete, con lo cual se activará el sensor de contacto puesto en uno de los bordes de la puerta. Esta señal del sensor de contacto accionará la pantalla a colores y el usuario recién podrá ingresar los parámetros de producción. Asimismo, luego de ingresar todos los datos por medio del teclado matricial y la pantalla, el usuario debe presionar el botón OK y se dará inicio al proceso de electro hilado. En caso de alguna contingencia o accidente el usuario puede jalar la palanca de emergencia y desenergizar todos los sistemas de la máquina.

### **Concepto de solución 3:**

El tercer concepto de solución muestra un equipo integrado por un panel de control y una cámara de vidrio templado donde se va producir el electro hilado, como se ve en la *Figura C9*.

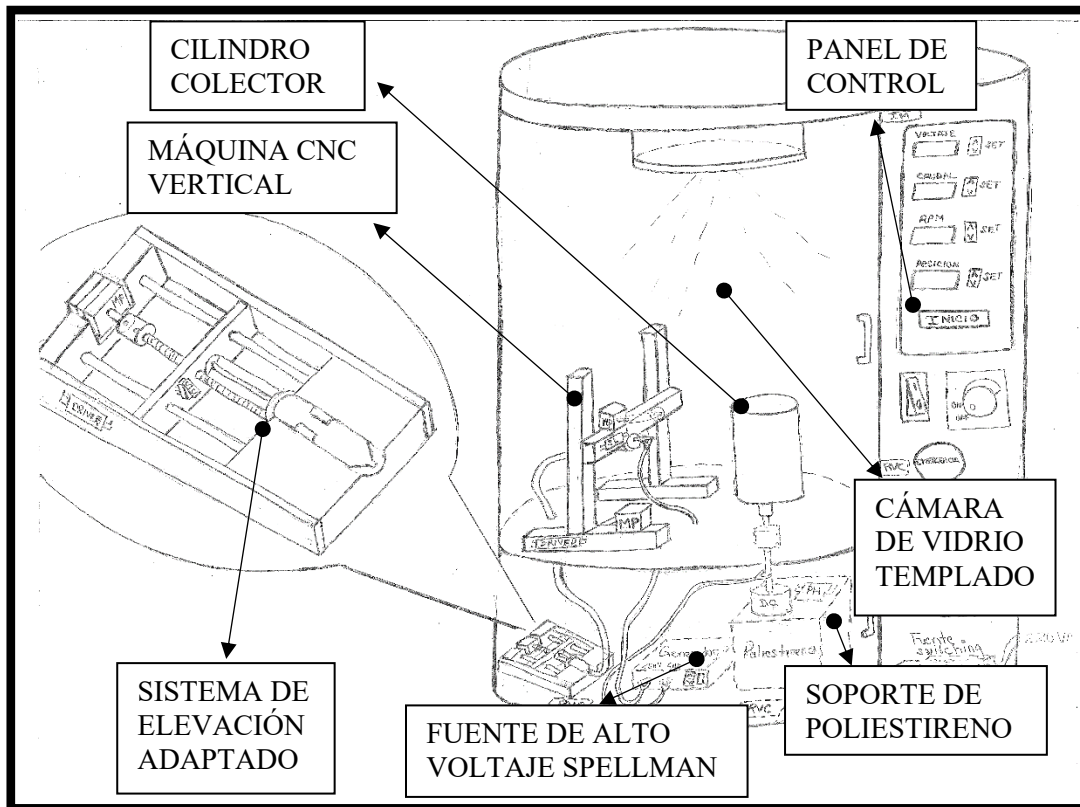


Figura C9: Boceto de la máquina según concepto de solución 3.  
Fuente: Elaboración propia.

El panel de control se ubica al lado derecho de la cámara de vidrio templado y consta de una gran pantalla táctil para el ingreso de los parámetros de producción, un botón ON/OFF para permitir el flujo de energía eléctrica en toda la máquina, un dimmer para controlar la intensidad de la luz dentro de la cámara de electro hilado y un botón tipo hongo de emergencia (ver Figura C10).

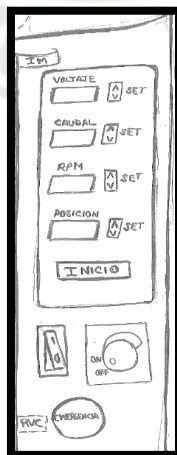


Figura C10: Boceto del panel de control de la máquina.  
Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, la cámara de electro hilado protegida por una carcasa de vidrio templado consta de una máquina CNC, de un colector de tipo tambor rotatorio en una configuración vertical y de un foco led empotrable. A la máquina CNC se le ha acoplado una abrazadera que permita sujetar algún acople donde pueda ingresar una aguja metálica con rosca de sujeción. La máquina CNC se encuentra a 3 o 5 cm del colector y permite el movimiento de la aguja en dirección horizontal o vertical.

Internamente, de forma no visible al usuario, en la parte inferior se ubica una estructura de apoyo de poliestireno sobre la cual se va a posicionar un motor DC unido a un eje, a un acople flexible y finalmente al colector tipo tambor rotatorio; de tal manera que se pueda dar una transmisión del movimiento giratorio sin ninguna complicación. Igualmente, en la parte inferior interna de la máquina se encuentra el sistema integrado generador de alto voltaje y el sistema de elevación con tornillo sin fin adaptado como se muestra en la *Figura C11*.

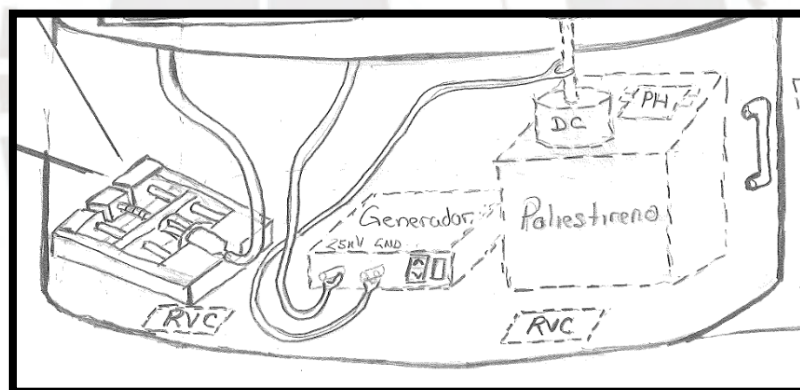


Figura C11: Sistemas integrados al interior de la máquina en la parte inferior.  
Fuente: Elaboración propia.

Este último sistema de elevación con tornillo sin fin adaptado, tiene una configuración horizontal y consta de un bloque con una abertura cilíndrica que tiene la forma del tubo de una jeringa de 30 ml. En el extremo del émbolo de la jeringa se ubica una placa unida a un tornillo sin fin y a un par de ejes (*ver Figura C12*). Esta placa es la que va a empujar el émbolo de la jeringa por acción de un motor a pasos que está conectado al tornillo sin fin antes mencionado, de tal forma que se obtenga un caudal de salida controlado. En la placa también va acoplado

un sensor de contacto que va informar el momento en que émbolo de la jeringa este completamente comprimido, lo cual significa que ya no se cuenta con solución biopolimérica en la jeringa.

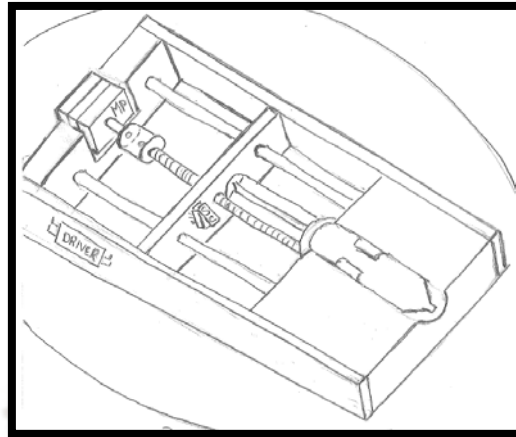


Figura C12: Boceto del sistema de elevación con tornillo sin fin adaptado para controlar el caudal de salida de una jeringa.

Fuente: Elaboración propia.

En la parte posterior interna de la máquina se encuentra el microcontrolador, la fuente de alimentación eléctrica conmutada y los reguladores de voltaje.

El funcionamiento de la máquina bajo este concepto de solución empieza cuando el usuario cambia de estado el botón ON/OFF, con lo cual se permite el flujo de energía eléctrica a todos los componentes. Luego de esto el usuario debe abrir la puerta inferior de la máquina para poder sujetar la jeringa con la solución biopolimérica al sistema de elevación adaptado. Una vez acoplada y sujeta la jeringa, se cierra la puerta inferior y se procede a ingresar los parámetros de producción en la pantalla táctil del panel de control. Ahora el usuario debe cerrar la puerta superior, con lo cual el interruptor magnético se activará y recién se podrá presionar el botón de inicio en la pantalla táctil.

Si surgiese alguna contingencia o accidente en el proceso, el usuario puede presionar el botón de emergencia tipo hongo del panel de control y desenergizar todos los componentes de la máquina.



## CRITERIOS DE LA EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

A partir de la descripción de los conceptos de solución se procede a la evaluación de los mismos en el aspecto técnico y económico. Esta evaluación se realiza en base a criterios que van a permitir poder dar una ponderación o puntaje a cada uno. La importancia de cada criterio se va puntuar en base a una escala del 1 al 4; sin embargo, al evaluar cada concepto de solución el puntaje máximo va ser 3; ya que solo la solución ideal podría tener el puntaje máximo. Cada uno de los criterios, su descripción y valor de importancia son mostrados a continuación.

**Evaluación Técnica:** Consiste en determinar el valor del concepto de solución desde la perspectiva funcional.

- **Tamaño de la máquina:**

Este criterio evalúa el volumen que ocupa la máquina y su importancia va ser la mayor ya que se tiene un requerimiento del cliente de que la base de la máquina sea como máximo de 120 cm x 60 cm.

- **Interacción máquina-operador:**

Este criterio toma en cuenta la cantidad de recursos que se utiliza para la interacción con el usuario y la dificultad en el desarrollo de la interfaz.

El valor de importancia de este criterio va ser de 3 ya que la cantidad de recursos que se utilice va afectar al costo total de la máquina; de igual manera si el diseño de la interfaz es complicado el tiempo para implementarlo aumentaría.

- **Cantidad de sensores, actuadores y controladores:**

Este criterio evalúa cuántos actuadores, sensores y controladores utiliza el diseño.

El valor de importancia de este criterio es de 4 ya que la cantidad de dispositivos, afecta el costo de la máquina, el espacio utilizado, cableado eléctrico y la capacidad de la fuente de energía eléctrica.

- **Distribución de los componentes:**

Este criterio evalúa el uso eficiente del espacio para posicionar cada componente o dispositivo. Asimismo, con los dispositivos secundarios y cableado eléctrico de tal manera que se reduzca al mínimo la ocurrencia de golpes o choques casuales ocasionados por el usuario que puedan afectar el funcionamiento de la máquina.

El valor de importancia de este criterio es de 3; ya que una buena distribución de los componentes puede evitar dañar o desconectar algún sensor o dispositivo. Además, una buena distribución, ahorra espacio y puede reducir el tamaño de la máquina.

- **Dificultad de fabricación:**

Este criterio evalúa la complejidad de las formas en la estructura y carcasa.

El valor de este criterio es de 4 ya que este criterio va definir la seguridad y correcto funcionamiento de la máquina y sus componentes al estar correctamente posicionados y protegidos. Asimismo, el tener formas curvas complejas va incidir en el costo monetario para su fabricación. De igual forma el ambiente donde se realice el proceso de electro hilado va repercutir en la calidad de las micro o nano fibras.

- **Dificultad en el algoritmo de control:**

Este criterio evalúa la complejidad del método de control.

Este criterio va tener un valor de 3 ya que va influir en el tiempo que se necesite para implementar la máquina.

**Evaluación Económica:** Consiste en determinar el valor del concepto de solución desde la perspectiva relacionada a los costos de fabricación y de adquisición de componentes electrónicos.

- **Costo de la tecnología:**

Este criterio evalúa el costo monetario de los componentes o sistemas integrados.

El valor de este criterio va ser de 4 ya que influye directamente en el costo total de la máquina. Además, el uso de sistemas integrados va influir en la complejidad del sistema de control bajo el cual se rija la máquina.

- **Costo de materiales:**

Este criterio evalúa el costo monetario de los materiales usados en el diseño.

El valor de este criterio es 4 ya que influye directamente en el costo total de la máquina.

De igual forma, el uso de materiales duraderos y de calidad puede aumentar el tiempo de vida de la máquina y reducir los gastos de mantenimiento.

- **Costo de fabricación:**

Este criterio evalúa el costo del mecanizado y fabricación de los elementos mecánicos.

El valor de este criterio es de 4 ya que influye directamente en el costo para la implementación de la máquina. De igual forma, el uso de herramientas, máquinas y mano de obra calificada que pueda realizar las operaciones de mecanizado, montaje, etc, puede complicar o facilitar la implementación.

- **Costo de mantenimiento:**

Este criterio evalúa el costo monetario del mantenimiento que se le debe dar a los mecanismos o dispositivos de la máquina.

El valor de este criterio es de 2, ya que el mantenimiento periódico que debe darse, no implica que la máquina no pueda funcionar sin mantenimiento. Sin embargo, si puede influir en el tiempo de vida de la máquina.

Con el propósito de poder evaluar cada uno de los conceptos de solución en base a los criterios técnico-económicos, se realizaron los siguientes cuadros comparativos.

De acuerdo al cuadro de evaluación técnica que se muestra en la *Figura C13*, en el primer criterio, el mayor puntaje lo tiene el concepto de solución 3 ya que posiciona los dispositivos

y componentes en dos niveles diferentes con lo cual se puede conseguir que la base de la máquina ocupe un área menor.

En el segundo criterio técnico el concepto de solución 1 y 3 tienen el mayor puntaje ya que el ingreso de los parámetros de producción es más sencillo y la visualización es mejor. A diferencia del concepto de solución 2 donde el usuario va tener que navegar dentro de las opciones que se muestren en una única pantalla pequeña, haciendo más complicada la interfaz con el usuario ya que el ingreso de los parámetros de producción no es de forma directa.

En el tercer criterio, el concepto de solución 1 tiene el menor puntaje ya que usa un módulo display de 7 segmentos para mostrar cada parámetro de producción, es decir este concepto de solución utiliza 4 de estos módulos, con lo que aumenta el número de componentes y cableado eléctrico. Las otras dos opciones solo usan una pantalla para ingresar los parámetros de producción.

En el cuarto criterio el concepto de solución 1 y 2 no usan el espacio vertical de forma eficiente ya que la mayoría de componentes se encuentran en un mismo nivel. Como consecuencia de esto, su cableado eléctrico puede dar una impresión de desorden dentro de la cámara de electro hilado, al igual que el usuario podría desconectar alguno de los cables al ingresar la solución biopolimérica. Es por eso que estos dos conceptos de solución tienen una puntuación de 2, frente al concepto de solución 3 que si usa adecuadamente el espacio y tiene un puntaje de 3.

En el quinto criterio tanto los conceptos de solución 1 y 2 tienen una puntuación de 3 ya que la cámara de electro hilado tiene formas rectas, sin curvas por lo que no se va necesitar realizar algún mecanizado especial. A diferencia del concepto de solución 3 que tiene una puntuación de 2 ya que la cámara de hilado presenta curvas y por lo que tal vez necesite de algún molde para su fabricación.

En el sexto criterio los conceptos de solución 2 y 3 tienen una puntuación de 2 ya que adaptar un elevador de tornillo sin fin para el sistema de inyección de la solución biopolimérica,

significará tener que realizar un control PI (proporcional – integral) y realizar pruebas de calibración, con lo que el proceso de control puede volverse tedioso. Por otro lado, el concepto de solución 1 que tiene un puntaje de 3 ya que usa un equipo integrado con la exactitud requerida para la dosificación de soluciones líquidas, por lo que no va ser necesario implementar algún tipo de control o escalamiento entre las variables a controlar, sino tan solo introducir los valores deseados del caudal de salida.

EVALUACIÓN TÉCNICA		Concepto de Solución 1		Concepto de Solución 2		Concepto de Solución 3		Ideal	
Criterios	Peso	Nota	Peso x Nota	Nota	Peso x Nota	Nota	Peso x Nota	Nota	Peso x Nota
Tamaño de la máquina	4	2	8	2	8	3	12	4	16
Interacción máquina-operador	3	3	9	2	6	3	9	4	12
Cantidad de sensores, actuadores y control	4	2	8	3	12	3	12	4	16
Distribución de los componentes	3	2	6	2	6	3	9	4	12
Dificultad de fabricación	4	3	12	3	12	2	8	4	16
Dificultad en el algoritmo de control	3	3	9	2	6	2	6	4	12
Suma		15	52	14	50	16	56	24	84
VALOR RELATIVO(%)		0.625	62%	0.583333	60%	0.666667	67%	1	100%

Figura C13: Cuadro de evaluación técnica.  
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al cuadro de evaluación económica que se muestra en la *Figura C14*, en el primer criterio el concepto de solución 1 tiene una puntuación de 2, ya que el equipo integrado de bomba de infusión tipo jeringa tiene un costo superior de aproximadamente el doble que un sistema de elevación con tornillo sin fin adaptado presente en los conceptos de solución 2 y 3. En el segundo criterio, tanto el concepto de solución 1 y 2 para disipar las cargas eléctricas en el sistema de recolección van usar una plancha de 1m x 2m de poliamida la cual tiene un precio de S/.200.00. La resistencia dieléctrica de este material es de 25 Kv por milímetro de espesor, pero no compensa la diferencia de precio con una plancha de acrílico que cuesta aproximadamente la quinta parte. Por otro lado, el material usado para la carcasa de la máquina en los conceptos de solución 1 y 2 es de acero al carbono, un material de mayor costo que el acrílico. Por las razones antes expuestas el puntaje en este criterio para el concepto 1 y 2 es de 2 mientras que el concepto de solución 3 tiene un puntaje de 3 por usar acrílico como material.

En el tercer criterio, los conceptos de solución 1 y 2 tienen una puntuación de 2 ya que para fabricar la cámara de electro hilado usa acero al carbono por lo que es necesario realizar operaciones de doblado, cortado y soldado; siendo el costo de estas operaciones mayor a las operaciones que se realizan para montar un cámara de acrílico, como se da en el concepto de solución 3, de acuerdo a la cual solo necesita realizar la operación de cortado y unido con un tipo de pegamento especial.

En el cuarto criterio, los conceptos de solución 1 y 2 tienen una puntuación de 2 ya que, al estar la mayoría de sistemas integrados y componentes en un mismo nivel, su cableado eléctrico está expuesto y puede ser afectado por los residuos que produzca el chorro de micro o nano fibras en el proceso de electro hilado. Debido a esto la limpieza y mantenimiento dentro de la cámara va tener que darse continuamente. A diferencia del concepto de solución 3, donde solo el sistema de recolección podría verse afectado por restos o cúmulos de micro o nano fibras; ya que los demás componentes con su cableado eléctrico se encuentran en un nivel diferente.

