



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 EN MECATRÓNICA**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ISOLADOR CON UN
HÁBITAT CONTROLADO PARA ANIMALES DE
EXPERIMENTACIÓN CRIADOS PARA EL LABORATORIO DE
INMUNOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS
ARMADAS – ESPE”**

**AUTORES: ARCENTALES VENEGAS, DIANA CAROLINA
VARGAS LARRIVA, CHRISTOPHER ANDRÉS**

DIRECTOR: ING. MARIÑO ABARCA, OSWALDO HERIBERTO

SANGOLQUÍ

2017



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

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ISOLADOR CON UN HÁBITAT CONTROLADO PARA ANIMALES DE EXPERIMENTACIÓN CRIADOS PARA EL LABORATORIO DE INMUNOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE", realizado por los señores **Diana Carolina Arcentales Venegas** y **Christopher Andrés Vargas Larriva**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requerimientos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **Diana Carolina Arcentales Venegas** y **Christopher Andrés Vargas Larriva** para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, 24 Febrero del 2017

Ing. Oswaldo Heriberto Mariño Abarca

DIRECTOR



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

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Diana Carolina Arcentales Venegas** con cédula de identidad N° 1719833764 y **Christopher Andrés Vargas Larriva** con cédula de identidad N° 1720495850, declaramos que este trabajo de titulación **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ISOLADOR CON UN HÁBITAT CONTROLADO PARA ANIMALES DE EXPERIMENTACIÓN CRIADOS PARA EL LABORATORIO DE INMUNOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE”**, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en citas bibliográficas.

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

Sangolquí, 24 Febrero del 2017



Diana Carolina Arcentales Venegas
171983376-4



Christopher Andrés Vargas Larriva
172049585-0



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

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Diana Carolina Arcentales Venegas y Christopher Andrés Vargas Larriva, 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 ISOLADOR CON UN HÁBITAT CONTROLADO PARA ANIMALES DE EXPERIMENTACIÓN CRIADOS PARA EL LABORATORIO DE INMUNOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 24 Febrero del 2017

Diana Carolina Arcentales Venegas

171983376-4

Christopher Andrés Vargas Larriva

172049585-0

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo a toda mi familia que ha sido mi apoyo y fortaleza a través de los años.

A mi madre Anita que me ha enseñado a luchar por mis sueños y metas, y que nunca es tarde para cumplir todo lo que uno se ha planteado en la vida, a mi padre Juan Carlos quien con trabajo y dedicación ha sabido dar a sus hijos todo lo necesario para salir adelante, a mis hermanos Emilia y Daniel, que son mis mejores amigos, mis cómplices y me han brindado su apoyo en los momentos más duros

A Diego mi novio por ser mi compañero de vida, mi mayor apoyo, por nunca haber perdido la fe en mí y por permitirme caminar junto a él cumpliendo sueños y metas.

Y por último a la personita más importante de mi vida, mi hija Danna Valentina que es mi motor para cada día ser una mejor persona.

DIANA CAROLINA ARCENTALES VENEGAS

A Dios, como cada día lo hago.

A mis padres. Sin ellos, esta cosecha no habría dado frutos.

CHRISTOPHER ANDRÉS VARGAS LARRIVA

Agradecimiento

Agradezco a Dios por la vida y por permitirme alcanzar esta meta.

Agradezco también a mi familia, especialmente a mi madre ya que sin su apoyo y ayuda yo no hubiera podido terminar este trabajo, al Ingeniero Lenin Abatta, el Doctor Reynaldo Delgado y el Ingeniero Alexander Ibarra por su ayuda y la confianza depositada en nosotros.

A la Doctora Márbel Torres por permitirnos desarrollar el aislador para su departamento.

A Diego mi novio por su guía durante este proceso.

Finalmente a mi compañero Andrés por su comprensión, paciencia y empeño.

DIANA CAROLINA ARCENTALES VENEGAS

A Dios, por permitirme haber alcanzado esta meta tan importante. Por haberme hecho dar cuenta que cada momento difícil que se me presentaba, era solamente una razón más para valorar todo lo que poseo.

A mis padres, por estar al tanto de este arduo trabajo, por ser partícipes también de este momento especial. Y por su frugal paciencia, que me empujaba cada vez más hacia el desenlace de este camino.

A mis hermanos y todos mis seres queridos quienes estuvieron pendientes, brindándome su apoyo y fortaleza. Ellos fueron pilares fundamentales para sostenerme firmemente.

A la vida.

CHRISTOPHER ANDRÉS VARGAS LARRIVA

Índice de Contenido

Certificación.....	ii
Autoría de responsabilidad.....	iii
Autorización.....	iv
Agradecimiento.....	vii
Índice de Contenido.....	ix
Índice de Tablas.....	xii
Índice de Figuras.....	xvi
Resumen.....	xix
Abstract.....	xx
CAPÍTULO I	
GENERALIDADES.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación e importancia.....	1
1.3 Definición del problema.....	2
1.4 Objetivos.....	3
1.4.1 Objetivo General.....	3
1.4.2 Objetivos Específicos.....	4
1.5 Alcance del Proyecto.....	4
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Trabajo con animales para experimentación.....	7
2.2 Unidad de contención de animales.....	9
2.2.1 Cámara aisladora:.....	11
2.2.2 Sistema de filtración.....	12
2.2.3 Estructura de soporte.....	14
2.2.4 Sistema de ventilación.....	15
2.2.5 Sistema eléctrico, electrónico y de control.....	17
2.2.6 Caja mezcladora.....	20
CAPÍTULO III	
DISEÑO.....	21
3.1 Especificaciones del producto.....	21

3.2	Diseño de la cámara aisladora	22
3.2.1	Elección del material.	22
3.2.1.1	Elección del material para la cámara:	22
3.2.1.2	Elección del material para la puerta del aislador:	26
3.2.2	Dimensionamiento de la cámara:.....	27
3.2.2.1	Dimensionamiento de la estructura del aislador.	30
3.2.2.1.1	Techo y base de la estructura.	30
3.2.2.1.2	Separación entre pisos.....	35
3.2.2.2	Dimensionamiento de las láminas.....	38
3.2.2.2.1	Lamina superior e inferior.....	41
3.2.2.2.2	Lámina de separación entre pisos.	44
3.3	Diseño del sistema de filtración.....	49
3.3.1	Elección del filtro HEPA	49
3.3.2	Elección del filtro de carbón activo	52
3.4	Diseño del sistema electrónico	55
3.4.1	Elección de los sensores.	55
3.4.2	Elección del sistema de iluminación.....	56
3.4.3	Elección del sistema de visualización.....	58
3.4.4	Elección del sistema de procesamiento.	60
3.5	Diseño de la cámara de mezclado.....	62
3.5.1	Elección del material.	62
3.5.2	Dimensionamiento del sistema de calefacción:	64
3.5.2.1	Elección del tipo de calefacción:	65
3.5.2.2	Determinación de la potencia del sistema de calefacción:	67
3.5.2.2.1	Pérdidas de calor sensible por transmisión de los cerramientos	67
3.5.2.2.2	Pérdidas de calor sensible por infiltraciones de aire exterior	69
3.5.2.2.3	Ganancia de calor sensible por aportaciones internas permanentes	69
3.5.3	Dimensiones de la cámara de mezclado.	72
3.6	Diseño del sistema de ventilación.....	78
3.6.1	Diseño de conductos de ventilación:	78
3.6.2	Elección del ventilador a usarse.....	80
3.7	Diseño de la estructura de soporte.	83
3.7.1	Elección del material.	83

3.7.2	Dimensionamiento de la estructura de soporte para cámara aisladora...	85
3.7.3	Elección de las ruedas o garruchas.....	87
3.8	Diseño del sistema de control.....	90
3.8.1	Control de las luces.....	90
3.8.2	Control de la niquelina.....	91
3.8.2.1	Controlador ON/OFF:.....	99
3.8.2.2	Controlador proporcional:.....	100
3.8.2.3	Controlador proporcional integral:	102
3.8.2.4	Controlador proporcional integral derivativo:	103
3.8.3	Programación del arduino.....	105
3.8.4	Diseño del circuito de control y potencia.....	105
3.8.4.1	Diseño de la placa de control.....	106
3.8.4.2	Diseño de la placa de potencia.....	108
CAPÍTULO IV		
OPERACIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS.....		110
4.1	Funcionamiento de la cámara aisladora.....	110
4.2	Pruebas de funcionamiento del aislador.....	113
4.2.1	Luces apagadas.....	113
4.2.2	Luces prendidas.....	117
CAPÍTULO V		
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		121
5.1	CONCLUSIONES.....	121
5.2	RECOMENDACIONES.....	122
BIBLIOGRAFÍA.....		123

Índice de Tablas

Tabla 1 Condiciones del aislador para animales de experimentación.	3
Tabla 2 Declaración de la misión.	5
Tabla 3 Especificaciones del usuario.	6
Tabla 4 Parámetros para unidades de contención de animales.	10
Tabla 5 Eficiencias integrales de cada clase de filtro HEPA.	13
Tabla 6 Efectos sensoriales de los rangos de TCOV.	14
Tabla 7 Controladores.	19
Tabla 8 Especificaciones del producto.	21
Tabla 9 Evaluación del peso específico de cada criterio para la elegir el material... ..	22
Tabla 10 Evaluación del criterio: Bajo costo.	23
Tabla 11 Evaluación del criterio: Soldabilidad.	23
Tabla 12 Evaluación del criterio: Oferta en el mercado ecuatoriano.	23
Tabla 13 Tabla de resultados para la selección del material.	23
Tabla 14 Evaluación del peso específico para la elección del acero inoxidable.	24
Tabla 15 Evaluación del criterio: Resistencia a la humedad.	24
Tabla 16 Evaluación del criterio: Resistencia a los detergentes.	25
Tabla 17 Evaluación del criterio: Resistencia a la orina de roedores.	25
Tabla 18 Tabla de resultados para la selección del acero inoxidable.	25
Tabla 19 Evaluación del peso específico para la elección del material de la puerta. ..	26
Tabla 20 Evaluación del criterio: Resistencia a los detergentes.	26
Tabla 21 Evaluación del criterio: Transparencia.	27
Tabla 22 Evaluación del criterio: Oferta en el mercado ecuatoriano.	27
Tabla 23 Tabla de resultados para la selección del material para la puerta.	27
Tabla 24 Tabla de especificaciones del diseño preliminar de la cámara aisladora. ..	29
Tabla 25 Catálogo de tubos cuadrados de acero inoxidable.	33
Tabla 26 Catálogo de tubos rectangulares de acero inoxidable.	33
Tabla 27 Catálogo de ángulos de acero inoxidable.	34
Tabla 28 Selección del tipo de tubo a usarse en el esqueleto.	34
Tabla 29 Catálogo de ángulos de acero inoxidable.	38
Tabla 30 Evaluación del peso específico para la elección del tipo de soldadura.	39
Tabla 31 Evaluación del criterio: Soldabilidad en láminas.	40

