



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

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

**TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE
EQUIPOS PARA ENSAYOS PRECLÍNICOS”**

AUTORES: CAICEDO MACHADO, HERNÁN DANILO

GÁLVEZ CRUZ, MILTON DAVID

DIRECTOR: ING. ESCOBAR CARVAJAL, LUIS FERNANDO

SANGOLQUÍ

2018



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

EGTVKHECEK P

Certifico que el trabajo de titulación, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE EQUIPOS PARA ENSAYOS PRECLÍNICOS ” realizado por Caicedo Machado Hernán Danilo y Gálvez Cruz Milton David , ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlos y autorizarlos a Caicedo Machado Hernán Danilo y Gálvez Cruz Milton David para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, 04 de enero del 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Luis Escobar Carvajal', written over a horizontal dashed line.

ING. LUIS ESCOBAR CARVAJAL
DIRECTOR



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

El presente trabajo de titulación “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE EQUIPOS PARA ENSAYOS PRECLÍNICOS” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

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

Sangolquí, 04 de enero del 2018

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir "Hernán Danilo Caicedo Machado".

Hernán Danilo Caicedo Machado

C.C. 1500960404

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir "Milton David Gálvez Cruz".

Milton David Gálvez Cruz

C.C. 1718192618



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Caicedo Machado Hernán Danilo y Gálvez Cruz Milton David, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE EQUIPOS PARA ENSAYOS PRECLÍNICOS” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 04 de enero del 2018

Una firma manuscrita en tinta azul, que parece ser "Hernán Danilo Caicedo", sobre una línea horizontal de puntos.

Hernán Danilo Caicedo Machado

C.C. 1500960404

Una firma manuscrita en tinta azul, que parece ser "Milton David Gálvez Cruz", sobre una línea horizontal de puntos.

Milton David Gálvez Cruz

C.C. 1718192618

DEDICATORIA

El presente proyecto va dedicado:

En primer lugar, a Dios que me ha dado la vida y la fortaleza para no rendirme en los momentos más difíciles, y el entusiasmo para poder concretar todos los proyectos que la vida tiene para mí.

A mis padres porque sin ellos no hubiera podido alcanzar esta importante meta, ellos son la fuente de mi fortaleza, ya que con su ejemplo han sabido enseñarme a luchar por lo que uno desea y que el camino para llegar a ese objetivo no es nada fácil está lleno de obstáculos, que quizá en medio del camino te puedas tropezar, pero siempre hay que levantarse y con más fuerza continuar hasta lograr el objetivo anhelado y si las cosas se hacen de manera correcta, al final la mayor recompensa es el aprendizaje y la experiencia.

A mis hermanas ya que con su alegría y sus ocurrencias hacen que los momentos difíciles sean más llevaderos, además de que ellas son parte del motivo de porque yo quiero superarme cada vez más, ya que tengo que alentarles a ellas a que traten de superarme y eso solo puedo conseguirlo siendo un buen ejemplo a seguir.

A mi esposa que con su apoyo y comprensión ha sabido animarme en los momentos más difíciles de mi carrera, como en las eternas desveladas que estuvo siempre a mi lado demostrando ser una maravillosa mujer.

Hernán Danilo Caicedo Machado

DEDICATORIA

El presente proyecto va dedicado:

A Dios, que me ha guiado en los momentos más difíciles, apoyándome a tomar las mejores decisiones en mi vida.

A mis padres, que con su ejemplo de trabajo y esfuerzo me han guiado a seguir adelante ante cualquier adversidad en la vida, al apoyo que me han dado para poder alcanzar esta primera meta profesional, además de ser la fuente de mi fortaleza para luchar por los deseos que tengo en mi vida.

A mis hermanas, quienes siempre me han apoyado en mi vida, dándome consejos los cuales me han ayudado a superar muchos obstáculos de mi vida.

Y en especial a las tres personas que más quiero PLL, por ser el motor que me impulsa a levantarme todos los días en busca de ser mejor persona y profesional.

David Gálvez

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a mis Padres que han sido muy pacientes al momento de apoyarme, ya que, a pesar de todos los errores cometidos durante mis estudios, ellos nunca dejaron de tener fe en mí, el título que hoy obtengo es gracias a la formación que ellos me han dado, los consejos y a que han sido mi guía durante todo este camino, no me alcanzaría la vida para darles las gracias por todo lo que han hecho por mí.

Agradezco a mi esposa por apoyarme en los momentos difíciles, por todos aquellos detalles que hicieron que los días sean más llevaderos.

Agradezco a mis hermanas que con su amor han estado siempre pendientes de mí, para brindarme su apoyo incondicional, gracias por ser como son.

Agradezco a mis amigos y compañeros, con ellos compartimos grandes experiencias durante nuestra vida universitaria, ya que con sus buenas y malas ideas alegraban el día, sin ustedes no hubiera sido lo mismo.

Agradezco a mi compañero de Tesis y amigo Milton Gálvez que, gracias a su apoyo y colaboración, se pudo concluir este proyecto satisfactoriamente.

Agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas –ESPE, ya que a través de sus docentes ha sabido impartirnos los conocimientos necesarios para salir a defendernos en la vida profesional.

Hernán Danilo Caicedo Machado

AGRADECIMIENTO

En la realización de este trabajo de titulación, son muchas las personas a quienes deseo agradecer, a ellos quiero expresar mis más sinceros reconocimientos.

A mis Padres que con sus consejos me ayudaron a superar los momentos más difíciles en mi vida como estudiante, además de agradecer al trabajo que hicieron para apoyarme solventando mis primeros años en la universidad, así como la confianza que tuvieron en mí en la culminación de esta etapa de mi vida.

A mis hermanas que con su amor me han apoyado en los momentos más difíciles.

A mi compañero y gran amigo Hernán por ser una persona como muy pocas se pueden encontrar en la vida, gracias a su entusiasmo y confianza pudimos concluir este trabajo satisfactoriamente.

A todos mis amigos y amigas en especial a Emily, que ha hecho que esta etapa de mi vida sea una de las mejores vividas, mil gracias por todos los momentos que hemos compartido y al apoyo incondicional brindado durante los momentos más difíciles.

A nuestro director de tesis Ing. Luis Escobar, por el apoyo y el tiempo dedicado para la realización de esta tesis.

Finalmente, agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas –ESPE, por haberme aceptado a formar parte de ella para estudiar mi carrera, así como a los diferentes docentes que nos brindaron sus conocimientos y apoyo para seguir adelante en la vida.

David Gálvez

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO DEL DIRECTOR DE TESIS	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
AGRADECIMIENTO	viii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
RESUMEN.....	xxii
ABSTRACT.....	xxiii
CAPITULO I.....	1
1. GENERALIDADES	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación e Importancia.....	2
1.3 Área de influencia	3
1.4 Alcance	3
1.5 Objetivos	3
1.5.1 Objetivo General	3
1.5.2 Objetivos Específicos.....	4
1.6 Marco Teórico	4
1.6.1 Sistema de Infusión	4

1.6.2	Esterilizadores de Instrumentos Médicos.....	6
1.6.3	Transferencia de Calor	7
1.6.4	Aislante Térmico	9
1.6.1	Materiales usados en Equipos Médicos	11
CAPÍTULO II		13
2.	DISEÑO MECATRÓNICO.....	13
2.1	Diseño mecánico	14
2.1.1	Placa Térmica.....	14
2.1.2	Diseño mecánico del esterilizador	31
2.1.3	Diseño mecánico de la bomba de jeringa.....	41
2.2	Diseño electrónico	64
2.2.1	Placa Térmica.....	64
2.2.2	Esterilizador de instrumentos	74
2.2.3	Bomba de Jeringa.....	80
2.3	Diseño por Software	84
2.3.1	Placa Térmica.....	85
2.3.2	Esterilizador de Instrumentos.....	88
2.3.3	Bomba de Infusión	90
CAPÍTULO III		93
3.	INGENIERÍA DE DETALLE	93
3.1	Bomba de jeringa.....	93
3.1.1	Parte mecánica	93
3.1.2	Parte Electrónica	98
3.2	Esterilizador de Instrumentos	99
3.2.1	Parte Mecánica	99
3.2.1	Parte Electrónica	100

3.3	Placa Térmica	101
3.3.1	Parte Mecánica	101
3.3.2	Parte Electrónica	102
CAPÍTULO IV		104
4.	DISEÑO DE LOS CONTROLADORES	104
4.1	Esterilizador.....	104
4.1.1	Parámetros de diseño del controlador	104
4.1.2	Cálculo de la planta del esterilizador	104
4.1.3	Cálculo del controlador para el esterilizador	109
4.2	Placas térmicas	113
4.2.1	Parámetros de diseño del controlador	113
4.2.2	Cálculo de la planta de las placas térmicas	113
4.2.3	Cálculo del controlador para las placas térmicas	117
4.3	Bomba de jeringa.....	120
CAPÍTULO V		125
5.	PRUEBAS Y RESULTADOS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS	125
5.1	Pruebas de Funcionamiento de los Equipos	125
5.2	Bomba de Jeringa	126
5.2.1	Prueba con Jeringas.....	126
5.3	Esterilizador de Instrumentos	127
5.4	Placas Térmicas	129
5.5	Análisis de resultados	130
CAPÍTULO VI.....		131
6.	ANÁLISIS ECONÓMICO DEL EQUIPO DE ENSAYOS PRECLÍNICOS	131

6.1	Costos Directos.....	131
6.1.1	Bomba de Jeringa.....	131
6.1.2	Esterilizador	132
6.1.3	Placas Térmicas.....	133
6.1.4	Costos Directos Totales.....	134
6.2	Costos Indirectos	134
6.2.1	Costos de materiales y herramientas	134
6.2.2	Costos indirectos de Mano de Obra	135
6.2.3	Costos Operativo de equipos de ensayos preclínicos.....	135
6.2.4	Costos Operativo de equipos de ensayos preclínicos.....	135
6.2.5	Costo Total del Equipo de Ensayos Preclínicos.....	136
CAPÍTULO VII		137
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	137
7.1	Conclusiones	137
7.2	Recomendaciones	138
7.3	Trabajos Futuros.....	139
BIBLIGRAFÍA		140
ANEXOS		149

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción Equipos	5
Tabla 2. Clasificación de los aislantes térmicos.....	9
Tabla 3. Temperatura promedio en Sangolquí.....	15
Tabla 4. Comparación de láminas de acero comerciales	19
Tabla 5. Matriz de selección de Holmes de láminas de aceros comerciales.....	19
Tabla 6. Simbología de las ecuaciones para el cálculo de la potencia.....	21
Tabla 7. Requerimientos para el diseño para la placa térmica.....	21
Tabla 8. Resultados obtenidos de la potencia requerida para la placa térmica.....	21
Tabla 9. Comparación de fuentes de calor comerciales.....	22
Tabla 10. Matriz de selección de Holmes para el tipo de fuente de calor.....	22
Tabla 11. Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección.....	24
Tabla 12. Resumen de valores obtenidos de la potencia máxima para las placas térmicas.....	25
Tabla 13. Resultados de la temperatura de la parte superior del sistema.....	27
Tabla 14. Comparación de aislantes térmicos comerciales.....	28
Tabla 15. Resultado de los espesores obtenidos para los diferentes tipos de aislantes térmicos comerciales.	29
Tabla 16. Matriz de Holmes para la selección del aislante térmico.....	29
Tabla 17. Resumen de temperaturas obtenidas en los puntos de las paredes del equipo basado en la Figura 13.	31
Tabla 18. Requerimientos para el diseño del esterilizador	33

Tabla 19. Resultados obtenidos para el diseño del esterilizador.....	34
Tabla 20. Parámetros considerados para la fuente de calor	34
Tabla 21. Resumen de valores obtenidos de la potencia máxima para el esterilizador	35
Tabla 22. Simbología de las ecuaciones de transferencia de calor a través de la capa cilíndrica.....	37
Tabla 23. Valores de radios y espesores para el cálculo del aislante térmico para el esterilizador.....	37
Tabla 24. Resumen de temperaturas de los puntos de las paredes del esterilizador basado en la Figura 14.	41
Tabla 25. Simbología de las ecuaciones para el cálculo de parámetros en la bomba de jeringa	43
Tabla 26. Comparación de los tipos de mecanismos más comunes para el desplazamiento	50
Tabla 27. Matriz de selección de Holmes para el tipo de mecanismo de desplazamiento lineal	51
Tabla 28. Simbología de la ecuación para el cálculo del límite de la resistencia a la fatiga	55
Tabla 29. Parámetros en la condición superficial	56
Tabla 30. Factor de confiabilidad.....	57
Tabla 31. Diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso y fino	60
Tabla 32. Características de varios tipos de acoplamientos.....	62
Tabla 33. Características técnicas de termistor NTC 10K 3380.....	66

Tabla 34. Simbología de la ecuación para el cálculo de la resistencia en la temperatura actual.....	66
Tabla 35. Características técnicas de mosfet IRFZ44N a 25°C	69
Tabla 36. Requerimientos para el microcontrolador.....	72
Tabla 37. Características técnicas de algunas plataformas de desarrollo comerciales	73
Tabla 38. Características técnicas del circuito integrado MAX6675.....	77
Tabla 39. Características técnicas del relé de estado sólido.....	78
Tabla 40. Requerimientos para el microcontrolador.....	79
Tabla 41. Características técnicas A4988	80
Tabla 42. Pines del driver A4988.....	81
Tabla 43. Descripción de la ecuación para el cálculo del límite de corriente.....	81
Tabla 44. Características técnicas pantalla Nextion de 4.3”	83
Tabla 45. Requerimientos para el microcontrolador.....	83
Tabla 46. Simbología del modelo matemático de un sistema dinámico.	105
Tabla 47. Simbología de una planta térmica.	107
Tabla 48. Efecto que causa k_p , k_i y k_d en un sistema.....	109
Tabla 49. Pruebas y Resultados obtenidos con diferentes jeringas.....	126
Tabla 50. Especificaciones cámara térmica FLUKE TI25.....	127
Tabla 51. Pruebas realizadas al esterilizador de instrumentos	127
Tabla 52. Pruebas realizadas a la placa térmica.	129
Tabla 53. Características de los equipos	130
Tabla 54. Costos directos de la Bomba de Jeringa	131
Tabla 55. Costos directos del Esterilizador de Instrumentos	132

Tabla 56. Costos directos de las Placas Térmicas.....	133
Tabla 57. Costos Directos Totales	134
Tabla 58. Costos indirectos de Materiales y Herramientas de los Equipos	134
Tabla 59. Costos indirectos de mano de obra de equipos de ensayos preclínicos ..	135
Tabla 60. Costos Operativos de equipos de ensayos preclínicos	135
Tabla 61. Total de costos indirectos.....	135
Tabla 62. Costo Total del Equipo de Ensayos Preclínicos	136

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de sistemas de infusión	5
Figura 2. Procesos para esterilizar un objeto.	6
Figura 3. Transferencia de calor por conducción.....	7
Figura 4. Transferencia de calor por convección	8
Figura 5. Transferencia de calor por radiación	9
Figura 6. Lana de vidrio	11
Figura 7. Metodología del modelo V de la norma VDI 2206	13
Figura 8. Esquema de la placa térmica.....	15
Figura 9. Energía involucrada en el sistema, parte superior	17
Figura 10. Energía involucrada en el sistema, parte inferior	17
Figura 11. Analogía de resistencias en las placas térmicas.....	26
Figura 12. Temperaturas involucradas en la parte superior del sistema.	27
Figura 13. Temperaturas y transferencia de calor involucrados en la parte inferior del sistema	30
Figura 14. a) Analogía de resistencias del esterilizador b) radios de análisis parte exterior c) radios de análisis parte interior	36
Figura 15. Esquema de la bomba de jeringa	42
Figura 16. Especificaciones técnicas del motor a pasos NEMA 17.....	49
Figura 17. Parámetros en la condición superficial	55
Figura 18. Sensibilidad a la muesca en caso de aceros y aluminios sometido a flexiones inversas de cargas axiales inversas	58
Figura 19. Sensibilidad a la muesca de materiales sometidos a torsión inversa	59

Figura 20. Tornillo Sin Fin SFU 1240 150 mm.....	61
Figura 21. Acoplamiento rígido con tornillo de presión.....	63
Figura 22. Rodamiento 608 2Z Fuente. (Seekpart, 2017).....	63
Figura 23. Características de los sensores de temperatura.....	65
Figura 24. Termistor NTC 10K 3380.....	66
Figura 25. Circuito de conexión para el termistor NTC 3470	67
Figura 26. Diagrama de bloque del sensor de temperatura.....	68
Figura 27. Circuito de control para el Mosfet IRFZ44N.	69
Figura 28. Circuito de control para cada pulsador en Pull down.....	70
Figura 29. Características técnicas pantalla TFT 1.8”	71
Figura 30. Pines de conexión de la pantalla TFT con arduino uno.....	72
Figura 31. Fuente de poder Altek.....	74
Figura 32. Tipos de termocuplas y curva de linealización.....	75
Figura 33. Termocupla tipo K adquirida.....	76
Figura 34. Diagrama de bloque del sensor de temperatura.....	76
Figura 35. Conexión típica del circuito integrado MAX6675	77
Figura 36. Relé de estado sólido SSR-25 DA.....	78
Figura 37. Esquema de conexión del driver Pololu A4988	80
Figura 38. Circuito de control para cada pulsador en Pull down.....	82
Figura 39. Pantalla Nextion 4.3”	83
Figura 40. Base de Placas Térmicas.....	85
Figura 41. Aislante Térmico	85
Figura 42. Cama Térmica.....	85
Figura 43. Lámina de división	86

Figura 44. Placa de transferencia de calor	86
Figura 45. Porta Instrumentos	86
Figura 46. Base de porta Instrumentos.....	87
Figura 47. Caja de circuitos	87
Figura 48. Ensamble del conjunto.....	87
Figura 49. Chasis Principal	88
Figura 50. Aislamiento Térmico	88
Figura 51. Crisol	89
Figura 52. Base de circuitos	89
Figura 53. Ensamble del conjunto.....	89
Figura 54. Chasis Principal	90
Figura 55. Base de circuitos	90
Figura 56. Soporte de Mecanismo	91
Figura 57. Pieza de empuje de émbolo	91
Figura 58. Base de soporte de jeringa	91
Figura 59. Lámina de ajuste de jeringa	92
Figura 60. Lámina de ajuste de émbolo	92
Figura 61. Ensamble de conjunto.....	92
Figura 62. Proceso de manufactura para la Bomba de Jeringa según el material de fabricación	94
Figura 63. Ensamble de Bomba de jeringa	94
Figura 64. Trazo en chapa metálica	95
Figura 65. Corte de chapa metálica.....	95
Figura 66. Doblado de chapa metálica.....	95

Figura 67. Soldadura GTAW	96
Figura 68. Máquina soldadora por puntos.....	97
Figura 69. Procesos efectuados de Taladrado y Corte	97
Figura 70. Sujetadores mecánicos para ensamble de equipos.....	98
Figura 71. Diseño del circuito electrónico de la Bomba de Jeringa.....	98
Figura 72. Diseño de la placa PCB de la Bomba de Jeringa.....	99
Figura 73. Proceso de manufactura para esterilizador de instrumentos.....	99
Figura 74. Ensamble del esterilizador de instrumentos	100
Figura 75. Diseño del circuito electrónico del esterilizador de instrumentos	100
Figura 76. Diseño de la placa PCB del esterilizador de instrumentos	101
Figura 77. Ensamble de Placas Térmicas.....	101
Figura 78. Diseño del circuito electrónico de la placa térmica	102
Figura 79. Diseño de la placa PCB de la placa térmica	103
Figura 80. Grafica de toma de muestras en el tiempo con el 25% de la máxima potencia del actuador del esterilizador (Matlab)	105
Figura 81. Sistema de control en lazo cerrado de un sistema dinámico.	105
Figura 82. Ingreso de datos a las variables de ident de Matlab para el esterilizador.	106
Figura 83. Funciones de transferencia obtenidas del sistema del esterilizador.....	106
Figura 84. Obtención de la planta del sistema.	107
Figura 85. Función de transferencia con retroalimentación del esterilizador en Simulink (Matlab).	109
Figura 86. Gráfica del controlador de la planta para el esterilizador en PID Tuner (Matlab).....	110

Figura 87. Respuesta del sistema con saturación del esterilizador en Simulink (Matlab)	112
Figura 88. Comportamiento de la señal de control con saturación del esterilizador en Simulink (Matlab).....	112
Figura 89. Grafica de toma de muestras en el tiempo con el 60% de la máxima potencia del actuador	113
Figura 90. Ingreso de datos a las variables de ident de Matlab para las placas térmicas.....	114
Figura 91. Funciones de transferencia obtenidas del sistema de placas térmicas....	115
Figura 92. Obtención de la planta del sistema de las placas térmicas.....	115
Figura 93. Función de transferencia con retroalimentación de las placas térmicas en Simulink (Matlab).....	117
Figura 94. Gráfica del controlador de la planta para las placas térmicas en PID Tuner (Matlab).....	118
Figura 95. Respuesta del sistema con saturación de las placas térmicas en Simulink (Matlab)	119
Figura 96. Comportamiento de la señal de control con saturación de las placas térmicas en Simulink (Matlab)	120
Figura 97. Diagrama de flujo de programación para el sistema de la bomba de jeringa	124
Figura 98. Equipos terminados sometidos a pruebas	125
Figura 99. Equipos terminados sometidos a pruebas	127
Figura 100. Comparación entre medición del sensor y la cámara térmica	128
Figura 101. Lectura de temperatura a 30°C	130

RESUMEN

El presente proyecto tiene que ver con el diseño y construcción de un módulo de equipos para ensayos preclínicos mediante la integración de conocimientos mecánicos, electrónicos, de control y programación. El proyecto consta de tres equipos innovadores que contribuirán con el desarrollo de futuras investigaciones relacionadas al área de la Microcirugía, que se llevaran a cabo en los laboratorios de Biotecnología de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, estos equipos son una “Bomba de Jeringa”, una “Placa Térmica” y un “Esterilizador de instrumentos”. La Bomba de Jeringa es un dosificador de sustancia que tiene la capacidad de trabajar con dos jeringas a la vez, utiliza una interfaz gráfica mediante una pantalla táctil para su configuración y control, fue diseñada mediante criterios de programación. La Placa térmica, trata de un dispositivo que trabaja con temperatura regulable entre 20°C y 40°C, y tiene la función de ayudar a mantener constante la temperatura del sujeto de prueba mediante la transferencia de calor por conducción, para su configuración y control utiliza una interfaz gráfica mediante una pantalla TFT, su diseño se basa en un control PID. El esterilizador de instrumentos es un dispositivo Térmico que trabaja con calor seco, cuyo objetivo es eliminar bacterias de los instrumentos médicos exponiéndoles a una temperatura superior a los 230°C, su diseño se basa en un control PID y para su visualización de la temperatura utiliza una pantalla TFT.

PALABRAS CLAVE:

- ENSAYOS PRECLÍNICOS
- MICROCIRUGÍA
- ESTERILIZADOR

ABSTRACT

The present project is related the design and construction of a module of equipment's for preclinical tests through the integration of mechanical, electronic, control and programming knowledge. The project consists of three innovative machines that will contribute to the development of future research related to the area of Microsurgery, that will be carried out in the Biotechnology laboratories of the University of the Armed Forces - ESPE, these devices are a "Syringe Pump ", a "Thermal Plate "and an" Instrument Sterilizer ". The syringe pump is a substance dispenser that has the capacity to work with two syringes at the same time. It uses a graphical interface through a touch screen for its configuration and control, and it's designed by programming criteria. The Thermal Plate is a device that works with an adjustable temperature between 20 ° C and 40 ° C, and has the function to keep the temperature of the test subject constant by conducting heat transfer. For its configuration and control it uses a graphical interface through a TFT screen; its design is based on a PID control. The instrument sterilizer is a thermal device that works with dry heat, whose objective is to eliminate bacteria from the medical instruments exposing them to a temperature higher than 230 ° C, its design is based on a PID control and for its visualization of the temperature uses a TFT screen.

KEYWORDS:

- PRECLINICAL TESTS
- MICROSURGERY
- STERILIZER

CAPITULO I

1. GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

El Laboratorio de Biotecnología de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE se dedica a la investigación en diversas áreas, una de las cuales es la aplicación a la medicina, por lo que requieren de equipos especializados con ciertas características que permitan llevar a cabo ensayos preclínicos.

El desarrollo de sistemas tecnológicos para la investigación médica ha tenido un avance muy acelerado en las últimas décadas. Esto ha generado la importancia de que ingenierías incluyendo, la ingeniería Mecatrónica se involucre en el desarrollo de equipos médicos cada vez más complejos, versátiles y robustos.

Estas innovaciones tecnológicas han ayudado a promover la investigación en este campo, fomentando la inversión de grandes cantidades de dinero con el fin de desarrollar nuevos sistemas inteligentes cuya función a futuro es remplazar a las personas en tareas de alto riesgo o específicas dentro de las áreas químicas, de producción, distribución entre otras.

Una de las áreas de mayor impacto de este tipo de sistemas es en la medicina, con el desarrollo de equipos médicos capaces de realizar y facilitar los controles y movimientos autónomos de las diferentes herramientas utilizadas en dicho campo.

La Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, en la actualidad cuenta con nueve departamentos académicos, entre los cuales se encuentra el Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura (DECV), que brinda soporte a las Carreras de Ingeniería en Biotecnología e Ingeniería en Ciencias Agropecuarias, además cuenta con laboratorios de nanotecnología, inmunología, cultivo del tejido, virología, microscopía, en los cuales los estudiantes de dichas carreras realizan ensayos. Estos laboratorios cuentan con equipos de alta calidad, que contribuyen al desarrollo de nuevos medicamentos para beneficio de los seres humanos.

En la actualidad dichos laboratorios no cuentan con un sistema para realizar procedimientos de ensayos preclínicos en animales, que ayuden en la investigación y desarrollo de nuevos medicamentos para el tratamiento de diferentes enfermedades, por lo cual existe la necesidad de desarrollar equipos que permitan cumplir dicho objetivo.

1.2 Justificación e Importancia

El laboratorio de Biotecnología en el afán de expandir su área de investigación mediante ensayos preclínicos, se ha visto en la necesidad de contar con equipos que faciliten este trabajo. Durante los últimos años la tecnología ha ido creciendo a pasos agigantados teniendo como resultado tecnología de calidad, con precios cada vez más reducidos. Uno de los campos que más desarrollo ha tenido en la historia es el campo médico, debido a la constante necesidad de mejorar la calidad de vida de las personas, esta necesidad ha fomentado el desarrollo de diferentes sistemas y dispositivos con tecnología cada vez más sofisticada, ayudando en el desarrollo e investigación de la medicina y sus aplicaciones.

Adicionalmente, el desarrollo del proyecto tiene como objetivo el cumplimiento del Plan Nacional del Buen Vivir 2017-2021 (Senplades, 2017), dentro del cual se considera el Objetivo N.- 5 “Impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sustentable de manera redistribuida y solidaria” el cual expresa:

Objetivo 5.3. “Promover la investigación, la formación, la capacitación, el desarrollo y la transferencia tecnológica, la innovación y el emprendimiento, en articulación con las necesidades sociales, para impulsar el cambio de la matriz productiva”.

El laboratorio de biotecnología de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE en la actualidad no cuenta con equipos para ensayos preclínicos, dificultando así la realización de este tipo de investigaciones y experimentos.

Por lo que el presente proyecto busca la fabricación de un módulo de equipos que permitan realizar estos estudios dentro de la universidad, colaborando con la institución para el continuo desarrollo de la investigación y sobre todo el desarrollo tecnológico en el país.

1.3 Área de influencia

En función de lo mencionado anteriormente el área de influencia será dentro de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE específicamente al Laboratorio de Biotecnología, así como a los docentes y estudiantes del Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura.

1.4 Alcance

El proyecto se enfoca en Diseñar e implementar un conjunto de equipos para ensayos preclínicos (Bomba de Jeringa, Placas intercambiadoras de calor, Esterilizador de Instrumentos), colaborando con el laboratorio de Biotecnología, permitiendo a los estudiantes y profesores trabajar de una manera fácil y eficaz en investigaciones de diferente índole mediante pruebas de Laboratorio.

Una vez concluida la etapa de fabricación de los equipos se realizarán las pruebas necesarias en presencia del proponente del proyecto para su respectivas correcciones y posterior aprobación, estas pruebas se realizarán utilizando los distintos instrumentos de medición como son: Escala de las diferentes Jeringas, Cronómetro (Tiempo), Termómetro (Temperatura), con esto se verifica el correcto funcionamiento de los equipos según los parámetros y tolerancias especificadas.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

- Desarrollar el diseño y construcción de un módulo de equipos para ensayos preclínicos.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Realizar el diseño y construcción un módulo de equipos para ensayos preclínico mediante el uso de software CAD/CAE.
- Desarrollar los componentes electrónicos y las conexiones necesarias para establecer una comunicación entre sensores, actuadores, procesador y HMI.
- Implementar un sistema de control que garantice el correcto funcionamiento de los equipos en el campo de la investigación médica.

1.6 Marco Teórico

1.6.1 Sistema de Infusión

Los sistemas de infusión tienen como objetivo el control y administración de fluidos dentro de un organismo de forma parental (intravenosa, subcutánea, intraperitoneal, intrarraquídea) de una forma automática durante un largo periodo de tiempo. (Llamosa & Contreras, 2008)

1.6.1.1 Clasificación de los Sistemas de Infusión

Dentro de los sistemas de infusión, la bomba de jeringa es la alternativa más utilizada para ensayos preclínicos en animales. En la Figura 1 se muestra la descripción de diferentes equipos de bomba de jeringa comerciales.

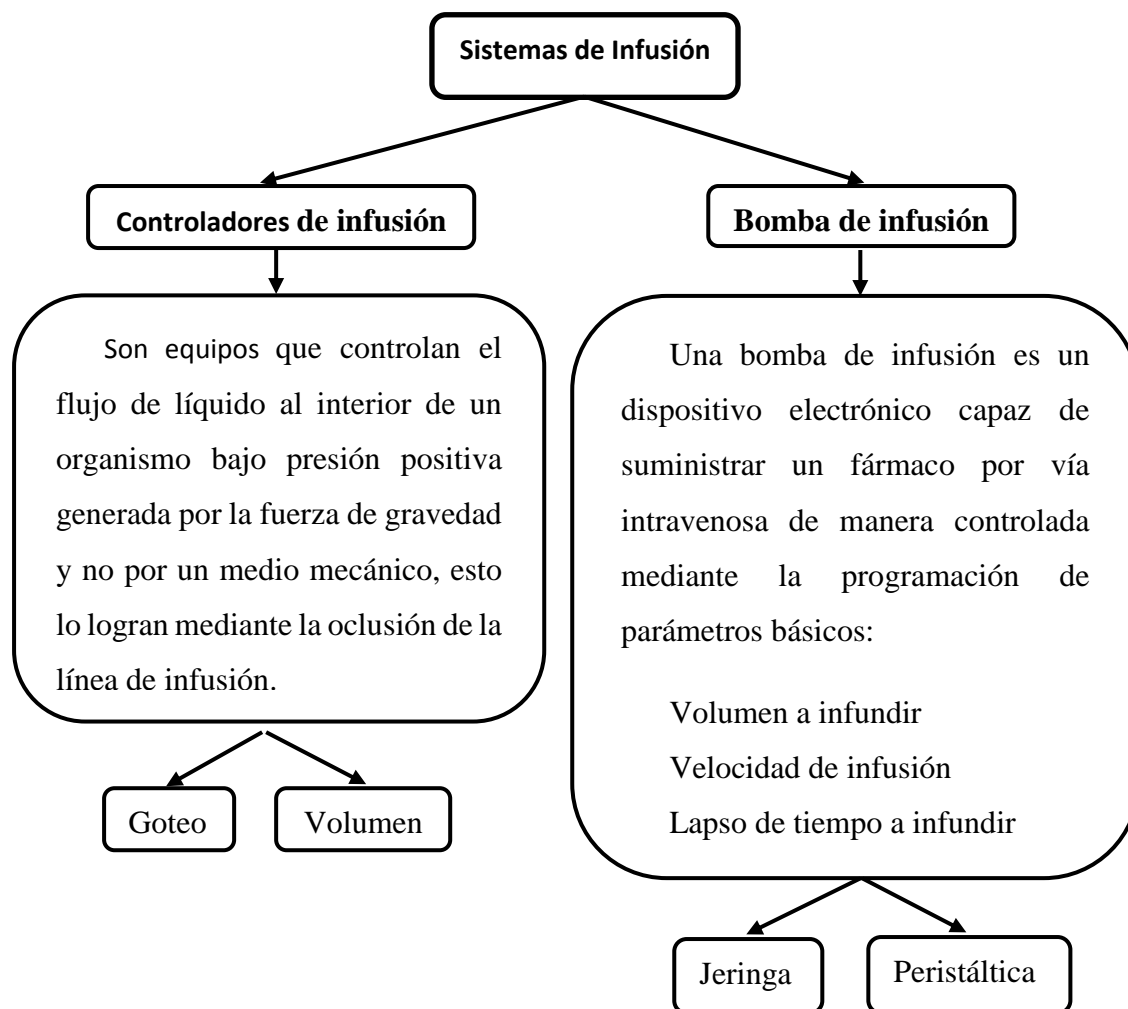





Figura 1. Clasificación de sistemas de infusión

Fuente: (Llamosa & Contreras, 2008)

Tabla 1.
Descripción Equipos

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	PHD ULTRA	DRE SP1500 Plus	LEGATO™ 100 SYRINGE PUMP
				
Dimensiones	mm	304x215x184	305x135x195	226x190x150
Exactitud	%	0,25	2	0,5
Tamaño pantalla	Pulgadas	Touch 4,3 a color	16x2 LCD	Touch 4,3 a color
Tipo de motor		Motor a pasos de 0, 9°.	Motor a pasos	Motor a pasos de 0, 9°.

CONTINUA

Peso neto	kg	4,5	2,6	2,66
Número de jeringas	-	2	1	1
Rango de voltaje	V	100-240 AC	100 AC	100-240 AC
Frecuencia	Hz	50/60	50/60	50/60
Costo	\$	3550	1000	1180
Fuente		(Apparatus, 2017)	(Dreme, 2017)	(Scientific, 2017)

1.6.2 Esterilizadores de Instrumentos Médicos

Por esterilizar se entiende a la destrucción o eliminación de toda forma de vida microbiana (incluyendo esporas) presente en objetos inanimados mediante procedimientos físicos, químicos o gaseosos.

La esterilización debe ser considerada como un conjunto de procesos interrelacionados de enorme importancia para que puedan prestarse los servicios de salud (esterilización de materiales, medios de cultivo, instrumentos) dentro de condiciones rigurosas de asepsia.

Los procesos asociados para lograr que un objeto inanimado esté en condiciones estériles son los siguientes:



Figura 2. Procesos para esterilizar un objeto.

El esterilizador es un equipo diseñado con el fin de eliminar de forma confiable, los microorganismos que de otra manera estarían presentes en objetos que se utilizan en actividades de diagnóstico, tratamiento o investigación en instituciones de salud (hospitales, laboratorios); también es un equipo de amplio uso en las industrias procesadoras de alimentos y en la industria farmacéutica. (Werner, 2014)

1.6.3 Transferencia de Calor

Es el intercambio de energía calórica de un cuerpo que se encuentra a mayor temperatura a uno que se encuentra a menor temperatura tratando de encontrar un equilibrio térmico entre ellos.

La transferencia de calor se produce por 3 métodos básicos:

1.6.3.1 Conducción

La energía calórica se transmite por el contacto directo entre cuerpos o entre partículas del mismo cuerpo que se encuentran a distinta temperatura, como se observa en la Figura 3. El flujo energético se dirige de la región de mayor temperatura a la de menor. Este proceso es de mayor importancia en sólidos, pero de menor importancia en líquidos o gases. (Juez & Iglesias, 2010)

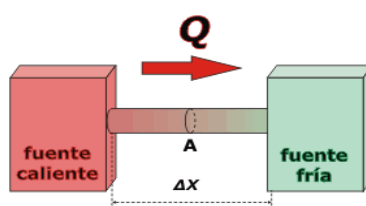


Figura 3. Transferencia de calor por conducción

Fuente: (Cabrera, 2016)

1.6.3.2 Convección

La energía calorífica se transmite por el movimiento físico de las moléculas calientes de las zonas de altas temperaturas a las zonas de baja temperatura y viceversa, equilibrándose las temperaturas, como se observa en la Figura 4.

Cuando un fluido que se encuentra en un campo gravitatorio hay regiones de distinta densidad, siendo las zonas más densas por más frías las que se encuentran en la parte superior, éstas se mueven hacia las zonas de menor densidad que se encuentran en la parte inferior (más caliente) desplazando el fluido que allí se encuentra estableciéndose así una circulación de materia (aire) que tiende a igualar la temperatura del conjunto del gas.