EVALUACIÓN ECONÓMICA		Concepto de Solución 1		Concepto de Solución 2		Concepto de Solución 3		Ideal	
Criterios	Peso	Nota	Peso x Nota	Nota	Peso x Nota	Nota	Peso x Nota	Nota	Peso x Nota
Costo de la tecnología	4	2	8	3	12	3	12	4	16
Costo de materiales	4	2	8	2	8	3	12	4	16
Costo de fabricación	4	2	8	2	8	3	12	4	16
Costo de mantenimiento	2	2	4	2	4	3	6	4	8
Suma		8	28	9	32	12	42	16	56
VALOR RELATIVO(%)		0.5	50%	0.5625	57%	0.75	75%	1	100%

Figura C14: Cuadro de evaluación económica.

Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO D: ANÁLISIS DE TENSIÓN Y CÁLCULOS MATEMÁTICOS DEL DISEÑO

### PRELIMINAR

#### SUBSISTEMA DE RECOLECCIÓN

##### Análisis de tensión

En base a la simulación 3D del diseño mecánico antes descrito, se presenta el análisis de tensión de la estructura del subsistema de recolección, el cual muestra que el punto crítico se da en el apoyo en L de acero para el motor DC. Siendo el valor máximo del esfuerzo equivalente de Von Misses de 5.18 Mpa (ver *Figura D1*) y la deformación máxima de 0. 000 074 ul. (ver *Figura D2*). Sin embargo, estos valores de deformación y tensiones internas son mínimos en comparación al esfuerzo de fluencia de 275 MPa del acero ASTM A653 del que está hecho el apoyo en L.

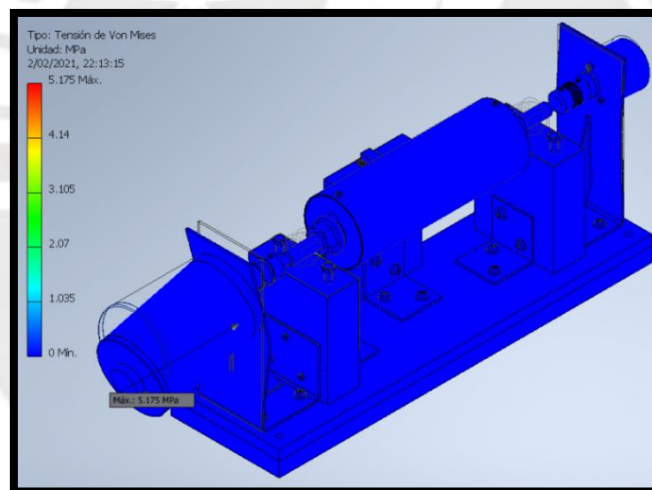


Figura D1: Análisis de tensión – Esfuerzo máximo de Von Misses  
Fuente: Elaboración propia.

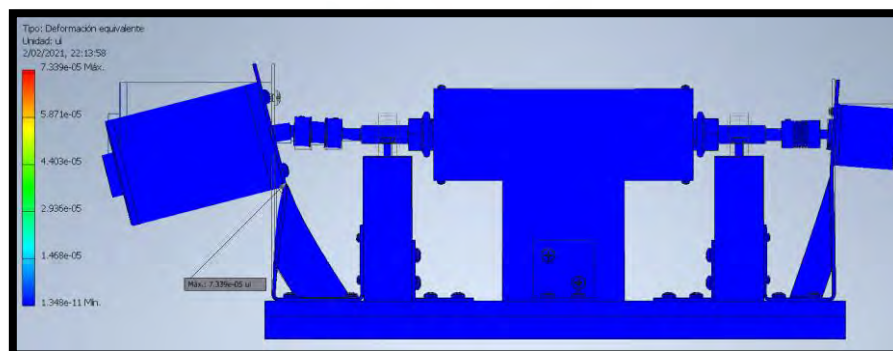


Figura D2: Análisis de tensión – Deformación máxima equivalente  
Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, el desplazamiento máximo en la dirección Y y Z del apoyo en L para motor DC, sería de 0.001 mm y de 0.003 mm correspondientemente (ver *Figura D3* y *Figura D4*). Lo cual no va significar ningún inconveniente para su funcionamiento.

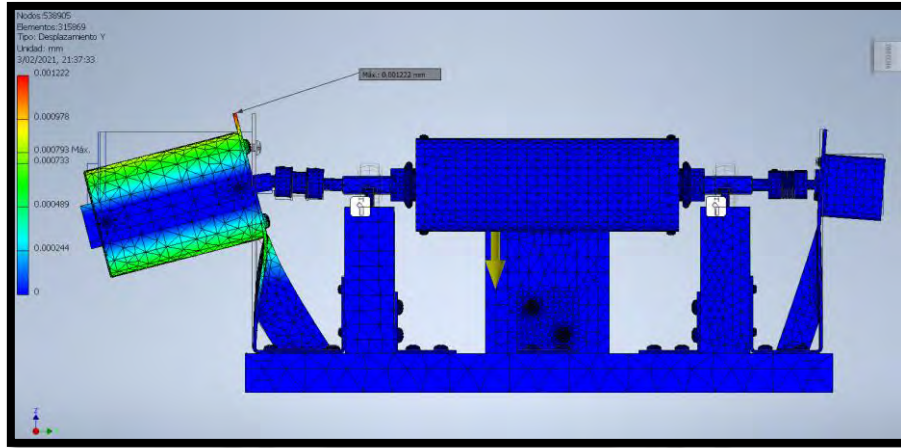


Figura D3: Análisis de tensión – Desplazamiento máximo en la dirección Y  
Fuente: Elaboración propia

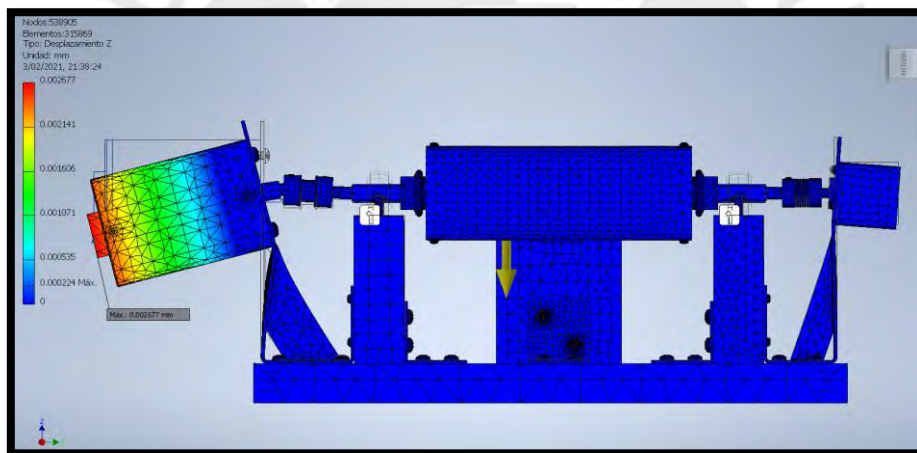


Figura D4: Análisis de tensión – Desplazamiento máximo en Z  
Fuente: Elaboración propia

### Cálculo del torque requerido por el sistema

El diseño del subsistema de recolección considera que el cilindro colector alcance una velocidad de rotación de 3500 RPM, en 5 segundos partiendo del reposo, lo cual se puede modelar como un movimiento circular uniformemente variado tal como se muestra en la ecuación (12) y donde la única incógnita es la aceleración angular.

$$\omega_f = \omega_o + \alpha * t \tag{12}$$

Reemplazando valores en la ecuación (12):



$$366.5 \frac{\text{rad}}{\text{seg}} = 0 + \alpha * (5 \text{ seg})$$

$$\alpha = 73.3 \frac{\text{rad}}{\text{seg}^2} \quad (12)$$

Con la aceleración angular ya calculada, ahora sólo es necesario calcular la inercia con respecto al eje de giro haciendo uso de la ecuación (13); sin embargo, para desarrollar esta última ecuación son necesarios datos expresados de forma aproximada en el software de asistencia para el diseño Inventor y se muestran en las ecuaciones (14), (15) y (16).

$$I_{\text{eje de giro}} = I_{\text{sistema}} + m * d^2 \quad (13)$$

$$I_{\text{sistema}} = 360.935 \text{ Kg} * \text{mm}^2 \quad (14)$$

$$d = \text{distancia entre el eje del sistema y el eje de rotación} = 0.061131 \text{ mm} \quad (15)$$

$$m = \text{masa del sistema} = 1.482 \text{ Kg} \quad (16)$$

Reemplazando los valores de la ecuación (14), (15) y (16) en (13):

$$I_{\text{eje de giro}} = 360.935 \text{ Kg} * \text{mm}^2 + 1.482 \text{ Kg} * (0.061131 \text{ mm})^2 \quad (13)$$

$$I_{\text{eje de giro}} = 360.94 * 10^{-6} \text{ Kg} * \text{m}^2 \quad (13)$$

Reemplazando los valores de la ecuación (13) en (1):

$$T_{\text{motor}} = I_{\text{eje de giro}} * \alpha \quad (1)$$

$$T_{\text{motor}} = (360.94 * 10^{-6} \text{ Kg} * \text{m}^2) * 62.828 \frac{\text{rad}}{\text{seg}^2} = 0.026 \text{ N} * \text{m} \quad (1)$$

$$T_{\text{motor}} = 0.026 * 3 = 0.078 \text{ N} * \text{m}$$

Se concluye entonces que el motor del subsistema de recolección debe poder entregar un torque igual o mayor a 0.078 N\*m, para poder hacer girar al cilindro colector a 3500 RPM.

### **Cálculo tentativo del diámetro del eje**

A partir del cálculo del torque requerido por el subsistema de recolección se va calcular mediante la ecuación (4), de forma aproximada el diámetro del eje, siguiendo el método recomendado en el libro *Elementos de Máquina I*, para el diseño de un árbol de transmisión cuando se conoce la potencia y la velocidad de giro (Kurt F., 2018).

$$\tau_t \leq \tau_{t \text{ admisible}} = \frac{\tau_{t \text{ PUL}}}{FS_{\text{recomendado}}} \quad (4)$$

El factor de seguridad recomendado ( $FS_{\text{recomendado}}$ ) va ser de 12 (Kurt F., 2018) y la resistencia a la fatiga del material en torsión pulsante ( $\tau_{t \text{ PUL}}$ ) va tener un valor de  $170 \frac{N}{\text{mm}^2}$  (Kurt F., 2018), ya que el eje escalonado va ser de acero. Los valores seleccionados han sido tomados del libro *Elementos de Máquina 1* (Kurt F., 2018).

Reemplazando los valores en la ecuación (4):

$$\frac{16 \cdot 78 \text{ N} \cdot \text{mm}}{\pi \cdot d^3} \leq \frac{170 \frac{N}{\text{mm}^2}}{12} \quad (4)$$

$$d \geq 3.04 \text{ mm}$$

Se concluye entonces que el diámetro del eje escalonado debe mayor o igual a 3 mm para que se puedan transmitir sin problemas un torque de 78 N\*mm.

### Verificación dinámica del sistema

Los valores recomendados de  $\lambda$  deben ser menores a 0.8, tal como se muestra en la ecuación (5), con el fin de que la velocidad de giro no esté cerca de la velocidad de giro propia del sistema (Kurt F., 2018).

$$\lambda = \frac{\omega}{\omega_n} = \frac{\text{velocidad angular}}{\text{frecuencia natural del sistema}} \leq 0.8 \quad (5)$$

La frecuencia natural del sistema se define bajo la ecuación (17); sin embargo, para el cálculo de la constante de rigidez del eje se necesita de la ecuación (18).

$$\omega_n = \sqrt{\frac{c(\text{constante de rigidez del eje})}{m(\text{masa del cilindro colector})}} \quad (17)$$

$$c = \frac{Q(\text{peso del cilindro colector})}{f_Q(\text{Deformación del eje en el punto crítico donde se aplica } Q)} \quad (18)$$

Los datos necesarios para determinar su valor han sido tomados del software de asistencia para el diseño Inventor y son:

- Máxima velocidad angular que va entregar el motor:  $\omega = 3500 \text{ RPM}$ .
- Excentricidad del cilindro colector con respecto al eje de giro:  $e = 0.033 \text{ mm}$

- Masa del cilindro colector con las dos capas:  $m = 0.497Kg$
- Inercia del eje escalonado:  $I_{eje} = 0.5496 Kg * cm^2 = 539.16 N * mm^2$

Asemejando el escalonado a una viga soportada en ambos extremos se va calcular la deformación del eje en el punto donde se aplica la fuerza resultante del peso del cilindro colector. Para realizar el cálculo se va tomar de tablas de flexión de vigas (Hibbeler, 2011) la ecuación (19) que se muestra a continuación:

$$f_Q = \frac{P*b*x}{6*L*E*I} [L^2 - x^2 - b^2] \quad (19)$$

Reemplazando valores en la ecuación (19):

$$f_Q = \frac{4.88 N * 153 mm * 157 mm * (310^2 - 157^2 - 153^2)}{6 * 310 mm * 210000 \frac{N}{mm^2} * 539.16 N * mm^2} = 0.02674 mm \quad (19)$$

Reemplazando la ecuación (19) en la ecuación (18)

$$c = \frac{4.88 N}{0.02674 * 10^{-3} m} = 182498 \frac{N}{m} \quad (18)$$

Reemplazando la ecuación (18) en la ecuación (17)

$$\omega_n = \sqrt{\frac{182498 \frac{N}{m}}{0.497 Kg}} = 605.97 \frac{1}{seg} \quad (17)$$

Reemplazando la ecuación (17) en la ecuación (5)

$$\lambda = \frac{\omega}{\omega_n} = \frac{366.5 \frac{rad}{seg}}{605.97 \frac{1}{seg}} = 0.6 \quad (5)$$

Como el valor de  $\lambda$  es de 0.6 se concluye que no se producirá el fenómeno de resonancia al alcanzar una velocidad de giro de 3500 RPM.

### Cálculo de la frecuencia de trabajo del encoder

La selección del microcontrolador para el subsistema de recolección requiere conocer la frecuencia de muestreo del encoder ya que, si esta es mayor a la frecuencia de ejecución por instrucción del microcontrolador, no se podrá sensar correctamente la velocidad de rotación

del cilindro colector. Por lo cual, se van a realizar los siguientes cálculos para determinar el tiempo que demora el encoder en enviar cada pulso:

El tiempo que se demora en dar una vuelta completa el eje del motor a una velocidad de rotación de 3500 RPM se determina en la ecuación (20):

$$x = \frac{1 \text{ rev} * \text{min}}{3500 \text{ rev}} * \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} = 0.02 \text{ seg} \quad (20)$$

Si una vuelta completa se realiza en 0.02 seg, y por cada vuelta se envían 1024 pulsos entonces el número de pulsos que se envían a 3500 RPM se determina en la ecuación (21):

$$\frac{1 \text{ rev}}{0.02 \text{ seg}} * \frac{1024 \text{ pulsos}}{1 \text{ rev}} = 51200 \frac{\text{pulsos}}{\text{seg}} = 51200 \text{ Hz} \quad (21)$$

Se concluye entonces, que la frecuencia de muestreo del encoder es de 51200 Hz.

## **SUBSISTEMA DE POSICIONAMIENTO**

### **Análisis de tensión**

El análisis de tensión del modelo 3D del diseño del subsistema de posicionamiento antes descrito, muestra que casi toda la estructura y componentes mecánicos van a experimentar un esfuerzo de tensión de como máximo 5 Mpa (ver *Figura D5* y *Figura D6*), con excepción de la tuerca trapezoidal de bronce la cual experimenta el mayor esfuerzo con un valor de 25.13 Mpa. Sin embargo, este valor es mínimo en comparación al esfuerzo de fluencia del bronce que es de 137 Mpa, y por lo tanto no se va producir ninguna deformación (ver *Figura D7*) o deflexión que impida el normal funcionamiento de esta pieza.

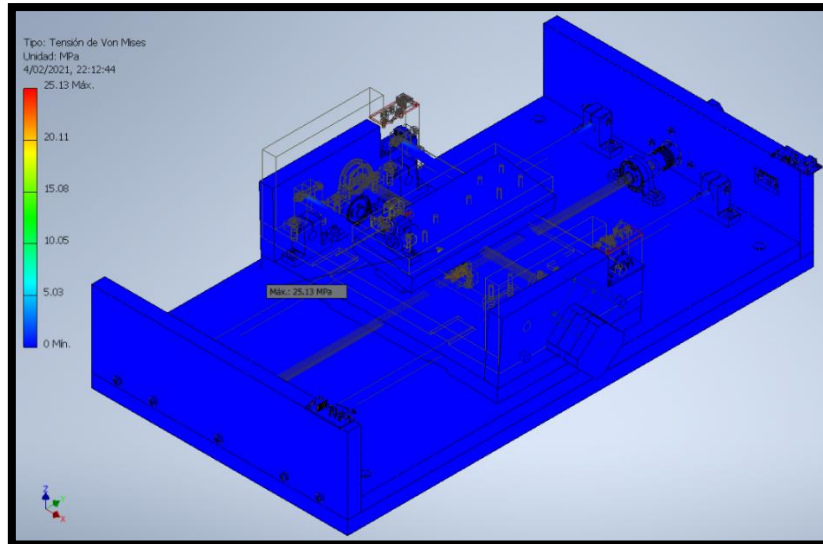


Figura D5: Análisis de tensión – Esfuerzo equivalente de Von Misses – Vista isométrica  
Fuente: Elaboración propia

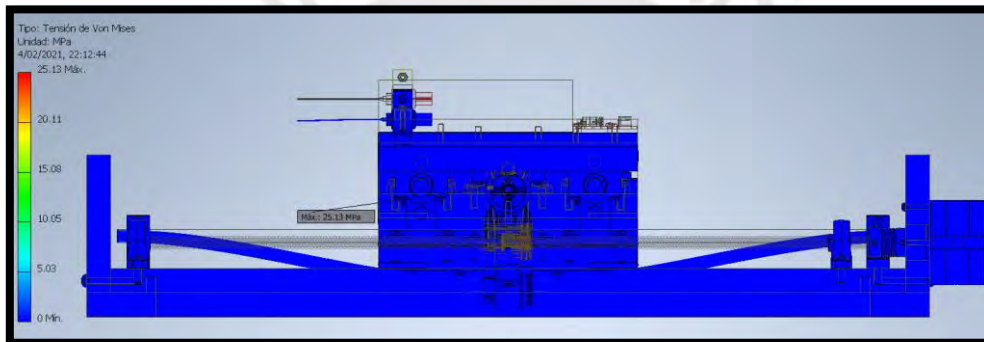


Figura D6: Análisis de tensión – Esfuerzo equivalente de Von Misses – Vista frontal  
Fuente: Elaboración propia

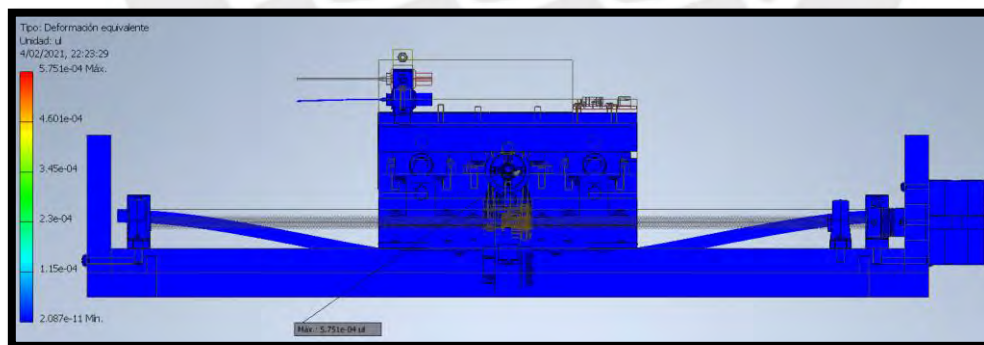


Figura D7: Análisis de tensión – Deformación equivalente – Vista frontal  
Fuente: Elaboración propia

Asimismo, a partir del análisis de tensión se puede observar que hay una tendencia a deflectarse de los ejes soporte tanto del primer como del segundo nivel llegando a desplazarse en el eje Z una distancia máxima de 0.097 mm (ver *Figura D8* y *Figura D9*). Sin embargo, este desplazamiento es mínimo y no va tener mayor repercusión en el funcionamiento del sistema.