Tabla 32 Evaluación del criterio: Posición de soldadura.....	40
Tabla 33 Evaluación del criterio: Espesor mínimo	40
Tabla 34 Tabla de resultados para la selección del tipo de soldadura.....	41
Tabla 35 Catálogo de plancha de acero inoxidable.....	41
Tabla 36 Resultado de la carga del método de Navier.....	42
Tabla 37 Resultado de las flechas del método de Navier.....	43
Tabla 38 Resultado de las deformaciones en flecha central del método de Navier..	43
Tabla 39 Resultado de la carga del método de Navier.....	46
Tabla 40 Resultado de las flechas del método de Navier.....	46
Tabla 41 Resultado de las deformaciones en flecha central del método de Navier..	46
Tabla 42 Rendimiento de filtros HEPA y ULPA según la norma CEN-EN 1822....	50
Tabla 43 Evaluación del peso específico para la elección del filtro HEPA.....	50
Tabla 44 Evaluación del criterio: Bajo costo.	51
Tabla 45 Evaluación del criterio: Oferta en el mercado.....	51
Tabla 46 Evaluación del criterio: Eficiencia	51
Tabla 47 Tabla de resultados para la selección del filtro HEPA.....	51
Tabla 48 Evaluación del peso específico para la elección del filtro carbón activo...	52
Tabla 49 Evaluación del criterio: Montaje.....	52
Tabla 50 Evaluación del criterio: Resistencia final.....	53
Tabla 51 Evaluación del criterio: Eficiencia	53
Tabla 52 Tabla de resultados para la selección del filtro de carbón activo.....	53
Tabla 53 Selección del filtro de carbón activo tipo cartucho.....	54
Tabla 54 Evaluación del peso específico para la selección de la iluminación.....	56
Tabla 55 Evaluación del criterio: Control	57
Tabla 56 Evaluación del criterio: Bajo costo.	57
Tabla 57 Evaluación del criterio: Oferta en el mercado.....	57
Tabla 58 Tabla de resultados para la selección del tipo del sistema de iluminación.	58
Tabla 59 Evaluación del peso específico para la selección de la visualización.....	58
Tabla 60 Evaluación del criterio: Bajo costo	59
Tabla 61 Evaluación del criterio: Tamaño.	59
Tabla 62 Evaluación del criterio: Peso.....	59
Tabla 63 Evaluación del criterio: Programación.....	59

Tabla 64	Tabla de resultados para la selección del sistema de visualización.	60
Tabla 65	Evaluación del peso específico para la elección del procesador.....	60
Tabla 66	Evaluación del criterio: Bajo costo	61
Tabla 67	Evaluación del criterio: Tamaño.	61
Tabla 68	Evaluación del criterio: Programación.....	61
Tabla 69	Tabla de resultados para la elección del procesador.	61
Tabla 70	Selección del tipo de Arduino a usarse para el control.	62
Tabla 71	Evaluación del peso específico para la elección del material	63
Tabla 72	Evaluación del criterio: Oferta en el mercado.....	63
Tabla 73	Evaluación del criterio: Manufactura.....	63
Tabla 74	Evaluación del criterio: Bajo costo.	64
Tabla 75	Evaluación del criterio: Pérdida de calor.	64
Tabla 76	Tabla de resultados para la selección del material.	64
Tabla 77	Evaluación del peso específico para la elección de la calefacción de aire.	65
Tabla 78	Evaluación del criterio: Bajo costo.	65
Tabla 79	Evaluación del criterio: Oferta en el mercado ecuatoriano.	66
Tabla 80	Evaluación del criterio: Eficiencia.....	66
Tabla 81	Tabla de resultados para la selección del material.	66
Tabla 82	Especificaciones técnicas del foco LED dimeable.	70
Tabla 83	Calor sensible y agua liberados por diferentes especies de animales.	71
Tabla 84	Propiedades del aire a la presión de 1 atmósfera.	73
Tabla 85	Número de Nussel y factor de fricción para flujo laminar.....	76
Tabla 86	Evaluación del peso específico para la elección del tipo del conducto.....	79
Tabla 87	Evaluación del criterio: Movilidad.....	79
Tabla 88	Evaluación del criterio: Indeformable.....	79
Tabla 89	Evaluación del criterio: Bajo costo	80
Tabla 90	Tabla de resultados para la selección del tipo de ducto.	80
Tabla 91	Características requeridas para el ventilador.....	81
Tabla 92	Catálogo ventiladores centrífugos de Siemens.	81
Tabla 93	Selección del ventilador centrífugo.....	82
Tabla 94	Evaluación del peso específico para la elección del material	83
Tabla 95	Evaluación del criterio: Resistencia.	84

Tabla 96 Evaluación del criterio: Manufactura.....	84
Tabla 97 Evaluación del criterio: Oferta en el mercado.....	84
Tabla 98 Tabla de resultados para la selección del material.	84
Tabla 99 Catálogo de ángulos de acero negro.....	87
Tabla 100 Evaluación del peso específico para la elección de las ruedas.....	88
Tabla 101 Evaluación del criterio: Bajo costo.	89
Tabla 102 Evaluación del criterio: Oferta en el mercado.....	89
Tabla 103 Evaluación del criterio: Freno.....	89
Tabla 104 Tabla de resultados para la selección de las ruedas.	89
Tabla 105 Parámetros para diseño de controladores.....	98
Tabla 106 Elección del tipo de controlador.	104
Tabla 107 Funciones programadas en el arduino.....	105
Tabla 108 Comportamiento de la cámara aisladora con temperatura 20°C.....	114
Tabla 109 Error porcentual	114
Tabla 110 Error porcentual desde 21°C hasta 26°C.....	115
Tabla 111 Comportamiento de la cámara aisladora con temperatura 20°C.....	117
Tabla 112 Error porcentual	117
Tabla 113 Error porcentual desde 21°C hasta 26°C.....	118

Índice de Figuras

Figura 1 Uso de animales en la investigación.....	8
Figura 2 Tipos de animales usados para la experimentación.....	8
Figura 3 Clasificación de los ventiladores.	16
Figura 4 Vista isométrica del aislador. (Diseño propio).....	20
Figura 5 Cajas comerciales para la contención de animales (medidas en pulgadas).....	28
Figura 6 Caja aisladora diseñada (medidas en mm).	29
Figura 7 Diseño preliminar de la estructura del aislador	30
Figura 8 Techo del esqueleto de aislador.....	30
Figura 9 Reacciones de la viga a una carga puntual	31
Figura 10 Pandeos permitidos para estructuras de acero.	31
Figura 11 Fórmulas y diagramas para una carga puntual.	32
Figura 12 Medidas de un tubo cuadrado. Fuente: (DIPAC, 2016)	35
Figura 13 Medidas de las vigas de separación entre pisos.....	35
Figura 14 Diagrama de cuerpo libre de ambas vigas.	36
Figura 15 Fórmulas y diagramas para una carga distribuida	37
Figura 16 Medidas del ángulo Fuente: (DIPAC, 2016).....	38
Figura 17 Plancha del techo y piso de la cámara del aislador.	42
Figura 18 Pandeo máximo de entrepaños para estanterías	43
Figura 19 Deformaciones y factores de seguridad de las láminas del techo y el piso. ..	44
Figura 20 Plancha perforada para la separación de pisos de la cámara del aislador.	45
Figura 21 Deformación de la lámina perforada	47
Figura 22 Factor de seguridad de la lámina perforada.....	48
Figura 23 Vista lateral de la plancha de separación entre pisos del aislador.....	48
Figura 24 Deformaciones máximas de la plancha perforada del aislador con doblez...	49
Figura 25 Filtro Alchimia Can Lite 100/150. Fuente: (Alchimiaweb, 2014)	53
Figura 26 Filtro Alchimia Can Lite 125/300. Fuente: (Alchimiaweb, 2014)	54
Figura 27 Filtro Alchimia Can Lite 150/425S. Fuente: (Alchimiaweb, 2014).....	54
Figura 28 Sensor de temperatura y humedad DTH11. Fuente: (Prometec, 2016).....	55
Figura 29 Sensor de temperatura y humedad SHT11. Fuente: (Cetronic, 2017).....	56
Figura 30 Arreglo de niquelina.	72
Figura 31 Diseño básico de la cámara de mezclado.	73

Figura 32 Vista isométrica de la cámara de mezclado.....	77
Figura 33 Dimensiones de las perforaciones de la cámara de mezclado	78
Figura 34 Ventilador centrífugo CY12ØA2P	82
Figura 35 Características del ventilador centrífugo CY125ØA2P	82
Figura 36 Medidas de las vigas de la estructura de soporte.....	85
Figura 37 Diagrama de cuerpo libre de ambas vigas.	86
Figura 38 Medidas del ángulo Fuente: (DIPAC, 2016).....	87
Figura 39 Garrucha Serie 03	89
Figura 40 Diagrama de flujo general de funcionamiento del equipo.....	90
Figura 41 Diagrama de flujo del funcionamiento de las luces.....	91
Figura 42 Diagrama sistema en lazo abierto.	91
Figura 43 Comportamiento de la planta en lazo abierto.	92
Figura 44 Herramienta ident con dato encapsulado cargado.	93
Figura 45 Estimación de la función de transferencia.....	93
Figura 46 Modelamiento de la función de transferencia.....	94
Figura 47 Función de transferencia generada en el ident.....	95
Figura 48 Función de transferencia de la planta de forma exponencial.....	95
Figura 49 Función de transferencia del comportamiento de la planta.	95
Figura 50 Función de transferencia del retardo de la planta.	96
Figura 51 Función de transferencia de la planta.	96
Figura 52 Respuesta de la planta en lazo cerrado con una entrada tipo escalón.....	97
Figura 53 Lugar geométrico de raíces.....	97
Figura 54 Diagrama de Bode de magnitud y Fase en lazo cerrado.	98
Figura 55 Diagrama de Bode de magnitud y Fase en lazo abierto.	98
Figura 56 Planta con control ON/OFF del tipo PWM.	99
Figura 57 Respuesta de la planta con controlador PWM.....	100
Figura 58 Planta con controlador proporcional en lazo cerrado.	100
Figura 59 Respuesta de la planta con controlador proporcional en lazo cerrado.	101
Figura 60 Respuesta de la planta con controlador proporcional en lazo cerrado.	101
Figura 61 Planta con controlador proporcional integral en lazo cerrado.....	102
Figura 62 Planta con controlador proporcional integral en lazo cerrado.....	102
Figura 63 Planta con controlador proporcional integral derivativo en lazo cerrado....	103