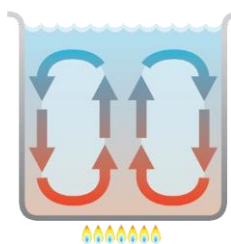


Figura 4. Transferencia de calor por convección

Fuente: (Apodaca & Soto, 2015)

1.6.3.3 Radiación

En este tipo de transmisión de calor un cuerpo cede su energía interna a través de la emisión de ondas electromagnéticas y son emitidas por todos los cuerpos por el hecho de encontrarse a cierta temperatura, que se propaga a la velocidad de la luz y no necesita de un medio material para su propagación. Al absorberse estas ondas por otros sólidos, su energía pasa de nuevo a un movimiento térmico de las moléculas aumentando su temperatura. (Domingo, 2011) Ver Figura 5.

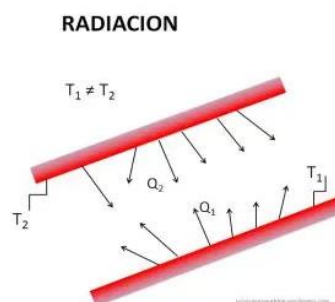


Figura 5. Transferencia de calor por radiación

Fuente: (Carmona, 2013)

1.6.4 Aislante Térmico

1.6.4.1 Clasificación de los aislantes térmicos

Tabla 2.

Clasificación de los aislantes térmicos

Según su estructura	Según su origen	Según su resistencia
Granular	Vegetal u orgánico	Zona de temperatura
Fibrosa	Mineral o inorgánico	
Alveola	Sintético	

1.6.4.2 Clasificación por su origen

a) Materiales de origen sintético orgánico

Se define como un material plástico celular y rígido fabricado a partir de varios polímeros. La estructura celular le proporciona sus excelentes prestaciones como aislante térmico y como material aligerante. Es importante recalcar que este tipo de aislante térmico se utiliza más en edificios para conservar el calor dentro de las instalaciones ante la exposición a bajas temperaturas al exterior de las mismas.

Este tipo de aislantes térmicos al tratarse de polímeros y ser un material orgánico, a altas temperaturas y exposición al fuego pierde sus propiedades y este se combustiona fácilmente. (Madrid, 2012)

Entre los cuales se mencionan los siguientes:

- Poliestireno expandido (EPS)
- Espuma elastomérica
- Espuma de polietileno
- Espuma de polipropileno
- Espuma de melanina
- Plancha de policarbonato aislante

b) Materiales de origen inorgánico

Estos materiales por su naturaleza inorgánica son excelentes aislantes térmicos ya que ante la exposición a altas temperaturas estos no se combustión al contrario sirven como protección, entre este tipo de materiales se tiene:

- **Lanas minerales**

Las lanas minerales son productos constituidos por un entrelazado de filamentos de materiales pétreos que forma una tela que almacena entre sus fibras aire en estado inmóvil, esta peculiar estructura ofrece elevados niveles de protección frente al calor, ruido y fuego siendo además incombustibles debido a su naturaleza inorgánica.

Dentro de las lanas minerales se distinguen dos tipos: las lanas de vidrio y las lanas de roca, elaboradas a partir de arena o rocas basálticas respectivamente.

Además, las lanas minerales constituyen un aislante ideal al permitir un alto grado de ahorro de energía debido a que no permite fugas de energía, reduciendo así el consumo energético y disminuyendo el deterioro del medio ambiente.

Estudios han revelado que la fabricación y uso de estas lanas minerales no son perjudiciales para el medio ambiente. (Madrid, 2012)



Figura 6. Lana de vidrio

Fuente: (EcuRed, 2017)

1.6.4.3 Clasificación según las temperaturas máximas de empleo

- a. Aislante cerámico hasta 1500°C.
- b. Lana de roca o mineral hasta 750°C.
- c. Lana de vidrio hasta 500°C sin encolar y hasta 250°C encolado.
- d. Espumas elastomérica a base de caucho sintético desde -50°C hasta 175°C.
- e. Espumas de poliuretano desde 10°C hasta 90°C.
- f. Espumas de poliuretano desde -150 °C hasta 100°C.
- g. Poliestireno extruido hasta 75°C.
- h. Poliestireno expandido hasta 70°C. (ATECOS)

1.6.1 Materiales usados en Equipos Médicos

Todos los equipos o instrumentos para uso médico deben cumplir normas de diseño y fabricación como es la norma IEC 61010-2-040 que nos habla sobre los: “Requisitos de seguridad de equipos eléctricos de medida, control y uso en laboratorio”, para contribuir con el desarrollo de las buenas prácticas médicas.

El diseño de equipos dentro de la industria médica involucra uno de los lugares con mayores retos en el desarrollo para la ciencia de materiales, esto debido a todas las aplicaciones en los que se ven involucrados dichos materiales, así como el ambiente donde los mismos trabajan. Entre los materiales más comunes en la manufactura de

equipos médicos se encuentran los aceros inoxidables debido a las propiedades que los mismos brindan dentro de esta área.

Los aceros inoxidables son aquellos aceros en los que el porcentaje de Cromo es superior al 11,5%, se llaman inoxidables porque a partir de este porcentaje de Cromo, la velocidad de corrosión del acero disminuye drásticamente, entre los aceros inoxidables más comunes dentro de estos ambientes está el acero inoxidable 304 y el acero inoxidable 316.

El acero inoxidable 304 es considerado por el mundo como uno de los dispositivos más adecuados para la manufactura de dispositivos médicos ya que posee grandes propiedades a un precio bajo que lo convierten en la alternativa idónea dentro de estos tipos de acero.

CAPÍTULO II

2. DISEÑO MECATRÓNICO

En este capítulo se realiza el diseño integral del sistema, mediante la metodología basada en la norma VDI 2206 según el modelo de la forma V, la cual describe el procedimiento genérico para el diseño de sistemas Mecatrónicos especificando cada una de las tareas.

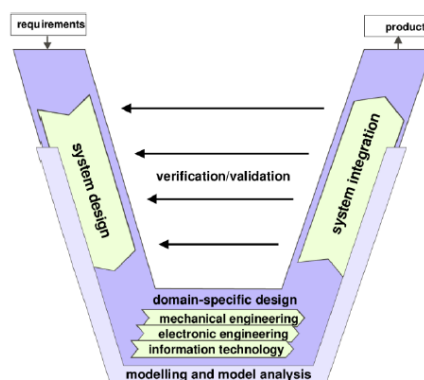


Figura 7. Metodología del modelo V de la norma VDI 2206

Fuente: (Romero, 2013)

La metodología del modelo V es aplicada a cada uno de los equipos utilizando los siguientes pasos:

- **Requerimientos:** Se establecen los parámetros de funcionamiento de cada uno de los equipos.
- **Diseño de sistemas:** Se define las características físicas y lógicas de cómo funcionará cada equipo en su etapa final.
- **Dominio específico del diseño:** Se procede a resolver detalladamente y por separado el *diseño de sistemas* mediante diseños y cálculos, los cuales garantizarán una solución funcional al equipo.
- **Integración de sistemas:** Una vez resueltos los diseños y cálculos de cada uno de los sistemas (mecánico, electrónico e informático), se procede a integrar los

mismos en un conjunto, el cual permita analizar las interrelaciones existentes entre ellos.

- **Verificación / Validación:** Se verifica que las características del sistema cumplan con los requerimientos establecidos inicialmente.
- **Modelado y análisis del modelo:** Con la ayuda de modelos y herramientas automatizadas para realizar la simulación, se complementa las fases descritas anteriormente.
- **Producto:** Es el resultado final del diseño del equipo.

2.1 Diseño mecánico

2.1.1 Placa Térmica

2.1.1.1 Parámetros de Diseño

De acuerdo a los requerimientos, la placa térmica tendrá las siguientes especificaciones:

- El material debe ser de acero inoxidable de un espesor de 1mm.
- El área de trabajo debe tener una dimensión de 440mm x 220mm.
- La temperatura de la placa será regulable, siendo la máxima de 50°C mientras que la mínima será la temperatura ambiente.
- El tiempo en alcanzar la temperatura deseada debe ser menor a 5 min.

Consideraciones de Diseño

Una de las consideraciones más importantes del sistema es la temperatura y presión atmosférica en las cuales el equipo funcionará, debido a que de estos parámetros dependerán muchos de los cálculos a realizar, otro parámetro importante dadas las condiciones de trabajo es el tipo de material con el que se construirá el equipo. Establecidos estos dos puntos se procede a determinar las condiciones para el diseño mecánico como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3.
Temperatura promedio en Sangolquí

	Min(°C)	Max(°C)	Promedio (°C)
Temperatura	10	27	22

Fuente. (Inamhi, s.f.)

- Según el Inamhi Tabla 3 se considera que la temperatura ambiente promedio en el Valle de los Chillos es 22°C, pero para el cálculo de la potencia de la fuente de calor requerida se considera el valor más bajo de temperatura es decir 10°C, debido a que es cuando mayor potencia necesita el sistema.
- La placa térmica está compuesta de dos partes: placa térmica y base, como se muestra en la Figura 8.

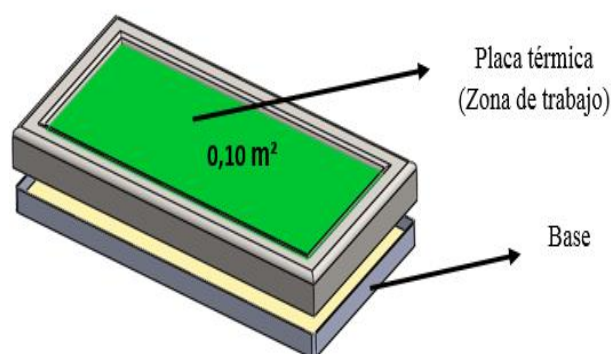


Figura 8. Esquema de la placa térmica

- La placa térmica debe ser fabricada en un acero inoxidable con condiciones sanitarias dado el ambiente de trabajo, su material debe resistir variaciones de temperatura y sustancias químicas sin perder sus propiedades. La conductividad térmica debe ser grande para evitar pérdidas en la transferencia de calor.
- La base al no estar en contacto directo con la temperatura de trabajo ni con sustancias químicas se considera como única condición que cuente con un recubrimiento para evitar la corrosión ante los factores ambientales.

2.1.1.2 Dimensionamiento de la fuente de calor

2.1.1.2.1 Balance de Energía

El principio de conservación de la energía expresa que, en el curso de un proceso, la energía no se puede crear ni destruir; sólo puede cambiar las formas. Por ello es necesario determinar todas las energías involucradas en el sistema tanto las que se transfieren hacia el sistema como las que salen de este, ya sea por medio de calor, trabajo o flujo de masa.

Para la aplicación de este principio dentro de la transferencia de calor se considera únicamente las formas de energía que se pueden transferir como resultado de un diferencial de temperatura ya sea calor o energía térmica expresado con la fórmula: (CENGEL, 2007, pág. 11).

$$E_{ent} - E_{sal} + E_{gen} = \Delta E_{térmica,sistema} \quad (2.1)$$

Fuente. (CENGEL, 2007, pág. 12)

Donde E_{ent} representa la energía de entrada, E_{sal} la energía de salida, E_{gen} la energía generada por el sistema y $\Delta E_{térmica,sistema}$ la variación de energía producida por el sistema.

Conocido este principio se procede a realizar el diseño de este sistema. Se opta por separar en dos partes su análisis para facilitar los cálculos de todos los componentes, el primero que involucra desde la fuente de calor hacia la parte superior y otra desde la fuente de calor hacia la base. Las Figuras 9 y 10 muestran un esquema de todas las energías térmicas involucradas en cada parte.

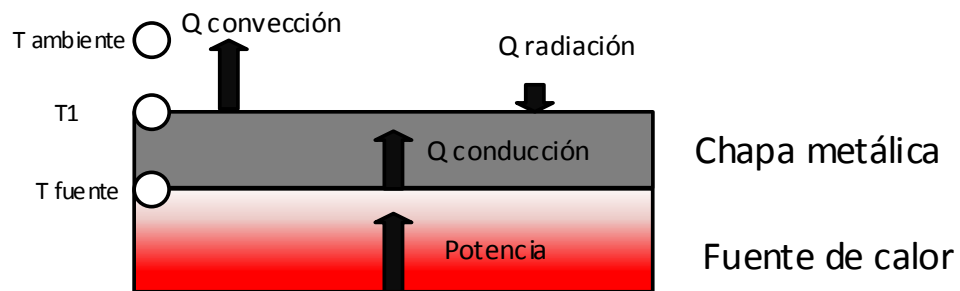


Figura 9. Energía involucrada en el sistema, parte superior

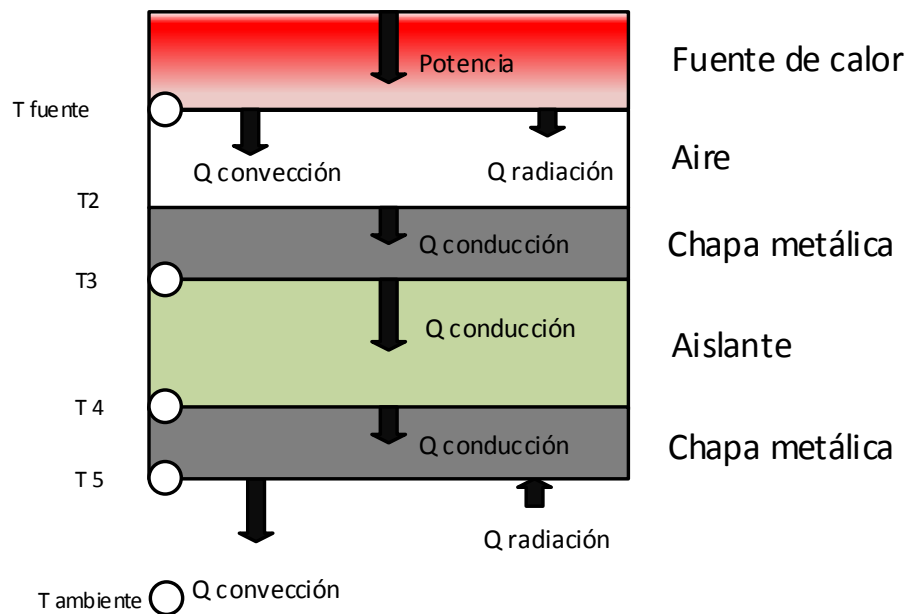


Figura 10. Energía involucrada en el sistema, parte inferior

Tomando en cuenta todas las energías que afectan en el punto T_{fuente} de la parte inferior del sistema como se muestra en la Figura 10, se realiza el balance de energía mediante la ecuación (2.1).

Al no existir energía generada ni almacenamiento de energía.

$$E_{gen} = 0$$

$$\Delta E_{térmica,sistema} = 0$$

Se puede concluir que:

$$E_{ent} = E_{sal} \quad (2.2)$$

Utilizando la ecuación (2.2) se procede a analizar todas las energías involucradas en el punto T_2 y T_{fuente} de la Figura 10, para determinar la equivalencia del valor de la potencia de la fuente de calor.

En el punto T_2 tenemos como energías de entrada a la transferencia de calor por convección \dot{Q}_{conv} y la transferencia de calor por radiación \dot{Q}_{rad} , como energía de salida en este punto se tiene a la transferencia de calor por conducción \dot{Q}_{cond} .

$$\dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{rad} = \dot{Q}_{cond} \quad (2.3)$$

Ahora analizamos las energías involucradas en el punto T_{fuente} donde la energía de entrada es la potencia P generada por la fuente de calor, mientras que las energías de salida son \dot{Q}_{conv} y \dot{Q}_{rad} .

$$P = \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{rad} \quad (2.4)$$

Igualando la ecuación (2.3) y (2.4) tenemos que:

$$P = \dot{Q}_{cond}$$

Por lo tanto, se puede decir que para el cálculo de la transferencia de calor no es necesario determinar la convección y radiación internas presentes en sistema como se muestra en la Figura 10 debido a que las mismas son equivalentes a la potencia de la fuente de calor.

2.1.1.2.2 Selección de materiales de la estructura

Para la selección del material con el que se construirá la placa térmica se realizó un estudio de las planchas de aceros disponibles en el mercado nacional, en la tabla 4 se puede observar una comparación de estos materiales.

Tabla 4.
Comparación de láminas de acero comerciales

MATERIAL	Conductividad térmica (W/ m ² °K)	Densidad (Kg x m ³)	Resistencia a la corrosión	Punto de fusión (°C)	Costo Plancha 1mm (\$)	Costo Plancha 2mm (\$)
Acero inoxidable 304	16	7800	SI	920	180	260
Acero inoxidable 430	26,1	7800	SI	710	90	170
Acero negro	63,9	7870	NO	810	55	90
Acero galvanizado	58	7850	NO	200	70	150

Fuente: (DIPAC, 2017)

La selección del material se realiza con la ayuda de la matriz de Holmes o de priorización que es una herramienta para la selección de opciones, basado en la ponderación de diferentes alternativas y la aplicación de criterios para la toma de una decisión. Para la selección del acero a trabajar se determinó como criterios a evaluar: Características quirúrgicas, Costo, Temperatura de trabajo, Conductividad. Dando como ponderación para la evaluación de los criterios de 10 a la más importante, 5 si son igualmente importante y 1 a la menos importante. Mientras que para la evaluación de las alternativas se consideró una escala de 1 a 10, siendo 10 el valor atribuido a una alternativa con mejor característica ante ese factor.

Tabla 5.
Matriz de selección de Holmes de láminas de aceros comerciales

PONDERACIÓN	
Más importante	10
Igualmente importante	5
Menos Importante	1

ALTERNATIVAS	
Acero inoxidable 304	A
Acero inoxidable 430	B
Acero negro	C
Acero galvanizado	D

	Características quirúrgicas	Costo	Temperatura de trabajo	Conductividad	TOTAL	%
Características quirúrgicas		10	10	10	30	46%
Costo	1		10	5	16	25%
Temperatura de trabajo	1	1		10	12	18%
Conductividad	1	5	1		7	11%
					65	

FACTORES	PONDERACIÓN	ALTERNATIVAS				ALTERNATIVAS			
		A	B	C	D	A	B	C	D
Características quirúrgicas	46	9	6	1	3	414	276	46	138
Costo	25	4	6	9	8	100	150	225	200
Temperatura de trabajo	18	9	7	4	8	162	126	72	144
Conductividad	11	8	8	9	9	88	88	99	99
Σ	100					764	640	442	581
		Escala de 1 al 10				ORDEN DE PRIORIDAD			
						1			
						3			
						4			

Se da los valores de la escala en las alternativas siendo 10 la mejor característica a dicho factor.

Analizando los resultados de la matriz de Holmes que se puede observar en la Tabla 5 podemos establecer, que la construcción del sistema puede ser realizado con dos diferentes materiales:

- Para la placa térmica, donde el factor más importante es las características quirúrgicas se selecciona acero inoxidable 304 de 1mm de espesor que cumple este requerimiento.

- Para la base, debido a que esta parte del sistema va a estar aislada del exterior no requiere de condiciones médicas estrictas basta que tenga un recubrimiento inoxidable en sus paredes por lo cual el parámetro más importante va hacer el costo y el acero galvanizado de 1mm, es el que cumple mejor este requerimiento.

2.1.1.2.3 Potencia de la fuente de calor

Determinados los parámetros de trabajo se procederá a establecer la potencia de la fuente de calor requerida empleando la fórmula de

$$P = \frac{Q}{t} \quad (2.5)$$

Donde

$$Q = m * C_v * \Delta T \quad (2.6)$$

Tabla 6.

Simbología de las ecuaciones para el cálculo de la potencia

Símbolo	Nombre	Unidades
P	Potencia	W
Q	Cantidad neta de transferencia de calor	KCal
t	tiempo en llegar a la temperatura deseada	seg
m	Masa de la placa de acero	Kg
Cv	Calor específico del material	KCal/(Kg.°C)
ΔT	Variación de temperatura	°C

Tabla 7.

Requerimientos para el diseño para la placa térmica

Símbolo	Valor	Unidades
m	0,915	Kg
Ta	10	°C
Tf	50	°C
Cv	0,120	KCal/(Kg.°C)
t	300	seg

Tabla 8.

Resultados obtenidos de la potencia requerida para la placa térmica

Símbolo	Valor	Unidades
Q	4.39	KCal
P	61	W

Una vez realizado los cálculos de la potencia necesaria para calentar la placa de Acero AISI 304 de 10°C hasta los 50°C, en un tiempo de 300 segundos se obtuvo el valor de $P=61$ W, por motivos de diseño y considerando que en el arranque se va a necesitar una potencia mucho mayor a la establecida debido al retardo del sistema se busca en el mercado una fuente de calor con potencia mayor a 61 W para mejorar la eficiencia, que sea estándar y de costo accesible.

2.1.1.2.4 Selección de la fuente de calor

Se analiza las fuentes de calor disponibles en el mercado nacional, entre ellas podemos encontrar: cama térmica PCB, resistencia eléctrica de cromo níquel 20/80, celda peltier, cuyas especificaciones técnicas se encuentran detalladas en la tabla 9.

Tabla 9.
Comparación de fuentes de calor comerciales

TIPO	Potencia (W)	Voltaje (V)	Dimensión (mm)	Temperatura máxima (°C)	Tiempo retardo (min)	Costos \$
Cama térmica PCB MK2a	110	12 Vdc	200x200	120	0.5	35
Resistencia eléctrica cromo níquel	100	110 Vac	440x220	180	3	80
Celda peltier Tec1-12710	100	12 Vdc	40x40	100	0.5	10

Fuente: (ELECTRONILAB, 2017)

Aplicando la matriz de Holmes con los mismos principios de ponderación que en el que la tabla 5 y considerando como criterios a evaluar: Potencia, Dimensiones, Tiempo de retardo y el Costo se determinó el actuador idóneo para el sistema.

Tabla 10.
Matriz de selección de Holmes para el tipo de fuente de calor

ALTERNATIVAS	
Cama térmica PBC	A
Resistencia eléctrica	B
Celda peltier	C

FACTORES	PONDERACIÓN	ALTERNATIVAS			ALTERNATIVAS		
		A	B	C	A	B	C
Tiempo de retardo	32	8	3	8	256	96	256
Costo	32	7	6	2	224	192	64
Potencia	25	9	7	8	225	175	200
Dimensiones	11	9	8	4	99	88	44
Σ	100	Escala de 1 al 10			804	551	564
					ORDEN		
					1	3	2

Analizando los resultados de la tabla 10 se opta por la Cama térmica de PBC debido a que es un actuador disponible en el mercado, su costo es relativamente bajo, si se adquieren 2 se ajusta perfectamente al área de trabajo y principalmente posee un tiempo de retardo muy bajo comparado con una resistencia eléctrica común.

2.1.1.3 Cálculo de Pérdidas de Temperatura

Determinada la potencia y el actuador térmico se procede a calcular las pérdidas dentro de la placa térmica para lo cual se debe tomar las siguientes consideraciones:

- El sistema es una superficie de paredes planas.
- La radiación en la parte superficial de la placa es muy pequeña por lo que no se lo considera en el cálculo, ya que no va a representar una gran diferencia en el resultado final.
- “Debido a que el área superficial de la placa con respecto al espesor de la misma es mucho mayor se puede decir que la transferencia de calor es unidimensional en estado estacionario, por lo que se puede utilizar la fórmula

de la transferencia de calor en condiciones estacionarias” expresada en la ecuación (2.7). (CENGEL, 2007)

$$\frac{\dot{Q}}{A} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}} \quad (2.7)$$

- La conductividad térmica es constante debido al tipo de material utilizado.
- Se considera que la superficie de la placa pierde calor por convección con el ambiente con un coeficiente de $h=20$ ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$), Tabla 11.
- Para determinar la temperatura máxima que alcanza el sistema se considera la temperatura ambiente de $27^\circ C$, Tabla 3, debido a que es el punto más crítico a analizar.

Para resolver un sistema de transferencia de calor unidireccional en estado estable, es necesario recurrir a la ecuación diferencial de conducción de calor en una pared plana en estado estable (ANEXO A) (CENGEL, 2007, pág. 70)

Tabla 11.
Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección

Tipo de convección	$h, W/m^2 \cdot ^\circ C^*$
Convección libre de gases	2–25
Convección libre de líquidos	10–1 000
Convección forzada de gases	25–250
Convección forzada de líquidos	50–20 000
Ebullición y condensación	2 500–100 000

Fuente. (CENGEL, 2007, pág. 26)

Mediante la utilización de la ecuación (2.8) se logra determinar la temperatura en la superficie superior e inferior de la placa de acero inoxidable reemplazando el valor de x por 0 mm en la parte inferior y 1 mm que es el espesor de la placa en la parte superior respectivamente.

$$T(x) = T_{\infty} + \dot{q} \left(\frac{L-x}{k} + \frac{1}{h} \right) \quad (2.8)$$

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{A_{base}} = \frac{110}{0.10} = 1100 \frac{W}{m^2}$$

$$T(0) = 27^{\circ}\text{C} + 1100 \frac{W}{m^2} \left(\frac{0.001 \text{ m}}{16 \frac{W}{m^{\circ}\text{K}}} + \frac{1}{20 \frac{W}{m^2^{\circ}\text{K}}} \right) = 82.06^{\circ}\text{C}$$

$$T(0,001) = 27^{\circ}\text{C} + 1100 \frac{W}{m^2} \left(\frac{1}{20 \frac{W}{m^2^{\circ}\text{K}}} \right) = 82^{\circ}\text{C}$$

Con lo que se puede concluir que la temperatura máxima que alcanza esta resistencia en la pared interior de la placa es de 82.06 °C y la temperatura en la pared exterior es de 82°C dándonos una pérdida de 0,06 °C

Tabla 12.

Resumen de valores obtenidos de la potencia máxima para las placas térmicas

Descripción	Valores	Unidades
\dot{Q}	110	[W]
A	0.10	[m2]
\dot{q}	1100	[W/m2]
K_{304}	16	[W/mk]
hconv	20	[W/m2k]
Tdeseada	50	[°C]
Tambiente	27	[°C]
Espesor	1	[mm]
Tmax con (x=0mm)	82.06	[°C]
Tmax con (x=1 mm)	82	[°C]
Perdida	0.06	[°C]

2.1.1.4 Diseño del Aislante Térmico

Para el cálculo del aislante térmico se considera una transferencia de calor \dot{Q} la cual resulta del análisis de la analogía de resistencia eléctrica como se muestra en la Figura 11.

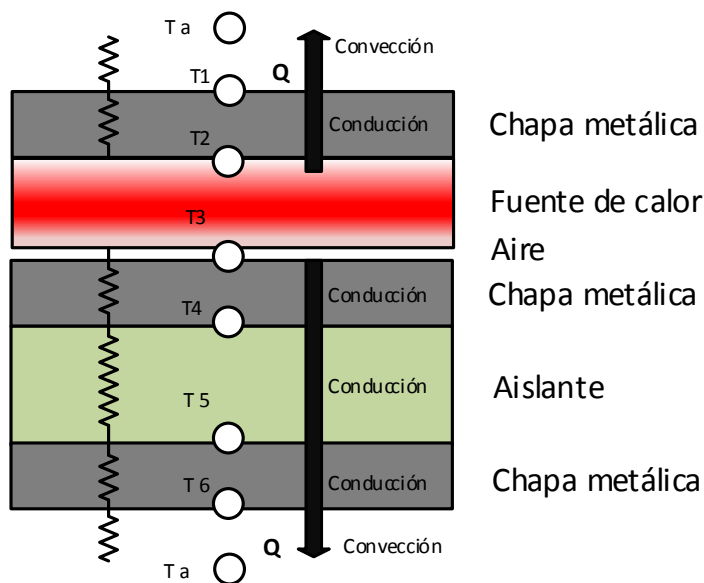


Figura 11. Analogía de resistencias en las placas térmicas

Para determinar \dot{Q} se utiliza la fórmula general de transferencia de calor por convección dada por la ecuación (2.7). Se realizó el análisis de la variación de temperatura que ocurre entre los puntos T_a y T_6 como se muestra en la Figura 11, debido a que se conoce todos los valores.

Para T_a se asume la temperatura ambiente promedio en este caso $22\text{ }^\circ\text{C}$ que es la temperatura normal con la que se trabaja dentro del laboratorio, mientras para T_6 se asume una temperatura de $18\text{ }^\circ\text{C}$ por las propiedades de los metales, que hace que estos se encuentren a una diferencia máxima de 4 grados en comparación a la del ambiente.

$$\dot{Q}_{conv} = h_{conv} * A_s * (T_s - T_\infty) \quad (2.9)$$

$$\dot{Q} = 20 \frac{W}{m^2 \cdot K} * 0.10 m^2 (22 - 18)^\circ K$$

$$\dot{Q} = 8\text{ W}$$

Con este valor se procede a determinar el flujo de calor.

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{A}$$

$$\frac{\dot{Q}}{A} = \frac{8 \text{ W}}{0.10 \text{ m}^2} = 80 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

2.1.1.5 Cálculo de las temperaturas de las paredes de la parte superior de la placa térmica

Se procede a determinar la temperatura en cada punto como se muestra en la Figura 12, aplicando la ecuación (2.7).

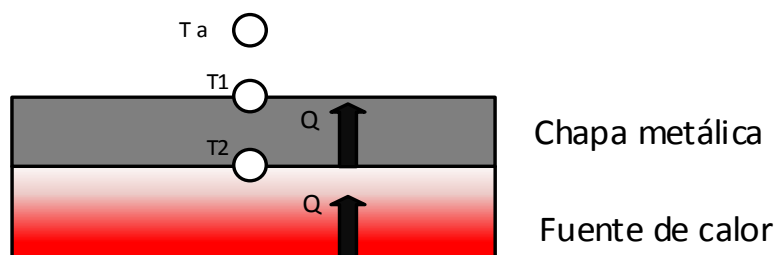


Figura 12. Temperaturas involucradas en la parte superior del sistema.

$$\dot{Q} = \frac{(T_2 - T_1)}{\frac{L_{304}}{A * K_{304}}}$$

$$80 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = \frac{(T_2 - 50)}{\frac{0.001 \text{ m}}{16 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ \text{K}}}}$$

$$T_2 = 50^\circ \text{C}$$

Tabla 13.

Resultados de la temperatura de la parte superior del sistema.

Descripción	Valor	Unidades
\dot{Q}	8	[W]
A	0.10	[m ²]
\dot{q}	80	[W/m ²]
K_{304}	16	[W/mk]
hconv	20	[W/m ² k]
Tdeseada	50	[°C]
Tambiente	22	[°C]
Espesor	1	[mm]
T2	50	[°C]

2.1.1.6 Cálculo del espesor aislante

Para calcular el espesor del aislante es necesario tomar en cuenta varias consideraciones como son:

- El valor máximo de temperatura que alcanzará nuestro sistema 50 °C.
- Para el cálculo del espesor del aislante se considera la temperatura ambiente en 22 °C debido a que es la temperatura a la que se encuentra el laboratorio.

Una vez establecidas las consideraciones iniciales se determina el tipo de aislante a utilizar para lo cual se hace una comparación de tres materiales que se puede conseguir en el mercado: lana de vidrio, Aerogel & pyrogel y Lana de roca cuyos valores se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14.
Comparación de aislantes térmicos comerciales

AISLANTE	Conductividad térmica (W/ m °K).	Costos \$ x lámina
Lana de vidrio	0.040	6
Aerogel & pyrogel	0.023	12
Lana de roca	0.035	7

Fuente: (DISETEC, 2016)

Para determinar el espesor del aislante térmico se aplica la ecuación (2.7) entre los puntos T_3 y T_a de la Figura 11 para cada uno de los aislantes, en los que se tiene que considerar las analogías de resistencia eléctrica y las propiedades de las paredes de acero inoxidable AISI 430, Aislante, lámina de acero galvanizado y el ambiente.

$$\frac{\dot{Q}}{A} = \frac{(T_3 - T_a)}{\frac{1}{h_{convinterna}} + \frac{L_{430}}{K_{430}} + \frac{L_{aislante}}{K_{aislante}} + \frac{L_{galv}}{K_{galv}} + \frac{1}{h_{conv}}}$$

Tabla 15.

Resultado de los espesores obtenidos para los diferentes tipos de aislantes térmicos comerciales.

Material	hconv	Kaislan	\dot{Q} [W]	\dot{q}	Laislante
Lana de vidrio	20	0.040	15.96	80	10
Aerogel y Pyrogel	20	0.023	15.96	80	5.8
Lana de roca	20	0.035	15.96	80	8.5

Para la selección del tipo de aislante se utiliza la matriz de Holmes que se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16.

Matriz de Holmes para la selección del aislante térmico

ALTERNATIVAS	
Lana de vidrio	A
Aerogel y Pyrogel	B
Lana de roca	C

FACTORES	PONDERACIÓN	ALTERNATIVAS			ALTERNATIVAS		
		A	B	C	A	B	C
Costo	33	10	5	7	330	165	231
Adquisición	24	9	6	5	216	144	120
Presentación	20	9	6	7	180	120	140
Conductividad	19	5	8	7	95	152	133
Espesor	4	8	7	7	32	28	28
	100				853	609	652
		ESCALA 1 A 10			ORDEN		
					1	3	2

Analizando los resultados de la Tabla 16 se establece que la lana de vidrio es la mejor opción para este equipo, pero dado que la diferencia de costo con respecto a la lana de roca no es significativa para el espesor calculado, se opta por la lana de roca ya que su vida útil es mucho mayor, además de ser incombustible lo que le otorga una seguridad adicional al sistema.

Sabiendo que el espesor mínimo de aislante de lana de roca necesario para que cumpla con las condiciones de diseño es 8.5mm, se procede a seleccionar un espesor de aislante de 10 mm debido a que en el mercado se encuentra disponible en esta presentación.

2.1.1.7 Cálculo de las temperaturas de las paredes de la parte inferior de la placa térmica

Tomando en cuenta todas las energías que afectan en esta parte del sistema como se muestra en la Figura 13, podemos decir que el sistema es de paredes planas de capas múltiples por lo que es necesario aplicar la fórmula general de transferencia de calor para este tipo de casos. (CENGEL, 2007, pág. 137).

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{Resistencia_{total}} \quad (2.10)$$

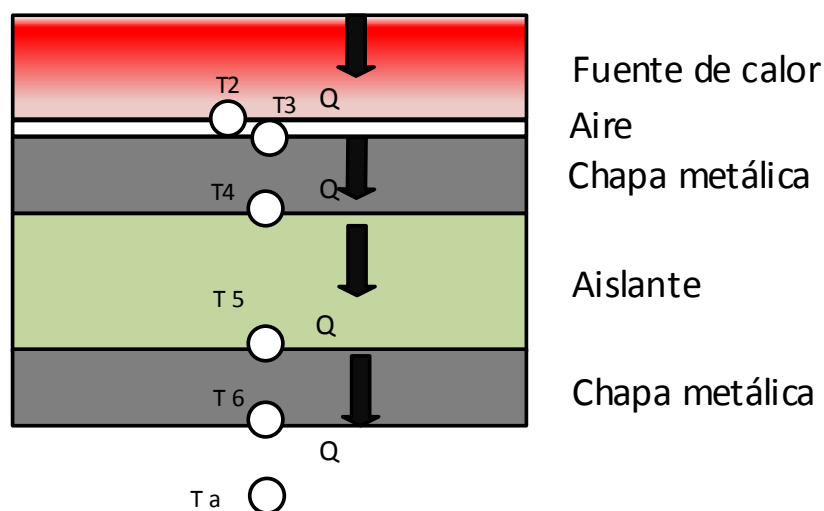


Figura 13. Temperaturas y transferencia de calor involucrados en la parte inferior del sistema

Utilizando la ecuación (2.10) y basándonos en la Figura 13 se realiza los cálculos de las temperaturas de todos sus puntos.

Punto T_3 :

$$80 \frac{W}{m^2} = \frac{(50^\circ C - T_3)}{\frac{1}{20 \frac{W}{m^2 \cdot K}}}$$

$$T_3 = 46^\circ C$$

Punto T_4 :

$$80 \frac{W}{m^2} = \frac{(46^\circ C - T_4)}{\frac{0.001m}{26.1 \frac{W}{m^2 K}}}$$

$$T_4 = 45^\circ C$$

Punto T_5 :

$$80 \frac{W}{m^2} = \frac{(45^\circ C - T_5)}{\frac{0.01m}{0.035 \frac{W}{m^2 K}}}$$

$$T_5 = 22.14^\circ C$$

Punto T_6 :

$$80 \frac{W}{m^2} = \frac{(22.14^\circ C - T_6)}{\frac{0.001m}{58 \frac{W}{m^2 K}}}$$

$$T_6 = 22.13^\circ C$$

Tabla 17.

Resumen de temperaturas obtenidas en los puntos de las paredes del equipo basado en la Figura 13.

T1	50 °C
T2	50 °C
T3	46 °C
T4	46 °C
T5	22.14 °C
T6	22.13 °C

Analizando la Tabla 17., se confirma que el aislante seleccionado *lana de roca* cumple con los parámetros impuestos.

2.1.2 Diseño mecánico del esterilizador

2.1.2.1 Parámetros de diseño

De acuerdo a los requerimientos, el esterilizador tendrá las siguientes especificaciones:

- El crisol debe ser construido en acero inoxidable con unas dimensiones de: diámetro interno 60x100 mm, debido a que los instrumentos de índole quirúrgica que serán esterilizados en el equipo no superan dichas dimensiones.
- La temperatura del esterilizador en el centro del crisol debe ser mayor a 230 °C para eliminar cualquier bacteria, por lo que se considera idealmente una temperatura de 250 °C.
- El tiempo máximo en alcanzar la temperatura deseada debe ser menor a 20 min.