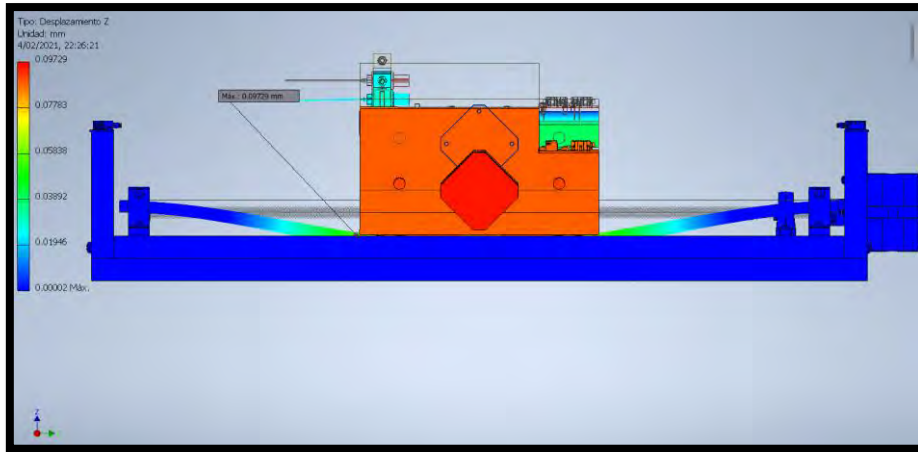


Figura D8: Análisis de tensión – Desplazamiento en Z – Vista frontal  
Fuente: Elaboración propia

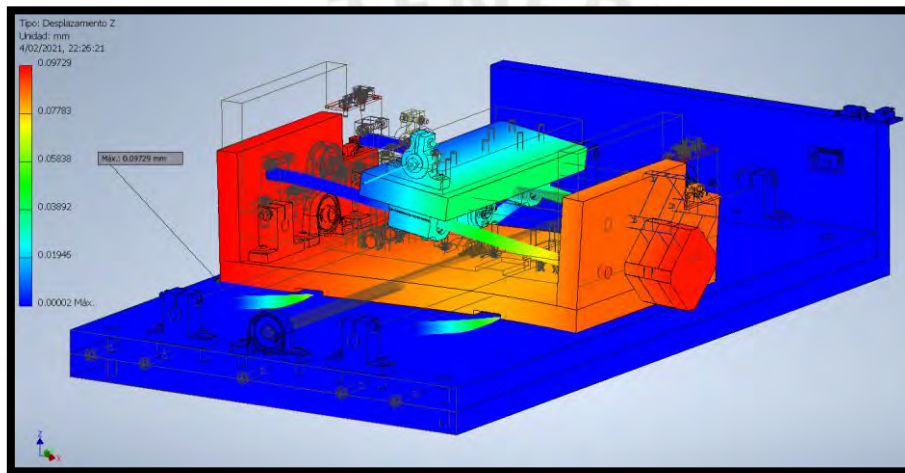


Figura D9: Análisis de tensión – Desplazamiento en Z – Vista isométrica  
Fuente: Elaboración propia

### Cálculo del torque requerido por el sistema

En base al diagrama de cuerpo libre del tornillo trapezoidal de la figura N°, se va calcular la fuerza de empuje y la fuerza normal haciendo uso de las ecuaciones de sumatoria de fuerzas en los ejes y el valor de 0.17 del coeficiente de rozamiento entre el acero y el latón, obtenido de la tabla 8-5 del libro de Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley.

$$\Sigma F_y = 0 = N * \text{sen}(15) - f * \text{sen}(75) - T \quad (6)$$

$$\Sigma F_x = 0 = E - F - f * \text{cos}(75^\circ) - N * \text{cos}(15) \quad (7)$$

$$T = \text{Peso de la tuerca con camisa} = 0.32 \text{ Kg} \quad (24)$$

$$F = \text{Fricción entre rodamientos lineales y ejes acerados} = 0 \quad (25)$$

$$N = 3.28 \text{ Newtons} \quad (6)$$

$$E = 3.31 \text{ Newtons} \quad (7)$$

Siguiendo los cálculos sugeridos (Budynas & K., 2012) para tornillos de potencia, se va a calcular el torque necesario para que el tornillo trapezoidal mueva la carga del primer y segundo nivel, mediante la ecuación (8) mostrada a continuación.

$$Tr = \frac{F \cdot d_m}{2} * \left[ \frac{l + \pi \cdot f \cdot d_m}{\pi \cdot d_m - f \cdot l} \right] \quad (8)$$

Donde:

$F$ : Suma de todas las fuerzas unitarias axiales que actúan sobre el área normal de la rosca

$d_m$ : Diámetro de paso

$f$ : Coeficiente de rozamiento entre el tornillo y la tuerca

$l$ : Avance lineal por vuelta

El diámetro de paso se obtiene de restar al diámetro del tornillo la mitad del paso o avance por vuelta y se muestra en la ecuación (26).

$$d_m = 8 - \frac{8}{2} = 4 \text{ mm} \quad (26)$$

El avance lineal por vuelta es de 8 mm y el valor del coeficiente de fricción entre el tornillo trapezoidal y la tuerca es de 0.17. Además, el valor de la fuerza  $F$  es el mismo que el de la fuerza de empuje sobre el tornillo calculada en la ecuación (7). Entonces, reemplazando todos los valores en la ecuación (8), se obtiene el valor del torque requerido por el motor.

$$Tr = \frac{0.0033 \text{ kN} * 4 \text{ mm}}{2} * \left[ \frac{8 \text{ mm} + \pi * 0.17 * 4 \text{ mm}}{\pi * 4 \text{ mm} - 0.17 * 8 \text{ mm}} \right] = 0.006 \text{ N} * \text{m} \quad (8)$$

Se concluye que el torque del motor debe ser igual o mayor a 0.006 N\*m.

## SUBSISTEMA ESTRUCTURA SOPORTE

### Análisis de tensión

El análisis de tensión del diseño de la estructura soporte antes descrita, considera también el peso de los dos subsistemas que se ubican en el segundo nivel. Dando como resultado, que casi todo el armazón metálico de la estructura va a experimentar un esfuerzo de tensión de como máximo 12.83 Mpa (ver *Figura D10*), con excepción de la bisagra de acero de la compuerta superior la cual experimenta el mayor esfuerzo con un valor de 64.17 Mpa. Sin embargo, este valor es mínimo en comparación al esfuerzo de fluencia de 270 MPa del tubo cuadrado de acero y por lo tanto no se va a producir ninguna deformación (ver *Figura D11*) o deflexión que impida su normal funcionamiento.

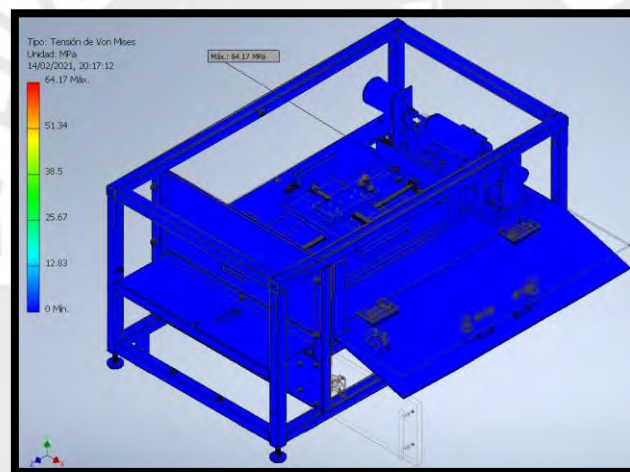


Figura D10: Análisis de tensión – Esfuerzo equivalente de Von Mises – Vista isométrica  
Fuente: Elaboración propia

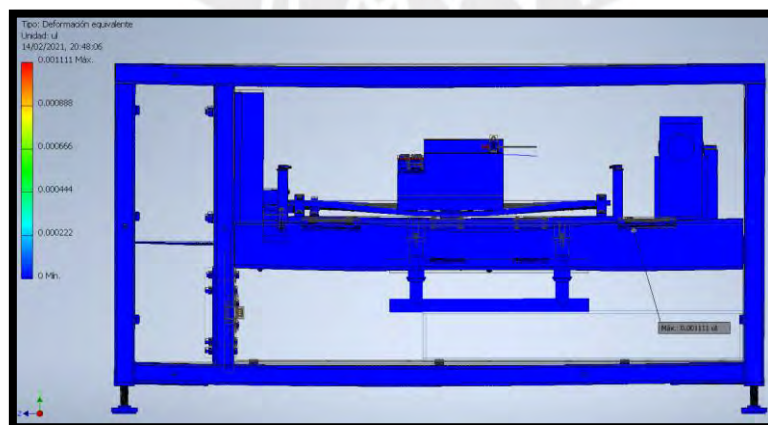


Figura D11: Análisis de tensión - Deformación equivalente – Vista frontal  
Fuente: Elaboración propia



Por otro lado, el factor de seguridad de seguridad mínimo, se va presentar en la pata ajustable de la cabina, tal como se ve en la *Figura D12* y va tener un valor de 3,72 valor a partir del cual se puede asegurar que el elemento no va fallar si incluso la cabina pesara 3 veces su peso actual.

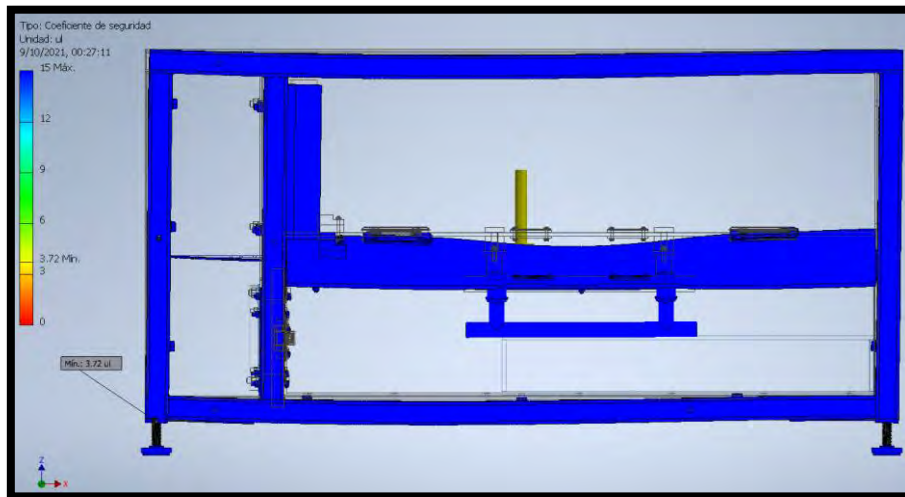


Figura D12: Análisis de tensión - Coeficiente de seguridad – Vista frontal  
Fuente: Elaboración propia

### Cálculo de las reacciones en la plancha base del segundo nivel

A partir del diagrama de cuerpo libre de la plancha base del segundo nivel que se muestra en la *Figura N° 8-9*, se presenta el desarrollo de las ecuaciones de sumatoria de fuerzas en el eje Z y la sumatoria de momentos en el eje X con respecto al punto A.

$$\Sigma F_z = 0 = R1_z + R2_z - 52 - 42 - 75 \quad (27)$$

$$\Sigma M_{x_A} = 0 = 42 * (270) + 52 * (296.5) + 75 * (267.5) - R1_z * (550) \quad (28)$$

$$R1_z = 85.1 N \quad (27)$$

Reemplazando la ecuación (27) en la ecuación (28)

$$R2_z = 83.9 N \quad (28)$$

## ANEXO E: SELECCIÓN DE MATERIALES, ACCESORIOS, COMPONENTES

### MECÁNICOS Y ELECTRÓNICOS



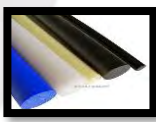
#### SUBSISTEMA DE RECOLECCIÓN

#### SELECCIÓN DE MATERIALES

##### Capa interna del cilindro colector

El material seleccionado para la capa interna del cilindro colector debe tener excelentes propiedades dieléctricas, una gran resistencia frente a ácidos y alcalinos fuertes. Asimismo, debe conservar su estabilidad dimensional en presencia de humedad y tener una mediana resistencia mecánica, además de un peso liviano. A continuación, se presenta la *Tabla E1*, en la cual se presentan 3 posibles materiales que cumplen la mayoría de los requerimientos técnicos antes mencionados.

Tabla E1: Evaluación de materiales para la capa interna del cilindro colector

CAPA INTERNA DEL CILINDRO COLECTOR	Requerimientos	RESINA ACETAL	POLIPROPILENO	POLIETILENO HDPE
				
Distribuidor	Ninguna	PRODUFLON	DURAFLOX	CIDELSA
Rigidez dieléctrica	$\geq 3.32$ kV/mm	65 kV/mm	80 kV/mm	44 kV/mm
Resistencia a la compresión	$\geq 0.144$ MPa	22.5 MPa	34.5 MPa	31.7 MPa
Resistencia a la humedad	No debe producir un aumento de sus dimensiones	Conserva sus dimensiones estables frente a la humedad como a la temperatura	No absorbe humedad y conserva su estabilidad dimensional	Impermeabilidad a la humedad. Conserva su estabilidad dimensional
Resistencia contra ácidos fuertes	Ácidos con un $ph > 1$	Resistencia frente a ácidos diluidos y a gran cantidad de disolventes	Resistencia aceptable para ácidos de un $ph=3$	Resistencia aceptable para ácidos de un $ph=3$
Resistencia contra alcalinos fuertes	Alcalinos con un $ph > 11$	Resistencia no aceptable frente a alcalinos fuertes	Resistencia aceptable para alcalinos de un $ph = 14$	Resistencia aceptable para alcalinos de un $ph = 14$
Dimensiones	$\varnothing = 60$ mm L=170 mm	$\varnothing = 60$ mm L=170 mm	$\varnothing = 60$ mm L=170 mm	$\varnothing = 60$ mm L=170 mm

Precio	< S/. 100.00	S/. 148.00	S/. 80.50	S/. 85.60
--------	--------------	------------	-----------	-----------


Fuente: Elaboración propia.

De los cuatro plásticos de ingeniería mostrados se va elegir al polipropileno como el material de la capa interna de cilindro colector ya que su rigidez dieléctrica es la mayor de todos; de igual forma tiene una gran resistencia frente a ácidos y alcalinos fuertes y conserva sus dimensiones en presencia de humedad.

### Capa externa del cilindro colector

A diferencia de la capa interna del cilindro colector, la capa externa tiene que tener propiedades de conducción eléctrica y algunas opciones de materiales que cumplen este requerimiento se muestran en la *Tabla E2*.

Tabla E2: Evaluación de materiales para la capa externa del cilindro colector

CAPA EXTERNA DEL CILINDRO COLECTOR	Requerimientos	ACERO	ALUMINIO	LATÓN
				
Fabricante	Ninguno	INKAFE	LUMETAL	FMS
Resistividad eléctrica	> 1 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	0.1 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	0.03 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	0.06 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
Temperatura de fusión	$\geq 30^\circ\text{C}$	1450 $^\circ\text{C}$	45 $^\circ\text{C}$	930 $^\circ\text{C}$
Dimensiones	$\varnothing = 63 \text{ mm}$ L=170 mm e= 1.5 mm	$\varnothing = 64 \text{ mm}$ L=170 mm e= 2 mm	$\varnothing = 63 \text{ mm}$ L=170 mm e= 1.5 mm	$\varnothing = 62 \text{ mm}$ L=170 mm e= 1 mm
Peso	< 1.4 Kg/m	2.97 Kg/m	0.76 Kg/m	1.587 Kg/m
Precio	< S/.100	S/. 83.17	S/. 14.45	S/. 146.70

Fuente: Elaboración propia.

Se concluye con la selección del aluminio como el material idóneo para la capa externa ya que tiene el precio más económico y es el mejor conductor eléctrico de las 3 opciones. Cabe resaltar que tiene una temperatura de fusión baja, pero como las condiciones de operación se darán a temperatura ambiente de 25  $^\circ\text{C}$ , no se tendrá ningún inconveniente.

### Bloques de apoyo

El material seleccionado para los tres bloques que sirven como soporte de un par de chumaceras de piso y sobre todo de la escobilla de carbón eléctrica; debe tener excelentes propiedades dieléctricas y una gran resistencia frente a ácidos y alcalinos fuertes. Asimismo, deben

conservar su estabilidad dimensional en presencia de humedad y tener una mediana resistencia mecánica, además de un peso liviano.

A continuación, en la *Tabla E3*, se presentan 3 posibles materiales, para los bloques de apoyo.