Figura 64	Planta con controlador proporcional integral derivativo en lazo cerrado....	103
Figura 65	Diagrama de flujo del funcionamiento de la niquelina.....	104
Figura 66	Comprobación de funcionamiento del equipo.....	106
Figura 67	Verificación de la pantalla LCD.....	106
Figura 68	Diseño del circuito.....	107
Figura 69	Diseño de la baquelita.	107
Figura 70	Vista preliminar de la baquelita en 3D.	108
Figura 71	Diseño del circuito.....	108
Figura 72	Diseño de la baquelita.	109
Figura 73	Vista preliminar de la baquelita en 3D.	109
Figura 74	Unidad de contención de animales.	110
Figura 75	Mando alámbrico.....	111
Figura 76	Switch de encendido general del equipo	112
Figura 77	Led y buzzer de seguridad	113
Figura 78	Comportamiento de la cámara aisladora con temperatura seteada 20°C.....	114
Figura 79	Comportamiento de la cámara aisladora	116
Figura 80	Comportamiento de la cámara aisladora con temperatura seteada 20°C.....	118
Figura 81	Comportamiento de la cámara aisladora	119

Resumen

Este proyecto explica el desarrollo de la construcción de un prototipo de aislador con parámetros de temperatura, ciclos de renovación de aire y ciclos de luz controlados. Para esta construcción se tomó en cuenta las especificaciones mecánicas, electrónicas y de control, las cuales funcionan en conjunto y cumplen de una manera eficiente lo solicitado. Desde el punto de vista mecánico, la construcción de la cámara de aislamiento se basó en un material que cumpla con las bases de tamaño y de limpieza para el manejo de pequeños animales, las cuales sugieren cuidar el bienestar animal; mientras que la estructura de todo el aislador se realiza en un material de geometría robusta para que pueda soportar el peso de la cámara y sus componentes de control y actuadores. En cuanto a componentes electrónicos de control y actuadores, se eligieron de acuerdo a las necesidades de potencia y trabajo necesario para que el aislador funcione de manera óptima. El aislador funcionará dentro de las instalaciones del laboratorio de inmunología de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, y servirá como hábitat para pequeños animales de laboratorio.

PALABRAS CLAVE:

- AISLADOR
- CICLOS DE LUZ
- RENOVACIÓN DEL AIRE
- ANIMALES DE EXPERIMENTACIÓN

Abstract

This project explains the development of the construction of an isolator prototype with parameters such as temperature, air change cycles and cycles of controlled light. For this construction we must think in the mechanical, electrical and control specification in order to work together to satisfy the request.

From the mechanical point of view, the construction of the isolation camera will be in a material that meet the specification of size and cleaning for little animal handling, also the structure of the isolator will be made of a robust material so it can support the weight of the camera, the electronical control and the actuators.

For the electronical components of control and actuators, they will be chosen according to the necessity of power and work required for the optimal work of the isolator.

The isolator will work in the immunology laboratory of the Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, and will work as a habitat for little laboratory animals.

KEY WORDS:

- ISOLATOR.
- AIR CHANGE CYCLES.
- CYCLES OF LIGHT.
- LABORATORY ANIMALS.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

La experimentación con animales ha sido usada desde el siglo II A.C. por científicos y médicos como un método experimental para probar nuevos químicos en seres vivos además de métodos quirúrgicos novedosos antes de ser aplicados en seres humanos.

La investigación biomédica como se conoce a esta experimentación busca el estudio en animales vivos o muertos, sean estos invertebrados o vertebrados, donde se destacan principalmente los ratones, ratas, conejos, pájaros, ranas, peces, perros, gatos, ovejas y primates siempre teniendo en cuenta que los mismos son no destetados.

Estos animales de laboratorio pueden ser utilizados en distintos tipos de investigaciones, tales como: la genética, la biología del desarrollo, estudio de comportamientos, los xenotrasplantes, pruebas de drogas, pruebas cosmetológicas y pruebas de toxicología.

Con los avances tecnológicos que se han ido desarrollando, la investigación biomédica ha sido más efectiva, pues ahora se cuenta con máquinas especializadas en el monitoreo y el control de animales de experimentación, muchos de estos equipos son utilizadas para exponerlos a diferentes condiciones de tal manera que se pueda estudiar el comportamiento de los animales bajo estrés.

Justamente esto es lo que busca el aislador desarrollado a continuación, servir como hábitat para diferentes tipos de roedores, para que puedan ser expuestos a diferentes condiciones de temperatura, luz y renovaciones de aire, de tal manera que el estudio del comportamiento de los mismos sea mucho más eficiente y controlado.

1.2 Justificación e importancia

Actualmente la aparición de nuevas enfermedades y la mutación de otras ya existentes han llevado a la ciencia a buscar con más ahínco la cura a cualquier tipo de

virus o bacterias que puedan hacerle daño al ser humano, teniendo en la experimentación con animales la solución para poder desarrollar nuevos compuestos químicos que contrarresten dichas enfermedades.

Para poder estudiar la evolución de los sujetos de experimentación con la sustancia suministrada es necesario que se controlen los parámetros de presión, temperatura, calidad del aire e intensidad de luz de su hábitat y mantenerlos constantes.

Con este proyecto se solventarán problemas de mantención de animales de laboratorio, en condiciones estables, pues se los podrá tener en un hábitat con las condiciones necesarias para la experimentación, debido a que, el aislador está dirigido al uso de estudiantes y con un fin de docencia, se controlan los parámetros básicos tales como: la temperatura, renovación de aire, e intensidad y horas de luz.

1.3 Definición del problema

Un aislador es una cabina en la cual se pueden controlar parámetros de presión, temperatura, humedad, número de renovaciones de aire por hora, velocidad de circulación del aire, intensidad de la luz interna y horas de iluminación.

Dicho aislador estará constituido por un armazón con dos pisos, en cada piso se podrá colocar hasta tres cajas con cinco animales en cada una, por lo que la estructura deberá ser diseñada de tal manera que soporte el peso de si misma, de los animales y de sus respectivas cajas con alimento, y estará construido en un material resistente a los detergentes habituales o químicos como mezcla crómica, por lo que su diseño deberá permitir una fácil limpieza, debido a esto se hará una investigación de los materiales más idóneos tomando en cuenta sus características mecánicas, la facilidad de manufactura, existencia en el mercado y precio.

La estructura que soportará el aislador y los demás elementos para el control de los parámetros deberá ser diseñada para que no ceda ante todo el peso y las cargas a las que será sometida, siendo independiente de la cabina del aislador, además deberá ser móvil.

Todo el aislador deberá ser hermético, con una puerta doble de un material transparente para la observación de los animales.

Este hábitat requiere de un sistema de ventilación para respiración de los animales, con un motor de suministro de aire de alto rendimiento y bajo nivel de ruido, con una velocidad del aire ajustable máxima de $1,1 \frac{m}{s}$ y ciclos de renovación de hasta 20 por hora, todo este sistema debe constar de filtros para la desinfección del aire que ingresará a la cámara, así como también filtros de carbón recargables para la eliminación de malos olores.

Todo el hábitat debe permanecer a una temperatura y luz específicas, las mismas que oscilarán entre 20 y 24 °C y luz controlada con ciclos de 12 o 14 horas al día.

Todo lo ya detallado debe estar controlado por una serie de sensores internos que permitirán mantener las condiciones requeridas, además de un sistema de alarma ante cualquier fallo, sea en la detección de errores de medición o en la falta de suministro de energía, además de que el equipo tendrá una interfaz humano-máquina donde se indicarán en tiempo real las condiciones a las que se encuentra los animales.

Un resumen de los parámetros requeridos se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 1

Condiciones del aislador para animales de experimentación.

Condición	Valor mínimo	Valor máximo	Unidades	Forma de control
Temperatura	20	24	°C	Niquelinas y ventilador
Intensidad lumínica	60	400	Lux	Dimmer
Luz	12	14	Horas/Diarias	Dimmer y contador
Velocidad del aire	1.1	NA	m/s	Ventilador
Ciclos de aire	15	20	Ciclo/hora	Ventilador

Fuente: (Hedrich, 2012)

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un prototipo de un aislador para animales de experimentación con un ambiente controlado y variables monitoreadas para el laboratorio de Inmunología de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Diseñar y construir la cámara aisladora y sus componentes con las especificaciones de material requeridas por el usuario.
- Seleccionar e implementar sensores y actuadores que nos permitan tener un aislador eficiente.
- Seleccionar e implementar un controlador eficiente para el comportamiento de la planta.
- Desarrollar una interfaz humano-máquina amigable con el usuario.

1.5 Alcance del Proyecto

El aislador para animales de laboratorio permitirá al usuario controlar los parámetros a los que estarán expuestos los ratones usados en el laboratorio de inmunología, controlando temperatura, velocidad del aire, ciclos de renovación de aire, iluminación y ciclos de luz, por lo que el proyecto será desarrollado en base a las necesidades de los estudiantes y docentes del área de biotecnología.

Para desarrollar el proyecto es necesario declarar la misión del mismo la cual sería:

“Desarrollar un aislador para roedores que cumpla con las expectativas de los docentes y estudiantes del laboratorio de inmunología tanto en capacidad de almacenamiento de animales como en facilidad de mantenimiento y limpieza”.

Tabla 2

Declaración de la misión

Declaración de la misión: Proyecto aislador	
Descripción del producto	Unidad de contención de animales semiautomático con características mecánicas y electrónicas apropiadas para el manejo de animales de laboratorio.
Propuesta de valor	La cabina será desmontable y de fácil limpieza, la estructura total será móvil, se contará con un sistema de alarma ante cualquier fallo, y una visualización en tiempo real de las condiciones.
Metas claves	Construir un aislador hecho bajo las medidas pedidas por el usuario.
Usuarios	Docentes y estudiantes del área de Biotecnología de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE
Suposiciones	Los animales a usarse pueden ser ratones o ratas
Involucrados	Usuarios, tesisistas mecatrónicos, docentes de apoyo

Para asegurar que el proyecto cumpla con las necesidades de docentes y estudiantes del área de biotecnología que son usuarios del laboratorio de inmunología, se ha basado el diseño y la construcción en las especificaciones indicadas por la PhD. Marbel Torres, Docente del Departamento de Ciencias de la Vida, Carrera de Biotecnología. Dichas especificaciones se indican a continuación:

Tabla 3
Especificaciones del usuario.