Consideraciones de diseño

- El crisol al soportar temperaturas mayores a 250°C, debe ser construido en acero inoxidable con condiciones sanitarias para evitar la contaminación de los elementos quirúrgicos, la conductividad térmica debe ser grande para evitar pérdidas en la transferencia de calor.
- Los materiales que conforman la estructura del esterilizador al no estar en contacto directo con los elementos quirúrgicos solo requieren tener la propiedad de resistencia a altas temperaturas, con un porcentaje de resistencia a la corrosión para alargar su vida útil.
- Para el cálculo de la potencia de la fuente de calor requerida se considera el valor más crítico de temperatura es decir 10°C según la Tabla 3.

2.1.2.2 Dimensionamiento de Fuente de Calor

Para el dimensionamiento de la fuente de calor es necesario determinar los materiales con el que se construirá el equipo, una vez establecidos los componentes se determina la potencia requerida para alcanzar la temperatura deseada, así como el actuador que satisfaga las necesidades.

2.1.2.2.1 Selección de materiales de la estructura

Para la selección del material con el que se construirá el esterilizador es necesario tomar en consideración los aceros disponibles en el mercado nacional como se muestra en la Tabla 4.

La selección del material se realiza con la aplicación de la matriz de Holmes considerando como criterios a evaluar: Características quirúrgicas, Costo, Punto de fusión, Conductividad.

Analizando los resultados de la matriz de la Tabla 5 que también se aplica para este caso podemos establecer:

- Para el crisol donde el factor más importante es la característica quirúrgica y su alta resistencia a temperatura se selecciona el acero inoxidable AISI 304 con un espesor de 2mm.
- Los demás componentes que conforman el esterilizador debido a que no requieren condiciones estrictas basta que tengan un grado de resistencia a la corrosión hace que el parámetro más importante a considerar sea el costo de adquisición por lo cual se elige el acero inoxidable AISI 430 con espesor de 1mm.

Determinados los parámetros de trabajo se procede a establecer la potencia de la resistencia requerida empleando la ecuación (2.5).

Tabla 18.
Requerimientos para el diseño del esterilizador

Símbolo	Valor	Unidades
m	0.482	Kg
Ta	10	°C
Tf	250	°C
Cv	0.120	KCal/(Kg °C)
t	180	seg

Tabla 19.***Resultados obtenidos para el diseño del esterilizador***

Símbolo	Valor	Unidades
Q	13.88	KCal
P	322.88	W

Una vez realizado los cálculos de la potencia necesaria para calentar el crisol de Acero AISI 304 en el centro a 250°C, en un tiempo de 3 minutos se obtuvo el valor de $P=322.88$ W, por motivos de diseño y considerando que el sistema en el arranque va a necesitar una potencia mucho mayor a la establecida debido al retardo que tienen los sistemas térmicos, se busca en el mercado una fuente de calor estándar con una potencia mayor a la calculada con el fin de mejorar la eficiencia.

La fuente de calor seleccionada es una resistencia eléctrica de cobre-níquel 80/20 a 1000W lo que satisface los requerimientos planteados.

Tabla 20.***Parámetros considerados para la fuente de calor***

Temperatura máxima de trabajo	250°C
Voltaje	110V
Potencia	1000 W

2.1.2.3 Cálculo de Pérdidas de Temperatura

Determinada la potencia se procede a calcular las pérdidas de temperatura dentro del crisol para lo cual se debe tomar las siguientes consideraciones:

- El sistema es una superficie de paredes cilíndricas.
- La transferencia de calor a través de paredes cilíndricas se efectúa en dirección normal a su superficie, además la temperatura de los fluidos dentro y fuera permanecen constantes entonces se puede considerar que el sistema tiene una transferencia de calor estacionaria y unidimensional. (CENGEL, 2007, pág. 150)
- La conductividad térmica es constante.

- Se considera que la superficie del esterilizador pierde calor por convección con el ambiente con un coeficiente de $h=20$ ($W/ m^2 \text{ } ^\circ C$) según la Tabla 11.
- Para el cálculo de la temperatura máxima que alcanza el sistema se considera la temperatura ambiente de $27^\circ C$ como se muestra en la Tabla 3.

Una vez establecidas las consideraciones se procede a calcular el flujo de calor y las pérdidas que tiene el sistema mediante la utilización de la ecuación (2.8).

Tabla 21.

Resumen de valores obtenidos de la potencia máxima para el esterilizador

Descripción	Valores	Unidades
\dot{Q}	1000	[W]
A	0.041	[m ²]
\dot{q}	24390.24	[W/m ²]
K_{304}	16	[W/mk]
hconv	20	[W/m ² k]
Tdeseada	250	[$^\circ C$]
Tambiente	27	[$^\circ C$]
Espesor	2	[mm]
Tmax con ($x=0$)	1249.56	[$^\circ C$]
Tmax con ($x=2$)	1246.51	[$^\circ C$]
Perdida	3.05	[$^\circ C$]

Analizando la Tabla 21., se puede concluir que la temperatura máxima que alcanza esta resistencia a su potencia máxima en la pared interior del crisol es de $1249.56 \text{ } ^\circ C$ y la temperatura en la pared exterior es de $1246.51 \text{ } ^\circ C$ dándonos una pérdida de $3.05 \text{ } ^\circ C$.

2.1.2.4 Diseño del Aislante Térmico

En la selección del aislante térmico se toma en cuenta las consideraciones realizadas en el cálculo de pérdidas de temperatura, adicional para la selección del tipo de aislante se utiliza la matriz de Holmes que se muestra en la Tabla 15 determinando que la lana de roca es el material a utilizar debido a las propiedades brindadas en temperaturas superiores a $230 \text{ } ^\circ C$, con una vida útil mucho mayor a la lana de vidrio, su propiedad de ser incombustible, así como el costo de adquisición que es el factor más determinante para el diseño del equipo.

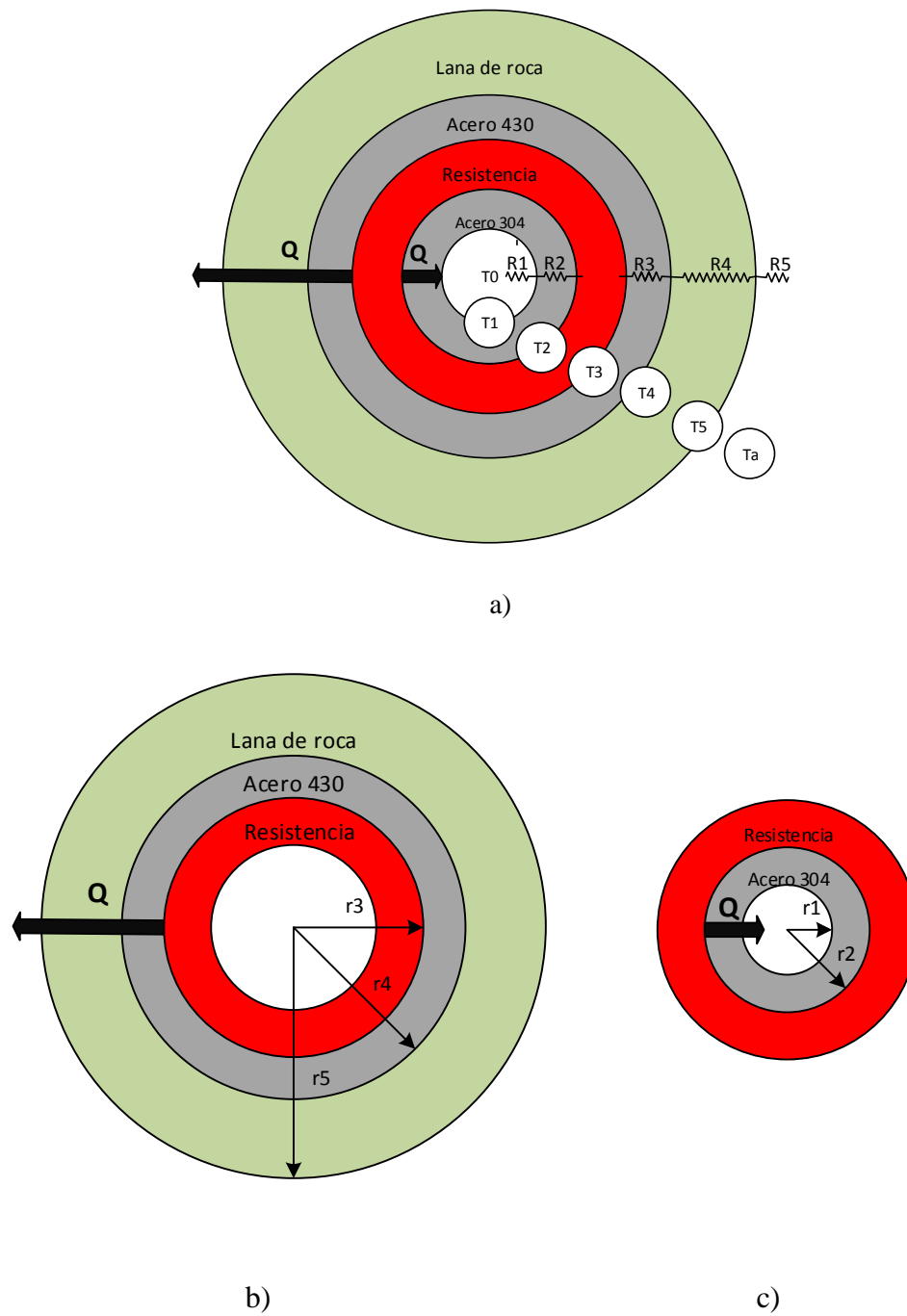


Figura 14. a) Analogía de resistencias del esterilizador b) radios de análisis parte exterior c) radios de análisis parte interior

Para determinar el espesor del aislante térmico se utiliza la ecuación de la conducción de calor, para la transferencia de calor a través de una capa cilíndrica mediante la ecuación (2.11). (CENGEL, 2007, pág. 150)

$$\dot{Q}_{cond,cil} = \frac{T_1 - T_2}{R_{cil}} \quad (2.11)$$

Donde:

$$R_{cil} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 * \pi * L * k} \quad (2.12)$$

Tabla 22.

Simbología de las ecuaciones de transferencia de calor a través de la capa cilíndrica.

Símbolo	Nombre	Unidades
$\dot{Q}_{cond,cil}$	Transferencia de calor por conducción en capa cilíndrica	W
T1, T2	Temperatura interna y externa de las paredes cilíndricas	°C
R_{cil}	Resistencia térmica de la capa cilíndrica	°C / W
r1, r2	Radio exterior e interior	m
L	Longitud	m
k	Conductividad térmica del material	(W / m ² °K)

Se realiza una analogía del sistema para formar una red de resistencias térmicas, la cual facilitará los cálculos del espesor del aislante. Analizando la Figura 14 a) se determina que el diseño cuenta con 5 resistencias en serie, a las que se les otorga valores por diseño de radios y longitudes excepto el valor de r_5 , el cual requiere ser calculado debido a la presencia del aislante térmico en esta zona.

Tabla 23.

Valores de radios y espesores para el cálculo del aislante térmico para el esterilizador

Radio	Longitud
$r_1 = 0.030 \text{ m}$	$L_1 = 0.1 \text{ m}$
$r_2 = 0.032 \text{ m}$	$L_2 = 0.1 \text{ m}$
$r_3 = 0.050 \text{ m}$	$L_3 = 0.12 \text{ m}$
$r_4 = 0.051 \text{ m}$	$L_4 = 0.12 \text{ m}$
$r_5 = ? \text{ m}$	$L_5 = 0.132 \text{ m}$

Para el cálculo del espesor del aislante es necesario determinar la transferencia de calor en condiciones estacionarias del sistema con la ecuación (2.7). Por lo que se procede a determinar la resistencia total la cual se divide en dos: la primera desde la resistencia eléctrica al centro del crisol como se aprecia en la Figura 14 c) y la segunda desde la resistencia hasta el ambiente como se puede ver en la Figura 14 b).

$$R_{TOTAL1} = R_1 + R_2$$

$$R_{TOTAL2} = R_3 + R_4 + R_5$$

Donde el valor de cada una de las resistencias térmicas se obtiene aplicando la ecuación (2.12).

$$A_1 = 2 * \pi * r_1 * L = 2 * \pi * 0.03 * (0.1) = 0.0188$$

$$R_1 = \frac{1}{h_0 * A_1} = \frac{1}{20 * 0.0188} = 2.659 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_2 = R_{304} = \frac{\text{Ln} \left(\frac{r_2}{r_1} \right)}{2 * \pi * K_{304} * L} = \frac{\text{Ln} (0,032)}{2 * \pi * 16 * 0.1} = 0.00642 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_3 = R_{430} = \frac{\text{Ln} \left(\frac{r_4}{r_3} \right)}{2 * \pi * K_{430} * L} = \frac{\text{Ln} \left(\frac{0.0515}{0.050} \right)}{2 * \pi * 26.1 * 0.12} = 0.001502 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

$$\begin{aligned} R_4 = R_{AISLANTE} &= \frac{\text{Ln} \left(\frac{r_5}{r_4} \right)}{2 * \pi * K_{AISLANTE} * L} = \frac{\text{Ln} \left(\frac{r_5}{0.051} \right)}{2 * \pi * 0.035 * 0.12} \\ &= 37.89 * \text{Ln} \left(\frac{r_5}{0.0515} \right) \end{aligned}$$

Para R_5 donde el sistema se encuentra expuesto a convección, se calcula el área de toda la superficie.

$$A_5 = 2 * \pi * r_5 * L = 2 * \pi * r_5 * (0.132) = 0.83 r_5$$

$$R_5 = \frac{1}{h_0 * A_5} = \frac{1}{20 * (0.83 * r_5)} = \frac{0.06}{r_5}$$

Establecido el valor de cada resistencia, se determina que la resistencia total 1 y 2.

$$R_{TOTAL1} = 2.659 + 0.00642 = 2.66$$

$$R_{TOTAL2} = 0.001502 + 34.5 * \ln\left(\frac{r_5}{0.0515}\right) + \frac{0.06}{r_5}$$

Dado que se requiere calcular la transferencia de calor en condiciones estacionarias \dot{Q} la temperatura T_2 y el radio r_5 , se decide realizar un sistema de 3 ecuaciones sabiendo que \dot{Q} es igual en cada punto del sistema.

Las dos primeras son determinadas con las ecuaciones de transferencia de calor una desde la resistencia hasta el centro del crisol y la segunda desde la resistencia hasta el ambiente.

$$\dot{Q} = \frac{T_2 - T_0}{R_{TOTAL1}} = \frac{T_2 - 250^\circ\text{C}}{2.66} \quad (2.13)$$

$$\dot{Q} = \frac{T_2 - T_a}{R_{TOTAL2}} = \frac{T_2 - 27^\circ\text{C}}{0.001502 + 37.89 * \ln\left(\frac{r_5}{0.0515}\right) + \frac{0.06}{r_5}} \quad (2.14)$$

La tercera ecuación sale del análisis de temperatura entre los puntos T_5 y T_a de la Figura 14 donde se establece que la temperatura deseada en la superficie exterior del aislamiento sea 35°C , con una temperatura ambiente de 27°C .

$$\dot{Q} = \frac{T_5 - T_a}{R_5} = \frac{35^\circ\text{C} - 27^\circ\text{C}}{\frac{0.06}{r_5}} \quad (2.15)$$

Se realiza el sistema de ecuaciones entre (2.13), (2.14) y (2.15), dando como resultado.

$$\dot{Q} = 11.88 \text{ W}$$

$$r_5 = 0.088 \text{ m}$$

$$T_2 = 281.65 \text{ }^\circ\text{C}$$

Determinados estos valores se resta r_5 y r_4 para obtener el valor del espesor del aislante.

$$L_{AISLANTE} = r_5 - r_4$$

$$L_{AISLANTE} = 0.089 \text{ m} - 0.051 \text{ m} = 0.038 \text{ m} = 38 \text{ mm}$$

Un espesor de 38mm garantizara que la temperatura de la superficie exterior del esterilizador permanezca por debajo de los 35°C.

2.1.2.5 Cálculo de las temperaturas de las paredes interiores del esterilizador

Aplicando la formula general de transferencia de calor ecuación (2.7), y dando el valor deseado de 250°C a T_0 se puede determinar la temperatura en cada punto que se representa en la Figura 14 a).

Punto T_1 :

$$\dot{Q} = \frac{T_2 - T_1}{R_{304}}$$

$$T_1 = 281.57 \text{ °C}$$

2.1.2.6 Cálculo de las temperaturas de las paredes exteriores del esterilizador

Tomando en cuenta las energías que afectan en esta parte del sistema como se muestra en la figura 14 b), podemos decir que el sistema es de paredes cilíndricas de capas múltiples por lo que es necesario aplicar la formula general de transferencia de calor ecuación (2.7), por lo cual se realiza los cálculos de las temperaturas de todos sus puntos.

Punto T_3 :

$$T_3 = T_2$$

$$T_3 = 281.65 \text{ °C}$$

Punto T_4 :

$$\dot{Q} = \frac{T_3 - T_4}{R_{430}}$$

$$T_4 = 281.63 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Punto T_5 :

$$\dot{Q} = \frac{T_4 - T_5}{R_{AISLANTE}}$$

$$T_5 = 35.35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tabla 24.

Resumen de temperaturas de los puntos de las paredes del esterilizador, basado en la Figura 14.

T0	250 °C
T1	281.57 °C
T2	281.65 °C
T3	281.65 °C
T4	281.63 °C
T5	35.35 °C

Analizando la Tabla 24 se comprueba que con el aislante seleccionado la temperatura en la pared externa del sistema cumple con las especificaciones de diseño.

2.1.3 Diseño mecánico de la bomba de jeringa

La bomba de jeringa debe permitir realizar dos funciones principales:

- Transmitir una fuerza al émbolo de la jeringa para suministrar las sustancias químicas,
- Posicionarse en un punto determinado de manera fácil y precisa.

La transmisión de fuerza al émbolo necesita que sea controlada electrónicamente para suministrar una cantidad exacta de dosis en un tiempo determinado durante varios ciclos, mientras que el posicionamiento se lo realiza con ayuda de sistemas mecánicos.

2.1.3.1 Parámetros de Diseño

- El caudal de la bomba de jeringa debe ser variable entre $0.73\mu\text{l/h} - 2100\text{ml/h}$.
- La forma del movimiento de la máquina es horizontal como se muestra en la figura 15.

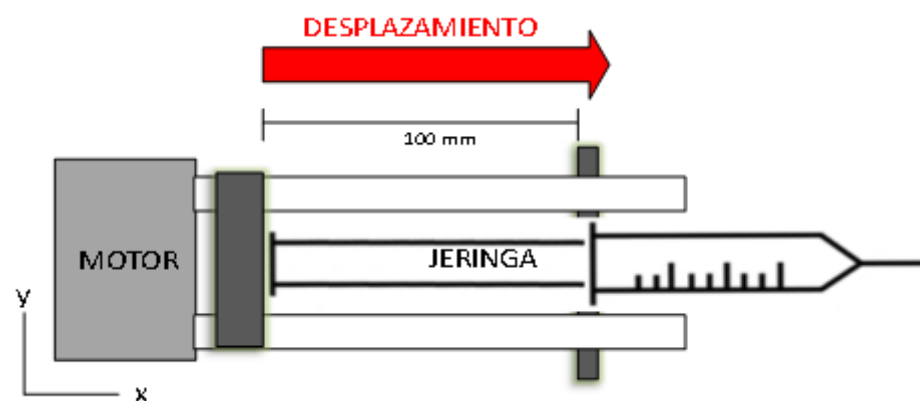


Figura 15. Esquema de la bomba de jeringa

- La trayectoria máxima de recorrido es de 100mm.
- El diseño debe considerar que el equipo portara 2 jeringas del mismo tipo.
- Las jeringas a utilizar son de diversos diámetros siendo la menor de 1mL/cc con un diámetro de émbolo de 5mm, mientras que la jeringa mayor es la de 20 mL/cc con un diámetro de émbolo de 20mm.

2.1.3.2 Dimensionamiento del motor

Para determinar el grado de importancia de cada uno de los requerimientos del usuario se consideró:

- Se considera un acople directo entre un el motor y el eje de trasmisión, debido a que, un sistema mecánico es más robusto mientras menor sea el número de elementos móviles.
- Para realizar el cálculo de la fuerza que necesita el motor para suministrar la sustancia dentro del sujeto de prueba se debe considerar,

que la jeringa es un recipiente con un fluido encerrado entre sus paredes esto permite que para el cálculo matemático se pueda aplicar el principio de pascal que dice: “toda presión aplicada a un fluido confinado en un recipiente se transmite sin reducción a todos los puntos del fluido y a las paredes del recipiente que lo contiene.” (Rolle, 2006)

- El líquido dentro de las jeringas tiene características químicas similares al agua.
- El volumen máximo de la jeringa que se puede colocar en el equipo es de 20 ml, por lo que el volumen total de trabajo será de 40 ml.

Tabla 25.

Simbología de las ecuaciones para el cálculo de parámetros en la bomba de jeringa

SÍMBOLO	VARIABLE	UNIDADES
P	Presión	Psi
F	Fuerza	Lb
Sy	Resistencia a la fluencia	psi
Sut	Resistencia ultima a la tracción	Psi
Se	Resistencia a la fatiga para vida infinita	Psi
K	Constante de rigidez	lbf/in
σ	Esfuerzo	Psi
σ_{eq}	Esfuerzo equivalente	Psi
A	Área	in ²
L	largo	in
a	ancho	in
D	distancia	in
e	espesor	in
Dnom	Diámetro nominal	In
T	Torque	Lbf*in
P	Potencia	HP
n	Revoluciones por minuto	rpm
K1	Constantes A dimensionales	Adimensional
FS	Factor de Seguridad	Adimensional
At	Área del esfuerzo de tensión	in ²
E	Módulo de Young	psi
L	Avance de cuerda	In
p	Paso de la cuerda	In
Q	Caudal	l/h
τ	Esfuerzo cortante (con varios subíndices)	psi
α	Ángulo radial de la cuerda	Grado
μ	Coefficiente de fricción	Adimensional
N	Numero de cuerdas por unidad de longitud	Adimensional

CONTINUA

V	Volumen máximo	ml
Ph	Potencia necesaria para el desplazamiento del embolo	KW
Pn	Potencia para el accionamiento del tornillo en vacío	KW
Pst	Potencia requerida por la inclinación	KW

2.1.3.3 Cálculo de la potencia del motor

Establecidas los parámetros de diseño se procede a calcular la potencia del motor a plena carga:

$$P = Ph + Pn + Pst \quad [kW] \quad (2.16)$$

Considerando como datos:

$$Q_{min} = 0.73 \frac{\mu l}{h} = 7.3 * 10^{-10} \frac{m^3}{h} = 2.02 * 10^{-10} \left[\frac{l}{s} \right]$$

$$Q_{max} = 2100 \frac{ml}{h} = 0.0021 \frac{m^3}{h}$$

$$V = 40ml$$

$$\delta_{H_2O} = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

Longitud del tornillo sin fin.

$$Long = 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m} = 3.93in$$

Ángulo de elevación de sistema.

$$0^\circ$$

2.1.3.3.1 Potencia del motor con caudal mínimo

$$P_{min} = Ph_{min} + Pn_{min} + Pst_{min} \quad [kW]$$

- Ph_{min}

$$Ph_{min} = \frac{Q_{m_{min}} * Long}{3600} * 1.5 * 9.81 \frac{m}{s^2} + P_{empuje}$$

$$Q_{m_{min}} = \delta_{H_2O} * Q_{min} = 1000 \frac{kg}{m^3} * 7.3 * 10^{-10} \frac{m^3}{h} = 7.3 * 10^{-7} \frac{kg}{h}$$

$$P_{empuje} = F_{empuje} * V_{axial}$$

De acuerdo al ANEXO B vemos que la fuerza que rompe la resistencia entre vástago y el embolo, de acuerdo al volumen de la jeringa de 20ml, es 3 N entonces:

$$F_{empuje} = 3 N * 2_{jeringas} = 6 N$$

$$V_{axial_{min}} = \frac{4000 * Q_{min}}{\pi * D_{sal \ jeringa}^2} = \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$D_{sal \ jeringa} = 2 \text{ mm}$$

$$Q_{min} = 2.02 * 10^{-10} \left[\frac{l}{s} \right]$$

$$V_{axial_{min}} = \frac{4000 * Q_{min}}{\pi * D_{sal \ jeringa}^2} = \frac{4000 * 2.02 * 10^{-10} \frac{l}{s}}{\pi * (2mm)^2} = 6.42 * 10^{-8} \frac{m}{s}$$

$$P_{empuje} = F_{empuje} * V_{axial_{min}}$$

$$P_{empuje} = 6 N * 6.42 * 10^{-8} \frac{m}{s} = 3.85 * 10^{-7} kW$$

$$Ph_{min} = \frac{Q_{m_{min}} * Long}{3600} * 1.5 * 9.81 \frac{m}{s^2} + P_{empuje}$$

$$Ph_{min} = \frac{7.3 * 10^{-7} \frac{kg}{h} * 0.1 m}{3600} * 1.5 * 9.81 \frac{m}{s^2} + 3.85 * 10^{-7} kW$$

$$Ph_{min} = 3.85 * 10^{-7} kW$$

- $P_{n_{min}}$

$$P_{n_{min}} = \frac{D_{sin\ fin} * Long}{20}$$

$$D_{sin\ fin} = 0.012 m$$

$$P_n = \frac{D_{sin\ fin} * Long}{20} = \frac{0.012 * 0.1}{20}$$

$$P_n = 0.00006 kW$$

- P_{st}

Debido a que la inclinación del tornillo es igual a 0° se tiene.

$$P_{st} = 0 kW$$

Potencia de motor a plena carga mínima

$$P_{min} = Ph_{min} + P_n + P_{st}$$

$$P_{min} = 4.85 * 10^{-7} + 0.00006 + 0 = 0.000320 kW$$

$$P_{min} = 0.06 W$$

2.1.3.3.2 Potencia del motor con caudal máximo

$$P_{max} = Ph_{max} + P_{n_{max}} + P_{st_{max}} \quad [kW]$$

- Ph_{max}

$$Ph_{max} = \frac{Q_{m_{max}} * Long}{3600} * 1.5 * 9.81 \frac{m}{s^2} + P_{empuje}$$

$$Q_{m_{max}} = \delta_{H_2O} * Q_{max} = 1000 \frac{kg}{m^3} * 0.0021 \frac{m^3}{h} = 2.1 \frac{kg}{h}$$

$$P_{empuje} = F_{empuje} * V_{axial_{max}}$$

$$F_{empuje} = 3 N * 2_{jeringas} = 6 N$$

$$V_{axial}$$

$$V_{axial_{max}} = \frac{4000 * Q_{max}}{\pi * D_{sal \ jeringa}^2} = \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$D_{sal \ jeringa} = 2 \text{ mm}$$

$$Q_{max} = 0.00058 \frac{l}{s}$$

$$V_{axial_{max}} = \frac{4000 * Q_{max}}{\pi * D_{sal \ jeringa}^2} = \frac{4000 * 0.00058 \frac{l}{s}}{\pi * (2mm)^2} = 0.184 \frac{m}{s}$$

$$P_{empuje} = F_{empuje} * V_{axial_{max}}$$

$$P_{empuje} = 6 N * 0.184 \frac{m}{s} = 0.00110 \text{ kW}$$

$$Ph_{max} = \frac{Q_{m_{max} * Long}}{3600} * 1.5 * 9.81 \frac{m}{s^2} + P_{empuje}$$

$$Ph_{max} = \frac{2.1 \frac{kg}{h} * 0.1 m}{3600} * 1.5 * 9.81 \frac{m}{s^2} + 0.00110 \text{ kW}$$

$$Ph_{max} = 0.0020 \text{ kW}$$

• $P_{n_{max}}$

$$P_{n_{max}} = \frac{D_{sin \ fin} * Long}{20}$$

$$D_{sin \ fin} = 0.012 \text{ m}$$

$$P_{n_{max}} = \frac{D_{sin \ fin} * Long}{20} = \frac{0.012 * 0.1}{20}$$

$$P_{n_{max}} = 0.00006 \text{ kW}$$

- **Pst**

Debido a que la inclinación del tornillo es igual a 0° se tiene.

$$P_{st} = 0 \text{ kW}$$

Potencia de motor a plena carga máxima

$$P_{max} = Ph_{max} + Pn + Pst$$

$$P_{max} = 0.0020 + 0.00006 + 0 = 0.00206 \text{ kW}$$

$$P_{max} = 2.06 \text{ W}$$

Obtenido los valores de potencia máxima y mínima que se requiere en el sistema. Se busca en el mercado un motor comercial que cumpla con los requerimientos establecidos.

Se analiza que el motor más adecuado para este tipo de sistemas es un motor a paso por su facilidad de programación, su precisión y repetitividad en cuanto a su posicionamiento. Se adquiere el motor a pasos NEMA 17 debido a que dentro de los tamaños y formatos normalizados es el de menor costo y mayor accesibilidad.

Se determina la potencia nominal del motor a pasos NEMA 17, basándonos en las especificaciones técnicas de un motor tipo double mostrado en la Figura 16.

$$P_{nom} = V_{nom} * I_{nom}$$

$$P_{nom} = 12 \text{ V} * 2 \text{ A} = 24 \text{ W} = 0.024 \text{ kW}$$

Comparamos la potencia nominal del motor vs la potencia máxima requerida por el sistema.

$$P_{nom} \geq P_{max}$$

$$24 \text{ W} \geq 2.06 \text{ W}$$

$$T = 0.63 \text{ Nm}$$

Por lo tanto, se puede decir que el motor cumple con los requerimientos. Ahora se procede a calcular el número de rpm con la potencia y caudal máximo calculados.

$$n = \frac{P_{max} * 9550}{T} = \frac{0.00206 \text{ kW} * 9550}{0.63 \text{ N} * m} = 31.23 \text{ rpm}$$

Stepper Motor NEMA 17

This document describes mechanical and electrical specifications for PBC Linear stepper motors; including standard, hollow, and extended shaft variations.



Standard shaft motor shown.

Phases	2
Steps/Revolution	200
Step Accuracy	±5%
Shaft Load	20,000 Hours at 1000 RPM
Axial	25 N (5.6 lbs.) Push 65 N (15 lbs.) Pull
Radial	29 N (6.5 lbs.) At Flat Center
IP Rating	40
Approvals	RoHS
Operating Temp	-20° C to +40° C
Insulation Class	B, 130° C
Insulation Resistance	100 MegOhms

Description	Length	Mounted Rated Current	Mounted Holding Torque		Winding Ohms mH		Detent Torque		Rotor Inertia		Motor Weight	
			Nm Typ.	oz-in Typ.	±10% @ 20°C Typ.	Typ.	mNm oz-in	g cm ² oz-in ²	kg	lbs		
(Stack)	"L" Max	Amps										
Single	39.8 mm (1.57 in)	2	0.48	68	1.04	2.2	15	2.1	57	0.31	0.28	0.62
Double	48.3 mm (1.90 in)	2	0.63	89	1.3	2.9	25	3.5	82	0.45	0.36	0.79
Triple	62.8 mm (2.47 in)	2	0.83	120	1.49	3.8	30	4.2	123	0.67	0.6	1.3

*All standard motors have plug connector. Consult factory for other options.

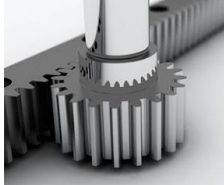

Figura 16. Especificaciones técnicas del motor a pasos NEMA 17

Fuente: (LINEAR, 2017)

2.1.3.4 Selección del eje de Transmisión

Un punto muy importante a analizar en el sistema de eje de transmisión, es el tipo de mecanismo a utilizar, ya que de esto va a depender el correcto funcionamiento de la bomba de jeringa, actualmente existen mecanismos de desplazamiento lineal con diferentes ventajas y desventajas en la Tabla 26 se muestra un resumen de los mismos.

Tabla 26.***Comparación de los tipos de mecanismos más comunes para el desplazamiento***

Tipo	Descripción	Aplicación	Gráficos
Piñón Cremallera	Consta de un engrane que gira para trasladarse por una cremallera fija.	Para trabajo pesado y de alto desempeño.	 <p data-bbox="1182 618 1364 692">Fuente: (Avilez, 2014)</p>
Correa Dentada	Utiliza el principio de transmisión de potencia, pero este consta de dos piñones del mismo diámetro separados una distancia, los cuales embonan en una correa dentada y produce un movimiento lineal en parte de su recorrido.	Se utiliza para trabajo liviano que requiera mayores velocidades en el desplazamiento.	 <p data-bbox="1166 943 1382 1016">Fuente: (INTPLUS, 2017)</p>
Tornillo sin fin convencional	Este mecanismo consta de un tornillo con una tuerca, en donde si el tornillo gira y se mantiene fija la tuerca, el tornillo avanza con movimiento rectilíneo desplazando uniformemente la tuerca.	Este mecanismo se utiliza en trabajos que requieren mayor torque y mediana precisión.	 <p data-bbox="1177 1294 1369 1413">Fuente: (Industry, Direct Industry, 2017)</p>
Tornillo de bolas recirculantes	Aplica el mismo principio del tornillo sin fin convencional, con la diferencia de que la tuerca cuenta con un mecanismo de pequeños rulimanes que circulan en su interior, los cuales embonan en el tornillo de bolas evitando la fricción, obteniendo así un rendimiento mecánico del 95% debido a la escaza resistencia a la rodadura del husillo de rosca de bolas.	Se utiliza para mecanismos que requieran buen torque y un desplazamiento suave con alta precisión ya que presenta menor resistencia a la fricción.	 <p data-bbox="1182 1749 1366 1823">Fuente: (Garcés, 2013)</p>

Considerados los tipos de mecanismos más comunes para realizar un desplazamiento lineal se procede a seleccionar uno de ellos mediante la aplicación de la matriz de Holmes Tabla 27, considerando como criterios a evaluar: Precisión, Costo, Menor resistencia a la fricción, Fuerza y Facilidad de Manufactura.

Tabla 27.

Matriz de selección de Holmes para el tipo de mecanismo de desplazamiento lineal

ALTERNATIVAS	
Piñón - Cremallera	A
Correa Dentada	B
Tornillo sin fin convencional	C
Tornillos de bolas recirculantes	D

FACTORES	PONDERACIÓN	ALTERNATIVAS				ALTERNATIVAS			
		A	B	C	D	A	B	C	D
Precisión	32	7	6	8	9	224	192	256	288
Fuerza	32	9	5	8	7	288	160	256	224
Menor resistencia a la fricción	20	6	7	6	10	120	140	120	200
Costo	12	6	9	7	5	72	108	84	60
Manufactura	4	8	9	7	5	32	36	28	20
Σ	100					736	636	744	792
		Escala del 1 al 10				ORDEN DE PRIORIDAD			
						3			
						2			
						1			

Analizando los requerimientos del sistema donde se busca un sistema con bajo rozamiento y con alta precisión se obtiene, que las alternativas más óptimas para implementar son el tornillo sin fin convencional y el tornillo de bolas recirculantes, el primero de estos es altamente utilizado en el mercado debido a su facilidad de adquisición, sin embargo, el rendimiento es muy bajo debido a su alto coeficiente de fricción. La segunda opción es el tornillo de bolas recirculantes que gracias a su tuerca de bolas hace que su desplazamiento tenga un bajo rozamiento, así como una alta

precisión en comparación con los diferentes mecanismos evaluados, por lo que se opta por esta alternativa.

2.1.3.4.1 Consideraciones para el Cálculo del Tornillo Sin Fin

Para determinar si el eje de transmisión satisface las necesidades del sistema se procede a calcular el diámetro exterior (mayor) nominal d , de una cuerda externa teniendo en cuenta las siguientes consideraciones.

- Se conoce que el motor ejerce un torque de $T = 89 \text{ oz} * \text{in} = 7.41 \text{ lb} * \text{in} = 0.63 \text{ N} * \text{m}$
- El tornillo sin fin debe ser de bolas recirculantes no auto bloqueante.
- La longitud total del tornillo debe ser de $0.1 \text{ m} = 3.93 \text{ in}$.
- Comercialmente el material con el que son construidos estos mecanismos es en acero inoxidable, y acero de transmisión por lo tanto se elige un acero inoxidable ya que es un excelente material para las condiciones de trabajo.
- El área de empuje del mecanismo es de 1360.80 mm^2 y su espesor de 60 mm .