Tabla E3: Evaluación de materiales para el apoyo soporte

MATERIAL PARA SOPORTE DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO	Requerimientos	RESINA ACETAL	POLIPROPILENO	POLIETILENO HDPE
				
Fabricante	Ninguna	PRODUFLON	DURAFLON	CIDELSA
Rigidez dieléctrica	$\geq 3.32 \text{ kV/mm}$	65 kV/mm	80 kV/mm	44 kV/mm
Dureza Shore	$> 70$	83	76	66
Resistencia a la humedad	<b>No debe producir un aumento de sus dimensiones</b>	Conserva sus dimensiones frente a la humedad como a la temperatura	No absorbe humedad y conserva su estabilidad dimensional	Impermeabilidad a la humedad. Conserva su estabilidad dimensional
Resistencia contra ácidos fuertes	<b>Ácidos con un <math>\text{ph} &gt; 1</math></b>	Resistente frente a ácidos diluidos y a gran cantidad de disolventes	Resistencia aceptable para ácidos de un $\text{ph}=3$	Resistencia aceptable para ácidos de un $\text{ph}=3$
Resistencia contra alcalinos fuertes	<b>Alcalinos con un <math>\text{ph} &gt; 11</math></b>	Resistencia no aceptable frente a alcalinos fuertes	Resistencia aceptable para alcalinos de un $\text{ph}=14$	Resistencia aceptable para alcalinos de un $\text{ph}=14$
Dimensiones	<b>1000x1000x15 mm</b>	1000x1000x15 mm	1000x1000x15 mm	1000x1000x15 mm
Densidad	<b><math>&lt; 7.85 \text{ g/cm}^3</math></b>	1.42 g/cm <sup>3</sup>	0.9 g/cm <sup>3</sup>	0.94 g/cm <sup>3</sup>
Precio	<b><math>&lt; \text{S/. } 800.00</math></b>	S/. 1020.00	S/. 550.00	S/. 411.00




Fuente: Elaboración propia.

De los cuatro plásticos de ingeniería mostrados se va elegir al polipropileno como el material de los bloques de apoyo ya que su rigidez eléctrica es la mayor de todos; de igual forma tiene una gran resistencia frente a ácidos y alcalinos fuertes y conserva sus dimensiones en presencia de humedad.

### Eje escalonado

La transmisión del movimiento de rotación al cilindro colector usa un eje escalonado, es decir un eje con diferentes diámetros; por lo cual se requiere que el material escogido pueda ser mecanizado fácilmente. En la *Tabla E4*, se muestran 3 opciones de acero al carbono orientado a la producción de componentes mecánicos.

Tabla E4: Evaluación de materiales para eje escalonado

EJE ESCALONADO	Requerimientos	ACERO A36	ACERO SAE 1045	ACERO SAE 1020
				
Fabricante	Ninguno	ACEROS AREQUIPA	MIROMINA	FERMET
Esfuerzo de fluencia	> 200 MPa	250 MPa	580 MPa	245.25 MPa
Dureza	< 120 HB	141 HB	163 HB	110 HB
Dimensiones	Ø= 25.4 mm L= 300 mm	Ø= 25.4 mm L= 300 mm	Ø= 25.4 mm L= 300 mm	Ø= 25.4 mm L= 300 mm
Peso	< 4 Kg/m	3.978 Kg/m	3.98 Kg/m	3.98 Kg/m
Precio	< S/.10	S/. 7.20	S/. 9.40	S/. 8.50

Fuente: Elaboración propia.

Ya que el eje del cilindro colector no va ser sometido a exigencias mecánicas altas y va tener que ser mecanizado, el material idóneo es el acero SAE 1020.

## SELECCIÓN DE COMPONENTES MECÁNICOS

### Chumacera de piso

El soporte que va permitir el libre giro del eje escalonado debe ser fabricado de un material dieléctrico. En la siguiente *Tabla E5*, se muestran 3 opciones para este tipo de soporte.

Tabla E5: Tabla comparativa de características y precios de una chumacera de piso

CHUMACERA DE PISO	Requerimientos	SOPORTE DE EJES RS PRO	SOPORTE DE PIE IGUS- KSTM12	SOPORTE MULCPPL 200
				
Fabricante	Ninguno	RS PRO	IGUS	ASAHI
Material	Aislante o Termoplástico	Hierro fundido	Temoplástico Iglide L280	Termoplástico PBT (Tereftalato de polibutileno)
Peso	< 1Kg	0.63 Kg	0.45 Kg	0.32 Kg
Diámetro de agujero	12 mm	12 mm	12 mm	12 mm
Precio	< S/.60	S/. 48.16	S/. 25.93	S/. 115.3

Fuente: Elaboración propia.

En vista de que el principal requerimiento es que el soporte sea de un material aislante se va escoger el soporte de pie Igus, el cual está elaborado a partir del termoplástico iglide, que además resulta ser la opción con el precio más económico.

### Acople de transmisión

La transmisión del movimiento del eje del motor al eje escalonado necesita de un acople que soporte un torque mayor o igual a 0.078 N\*m. Además, este acople debe permitir un desalineamiento angular moderado ya que los soportes del motor y del sistema de recolección no son una misma pieza por lo que tiene alturas diferentes. En la *Tabla E6*, se presentan 3 posibles acoples para la transmisión del movimiento.

Tabla E6: Tabla comparativa de características y precios de un acople de transmisión

ACOUPLE DE TRANSMISIÓN	Requerimientos	ACOPLAMIENTO DE FUELLE – ACERO INOXIDABLE	JUNTA FLEXIBLE DE ALUMINIO	ACOUPLE TIPO MANDÍBULA ALUMINIO
				
Fabricante	<b>Ninguno</b>	HUCO	RULAND	RULAND
Torque nominal de transmisión	<b><math>\geq 0.078 \text{ N}\cdot\text{m}</math></b>	7.5 N*m	3.73 N*m	1.21 N*m
Desalineamiento angular	<b><math>&gt; 2^\circ</math></b>	2.5°	3°	1.3°
Tipo de fijación	<b>Ninguna</b>	Tornillo de fijación	Tornillo de fijación	Abrazadera
Diámetro interno	<b>8 mm</b>	8 mm	8 mm	8mm
Precio	<b>&lt; S/.50</b>	S/. 167.34	S/. 174.04	S/. 242.86

Fuente: Elaboración propia.




En base a los requisitos antes expuestos se va seleccionar el acoplamiento de fuelle ya que puede transmitir el mayor torque y el desalineamiento angular que permite es muy bueno. Finalmente se escoge esta opción ya que su precio es el más económico de las 3 opciones.

### Motor eléctrico DC

El sistema de recolección de las micro o nano fibras alineadas entre sí necesita de un motor eléctrico DC que permita revoluciones de hasta 3500 RPM. Asimismo, su voltaje de alimentación no deber ser mayor a 12 VDC, ya que la mayoría de componentes electrónicos

que se piensan utilizar funcionan con este voltaje. De lo contrario se tendría que adquirir una fuente de mayor voltaje, por lo que el costo de la máquina aumentaría. En la *Tabla E7*, se presentan 3 posibles opciones que reúnen algunas de las características antes mencionadas.

Tabla E7: Tabla comparativa de características y precios de un motor eléctrico DC

MOTOR ELÉCTRICO DC	Requerimientos	Motor DC MPM8-0002	Motor DC RS PRO	Motor DC M27-150
				
Fabricante	<b>Ninguno</b>	PARVALUX	RS PRO	AMPFLOW
Tensión de alimentación	<b>12 VDC</b>	12- 24 VDC	24 V	24V
RPM	<b>3500 RPM</b>	3000 RPM	4000 RPM	3800 RPM
Torque	<b><math>\geq 0.078 \text{ N}\cdot\text{m}</math></b>	0.11 N*m	0.19 N*m	0.38 N*m
Consumo energético	<b>&lt; 60W</b>	38.4-50.4 W	129.6 W	150 W
Diámetro del eje	<b><math>\geq 8 \text{ mm}</math></b>	7.927 mm	5 mm	8 mm
Precio	<b>&lt; S/. 1000</b>	S/. 1224.46	S/. 214.35	S/. 955.24

Fuente: Elaboración propia.

De las 3 opciones, el modelo MPM8 es el que cumple con todos los requerimientos, en especial el consumo energético. Sin embargo, su costo es muy elevado en comparación al modelo M27-150, el cual a pesar de su mayor consumo energético tiene una capacidad muy superior al modelo MPM8. Es por esto que se va selección el motor del fabricante AMPFLOW de modelo M27-150.

El hecho de que este motor necesite una fuente de alimentación propia no debe considerarse como una desventaja ya que a pesar de tener que adquirir una fuente adicional se van evitar los posibles errores de funcionamiento en los componentes electrónicos con quienes compartiría la alimentación eléctrica, debido a los picos de consumo energético que tiene un motor.



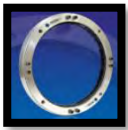
## SELECCIÓN DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS

### Conector para puesta a tierra

La producción de micro o nano fibras por efecto del arco eléctrico entre la aguja eyectora y el cilindro colector, se hace posible si se conecta a tierra la capa exterior conductora del cilindro colector. Sin embargo, para lograr esta conexión es necesario un conector que pueda hacer

contacto físico con un cilindro en rotación. En la *Tabla E8*, se muestran 3 opciones de conectores que pueden cumplir esta función.

Tabla E8: Tabla comparativa de características y precios de un conector de puesta a tierra

CONECTOR PARA PUESTA A TIERRA	Requerimientos	CONECTOR ROTATORIO	ESCOBILLA DE CARBÓN	ANILLO DE PUESTA A TIERRA
				
Fabricante	Ninguno	MERCOTAC	CARBON Y GRAFITO S.A.C.	AEGIS
RPM	3000 RPM	3600 RPM	3500 RPM	250 RPM
Torque de rotación	< 0.05 N*m	0.0034 N*m	N/A	N/A
Longitud	< 50 mm	32 mm	30 mm	7.5 mm
Número de terminales	1	1	1	1
Precio	> S/.100.00	S/180	S/. 25	S/. 350.64

Fuente: Elaboración propia.




De las 3 opciones antes mostradas se va escoger como conector a la escobilla de carbón por sus ventajas económicas, de espacio y porque es una opción cuya funcionalidad ya ha sido comprobada en los motores de corriente continua con escobillas.

### Controlador para motor DC

El dispositivo que va controlar la velocidad y sentido de giro del motor AmpFlow M27-150 debe poder recibir e interpretar señales PWM (modulación por ancho de pulso) y soportar una corriente eléctrica mayor a 4 A. A continuación, en la *Tabla E9*, se muestran 3 controladores para motores de corriente continua que usan una señal PWM.



Tabla E9: Tabla comparativa de características y precios de un controlador para motor DC

CONTROLADOR PARA MOTOR DC	Requerimientos	DRIVER BTS 7960	DRIVER MD13S	DRIVER SHIELD MDD10
				
Fabricante	Ninguno	HANDSON TECHNOLOGY	CYTRON	CYTRON
Voltaje de alimentación	24 VDC	6-27 VDC	6-30 VDC	7-30 VDC
Corriente máxima de operación continua	6 A	40 A	13 A	10 A
Dimensiones máximas	Largo 80 mm Ancho 50 mm Profund. 40 mm	Largo 50 mm Ancho 50 mm Profund. 43 mm	Largo 61 mm Ancho 33 mm Profund. 7 mm	Largo 82.8 mm Ancho 59.1 mm Profund. 5 mm
Pines de control PWM y DIR	Si	Si	Si	Si
Voltaje de las señales de control	3.3 - 5 VDC	3.3 - 5 VDC	3.3 - 5 VDC	3.3 - 5VDC
Motores que se pueden controlar	1 motor DC	1 motor DC	1 motor DC	2 motores DC
Precio	< S/. 80	S/. 40	S/. 116.70	S/. 152.72



Fuente: Elaboración propia.

Los 3 controladores antes mostrados presentan características similares, sin embargo, de entre ellos sobresale el modelo BTS 7960 por su valor económico y por su alta capacidad para soportar corrientes de hasta 40 A.

### Encoder

La velocidad de rotación del cilindro colector se va poder medir y corregir correctamente mediante el uso de un encoder incremental que tenga por lo menos una resolución de 360 PPR (pulsos por revolución). A continuación, en la *Tabla E10*, se muestran 3 opciones de encoder.

Tabla E10: Tabla comparativa de características y precios de un encoder rotatorio

ENCODER	Requerimientos	CODIFICADOR ROTATORIO	CODIFICADOR ROTATORIO	CODIFICADOR ROTATORIO
				
Fabricante	<b>Ninguno</b>	SPARKFUN ELECTRONICS	CYTRON	SHANGHAI MUJIE
Resolución	<b>&gt; 360 PPR</b>	1024 PPR	500 PPR	1000 PPR
Voltaje de alimentación	<b>12 VDC</b>	5-12 VDC	5-24 VDC	5-24 VDC
Diámetro del eje	<b>8 mm</b>	6 mm	4 mm	6 mm
Velocidad máxima de rotación	<b>3500 RPM</b>	6000 RPM	6000 RPM	300 RPM
Precio	<b>&lt; S/ 120</b>	S/. 106.48	S/380.35	S/. 173.27

Fuente: Elaboración propia.

De las 3 opciones, se va escoger el encoder del fabricante SparkFun Electronics, por su alta resolución y costo moderado en el cual va estar incluido un acople flexible de aluminio.

## SUBSISTEMA DE POSICIONAMIENTO

### SELECCIÓN DE MATERIALES




#### Estructura del sistema

El material de las placas que conforman el subsistema de posicionamiento debe tener buenas propiedades mecánicas, es decir debe ser duro y tenaz para que puedan resistir rayaduras o golpes, conservar sus dimensiones a pesar de la humedad, ser resistentes a la abrasión, tener buena resistencia frente a ácidos o alcalinos fuertes y tener buenas propiedades dieléctricas para mitigar la formación de cargas eléctricas residuales. Se presentan 3 posibles materiales que pueden cumplir los requerimientos mencionados en la *Tabla E3*. De los cuales, la opción más adecuada para uso como estructura es el polipropileno. A pesar de que el precio del polietileno HDPE es el más económico se va descartar esta opción ya que es un material más flexible que va más orientado a la producción de envases.

## Camisa de la tuerca y bloque soporte del conjunto aguja-conector

Tanto la tuerca trapezoidal que permite el avance lineal del sistema como el conjunto aguja-conector necesitan de un soporte que permita fijarlos a la estructura. El material de este par de soportes debe tener buenas propiedades mecánicas, dieléctricas y ser resistente frente a ácidos y alcalinos fuertes. Se ha tomado la decisión de fabricar estos dos soportes usando el método de la impresión 3D. A continuación, se muestra la *Tabla E11*, en la cual se presentan las características y precios de 3 materiales para impresión 3D.

Tabla E11: Evaluación de materiales y costos para el soporte del conjunto aguja conector

BLOQUE SOPORTE DEL CONJUNTO AGUJA-CONECTOR	Requerimientos	ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno)	PET (Tereftalato de Polietileno)	PETG (Terftalato de Polietileno Glicol)
				
Fabricante	<b>Ninguna</b>	SMARTFIL ABS	INNOVATEFIL	ALCIA 3DP
Estabilidad dimensional	<b>Se conserva a 25 °C</b>	Se conserva a 90°C	Se conserva a 70°C	Se conserva a 80°C
Capacidad de ser mecanizado	<b>Fácil mecanizado</b>	Fácil mecanizado	Fácil mecanizado	Difícil mecanizado
Resistencia química	<b>Contra ácidos y alcalinos</b>	Resistente a ácidos y alcalinos	Resistente a ácidos, alcalinos	Resistente a ácidos y alcalinos
Dureza Rockwell	<b>&gt; 70</b>	107	98	98
Rigidez dieléctrica	<b>&gt; 11 kV/mm</b>	23 kV/mm	14 kV/mm	16 kV/mm
Precio	<b>&lt; S/. 90.00</b>	S/. 80.42	S/. 194.72	S/. 67.99




Fuente: Elaboración propia.

Se va elegir como material para la impresión 3D del bloque soporte al plástico ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno), ya que este puede mecanizarse fácilmente y es el material que presenta la mejor rigidez dieléctrica.

### Aguja eyectora

La aguja eyectora por la que va fluir la solución polimérica debe ser de un material conductor eléctrico; debe tener un sistema de cierre que evite la fuga del líquido y por último debe ser resistente a golpes o raspones para que pueda cumplir su función por un tiempo prolongado, sin necesidad de ser cambiado. Además, la punta de la aguja debe ser del tipo orientado al uso de válvulas de inyección. A continuación, en la *Tabla E12*, se muestran 3 opciones de aguja.

Tabla E12: Tabla comparativa de características y precios de una aguja eyectora

AGUJA EYECTORA	Requerimientos	AGUJA DE CUBO METÁLICO	AGUJA DE CUBO KEL-F	AGUJA HIPODÉRMICA
				
Fabricante	<b>Ninguna</b>	HAMILTON	HAMILTON	SIGMA
Material del cubo	<b>Ninguna</b>	Acero inoxidable	Fluopolímero KEL-F	Plástico
Tipo de cierre	<b>Roscado</b>	Luer Lock (roscado)	Luer Lock (roscado)	A presión
Estilo de punta	<b>Tipo 3</b>	Tipo 3	Tipo 3	Tipo 4
Tipo de uso	<b>Permanente</b>	Permanente	Permanente	Desechable
Calibre	<b>G 20</b>	G 20	G 20	G 20
Precio	<b>&lt; S/.120 por paquete de 6 agujas</b>	S/. 111.70	S/. 106.40	S/. 4.00

Fuente: Elaboración propia.

De las 3 opciones mostradas se va escoger la aguja de cubo de acero inoxidable ya que este material es el de mayor duración y resistencia; asimismo, este modelo tiene el tipo de cierre Luer Lock que permite una sujeción más segura y estable en comparación al cierre a presión.

### Conector de aguja eyectora

La aguja antes mencionada necesita de un conector que tenga en uno de los extremos una entrada macho roscado para el acoplamiento de la aguja eyectora la cual tiene un sistema de cierre Luer Lock roscado. Con respecto al otro extremo del conector es deseable que tenga una entrada hembra roscada para el ingreso de algún accesorio que permita fijar mejor el tubo de silicona que viene desde la bomba de infusión. A continuación, se muestra la *Tabla E13*, que se elaboró para poder comparar 3 posibles conectores.

Tabla E13: Tabla comparativa de características y precios de un conector para la aguja eyectora

CONECTOR DE AGUJA EYECTORA	Requerimientos	CONJUNTO DE ADAPTADOR LUER LOCK	CONECTOR LIBRE DE AGUJA	ADAPTADOR HEMBRA LUER
				
Fabricante	Ninguna	IDEX HEALTH AND SCIENCE	CODAN	HAMILTON
Material	Ninguna	PEEK(Poliéter éter cetona)	Policarbonato transparente	Metal y termoplástico
Tipo de cierre	Roscado	Luer Lock (roscado)	Luer Lock (roscado)	Luer Lock (roscado)
Tipo de conector	Hembra/Macho	Hembra/Macho	Hembra/Macho	Hembra/Macho
Tipo de uso	Permanente	Permanente	Desechable	Permanente
Precio	< S/.100 por paquete de 6 unidades	S/. 98.10	S/. 12.00	S/. 132.00

Fuente: Elaboración propia.

Se va elegir como conector al conjunto de adaptador Luer Lock hembra-macho ya que está elaborado de un material termoplástico dieléctrico y está orientado para uso permanente.