Propiedad	Requerimiento
<ul style="list-style-type: none"> • Estructura en contacto directo con animales de experimentación 	<ul style="list-style-type: none"> • La estructura de la cámara donde estarán alojadas las cabinas de animales debe estar hecha en un material que sea resistente a los detergentes, hipoclorito al 0.5%, y a los productos de limpieza en general.
<ul style="list-style-type: none"> • Estructura sin contacto directo con animales de experimentación 	<ul style="list-style-type: none"> • La estructura que no tenga contacto con las cabinas de animales puede ser de material que soporte el peso de la cámara aisladora.
<ul style="list-style-type: none"> • Puerta de la cámara 	<ul style="list-style-type: none"> • La cámara tendrá una sola puerta general de doble hoja para acceso a los cubículos hecha en un material transparente resistente a los detergentes, hipoclorito al 0.5%, y a los productos de limpieza en general.
<ul style="list-style-type: none"> • Espaciado interno de la cámara 	<ul style="list-style-type: none"> • El cámara tendrá una configuración de dos pisos con capacidad para 3 bandejas por piso, cuyas medidas serán 19.05, 29.21 y 22.86 con una distancia de 100[mm] entre cada una.
<ul style="list-style-type: none"> • Separación entre pisos 	<ul style="list-style-type: none"> • El primer piso de la cámara será perforado para mejor circulación del aire y desmontable.
<ul style="list-style-type: none"> • Filtraje de aire 	<ul style="list-style-type: none"> • La cámara contará con un filtro HEPA cuya eficiencia es del 99.999%, adecuado para la limpieza del aire al ingreso del equipo y un filtro de carbón para la contención de olores a la salida.
<ul style="list-style-type: none"> • Ventilador 	<ul style="list-style-type: none"> • El ventilador será el adecuado para poder controlar el flujo de aire por hora y su velocidad dentro de la cámara según requiera el usuario.
<ul style="list-style-type: none"> • Error en la temperatura 	<ul style="list-style-type: none"> • El control de temperatura puede tener un rango de variación de $\pm 2^{\circ}\text{C}$.
<ul style="list-style-type: none"> • Humedad y presión 	<ul style="list-style-type: none"> • La humedad y la presión no serán controladas, por lo que ambas serán las mismas del ambiente donde se encontrará trabajando la cámara.
<ul style="list-style-type: none"> • Hermeticidad 	<ul style="list-style-type: none"> • La cámara será hermética
<ul style="list-style-type: none"> • Ciclos de Luz 	<ul style="list-style-type: none"> • Los ciclos de luz podrán ser modificables conforme requiera el usuario.
<ul style="list-style-type: none"> • Visibilidad de constantes 	<ul style="list-style-type: none"> • Se tendrán indicadores visuales de la temperatura y la humedad internas y externas, además de la intensidad y el tiempo de luz programados
<ul style="list-style-type: none"> • Alarmas 	<ul style="list-style-type: none"> • Se implementará alarmas sonoras que indiquen si existe algún desperfecto en los sensores.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Trabajo con animales para experimentación

La continua búsqueda a la solución de problemas médicos que día a día el ser humano debe afrontar, ha llevado a científicos a experimentar con animales y desarrollar sistemas para el bienestar de los mismos.

Para enfermedades que azotaban a los pueblos y disminuían considerablemente el nivel y calidad de vida del ser humano, se buscaron métodos que permitieran al mismo gozar de una buena salud, por lo que en un principio el método de analogía y especulación era una opción muy viable para tratar de alcanzar el objetivo, pero no fue una solución total, es por esto que nace la experimentación científica y el uso de animales para pruebas previas al uso en humanos.

Es por esto que el uso de seres vivos no humanos como fuente de conocimiento experimental tiene una larga trayectoria, ya que todas las ciencias médicas incluyendo la psicología han basado sus estudios en este tipo de experimentos que tienen por objetivo observar las reacciones de los sujetos ante químicos o fenómenos para luego ser estudiado en seres humanos.

He aquí la importancia de este estudio, puesto que la ventaja evolutiva permite al ser humano buscar elementos que mejoren el estado de vida del mismo, sin poner en riesgo su seguridad, estudiando primero sus efectos en elementos de experimentación.

Cabe recalcar que éticamente, el único uso que se debe tener en la experimentación animal es la investigación médica, la experimentación de otro tipo debe ser controlada y autorizada por un comité de ética de manejo de animales de experimentación, por cada protocolo de ensayo a realizarse en ellos.

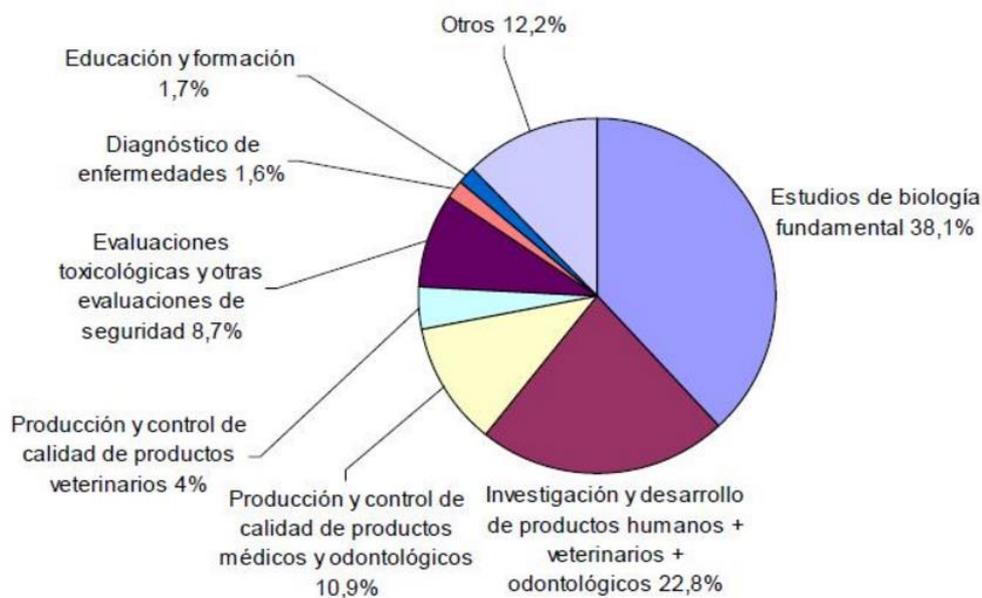


Figura 1. Uso de animales en la investigación

Fuente: (Boada Saña, Colom Comí, & Castelló Echeverría, 2015)

Apegándose al trato ético hacia animales de experimentación, es necesario que los mismos sean tratados con respeto, en lugares con las adecuaciones necesarias de alimentación, luz, y limpieza de acuerdo a la especie con la que se trabaja.

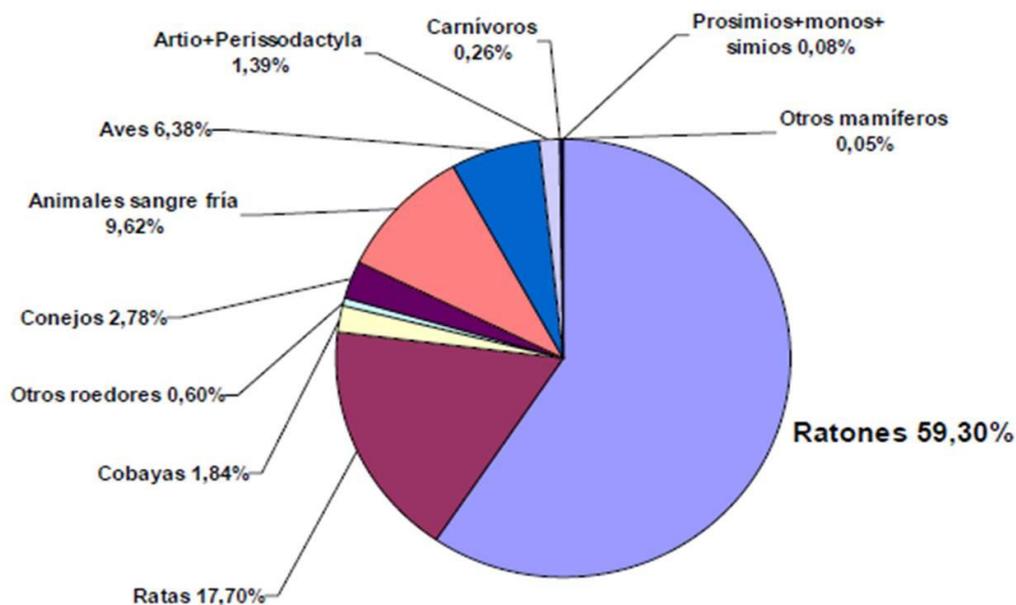


Figura 2. Tipos de animales usados para la experimentación.

Fuente: (Boada Saña, Colom Comí, & Castelló Echeverría, 2015)

Para esto se han desarrollado unidades de contención de animales que cumplan con las condiciones necesarias de parámetros y dimensiones que dependen de la

especie, y permitan al laboratorista una fácil visualización y manipulación de los mismos.

2.2 Unidad de contención de animales

Una unidad de contención de animales es una cámara o estructura diseñada para mantener a los sujetos de experimentación bajo condiciones controladas de presión, temperatura, humedad y cantidad de luz principalmente, dichas condiciones pueden ser o no monitoreadas, y permiten mejorar el estudio de los experimentos.

Estas unidades deben regirse a la normativa internacional para el uso adecuado de animales dada por “International Guiding Principles for Biomedical research Involving Animals” de la OMS o la UNESCO, o la “European Convention for the Protection of Vertebrate Animals for Experimental and other Scientific Purposes”.

Las principales características que deben tener estas unidades son:

Tabla 4
Parámetros para unidades de contención de animales.

Parámetro	Especificación
Tamaño	Dependiendo del tipo de animal a usarse el tamaño debe ser el adecuado y regirse a la normativa.
Limpieza	La limpieza debe hacerse regularmente, con químicos desinfectantes como el cloro y detergentes. La unidad debe ser fácil de limpiar y resistir a químicos desinfectantes y abrasivos.
Hermeticidad	Por protección del personal de trabajo, la unidad debe ser hermética para evitar fugas.
Equipo del personal	El personal debe usar equipo de protección visual, respiratorio y uso de ropa apropiada para la manipulación de los animales.
Puertas	Puertas con traba de seguridad para evitar fugas.
Visualización	Es aconsejable la instalación de una ventanilla o dispositivo alternativo para observar a los ocupantes.
Filtros	Los filtros a usarse deben ser del tipo HEPA o equivalentes.
Ventilación	Los sistemas de ventilación deberían incorporar medidas para prevenir el flujo de aire invertido, intercalando en su caso sistemas suplementarios para prevenir la presurización positiva de la habitación en caso de fallo de los ventiladores de extracción.
Presión	El animalario debe mantener una presión negativa con respecto a la atmósfera.
Alarma	Se deberá instalar un sistema de alarma para detectar fallos en la presión del aire y los manómetros deberían estar colocados de forma que puedan ser leídos desde fuera y dentro del laboratorio
Tamaño	Dependiendo del tipo de animal a usarse el tamaño debe ser el adecuado y regirse a la normativa.
Limpieza	La limpieza debe hacerse regularmente, con químicos desinfectantes como el cloro y detergentes.

Fuente: (Alonso Espadalé, Martí Solé, & Constans Aubert, 2010)

Las dimensiones y el material con el que están hechas dichas unidades dependen del tipo de animal a usarse, la alimentación y las condiciones de limpieza que se necesita, tomando en cuenta que muchos de los experimentos necesitan mantener a los animales en cuarentena, por lo que la sanidad en este tipo de estructuras y cámaras es sumamente importante.

La unidad consta de varias partes que en conjunto permiten el manejo responsable de animales.