Establecidas las consideraciones se determina el volumen de la placa de empuje

$$A = 1360.80 \text{ mm}^2$$

$$\text{espesor placa} = 60 \text{ mm}$$

$$V = A * \text{espesor placa}$$

$$V = 1360.80 \text{ mm}^2 * 60 \text{ mm} = 81648 \text{ mm}^3 = \mathbf{8.1648 \times 10^{-5} \text{ m}^3}$$

Para la construcción de la placa de empuje se determinó que el aluminio es el mejor material debido a su peso y propiedades brindadas por lo que se calcula la masa de la placa a partir de la densidad de este material.

$$\delta_{Al} = 2810 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_{placa} = \delta_{Al} * V$$

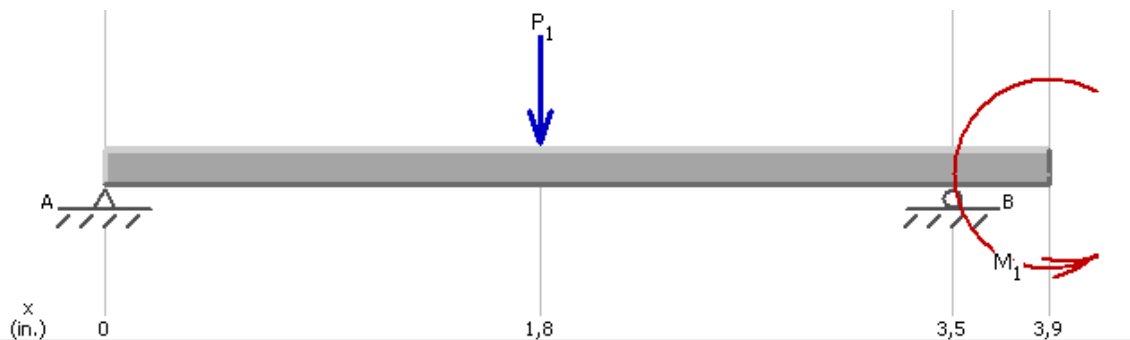
$$m_{placa} = 2810 \frac{kg}{m^3} * 8.1648 \times 10^{-5} m^3 = 0.23 kg$$

$$W_{placa} = m_{placa} * 9.81 \frac{m}{s^2} = 0.23 kg * 9.81 \frac{m}{s^2} = 2.26 N = 0.50 lbf$$

$$M_{Torsormotor} = 0.63 Nm = 7.41 lb in$$

Con estos datos se procede a calcular las cargas a las que está sometido el eje de transmisión con ayuda de un software computacional.

- **Diagrama de cuerpo libre del tornillo sin fin**



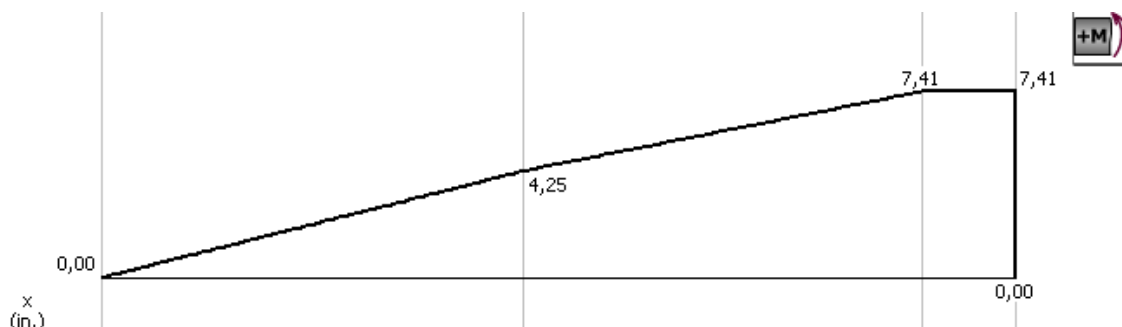
$$A_y = 2.36 lb$$

$$B_y = 1.86 lb$$

- **Diagrama de Fuerzas Cortantes**



- Diagrama de Momentos Flectores



$$M_{max} = 7.4 \text{ lb} * \text{in} = 0.63 \text{ N} * \text{m}$$

Cálculo M_a , M_m , T_a y T_m

$$M_a = \frac{7.4 \text{ lb} - \text{in}}{2} = 3.7 \text{ lb} - \text{in}$$

$$M_m = 0 \text{ lb} - \text{in}$$

$$T_a = 0 \text{ lb} * \text{in}$$

$$T_m = \frac{1.96 \text{ lb} * \text{in}}{2} = 0.98 \text{ lb} * \text{in}$$

Calculadas las cargas del sistema se procede a elegir el material que soporte dichos esfuerzos. Se elige una aleación de aluminio 7075 T6 que se puede conseguir fácilmente en el mercado y cuya resistencia a la fluencia es alta (ANEXO C).

Se toman los valores de sus propiedades del libro de Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. (Budynas & Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 2008, pág. 1023)

$$E = 72000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$S_y = 78.6 \text{ ksi}$$

$$S_{ut} = 86.0 \text{ ksi}$$

- **Límite de la resistencia a la fatiga**

Tomando los valores del material se procede calcular el límite de la resistencia a la fatiga dado por la ecuación (2.17).

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * S'_e \quad (2.17)$$

Tabla 28.

Simbología de la ecuación para el cálculo del límite de la resistencia a la fatiga

k_a	factor de modificación de la condición superficial
k_b	factor de modificación del tamaño
k_c	factor de modificación de la carga
k_d	factor de modificación de la temperatura
k_e	factor de confiabilidad ¹³
S'_e	límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria
S_e	Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la

Se calcula le límite de la resistencia a la fatiga en viga rotatoria eligiendo S'_e de la Figura 17.

$$S'_e = \begin{cases} 0.5S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi (1 400 MPa)} \\ 100 \text{ kpsi} & S_{ut} > 200 \text{ kpsi} \\ 700 \text{ MPa} & S_{ut} > 1 400 \text{ MPa} \end{cases}$$

Figura 17. Parámetros en la condición superficial

Fuente. (Budynas & Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 2008)

$$S'_e = 0.5 * 86.0 = 43 \text{ kpsi}$$

Ahora se procede a calcular el factor de superficie basados en la Tabla 29, donde se establece que el acabado del material es por maquinado.

Tabla 29.
Parámetros en la condición superficial

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{ut} , kpsi	S_{ut} , MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

De C. J. Noll y C. Lipson, "Allowable Working Stresses", en *Society for Experimental Stress Analysis*, vol. 3, núm. 2, 1946, p. 29. Reproducida por O. J. Horger (ed.), *Metals Engineering Design ASME Handbook*, McGraw-Hill, Nueva York. Copyright © 1953 por The McGraw-Hill Companies, Inc. Reproducido con autorización.

Fuente: (Budynas & Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 2008)

$$k_a = aS_{ut}^{-b} = 2.7(86)^{-0.265} = 0.83$$

Para el factor de tamaño se considera un $k_b = 0.9$ ya que no se conoce el diámetro del eje, mientras que para el factor de carga se considera $k_c = 1$ ya que el sistema es de flexión.

El factor temperatura se calcula con el valor de 22 °C ya que es la temperatura promedio a la que normalmente se trabaja en el laboratorio.

$$T_F = T_C * \frac{9}{5} + 32 = 22 * \frac{9}{5} + 32 = 71.6^\circ\text{F}$$

$$K_d = 0.975 + 0.432(10^{-3})71.6 - 0.115(10^{-5})71.6^2 + 0.104(10^{-8})71.6^3 - 0.595(10^{-12})71.6^4 = 1$$

El factor de confiabilidad k_e corresponde a las desviaciones estándares porcentuales del límite a la fatiga, para una confiabilidad de 90% tenemos que $k_e = 0.897$, según la Tabla 30.

Tabla 30.
Factor de confiabilidad

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_u	Factor de confiabilidad k_c
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Fuente: (Budynas & Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 2008)

Determinados todos los valores se procede a determinar el límite de resistencia a la fatiga.

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * S'_e = (0.83)(0.9)(1)(1)(0.897)(43) = 28.81 \text{ kpsi}$$

2.1.3.4.2 Cálculo del diámetro

Aplicando la teoría conservadora de Goodman Modificada tenemos:

$$d = \left(\frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_{ut}} \left[4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Tomando un factor de seguridad de $n=1.5$ nos queda.

$$d = \left(\frac{16 * 1.5}{\pi} \left\{ \frac{1}{28810} \left[4(2.2 * 3.7)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{86000} \left[3(3 * 0.98)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 0.17 \text{ in} = 4.32 \text{ mm}$$

Asumiendo una relación de radio de filete del hombro r/d igual a 0.02 (Budynas & Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 2008, pág. 360). Se encontrará ahora el K_f y K_{fs} reales.

$$\frac{r}{d} = 0.02$$

$$r = 0.02 * 0.17 = 0.0034$$

Para determinar el valor de K_f se usa la Figura 18, sabiendo que $r = 0.0034$ y $S_{ut} = 86 \text{ ksi}$.

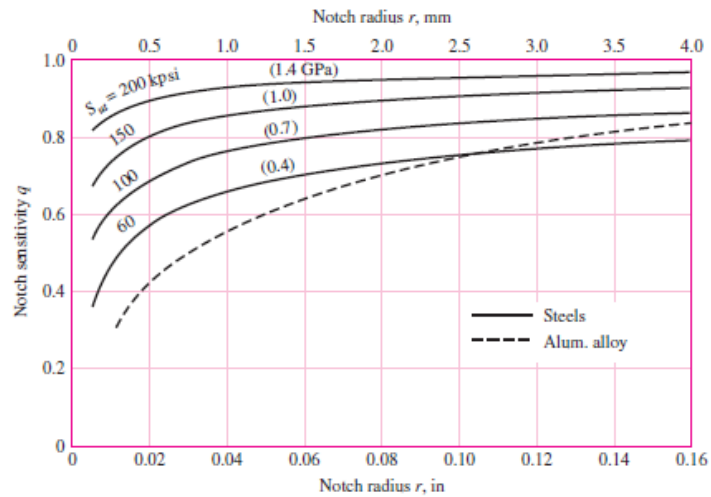


Figura 18. Sensibilidad a la muesca en caso de aceros y aluminios sometido a flexiones inversas de cargas axiales inversas

Fuente. (Budynas & Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 2008)

Realizando una interpolación de datos se determina que $q \approx 0,50$, por lo que se tiene el valor real de K_f .

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) = 1 + 0.50(2.2 - 1) = 1.60$$

Para determinar el valor de K_{fs} se usa la Figura 19, sabiendo que $r = 0.0034$ y $S_{ut} = 86 \text{ ksi}$.

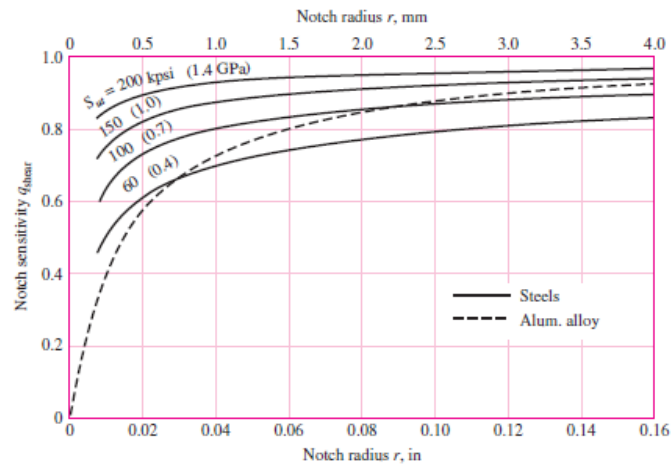


Figura 19. Sensibilidad a la muesca de materiales sometidos a torsión inversa

Fuente: (Budynas & Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 2008)

Realizando una interpolación de datos se determina que $q \approx 0,56$, por lo que se tiene el valor real de K_f .

$$K_{fS} = 1 + q_{CORTANTE}(K_{ts} - 1) = 1 + 0.56(3 - 1) = 2.12$$

Se recalcula el valor de k_b con el diámetro $d = 0.17$ obtenido

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases} \quad (2.18)$$

Dado que d está en la primera condición se puede decir.

$$k_b = \left(\frac{d}{0.3}\right)^{-0.107} = \left(\frac{0.17}{0.3}\right)^{-0.107} = 1.06$$

Encontramos nuevamente el valor de S_e .

$$S_e = (0.83)(1.06)(1)(1)(0.897)(43) = 33.935 \text{ kpsi}$$

$$d = \left(\frac{16 * 1.5}{\pi} \left\{ \frac{1}{33935} [4(1.6 * 3.7)^2]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{86000} [3(2.12 * 0.98)^2]^{\frac{1}{2}} \right\}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 0.24 \text{ in} = 6.1 \text{ mm}$$

Por lo tanto, podemos decir que el diámetro externo mínimo que necesita el tornillo sin fin es de 6mm, así que se toma un diámetro mayor para asegurar su correcto funcionamiento en este caso 12mm, que es el doble al calculado.

2.1.3.4.3 Selección del paso del tornillo

Existen dos tipos de roscas normalizadas para tornillos: la serie de roscas unificada y la serie de roscas métricas definida por la ISO. Para la aplicación se eligió la métrica debido a su ventaja de gran resistencia a la tracción.

Dentro de los tipos de rosca métrica encontramos las roscas gruesas y finas, las primeras se recomiendan en aplicaciones donde se requiere que el tornillo tenga inserciones y remociones frecuentes, o en aplicaciones donde el tornillo está roscado en un material blando, mientras que las roscas finas son utilizadas en lugares donde existe mayor vibración debido a que por tener mayor superficie de contacto hacen que el sistema sea más resistente al aflojamiento. Por lo tanto se determina que lo mejor para el diseño es un tornillo sin fin métrico de rosca fina, ya que el sistema va a estar sometido a la vibración generada por el motor.

Sabiendo que el diámetro externo del tornillo elegido es de 12mm, se procede a determinar el paso y el área de esfuerzo de tensión con la ayuda de la Tabla 31.

Tabla 31.
Diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso y fino

Diámetro mayor nominal d , mm	Serie de paso grueso			Serie de paso fino		
	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0

Fuente: (Budynas & Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 2008)

Con un diámetro menor $d_r = 10.42 \text{ mm}$ y área de esfuerzo por tensión $A_t = 92.1 \text{ mm}^2$, obtenemos el esfuerzo el tornillo, debido a la carga F de torsión axial ejercida por el motor.

$$\sigma_t = \frac{F}{A_t}$$

$$F = \frac{T}{\frac{d}{2}} = \frac{7.41 \text{ lb} * \text{in}}{\frac{0.41 \text{ in}}{2}} = 36.15 \text{ lb}$$

$$\sigma_t = \frac{F}{A_t} = \frac{36.15 \text{ lb}}{0.14 \text{ in}^2} = 258.21 \text{ psi}$$

Establecidos todos los requerimientos y sabiendo que la tensión máxima obtenida en los cálculos es relativamente pequeña para las cargas máximas que alcanza este tipo de tornillo, se busca en el mercado un tornillo de bolas recirculantes que satisfaga las necesidades. De la selección realizada se elige el modelo SFU 1204, mostrado en la Figura 20, que tiene las siguientes características:

- Diámetro externo D: 12 mm
- Paso p: 1.25 mm
- Carga estática: 110,7 MPa
- Carga dinámica: 58,15 MPa
- Diámetro del eje: 8mm



Figura 20. Tornillo Sin Fin SFU 1240 150 mm

Fuente: (AliExpress, 2017)

2.1.3.5 Elección de acoplamiento rígido

Para unir el tornillo con el motor, es necesario disponer de un sistema que permita conectarlos entre sí, sin afectar su funcionamiento, por tal razón una opción de unión económica y efectiva son los acoplamientos.

Realizando un análisis de las clases de acoplamientos Tabla 32, se opta por los acoplamientos rígidos debido a que conectan los ejes sin permitir movimiento relativo entre ellos; sin embargo, es posible algún ajuste axial en el montaje, además que se utilizan cuando la precisión y la fidelidad de la transmisión del torque es de primordial importancia como, por ejemplo, cuando la relación de fase entre el dispositivo impulsor y el dispositivo impulsado se debe mantener con precisión. (Acosta, 2015)

Tabla 32.
Características de varios tipos de acoplamientos

Clase	Desalineación tolerada				Comentarios
	Axial	Angular	Paralela	Torsional	
Rígida	grande	ninguna	ninguna	ninguna	requiere alineación precisa
Quijada	ligera	ligera ($< 2^\circ$)	ligera ($3\% d$)	moderada	absorción de choque; juego significativo
Engrane	grande	ligera ($< 5^\circ$)	ligera ($< 1/2\% d$)	ninguna	juego ligero; gran capacidad de torque
Ranura	grande	ninguna	ninguna	ninguna	juego ligero; gran capacidad de torque
Helicoidal	ligera	grande (20°)	ligera ($< 1\% d$)	ninguna	una pieza, compacta; sin juego
Fuelle	ligera	grande (17°)	moderada ($20\% d$)	ninguna	sujeto a falla por fatiga
Disco flexible	ligera	ligera (3°)	ligera ($2\% d$)	de ligera a ninguna	absorción de choque; sin juego
Eslabón (Schmidt)	ninguna	ligera (5°)	grande ($200\% d$)	ninguna	sin juego; sin cargas laterales sobre el eje
Hooke	ninguna	grande	grande (en pares)	ninguna	juego ligero; variación de rapidez a menos que se use en pares
Rzeppa	ninguna	grande	ninguna	ninguna	velocidad constante

Fuente: (Norton, 2011, pág. 469)

De los acoplamientos rígidos se opta por el acoplamiento con prisionero ya que el mismo permite la unión fija del tornillo con el motor sin afectar el torque y cargas

axiales transmitidas, en la Figura 21 se puede ver las características del acoplamiento rígido elegido.

características:

tamaño del eje: 12x12mm

longitud: 30mm

diámetro: 25mm



Figura 21. Acoplamiento rígido con tornillo de presión.

Fuente: (AliExpress, 2017)

2.1.3.6 Selección de rodamientos

Para el otro extremo de sujeción del tornillo sin fin, se decidió por un rodamiento para el cual se toma en cuenta el diámetro del eje del tornillo SFU1204, el peso que soportará y disponibilidad en el mercado.

Según el catálogo de SKF, para un diámetro de 8 mm de eje, el rodamiento comercial existente es el 608-2Z, cuyas especificaciones son:

- Resistente al polvo
- Bajo costo
- Fácil de encontrar en el mercado
- Diámetro interno=8mm
- Diámetro externo=22mm
- Anchura del anillo=7mm
- C=3.45kN (Carga dinámica)
- C0=1.37kN (Carga estática)
- 75000rpm (velocidad de referencia)
- 38000rpm (velocidad límite)



Figura 22. Rodamiento 608 2Z

Fuente: (Seekpart, 2017)

Con estos datos se eligió este rodamiento que por sus características es ideal para el trabajo al que estará sometido. (SKF, Rodamiento rígido de bolas, 2017)

2.1.3.7 Lubricación del tornillo sin fin

Para un mejor desempeño del tornillo sin fin se debe realizar la lubricación cada 6 meses y con grasa de grado alimenticio.

Según catálogos de SKF, el lubricante que se adapta a estos requerimientos es el SKF LGFP 2 que es una grasa para rodamientos limpia, no tóxica, a base de aceite médico blanco y jabón complejo de aluminio. (SKF, Grasa compatible con alimentos, 2017).

2.2 Diseño electrónico

Para el sistema electrónico de cada equipo se requiere que previamente se realice el diseño de ciertos circuitos, que sirvan como enlace y acondicionamiento de señal para sensores y actuadores.

En esta etapa se describirán los diseños de los circuitos del sistema como son: circuito de alimentación, circuito de amplificación y acondicionamiento de señal, para minimizar errores en la implementación se utilizará un software de simulación de circuitos electrónicos como ayuda en el proceso.

2.2.1 Placa Térmica

2.2.1.1 Parámetros de Diseño Electrónico

- El equipo debe ser conectado a una fuente de alimentación de 110Vac.
- Cada una de las camas térmicas requiere una alimentación de 12Vdc 9A.
- Se requiere un sensor de temperatura en el rango de 0 °C a 50 °C, para cada una de las placas térmicas.

- Se requiere de un sistema para controlar la potencia de la cama térmica.
- El equipo requiere de pulsadores para modificar los parámetros de temperatura y encendido.

2.2.1.2 Selección de Sensores

Para sensar la temperatura, existe en el mercado diferentes tecnologías entre las principales se puede mencionar a las termocuplas, RTDs y termistores. Dependiendo de su aplicación estos van a tener ventajas y desventajas por lo cual en la Figura 23, se encuentra un cuadro comparativo de las características de diversos tipos de sensores térmicos

Características	Sensor				
	RTD de platino de película	RTD de platino bobinada	Termocupla	Termistor	Silicio
Costo del sensor	Moderado a bajo	Moderado	Bajo	Bajo a moderado	Bajo
Campo de medida	-200 a 750°C (560°C máx.tip.)	-200 a 850 (600°C máx.tip.)	-270 a 1800 °C	-100 a 500 (125°C máx.tip)	-40 a 125°C
Intercambiabilidad	±0.1%. ±0.3°C	±0.06%. ±0.2°C	±0.5%. ±0.2°C	±10%. ±0.2°C	±1%. ±0.3°C
Estabilidad	Excelente	Excelente	Pobre	Moderada	Moderada
Sensibilidad	±0.39%/°C	±0.39%/°C	±40μV/°C	-4%/°C	10mV/°C
Sensibilidad relativa	Moderada	Moderada	Baja	Muy elevada	Moderada
Linealidad	Excelente	Excelente	Moderada	No es lineal	Moderada
Pendiente	Positiva	Positiva	Positiva	Negativa	Positiva
Susceptibilidad a ruido	Baja	Baja	Alta	Baja	Baja

Figura 23. Características de los sensores de temperatura

Fuente: (Rodríguez & Loor, 2010)

Analizando la Figura 23 se decide que para este sistema los termistores son la mejor opción, principalmente por la elevada sensibilidad que poseen a variaciones de temperatura, el rango de trabajo se ajusta a los requerimientos y su costo de adquisición es relativamente bajo comparado con otras alternativas.

Se busca en el mercado y se adquiere el termistor NTC 10K 3380, mostrado en la Figura 24, cuya ventaja es que al tener rango de trabajo no mayor a 10 Kohms se puede aplicar la técnica de linealización digital lo cual facilita mucho el diseño del circuito de acondicionamiento.



Figura 24. Termistor NTC 10K 3380

Fuente: (Components, 2017)

Tabla 33.

Características técnicas de termistor NTC 10K 3380

Salida	2 hilos XH (2,54) -2y
Tipo	NTC 10K 3380k
Constante B del material	3380K
Longitud	600 mm
Rango de medición	-55 a 125 °C
Resistencia a 0°C	19750 ohm
Resistencia a 100°C	2150 ohm
Tolerancia	+/- 1%

Fuente: (Components, 2017)

a) Acondicionamiento para los Termistores NTC 10K 3380

Un termistor NTC es un sensor resistivo no lineal variable con la temperatura, basados en semiconductores con un coeficiente de temperatura negativo. Para realizar un acondicionamiento digital es necesario determinar la curva característica del termistor la cual se puede considerar de tipo exponencial de la forma. (Pallas Areny, 2005).

$$R_T = R_o e^{\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_o} \right)} \quad (2.19)$$

Tabla 34.

Simbología de la ecuación para el cálculo de la resistencia en la temperatura actual

R_T	Resistencia a la temperatura actual
R_o	Resistencia a la temperatura de referencia
T_o	Temperatura de referencia en kelvins 298 °K (25°C)
β	Temperatura característica del material (2000 K – 5000 K)
T	Temperatura

Con los valores establecidos se procede a realizar un divisor de voltaje ecuación (2.20) para que se pueda calcular el valor analógico recibido por el termistor para cada resistencia, como se observa en la Figura 25.

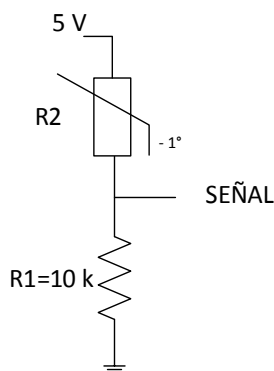


Figura 25. Circuito de conexión para el termistor NTC 3470

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{in} \quad (2.20)$$

Ahora mediante el uso de la ecuación de la temperatura de Steinhart-Hart podemos obtener el valor de la temperatura.

$$T = \frac{\beta}{\ln\left(\frac{R}{r_\infty}\right)} V_{in} \quad (2.21)$$

En donde:

$$r_\infty = R_o e^{\frac{-\beta}{T_o}} \quad (2.22)$$

Estas ecuaciones que posteriormente son añadidas en el microcontrolador nos permiten realizar la conversión digital del valor analógico enviado por el termistor para diferentes temperaturas, con un error de 0,3% (Pallas Areny, 2005, pág. 74). En la Figura 26 se puede observar el bloque del sensor de temperatura descompuesto.



Figura 26. Diagrama de bloque del sensor de temperatura

2.2.1.3 Regulador de Potencia Eléctrica para la Cama Térmica

Cuando se requiere controlar cargas de manera variable, existen diversos métodos de control como: el uso de llaves interruptoras manuales, un relé activado por control o mediante variación del ancho de pulso o PWM con ayuda de dispositivos electrónicos como transistores.

La variación de ancho de pulso es el método más eficaz dentro de un control variable de carga debido a su rapidez de respuesta a frecuencias de trabajo elevadas, el largo tiempo de vida y su facilidad de ser programado.

Por lo tanto, cuando existe una conmutación a una frecuencia elevada el mejor método es el uso de un PWM. Una vez determinado esto se busca un dispositivo que logre realizar este trabajo, entre los tantos métodos podemos mencionar a los transistores bipolares, tiristores, Triacs y mosfets, se elige este último para este caso debido a su facilidad de uso, así como de las características que le permiten manejar potencias elevadas. Entre los diferentes tipos de mosfet se seleccionó el IRFZ44N cuyas características se pueden ver en la Tabla 35.

Tabla 35.**Características técnicas de mosfet IRFZ44N a 25°C**

Canal	N
VDSS	55 V
RDS(on)	17.5 mΩ
ID	49 A
PD	94 W
VGS	± 20 V
IAR	25 A

Fuente: (Rectifier, 2017)

Para que el mosfet IRFZ44N tenga un mejor rendimiento por disipación de calor es importante aplicar una tensión mínima de 10V en VGS, pero dado que la salida del PWM es por medio de un dispositivo de control que maneja voltajes aproximados a 5V, se procede hacer un circuito de preamplificación mediante transistores bipolares a la salida del dispositivo de control, como se muestra en la Figura 27.

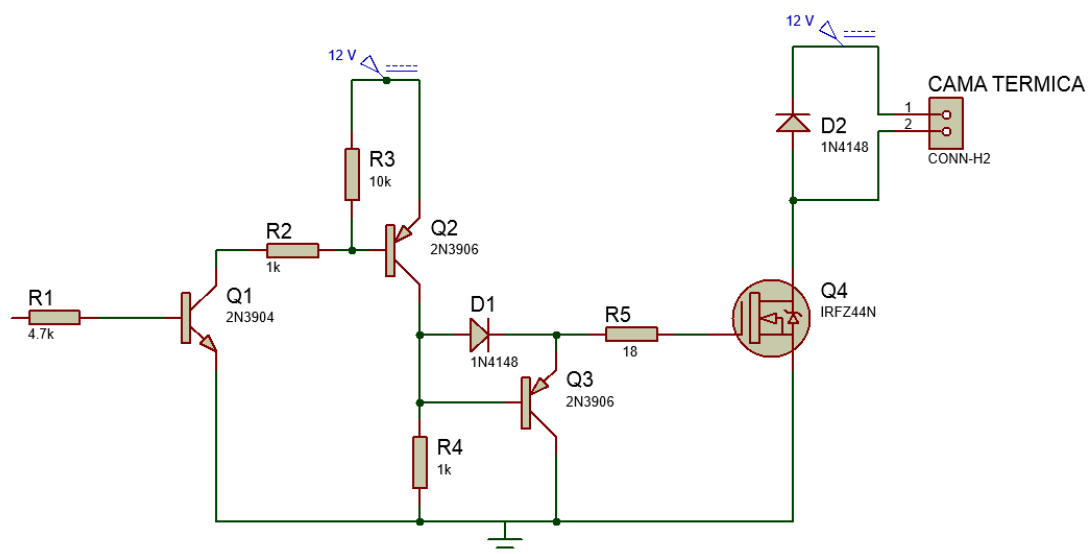


Figura 27. Circuito de control para el Mosfet IRFZ44N.

Este circuito ayuda en el tiempo de respuesta del mosfet, donde R5 es un limitador de corriente sugerido por el fabricante, D2 es un diodo rápido que evita picos de voltaje y corriente generado por la carga, D1 es un diodo de protección para el

circuito. Q1, Q2 y Q3 son los transistores de preamplificación para la señal desde el microcontrolador.

2.2.1.4 Pulsadores

El diseño consta de 3 pulsadores en acero inoxidable que permiten configurar la temperatura deseada. Cada uno de los pulsadores debe ser leído por el microcontrolador por lo que el circuito propuesto se muestra en la Figura 28.

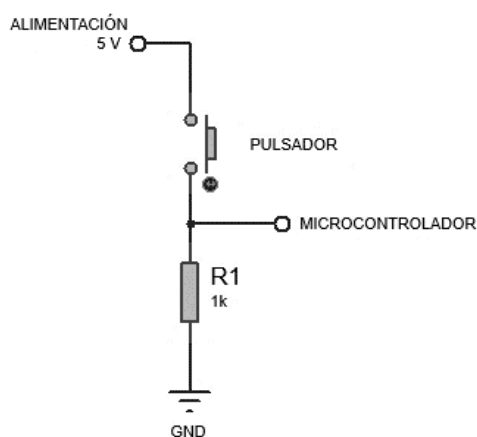


Figura 28. Circuito de control para cada pulsador en Pull down

La Figura 28 representa una configuración de resistencia en Pull down que establece un estado lógico bajo, a la entrada del circuito cuando el mismo se encuentra en reposo. El funcionamiento del circuito cuando está en reposo hace que la caída de tensión en R1 sea 0 V, la misma que va al dispositivo de control por lo que se tendrá un nivel lógico de bajo mientras que, si mantenemos presionado el pulsador, la caída de tensión en la resistencia es 5 V por lo que en nivel lógico será alto. (TUELECTRONICA.es, 2012)

Al implementar esta configuración estamos asegurando el correcto funcionamiento del pulsador evitando lecturas erróneas del mismo por corrientes parásitas.

2.2.1.5 Pantalla

Para la visualización de los datos se selecciona las pantallas TFT (Thin Transistor Layer) mostrada en la Figura 29, que son dispositivos muy útiles en proyectos de electrónica, se elige el tamaño de pantalla de 1.8" con el controlador ST7735 y una comunicación tipo bus SPI para facilitar su uso, así como la transferencia de datos. (Llamas, CONECTAR ARDUINO A UNA PANTALLA TFT DE 1.4" A 3.2", 2016)



Figura 29. Características técnicas pantalla TFT 1.8"

Fuente: (AliExpress, 2017)

Debido a que la conexión de la pantalla TFT se realiza por medio de bus SPI es necesario conocer las designaciones habituales de los pines del dispositivo en la Figura 30 se muestra los pines de conexión con un microcontrolador común.

Nombre	Alias	Pin (en Arduino Uno o Nano)	Descripcion
VCC			+3.3 ... 5 Volt
GND		Ground	Ground
SCLK	CLK/SCK/SCLK	D13 (hardware)	Clock (SPI)
MISO	MISO/SDO/DOUT	D12 (hardware)	Master In Slave Out (SPI)
MOSI	MOSI/SDI/DIN	D11 (hardware)	Master Out Slave In (SPI)
SS	SS/CS/SDA	D10 (hardware, solo en esclavo)	Slave/Chip Select (SPI)
RES	RST/RES/REST	D9 (variable, se fija por software)	Controller Reset
RS	RS/DC	D8 (variable, se fija por software)	Mode: Command/Data

Figura 30. Pines de conexión de la pantalla TFT con arduino uno

Fuente: (Llamas, CONECTAR ARDUINO A UNA PANTALLA TFT DE 1.4" A 3.2", 2016)

2.2.1.6 Selección del dispositivo de control

Para la selección del dispositivo de control, se deben tener en cuenta algunas especificaciones importantes como son:




Tabla 36.
Requerimientos para el microcontrolador

Requerimientos	Descripción
Interfaz SPI y USB	Para comunicación
Al menos 2 entradas Analógicas (AI)	Para lectura de los termistores
Al menos 2 salidas PWM	Para control de resistencias eléctricas
10 salidas digitales (DO)	5 para comunicación SPI de pantalla
	3 para pulsadores
	2 para los led indicadores
Velocidad del reloj suficiente 16MHz.	

Analizando los requerimientos de la tabla 36 se decide realizar la selección entre 3 tipos de plataformas de desarrollo que pueden cumplir con estos requerimientos como son Arduino, Raspberry y UDOO, que aunque no son microcontroladores basan su tecnología en los mismos, además cuentan con ciertas ventajas: se los consigue

fácilmente en el mercado, son de bajo costo y se manejan mediante un software gratuito.

Tabla 37.
Características técnicas de algunas plataformas de desarrollo comerciales

	Arduino	Raspberry Pi	UDDO
			
Precio	\$20	\$50	\$90
Tamaño	7.6 x 6.4 x 1.9 cm	8.6 x 5.4 x 1.7cm	8.9 x 5.9 x 1.2 cm
Velocidad de reloj	16 MHz	700 MHz	1 GHz
Voltaje de entrada	7 a 12 V	5 V	5 V DC Micro USB, 6-15 V DC Power Jack
Consumo de corriente	42 mA	700 mA	170 mA
Analog Input	6 – 10 bits	N/A	7 – 12 bits
PWM	6	2	8
SPI	1	1	1
TWI/I2C	2	1	2
Entorno de desarrollo integrado (IDE)	Arduino	Scratch, IDLE, cualquiera con soporte Linux	Android y Linux UDOOubuntu2 (14.04 LTS)

Analizado las alternativas de la tabla 37 se decide adquirir un arduino uno, debido a que presenta un costo de adquisición muy bajo, sus características técnicas satisfacen las necesidades establecidas además de poseer la capacidad analógica en tiempo real facilitando la lectura de sensores analógicos, lo que Raspberry Pi y UDDO no poseen.

2.2.1.7 Selección de la Fuente

Para seleccionar la fuente de poder verificamos nuevamente los requerimientos del sistema, donde los circuitos utilizados requieren diferentes fuentes de alimentación como son los 110 (VAC) de conexión directa a la toma principal. Las camas térmicas

necesitan estar conectadas a 12 (VDC) 9A cada una, el arduino uno debe estar conectado a una fuente de máximo 9 (VDC) 1A, según recomendaciones del fabricante.

Una vez determinadas todas las cargas necesarias del sistema, se busca en el mercado algunas alternativas y se decide por una fuente de poder de 12 (VDC) a 38A, mostrado en la Figura 31, la cual nos sirve para alimentar a todo el circuito de potencia, mientras que para la alimentación del arduino se adquiere una fuente de 9 (VDC) a 1A.



Figura 31. Fuente de poder Altek

Fuente. (MercadoLibre, Fuente De Poder Atx Altek 750w, 2017)

2.2.2 Esterilizador de instrumentos

2.2.2.1 Parámetros de Diseño Electrónico

- El equipo debe ser conectado a una fuente de alimentación de 110 (VAC).
- La resistencia eléctrica debe estar conectada a 110 (VAC).
- Debido a que el sistema es térmico se necesita un sensor de temperatura en el rango de 0 °C a 300 °C.
- Se requiere de un circuito regulador de potencia, para controlar la potencia de la resistencia.
- Se requiere de una pantalla para mostrar los valores de temperatura, así como de dos indicadores tipo LED para cada estado.

2.2.2.2 Selección de Sensores

Analizando la Figura 23 se decide que para el sistema, la termocupla es la mejor opción, principalmente por el rango de temperatura que maneja, además que son los sensores de uso industrial más comunes por lo que son económicos y fáciles de reemplazar.

En el mercado existen muchos tipos de termocuplas, pero las tipo J y K son las más utilizadas, cuyo uso principal de las termocuplas tipo J es en la industria del plástico y goma (extrusión e inyección), temperatura de motores y procesos en general, donde el sensor está sometido a vibración en cambio mientras que la termocupla tipo K se usa típicamente en fundiciones, hornos en general y tratamientos térmicos, como se observa en la Figura 32. (Industria, 2010)

Tc	Cable + Aleación	Cable - Aleación	°C	Rango (Min, Max) mV	Volts Max
J	Hierro	cobre/nickel	(-180, 750)	42.2	
K	Nickel/cromo	Nickel/alumnio	(-180, 1372)	54.8	
T	Cobre	cobre/nickel	(-250, 400)	20.8	
R	87% Platino 13% Rhodio	100% Platino	(0, 1767)	21.09	
S	90% Platino 10% Rhodio	100% Platino	(0, 1767)	18.68	
B	70% Platino 30% Rhodio	94% Platino 6% Rhodio	(0, 1820)	13.814	

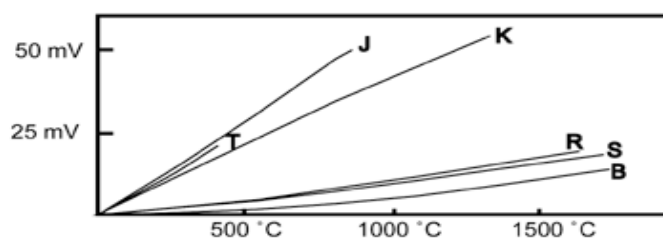


Figura 32. Tipos de termocuplas y curva de linealización

Fuente: (Industria, 2010)

Dado que las termocuplas tipo K y J son muy accesibles en el mercado, su rango de temperatura cumple con nuestros requerimientos y su costo no varía mucho

se eligió la termocupla tipo K por su mayor linealidad que presenta y su mayor rango de temperatura de trabajo, como se observa en la Figura 33.