### Tornillo trapezoidal con tuerca

El tornillo o husillo debe ser de 4 hilos para que el avance lineal no sea lento. Asimismo, el material en que este fabricado debe otorgar estabilidad y rigidez al sistema cuando la carga sobre ella este en movimiento. A continuación, se muestra la *Tabla E14*, que compara el precio de un tornillo trapezoidal de 3 distribuidores diferentes.

Tabla E14: Evaluación de precios de un tornillo trapezoidal con tuerca

TORNILLO TRAPEZOIDAL CON TUERCA	Requerimientos	TORNILLO DE POTENCIA THSL -500-8D	TORNILLO TRAPEZOIDAL CON TUERCA DE AVANCE	TORNILLO TRAPEZOIDAL T8
				
Distribuidor	Ninguna	NAYLAMP MECHATRONICS	ELECTRÓNICA HI-FI S.A.C.	UNITUTORES
Díámetro	8 mm	8 mm	8 mm	8 mm
Longitud	666 mm	500 mm	700 mm	800 mm
Número de hilos	4	4	4	4
Paso del tornillo	8 mm	8 mm	8 mm	8 mm
Precio	< S/. 50.00	S/. 80.00	S/. 27.80	S/. 130.00




Fuente: Elaboración propia.

De las tres opciones presentadas, se va escoger el tornillo trapezoidal con tuerca del distribuidor ELECTRÓNICA HI-FI, ya que el modelo cumple con todos los requerimientos y presenta el costo más económico.

### Acople flexible

La transmisión del movimiento del eje del motor al tornillo trapezoidal necesita de un acople que permita un desalineamiento moderado y que tenga una entrada de 5 mm por un extremo y por el otro una entrada de 8 mm. Debido a que un par de chumaceras y un par de soportes de eje resisten el peso del nivel superior del subsistema de posicionamiento, el torque que va transmitirse no es elevado y por ello un acople flexible de aluminio es el elemento ideal. Se ha elaborado la *Tabla E15*, en la que se muestran los diferentes precios para este tipo de acople.

Tabla E15: Evaluación de precios de un acople flexible

ACOPLE FLEXIBLE	Requerimientos	ACOPLE FLEXIBLE DE ALUMINIO	ACOPLE FLEXIBLE DE ALUMINIO	ACOPLE FLEXIBLE
				
Distribuidor	<b>Ninguna</b>	ELECTRÓNICA HI-FI S.A.C.	NAYLAMP MECHATRONICS	UNITUTORES
Diámetros interiores	<b>5 y 8 mm</b>	5 y 8 mm	5 y 8 mm	5 y 8 mm
Material	<b>Aluminio</b>	Aluminio	Aluminio	Aluminio
Largo	<b>25 mm</b>	25 mm	25 mm	25 mm
Diámetro exterior	<b>18 mm</b>	19 mm	18 mm	18 mm
Precio	<b>&lt; S/.10.00</b>	S/. 4.80	S/. 12.00	S/. 10.00

Fuente: Elaboración propia.

De los 3 modelos antes mostrados se va escoger el acople flexible que provee el distribuidor ELECTRONICA HI-FI, ya tiene el precio más económico y su producto cumple todos los requerimientos mecánicos especificados.

### Chumacera de piso

Se necesitan de un par de chumaceras que soporten un peso aproximado de 5 Kg y que permitan el libre giro de un eje trapezoidal de 8 mm de diámetro. Además, el eje del agujero de la

chumacera debe estar a una distancia de por lo menos 15 mm de la base del mecanismo. Se ha elaborado la *Tabla E16*, que muestra los diferentes precios de este tipo de soporte.

Tabla E16: Evaluación de precios de una chumacera de piso

CHUMACERA DE PISO	Requerimientos	SOPORTE CON RODAMIENTO KP08	CHUMACERA M8 KP08	RODAMIENTO CON CAMISA
				
Distribuidor	<b>Ninguna</b>	ELECTRÓNICA HI-FI S.A.C.	NAYLAMP MECHATRONICS	UNITUTORES
Diámetro interior	<b>8 mm</b>	8 mm	8 mm	8 mm
Altura del eje	<b>15 mm</b>	15 mm	15 mm	15 mm
Profundidad	<b>5 mm</b>	5 mm	5 mm	5 mm
Carga vertical máxima	<b>5 Kg</b>	8 Kg	8 Kg	8 Kg
Precio	<b>&lt; S/. 15.00</b>	S/. 7.50	S/. 15.00	S/. 14.00

Fuente: Elaboración propia.

Se va seleccionar la chumacera de piso del distribuidor ELECTRÓNICA HI-FI, ya que su precio es el más económico y el modelo cumple todos los requerimientos antes descritos.

### SopORTE para ejes

El soporte para ejes de 8 mm de diámetro, debe tener un tornillo de fijación que permita restringir el movimiento entre el eje y el rodamiento lineal. Asimismo, el eje debe estar a una altura de 20 mm con respecto de la base. A continuación, se muestra la *Tabla E17*, que se ha elaborado para comparar el precio de diferentes distribuidores para este mecanismo.

Tabla E17: Evaluación de precios de un soporte para ejes

SOPORTE PARA EJES	Requerimientos	SOPORTE VERTICAL PARA EJE SK8	SOPORTE SK8	SOPORTE DE PIE PARA EJES SK8
				
Distribuidor	<b>Ninguna</b>	ELECTRÓNICA HI-FI S.A.C.	NAYLAMP MECHATRONICS	UNITUTORES
Diámetro interior	<b>8 mm</b>	8 mm	8 mm	8 mm
Altura del eje	<b>20 mm</b>	20 mm	20 mm	20 mm
Tornillo de sujeción de eje	<b>M4</b>	M4	M4	M4
Precio	<b>&lt; S/.10.00</b>	S/. 4.80	S/. 10.00	S/. 10.00

Fuente: Elaboración propia.

Se va seleccionar el soporte de eje del distribuidor ELECTRÓNICA HI-FI, ya que su precio es el más económico y el modelo cumple con todos los requerimientos mecánicos antes descritos.

### Rodamiento lineal

El rodamiento lineal que se seleccione debe tener como mínimo 4 tornillos de fijación que garanticen una correcta unión con la plataforma que se quiere guiar linealmente. Asimismo, el diámetro del agujero interior debe ser de 8 mm y los rodamientos lineales deben soportar una carga móvil de por lo menos 50 N; ya que ninguno de los niveles del sistema de posicionamiento soporta cargas pesadas. A continuación, se muestra la *Tabla E18*, que se ha elaborado para comparar el precio que ofrecen diferentes distribuidores.

Tabla E18: Evaluación de precios para un rodamiento lineal

RODAMIENTO LINEAL	Requerimientos	RODAMIENTO LINEAL SC8UU	RODAMIENTO LINEAL CON SOPORTE SC8UU	RODAMIENTO LINEAL SC8UU
				
Distribuidor	Ninguna	ELECTRÓNICA HI-FI S.A.C.	NAYLAMP MECHATRONICS	UNITUTORES
Diámetro interior	8 mm	8 mm	8 mm	8 mm
Tornillos de sujeción	M4 (4x)	M4 (4x)	M4 (4x)	M4 (4x)
Dimensiones	34x22x30 mm	34x22x30 mm	34x22x30 mm	34x22x30 mm
Carga dinámica que puede soportar	260 N	260 N	260 N	260 N
Precio	< S/. 12.00	S/. 8.00	S/. 15.00	S/. 14.00

Fuente: Elaboración propia.

Se va seleccionar el rodamiento lineal del distribuidor ELECTRÓNICA HI-FI, ya que su precio es el más económico y el modelo cumple con todos los requerimientos antes descritos.




### Selección del motor a pasos

El motor a pasos seleccionado debe tener por lo menos 200 pasos por revolución para que el avance de 8 mm por vuelta del tornillo trapecoidal tenga una imprecisión máxima de 0.04 mm. Por otro lado, el torque que debe entregar debe ser mayor o igual a 0.006 N\*m y con respecto al consumo energético, es deseable que se alimente con 12 VDC y que utilice como máximo



una corriente de 1 A. A continuación, se muestra la *Tabla E19*, que se ha elaborado para comparar los precios y características de diferentes motores a pasos.

Tabla E19: Tabla comparativa de características y precios de un motor a pasos

MOTOR A PASOS	Requerimientos	MOTOR NEMA 17	MOTOR PASO A PASO NEMA 17	MOTOR A PASOS PHB42S34-430A
				
Distribuidor	<b>Ninguna</b>	UNITUTORES	ELECTROTEC PERU	MERCADO LIBRE
Volatje de alimentación	<b>12 VDC</b>	12 VDC	12 VDC	12 VDC
Corriente de fase	<b>0.4 A</b>	0.4 A	1.7 A	0.4 A
Pasos por revolución	<b>200</b>	200	200	200
Tipo de motor	<b>Bipolar</b>	Bipolar	Bipolar	Bipolar
Torque	<b><math>\geq 0.006 \text{ N}\cdot\text{m}</math></b>	0.26 N*m	0.36 N*m	0.28 N*m
Diámetro del eje	<b>5 mm</b>	5 mm	5 mm	5 mm
Precio	<b>&lt; S/. 70.00</b>	S/. 65.00	S/. 75.00	S/. 70.00

Fuente: Elaboración propia.




De los modelos presentados, se va seleccionar el motor NEMA17 de 0.4 A; ya que cumple los requerimientos mecánicos y eléctricos y además su precio es el más económico.

## SELECCIÓN DE COMPOENENTES ELECTRÓNICOS

### Driver para motor a pasos

El driver más adecuado debe tener salidas eléctricas de potencia de un voltaje igual a 12 VDC y corriente de 0.4 A. Además, debe permitir el control del giro bajo la modalidad de pasos completos para no perder torque en la transmisión. A continuación, en la *Tabla E20*, se presentan 3 precios diferentes para el driver POLOLU A4988, el cual cumple con todos los requerimientos mencionados y es uno de los modelos más comerciales y fáciles de conseguir.

Tabla E20: Evaluación de precios para driver POLOLU A4988

DRIVER PARA MOTOR A PASOS	Requerimientos	DRIVER DE MOTOR A PASOS A4988	DRIVER PaP POLOLU A4988	DRIVER TB6560
				
Distribuidor	<b>Ninguna</b>	ELECTRÓNICA HI-FI S.A.C.	NAYLAMP MECHATRONICS	UNITUTORES
Voltaje de alimentación - potencia	<b>12 VDC</b>	12 - 24 VDC	12 - 24 VDC	12 - 24 VDC
Voltaje de alimentación-control	<b>5 VDC</b>	3.3 - 5 VDC	3.3 - 5 VDC	10 - 35 VDC
Corriente de salida	<b>1 Amperio por bobina</b>	1 Amperio por bobina	1 Amperio por bobina	Hasta 3 Amperios
Resolución de pasos	<b>Paso completo</b>	Paso completo	Paso completo	Paso completo
Precio	< S/. 20.00	S/. 10.00	S/. 15.00	S/. 42.00




Fuente: Elaboración propia.

De las 3 opciones presentadas, se va seleccionar el driver TB6560 ya que este módulo cumple con todos los requerimientos y además ofrece una protección contra el sobrecalentamiento y sobrecorriente, lo que lo hace ideal si es que su uso va ser continuo como es el caso de la presente máquina.

### Sensor de fin de carrera

Se necesita de un sensor de fin de carrera que emita una señal de 5 VDC cuando se ha llegado al límite del rango de movimiento en la dirección X e Y. En la *Tabla E21*, se muestran 2 diferentes opciones de sensor y sus respectivos precios en el mercado nacional.

Tabla E21: Tabla comparativa de características y precios de un sensor de fin de carrera

SENSOR DE FIN DE CARRERA	Requerimientos	Sensor de final de carrera óptico	Sensor de final de carrera mecánico	Final de carrera
				
Distribuidor	<b>Ninguna</b>	NAYLAMP MECHATRONICS	NAYLAMP MECHATRONICS	UNITUTORES
Voltaje de alimentación	<b>3.3 - 5 VDC</b>	5 VDC	5 VDC	5 VDC
Salida de voltaje del PIN de control	<b>0 - 5 VDC</b>	0 - 5 VDC	0 - 5 VDC	0 - 5 VDC
Precio	<b>&lt; S/. 10.00</b>	S/. 8.00	S/. 6.00	S/. 6.00




Fuente: Elaboración propia.

De las 3 opciones presentadas, se va preferir el sensor de fin de carrera mecánico ya que acondicionar el sensor de fin de carrera óptico sería complicado y más costoso.

### Sensor de distancia

Debido a que la distancia de la aguja eyectora con respecto al cilindro colector es un parámetro de producción crítico, se necesita de un sensor que permita conocer con exactitud la distancia recorrida en la dirección X. Asimismo, como este dispositivo va operar en un ambiente donde se produce el proceso de electro hilado es necesario que la medición que realice no sea afectada por condiciones en el entorno como temperatura, humedad o ruido. A continuación, en la *Tabla E22*, se presentan 3 opciones de sensores que pueden medir distancias.

Tabla E22: Tabla comparativa de características y precios de un sensor de distancia

SENSOR DE DISTANCIA	Requerimientos	SENSOR DE DISTANCIA INFRARROJO	SENSOR DE DISTANCIA LÁSER VL53LOX	SENSOR DE ULTRASONIDO ANALÓGICO US-016
				
Distribuidor	Ninguno	ELECTRÓNICA HI-FI S.A.C.	ELECTRÓNICA HI-FI S.A.C.	ELECTRÓNICA HI-FI S.A.C.
Voltaje de operación	5 - 12 VDC	4.5 - 5.5 VDC	3 - 5 VDC	5 VDC
Rango de medición	0 - 300 mm	100 - 800 mm	50 - 1200 mm	40 - 3000 mm
Señal de salida	Ninguna	Análogo	Analógico	Analógico
Error de medición aceptable	10 mm	20 mm	10 mm	3 mm
Factores que afectan la medición	La medición no debe ser afectada por la humedad o el ruido	A menos de 100 mm el sensor entrega medidas erróneas	La medición no es afectada	Si hay ruido, humedad o una temperatura elevada la medición es errónea
Precio	< S/. 50.00	S/. 27.80	S/. 39.00	S/. 7.00

Fuente: Elaboración propia.

A pesar, de tener el precio más elevado de las 3 opciones se va escoger al sensor de distancia VL53LOX, ya que es el único sensor que no es afectado por las condiciones del entorno y su error de cálculo es aceptable.




## SUBSISTEMA DE INTERACCIÓN CON EL USUARIO

### SELECCIÓN DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS

#### Interruptor ON/OFF luminoso

El flujo de energía eléctrica a todos los subsistemas de la máquina debe controlarse por algún tipo de interruptor de dos posiciones que a su vez tenga un indicador luminoso para que el usuario pueda darse cuenta fácilmente del estado de la máquina. Además, debe tener una capacidad de corte de voltaje igual o superior a 220 VAC, así como soportar una corriente máxima de 15 A. A continuación, en la *Tabla E23*, se presentan los costos de un interruptor ON/OFF luminoso de 3 diferentes distribuidores.

Tabla E23: Tabla comparativa de características y precios de un interruptor ON/OFF luminoso

INTERRUPTOR ON/OFF LUMINOSO	Requerimientos	SWITCH LUMINOSO	SWITCH ROCKER CON LUZ	SWITCH ON/OFF
				
Distribuidor	<b>Ninguno</b>	ASTEEN PERU	ELECTRÓNICA HI-FI S.A.C.	UNITUTORES
Capacidad de corte de voltaje	<b>220 VAC</b>	220 VAC	250 VAC	220 VAC
Corriente máxima	<b>15 A</b>	15 A	16 A	3A
Número de pines	<b>3 o 6</b>	3	6	2
Precio	<b>&lt; S/. 8.00</b>	S/. 3.90	S/. 2.20	S/. 2.00

Fuente: Elaboración propia.

De las 3 opciones de interruptor luminoso mostrados se va seleccionar el switch ROCKER de 6 pines, ya que presenta la mayor capacidad de corte y su costo es intermedio.

### Botón de emergencia

Se necesita de un botón de emergencia con retención que tenga una capacidad de corte de voltaje mayor o igual a 220 VAC. Además, debe tener un grado de protección IP40, ya que al ubicarse fuera de la cámara puede estar expuesto a raspones o golpes. A continuación, se muestra la *Tabla E24*, que muestra el precio de 3 diferentes distribuidores.

Tabla E24: Tabla comparativa de características y precios de un botón de emergencia

BOTÓN DE EMERGENCIA	Requerimientos	SWITCH DE PARADA DE EMERGENCIA	PARADA DE EMERGENCIA	PARADA DE EMERGENCIA CON RETENCIÓN
				
Distribuidor	<b>Ninguno</b>	ELECTRÓNICA HI-FI S.A.C.	SCHNEIDER	CHINT
Grado de protección	<b>IP40</b>	No indicado	IP66	IP40
Diámetro de agujero para montaje	<b>22 mm</b>	22 mm	22 mm	22 mm
Tipo de contactos	<b>1 NA y 1 NC</b>	No indicado	1 NA y 1 NC	1 NA y 1 NC
Capacidad de corte de voltaje	<b>&gt;= 220 VAC</b>	220 VAC	240 VAC	Hasta 250 VAC
Precio	<b>&lt; S/. 30.00</b>	S/. 9.80	S/. 93.00	S/. 12.00




Fuente: Elaboración propia.

De las 3 opciones para botón de emergencia se va seleccionar el dispositivo ofrecido por el distribuidor CHINT, ya que presenta todos los datos técnicos de acuerdo a los requerimientos.

## Interruptor magnético

El control parcial del flujo de energía eléctrica en la máquina va depender de un sensor magnético, el cual debe poder activarse aún si sus partes están separadas 10 mm o más. Asimismo, debe tener un voltaje de alimentación de 5 o 12 VDC para evitar el uso de reductores de voltaje y cableado eléctrico excesivo. A continuación, se muestra la *Tabla E25*, que se ha elaborado para comparar el precio que ofrecen 3 diferentes distribuidores para este dispositivo.

Tabla E25: Evaluación de precios para un sensor magnético MC-38

INTERRUPTOR MAGNÉTICO	Requerimientos	SENSOR MAGNÉTICO DE PUERTA	SENSOR MÁGNETICO MC-38	SENSOR MAGNÉTICO MC-38
				
Distribuidor	<b>Ninguno</b>	NAYLAMP MECHA-TRONICS	ZACETREX TECHNOLOGIES S.A.C.	EAGLE
Voltaje de operación	<b>5 VDC</b>	Hasta 100 VDC	Hasta 100VDC	Hasta 100VDC
Distancia de activación	<b>&gt; 10 mm</b>	15 mm	15 mm	15 mm
Dimensiones	<b>34 x 41 x 6.5 mm</b>	34 x 41 x 6.5 mm	34 x 41 x 6.5 mm	34 x 41 x 6.5 mm
Precio	<b>&lt; S/. 10.00</b>	S/. 8.00	S/. 5.00	S/. 8.00




Fuente: Elaboración propia.