2.2.1 Cámara aisladora:

También llamada cámara aisladora o de ambiente controlado, en donde sus factores influyentes son la temperatura, la humedad relativa, la luz y la presión.

Este tipo de cámaras proporcionan un ambiente hermético que permite controlar ambientes adecuados para la esterilización de material, manejo de animales, crecimiento de plantas, manipulación de materiales inorgánicos, orgánicos, organometálicos y bioquímicos sensibles al aire, aislamiento de materiales sensibles a la contaminación, etc.

El material con el que la misma será construida deberá cumplir los parámetros mecánicos necesarios para soportar:

- Sobrecargas generadas por el manejo de la cámara aisladora.
- Cargas permanentes generadas por el peso de los animales, sus cajas de contención y la misma estructura.
- Detergentes y químicos abrasivos, necesarios para la limpieza de residuos provocados por los animales.

La principal característica de este tipo de cámaras es que el aire circulará de manera uniforme por toda la cámara de tal manera que la temperatura, humedad y velocidad del aire será constante en todo el volumen interno del aislador, esto se puede obtener teniendo en el centro de la cámara una lámina con perforaciones lo suficientemente grandes y con una separación adecuada que permita el paso de las corrientes de aire entre piso y piso.

La cámara tendrá una puerta hecha en un material que además de cumplir con los parámetros anteriores también será transparente para poder visualizar a los animales de mejor manera sin necesidad de abrir dicha puerta y alterar el ambiente controlado.

En lo que respecta al espacio que se tienen entre la carga y el piso superior, por lo general, se dejan aberturas de 4 a 6 [in] (10 a 15 [cm]) desde la parte más alta de la carga hasta la parte inferior de la siguiente lámina.

Así mismo, se debe tomar en cuenta el espacio, tanto horizontal como frontal, entre la carga y las paredes. Por lo general, se deja un espacio de 4 [in] (10 [cm]) entre cada carga y los montantes.

2.2.2 Sistema de filtración

Cuando se trabaja en laboratorios, la filtración de aire es sumamente importante, ya que este debe entrar a la cámara libre de cualquier tipo de impureza que pudiera alterar las condiciones a las que están sometidos los sujetos de experimentación.

El filtraje de entrada del aire hacia la cámara aisladora deberá cumplir con la norma DIN 28184, ya que son filtros de alta eficiencia, superior a los filtros usados en aire acondicionado. Este tipo de filtros deberán retener partículas entre 0.1 y 0.3 [μm].

Estos filtros de alta eficiencia son de las denominaciones HEPA y ULPA, cuya curva de mínimo depende de la velocidad de paso del aire o el caudal con el que trabajan, por lo que la capacidad de retención de estos filtros aumenta cuando la velocidad del aire disminuye.

Están contruidos con un papel de microfibra de vidrio en forma plegada para la superficie filtrante, estos pliegues son los que determinan la pérdida de carga y la eficiencia del filtro ya que las mismas dependen de la profundidad y la forma de los pliegues.

La norma que rige el control de calidad es la EN 1822, basándose en la eficiencia y la detección de fugas de los filtros HEPA y ULPA, en donde desde la clase H13 hacia arriba, se requiere un control individual a través del uso de filtro de parafina que permite encontrar las fugas con inspecciones visuales, en cambio para los filtros U15 en adelante y H14 requieren tener un contador de partículas, sometiéndolos a un aerosol, y contabilizando las partículas a la salida del área filtrada, si excede los límites se considera un filtro defectuoso por la presencia de fugas o saturación. El tamaño de las partículas que no se logró filtrar son medidas a través de una batería de difusión que indica los tamaños mínimos y máximos de las partículas halladas.

Tabla 5

Eficiencias integrales de cada clase de filtro HEPA.

Tabla I					
Clase de filtro		VALOR INTEGRAL		VALOR LOCAL*	
a DIN 24183	a EN 1822	Nivel de eficiencia (%) para MPPS	Penetración para MMPS (%)	Nivel de eficiencia (%) para MPPS	Penetración para MMPS (%)
EU10	H10	85	15	—	—
EU11	H11	95	5	—	—
EU12	H12	99,5	0,5	97,5	2,5
EU13	H13	99,95	0,05	99,75**	0,25**
EU14	H14	99,995	0,005	99,975	0,025
EU15	H15	99,9995	0,0005	99,9975	0,0025
EU16	H16	99,99995	0,00005	99,99975	0,00025
EU17	H17	99,999995	0,000005	99,9999	0,0001

*: La valoración de fugas puede verificarse utilizando el test oil mist
 **: Para EN 1822, este valor puede establecerse como 99,90 y 0,10 respectivamente

Fuente: (EN1822, 2011)

La filtración de salida del aire desde la cámara aisladora será a través de un filtro de carbón activo, cuya principal funcionalidad para este caso es evitar que haya fuga de olores desde la cámara al exterior. Estos filtros están fabricados con polvo de carbón activado, y pueden ser de una o de dos etapas dependiendo del tamaño de las partículas a filtrarse.

Este tipo de filtros es usado para la purificación de aire y protección medioambiental, purificación de gases en procesos metalúrgicos, protección para la respiración, ventilación de tanques de almacenamiento, extracción de componentes inorgánicos en gases, etc.

La NTP 989 (Norma Técnica de Prevención) indica que los filtros de carbón activo son determinados de acuerdo al tipo de gases a filtrarse y la concentración de compuestos orgánicos volátiles (COV), sin tomar en cuenta la temperatura y la humedad del ambiente

Tabla 6
Efectos sensoriales de los rangos de TCOV.

Rango COV	Rango de exposición	Efectos esperados
<0.2 mg/m ³	Confort	No disminuye el confort
0,2-3 mg/m ³	Multi-factorial	Irritación; olores; posible disconfort.
3-25 mg/m ³	Disconfort	Alto disconfort; olores; dolor de cabeza
>25 mg/m ³	Tóxico	Posibles efectos neurotóxicos; peligrosidad para la salud

Fuente: (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2013)

Las altas y bajas humedades relativas (< 28% y > 80%) reducen la capacidad de absorción de los filtros, por lo que es importante que la misma sea controlada para que los filtros sean totalmente eficientes, además que es importante verificar la eficiencia de captación que señala el límite de uso del filtro, y la capacidad de absorción que indica la masa total de COV que puede quedar en el filtro por unidad de masa.

2.2.3 Estructura de soporte

La estructura que sostendrá la cámara aisladora es sumamente importante, pues deberá soportar el peso de la misma, más las sobrecargas por manipulación.

La NTP 298 (Norma Técnica de Prevención) nos habla del Almacenamiento en estanterías y estructuras nos indica que la estructura a usarse deberá ser del tipo esqueleto, y móvil por la presencia de ruedas en cada una de las tapas.

Al igual que la cámara aisladora, la elección del material correcto para el uso de las mismas es primordial, ya que este deberá cumplir con los parámetros mecánicos que permitan soportar las cargas de peso y manipulación a la que la estantería estará expuesta. Los principales riesgos a las que están sometidas estas estructuras son:

- Caídas de cargas o elementos de las cargas sobre las zonas de trabajo, esto se puede dar debido a deformaciones en la estantería, y choques contra la estructura por parte de operarios.
- Falla general de la estructura que provoque el desplome de la misma.

Por lo que la principal característica de estas estructuras es la estabilidad cuando ya se ha designado el material adecuado cuya geometría podrá soportar las

cargas ya mencionadas. El montaje también es importante tomar en cuenta, ya que el mismo podría causar un accidente cuando no está bien verificado, el uso de elementos de estabilidad en las patas deberá hacerse cuando se vea pertinente, ya que a mayor área mayor estabilidad de la estructura.

2.2.4 Sistema de ventilación

El sistema de ventilación es la parte vital de la cámara aisladora, ya que se requiere que el aire circule en un volumen determinado con ciclos controlando su velocidad y la cantidad de aire renovado por hora.

El sistema de ventilación constará de un motor de suministro de aire o ventilador que puede ser centrífugo o axial, dependiendo de las caídas de presión que se tengan a lo largo del proceso de extracción, estas caídas dependen de los filtros a usarse y de las mangueras que se usarán para que haya una conexión entre el ventilador y la cámara aisladora.

Tanto las mangueras como el ventilador deben estar hechos de un material que al igual que el de la cámara aisladora pueda soportar la limpieza con detergentes y químicos abrasivos, todo esto por medidas de higiene en el manejo de animales.

Los ventiladores se pueden dividir en dos grupos.

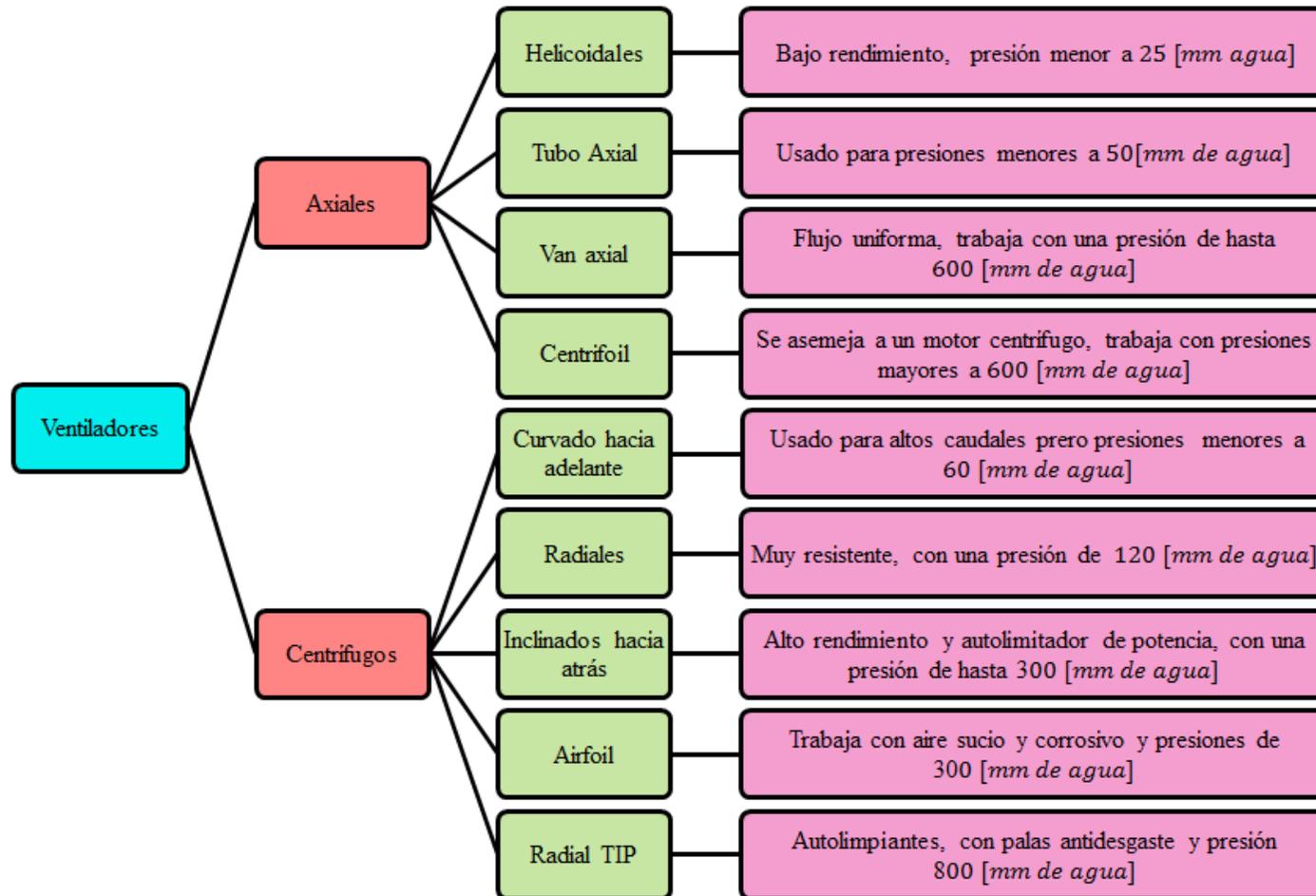


Figura 3. Clasificación de los ventiladores.