Descripción	Especificaciones
Rango de Temperatura	0 – 400 °C
Error	0.3°C

Figura 33. Termocupla tipo K adquirida

Fuente: (MercadoLibre, Sonda Temperatura Termocupla Tipo K, 2017)

a) Acondicionamiento para la Termocupla Tipo K

Las termocuplas producen señales de muy baja tensión, lo cual implica que para su acondicionamiento se aplique diversas etapas que son mostradas en la Figura 34. Otro problema de acondicionamiento de este sensor es que, debido a su principio de funcionamiento basado en la unión de dos metales no similares genera una unión fría, lo que provoca la necesidad de contar con una compensación de unión fría.



Figura 34. Diagrama de bloque del sensor de temperatura

Entre las diferentes alternativas de acondicionamiento de señal para termocupla se elige el circuito integrado MAX6675 que es un convertidor analógico a digital que realiza la compensación de unión fría y digitaliza la señal de las termocupla tipo K, con una resolución de 12 bits - 0.25 °C compatible con una comunicación SPI unidireccional que lo hace fácil de conectar con un dispositivo de control.

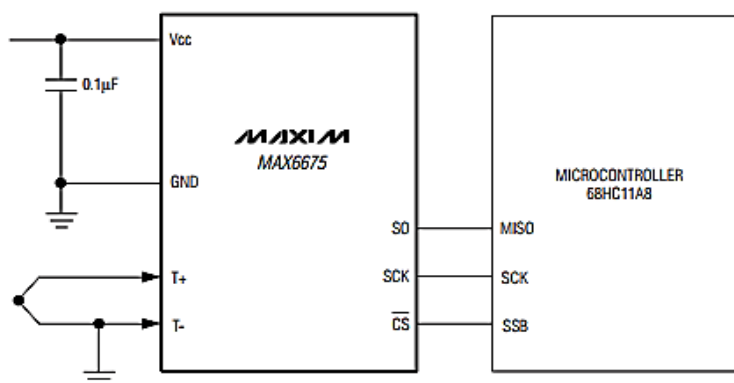


Figura 35. Conexión típica del circuito integrado MAX6675

Fuente: (MAXIM, 2002)

Tabla 38.

Características técnicas del circuito integrado MAX6675

Interfaz compatible	SPI
Resolución	12 bits, 0.25 °C
Medición	Hasta 1024 °C
Alimentación	3.3 – 5 V
Frecuencia	4.3 Mhz
Corriente	1.5 mA

Fuente: (EEKFACTORY, 2016)

2.2.2.3 Regulador de Potencia para la Resistencia Eléctrica

El mejor método para una conmutación a una frecuencia elevada es el uso de un PWM. En el caso de la resistencia eléctrica que trabaja con (VAC), un método para lograr esta conmutación es el uso de relés de estado sólido.

El relé de estado sólido (SSR) es un circuito compuesto normalmente por octoacopladores que separa la etapa de control y potencia, un circuito de disparo que detecta el paso por cero y un triac que funciona como interruptor de potencia. Al contar con estos dispositivos se logra que los SSR sean mucho más robustos frente a un circuito convencional además de tener una alta velocidad de conmutación.

Se opta por adquirir un SSR-25 DA que se muestra en la Figura 36, debido a la potencia máxima de disipación 25 A que es suficiente para los 12 A que necesitamos en la resistencia.

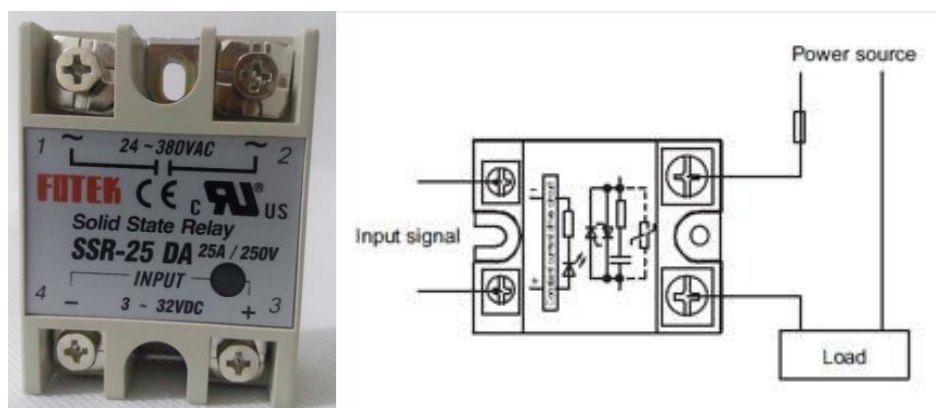


Figura 36. Relé de estado sólido SSR-25 DA

Tabla 39.

Características técnicas del relé de estado sólido

Nombre	SSR-25 DA
Vin	3 – 32 (VDC)
Vout	24 – 380 (VAC)
Corriente de disipación	25 A
Velocidad conmutación	<50 ms

2.2.2.4 Pantalla

Para la visualización de los datos se selecciona las pantallas TFT de 1.8“ con las mismas características técnicas analizadas en el punto 2.2.1.5.

2.2.2.5 Selección del dispositivo de control

Para la selección del dispositivo de control es necesario tomar en cuenta las principales necesidades que tenemos en el sistema:

Tabla 40.
Requerimientos para el microcontrolador

Requerimientos	Descripción
Interfaz SPI y USB	Para comunicación
Al menos 1 salidas PWM	Para control de resistencias eléctricas
10 salidas digitales (DO)	5 para comunicación SPI de pantalla
	3 para la termocupla
	2 para los led indicadores
Velocidad del reloj suficiente 16MHz.	

Analizado la tabla 37 se decide adquirir un arduino nano, debido a que presenta un costo de adquisición bajo y sus características satisfacen las necesidades.

2.2.2.6 Selección de la Fuente

Para seleccionar la fuente de poder verificamos nuevamente los requerimientos del sistema, donde los circuitos utilizados requieren diferentes fuentes de alimentación como son los 110 (VAC) de conexión directa a la toma principal y para la conexión de la resistencia, el arduino nano debe estar conectado a una fuente de máximo 9 (VDC) 1A, según recomendaciones del fabricante.

Una vez determinadas todas las cargas necesarias del sistema, se busca en el mercado algunas alternativas y se decide por una fuente de poder de 9 (VDC) a 1A para alimentación del arduino mientras que la resistencia será conectada en paralelo a la toma principal del equipo.

2.2.3 Bomba de Jeringa

2.2.3.1 Parámetros de Diseño Electrónico

- El equipo debe ser conectado a una fuente de alimentación de 110 (VAC).
- Se necesita un driver para el motor a pasos NEMA 17 a 12V.
- Se requiere de una pantalla táctil para configurar los parámetros de las jeringas, así como controlar su proceso.
- El equipo requiere de pulsadores para mover la posición inicial del carrete, así como de dos indicadores tipo LED para cada estado del proceso.

2.2.3.2 Selección del Driver

Los motores paso a paso están formados de varias bobinas organizadas en fases que, al ser alimentadas provocará que el motor gire paso a paso dependiendo el pulso que se le entregue. Para poder controlar el pulso entregado a cada fase, es necesario disponer de un driver que nos ayude a convertir las señales enviadas desde el programa hacia el motor, por lo que se busca en el mercado y se elige el controlador A4988 de Pololu.

Tabla 41.
Características técnicas A4988

Nivel de control de paso y dirección	Fácil
Resolución	1, 1/2, 1/4, 1/8 o 1/16 pasos
Corriente	Ajustable hasta 2 A
Voltaje máximo de carga	35 V
Voltaje de entrada	3.3 V y 5 V

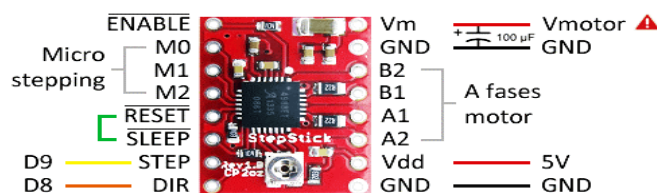


Figura 37. Esquema de conexión del driver Pololu A4988

Fuente: (Llamas, 2016)

Tabla 42.***Pines del driver A4988***

ENABLE	Activa/desactiva las salidas al motor
MS1, MS2, MS3	Determinan la resolución del paso del motor
RESET	RESET
SLEEP	SLEEP
STEP	Controla el paso del motor
DIR	Controla la dirección del motor
VMOT	Alimentación del motor (de 8V a 35V)
2B, 2A, 1A, 1B	Pines para el conector del motor
VDD	Alimentación de la lógica del motor (3.3V o 5V)
GND	GND

Fuente: (Digital, 2017)

Una gran ventaja de usar un A4988 es el que soporta una variación de corriente, por medio de un potenciómetro es posible ajustar la cantidad de corriente entregada al motor. Para establecer este valor se procede a utilizar la ecuación del límite de corriente indicada por el fabricante, para el motor NEMA 17 a 12 Vdc de 2 A.

$$I_{MAX} = \frac{V_{REF}}{8 \times R_S}$$

Tabla 43.***Descripción de la ecuación para el cálculo del límite de corriente.***

I_{MAX}	Corriente máxima
V_{REF}	Voltaje de referencia
R_S	Resistencia de sensado en ohms

$$V_{REF} = I_{MAX} * 8 \times R_S$$

$$V_{REF} = 2 * 8 * 0.1$$

$$V_{REF} = 1.6$$

Dado que se va a utilizar pasos completos del motor se multiplicará el valor por el 70% según recomendaciones del fabricante.

$$V_{REF} = 1.6 * 0.7$$

$$V_{REF} = 1.12$$

Con este valor vamos a calibrar el driver para que funcione correctamente con el motor seleccionado midiendo el voltaje entregado en el potenciómetro interno que contiene.

2.2.3.3 Pulsadores

En el diseño se planteó diseñar 2 pulsadores en acero inoxidable que permitan mover el tornillo de izquierda a derecha con el motivo de calibrar la posición del carrito al iniciar el proceso. Cada uno de los pulsadores debe ser leído por el microcontrolador por lo que el circuito propuesto se muestra en la Figura 38.

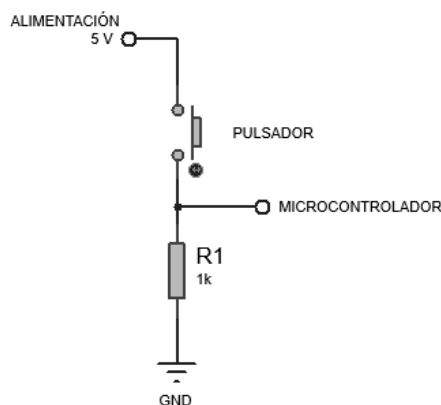


Figura 38. Circuito de control para cada pulsador en Pull down

La Figura 38 representa una configuración de resistencia en Pull down con lo que aseguramos el correcto funcionamiento del pulsador evitando lecturas erróneas del mismo por corrientes parásitas.

2.2.3.4 Pantalla

Para la bomba de infusión es necesario disponer de una interfaz de configuración y control del proceso en cada instante de tiempo, debido a que se requiere de una HMI amigable con el usuario y de fácil programación, se busca en el mercado la mejor opción para lograr este objetivo. Entre los diferentes tipos de pantallas existentes se selecciona la pantalla Nextion, que es una de las mejores

opciones en cuanto a dispositivos HMI por su facilidad de programación en comparación a una pantalla LCD tradicional.



Figura 39. Pantalla Nextion 4.3”

Fuente: (Factory, 2017)

Tabla 44.

Características técnicas pantalla Nextion de 4.3”

Resolución de 480 x 272
Compatible con Raspberry Pi, Arduino, etc.
65k Colores
Pantalla LCD TFT con panel táctil resistivo integrado
Panel inteligente LCD Nextion 4.3 pulgadas
Fácil de conectar con interfaz serial de 4 hilos TTL
16 M de memoria Flash para el código de usuario e imágenes
Alimentación: 5 VDC 250 mA

Fuente: (Factory, 2017)

2.2.3.5 Selección del dispositivo de control

Para la selección del dispositivo de control es necesario tomar en cuenta las principales necesidades que tenemos en el sistema:

Tabla 45.

Requerimientos para el microcontrolador

Requerimientos	Descripción
Al menos 1 pin TX y RX	Para comunicación
Al menos 1 salidas PWM	Para control de resistencias eléctricas
8 salidas digitales (DO)	4 para indicadores y pulsadores
	2 para los fines de carrera
	2 para el paso y dirección del motor
Velocidad del reloj suficiente 16MHz.	

Analizado las alternativas se decide adquirir un arduino uno, debido a que presenta un costo de adquisición bajo y sus características satisfacen las necesidades.

2.2.3.6 Selección de la Fuente de Alimentación

Para seleccionar la fuente de poder verificamos nuevamente los requerimientos del sistema, donde los circuitos utilizados requieren diferentes fuentes de alimentación como son los 110 (VAC) de conexión directa a la toma principal. Para la conexión del motor a pasos es necesario contar con una fuente de 12V a 2 A, el arduino uno debe estar conectado a una fuente de máximo 9 (VDC) 1A, según recomendaciones del fabricante.

Una vez determinadas todas las cargas necesarias del sistema, se busca en el mercado algunas alternativas y se decide por una fuente de poder conmutada de 12 (VDC) a 5A para alimentación del motor a pasos mientras que para el arduino se adquiere una fuente de 9V.

2.3 Diseño por Software

Previo a la construcción de los equipos se realiza el respectivo diseño CAD, el cual permite tener una perspectiva real de cada elemento y una aproximada interacción de su conjunto, lo que ayuda a minimizar el riesgo de falla en la etapa de construcción y ensamble.

Una vez determinados los elementos que se van a utilizar, como son los componentes eléctricos, electrónicos y de control necesarios para el funcionamiento de los equipos, se procede a diseñar cada una de las partes mecánicas de los mismos, ya que se necesita conocer el espacio interno de cada equipo para la disposición de algunos de sus componentes.

2.3.1 Placa Térmica

Una vez realizados los cálculos matemáticos del espesor de aislante térmico se procede a diseñar en software CAD las distintas partes que forman las placas térmicas, mostrando a continuación las principales:

- Base

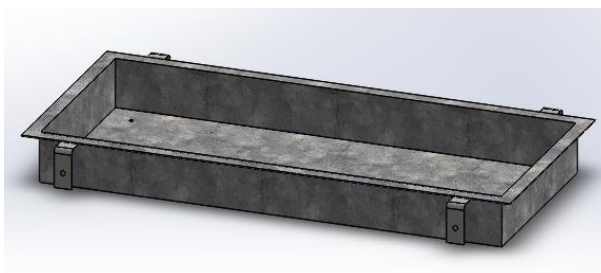


Figura 40. Base de Placas Térmicas

- Aislante Térmico

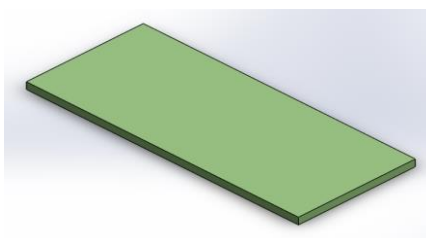


Figura 41. Aislante Térmico

- Cama Térmica

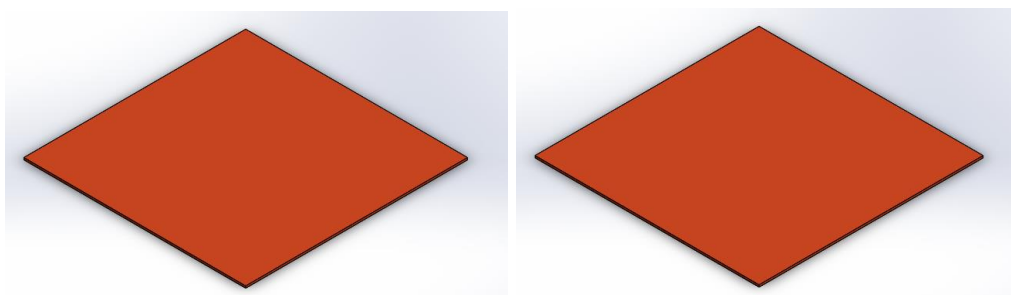


Figura 42. Cama Térmica

- Lámina de división

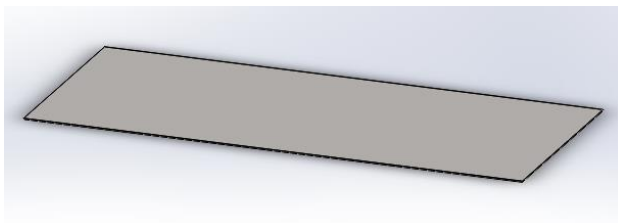


Figura 43. Lámina de división

- Placa de transferencia de calor

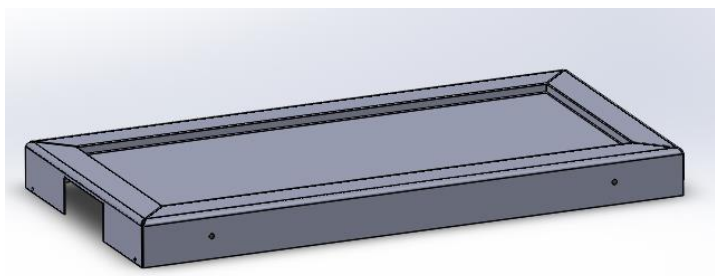


Figura 44. Placa de transferencia de calor

- Porta instrumentos

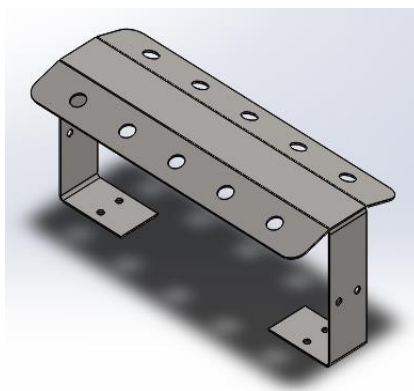


Figura 45. Porta Instrumentos

- Base de porta instrumentos

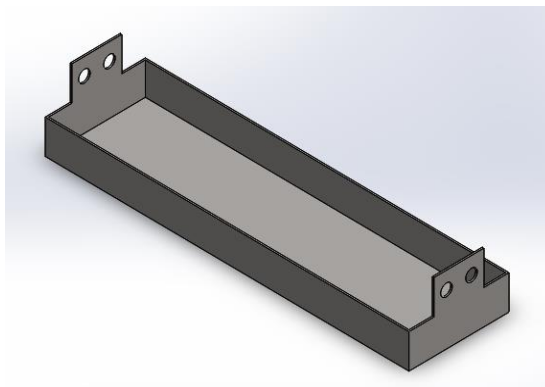


Figura 46. Base de porta Instrumentos

- Caja de circuitos

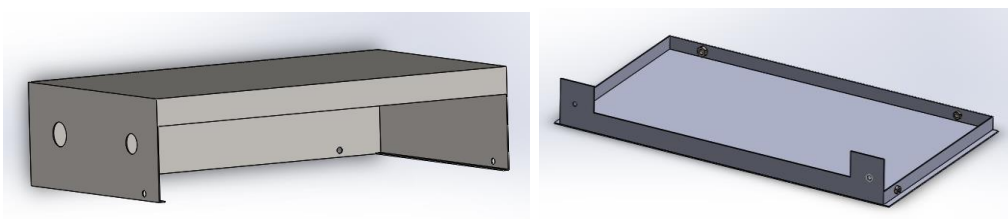


Figura 47. Caja de circuitos

- Ensamble del conjunto

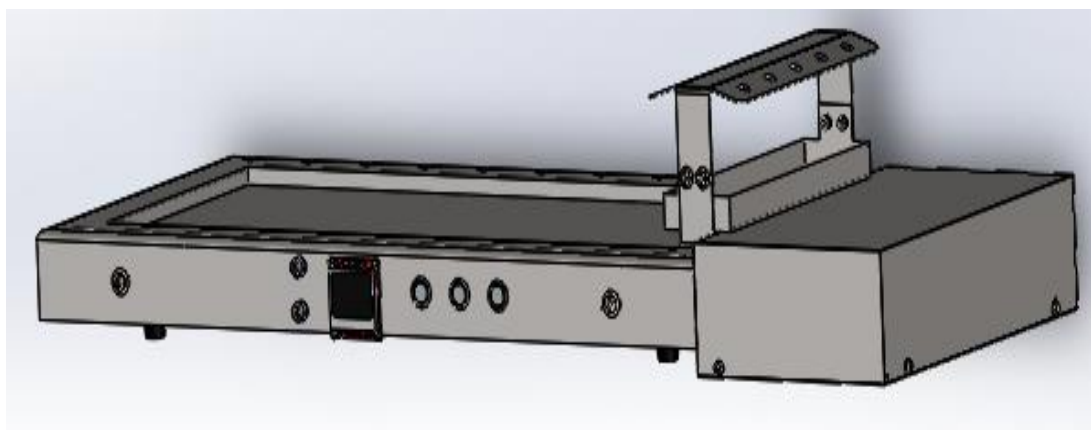


Figura 48. Ensamble del conjunto (ANEXO E PLANOS)

2.3.2 Esterilizador de Instrumentos

Para el diseño del equipo esterilizador de instrumentos se consideró cuatro partes principales las cuales son de suma importancia debido a la funcionalidad y trabajo del equipo, los cuales ya se consideraron y seleccionaron anteriormente, estas son: Chasis Principal, Crisol, Base de circuitos y aislamiento Térmico, mostrados en las siguientes Figuras.

- Chasis principal

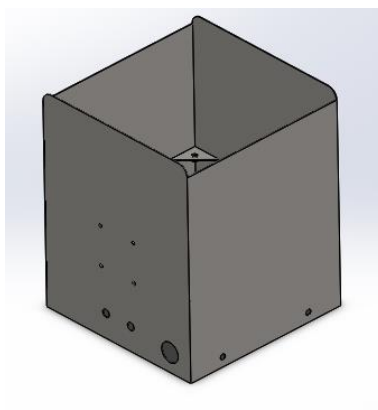


Figura 49. Chasis Principal

- Aislamiento

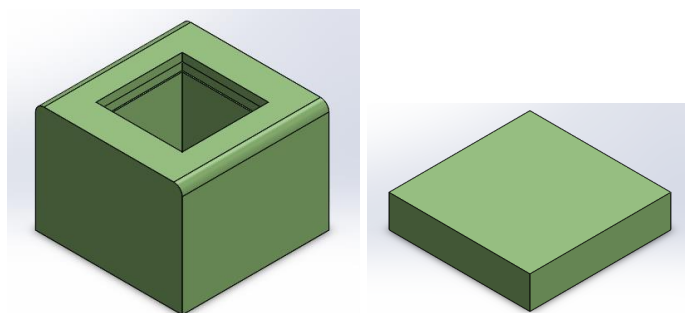


Figura 50. Aislamiento Térmico

- Crisol

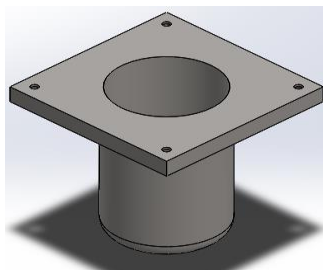


Figura 51. Crisol

- Base de circuitos

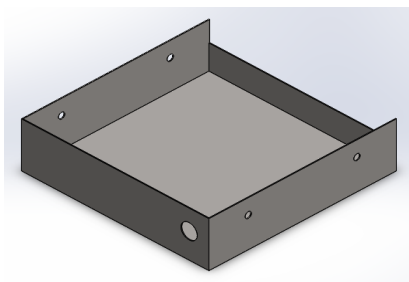


Figura 52. Base de circuitos

- Ensamble del conjunto

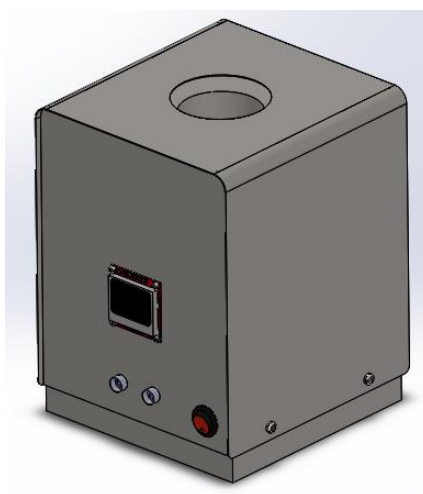


Figura 53. Ensamble del conjunto (ANEXO E PLANOS)

2.3.3 Bomba de Infusión

Este equipo se compone de tres partes metálicas principales, las cuales son Chasis principal, Base de circuitos y Soporte para mecanismo de bolas recirculantes, que cumplen la función de soporte para los elementos electrónicos y mecánicos, también cuenta con cuatro partes de impresión 3D las cuales ayudan al soporte y movimiento de la Jeringa.

- Chasis principal

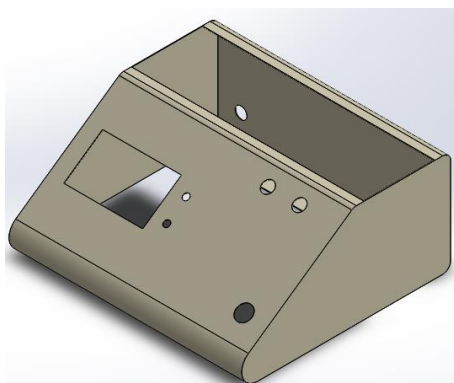


Figura 54. Chasis Principal

- Base de circuitos

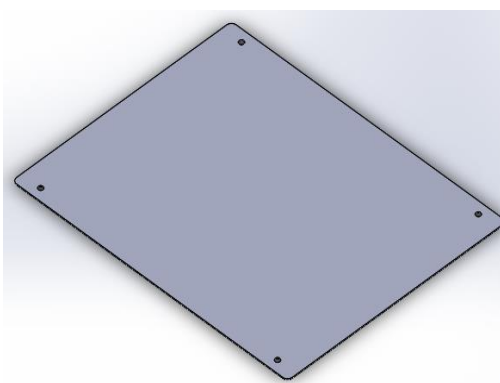


Figura 55. Base de circuitos

- Soporte de Mecanismo

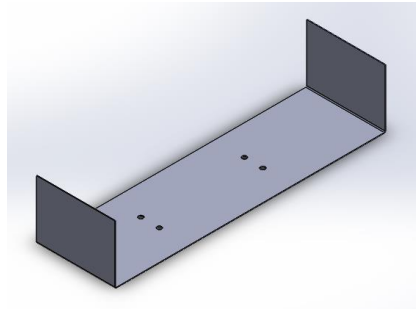


Figura 56. Soporte de Mecanismo

- Pieza de empuje de émbolo

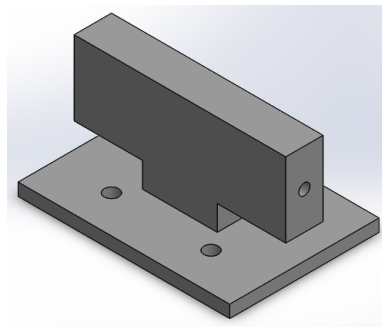


Figura 57. Pieza de empuje de émbolo

- Base de soporte de jeringa

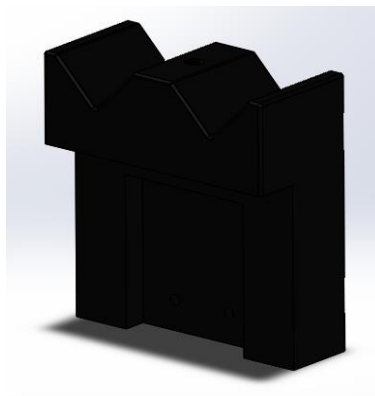


Figura 58. Base de soporte de jeringa

- Lámina de ajuste de jeringa

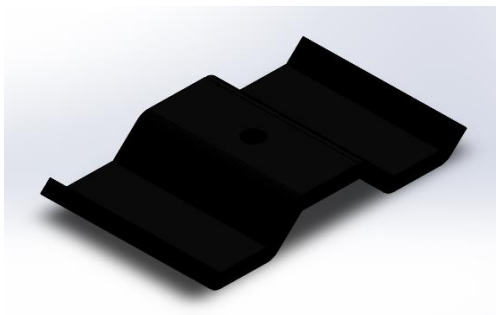


Figura 59. Lámina de ajuste de jeringa

- Lámina de ajuste de émbolo



Figura 60. Lámina de ajuste de émbolo

- Ensamble de conjunto



Figura 61. Ensamble de conjunto (ANEXO E PLANOS)

CAPÍTULO III

3. INGENIERÍA DE DETALLE

Una vez realizado el diseño CAD, ensamble, simulación de cada equipo y verificando que el diseño cumple con las necesidades del usuario, se procede a realizar la construcción de los mismos basándose en los planos mostrados en el ANEXO D.

3.1 Bomba de jeringa

3.1.1 Parte mecánica

Para la fabricación de la Bomba de Jeringa se consideran 2 tipos de manufactura basándose en el tipo de material a ser elaborados: trabajo en chapa metálica e impresión 3D, esta segunda mencionada se opta por la complejidad de manufactura de algunas de sus partes, ya que deben ajustarse a la forma del mecanismo de tornillo de bolas recirculantes, también porque resulta más conveniente realizar su diseño en software CAD e imprimirlas. Por esto para la construcción de la Bomba de Jeringa se consideró los siguientes procesos, mostrados en la Figura 62.

A continuación se detalla cada uno de los procesos de Manufactura de las partes metálicas mencionados en la tabla anterior, estos procesos involucran a los tres equipos por lo que solo se mencionará en este apartado:

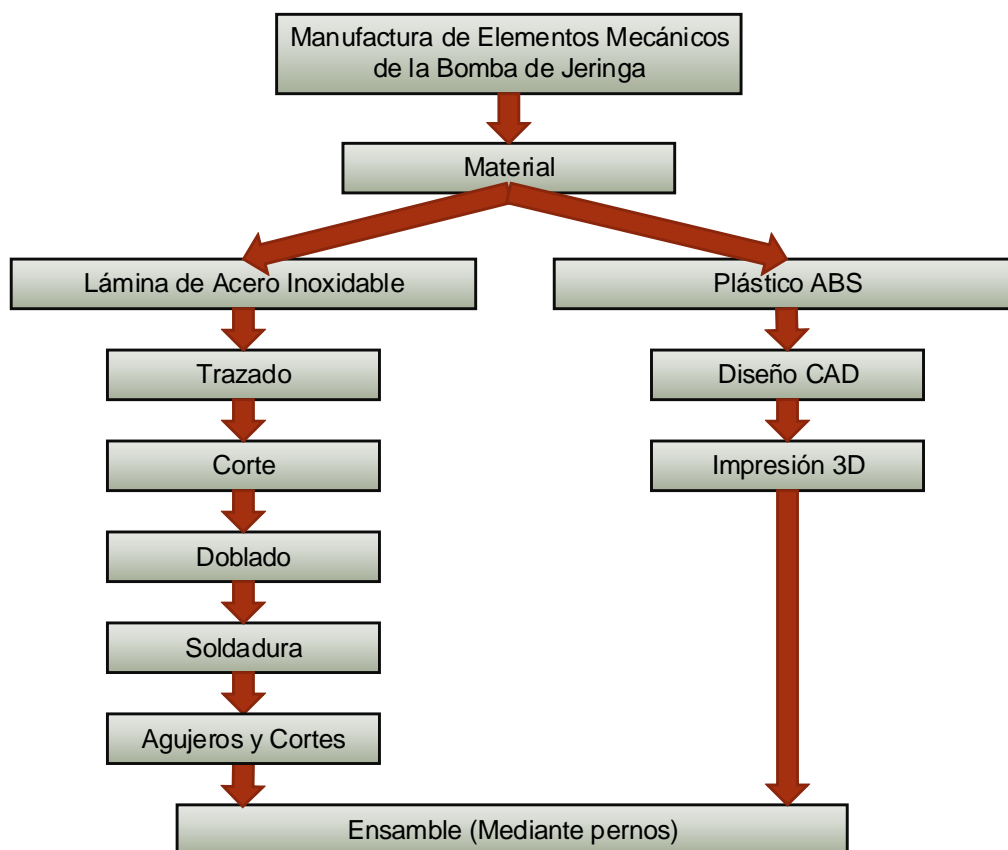


Figura 62. Proceso de manufactura para la Bomba de Jeringa según el material de fabricación



Figura 63. Ensamble de Bomba de jeringa

- **Trazado:** En esta etapa se procede a dibujar en la chapa metálica la figura desplegada de cada una de las partes que conforman los equipos, según las dimensiones mostradas en los planos de diseño. (ANEXOS D)



Figura 64. Trazo en chapa metálica

- **Corte:** Con la herramienta de cizalla se procede a efectuar los cortes de los trazos realizados.



Figura 65. Corte de chapa metálica

- **Doblado:** Este proceso se realiza en la dobladora de chapa metálica y se realizan los dobleces según los ángulos que correspondan a cada pieza.



Figura 66. Doblado de chapa metálica

- **Soldadura:** Algunos componentes de los equipos por complejidad del diseño han sido divididas en varias partes, para posteriormente mediante soldadura formar la pieza compleja.

Los tipos de soldadura utilizadas son:

- **Soldadura GTAW (del inglés gas tungsten arc welding):** el cual se utiliza debido a la necesidad de unir las partes, con material de aporte de las mismas características de cada componente, que en este caso fue acero inoxidable AISI 304 y AISI 430, además que este tipo de soldadura proporciona ciertas ventajas, como generar un cordón más resistentes con espesores más finos y gracias a su protección de gas impide el contacto entre el oxígeno del ambiente y el baño de fusión lo que ayuda a que sea menos sensible a la oxidación.



Figura 67. Soldadura GTAW

- **Soldadura por Puntos:** Utiliza el método de resistencia eléctrica, este tipo de soldadura se utiliza porque es ideal para trabajos en chapa metálica ya que al poner en contacto 2 caras del material y mediante presión de los electrodos se genera una temperatura producida por la oposición al paso de corriente eléctrica, la cual llega al punto de fusión del material y de esta manera une las 2 partes sin material de aporte.



Figura 68. Máquina soldadora por puntos

- **Taladrado y corte:** Una vez finalizado los procesos anteriores se procede a realizar los agujeros y cortes en los equipos, de acuerdo al diseño realizado para el ensamble entre sus partes, para este proceso se utilizaron herramientas como taladro de mano, taladro de mesa y amoladora con disco de corte.



Figura 69. Procesos efectuados de Taladrado y Corte

- **Sujetadores Mecánicos:** Para el ensamble de los equipos se adquiere pernos, tuercas y arandelas de acero inoxidable AISI 316 de diversas medidas, basadas en el sistema métrico, cuyas especificaciones se muestran en los planos de ensamble (ANEXOS D).



Figura 70. Sujetadores mecánicos para ensamble de equipos

3.1.2 Parte Electrónica

En el capítulo anterior de Diseño electrónico se realizó todos los cálculos requeridos de los circuitos que se van a implementar en la Bomba de infusión, por lo que se procede a diseñar las placas PCB, para posteriormente imprimirlas y soldar los elementos electrónicos correspondientes. Ver Figuras 71 y 72.