Se va seleccionar al modelo del fabricante ZACETREX TECHNOLOGIES, ya que el producto cumple todos los requerimientos y es el más económico.

## Interruptor de palanca

El control de la iluminación al interior de la cámara de electro hilado necesita de un interruptor de palanca que tenga una capacidad de corte de voltaje de 220 VAC o más, además debe poder soportar una corriente de por lo menos 4 A. Por último, se requiere que el interruptor solo tenga dos posiciones para un uso más sencillo y evitar confusiones de parte del usuario. A continuación, se muestra la *Tabla E26*, que se ha elaborado para comparar el precio que ofrecen 3 diferentes distribuidores para este dispositivo.

Tabla E26: Tabla comparativa de características y precios de un interruptor de palanca

INTERRUPTOR DE PALANCA	Requerimientos	SWITCH CODILLO DPST	SWITCH CODILLO	SWITCH CODILLO
				
Distribuidor	<b>Ninguno</b>	ELECTRÓNICA HI-FI S.A.C.	ASTEEN PERU	ELECTRÓNICA HI-FI S.A.C.
Capacidad de corte de voltaje	<b>220 VAC</b>	250 VAC	250 VAC	250 VAC
Corriente máxima	<b>4 A</b>	10 A	15 A	10 A
Número de pines	<b>3</b>	4	3	3
Número de posiciones	<b>2</b>	2	2	3
Precio	<b>&lt; S/. 10.00</b>	S/. 2.50	S/. 6.90	S/. 2.50


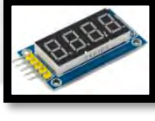

Fuente: Elaboración propia.

En base a los 3 modelos antes mostrados se va seleccionar al interruptor de palanca del distribuidor ELECTRÓNICA HI-FI, ya que su modelo es el más económico.

### Módulo display de 7 segmentos

El visualizador de los parámetros de producción debe tener un voltaje de alimentación de 5 o 12 VDC, usar 3 o menos pines de control para su funcionamiento y poder mostrar por lo menos 4 dígitos. A continuación, se muestra la *Tabla E27*, que se ha elaborado para comparar el precio que ofrecen 3 diferentes distribuidores para este dispositivo.

Tabla E27: Evaluación de precios de un módulo display TM1637

MÓDULO DISPLAY DE 7 SEGMENTOS	Requerimientos	MÓDULO DISPLAY TM1637	MÓDULO DISPLAY 7 SEGMENTOS	TM1637 ROJO
				
Distribuidor	<b>Ninguno</b>	ELECTRÓNICA HI-FI S.A.C.	NAYLAMP MECHATRONICS	UNITUTORES
Voltaje de operación	<b>5 VDC</b>	5 VDC	5 VDC	5 VDC
Número de pines de control	<b>3</b>	2	3	2
Número de dígitos	<b>4</b>	4	4	4
Precio	<b>&lt; S/. 10.00</b>	S/. 7.00	S/. 8.00	S/. 7.00




Fuente: Elaboración propia.

Se va seleccionar al módulo display de 7 segmentos del distribuidor ELECTRÓNICA HI-FI S.A.C., ya que este dispositivo cumple todos los requerimientos y su costo es el más económico.

### Teclado matricial 1x4

Cada uno de los pulsadores que permite al usuario variar los parámetros de producción, debe tener un voltaje de alimentación de 5 o 12 VDC y sus dimensiones deben ser de por lo menos 20 x 20 mm para que el usuario no tenga problema en presionarlo. A continuación, se muestra la *Tabla E28*, en la que se comparan las características y precios de 3 opciones de pulsador.

Tabla E28: Tabla comparativa de características y precios de un teclado matricial

TECLADO MATRICIAL	Requerimientos	TECLADO MEMBRANA 1x4	PULSADOR CON CUBIERTA	PULSADOR ARDUINO
				
Distribuidor	<b>Ninguno</b>	ELECTRÓNICA AFG	NAYLAMP MECHATRONIC	ELECTRÓNICA HI-FI S.A.C.
Voltaje de operación	<b>5 VDC</b>	5 VDC	5 VDC	5 VDC
Número de pines de control	<b>&lt; 4</b>	3	1	1
Número de teclas	<b>2</b>	4	1	1
Ciclos de operación	<b>1 000 000</b>	1 000 000	100 000	100 000
Dimensiones	<b>40 x 20 mm</b>	80 x 20 mm	12 x 12 mm	20 x 14 mm
Precio	<b>&lt; S/. 4.00</b>	S/. 2.50	S/. 1.00	S/. 2.30

Fuente: Elaboración propia.

De las 3 opciones antes mostradas se va seleccionar el teclado de membrana matricial 1x4, porque tiene la mayor capacidad de ciclos de operación y además ocupa un área superficial suficiente para darle comodidad al usuario al momento de presionarlo.

### Botón START y botón STOP

El botón START y el botón STOP debe ser un pulsador que tenga un voltaje de alimentación de 5 o 12 VDC y sus dimensiones deben ser de por lo menos 12 x 12 mm para poder montar sobre este pulsador un bloque más grande con el logo START o STOP. Los dispositivos que pueden cumplir los requerimientos mencionados se presentan en la *Tabla E28* y de estas



opciones se va seleccionar al pulsador para arduino, ya que su superficie de contacto es la más grande y esto va facilitar el montaje de un bloque sobre este componente.




## SUBSISTEMA ESTRUCTURA SOPORTE

### SELECCIÓN DE MATERIALES

#### Estructura metálica

Los tubos cuadrados que conforman la estructura metálica deben tener dimensiones de 30x30x2 mm y estar fabricados bajo la norma ASTM A513 o ASTM A500, ya que de esta forma se certifican sus propiedades mecánicas y buena resistencia. A continuación, se muestra la *Tabla E29*, para evaluar el precio de 3 diferentes distribuidores de este producto.

Tabla E29: Tabla comparativa de características y precios de un tubo cuadrado de acero

TUBO CUADRADO DE ACERO	Requerimientos	TUBO LAF ASTM A513 MECÁNICO	TUBOS CON COSTURA CUADRADOS	TUBOS ACERO A500 CUADRADOS
				
Distribuidor	Ninguno	ACEROS AREQUIPA	MIROMINA	PERUMETALES
Límite de fluencia	>250 MPa	290 MPa	270 MPa	270 MPa
Dimensiones	30x30x2 mm	31.75x31.75x1.4 mm	30x30x2 mm	30x30x2 mm
Longitud	13 m	13 m	13 m	13 m
Norma de fabricación	ASTM A513 – ASTM A500	ASTM A513	ASTM A500 GRADO A	ASTM A500 GRADO A
Precio	< S/. 100.00	S/. 107.00	S/. 90.00	S/. 97.00




Fuente: Elaboración propia.

De las opciones mostradas se va seleccionar el tubo cuadrado del distribuidor MIROMINA ya que el producto está fabricado bajo la norma ASTM A500 y además tiene el menor costo.

#### Soporte nivelador

La cabina de electro hilado no debe estar al mismo nivel del piso ya que sino, la carcasa externa podría dañarse. Por lo cual, se requiere de un soporte que permita regular la altura entre la base de la máquina y la superficie sobre la cual va asentarse, en un rango de 0 a 40 mm de acuerdo a las necesidades del usuario. A continuación, se muestra la *Tabla E30*, que se ha elaborado para comparar el precio que ofrecen 3 diferentes distribuidores para este producto.

Tabla E30: Tabla comparativa de características y precios de soporte nivelador

SOPORTE NIVELADOR	Requerimientos	PATA AJUSTABLE A300/001	PATA NIVELADORA	PIE DE NIVELACIÓN AJUSTABLE
				
Distribuidor	Ninguno	NU-TECH ENGINEERING	VALDHER	QUINUO
Capacidad de carga estática	100 Kg	450 Kg	250-300 Kg	150 Kg
Tamaño de la rosca	Ninguna	M8	M8	M8
Longitud de la rosca	40 mm	40 mm	60 mm	30 mm
Precio	< S/. 40.00	S/. 25.00	S/. 27.00	S/. 20.00

Fuente: Elaboración propia.

De las opciones mostradas se va seleccionar el producto del distribuidor NU-TECH ENGINEERING, ya que supera los requerimientos técnicos y además tiene el menor precio.

### Carcasa externa principal

La carcasa externa de toda la máquina va ser de acero galvanizado ya que este es un material resistente a golpes, humedad, polvo y sustancias líquidas para la limpieza del mismo. Además, la plancha seleccionada debe estar fabricada bajo la norma ASTM A653/A653M, de tal manera que se aseguren sus propiedades mecánicas y resistencia. A continuación, se muestra la *Tabla E31*, para comparar el precio que ofrecen 3 diferentes distribuidores para este producto.

Tabla E31: Evaluación de precios de una plancha de acero galvanizado

PLANCHA DE ACERO GALVANI-ZADO	Requerimientos	PLANCHAS GALVANI-ZADAS	PLANCHA GALVANIZADA	PLANCHA GALVANI-ZADAS LIZA
				
Distribuidor	Ninguno	YOHERSA	MIROMINA	MAMETSA
Dimensiones	2400x1200x1 mm	2400x1200x1 mm	2400x1200x1 mm	2400x1200x1 mm
Norma de fabricación	ASTM A653/A653M	ASTM A653/A653M	ASTM A653/A653M	ASTM A653/A653M
Precio	< S/. 70.00	S/. 83.00	S/. 69.00	S/. 72.00

Fuente: Elaboración propia.

De las opciones mostradas se va seleccionar la plancha galvanizada del distribuidor MIROMINA ya que está fabricada bajo la norma ASTM A653/A653M y además tiene el menor costo en comparación a las demás.

### Gabinete interior del primer nivel

El material de las paredes internas del primer nivel debe tener buena resistencia frente al contacto con ácidos o alcalinos fuertes, debe ser ligero y tener buena resistencia mecánica, por lo cual se ha decidido usar una chapa metálica de acero inoxidable de dimensiones 1870x780x0.7 mm. Asimismo, se requiere que la plancha seleccionada sea fabricada bajo la norma AISI 304 para de esta manera asegurar sus propiedades mecánicas. A continuación, se muestra la *Tabla E32*, para comparar el precio que ofrecen 3 diferentes distribuidores.

Tabla E32: Evaluación de precios de una plancha de acero inoxidable

PLANCHA DE ACERO INOXIDABLE 304	Requerimientos	PLANCHA DE ACERO INOXIDABLE	PLANCHA DE ACERO INOXIDABLE	PLANCHA DE ACERO INOXIDABLE
				
Distribuidor	<b>Ninguno</b>	INAMESA	MACCINOX	INOMET
Dimensiones	<b>2400x1200x1 mm</b>	2400x1200x1 mm	2400x1200x1 mm	2400x1200x1 mm
Norma de fabricación	<b>AISI 304</b>	AISI 304	AISI 304	AISI 304
Precio	<b>&lt; S/. 400.00</b>	S/. 406.00	S/. 385.00	S/. 390.00

Fuente: Elaboración propia.

De las opciones mostradas se va seleccionar la plancha de acero inoxidable del distribuidor MACCINOX ya que el producto cumple los requerimientos y tiene el menor costo.

### Carcasa interior del segundo nivel

La carcasa interior del segundo nivel debe ser de un material que tenga buenas propiedades dieléctricas y que a su vez sea resistente frente al contacto con ácidos o alcalinos fuertes, ya que es probable que una parte de las nano fibras que se formen no se depositen sobre el cilindro colector, sino que terminen adheridas a las paredes del segundo nivel de la cabina. Es por estas

razones que se ha decidido usar planchas de polietileno de alta densidad de espesor de 10 mm. Las características técnicas y el precio de este material se pueden observar en la *Tabla E3*.

### Cajón interior

La fuente de alto voltaje SPELLMAN tiene una gran longitud de 483 mm que es mayor a la mitad del largo del gabinete del primer nivel; sin embargo, su altura es de tan solo 45 mm por lo cual para no perder espacio se ha decidido usar un cajón de acrílico que soporte en la parte superior a la fuente y que deje la parte inferior para posicionar algún otro equipo. A continuación, se muestra la *Tabla E33*, en la que se compara el precio que ofrecen 3 distribuidores para una plancha de acrílico de espesor de 5 mm.

Tabla E33: Evaluación de precios de una plancha de acrílico

PLANCHA DE ACRÍLICO	Requerimientos	PLANCHAS ACRÍLICAS	ACRÍLICO	ACRÍLICO COLOR OPAL
				
Distribuidor	<b>Ninguno</b>	ACRÍLICOS SATÉLITE	PRONIMAR S.A.C.	DARGLASS PERUANA
Dimensiones	<b>1010x643x5 mm</b>	1250x1850x5 mm	1250x1850x5 mm	1250x1850x5 mm
Tipo	<b>No translúcida</b>	No translúcida	No translúcida	No translúcida
Precio	<b>&lt; S/. 70.00</b>	S/. 38.00	S/47.00	S/.36.00

Fuente: Elaboración propia.

De las 3 opciones antes mostradas se va seleccionar la plancha de acrílico del distribuidor DARGLASS ya que su costo es el menor.

### Sistema de iluminación

El sistema de iluminación en el segundo nivel de la cabina requiere de un foco empotrable de 15 mm de espesor, que además pueda brindar una iluminación moderada-regular para que el usuario pueda ver con facilidad el pliegue de fibras que se ha formado. Es decir, se necesita de un foco con una temperatura de color de por lo menos 4000 °K. A continuación, se muestra la *Tabla E34*, que se ha elaborado para comparar el precio que ofrecen 3 diferentes distribuidores para este producto.

Tabla E34: Evaluación de precios de un foco led cuadrado empotrable

FOCO LED EMPOTRABLE	Requerimientos	DOWNLIGHT LED EMPOTRABLE CUADRADO	DOWNLIGHT LED EMPOTRABLE CUADRADO	DOWNLIGHT LED EMPOTRABLE CUADRADO
				
Distribuidor	<b>Ninguno</b>	OECHSLE	PROMART	PROMART
Potencia	<b>18 W</b>	18 W	12 W	18 W
Dimensiones	<b>210x210x15 mm</b>	210x210x15 mm	No indicado	No indicado
Temperatura del color	<b>4000 °K</b>	4000 °K	2800 °K	4000 °K
Precio	<b>&lt; S/. 30.00</b>	S/. 14.90	S/. 34.90	S/. 44.90

Fuente: Elaboración propia.

De las 3 opciones antes mostradas se va seleccionar el foco led del distribuidor OECHSLE, ya que cumple con todos los requerimientos y tiene el menor costo.

### Cristal templado para compuerta

La compuerta que da acceso al segundo nivel de la cabina debe ser de un material translúcido que permita al usuario ver el proceso de electro hilado. Asimismo, debe poder limpiarse fácilmente y tener buena resistencia frente al contacto con ácidos o alcalinos fuertes. Es por eso que se ha decidido usar una plancha de cristal templado de dimensiones 800x257x5 mm.

A continuación, se muestra la *Tabla E35*, que se ha elaborado para comparar el precio que ofrecen 3 diferentes distribuidores para este producto.

Tabla E35: Evaluación de precios de una plancha de cristal templado

CRISTAL TEMPLADO	Requerimientos	CRISTAL TEMPLADO	CRISTAL TEMPLADO	CRISTAL TEMPLADO
				
Distribuidor	<b>Ninguno</b>	COORPORA-CIÓN ELIO	GLASS-TEPCOR	MIYASATO
Espesor	<b>5 mm</b>	5 mm	5 mm	5 mm
Color	<b>Translúcido</b>	Translúcido	Translúcido	Translúcido
Dimensiones	<b>800 x 257.5 mm</b>	800 x 257.5 mm	800 x 257.5 mm	800 x 257.5 mm
Precio	<b>&lt; S/. 150.00</b>	S/. 160.00	S/. 143.00	S/. 147.00

Fuente: Elaboración propia.

De las 3 opciones antes mostradas se va seleccionar el cristal templado del distribuidor GLASSTEMPCOR, ya que es el producto con el menor costo en comparación a los demás.

### Bisagra para cristal templado

La plancha de cristal templado necesita de una bisagra que pueda sujetarla y soportar su peso de aproximadamente 10 Kg sin causar daños en su superficie. Asimismo, debe permitir que la plancha de cristal templado mantenga su posición a 0 y 90 grados. A continuación, se muestra la *Tabla E36*, para comparar el precio de 3 diferentes distribuidores para este producto.

Tabla E36: Evaluación de precios de una bisagra para cristal templado

BISAGRA PARA CRISTAL TEMPLADO	Requerimientos	BISAGRA PARA PUERTA DE DUCHA	BISAGRA MEDIANA DE 90°	BISAGRA PARA PUERTA DE DUCHA
				
Distribuidor	<b>Ninguno</b>	FAMSA GLASS	HDP GLASS GROUP	MIYSATO
Retención	<b>En 0° y 90°</b>	En 0° y 90°	En 0° y 90°	En 0° y 90°
Peso máximo de puerta	<b>10 Kg</b>	50 Kg	55 Kg	55 Kg
Retorno automático	<b>Desde los 70°</b>	Ninguno	Desde los 70°	Desde los 70°
Material	<b>Acero inoxidable</b>	Acero inoxidable	Acero inoxidable	Acero inoxidable
Precio	<b>&lt; S/. 80.00</b>	S/. 75.00	S/. 72.00	S/. 68.00




Fuente: Elaboración propia.

De las 3 opciones antes mostradas se va seleccionar la bisagra con retención a 0° y 90° del distribuidor MIYASATO, ya que es el producto con el menor precio.

### Jalador para puerta de vidrio

La apertura y cierre de la compuerta de cristal templado antes descrita, necesita de un jalador orientado para el uso de puertas de vidrio, el cual además debe tener dimensiones aproximadas de 300x100x20 mm. A continuación, se muestra la *Tabla E37*, que se ha elaborado para comparar el precio que ofrecen 3 diferentes distribuidores para este producto.

Tabla E37: Tabla comparativa de características y precios de un jalador para puertas de vidrio

JALADOR PARA PUERTA DE VIDRIO	Requerimientos	MANILLÓN PARA VIDRIO TIPO H	JALADOR ACERO INOXDABLE	MANILLON PRATA
				
Distribuidor	Ninguno	PROMART	SODIMAC	PROMART
Tipo de uso	Puerta de vidrio	Puerta de vidrio	Ideal para muebles	Puerta de vidrio
Dimensiones	300x100x20 mm	300x100x20 mm	224x50x18 mm	200x50x20
Material	Acero inoxidable	Acero inoxidable	Acero inoxidable	Acero inoxidable
Precio	< S/. 70.00	S/. 52.90	S/. 15.90	S/. 38.90

Fuente: Elaboración propia.

De las 3 opciones antes mostradas se va seleccionar el jalador para puertas de vidrio del distribuidor PROMART, ya que es el producto con el menor precio.