Fuente: (Chicago Blower, 2006)

La tubería deberá ser diseñada de tal manera que las pérdidas en la misma sean mínimas, esto es debido a que con mayores pérdidas se necesitará un ventilador mucho más potente, por ende más grande y más caro, lo que se busca es la eficiencia completa de la unidad de contención de animales.

Las mangueras conecta la cámara aisladora con el ventilador para que haya renovaciones de aire dentro del aislador.

2.2.5 Sistema eléctrico, electrónico y de control

El sistema electrónico y eléctrico de la cámara aisladora consta de sensores de monitoreo y control, sistema de visualización de datos, niquelina y focos.

El sistema de control trabaja de la mano con el sistema electrónico para poder obtener los parámetros requeridos para el mantenimiento de los animales y salvaguardar su bienestar.

Los sensores de temperatura serán usados para que a través del mismo se pueda verificar que la temperatura dentro de la cámara aisladora es la requerida por el laboratorista, este sensor debe tener como principal característica que pueda ser limpiado con detergentes y químicos abrasivos al igual que toda la cámara, debido a que el mismo por seguridad no podrá ser desmontado. Si este sensor emite una señal electrónica que no coincide con la que se debería tener de acuerdo a la temperatura requerida, el control entra en funcionamiento, haciendo que la temperatura aumente o disminuya según sea el caso.

El calentamiento del aire se lo realizará a través de una cámara de mezclado previa a la cámara aisladora.

La humedad será monitoreada a través de un sensor de humedad, en este caso no se requerirá control por lo que la señal emitida por el sensor será acondicionada para que el usuario o laboratorista pueda observarla.

La luz será emitida por una fuente que no irradie temperatura, ya que esto modifica las condiciones de la cámara aislador, esta luz tendrá que ser desmontable, pero su base tendrá que soportar los detergentes y químicos abrasivos con los que se la limpiará. La luz será controlada para que la cantidad de lúmenes sean los que se desean. Este control será manual a diferencia del control de temperatura que es semiautomático. El ciclo de luz que se elegirá será controlado por un timer,

haciendo que a partir del seteo elegido se vaya contabilizando el tiempo y automáticamente las luces se apaguen cuando el ciclo haya acabado, este control también será automático.

Se tendrá un sistema de alarmas que permitan saber si existe algún desperfecto en los sensores o actuadores de la cámara, y también si no hay suministro de energía.

La elección del controlador para la niquelina se basará en: como calentarla para que el aire aumente de temperatura, determinar el compensador a usarse y determinar los parámetros de control para alcanzar los objetivos de diseño.

Entre los posibles controladores tenemos:

Tabla 7
Controladores

Controlador	Característica	Tiempo de subida/ estabilización	Sobrepico	Error	Problemas
ON-OFF	Control sencillo de encendido y apagado	NA	NA	NA	Comportamiento oscilante
Proporcional	Amplificador de ganancia ajustable	-/-	+	-	No anula errores
Integral	Control de reajuste (reset)	-/+	+	0	Respuesta inicial muy lenta.
Derivativo	Deriva el error	-/-	-	-	No usarlo solo, no corrige el error
Proporcional derivativo	Señal de control proporcional al error y a su derivada	-/-	-	-	Amplifica señales de ruido y puede provocar saturación en el actuador
Proporcional integral	Señal de control proporcional al error y a su integral	-/+	+	0	Mayor desviación de la señal de referencia.
Proporcional integral derivativo	Señal de control proporcional al error y a su integral y a su derivada	-/-	-	0	Se necesita conocer el comportamiento de la planta

2.2.6 Caja mezcladora

Es necesario que el aire sea calentado en una caja de mezclado, para que así, este se distribuya uniformemente hacia el interior de la cámara aisladora. Por tanto, la caja de mezclado toma el aire del exterior, lo calienta y lo convierte en aire mezclado.

El ventilador aspira el aire y lo lleva a la caja de mezcla en la que, por medio de un sistema de calentamiento de aire se calentará y se mezclará con aire frío que no ha logrado modificar su temperatura, así la temperatura final será la requerida. Cuando se necesita más frío las resistencias disminuyen su intensidad.

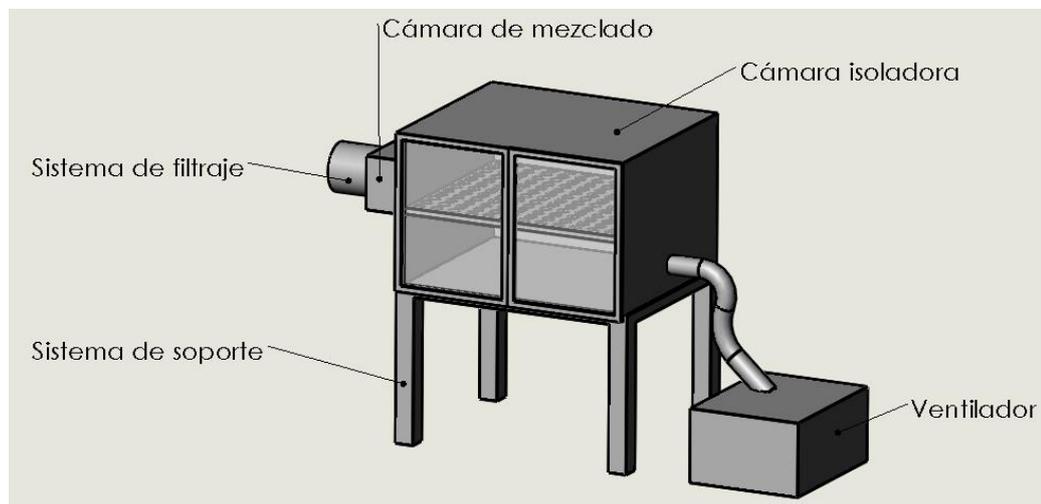


Figura 4. Vista isométrica del aislador. (Diseño propio)

CAPÍTULO III

DISEÑO

3.1 Especificaciones del producto

El diseño de la unidad de contención de animales se basa en los objetivos planteados y las necesidades de los usuarios del laboratorio de inmunología de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE y están especificadas en la siguiente tabla.

Tabla 8
Especificaciones del producto.

PROPIEDAD	REQUERIMIENTO
Capacidad	3 cajas comerciales para ratones de laboratorio con su respectiva separación normalizada, por cada piso
Número de pisos	2 pisos
Limpieza	La unidad debe ser fácil de limpiar y resistir a químicos desinfectantes y abrasivos.
Manejo	Desarmable para limpieza interna completa
Movilidad	Con ruedas o garruchas para movilidad
Materiales	Materiales resistente al hipoclorito, detergentes y desinfectantes
Ruido	El permitido en laboratorios
Filtros	Filtro HEPA de 99.999% de eficiencia y filtro de carbón activo
Seguridad	Sistema de alarma ante fallas o corte en el suministro eléctrico
Iluminación	Iluminación interna de la cámara por ciclos
Actuador	Extractor para el suministro de aire
Control	Ciclos de renovación de aire entre 15 y 20 por hora, con velocidad del aire de 1,1 m/s máximo. Control de luz con ciclos de 12 o 14 horas diarias
Monitoreo	Monitoreo de humedad. Monitoreo de temperatura

3.2 Diseño de la cámara aisladora

3.2.1 Elección del material.

Por requerimiento del usuario, los materiales a usarse deberán ser resistentes a los detergentes, hipoclorito al 0.5%, y a los productos de limpieza en general altamente abrasivos.

3.2.1.1 Elección del material para la cámara:

Se han encontrado tres materiales que cumplen con las condiciones de resistencia: Acero inoxidable, titanio y PVC.

Para poder elegir de manera correcta el material más apropiado, usamos la técnica llamada matriz de decisión que consiste en la ponderación según la prioridad de los criterios de diseño, y del grado de cumplimiento de este criterio de cada opción, para luego obtener una ponderación global de ambos resultados.

En la siguiente tabla se muestra la evaluación del peso específico de cada criterio.

Tabla 9

Evaluación del peso específico de cada criterio para la elegir el material

Criterio	Bajo costo	Soldabilidad	Oferta en el mercado ecuatoriano	$\sum +1$	Ponderación
			0		
Bajo costo	—	1	0	2	0,33
Soldabilidad	0	—	0	1	0,17
Oferta en el mercado ecuatoriano	1	1	—	3	0,50
			Total	6	1

En las siguientes tablas se muestra la evaluación para los criterios de bajo costo, soldabilidad y oferta en el mercado ecuatoriano.

Tabla 10**Evaluación del criterio: Bajo costo.**

Bajo costo	Acero inoxidable	Titanio	PVC	$\Sigma+1$	Ponderación
Acero inoxidable	—	1	0	2	0,33
Titanio	0	—	0	1	0,17
PVC	1	1	—	3	0,50
				Total	6
					1

Tabla 11**Evaluación del criterio: Soldabilidad**

Soldabilidad	Acero inoxidable	Titanio	PVC	$\Sigma+1$	Ponderación
Acero inoxidable	—	0,5	1	2,5	0,42
Titanio	0,5	—	1	1,5	0,42
PVC	0	0	—	1	0,17
				Total	6
					1

Tabla 12**Evaluación del criterio: Oferta en el mercado ecuatoriano**

Oferta en el mercado ecuatoriano	Acero inoxidable	Titanio	PVC	$\Sigma+1$	Ponderación
Acero inoxidable	—	1	1	3	0,50
Titanio	0	—	0	1	0,17
PVC	0	1	—	2	0,33
				Total	6
					1

En la siguiente tabla se muestra los resultados para el material a usarse.