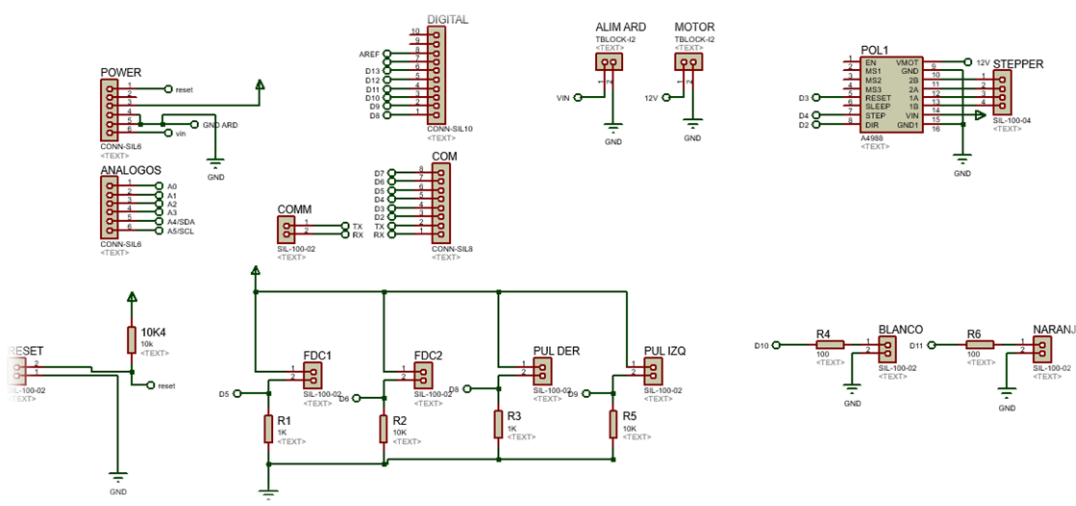


Figura 71. Diseño del circuito electrónico de la Bomba de Jeringa

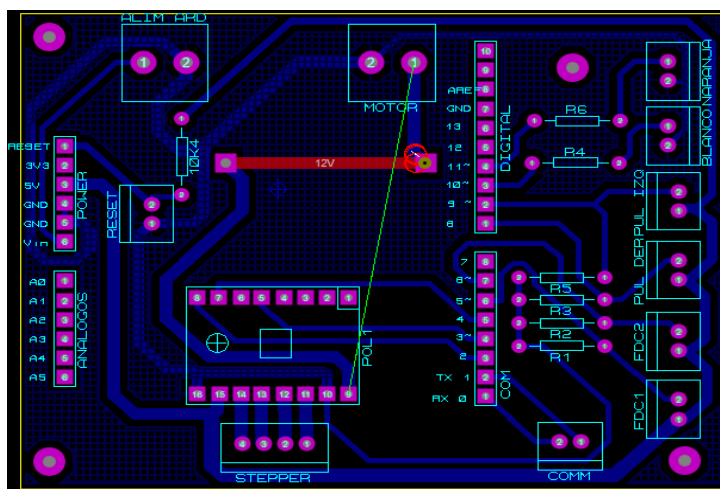


Figura 72. Diseño de la placa PCB de la Bomba de Jeringa

3.2 Esterilizador de Instrumentos

3.2.1 Parte Mecánica

Para la construcción del Equipo esterilizador de instrumentos, ya que se trabaja solo con piezas elaboradas con chapa metálica, se toma en consideración los distintos procesos de manufactura para la mayoría de sus partes, mostrados en la Figura 73.

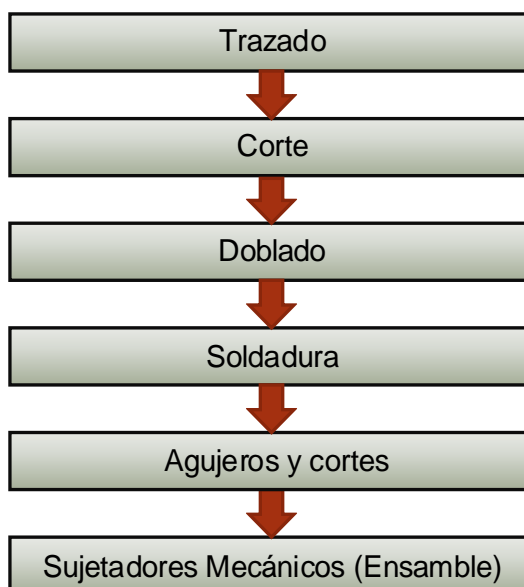


Figura 73. Proceso de manufactura para esterilizador de instrumentos



Figura 74. Ensamble del esterilizador de instrumentos

3.2.1 Parte Electrónica

En el capítulo anterior de Diseño electrónico se realizó la selección de los circuitos que se van a implementar en el esterilizador de instrumentos, por lo que se procede a diseñar las placas PCB, para posteriormente imprimirlas y soldar los elementos electrónicos correspondientes. Ver Figuras 75 y 76.

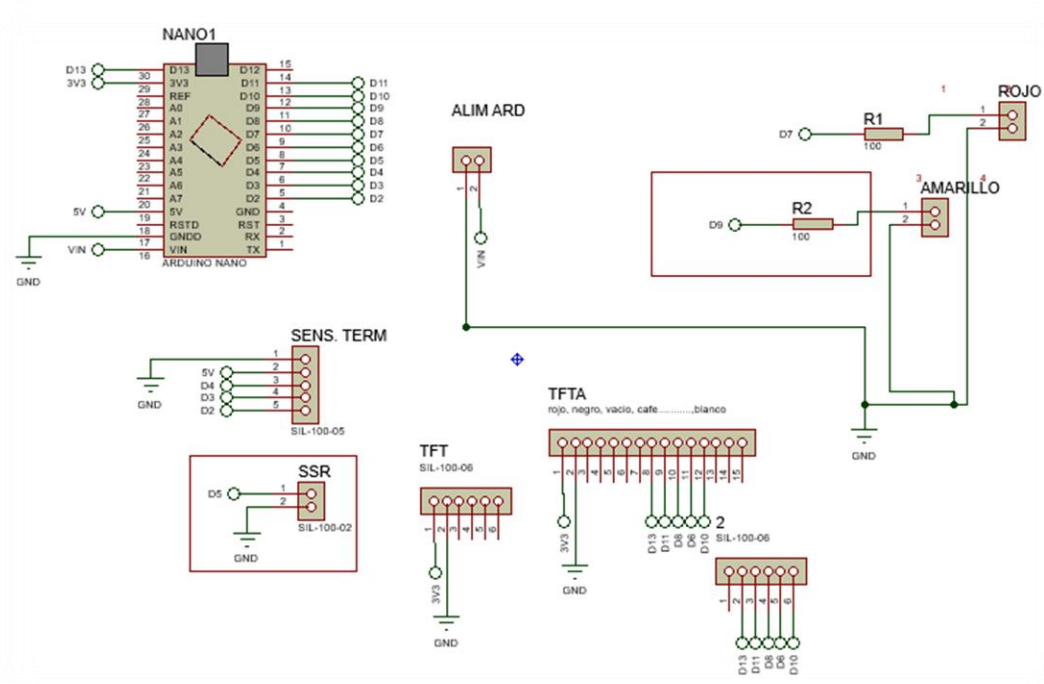


Figura 75. Diseño del circuito electrónico del esterilizador de instrumentos

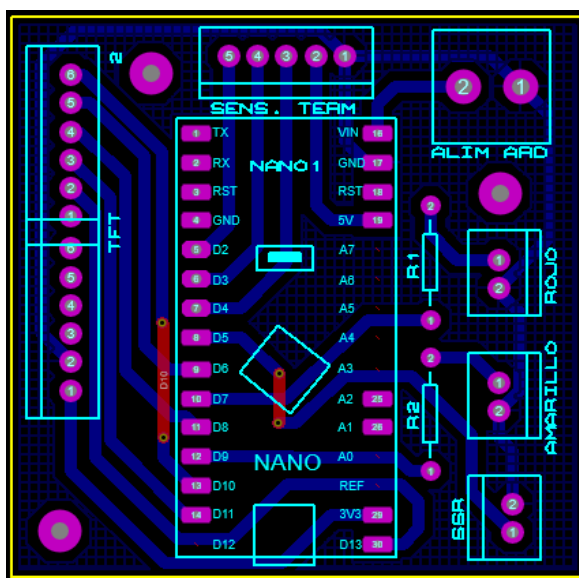


Figura 76. Diseño de la placa PCB del esterilizador de instrumentos

3.3 Placa Térmica

3.3.1 Parte Mecánica

Para la fabricación de las placas térmicas en el diseño se consideró que el equipo se conformaría por varias partes, las cuales van a ser elaboradas en chapa metálica y sigue el mismo proceso manufactura que se mostró en la Figura 73.



Figura 77. Ensamblaje de Placas Térmicas

3.3.2 Parte Electrónica

En el capítulo anterior de Diseño electrónico se realizó todos los cálculos requeridos de los circuitos que se van a implementar en la placa térmica, por lo que se procede a diseñar las placas PCB, para posteriormente imprimirlas y soldar los elementos electrónicos correspondientes. Ver Figuras 78 y 79.

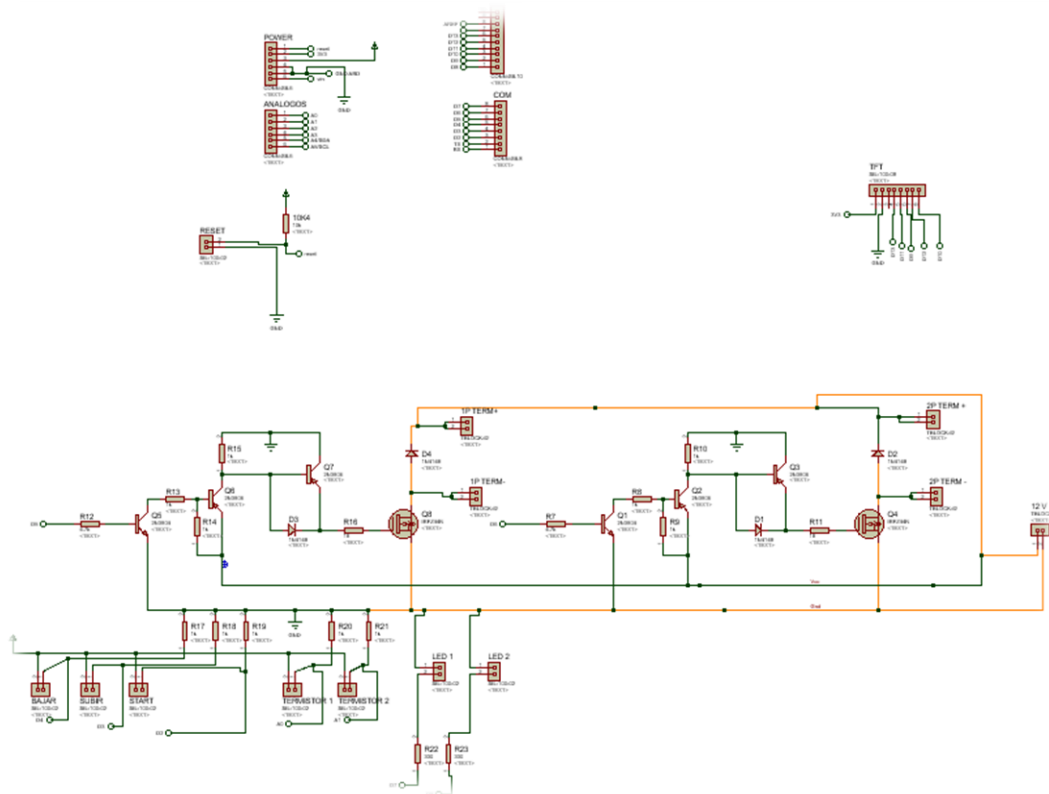


Figura 78. Diseño del circuito electrónico de la placa térmica

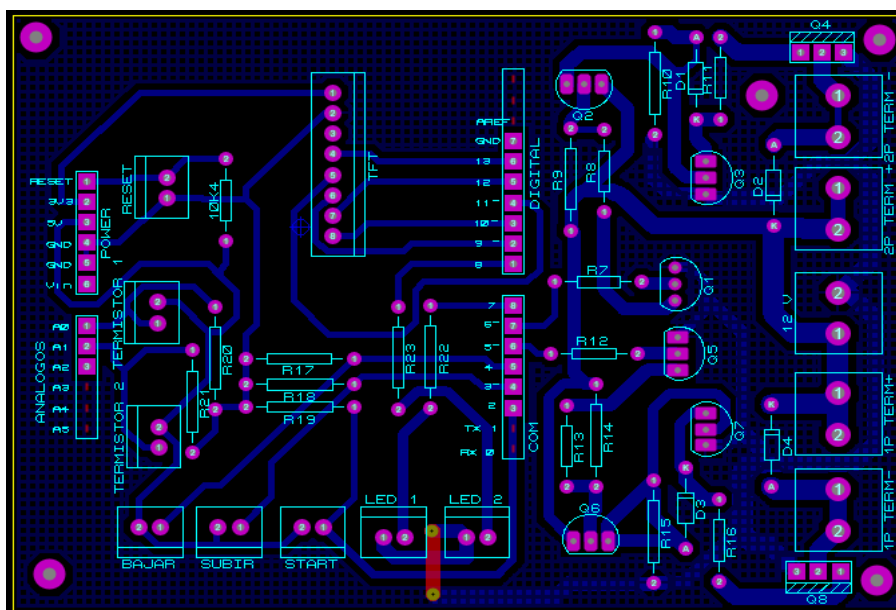


Figura 79. Diseño de la placa PCB de la placa térmica

CAPÍTULO IV

4. DISEÑO DE LOS CONTROLADORES

4.1 Esterilizador

4.1.1 Parámetros de diseño del controlador

- Temperatura deseada 250°C.
- Error máximo de +/- 15°C.
- Tiempo en llegar a la temperatura deseada <20min.

4.1.2 Cálculo de la planta del esterilizador

Para obtener el modelo matemático del control de temperatura del sistema, se considera como variable de entrada la potencia eléctrica de la resistencia de 1000 Watts al 25% debido a que a partir de este valor se obtiene una planta aproximada al comportamiento real de un sistema térmico, además que a esta potencia se obtiene una temperatura alrededor de 300°C lo que satisface los requerimientos y evita daños en el equipo. Como variable de salida la temperatura en cada instante de tiempo tomando como tiempo de muestreo $T_m=1$ s.

Se usa el método de identificación de MATLAB para obtener el diseño de la planta, por lo cual se requiere de la toma de datos reales de la planta en el tiempo hasta su estabilización.

Una vez obtenidos los datos se procede a utilizar la herramienta “ident” la cual nos ayuda en la identificación de modelo matemático de un sistema dinámico (Planta $G_p(s)$).

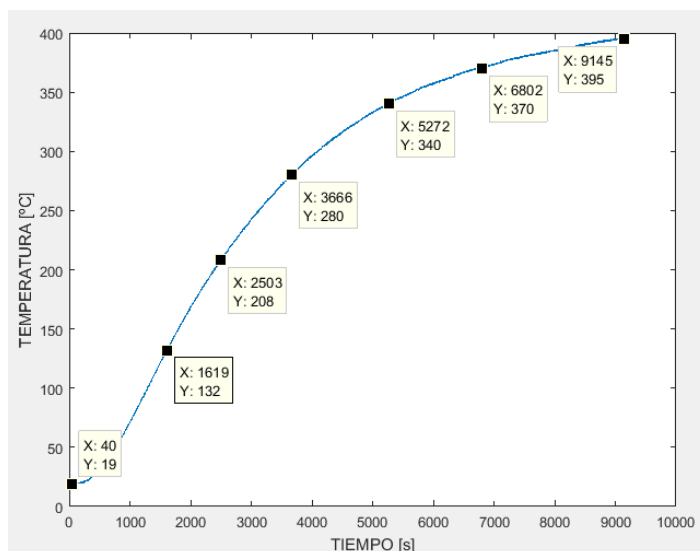


Figura 80. Grafica de toma de muestras en el tiempo con el 25% de la máxima potencia del actuador del esterilizador (Matlab)

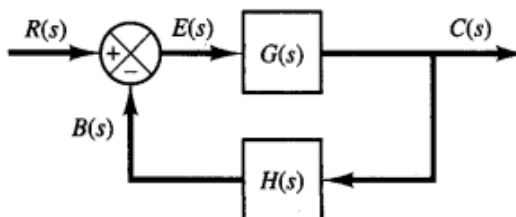


Figura 81. Sistema de control en lazo cerrado de un sistema dinámico.

Fuente: (Loma, 2014)

Tabla 46.

Simbología del modelo matemático de un sistema dinámico.

$R(s)$	Entrada de referencia
$Gp(s)$	FT de la planta a modelar
$C(s)$	Salida del sistema
$H(s)$	Sensor
$B(s)$	Señal de realimentación
$E(s)$	Señal de error

Se importa los datos de las variables de entrada y salida obtenidos del sistema con los parámetros anteriormente mencionados.

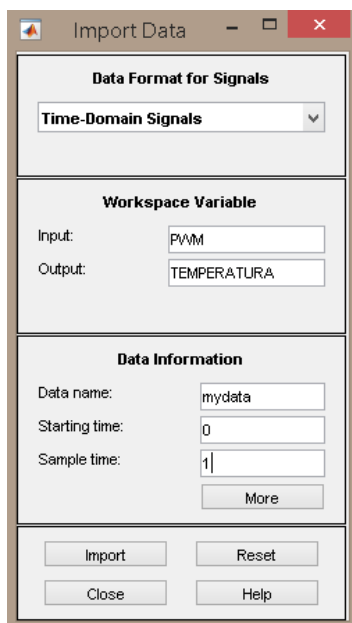


Figura 82. Ingreso de datos a las variables de ident de Matlab para el esterilizador.

Ingresadas las variables de entrada y salida se procede a estimar un modelo matemático de planta que se ajuste al comportamiento real del sistema.

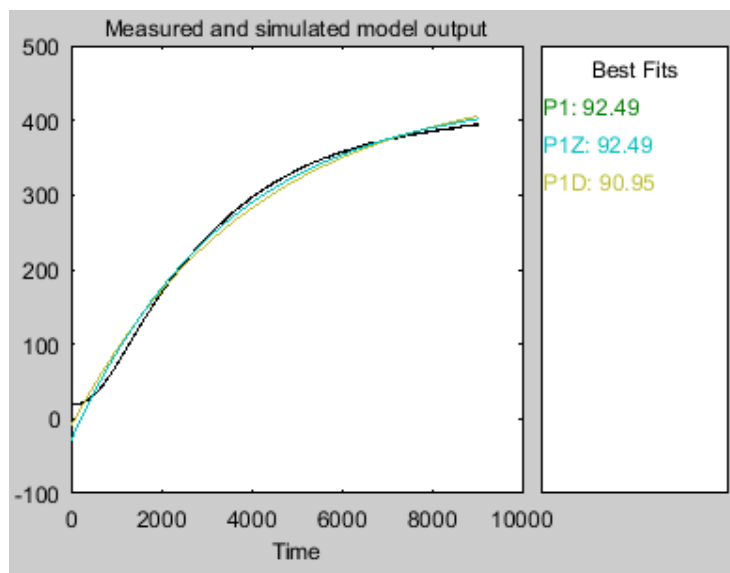


Figura 83. Funciones de transferencia obtenidas del sistema del esterilizador.

En la figura 83 se obtienen diferentes curvas estimadas de la función de transferencia, se elige la función que más similitud tiene a la toma de datos real,

considerando que entre mayor sea el número de polos y ceros un sistema se vuelve más difícil de controlar. Se elige la función de transferencia PID que tiene una aproximación del 90.95%, debido a que la misma presenta un retardo en su ecuación lo cual la aproxima mucho más a la realidad de un sistema térmico como se muestra en la ecuación 4.1:

$$Gp(s) = e^{-Ls} \frac{1}{Cs+KT} \quad (4.1)$$

Tabla 47.

Simbología de una planta térmica.

<i>L</i>	Tiempo de retardo
<i>C</i>	Capacidad térmica
<i>KT</i>	Coeficiente

Establecido este criterio se obtiene la siguiente función de transferencia de PID.

Model name: P1D

Color: [0,0,1]

Process model with transfer function:

$$G(s) = \frac{Kp}{1+Tp1*s} * \exp(-Td*s)$$

Kp = 7.1246
 Tp1 = 4058.4
 Td = 30

Figura 84. Obtención de la planta del sistema.

$$Gp(s) = e^{-30s} \frac{7.1246}{1 + 4058.4 s}$$

Debido a que el sistema térmico obtenido presenta un retardo de respuesta de la forma e^{-Ls} , su función de transferencia se vuelve un poco difícil de analizar. Para

mejorar su análisis se utiliza la aproximación de Pade con el objetivo de simplificar la identificación, análisis y diseño de controlador.

```
s = tf('s');
sys = exp(-30*s);
sysx = pade(sys,1)
gpplanta=tf([0 7.1246],[4058.4 1])
gpplantaretardo=series(sysx,gpplanta)

sysx =

    -s + 0.06667
    -----
     s + 0.06667

Continuous-time transfer function.

gpplanta =

     7.125
    -----
   4058 s + 1

Continuous-time transfer function.

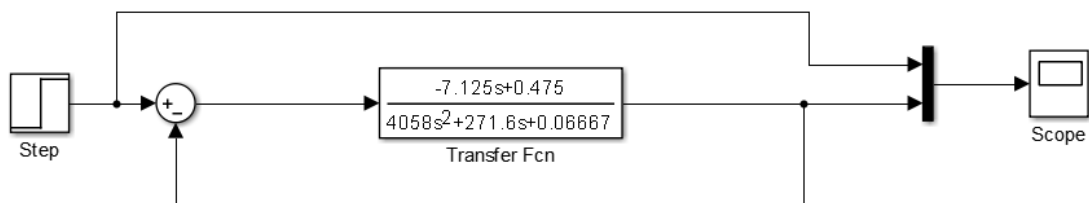
gpplantaretardo =

    -7.125 s + 0.475
    -----
   4058 s^2 + 271.6 s + 0.06667

Continuous-time transfer function.
```

Se logra tener una aproximación de la planta en segundo orden de la forma:

$$Gp(s) = \frac{-7.125 s + 0.475}{4058 s^2 + 271.6 s + 0.06667}$$



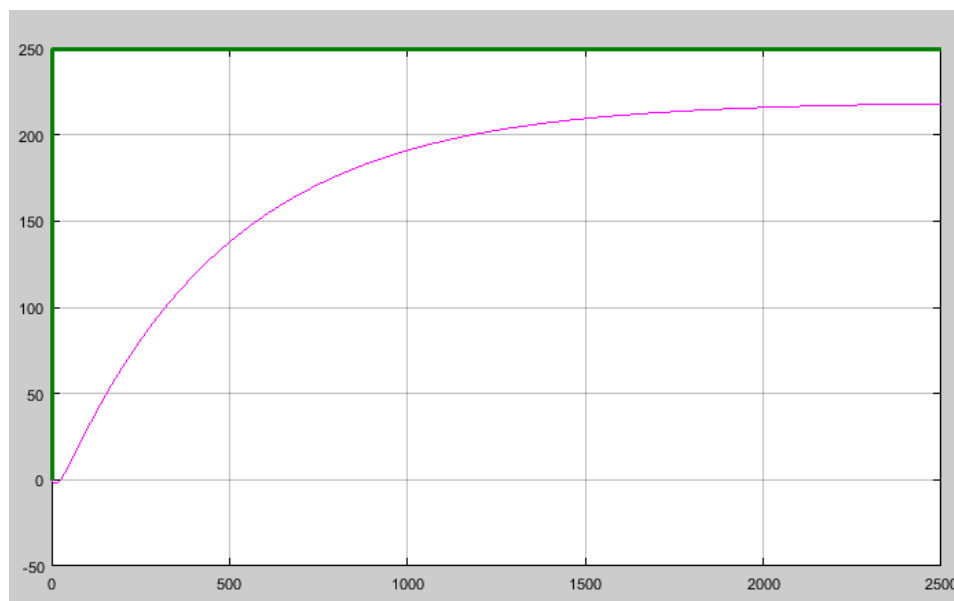


Figura 85. Función de transferencia con retroalimentación del esterilizador en Simulink (Matlab).

4.1.3 Cálculo del controlador para el esterilizador

Para lograr obtener una aproximación mucho más real de las constantes del PID, se usa la herramienta de Matlab “PID TUNER”, el cual nos ayuda a sintonizar de mejor manera el controlador, con lo cual se podrá cumplir con los requerimientos planteados del sistema.

Debido a que la planta no dispone de un sistema de refrigeración una consideración a tener en cuenta, es que el diseño del controlador debe permitir una salida de la forma sobreamortiguada lo cual evitará tener sobrepicos que afecten su control.

Utilizando el PID TUNER se sintoniza el controlador, con criterios de diseño para obtener la respuesta más adecuada:

Tabla 48.

Efecto que causa k_p , k_i y k_d en un sistema

RESPUESTA	TIEMPO DE RESPUESTA	SOBREPICO	TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN	ERROR ESTADO ESTABLE
K_p	Disminuye	Aumenta	Poco Influencia	Disminuye
K_i	Disminuye	Aumenta	Aumenta	Elimina
K_d	Poco Influencia	Disminuye	Disminuye	Poco Influencia

kp:

- Se disminuye el error en estado estable.
- El sistema se vuelve más rápido en su respuesta.

ki bajo:

- Mientras más pequeño es ki se elimina el error en estado estable.
- Al tener un ki bajo se disminuye el sobrepico, y tiempo de estabilización.

Kd alto:

- Se logra un tiempo de estabilización mucho menor.
- Mejora el amortiguamiento del sistema lo cual evita la existencia de sobrepicos.

Aunque al actuar conjuntamente puede cambiar el comportamiento de estas variables se toma como referencia la tabla 48, para obtener el mejor diseño de controlador de la respuesta obtenida del sistema con retroalimentación.

Utilizando estos conceptos se procede a sintonizar el controlador, obteniendo los siguientes valores:

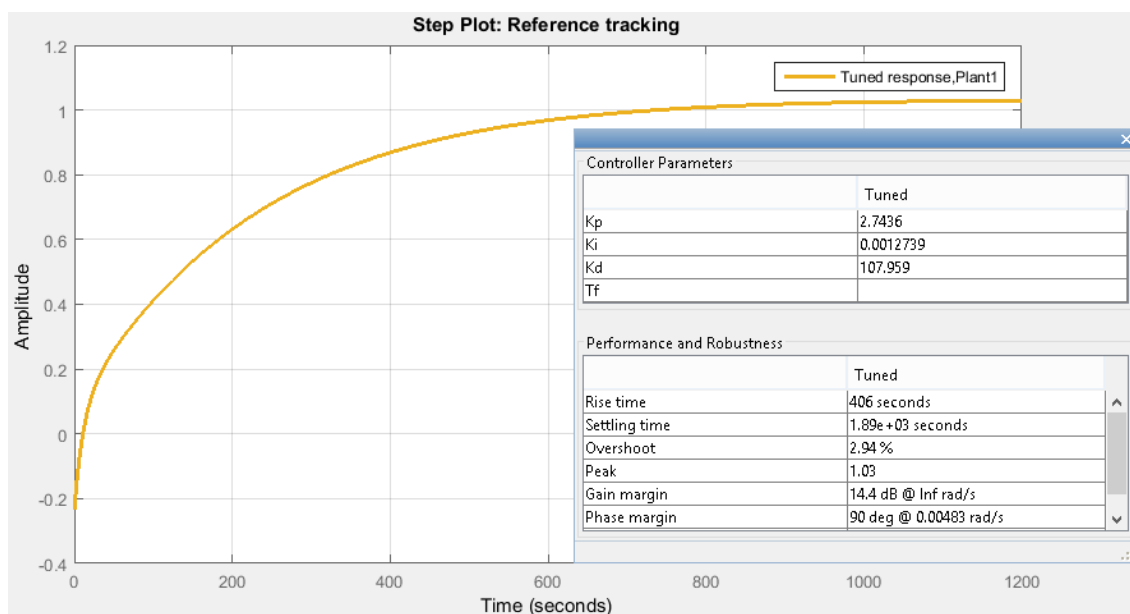


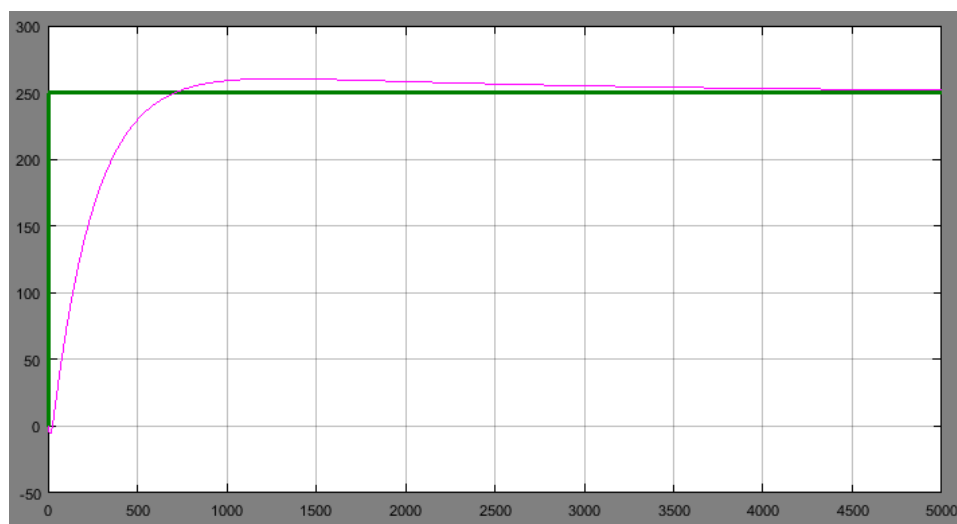
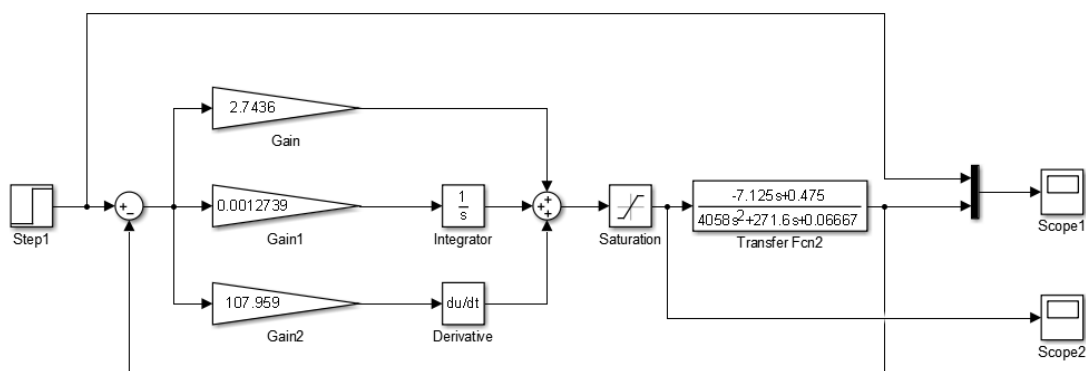
Figura 86. Gráfica del controlador de la planta para el esterilizador en PID Tuner (Matlab)

$$K_p=2.7436$$

$$K_i=0.0012739$$

$$K_d=107.959$$

Obtenidos los valores y para ser más precisos en la respuesta se procede a crear un bloque del sistema en Simulink, representando el lazo de control cerrado con la temperatura deseada en este caso 250°C, adicional es necesario colocar límites físicos al actuador mediante un saturador de 0 a 255 de pwm para lograr obtener un sistema real.



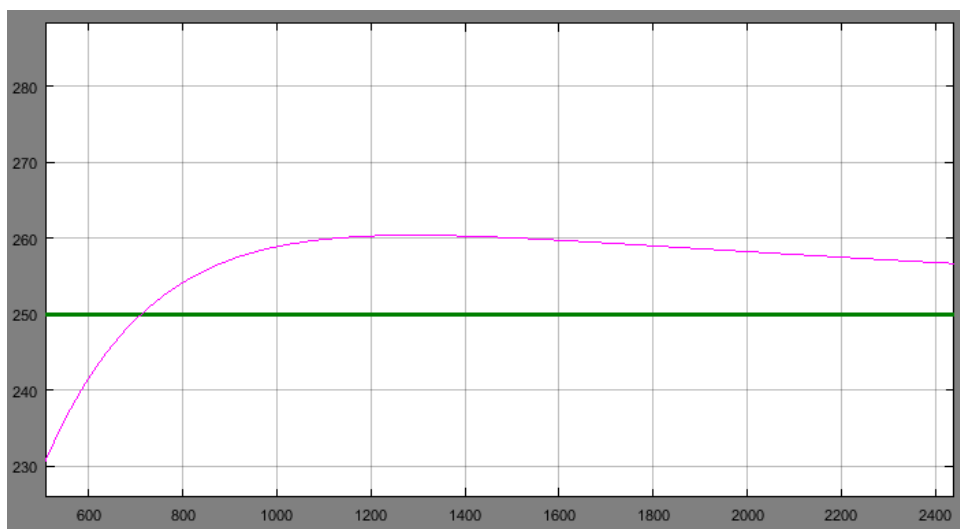


Figura 87. Respuesta del sistema con saturación del esterilizador en Simulink (Matlab)

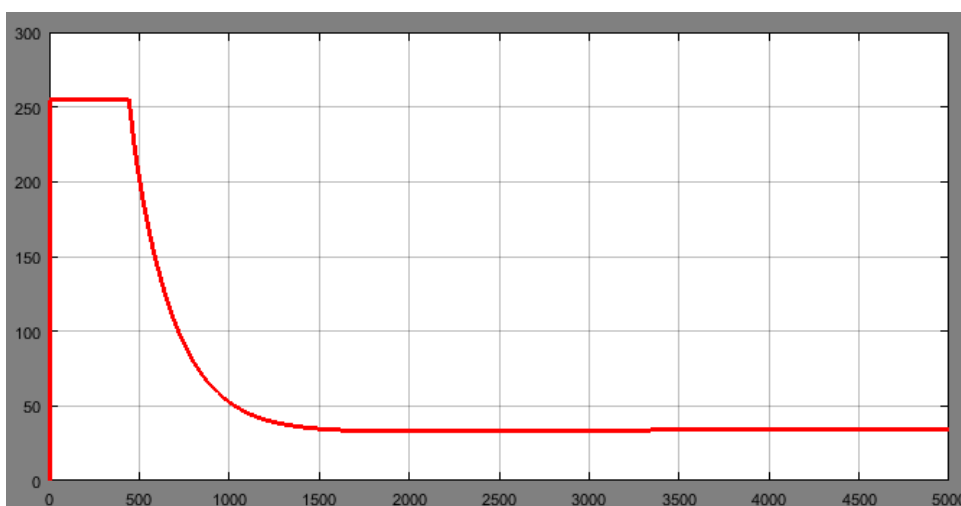


Figura 88. Comportamiento de la señal de control con saturación del esterilizador en Simulink (Matlab)

Analizando la respuesta del sistema al controlador se puede decir que el sistema cumple con los requerimientos planteados, con un error del 4.4% (11°C), el tiempo en llegar a la temperatura de 250°C es de 13 min.

4.2 Placas térmicas

4.2.1 Parámetros de diseño del controlador

- Temperatura deseada variable entre 20°C – 40°C.
- Error máximo de +/- 1°C.
- Tiempo en llegar a la temperatura deseada <3min.

4.2.2 Cálculo de la planta de las placas térmicas

Para obtener el modelo matemático del control de temperatura del sistema, se considera como variable de entrada la potencia eléctrica de la resistencia de 110 Watts al 60% valor suficiente para obtener el comportamiento real del sistema. Como variable de salida la temperatura en cada instante de tiempo tomando como tiempo de muestreo $T_m=1$ s.

Se usa el método de identificación de MATLAB para obtener el diseño de la planta, por lo cual se requiere de la toma de datos reales de la planta en el tiempo hasta su estabilización.

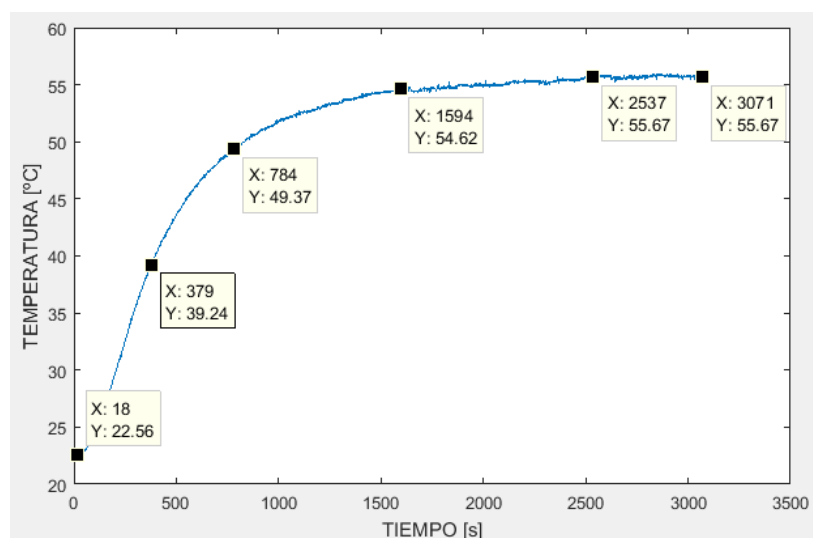


Figura 89. Grafica de toma de muestras en el tiempo con el 60% de la máxima potencia del actuador

Una vez obtenidos los datos se procede a utilizar la herramienta “ident” la cual nos ayuda en la identificación de modelo matemático de un sistema dinámico.

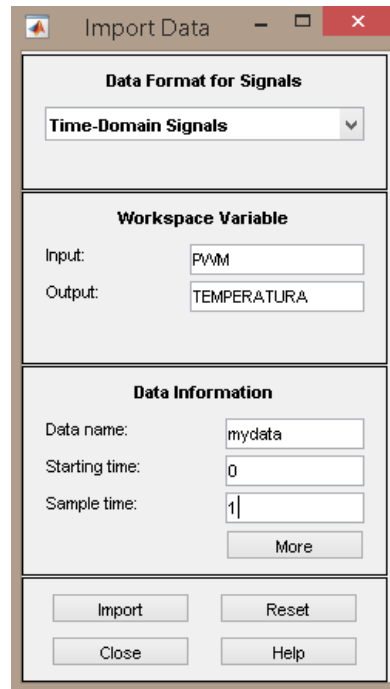


Figura 90. Ingreso de datos a las variables de ident de Matlab para las placas térmicas.