### Madera para compuerta

El primer nivel de la cabina de electro hilado no necesita verse continuamente, por lo tanto, se ha elegido como material de la compuerta, una plancha de madera de dimensiones 302x180x15 mm, la cual es resistente a golpes o raspones y permite el uso de componentes comunes para la instalación de puertas. A continuación, se muestra la *Tabla E38*, que se ha elaborado para comparar el precio que ofrecen 3 diferentes distribuidores para este producto.

Tabla E38: Evaluación de precios para una plancha de madera

PLANCHA DE MADERA	Requerimientos	TABLERO DE MELAMINA	TABLERO TRIPLEXY FENOLÍTICO	MADERA PINO RADIATA
				
Distribuidor	Ninguno	SODIMAC	SODIMAC	SODIMAC
Dimensiones	302x180x15 mm	1220x240x15 mm	1220x244x15 mm	300x204x19 mm
Tipo de madera	Ninguno	Aglutinado	Triplexy	Madera seca
Precio	< S/. 40.00	S/. 82.90	S/. 89.90	S/. 18.30

Fuente: Elaboración propia.

De las 3 opciones antes mostradas se va seleccionar la madera pino radiata ya que las dimensiones de la plancha son casi similares a los requerimientos.

### Bisagra para compuerta de madera

La compuerta de madera antes descrita necesita de una bisagra que pueda mantener su posición a 0 y 90 grados, así como permitir un cierre suave que no golpee la compuerta contra la estructura metálica de la máquina, por lo cual se ha determinado usar una bisagra de cazoleta recta. A continuación, se muestra la *Tabla E39*, que se ha elaborado para comparar el precio que ofrecen 3 diferentes distribuidores para este producto.

Tabla E39: Tabla comparativa de características y precios de una bisagra de cazoleta recta

BISAGRA CAZOLETA RECTA	Requerimientos	BISAGRA CIERRE SUAVE	BISAGRA CLIP BLUMOTION CENTRAL	BISAGRA LATERAL DANCO
				
Distribuidor	Ninguno	PROMART	SODIMAC	PROMART
Retención	En 0° y 90°	En 0° y 90°	En 0° y 90°	En 0° y 90°
Perforación en puerta	35 mm	35 mm	35 mm	35 mm
Tipo de cierre	Cierre suave desde los 10°	Cierre suave desde los 10°	Cierre por resorte	Cierre por resorte
Material	Acero inoxidable	Acero inoxidable	Acero	Acero
Precio	< S/. 25.00	S/. 12.90	S/. 7.90	S/. 10.20

Fuente: Elaboración propia.




De las 3 opciones antes mostradas se va seleccionar la bisagra de cazoleta de cierre suave del distribuidor PROMART, ya que es la única que cumple los requerimientos.

### Jalador para compuerta de madera

La apertura y cierre de la compuerta de madera va ser posible a través de un jalador diseñado para ser instalado en puertas de madera, el cual debe ser de un material duradero y tener las siguientes dimensiones aproximadamente 136x96x20 mm. A continuación, se muestra la *Tabla E40*, que se ha elaborado para comparar el precio que ofrecen 3 diferentes distribuidores para este producto.

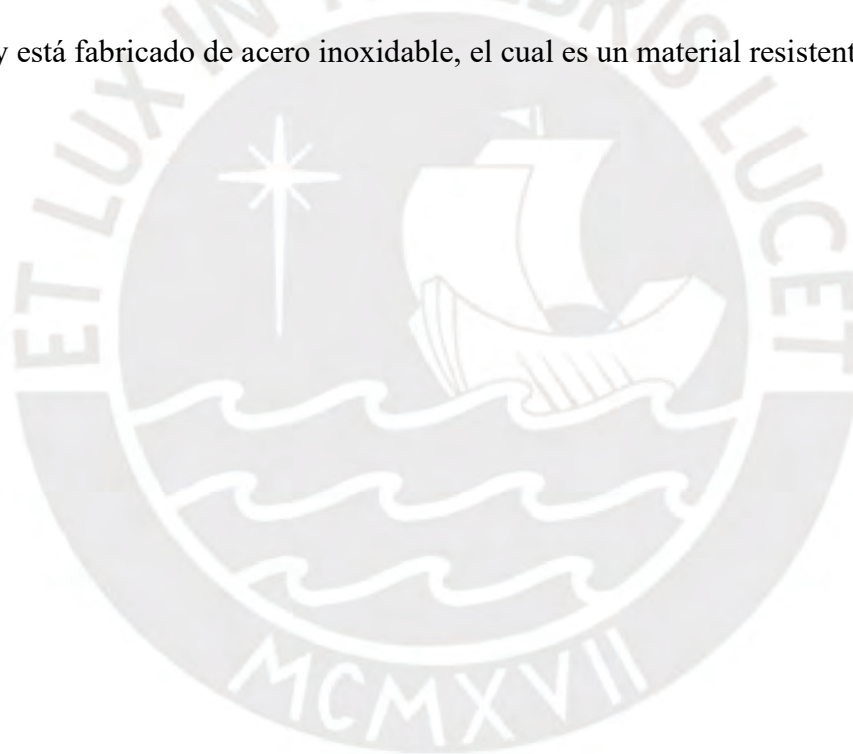


Tabla E40: Tabla comparativa de características y precios de un jalador para puerta de madera

JALADOR PARA PUERTA DE MADERA	Requerimientos	TIRADOR RECTO	TIRADOR SEVILLA	MANIJA
				
Distribuidor	Ninguno	PROMART	PROMART	PROMART
Tipo de uso	Ideal para muebles de madera	Ideal para muebles de madera	Ideal para muebles de madera	Ideal para muebles de madera
Dimensiones	136x96x20	128x90x20	128x128x25 mm	1280x128x20
Material	Acero inoxidable	Acero con acabado cromado	Acero inoxidable	Aluminio anodizado
Precio	< S/. 15.00	S/. 5.90	S/. 7.90	S/. 9.90

Fuente: Elaboración propia.

De las 3 opciones antes mostradas se va seleccionar el tirador de sevilla ya que es el modelo más robusto y está fabricado de acero inoxidable, el cual es un material resistente y duradero.



## ANEXO F: DETALLE DEL PROGRAMA PRINCIPAL

### RUTINA DE INTERRUPCIÓN DEL PROGRAMA PRINCIPAL:

#### Encender\_Apagar\_SR ()

Debido a que el controlador ARDUINO UNO del subsistema de recolección va estar ejecutando continuamente el control de velocidad PI (proporcional-integrador), no se va poder sondear alguna otra señal enviada por el controlador maestro ARDUINO MEGA 2560. Por esta razón la función *Encender\_Apagar\_SR ()*, que se describe mediante el diagrama de flujo mostrado en la *Figura F1*, se va ejecutar como una interrupción del proceso principal, la cual va sondear continuamente el buffer de recepción del ARDUINO UNO. Si llegará un dato de tipo cadena con la palabra ON o la palabra OFF, se va pasar a energizar o des energizar el subsistema de recolección.

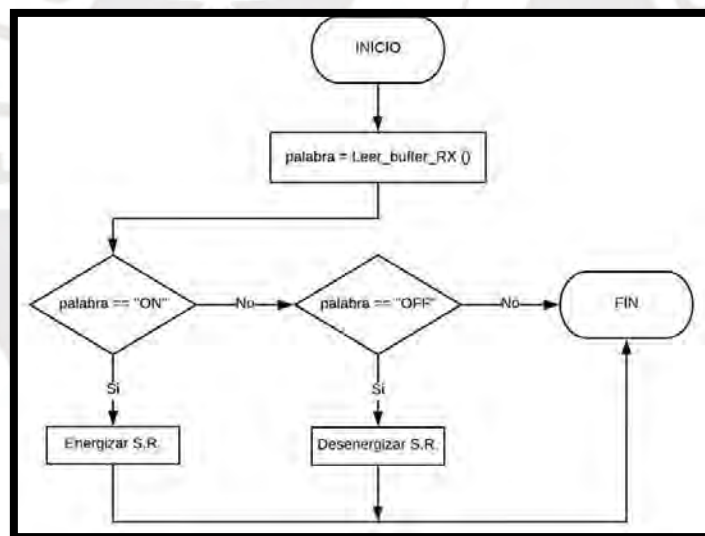


Figura F1: Diagrama de flujo de la función Encender\_Apagar\_SR().  
Fuente: Elaboración propia.

### RUTINA DE INTERRUPCIÓN DEL PROGRAMA PRINCIPAL: Detener ()

Debido a las mismas razones que la rutina de interrupción *Encender\_Apagar\_SR ()*, se va tener que ejecutar la función *Detener ()*, como una interrupción al proceso principal. El diagrama de flujo que describe la lógica de esta función se presenta en la *Figura F2*, donde se muestra como la función sondea continuamente el buffer de recepción del ARDUINO UNO. Si llegará un

dato de tipo cadena con la palabra STOP, se va pasar a detener el funcionamiento del motor DC del subsistema de posicionamiento, pero sin perder el valor almacenado en la variable RPM, para que cuando se reciba la palabra START se pueda ejecutar de nuevo el control de velocidad PI (proporcional-integrador).

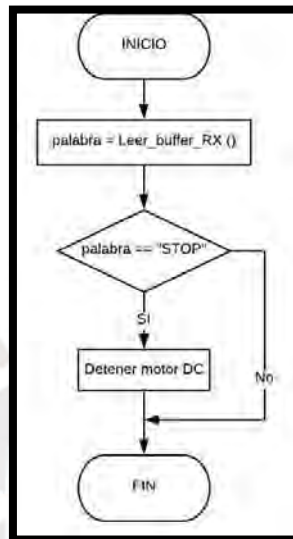


Figura F2: Diagrama de flujo de la función Detener ().  
Fuente: Elaboración propia.

## **FUNCIONES ANIDADAS DE LA FUNCION Iniciar\_Subsistema\_Posicionamiento ()**

### **FUNCIÓN: MOTOR1\_H ()**

La función *MOTOR1\_H ()* que se describe a través del diagrama de flujo mostrado en la *Figura F3*, se encarga de configurar los pines de control “dir” y “step” del driver A4988 como salidas digitales del microcontrolador. Luego para lograr el giro horario del motor esta función le asigna el valor lógico de 1 al pin “dir”.

Dado que se requiere un control preciso de la posición de la aguja, esta función hará que el motor ejecute tan sólo 25 pasos, lo cual es equivalente a un avance lineal de 1 mm. Los 25 pasos que debe realizar el motor se envían como un tren de pulsos, con un retardo de 200 ms entre cada uno de ellos.

El control del segundo motor, se realiza mediante la ejecución de la función *MOTOR2\_H ()*, la cual tiene el mismo funcionamiento que la función *MOTOR1\_H ()*.

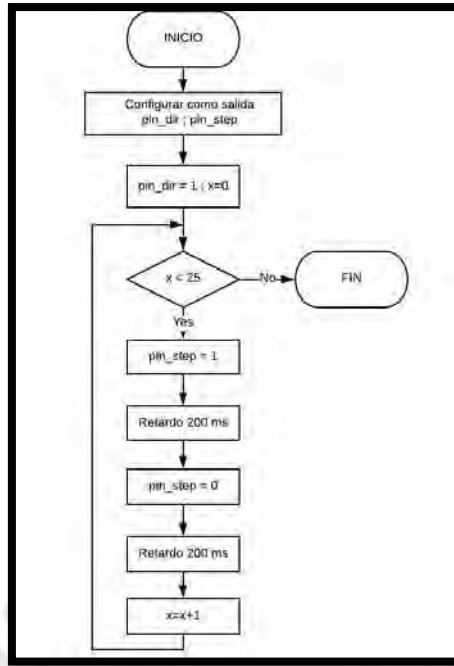


Figura F3: Diagrama de flujo de la función MOTOR1\_H ().  
Fuente: Elaboración propia.

#### **FUNCIÓN: MOTOR1\_ANTIH ()**

La función *MOTOR1\_ANTIH ()*, que se describe a través del diagrama de flujo mostrado en la *Figura F4*, se encarga de configurar los pines de control “dir” y “step” del driver A4988 como salidas digitales del microcontrolador. Luego para lograr el giro anti horario del motor esta función le asigna el valor lógico de 0 al pin “dir”.

Dado que se requiere un control preciso de la posición de la aguja, esta función hará que el motor ejecute tan sólo 25 pasos, lo cual es equivalente a un avance lineal de 1 mm. Los 25 pasos que debe realizar el motor se envían como un tren de pulsos, con un retardo de 200 ms entre cada uno de ellos.

El control del segundo motor, se realiza mediante la ejecución de la función *MOTOR2\_ANTIH ()*, la cual tiene el mismo funcionamiento que la función *MOTOR1\_ANTIH()*.

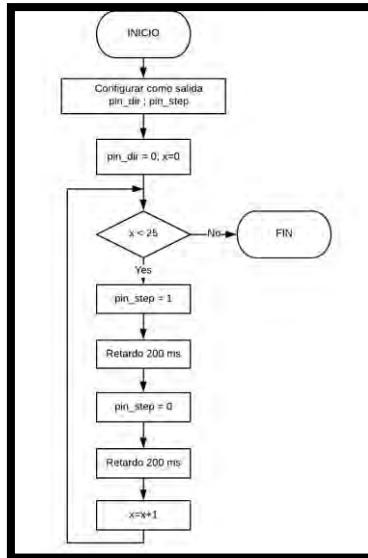


Figura F4: Diagrama de flujo de la función MOTOR1\_ANTIH ().  
Fuente: Elaboración propia

### **FUNCIÓN: Retornar\_Posicion\_Segura ()**

La función *Retornar\_Posicion\_Segura ()*, se muestra en la *Figura F5*, y es la encargada de detener a los dos motores a paso del subsistema de recolección, para luego hacerlos girar en sentido anti horario uno a la vez, al ejecutar las funciones *MOTOR1\_ANTIH ()* y *MOTOR2\_ANTIH ()*. Finalmente, se detienen cada uno de los motores cuando se activan los sensores de fin de carrera ubicados al inicio del rango de movimiento tanto en la dirección X como en la dirección Y.

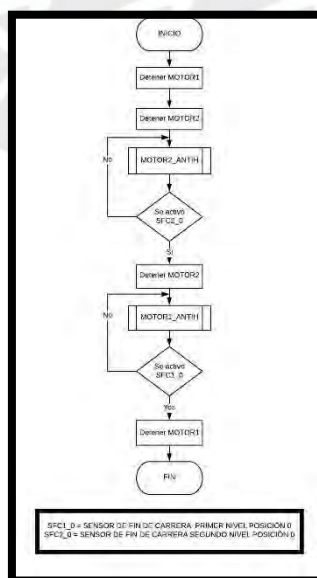


Figura F5: Diagrama de flujo de la función Retornar\_Posición\_Segura ().  
Fuente: Elaboración propia.


## ANEXO G: COTIZACIONES

### Lista de precios de equipos de electro spinning para laboratorio TONG LI TECH


Difference of TONG LI Electorspinning machines							
	TL-01	TL-Pro	TL-Pro-BM	TL-BM-300	TL-BM-700	TL-OMNI	SS-TL-OMNI
<b>Price</b>	<b>US\$16,800</b>	<b>US\$21,800</b>	<b>US\$26,800</b>	<b>US\$32,800</b>	<b>US\$56,800</b>	<b>US\$56,800</b>	<b>US\$65,000</b>
Positive high voltage supply device	√	√	√	√	√		√
Negative high voltage supply device		√	√	√	√		√
Various Spinnerets							
Single needle spinneret	√	√	√	√	√		√
Coaxial spinneret	√	√	√	√	√		√
Triaxial spinneret			√	√	√		√
Side by side spinneret	√	√	√	√	√		√
5-needle linear spinneret	√	√	√	√	8-needles		16-needles
Tubeless spinneret	1	1	2 or 4	2 or 4	4		4
V-shape spinneret			√	√	√		√
3-Channel spinneret			√	√	√		√
Auto-clean device for needles		√	√	√	√		√
Slide Unit for spinneret	X-direction					X-Z directions	



## Fuente de alto voltaje SPELLMAN SL60P30

		April 3, 2020	
<b>Quotation: PUCP SL60P30 April 3, 2020</b>			
<b>To:</b>		<b>From:</b>	
Carlos Baltazar PUCP		Robert Olivero Technical Sales Manager E-mail: ROlivero@spellmanhv.com Phone: +16316303144	
<b>Details</b>			
<b>Product</b>	<b>Quantity</b>	<b>Unit Price</b>	<b>Sub Total</b>
SL60P30/115Vac	1	\$3,142.00	\$3,142.00
<p><b>Protect your investment in a Spellman High Voltage Power Supply or Monoblock X-Ray Source with an Extended Life Service Plan – add an additional 12 or 24* months to your protection plan – Speak with your Spellman Sales Representative today.</b></p>			
<b>Summary</b>			
Total Amount:	\$3,142.00	Quote ID:	QUO-01460-X7H2C4 Rev: 0
Shipping Method:	UPS	RFQ Number:	Q-200402122413
Terms:	Ex Works Factory	Date:	4/3/2020
Requested Delivery Date:		Effective From:	4/3/2020
Payment Terms:	Credit Card (Visa/Mastercard)	Effective To:	5/3/2020
Customer Reference Number:	Q-200402122413	Lead Time:	Approx 8 weeks ARO
Notes:	Shipping costs not included. <a href="#">Subject to Spellman Terms and Conditions (Click Here)</a>		

## Fuente de alto voltaje SPELLMAN MPS30P10

		July 2, 2020	
<b>Quotation: PUCP MPS30P10/24 July 2, 2020</b>			
<b>To:</b>		<b>From:</b>	
Carlos Baltazar Baquerizo PUCP		Robert Olivero Technical Sales Manager E-mail: ROlivero@spellmanhv.com Phone: +16316303144	
<b>Details</b>			
<b>Product</b>	<b>Quantity</b>	<b>Unit Price</b>	<b>Sub Total</b>
MPS30P10/24	1	\$701.00	\$701.00
<p><b>Protect your investment in a Spellman High Voltage Power Supply or Monoblock X-Ray Source with an Extended Life Service Plan – add an additional 12 or 24* months to your protection plan – Speak with your Spellman Sales Representative today.</b></p>			
<b>Summary</b>			
Total Amount:	\$701.00	Quote ID:	QUO-01963-B8M5M4 Rev: 0
Shipping Method:	UPS	RFQ Number:	Q-200630230826
Terms:	Ex Works Factory	Date:	7/2/2020
Requested Delivery Date:		Effective From:	7/2/2020
Payment Terms:	Credit Card (Visa/Mastercard)	Effective To:	8/2/2020
Customer Reference	Q-200630230826	Lead Time:	Approx 6-8 weeks ARO