Tabla 13**Tabla de resultados para la selección del material.**

	Bajo costo	Soldabilidad	Oferta en el mercado ecuatoriano	Σ	Ponderación
Acero inoxidable	0,11	0,08	0,25	0,44	1
Titanio	0,06	0,05	0,08	0,19	3
PVC	0,17	0,03	0,17	0,37	2
				Total	1

El acero inoxidable aparece en la tabla como la mejor posicionada, lo que la convierte en la opción más adecuada.

Este tipo de acero se divide en algunos tipos, por lo que se deberá elegir el mejor basándose en las normas EN ISO 3506.

Acero austenítico básico cromo-níquel.

Acero austenítico molibdeno-cromo-níquel.

Acero dúplex.

Usamos la técnica matriz de decisión para elegir el acero a usarse.

En la siguiente tabla se muestra la evaluación del peso específico de cada criterio.

Tabla 14

Evaluación del peso específico de cada criterio para la elección del tipo de acero inoxidable.

Criterio	Resistencia a la humedad	Resistencia a detergentes	Resistencia a la orina de roedores	$\Sigma+1$	Ponderación
Resistencia a la humedad	—	0	0	1	0,17
Resistencia a los detergentes	1	—	0,5	2,5	0,42
Resistencia a la orina de roedores	1	0,5	—	2,5	0,42
			Total	6	1

En las siguientes tablas se muestra la evaluación para los criterios de resistencia a la humedad, resistencia a los detergentes y resistencia a la orina de roedores.

Tabla 15

Evaluación del criterio: Resistencia a la humedad.

Resistencia a la humedad	Acero Cr-Ni	Acero Mo-Cr-Ni	Acero duplex	$\Sigma+1$	Ponderación
Acero Cr-Ni	—	1	1	3	0,50
Acero Mo-Cr-Ni	0	—	0,5	1,5	0,25
Acero duplex	0	0,5	—	1,5	0,25
			Total	6	1

Tabla 16**Evaluación del criterio: Resistencia a los detergentes.**

Resistencia a los detergentes	Acero Cr-Ni	Acero Mo-Cr-Ni	Acero dúplex	$\Sigma+1$	Ponderación
Acero Cr-Ni	—	0,5	1	2,5	0,42
Acero Mo-Cr-Ni	0,5	—	1	2,5	0,42
Acero dúplex	0	0	—	1	0,17
			Total	6	1

Tabla 17**Evaluación del criterio: Resistencia a la orina de roedores.**

Resistencia a la orina de roedores	Acero Cr-Ni	Acero Mo-Cr-Ni	Acero duplex	$\Sigma+1$	Ponderación
Acero Cr-Ni	—	0,5	1	2,5	0,42
Acero Mo-Cr-Ni	0,5	—	0	1,5	0,25
Acero dúplex	0	1	—	2	0,33
			Total	6	1

En la siguiente tabla se muestra los resultados para el tipo de acero inoxidable a usarse.

Tabla 18 Tabla de resultados para la selección del acero inoxidable para la cámara aisladora.

	Resistencia a la humedad	Resistencia a detergentes	Resistencia a la orina de roedores	Σ	Ponderación
Acero Cr-Ni	0,08	0,17	0,21	0,47	1
Acero Mo-Cr-Ni	0,04	0,17	0,13	0,34	2
Acero duplex	0,04	0,07	0,08	0,19	3
			Total	1	

El acero austenítico básico cromo-níquel aparece en la tabla como la mejor posicionada, lo que la convierte en la opción más adecuada. Esta alternativa corresponde a un acero austenítico básico de grado 1,4301 cuyo nombre comercial es A304.

3.2.1.2 Elección del material para la puerta del aislador:

El material a utilizarse para la puerta del aislador debe ser transparente para la fácil visualización de los animales que permanecerán dentro de la cámara.

Se encontraron tres opciones que cumplen con la característica de transparencia y alta oferta en el mercado: vidrio, vidrio templado y acrílico.

Usamos la técnica matriz de decisión para elegir el material a usarse.

En la siguiente tabla se muestra la evaluación del peso específico de cada criterio.

Tabla 19

Evaluación del peso específico de cada criterio para la elección del material de la puerta del aislador.

Criterio	Resistencia a detergentes	Transparencia	Oferta en el mercado	$\sum+1$	Ponderación
Resistencia a los detergentes	—	1	1	3	0,50
Transparencia	0	—	1	2	0,33
Oferta en el mercado	0	0	—	1	0,17
			Total	6	1

En las siguientes tablas se muestran las evaluaciones para los criterios de resistencia a los detergentes, transparencia y oferta en el mercado.

Tabla 20

Evaluación del criterio: Resistencia a los detergentes.

Resistencia a los detergentes	Acrílico	Vidrio	Vidrio templado	$\sum+1$	Ponderación
Acrílico	—	0,5	0	1,5	0,25
Vidrio	0,5	—	0	1,5	0,25
Vidrio templado	1	1	—	3	0,50
			Total	6	1

Tabla 21**Evaluación del criterio: Transparencia.**

Transparencia	Acrílico	Vidrio	Vidrio templado	$\Sigma+1$	Ponderación
Acrílico	—	0	0	1	0,17
Vidrio	1	—	0,5	2,5	0,42
Vidrio templado	1	0,5	—	2,5	0,42
Total				6	1

Tabla 22**Evaluación del criterio: Oferta en el mercado ecuatoriano.**

Oferta en el mercado	Acrílico	Vidrio	Vidrio templado	$\Sigma+1$	Ponderación
Acrílico	—	0,5	1	2,5	0,42
Vidrio	0,5	—	1	2,5	0,42
Vidrio templado	0	0	—	1	0,17
Total				6	1

En la siguiente tabla se muestra los resultados para el material a usarse.

Tabla 23**Tabla de resultados para la selección del material para la puerta de la cámara aisladora.**

	Resistencia a detergentes	Transparencia	Oferta en el mercado	Σ	Ponderación
Acrílico	0,13	0,06	0,07	0,25	3
Vidrio	0,13	0,14	0,07	0,33	2
Vidrio templado	0,25	0,14	0,03	0,42	1
Total				1	

El vidrio templado aparece en la tabla como la mejor posicionada, lo que la convierte en la opción más adecuada.

3.2.2 Dimensionamiento de la cámara:

El diseño se basará en las medidas de las cajas para animales usadas en el laboratorio de inmunología de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, que son estandarizadas.

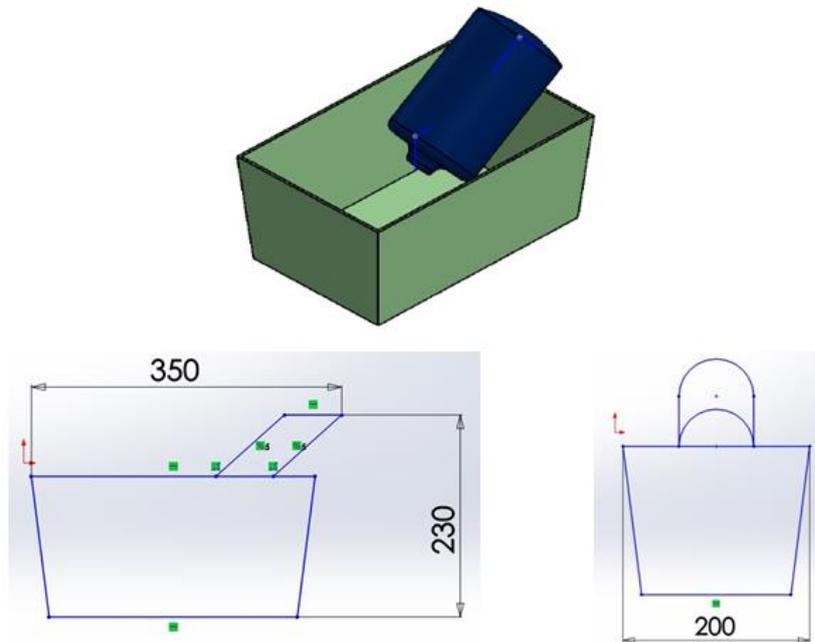


Figura 5. Cajas comerciales para la contención de animales (medidas en pulgadas).

Fuente: (TDI, 2017)

De acuerdo con el Instituto Nacional de Salud de Lima-Perú en su guía de manejo de animales de laboratorio, escrita en 2008: “Se debe tener en cuenta que por lo general, se deja un espacio horizontal de 4 [in] o 10 [cm] entre cada carga.” Así se decide las medidas finales, teniendo en cuenta las medidas de cada caja y la separación requerida.

Por lo que las medidas finales de la cámara aisladora serán:

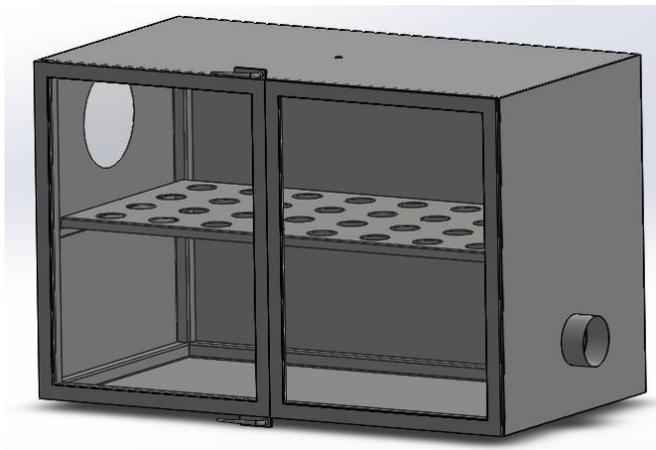


Figura 6. Caja aisladora diseñada.

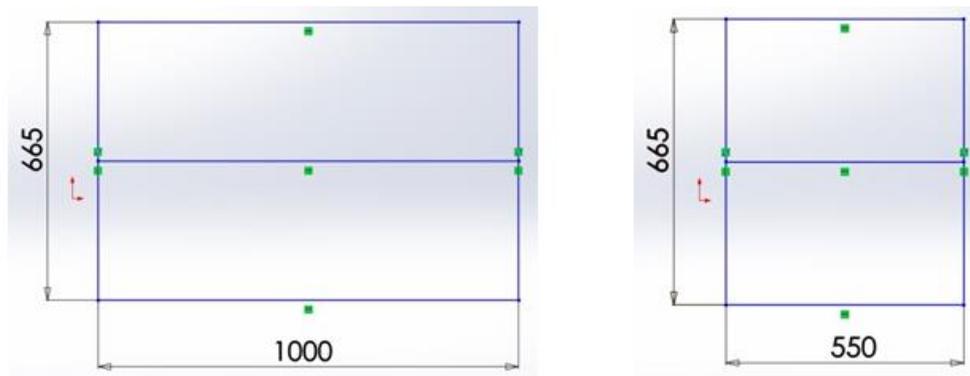


Figura 7. Medidas caja aisladora diseñada (en mm).

Tabla 24

Tabla de especificaciones del diseño preliminar de la cámara aisladora.