Ingresadas las variables de entrada y salida se procede a estimar un modelo matemático de planta que se ajuste al comportamiento real del sistema.

En la figura 91 se obtienen diferentes curvas estimadas de la función de transferencia, se elige la función que más similitud tiene a la toma de datos real, considerando que entre mayor sea el número de polos y ceros un sistema se vuelve más difícil de controlar. Se elige la función de transferencia P1D que tiene una aproximación del 93.95%, debido a que la misma presenta un retardo en su ecuación lo cual la aproxima mucho más a la realidad de un sistema térmico.

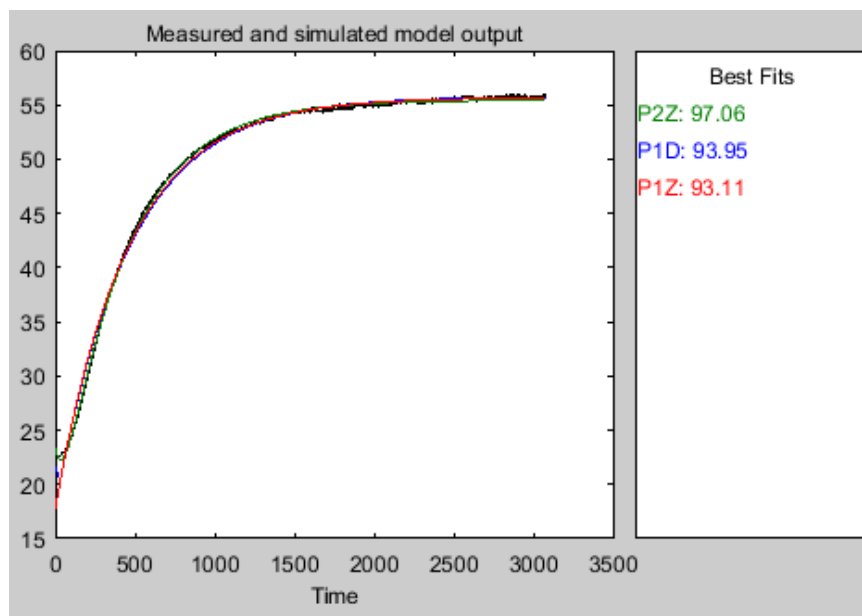


Figura 91. Funciones de transferencia obtenidas del sistema de placas térmicas.

Determinado esto se obtiene la siguiente función de transferencia de P1D.

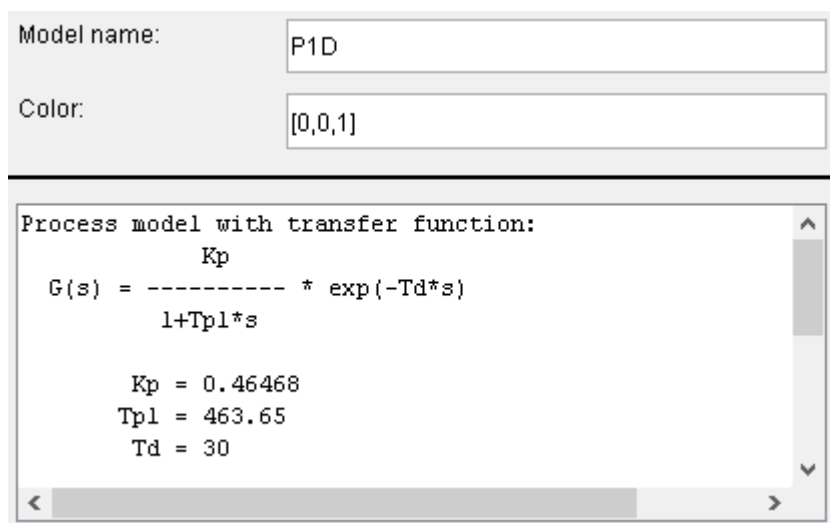


Figura 92. Obtención de la planta del sistema de las placas térmicas

$$G_p(s) = e^{-30s} \frac{0.46468}{1 + 463.65 s}$$

Debido a que el sistema térmico obtenido presenta un retardo de respuesta de la forma e^{-Ls} , su función de transferencia se vuelve un poco difícil de analizar, para mejorar su análisis se utiliza la aproximación de Pade con el objetivo de simplificar la identificación, análisis y diseño de controlador.

```
>> s = tf('s');
sys = exp(-30*s);
sysx = pade(sys,1)
gpplanta=tf([0 0.46468],[463.65 1])
gpplantaretardo=series(sysx,gpplanta)

sysx =

      -s + 0.06667
      -----
       s + 0.06667

Continuous-time transfer function.

gpplanta =

      0.4647
      -----
    463.6 s + 1

Continuous-time transfer function.

gpplantaretardo =

      -0.4647 s + 0.03098
      -----
    463.6 s^2 + 31.91 s + 0.06667

Continuous-time transfer function.
```

Se logra tener una aproximación de la planta en segundo orden de la forma:

$$Gp(s) = \frac{-0.4647 s + 0.03098}{463.6 s^2 + 31.91 s + 0.06667}$$

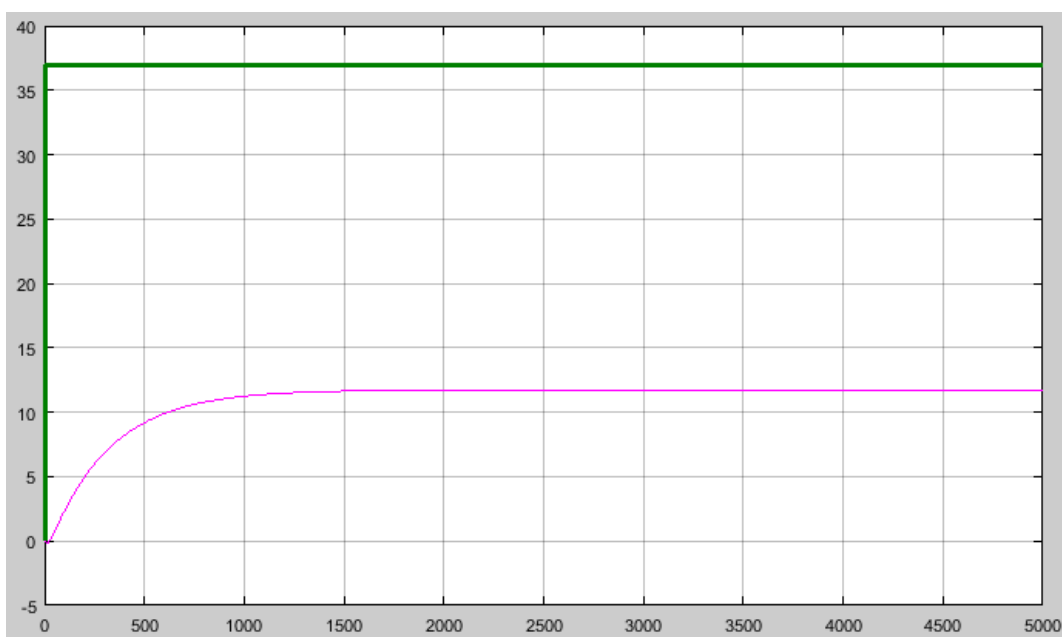
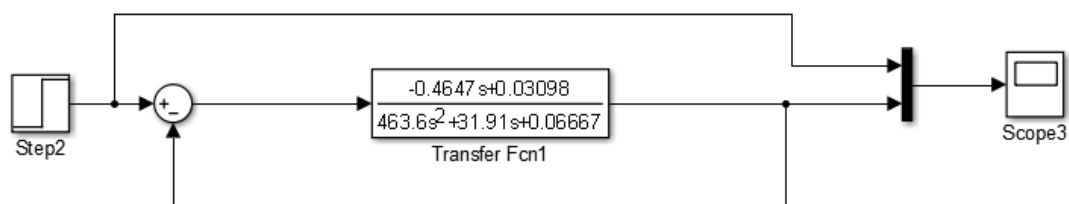


Figura 93. Función de transferencia con retroalimentación de las placas térmicas en Simulink (Matlab)

4.2.3 Cálculo del controlador para las placas térmicas

Para lograr obtener una aproximación mucho más real de las constantes del PID, se usa la herramienta de Matlab “PID TUNER”, el cual nos ayuda a sintonizar de mejor manera el controlador, con lo cual se podrá cumplir con los requerimientos planteados del sistema.

Utilizando los mismos conceptos que el diseño del controlador para el esterilizador se procede a sintonizar el controlador, obteniendo los siguientes valores:

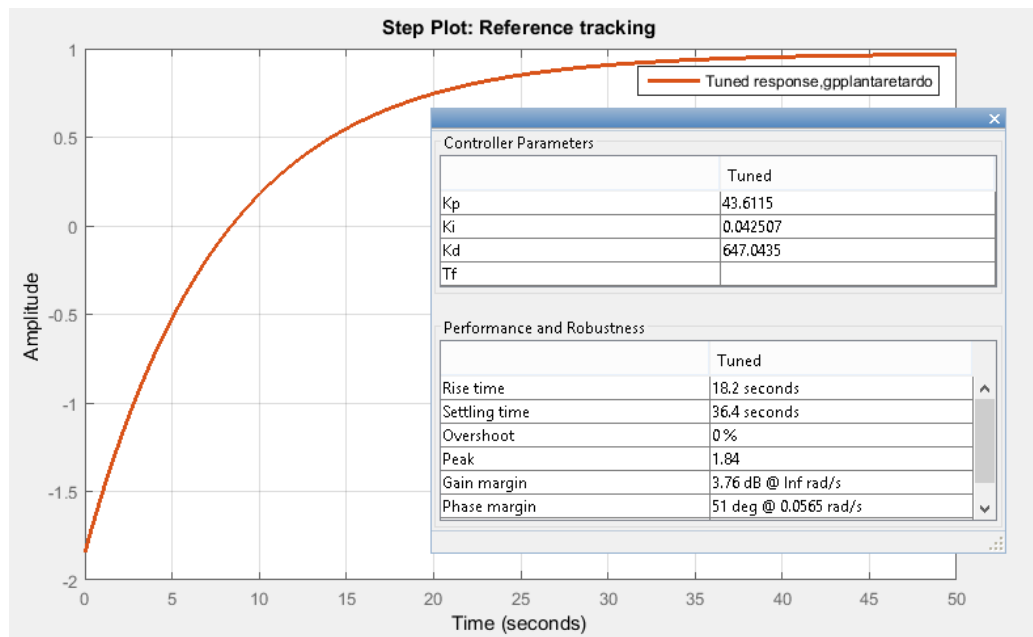


Figura 94. Gráfica del controlador de la planta para las placas térmicas en PID Tuner (Matlab)

$$K_p=43.6115$$

$$K_i=0.042507$$

$$K_d=647.0435$$

Obtenidos los valores y para ser más precisos en la respuesta se procede a crear un bloque del sistema en Simulink, representando el lazo de control cerrado con la temperatura deseada en este caso 37°C, adicional es necesario colocar límites físicos al actuador mediante un saturador de 0 a 255 de pwm para lograr obtener un sistema real.

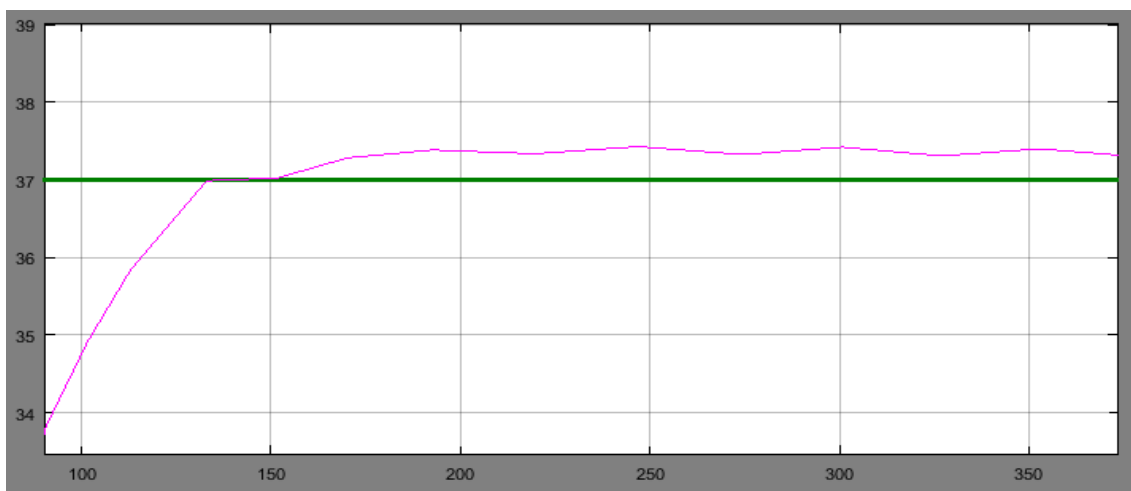
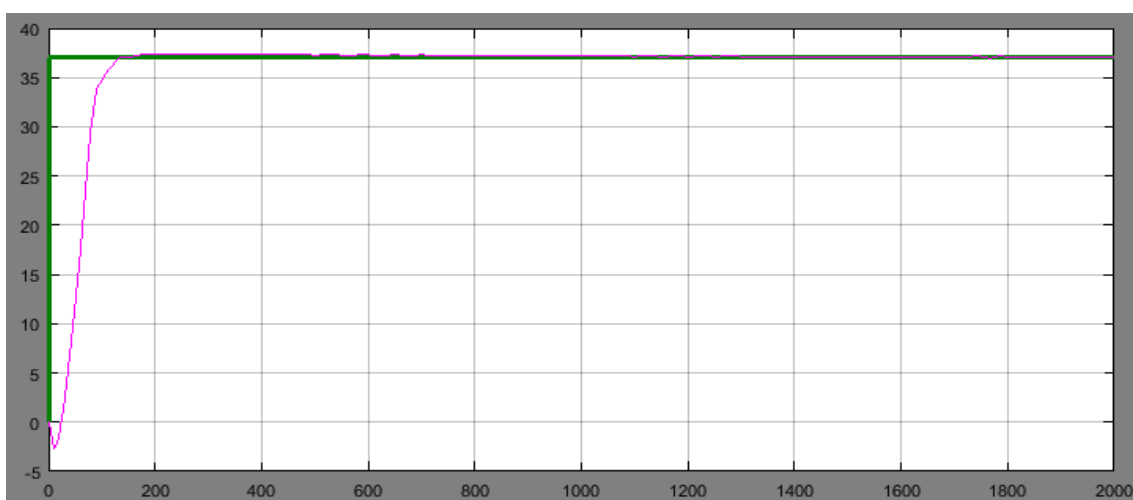
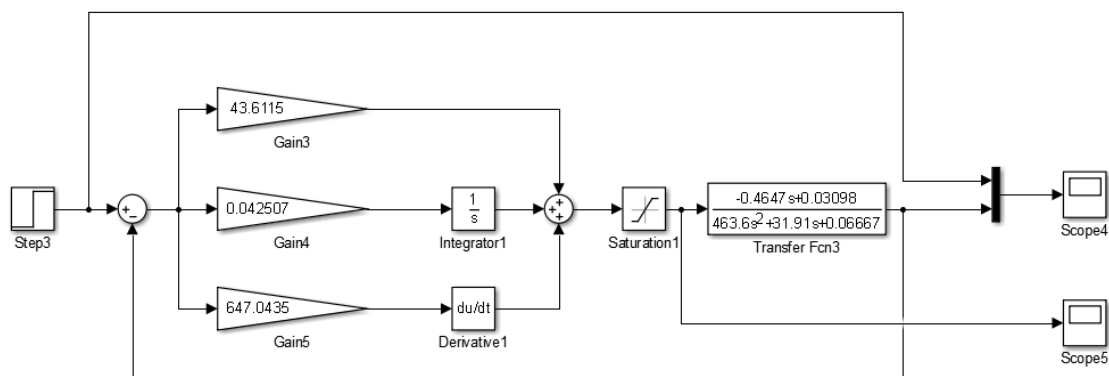


Figura 95. Respuesta del sistema con saturación de las placas térmicas en Simulink (Matlab)

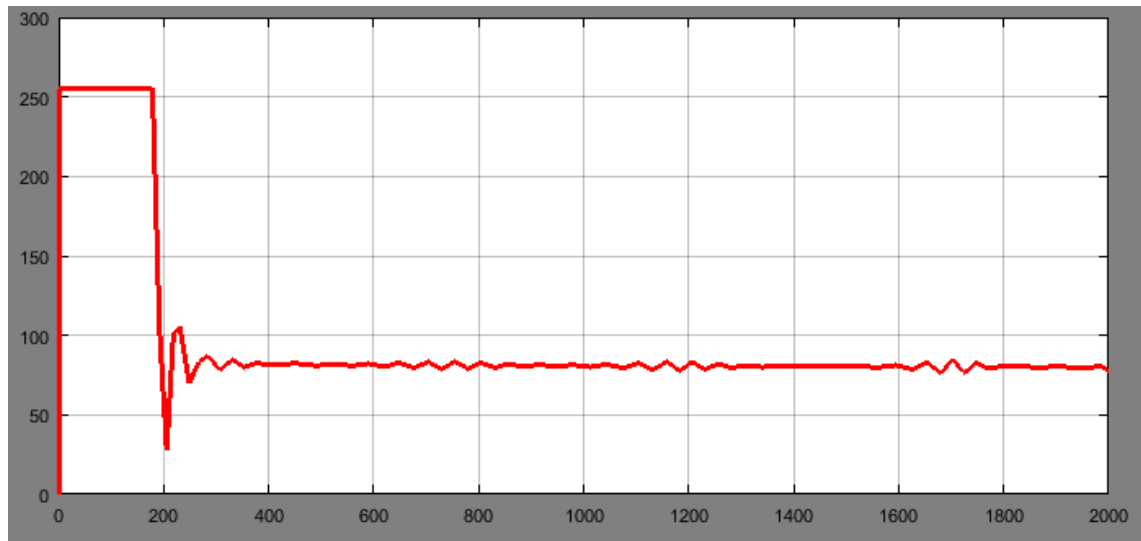
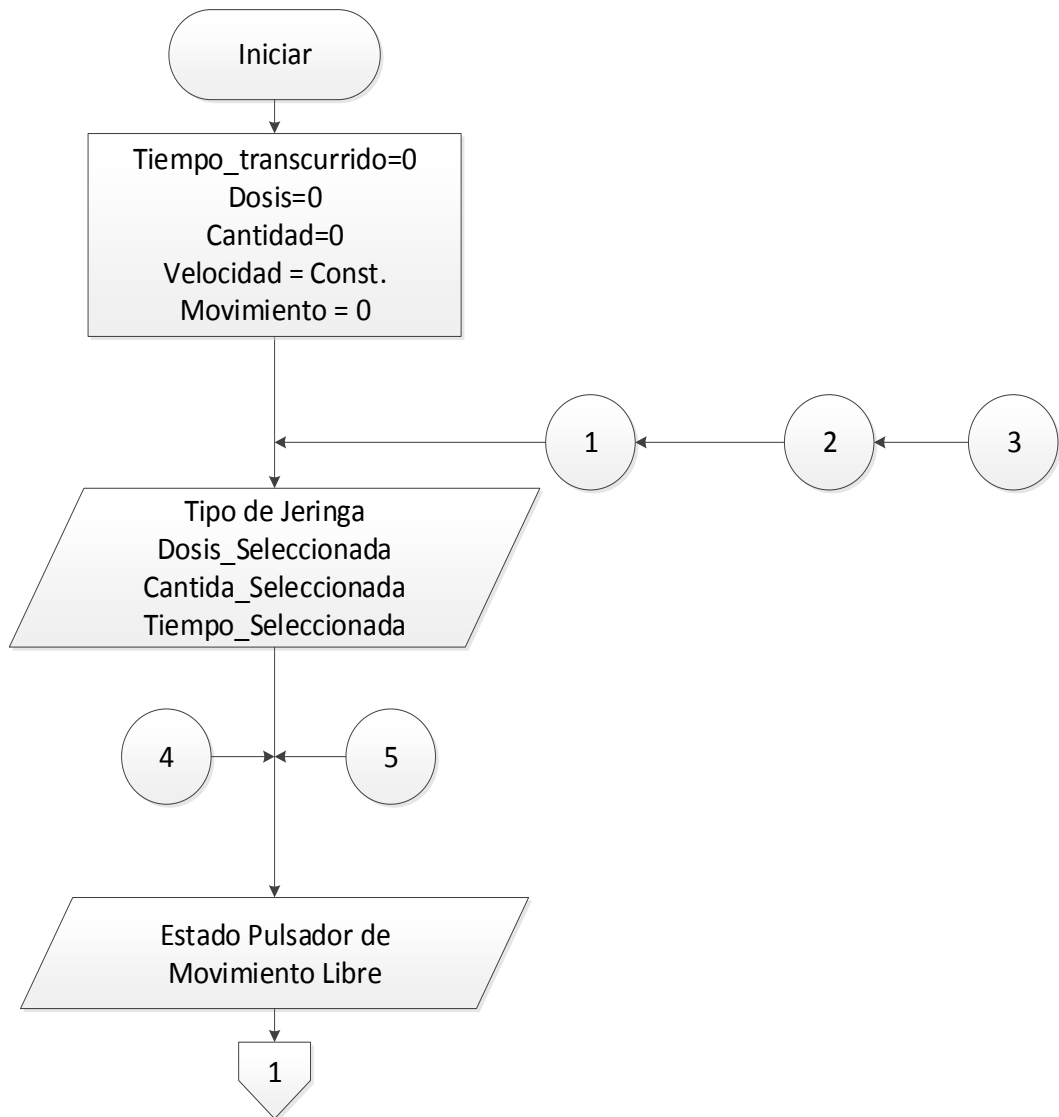


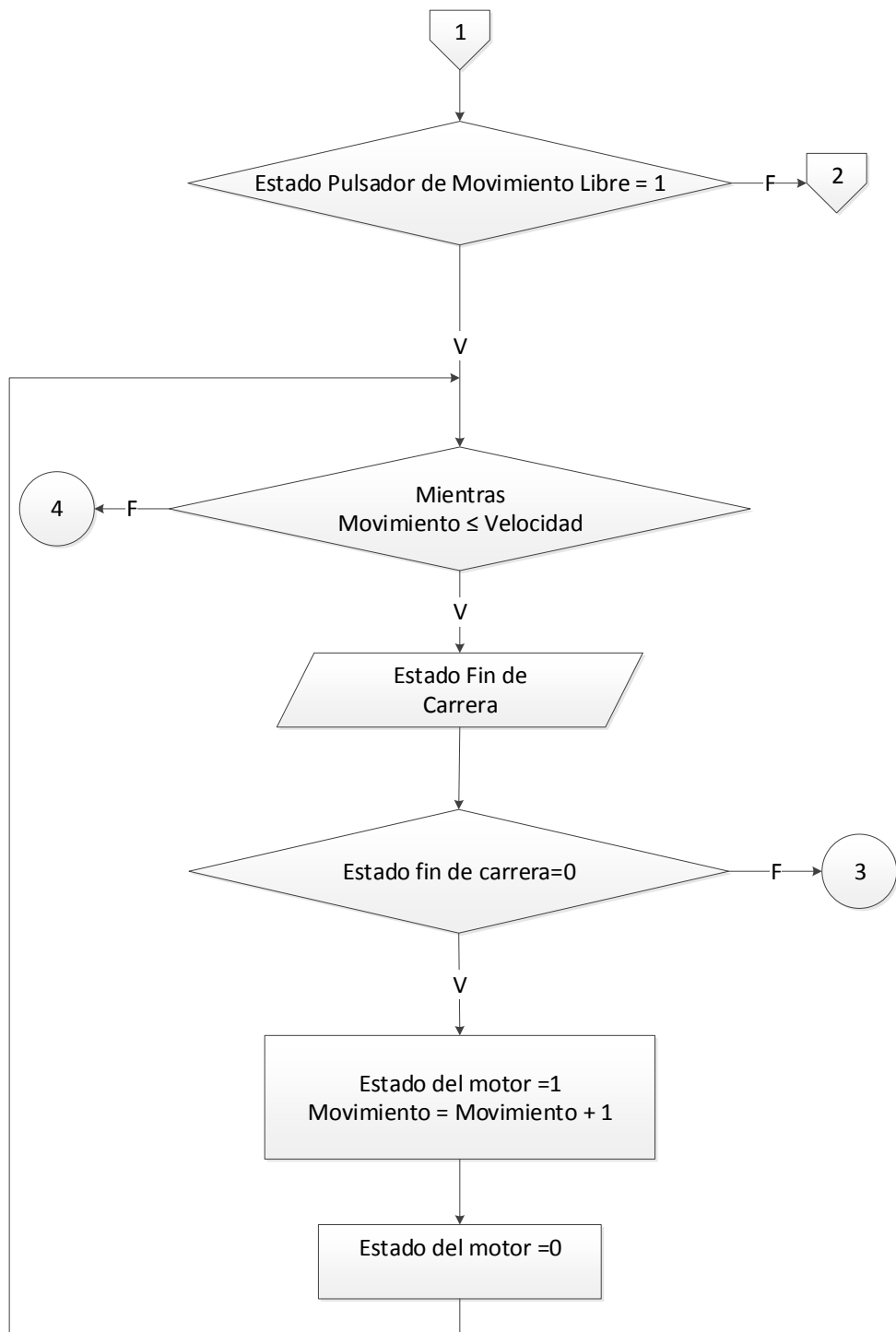
Figura 96. Comportamiento de la señal de control con saturación de las placas térmicas en Simulink (Matlab)

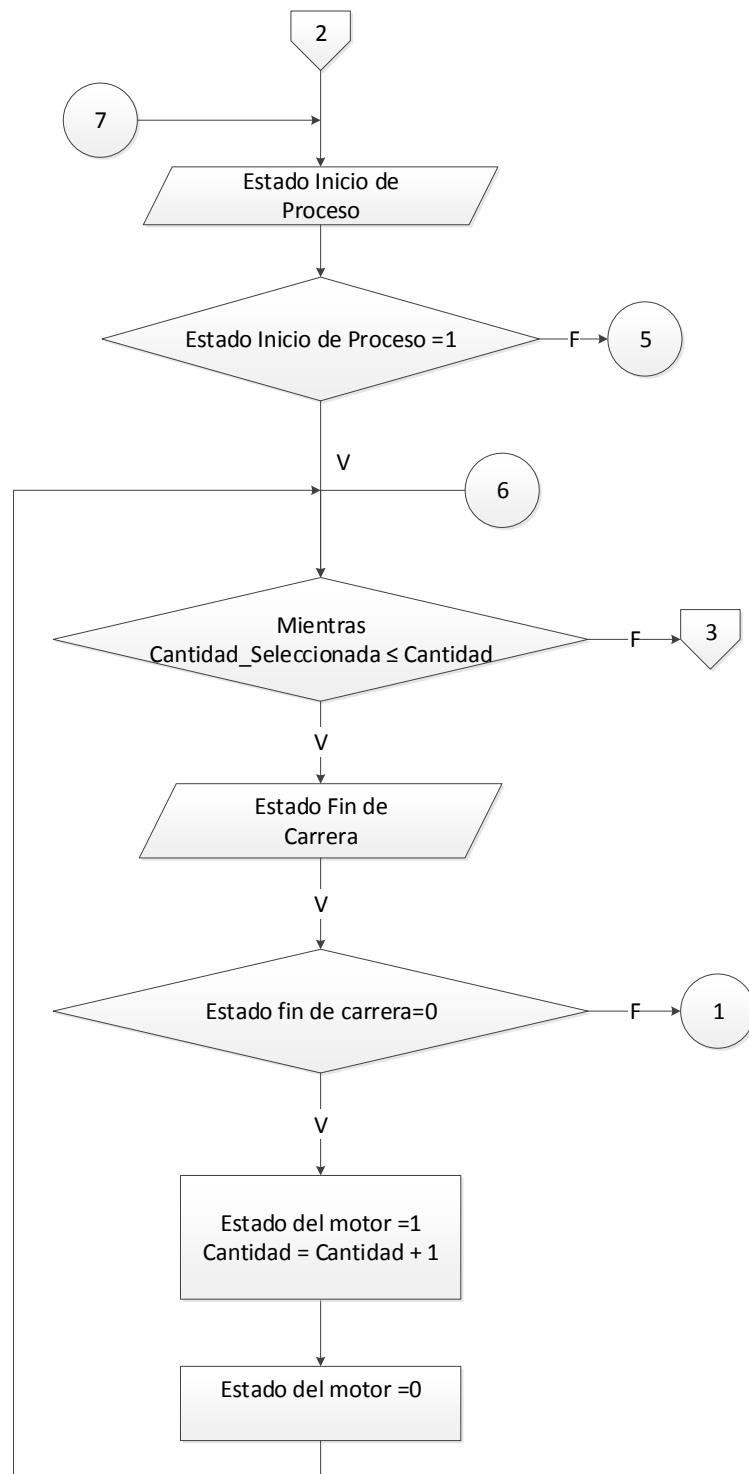
Analizando la respuesta del sistema al controlador se puede decir que el sistema cumple con los requerimientos planteados, con un error del 1.35% (0.5°C), el tiempo en llegar a la temperatura de 37°C es de 2.33 min.

4.3 Bomba de jeringa

Para realizar el control de la bomba de jeringa se realiza un diagrama de flujo que representa la secuencia de pasos lógicos del funcionamiento del equipo.







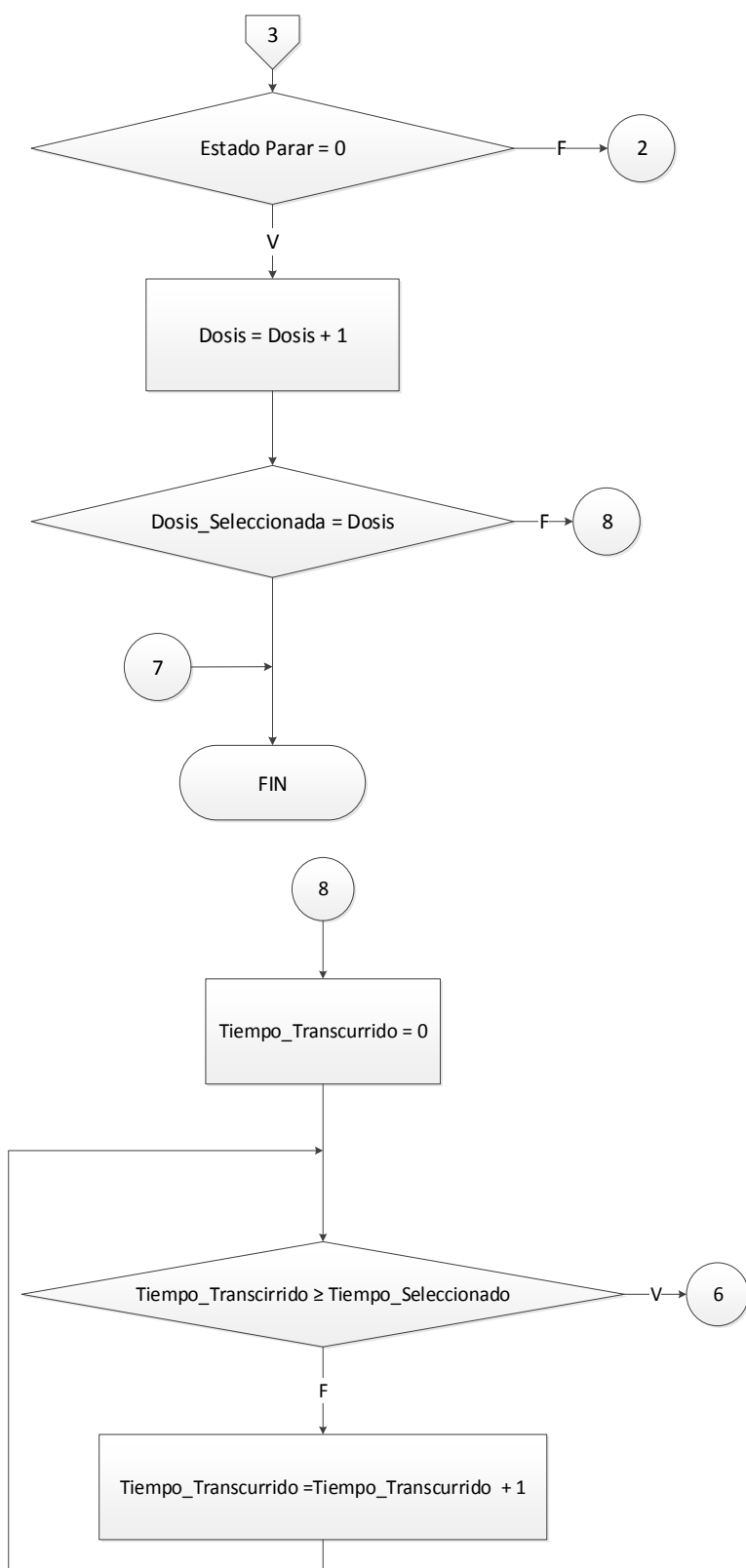


Figura 97. Diagrama de flujo de programación para el sistema de la bomba de jeringa

CAPÍTULO V

5. PRUEBAS Y RESULTADOS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS

5.1 Pruebas de Funcionamiento de los Equipos

Una vez terminada la etapa control se procede a realizar las pruebas a cada uno de los equipos para validar el correcto funcionamiento, según los parámetros de diseño planteados inicialmente.

Se procede a tomar datos dentro del laboratorio de biotecnología en diferentes horarios (mañana, tarde y noche) para verificar que los equipos trabajen adecuadamente ante cualquier variación de temperatura.



Figura 98. Equipos terminados sometidos a pruebas

5.2 Bomba de Jeringa

Para verificar que la Bomba de jeringa está funcionando correctamente, se emplea como instrumento de medición la escala graduada en las jeringas comerciales de 1, 5, 10 y 20 ml, las cuales nos darán el valor correcto a ser suministrado.

A continuación, se muestra una tabla con los valores obtenidos en las pruebas realizadas:

5.2.1 Prueba con Jeringas

Tabla 49.

Pruebas y Resultados obtenidos con diferentes jeringas

Jeringa de 1ml: 3 dosis, 1 minuto			
Tiempo [min]	Cantidad ml		Error [%]
	Deseada	Obtenida	
1	0,2	0,2	-
2	0,2	0,2	-
3	0,2	0,2	-
Jeringa de 5ml: 3 dosis, 1 minuto			
Tiempo [min]	Cantidad ml		Error [%]
	Deseada	Obtenida	
1	1	1	-
2	1	1	-
3	1	1	-
Jeringa de 10ml: 3 dosis, 1 minuto			
Tiempo [min]	Cantidad ml		Error [%]
	Deseada	Obtenida	
1	2	2	-
2	2	2	-
3	2	2	-
Jeringa de 20ml: 3 dosis, 1 minuto			
Tiempo [min]	Cantidad ml		Error [%]
	Deseada	Obtenida	
1	4	4	-
2	4	4	-
3	4	4	-

Al analizar la tabla se puede concluir que los valores obtenidos son iguales a los deseados, esto se debe a que el error que existe es mínimo y no se puede cuantificar en la escala de cada una de las jeringas.

5.3 Esterilizador de Instrumentos

Con la ayuda de una cámara térmica marca FLUKE TI25, se realiza la toma de datos de temperatura a lo largo del tiempo, conforme esta se eleva hasta su punto de esterilización, con lo cual se verifica que el control implementado cumple con los parámetros establecidos.



Figura 99. Equipos terminados sometidos a pruebas

Tabla 50.
Especificaciones cámara térmica FLUKE TI25

Especificaciones detalladas	
Temperatura	
Rango de medida de la temperatura (sin calibrar por debajo de -10 °C)	-20 °C a +350 °C (dos rangos)
Precisión	± 2 °C o 2% (la mayor de ambas)
Corrección de emisividad en pantalla	Sí

Fuente: (FLUKE, 2017)

Tabla 51.
Pruebas realizadas al esterilizador de instrumentos

PRUEBAS DEL ESTERILIZADOR DE INSTRUMENTOS			
Tiempo[min]	Temperatura sensor [°C]	Temperatura cámara [°C]	%Error
0	22	22	-
3	23	23,1	-
6	95	95,8	0,84
9	142	142,9	0,63
12	181	182,2	0,66

CONTINUA

15	234	235,2	0,51
18	259	261,7	1,03
21	261	262,3	0,50
24	260	260,5	0,19
27	255	255,3	0,12
30	253	254,1	0,43
40	250	251,1	0,44
45	248	248,6	0,24
60	252	252,7	0,28

Como se puede observar en la tabla 51 la temperatura del sensor tiene un error máximo de 1,03% en comparación con la temperatura dada por la cámara térmica, por lo que se encuentra dentro de los parámetros deseados, adicional se verifica que aproximadamente a los 15 minutos el sistema está listo para esterilizar los instrumentos, teniendo su valor máximo de temperatura a los 24 min y a partir de los 40 min a 250°C el sistema permanece en estado oscilante de $\pm 5^{\circ}\text{C}$, cumpliendo así los parámetros establecidos por la Universidad.