## Bomba de infusión

CHEMYX		Quote			
10905 Cash Road Stafford, TX 77477 Tel: 281-277-5499 Fax: 281-277-0045 Web: www.chemyx.com		Date	Quote No.	Quote validity	Payment term
		2/24/2020	2020-0224-3	30 Days	Pre-Payment
Name / Address/ Email Catholic University of Peru Av. universitaria 1801, San Miguel Lima32 Peru					
Item	Description	Quantity	Price	Amount	
07200 SH	Fusion 200 High precision syringe pump (Touch series) Shipping & Handling Attn: Karen Gonzales Research assistant Laboratory of Polymers and Bionanomaterials Pontificia Universidad Catolica del Peru	1	1,650.00 143.00	1,650.00 143.00	
			Total	\$1,793.00	

## CORPORACIÓN EMACIN - Barras redondas y planchas de Nylon (poliamida), HDPE (polietileno de alta densidad), POM (resina acetal) y PP (polipropileno)

Barra de 1 mt largo
Nylon....138.90
HDPE.... 85.60
POM..... 148.00
PP..... 80.50
PLANCHA 15 mm x 1mt x 1 mt
NYLON..... 885.00
HDPE..... 411.00
POM..... 1020.00
PLANCHA DE 1.5 MT X 1.00 MT X 15 MM
PP (POLIPROPILENO)
550.00
*Los precios son soles e incluido IGV



## Barra redonda de PVDF

		<b>Presupuesto</b> Ref.: PR2004-0364 Ref. cliente: PVDF Fecha: 30/04/2020 Fecha fin de validez: 15/05/2020 Código cliente: CU2004-00143	
Emisor: <b>MASTER INDUSTRIAL PERU SAC</b> CALLE BRONSINO 394 SAN BORJA Teléfono: 996398200/950450640 Correo: info.peru@masterindustrial.com Web: www.masterindustrial.com		Enviar a: <b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU</b> AV. UNIVERSITARIA NRO. 1801 URB. PANDO, SAN MIGUEL LIMA RUC: 20155945860	
PRODUCTO DE IMPORTACIÓN / TIEMPO DE ENTREGA DE MATERIALES: A DEFINIR / LUGAR DE ENTREGA: NUESTRO ALMACÉN DE LURÍN			
Importes visualizados en Dolares USA			
Descripción 30.800.0025.10 - BARRA REDONDA PVDF 25MM AGRU BARRA REDONDA PVDF 25MM AGRU ACORDE A DIN 15860 LONGITUD 1M (País de origen: Austria)	IGV 18%	P.U. 191.78	Cant. 3
			Total (Base imp.) 575.34
Condiciones de pago: Pago a la entrega			Total impuesto 18% 103.56
			Total 678.90

## Barra redonda de acero SAE 1020

01-barras de acero CALIBRADO SAE 1020 de 1 pulgada (25.4 mm). X 6 MT-----S/200.00  
 PRECIO EN SOLES INC IGV  
 ENTREGA INMEDIATA

**RUBEN CARDENAS**  
**EJECUTIVO DE VENTAS**

**TELF: 01 564 3620 - 564 6159**  
**ENTEL: 994181814**  
**RPC: 981482357**

[ventas@minaceros.com.pe](mailto:ventas@minaceros.com.pe)  
[minaceros@minaceros.com.pe](mailto:minaceros@minaceros.com.pe)  
[minaceros@gmail.com](mailto:minaceros@gmail.com)



## Eje de acero SAE 1045



**MIROMINA**  
R.U.C. N° 20543847420  
AV. LOS INGENIEROS NRO. 154 URB. SANTA RAQUEL  
Telf. 512-3370

www.molicom.com.pe

**001-2020-7079**

LIMA, 18 de ABRIL de 2020

Tipo Cambio: 3,407

Señores: **CARLOS EDUARDO BALTAZAR BAQUERIZO**  
Atención: SR. CARLOS EDUARDO BALTAZAR BAQUERIZO

De acuerdo a su solicitud le hacemos llegar la siguiente cotización: Importes expresados en DOLARES AMERICANOS

N°	Cód.	Producto	Unidades	P.Unit.US\$	Cantidad	U.M.	P.TM.US\$	Sub Total Alm.
1	05234	EJE SAE 1045 CALIBRADO 1/2" X 6.050M	10	6,20	0,060	TM.	1,033,90	62,03 001
			<b>10</b>		<b>0,060</b>	<b>SubTotal</b>		<b>62,03</b>
							<b>IGV 18 %</b>	<b>11,17</b>
							<b>Total Venta</b>	<b>73,20</b>

**OBSERVACIONES**

Validez de la oferta : 3 días  
Condiciones de pago : Al contado  
Lugar de entrega: EN ALMACEN MIROMINA S.A.  
PUESTO EN ALMACEN HUACHIPA (LIMA)


**Cuentas Bancarias**

Banco	Mnd.	N° Cuenta
CONTINENTAL	US\$	Recaudadora 0001309
CONTINENTAL	S/.	Recaudadora 0001308
DE CREDITO DEL PERU	US\$	193-1932583-1-49
DE CREDITO DEL PERU	S/.	193-1936906-0-25
SCOTIABANK PERU SAA	US\$	3888291
SCOTIABANK PERU SAA	S/.	8877823

**Almacenes**

Cód	Nombre	Dirección	Ubicación
001	AC 2	CAL. ARCHIPIELAGO MZA. B LOTE. 24	LIMA, LIMA, LURIGANCHO


## Acoplamiento de fuelle M8



**RS Components**  
Avenida de Europa 19 - Edif. 3  
28224 - Pozuelo de Alarcón  
Madrid

Su cesta de la compra en [rsonline.es](http://rsonline.es)

Este pedido aún no se ha realizado pero se ha guardado automáticamente para su siguiente visita a [rsonline.es](http://rsonline.es)

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Coste
 <p>Acoplamiento de fuelle, Huco Acoplamiento de fuelle, Tornillo de Fijación, Acero Inoxidable <b>6932495</b> Huco 530.34.2828 Estado RoHS - Conforme</p>	<p>1</p> <p style="color: green; font-weight: bold;">✓ 1 Disponible para entrega en 24/48 horas</p>	<p>45,17 € Unidad</p>	<p><b>45,17 €</b></p>

**Forma de envío**

Forma de envío: Entrega a domicilio (Cuenta crédito o Tarjeta crédito/débito). Consulte condiciones en la página de ayuda, apartado de Pago.

Total productos	45,17 €
Entrega	5,00 €
Su pedido es inferior a 50,00 € y tendrá un cargo de 5€ de gastos de envío	
IVA	10,54 €
<b>Total del pedido</b>	<b>60,71 €</b>

## Motor DC AMPFLOW M27-150

Product Description	Unit Price	Quantity	Total
M27-150-P Motor M27-150-P Remove	\$46.00	1 <small>Update</small>	\$46.00
<b>SUBTOTAL</b>			<b>\$46.00</b>

[CONTINUE SHOPPING](#)
[CLEAR CART ITEMS](#)
[SAVE THIS CART](#)

**Estimate Your Shipping Costs:**

City / Province:

Postal Code:

Country:  [GO](#)

Select Shipping Method:  [GO](#)


Shipping - UPS Worldwide Expedited (4.10 lbs.) **\$234.52**

Insurance **\$0.28**

**Estimated Total \$280.80**

[PROCEED TO CHECKOUT](#)


## Chumacera de material temoplástico



RS Components  
Avenida de Europa 19 - Edif. 3  
28224 - Pozuelo de Alarcón  
Madrid

**Su cesta de la compra en rsonline.es**

Este pedido aún no se ha realizado pero se ha guardado automáticamente para su siguiente visita a rsonline.es


Descripción	Cantidad	Precio unitario	Coste
 Rodamientos con soporte de pie Igus, KSTM-12 <b>3112667</b> Igus KSTM-12 Estado RoHS - No aplicable	1 <span style="color: green; font-weight: bold;">✓ 1 Disponible para entrega en 24/48 horas</span>	7,00 € Unidad	<b>7,00 €</b>

**Forma de envío**

Forma de envío: Entrega a domicilio (Cuenta crédito o Tarjeta crédito/débito). Consulte condiciones en la página de ayuda, apartado de Pago.

Total productos	7,00 €
Entrega	5,00 €
Su pedido es inferior a 50,00 € y tendrá un cargo de 5€ de gastos de envío	
IVA	2,52 €
<b>Total del pedido</b>	<b>14,52 €</b>

## Aguja y adaptador de acoplamiento con cierre Luer Lock



4970 Energy Way • Reno, NV 89502  
Toll Free (800) 648-5950 • Fax (775) 856-7259  
www.hamiltoncompany.com

# Quotation

Quotation Number: JM050420-1-PUCP  
Quotation Expires: July 3, 2020

---

**Customer**

PUCP  
ATTN: CARLOS BALTAZAR  
LIMA, PERU  
CARLOS.BALTAZAR@PUCP.PE


---

YOUR INQUIRY:	ESTIMATED SHIPPING DATE:	TERMS:	F.O.B.:	TODAY'S DATE:
May 4, 2020	1 Week ARO	T&D	RENO	May 4, 2020

Part No.	Description	QTY	Price Each	Disc.	Net Unit Price	Total Price
91020	N720 NDL 6/PK (20/2"/3)	1	\$33.00		\$33.00	\$33.00
95081	FEM LUER RN HUB (L) ADAPTER	1	\$39.00		\$39.00	\$39.00
<b>TOTAL</b>						<b>\$72.00</b>

Price does not include shipping or sales tax

## Componentes del sistema de inyección: agujas coaxiales y conectores



DOXA MICROFLUIDICS S.L..  
Cjto Jardines Golf 4º fase 27  
29738 - Rincón de la Victoria.  
Málaga (España)  
VAT No. ES-B93571388

## QUOTATION


---

Pontificia Universidad Católica del Perú  
Carlos Baltazar  
Av. Universitaria 1801, San Miguel. Lima 32  
Perú

DATE (DD/MM/YYYY) 04/02/2020  
REF - E081201\_20

QTY	DESCRIPTION	UNIT PRICE	TOTAL
1	<b>Coaxial Spinneret</b>	345,00 €	345,00 €
	Delrin® nuts and ferrules, PTFE tubing, PEEK Tee and Union, and Luer-Lock syringe connectors. Diferents diameters are available: DMF-C01: (OD/ID, mm): Outer nozzle 1.4/1.1. Inner nozzle 0.7/0.4 DMF-C02 (OD/ID, mm): Outer nozzle 1.7/1.4. Inner nozzle 0.9/0.6. DMF-C03 (OD/ID, mm): Outer nozzle 2.0/1.6. Inner nozzle 1.2/0.8 DMF-C04 (OD/ID, mm): Outer nozzle 2.6/2.2. Inner nozzle 1.7/1.4		
1	<b>Single Phase Spinneret</b>	260,00 €	260,00 €
	Includes: stainless steel needle (available in different diameters). Delrin® nuts and ferrules, PTFE tubing, PEEK Tee and Union, and Luer-Lock syringe connector.		
<b>SUBTOTAL</b>			<b>605,00 €</b>
<b>INCOTERM 2015 - EXW</b>			
<b>TOTAL</b>			<b>605,00 €</b>

## Conector rotatorio de puesta a tierra

<b>L. + J. BAECHLER INGENIEROS S.A.</b> Calle Los Antares N° 320 – Oficina 301      Telf. Oficina: 271 8900 Torre A – Santiago de Surco – Lima 33 – Perú      Telf. Almacén: 326 1416 RUC: 20101965156 <a href="http://www.baechleringenieros.com">www.baechleringenieros.com</a> E-mail: info@baechleringenieros.com			
Lima, 07 de mayo de 2020  Señores <b>PUCP</b>			
<b>OFERTA MERCOTAC N° FO202054</b>			
Cant	Descripción	Precio Unidad USD	Total USD
3*	110T 1 conductor Coax	40.00	120.00
<b>VALOR TOTAL USD</b>			<b>120.00</b>
Más 18% IGV			

## Botón de emergencia

	<b>IMPORTADORA JORDAN S.A.C.</b> AV. ARGENTINA NRO. 215 INT. 17 DTR. CENTRO COMERCIAL NICOLINI (PABELLON AL PSJE 8) LIMA - LIMA - LIMA  ventas@jordanperu.com ventas@chiniperu.com http://www.jordanperu.com/web/		<b>COTIZACIÓN</b>  BAL-001792 RUC: 20600491416 15/05/2020											
	SEÑORES : PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU DIRECCIÓN : AV. UNIVERSITARIA NRO.1801 URS. PANDO - SAN MIGUEL - LIMA ATENCIÓN : CORREO : bhuanan@pucc.edu.pe REFERENCIA : Por la presente nos es grato hacerles llegar nuestra cotización por el siguiente material:		RUC : 20155045860  TELÉFONO : SUCURSAL : CENTRAL											
ITEM	DESCRIPCIÓN	UM	CANT.	PRECIO	TOTAL									
1	PULSADOR DE EMERGENCIA ROJO BASE PLASTICA _JN9-0125/14 _ CHINT	UN	1.00	12.00	12.00									
SON: DOCE CON 00/100 SOLES														
*IMPORTADORA JORDAN S.A.C.* *CUENTA CORRIENTE SOLES BCP S/ 191 - 2253907 - 0 - 35 *CÓDIGO INTERBANCARIO SOLES S/ 002-191-002253907035-63 *CUENTA CORRIENTE DOLARES BCP \$ 191 - 2270912 - 1- 13 *CÓDIGO INTERBANCARIO DOLARES \$ 002-191-002270912113-55				<table border="1"> <tr> <td>SUB TOTAL :</td> <td>S/</td> <td style="text-align: right;">10.17</td> </tr> <tr> <td>IGV 18 %</td> <td>S/</td> <td style="text-align: right;">1.83</td> </tr> <tr> <td><b>TOTAL GENERAL:</b></td> <td><b>S/</b></td> <td style="text-align: right;"><b>12.00</b></td> </tr> </table>		SUB TOTAL :	S/	10.17	IGV 18 %	S/	1.83	<b>TOTAL GENERAL:</b>	<b>S/</b>	<b>12.00</b>
SUB TOTAL :	S/	10.17												
IGV 18 %	S/	1.83												
<b>TOTAL GENERAL:</b>	<b>S/</b>	<b>12.00</b>												

## Plancha de acero galvanizada



**YOHERSA YOSHIMOTO HERMANOS SAC**  
**RUC: 20100080932**  
 Central Telefónica: (01) 500 - 5555  
 ventas@yohersa.com



**Corte de Bobina**  
 Espesor: máx 1.5mm  
 Ancho: máx 1800mm



**Plegado**  
 Espesores máx 1.2mm  
 Longitud: máx 6000mm



**Rolado**  
 Espesor: máx 1.2mm  
 Diámetro máx 680mm



**Armado de Vigas**  
 Altura: máx 1800mm  
 Ancho: máx 800mm

Lima 01 de Junio del 2020 **PROFORMA No:238-853301**

Srs. **R.U.C.: 71490221**


**Carlos Eduardo Baltazar Baquerizo**

Att.:  
 Tel.: Fax: E-mail:  
 Requerimiento:  
 Obs.:

It	Código	Descripción	Und	Cantid.	Precio Venta	P.VENTA TOTAL	Peso Kg.
1	002279	Plancha Galv. 1.0mm 1200 x 2400mm	PZA	1.00	82.3480	82.35	23.39
<b>PRECIO VENTA: S/</b>						<b>82.35</b>	
<b>TOTAL : S/</b>						<b>82.35</b>	

**SON : OCHENTA Y DOS CON 35/100 SOLES**  
**LOS PRECIOS INCLUYEN I.G.V.**  
**Condiciones de Pago: CONTADO**  
**Validez de la oferta:**  
**Plazo de entrega:**  
**Lugar de entrega:**  
**Peso Total Aprox.: 23.39Kg.**

## Plancha de acero inoxidable



**MACCINOX**  
 ACEROS INOXIDABLES - PLANCHAS DE INOXIDABLES

**COTIZACIÓN**

36168

01/06/2020

**DATOS DEL CLIENTE**

**EMPRESA** : PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU  
**CONTACTO** : SR : CARLOS BALTAZAR  
**TELEFONO** : 982444395  
**EMAIL** : carlos.baltazar@pucp.pe

TIEMPO DE ENTREGA	VALIDEZ DE OFERTA	FORMA DE PAGO	TRANSPORTE
INMEDIATA	03 DÍAS HABILDES	CONTADO	

ITEM	CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	1	PZ	PLANCHA INOX C-304 DE 1.5 MM X 4' X 8' MATE	100.20	100.20
2					
3					


**CUENTAS BANCARIAS:**

BCP \$ 191-1869057-1-72      BCP S/ 191-1882867-0-56  
 BBVA \$ 175-0100029262      BBVA S/175-100029270  
 BANBIF \$ 7000378000      BANBIF S/7000378018  
 SCOTIABANK \$ 4289912

<b>SUB TOTAL</b>	100.20
<b>IGV 18%</b>	18.04
<b>TOTAL \$</b>	<b>118.24</b>

**TIPO SE CAMBIO S/3.50**

## Tubo cuadrado de acero

		<b>MIROMINA</b> R.U.C. N° 20543847420 AV. LOS INGENIEROS NRO. 154 URB. SANTA RAQUEL Telf. 512-3370		<b>001-2020-9078</b>				
<a href="http://www.molicom.com.pe">www.molicom.com.pe</a>		LIMA, 1 de JUNIO de 2020						
Señores: <b>CARLOS EDUARDO BALTAZAR BAQUERIZO</b> Atención: SR. CARLOS EDUARDO BALTAZAR BAQUERIZO		Tipo Cambio: 3.434						
De acuerdo a su solicitud le hacemos llegar la siguiente cotización:		Importes expresados en DOLARES AMERICANOS						
N°	Cód.	Producto	Unidades	P.Unit.US\$	Cantidad	U.M.	P.TM.US\$	Sub Total Alm.
1	03941	PLANCHA ZINCADA LISA 1.00X1200X2400MM	1	20.27	0.023	TM.	881.36	20.27 001
2	00903	TUBO ACERO CUADRADO LAC A500 GRA 30X2.0X6.0M	3	8.86	0.032	TM.	830.51	26.58 001
			<b>4</b>		<b>0.055</b>	SubTotal		46.85
						IGV 18 %		8.43
						<b>Total Venta</b>		<b>55.28</b>
<b>OBSERVACIONES</b> Validez de la oferta : 3 días Condiciones de pago : Al contado Lugar de entrega: EN ALMACEN MIROMINA S.A.		<b>Cuentas Bancarias</b>						
		<b>Banco</b>	<b>Mnd.</b>	<b>N° Cuenta</b>				
		CONTINENTAL	US\$	Recaudadora 0001309				
		CONTINENTAL	S/.	Recaudadora 0001308				
		DE CREDITO DEL PERU	US\$	193-1932583-1-49				
		DE CREDITO DEL PERU	S/.	193-1936908-0-25				
		SCOTIABANK PERU SAA	US\$	3888291				
		SCOTIABANK PERU SAA	S/.	8877823				