Figura 100. Comparación entre medición del sensor y la cámara térmica

5.4 Placas Térmicas

Para validar el diseño de este equipo, con la misma herramienta que se utilizó en el equipo anterior que es la cámara térmica FLUKE Ti25, se procede a realizar varias tomas de temperatura a lo largo del tiempo, conforme este alcanza su valor deseado.

Tabla 52.
Pruebas realizadas a la placa térmica.

PRUEBAS DE LA PLACA TÉRMICA A 30°C			
Tiempo[min]	Temperatura sensor [°C]	Temperatura cámara [°C]	%Error
0	22	22	-
1	22	22	-
2	25	25,4	1,57
3	28	28,3	1,06
4	30	30,1	0,33
5	30	30,3	1
6	30	30	-
7	30	30,2	0,66
8	30	30,1	0,33
9	30	30,3	1
10	30	30	-

Como se puede observar en la tabla 52 la temperatura del sensor tiene un error máximo de 1,57% en comparación con la temperatura dada por la cámara térmica, por lo que se encuentra dentro de los parámetros deseados, adicional se verifica que aproximadamente a los 4 minutos el sistema llega a estabilizarse, cumpliendo así los parámetros establecidos por la Universidad.



Figura 101. Lectura de temperatura a 30°C

5.5 Análisis de resultados

Como se observa en las pruebas realizadas, los tres equipos funcionan correctamente, cumpliendo satisfactoriamente con los requerimientos solicitados por el DECV, de esta manera entonces finalizan todas las etapas del proceso de fabricación de dichos equipos.

Como verificación se adjunta la tabla 53 que muestra las características finales de los tres equipos:

Tabla 53.
Características de los equipos

Bomba de Jeringa			
Parámetros	Valor		
Tiempo de intervalo entre dosis	De 1 hasta 120 minutos		
Tipos de Jeringas	1ml	5ml	10ml 20ml
Número de dosis	Depende de la escala mínima de cada jeringa		
Esterilizador de Instrumentos			
Parámetros	Valor	Error	
Temperatura de trabajo	250°C	±15°C	
Tiempo de calentamiento	17 min aprox.		
Tiempo de esterilización	10 - 15 seg.		
Placas Térmicas			
Parámetros	Valor	Error	
Temperatura de trabajo	20°C – 40°C	< ±1°C	
Tiempo en alcanzar el valor de estado estable	5 min aprox.		

CAPÍTULO VI

6. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL EQUIPO DE ENSAYOS PRECLÍNICOS

En el análisis financiero se consideran dos aspectos, los cuales ayudan a determinar cuánto cuesta producir un producto, estos son:

- Costos directos
- Costos indirectos

6.1 Costos Directos

Son aquellos costos de materiales que guardan relación directa con el producto terminado, es decir son de fácil identificación, en este caso constituyen los elementos necesarios para construir y ensamblar la parte mecánica, electrónica y de control de los equipos. (Castaño, 2009).

Dentro de los costos directos se procede a desglosar los valores correspondientes a cada equipo como se muestra a continuación:

6.1.1 Bomba de Jeringa

Tabla 54.
Costos directos de la Bomba de Jeringa

Elementos	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total inc. IVA
Lámina de Acero Inoxidable AISI 430, e=0,7mm	1/4	\$90,00	\$22,50
Corte de acrílico	1	\$5,00	\$5,00
Impresión 3D	1	\$30,00	\$30,00
Mecanismo de tornillo de bolas recirculantes	1	\$155,00	\$155,00
Driver A4988	1	\$6,00	\$6,00
Pantalla Nextion 4.3"	1	\$65,00	\$65,00
Driver Nextion	1	\$3,50	\$3,50
Fuente 9V/1A	1	\$5,90	\$5,90
Fuente 12V/2A	1	\$4,00	\$4,00

CONTINUA 

Fuente 12V/6A	1	\$6,00	\$6,00
Cable de timbre rojo-negro	1	\$0,30	\$0,30
Cable AWG #12	2	\$0,75	\$1,50
Toma de corriente	1	\$2,50	\$2,50
Led de alto brillo	2	\$0,15	\$0,30
Switch	1	\$0,50	\$0,50
Pasador de cable PG	1	\$0,75	\$0,75
Alzas de caucho	4	\$0,50	\$2,00
Pernos y tuercas	35	\$0,10	\$3,50
Canaletas	1	\$0,75	\$0,75
Enchufe	1	\$1,00	\$1,00
Fines de carrera	2	\$0,75	\$1,50
Terminales	2	\$0,10	\$0,20
Stickers	1	\$2,00	\$2,00
pulsadores metálicos IP65	2	\$3,00	\$6,00
Pulsador reset	1	\$0,65	\$0,65
Arduino Uno	1	\$23,00	\$23,00
Placa PCB y elementos	1	\$25,00	\$25,00
TOTAL			\$374,35

6.1.2 Esterilizador

Tabla 55.

Costos directos del Esterilizador de Instrumentos

Elementos	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total inc. IVA
Lámina de Acero Inoxidable AISI 430, e=0,7mm	1/4	\$90,00	\$22,50
Aislante Térmico	1	\$10,00	\$10,00
Crisol	1	\$50,00	\$50,00
Resistencia Eléctrica 1000W	1	\$138,00	\$138,00
Corte de acrílico Pantalla	1	\$3,50	\$3,50
Impresión 3D Caja de fuente	1	\$10,00	\$10,00
Termocupla tipo K	1	\$15,00	\$15,00
Driver MAX6675	1	\$6,00	\$6,00
Pantalla TFT 1,8"	1	\$15,00	\$15,00
Fuente 9V/1A	1	\$5,90	\$5,90
Cable de timbre rojo-negro	1	\$0,30	\$0,30
Cable AWG #12	2	\$0,75	\$1,50
Led de alto brillo	2	\$0,15	\$0,30
Canaleta	1	\$0,75	\$0,75
Terminales	4	\$0,10	\$0,40

CONTINUA 

Enchufe	1	\$1,00	\$1,00
Perlas de Vidrio	1	\$28,82	\$28,82
Switch	1	\$0,50	\$0,50
Pasador de cable PG	1	\$0,75	\$0,75
Alzas de caucho	4	\$1,00	\$4,00
Pernos y tuercas	35	\$0,10	\$3,50
Stickers	1	\$2,00	\$2,00
Relé de estado sólido	1	\$15,00	\$15,00
Arduino nano	1	\$8,50	\$8,50
Placa PCB y elementos	1	\$25,00	\$25,00
TOTAL			\$368,22

6.1.3 Placas Térmicas

Tabla 56.

Costos directos de las Placas Térmicas

Elementos	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total inc. IVA
Lámina de Acero Inoxidable AISI 430, e=0,7mm	1/4	\$90,00	\$22,50
Placa superior de transferencia	1	\$90,00	\$90,00
Cama Térmica	2	\$35,00	\$70,00
Aislante Térmico	1	\$10,00	\$10,00
Corte de acrílico Pantalla	1	\$3,50	\$3,50
Termistores 10K 3380K	2	\$2,00	\$4,00
Pantalla TFT 1,8"	1	\$15,00	\$15,00
Fuente 9V/1A	1	\$5,90	\$5,90
Fuente 12V/38A	1	\$14,00	\$14,00
Cable de timbre rojo-negro	3	\$0,30	\$0,90
Cable AWG #12	2	\$0,75	\$1,50
Led de alto brillo	2	\$0,15	\$0,30
Pulsadores metálicos IP65	3	\$3,00	\$9,00
Enchufe	1	\$1,00	\$1,00
Terminales	4	\$0,10	\$0,40
Canaletas	1	\$0,75	\$0,75
Parches	2	\$0,50	\$1,00
Switch	1	\$0,50	\$0,50
Pasador de cable PG	1	\$0,75	\$0,75
Alzas de caucho	4	\$1,00	\$4,00
Pernos y tuercas	35	\$0,10	\$3,50
Disipadores	2	\$2,00	\$4,00
Stickers	1	\$2,00	\$2,00
Arduino uno	1	\$8,50	\$8,50

CONTINUA

Placa PCB y elementos	1	\$25,00	\$25,00
TOTAL			\$298,00

6.1.4 Costos Directos Totales

Tabla 57.

Costos Directos Totales

COSTO TOTAL	
Detalle	Costo
Bomba de Jeringa	\$374,357
Esterilizador de instrumentos	\$368,22
Placas Térmicas	\$298,00
TOTAL	\$1040.57

6.2 Costos Indirectos

Estos costos indirectos se definen como erogaciones que no se pueden localizar de forma precisa en una unidad producida, por lo que se absorben en la producción con base en el prorrateo. (LÓPEZ, 2004)

Dentro de este costo encontramos:

- Costo de materiales y herramientas (Tabla)
- Costo indirecto de Mano de Obra (Tabla)
- Costos Operativos (Tabla)

6.2.1 Costos de materiales y herramientas

Tabla 58.

Costos indirectos de Materiales y Herramientas de los Equipos

Costos de materiales y herramientas			
Elemento	Cantidad	Costo unitario	Costo Total inc. IVA
Brocas	7		\$51,50
Grata	1	\$8,00	\$8,00
Disco de corte	1	\$4,00	\$4,00
Silicona Roja	2	\$3,50	\$7,00
Consumibles para soldadura TIG	3	\$8,06	\$24,18
Estaño	5	\$0,50	\$2,50
Pasta de soldar	1	\$0,50	\$0,50
Cautín	1	\$5,00	\$5,00

CONTINUA 

Cinta Taipe	2	\$0,85	\$1,70
Pulimento para Inox.	1	\$10,00	\$10,00
Cinta Gris	1	\$4,00	\$4,00
TOTAL			\$118,38

6.2.2 Costos indirectos de Mano de Obra

Tabla 59.

Costos indirectos de mano de obra de equipos de ensayos preclínicos

Costos Indirectos de mano de obra			
Detalle	Tiempo	Costo/hora	Costo Total inc. IVA
Ingeniería y Diseño	120	\$2,50	\$300,00
Construcción	240	\$2,00	\$480,00
Programación y Control	120	\$6,00	\$720,00
TOTAL			\$1.500,00

6.2.3 Costos Operativo de equipos de ensayos preclínicos

Tabla 60.

Costos Operativos de equipos de ensayos preclínicos

Costos Operativos	
Detalle	Costo
Agua Potable	\$5,00
Energía Eléctrica	\$45,00
Internet	\$20,00
Transporte	\$40,00
TOTAL	\$110,00

6.2.4 Costos Operativo de equipos de ensayos preclínicos

Tabla 61.

Total de costos indirectos

Costos indirectos totales	
Detalle	Costo
Materiales	\$118,38
Mano de Obra	\$1.500,00
Costos Operativos	\$110,00
TOTAL	\$1.728,38

6.2.5 Costo Total del Equipo de Ensayos Preclínicos

Tabla 62.
Costo Total del Equipo de Ensayos Preclínicos

COSTO TOTAL	
Detalle	Costo
Costos Directos	\$1.040,57
Costos Indirectos	\$1.728,38
TOTAL	\$2.768,95

El costo total de la fabricación de los tres equipos como se puede apreciar en la tabla 62 es de \$2.768,95 incluyendo los costos mínimos de ingeniería.

Pero para considerar el ahorro que tiene la Universidad de las Fuerzas Armadas, se toma en cuenta los costos directos e indirectos, sin considerar los costos de mano de obra, por lo que el costo neto de la fabricación de los tres equipos es de \$1.268,95.

Conociendo que los costos aproximados de los equipos de similares características en el mercado extranjero son:

- Bomba de Jeringa: \$1850 (Sin incluir costos de importación)
- Esterilizador de Instrumentos: \$400 (Sin incluir costos de importación)
- Placas Térmicas: No existe en el mercado una con similares características.

Por lo que el Ahorro del Laboratorio de Biotecnología comparando con los precios del mercado supera los \$1.200 que ya es un valor considerable.

CAPÍTULO VII

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- Se diseñó e implementó cada uno de los equipos, siguiendo la Metodología VDI 2206 para la obtención de la parte mecánica, electrónica y de control, los cuales al integrarse forman equipos inteligentes y funcionales con las características solicitadas, cumpliendo de esta manera los objetivos del proyecto.
- Para los tres equipos, se realizó el respectivo análisis de diseño en Software mecánico y electrónico, el cual proporcionó una perspectiva real del modelo, una interacción aproximada entre las partes mecánicas y la funcionalidad de los elementos electrónicos, dando como resultado un óptimo desarrollo al momento de la construcción.
- Para la bomba de Jeringa se diseñó una H.M.I, amigable con el usuario lo cual facilita la navegación en su entorno y el control del proceso.
- Para las placas térmicas, al tratarse de un equipo de configuración variable, se realiza una HMI sencilla que permita únicamente monitorear y modificar el valor de la temperatura deseada.
- Con las herramientas de medición apropiadas se pudo verificar que los valores obtenidos por los sensores de los equipos térmicos son los correctos; es decir que están funcionando de acuerdo al sistema de control diseñado, dando un margen de error menor a 1°C en el caso de las placas térmicas y de $\pm 15^{\circ}\text{C}$ para el esterilizador de instrumentos.
- Para el sistema de control del Esterilizador y de las placas térmicas fue la mejor opción implementar un controlador PID ya que es ideal para un sistema de segundo orden, el cual debido a sus características ayudó a disminuir el error en estado estacionario, disminuir el sobre pico generado y gracias a su acción derivativa que es la derivada del error con respecto al tiempo ayudó a predecir

de mejor manera el comportamiento de la planta frente a una perturbación que en este caso es producido por el auto calentamiento generado por el esterilizador.

- Para el control del motor a pasos de la Bomba de Jeringa se utilizó criterios de programación dentro de un microcontrolador, que junto con la HMI implementada, permite enviar datos y obtener la respuesta deseada de acuerdo con los requerimientos de cada jeringa y así cumplir con los parámetros de diseño del mismo.

7.2 Recomendaciones

- Se recomienda al usuario leer los manuales antes de utilizar los equipos, con el fin de evitar el mal uso de los mismos.
- A pesar que los equipos están fabricados con acero inoxidable se recomienda evitar exponerlos a sustancias líquidas para prolongar mucho más sus propiedades mecánicas.
- Se recomienda dar mantenimiento a los equipos cada 3 meses, siguiendo el manual de mantenimiento, para de esta manera prolongar la vida útil de los mismos.
- Cada equipo cuenta con señales que ayudan al usuario al mejor manejo de los mismos y también cuenta con señales que advierten de situaciones peligrosas a la que puede exponerse el usuario, por esto se recomienda prestar atención a estos avisos de suma importancia.
- Para el esterilizador de instrumentos se recomienda que después de que se utilice, se deje apagado al menos 1h antes de volverlo a encender, debido a que la concentración de calor por el uso prolongado puede dañar los elementos electrónicos.

7.3 Trabajos Futuros

- Implementar en el esterilizador de instrumentos un sistema de refrigeración continua a base de agua, con lo cual se podrá ayudar a disminuir la temperatura en las paredes exteriores del sistema, así como evitar el autocalentamiento del mismo.
- En la Bomba de Jeringa se propone implementar un sistema de calibración automático para las jeringas, lo cual eliminará el proceso manual que se realiza actualmente.
- Implementar en los equipos un sistema de comunicación mediante módulos wifi, el cual permitirá supervisar y controlar de forma remota todas las variables del equipo, desde cualquier dispositivo con conexión a internet.
- En la Bomba de Jeringa y en las placas térmicas al tratarse de equipos que trabajan continuamente y de forma independiente, se propone incorporar un sistema de almacenamiento de energía, el cual proporcione energía eléctrica por un tiempo determinado cuando exista un problema en la alimentación eléctrica, evitando pérdidas de información del proceso o daños a los componentes

BIBLIGRAFÍA

- 330Ohms. (14 de Octubre de 2013). Obtenido de <https://www.330ohms.com/blogs/blog/85020868-que-son-los-actuadores-electronicos>
- ABB. (23 de Agosto de 2013). Obtenido de <http://new.abb.com/low-voltage/es/productos/interruptores-de-final-de-carrera>
- Acosta, E. (23 de Mayo de 2015). *Acoplamientos*. Obtenido de <https://es.scribd.com/presentation/266362249/Acoplamientos>
- Advancer Technologies*. (26 de Enero de 2017). Obtenido de <https://www.sparkfun.com/products/retired/11776>
- Alibaba. (20 de Enero de 2017). Obtenido de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/pca-infusion-pump-108357272.html>
- AliExpress. (10 de Julio de 2017). *1.8" SPI LCD*. Obtenido de <https://es.aliexpress.com/item/NUEVO-1-8-pulgadas-4-IO-SPI-serial-ST7735-Pantalla-A-Todo-Color-de-128x160-TFT/32673683146.html>
- Aosong. (26 de Enero de 2016). Obtenido de <http://akizukidenshi.com/download/ds/aosong/HR202L.pdf>
- Apodaca, A. M., & Soto, H. (23 de Octubre de 2015). *Transferencia de calor*. Obtenido de <http://equipo7fisica2cbtis37.blogspot.com/2015/10/transferencia-de-calor.html>
- Apparatus, H. (20 de Enero de 2017). *Harvard Apparatus*. Obtenido de Harvard Apparatus: <http://www.harvardapparatus.com/standard-infuse-withdraw-phd-ultra-syringe-pumps.html>
- Arduino. (2017). Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>

- ATECOS. (s.f.). *MATERIALES AISLANTES TÉRMICOS*. Obtenido de http://www.miliarium.com/ATECOS/HTML/Soluciones/Fichas/Materiales_a_islantes_termicos.PDF
- Avilez, K. (3 de junio de 2014). *Sistemas Tecnológicos*. Obtenido de Sistemas Tecnológicos: http://kletyavilezricardo.blogspot.com/2014/06/sistemas-tecnologicos_3.html
- Banggood. (22 de Enero de 2017). *La sonda del sensor de temperatura impermeable profesional 10pcs NTC-3470*. Obtenido de <https://www.banggood.com/10pcs-NTC-3470-Waterproof-Professional-Temperature-Sensor-Probe-p-918615.html>
- Bautista, N. (29 de Junio de 2014). *Metodología para resolver problemas*. Obtenido de Académica: <http://www.academica.mx/blogs/metodolog%C3%ADa-resolver-problemas>
- BricoGeek. (1 de Noviembre de 2016). Obtenido de <http://tienda.bricogeek.com/motores-paso-a-paso/546-motor-paso-a-paso-nema-17-32kg-cm.html>
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México: Mc Graw Hill.
- Budynas, R. G., & Nisbett, K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (Octava ed.). México: Mc Graw Hill.
- Budynas, R., & Keith, N. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México: McGrawHill.
- Cabrera, R. (7 de Noviembre de 2016). *CONDUCCION DEL CALOR - LEY DE FOURIER*. Obtenido de https://ricuti.com.ar/no_me_salen/TERMO/TEOR_conduccion.html

- Carmona, J. (21 de Junio de 2013). *Transferencia de calor por convección*. Obtenido de <https://juliocarmonablog.wordpress.com/2013/06/21/transferencia-de-calor-en-edificacion/>
- Casal, F. (13 de Diciembre de 2010). *Miosteosalud*. Recuperado el 02 de Septiembre de 2016, de <https://miosteosalud.wordpress.com/2014/12/13/92/>
- Castaño, O. J. (Enero de 2009). *CONTABILIDAD DE COSTO*. Obtenido de CONTABILIDAD DE COSTO: <https://www.upg.mx/wp-content/uploads/2015/10/LIBRO-44-Curso-costos-y-presupuestos.pdf>
- CENGEL, Y. A. (2007). *Transferencia de calor y masa un enfoque práctico*. Mexico: McGRAW-HILL/Interamericana.
- Components, T. E. (2017). *SR PASSIVES NTCM-10K-B3380*. Obtenido de <http://www.tme.eu/en/details/ntcm-10k-b3380/tht-measurement-ntc-thermistors/sr-passives/>
- Creus, A. (2008). *Instrumentación Industrial*. Mexico: Alfaomega.
- Dalincon. (26 de Enero de 2017). Obtenido de <http://dalincom.ru/datasheet/TTF-103.pdf>
- Digital, F. (19 de Enero de 2017). *Cómo controlar un motor paso a paso con el driver A4988 de Pololu y Arduino*. Obtenido de <https://fabricadigital.org/leccion/como-controlar-un-motor-paso-a-paso-con-el-driver-a4988-de-pololu-y-arduino/>
- DIPAC. (Junio de 2017). *DIPAC*. Obtenido de <http://www.dipacmanta.com/planchas-de-acero/planchas-acero-negro/planchas-laminadas-en-caliente>
- DISETEC. (2016). *DISETEC Soluciones Industriales*. Obtenido de <http://www.disetec-ec.com/equipo-insumo-solucion-industrial-instrumento-medicion-quito-ecuador.php?recordID=640>

Domingo, A. M. (2011). Transmisión de calor. En D. d. Instalaciones. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Dra. Ledia H. Góngora García, D. C. (2003). Laboratorios de Anticuerpos y Biomodelos Experimentales. *MEDISAN*, 100-109.

Dreme. (20 de Enero de 2017). *DRE*. Obtenido de DRE:
http://www.dremed.com/catalog/product_info.php/products_id/1659/language/es

EcuRed. (18 de Enero de 2017). *Lana de Vidrio*. Obtenido de
https://www.ecured.cu/Lana_de_vidrio

EEKFACTORY. (2016). *MAX6675 Módulo interfaz para termopar tipo K*. Obtenido de <https://www.geekfactory.mx/tienda/modulos-para-desarrollo/max6675-modulo-interfaz-termopar/>

ElectroniLAB. (14 de Octubre de 2016). *ElectroniLAB*. Obtenido de <https://electronilab.co/tienda/pcb-heatbed-mk2a-cama-caliente-para-impresora-3d/>

ELECTRONILAB. (5 de Septiembre de 2017). *ELECTRONILAB*. Obtenido de https://electronilab.co/tienda/pcb-heatbed-mk2a-cama-caliente-para-impresora-3d/%20https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-412541860-celda-peltier-tec1-12710-enfriador-termoelectrico-arduino-_JM

Factory, G. (12 de Marzo de 2017). *LCD Nextion 4.3 pulgadas NX4827T043*. Obtenido de <https://www.geekfactory.mx/tienda/pantallas-lcd/lcd-nextion-4-3-pulgadas/>

FLUKE. (15 de Julio de 2017). *Cámara termográfica Fluke Ti25*. Obtenido de <http://www.fluke.com/fluke/eces/termografia/fluke-ti25.htm?pid=56723>

Garcés, M. (28 de Octubre de 2013). *Sistema de dirección del automóvil*. Obtenido de Sistema de dirección del automóvil:

<http://www.hispaniatecnica.com/es/noticias/tecnica/item/63-sistemas-de-direccion>

González, J. (2011). Sistemas de Infusión. *Cruz Roja Argentina*, 34. Obtenido de <http://www.slideshare.net/informaticacra/bomba-de-infusion-sistemas-de-infusin>

Inamhi. (s.f.). Obtenido de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/>

Industria, E. (Noviembre de 2010). *Termocuplas: Fundamentos y recomendaciones*. Obtenido de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1502>

Industry, D. (20 de Enero de 2017). Obtenido de <http://www.directindustry.es/prod/baoding-longer-precision-pump/product-38897-741455.html>

Industry, D. (2017). *Direct Industry*. Obtenido de Gato de husillo de tornillo sin fin: <http://www.directindustry.es/prod/wmh-herion-antriebstechnik-gmbh/product-25949-1614598.html>

Instrumentacion, A. C. (4 de Julio de 2014). Obtenido de <http://www.arian.cl/ingles/index.htm>

INTPLUS. (5 de Enero de 2017). *Robótica Fácil*. Obtenido de <http://www.superrobotica.com/slider.htm>

JMIndustrial. (21 de Marzo de 2016). Obtenido de <https://www.jmi.com.mx/literatura/blog/item/6-resistencias-calefactoras.html>

Juez, J. T., & Iglesias, T. S. (2010). Técnicas de aislamiento térmico y acústico. Madrid: Tornapunta.

LINEAR, P. (12 de Junio de 2017). *Stepper Motor NEMA 17*. Obtenido de <http://www.pbclinear.com/Download/DataSheet/Stepper-Motor-Support-Document.pdf>

- Llamas, L. (5 de Noviembre de 2016). *CONECTAR ARDUINO A UNA PANTALLA TFT DE 1.4" A 3.2"*. Obtenido de <https://www.luisllamas.es/conectar-arduino-a-una-pantalla-tft/>
- Llamas, L. (23 de Agosto de 2016). *MOTORES PASO A PASO CON ARDUINO Y DRIVER A4988*. Obtenido de <https://www.luisllamas.es/motores-paso-paso-arduino-driver-a4988-drv8825/>
- Llamosa, L. E., & Contreras, L. M. (Septiembre de 2008). Diseño e implementación de procedimientos para la calibración de equipos de infusión. Universidad Tecnológica de Pereira. Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/714/Diseno%20%20implementacion.pdf?sequence=1>
- Loma, P. (12 de Julio de 2014). *Apuntes de Electrónica y Control*. Obtenido de <http://apuntesdeelectronicycontrol.blogspot.com/2014/02/identificacion-modelo-matematico-sistema-dinamico-1er-2do-orden-ident-matlab.html>
- LÓPEZ, R. R. (Febrero de 2004). *COSTOS I*. Obtenido de http://www.cucea.udg.mx/include/publicaciones_drupal/pdfs/costos1.pdf
- Madrid, C. d. (2012). Guía sobre Materiales Aislantes y Eficiencia Energética. *EM*, 106.
- Matin, A. L. (2002). Aceros Inoxidables. *TCI*, 6. Obtenido de <http://www.innovacion.gob.sv/inventa/attachments/article/9113/Aceros%20inoxidables.pdf>
- MAXIM. (2002). *Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)*. Obtenido de <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/MAX6675.pdf>
- MaximIntegrated. (3 de Mayo de 2015). *MaximIntegrated*. Obtenido de <https://www.maximintegrated.com/en/products/analog/sensors-and-sensor-interface/MAX6675.html>

Mazzone, V. (Marzo de 2002). Obtenido de <http://control-pid.wikispaces.com/>

Medical, R. (20 de Enero de 2017). Obtenido de

<http://www.rutecmedical.com/equipos/ARGUS-707V/7>

Medical, R. (20 de Enero de 2017). Obtenido de

<http://www.rutecmedical.com/equipos/ARGUS-400/28>

MercadoLibre. (14 de Julio de 2017). *Fuente De Poder Atx Atek 750w*. Obtenido de

https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-412634364-fuente-de-poder-atx-atek-750w-slim-ide-sata-204-pines-_JM#redirectedFromParent

MercadoLibre. (Enero de 2017). *Sonda Temperatura Termocupla Tipo K*. Obtenido

de https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-412286400-sonda-temperatura-termocupla-tipo-k-400-grados-arduino-_JM

MicrochipTechnology. (22 de Abril de 2017). *MicrochipTechnology*. Obtenido de

<http://www.electronicaestudio.com/microcontrolador.htm>

Neoteo. (16 de Enero de 2010). *IRFZ44N: El MOS-FET de batalla para PWM*.

Obtenido de <http://www.neoteo.com/irfz44n-el-mos-fet-de-batalla-para-pwm/>

Norton, R. L. (2011). *Diseño de máquinas: Un enfoque integrado* (Cuarta ed.).

Mexico: Prentice Hall.

OMEGA. (16 de Febrero de 2014). Obtenido de

<https://mx.omega.com/prodinfo/termopar.html>

OMEGA. (11 de Abril de 2016). Obtenido de

<https://mx.omega.com/prodinfo/acondicionadores-de-senales.html>

Pallas Areny, R. (2005). *Sensores y Acondicionamiento de Señal* (Cuarta ed.).

Sevilla, España: MARCOMBO.

PololuRobotics. (30 de Septiembre de 2016). *Pololu Robotics and Electronics*.

Obtenido de <https://www.pololu.com/product/1182>

- QuimicaNet. (25 de Febrero de 2016). Obtenido de <https://www.quiminet.com/articulos/que-son-los-interruptores-finales-de-carrera-7838.htm>
- Raspberry. (2017). Obtenido de <https://www.raspberrypi.org/products/>
- Rectifier, I. (2017). *IRFZ44N*. Obtenido de <https://www.infineon.com/dgdl/irfz44n.pdf?fileId=5546d462533600a40153563b3575220b>
- Rodriguez, J. G., & Loor, E. X. (2010). Diseño y análisis de un sistema de instrumentación y automatización industrial aplicado al proceso de pasteurización de una planta de elaboración de cerveza. Guayaquil, Ecuador. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10833/1/pasteurizacion.pdf>
- Rolle, K. C. (2006). *Termodinámica*. Mexico: Pearson Prentice Hall.
- Romero, V. C. (Junio de 2013). Propuesta metodológica ne el ámbito de Mecatrónica: vehículos de competición de alta eficiencia. Valencia, España: Universitat Politècnica de València.
- Scientific, K. (20 de Enero de 2017). *LEGATO 100 SYRINGE PUMP*. Obtenido de <http://www.kdscientific.com/legato-100-syringe-pump.html>
- Seekpart. (2017). *SKF 608-2Z Miniature Deep groove ball bearings*. Obtenido de <http://www.seekpart.com/product/SKF-608-2Z-Miniature-Deep-groove-ball-bearings-1846040.html>
- Senplades. (28 de Agosto de 2017). *Plan Nacional para el Buen Vivir 2017-2021*. Obtenido de https://observatorioplanificacion.cepal.org/sites/default/files/plan/files/Ecuador%20Plan%20Nacional%20para%20el%20Buen%20Vivir%202017-2021_0.pdf

- SKF. (2017). *Grasa compatible con alimentos*. Obtenido de <http://www.skf.com/es/products/lubrication-solutions/lubricants/food-compatible-grease/index.html>
- SKF. (18 de Abril de 2017). *Rodamiento rígido de bolas*. Obtenido de <http://www.skf.com/uk/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/index.html?designation=608-2Z>
- SurgeCard. (6 de Marzo de 2015). Obtenido de <http://smdelectronicayalgomas.blogspot.com/2012/03/termistores-ntc-coeficiente-de.html#ixzz4tt9F4f8L>
- Torres Sigcho, J. A. (2015). *Análisis, Desarrollo y Evaluación de Aislantes Térmicos Fabricando Bloques de Hormigón y Placas Aislantes con los Residuos de Palma Africana para su aplicación en la construcción de edificaciones*. Sangolquí.
- TUELECTRONICA.es. (6 de Julio de 2012). *Resistencia Pull Up y Pull Down*. Obtenido de <https://tuelectronica.es/resistencia-pull-up-y-pull-down/>
- Udoo. (18 de Mayo de 2017). Obtenido de <https://www.udoo.org/getting-started/>
- Werner, G. (9 de Octubre de 2014). *Corporación Médica Quetzaltenango*. Obtenido de <http://www.instrumentosdelaboratorio.net/2012/08/autoclave-o-esterilizadores.html>
- Yacuzzi, E. (2015). *QFD: CONCEPTOS, APLICACIONES Y NUEVOS DESARROLLOS*. Obtenido de Ucema: <http://www.ucema.edu.ar/publicaciones/documentos/234.pdf>

ANEXOS

ANEXO A

SISTEMA DE TRANSFERENCIA DE CALOR UNIDIMENSIONAL EN ESTADO ESTABLE

$$\frac{d^2T}{dx^2} = 0 \quad (1)$$

Realizando dos integraciones de la ecuación se obtiene.

$$\frac{dT}{dx} = C_1 \quad (2)$$

$$T(x) = C_1x + C_2 \quad (3)$$

Donde C_1 y C_2 son constantes, para determinar estos valores es necesario aplicar las condiciones de frontera a la ecuación de flujo específico de calor en dirección positiva, dada por la ecuación (4) y la condición de convección de frontera dada por la ecuación (5):

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{A_{base}} = -k \frac{dT}{dx} \quad (4)$$

$$-k \frac{dT}{dx} = h[T - T_\infty] \quad (5)$$

Tabla A1.

Simbología de las ecuaciones para el cálculo de condiciones de frontera

Símbolo	Nombre	Unidades
\dot{q}	Flujo de calor	W/m ²
\dot{Q}	Transferencia de calor	W
A _{base}	Área donde tiene contacto el sistema	m ²
k	Conductividad térmica del material	(W/ m ² °K)
h	Coefficiente de transferencia de calor por convección	KCal
T _∞	Temperatura del medio circulante sobre los lados de la placa	seg
T	Temperatura en el punto de análisis	Kg

- Primera condición de frontera aplicando la ecuación (4) y (2)

$x=0$

$$\dot{q} = -k \frac{dT(0)}{dx}$$

$$-kC_1 = \dot{q} \rightarrow C_1 = -\frac{\dot{q}}{k} \quad (6)$$

- Segunda condición de frontera aplicando la ecuación (5) y (3)

$x=L$

$$-k \frac{dT(L)}{dx} = h[T(L) - T_\infty]$$

$$-kC_1 = h[C_1L + C_2 - T_\infty] \quad (7)$$

Reemplazando la ecuación (6) en la ecuación (7) y despejando C_2 se obtiene

$$C_2 = T_\infty + \frac{\dot{q}}{h} + \frac{\dot{q}}{k}L \quad (8)$$

Sustituyendo la ecuación (7) y (8) en la ecuación (3) obtenemos la solución general de la ecuación, para determinar la variación de la temperatura en cualquier punto.

$$T(x) = T_\infty + \dot{q} \left(\frac{L-x}{k} + \frac{1}{h} \right) \quad (9)$$

ANEXO B

Tolerancia en la capacidad, volumen residual, dimensiones de la escala y fuerza para el ensayo de fuga de jeringas estándares

Capacidad nominal de la jeringa (v) ml (cm ³)	Tolerancia en las capacidades graduadas		Volumen residual máximo ml.	Longitud mínima de la escala hasta la capacidad nominal mm.	Intervalo de las graduaciones secundarias ml.	Intervalo de las graduaciones numeradas ml	Fuerza para el ensayo de Fuga (Ver Anexo D)	
	Capacidades menores que la mitad de la nominal	Capacidades igual o mayor que la mitad de la nominal					Fuerza perpendicular $\pm 5\%$ N	Presión axial $\pm 5\%$ kPa
$10 \leq V < 20$	$\pm(1,5\%$ de $V+1\%$ del volumen expelido)	$\pm 4\%$ del volumen expelido	0,10	44	1,0	5	3,0	300
$20 \leq V < 30$	$\pm(1,5\%$ de $V+1\%$ del volumen expelido)	$\pm 4\%$ del volumen expelido	0,15	52	2,0	10	3,0	200
$30 \leq V < 50$	$\pm(1,5\%$ de $V+1\%$ del volumen expelido)	$\pm 4\%$ del volumen expelido	0,17	67	2,0	10	3,0	200
$50 \leq V$	$\pm(1,5\%$ de $V+1\%$ del volumen expelido)	$\pm 4\%$ del volumen expelido	0,20	75	5,0	10	3,0	200

ANEXO C

Tabla A-22

Resultados de ensayos a la tensión de algunos metales* Fuente: J. Datsko, "Solid Materials", capítulo 32, en Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke y Thomas H. Brown, Jr. (editores en jefe), *Standard Handbook of Machine Design*, 3a. ed., McGraw-Hill, Nueva York, 2004, pp. 32.49-32.52.

Número	Material	Condición	Resistencia (a la tensión)					Resistencia a la deformación, exponente m	Resistencia a la fractura ϵ_f
			Fluencia S_y MPa (kpsi)	Última S_u MPa (kpsi)	A la fractura, σ_f MPa (kpsi)	Coefficiente $\sigma_{0.2}$ MPa (kpsi)			
1018	Acero	Recocido	220 (32.0)	341 (49.5)	628 (91.1) [†]	620 (90.0)	0.25	1.05	
1144	Acero	Recocido	358 (52.0)	646 (93.7)	898 (130) [†]	992 (144)	0.14	0.49	
1212	Acero	HR	193 (28.0)	424 (61.5)	729 (106) [†]	758 (110)	0.24	0.85	
1045	Acero	TyR 600°F	1 520 (220)	1 580 (230)	2 380 (345)	1 880 (273) [†]	0.041	0.81	
4142	Acero	TyR 600°F	1 720 (250)	1 930 (280)	2 340 (340)	1 760 (255) [†]	0.048	0.43	
303	Acero inoxidable	Recocido	241 (35.0)	601 (87.3)	1 520 (221) [†]	1 410 (205)	0.51	1.16	
304	Acero inoxidable	Recocido	276 (40.0)	568 (82.4)	1 600 (233) [†]	1 270 (185)	0.45	1.67	
2011	Aleación de aluminio	T6	169 (24.5)	324 (47.0)	325 (47.2) [†]	620 (90)	0.28	0.10	
2024	Aleación de aluminio	T4	296 (43.0)	446 (64.8)	533 (77.3) [†]	689 (100)	0.15	0.18	
7075	Aleación de aluminio	T6	542 (78.6)	593 (86.0)	706 (102) [†]	882 (128)	0.13	0.18	

*Los valores se tomaron de uno o dos colada y se considera que pueden obtenerse usando especificaciones de compra. La deformación por fractura puede variar hasta en 100%.
†Valor derivado.

ANEXO D

PLANOS

ANEXO E

MANUAL DE USUARIO Y MANTENIMIENTO