Especificaciones del diseño previo	
Estructura	Esqueleto hecho en acero inoxidable A304 que será el soporte de toda la estructura
Recubrimiento	El recubrimiento se hará con láminas de acero inoxidable A304
Agujeros	Orificios para la entrada y salida de aire, y para cableado.
Separación de pisos	La separación entre pisos estará soldada al esqueleto y a las láminas y será de acero A304
Partes removibles	Lámina perforada removible para limpieza
Puerta	Puerta con marco propio, bisagras y cerradura de seguridad para total hermeticidad

Las cargas permanentes (G) por piso se obtienen multiplicando el peso de los ratones ($300 [g]$) por el número máximo de los mismos, y aumentándole el peso de las cajas contenedoras de animales ($50 [g]$).

$$G_1 = (g_{\text{ratones}} * \#_{\text{ratones}}) + (\#_{\text{cajas}} * g_{\text{cajas}}) \quad (1)$$

$$G_1 = (0,3 * 15) + (3 * 0,05) = 6[kg]$$

$$G = 6 * 9,81 = 58,86 \approx 60[N]$$

Las cargas variables (Q) por piso será la sobrecarga de uso que según la norma EN 1991-1-6 para estructuras de este tipo será de $7[kN]$ para un área de $10 [m^2]$, por lo que para el área de cada plancha que es de aproximadamente $0,5 [m^2]$ se usará una carga de $150[N]$.

$$Q = 150 [N]$$

3.2.2.1 Dimensionamiento de la estructura del aislador.

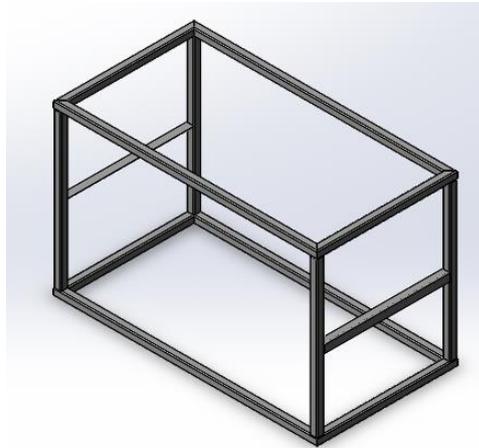


Figura 8. Diseño preliminar de la estructura del aislador

Se realiza el diseño de las vigas de la estructura y con los datos obtenidos se elige el tipo tubo a usarse y sus dimensiones.

3.2.2.1.1 Techo y base de la estructura.

Sobre el techo y la base sólo se tomarán en cuenta las cargas variables o sobrecargas.

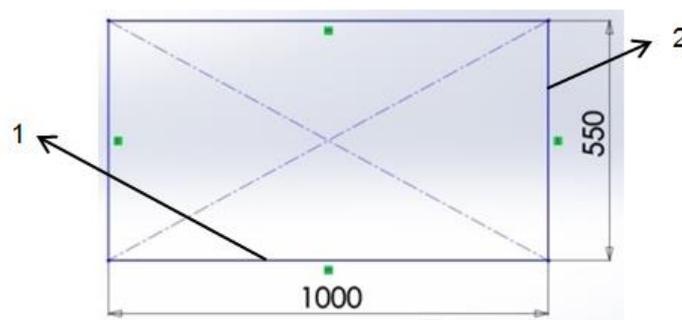


Figura 9. Techo del esqueleto de aislador

Se hace un estudio para ambas vigas con carga puntual.

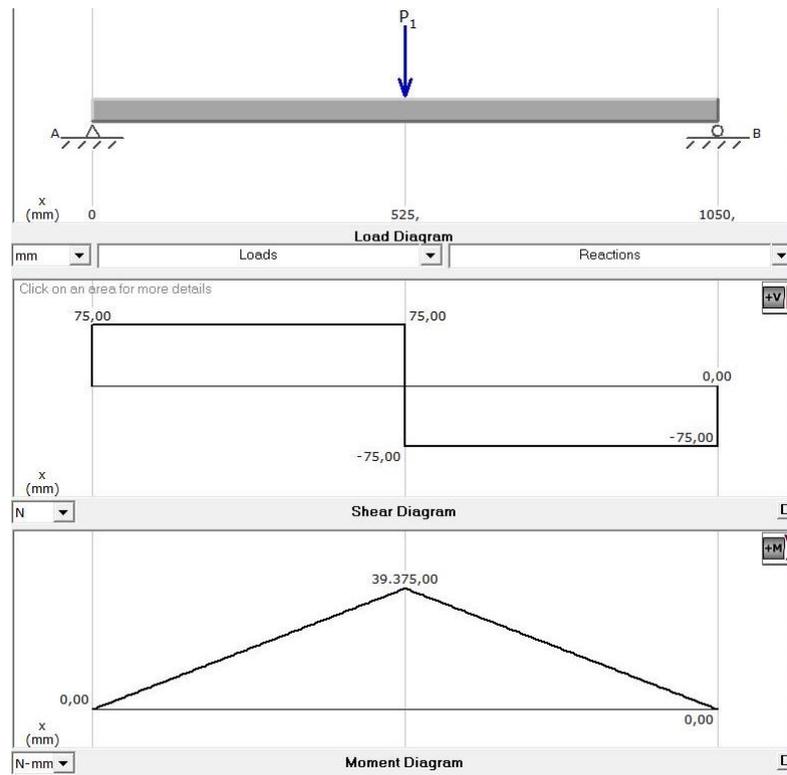


Figura 10. Reacciones de la viga a una carga puntual

Según la norma EN-1993 la deformación o el pandeo máximo que deberá tener la viga es de $\frac{l}{150}$ como se muestra en la figura para vigas empotradas.

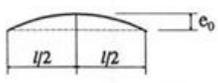
	Forma de las imperfecciones geométricas equivalentes fuera del plano del arco (parábola o función seno)	Valor de e_0 para secciones correspondientes a las diferentes curvas de pandeo			
		a	b	c	d
Arco triarticulado Arco biarticulado Arco empotrado		$\frac{l_0}{300}$	$\frac{l_0}{250}$	$\frac{l_0}{200}$	$\frac{l_0}{150}$

Figura 11. Pandeos permitidos para estructuras de acero.

Fuente: (Europea U. , 2008)

$$d_{max1} = \frac{l_1}{150} \quad (2)$$

$$d_{max1} = \frac{1,05}{150} = 7 * 10^{-3} [m]$$

Usando las ecuaciones conocidas para el pandeo de vigas hechas de acero se obtiene que:

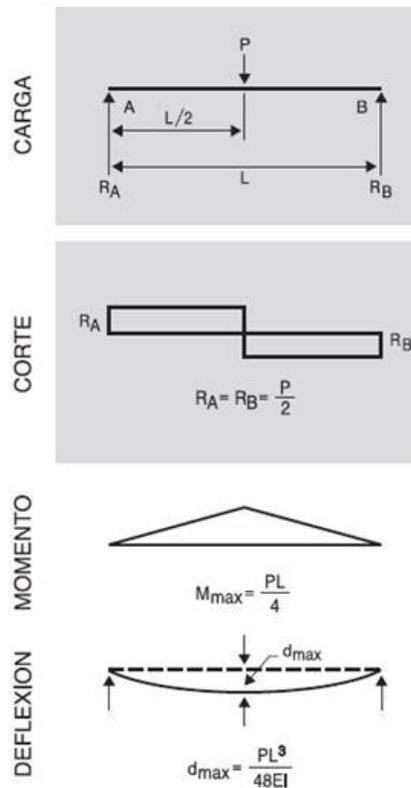


Figura 12. Fórmulas y diagramas para una carga puntual.

Fuente: (Altos hornos de México, 2013)

$$d_{max1} = \frac{P * l_1^3}{48 * E * I} \quad (3)$$

Donde:

$$E = \text{Módulo de elasticidad del acero} = 190 * 10^9 [Pa]$$

$$d_{max1} > \frac{150 * 1,05^3}{48 * 190 * 10^9 * I}$$

$$I > 0,271 [cm^4]$$

Ahora usando el valor de la resistencia máxima, se encuentra el momento al que es sometida la viga.

$$M = \frac{P * l_1}{4} \quad (4)$$

$$M_1 = \frac{150 * 1,05}{4} = 39,37 [Nm]$$

$$\sigma = \frac{M_1}{W_x} \quad (5)$$

Donde:

$$\sigma = \text{l\u00edmite de fluencia} = 276 * 10^6 [\text{Pa}]$$

$$276 * 10^6 \geq \frac{39,37}{W_x}$$

$$W_x \geq 0,07 [\text{cm}^3]$$

Se buscan estos valores en los cat\u00e1logos de distintos tipos de tubos de acero A304:

Tabla 25

Cat\u00e1logo de tubos cuadrados de acero inoxidable.

Pulg.	DIMENSIONES		PESO	AREA	EJES X-X E Y-Y		
	H	e	P	A	I	W	I
	mm.	mm	Kg/6m	cm2	cm4	cm3	cm
1/2	12	0.60	1.32	0.27	0.06	0.10	0.47
		0.75	1.86	0.32	0.07	0.12	0.47
		0.95	2.28	0.40	0.08	0.13	0.45
5/8	15	0.60	1.74	0.35	0.12	0.16	0.59
		0.75	2.16	0.41	0.14	0.19	0.58
		0.95	2.70	0.51	0.16	0.21	0.56
3/4	20	0.60	2.22	0.47	0.29	0.29	0.79
		0.75	2.88	0.56	0.34	0.34	0.78
		0.95	3.60	0.70	0.41	0.41	0.77
		1.10	4.20	0.80	0.47	0.47	0.77
		1.50	5.64	1.05	0.58	0.58	0.74

Fuente: (DIPAC, 2016)

Tabla 26

Cat\u00e1logo de tubos rectangulares de acero inoxidable.

Pulg.	DIMENSIONES			PESO	PROPIEDADES						
	B	H	e	P	AREA	EJES X-X			EJES Y-Y		
	mm.	mm.	mm.	Kg/6m	A	I	W	I	I	W	I
3/8 x 3/4	10	20	0.75	2.16	0.41	0.20	0.20	0.70	0.07	0.14	0.41
			0.95	2.70	0.51	0.24	0.24	0.69	0.08	0.16	0.40
1/2 x 1	12	25	0.75	2.52	0.53	0.43	0.34	0.90	0.13	0.22	0.50
3/4 x 1 1/4	20	30	1.10	3.60	0.77	0.59	0.48	0.88	0.18	0.30	0.49
			0.75	3.60	0.71	0.89	0.59	1.12	0.48	0.48	0.82
			0.95	4.50	0.89	1.10	0.73	1.11	0.59	0.59	0.81
			1.10	5.22	1.02	1.24	0.83	1.10	0.66	0.66	0.81

Fuente: (DIPAC, 2016)

Tabla 27

Catálogo de ángulos de acero inoxidable.

DIMENSIONES		PESO		AREA
mm		kg/m	kg/6m	cm ²
a	e			
20	2	0.60	3.62	0.76
20	3	0.87	5.27	1.11
25	2	0.75	4.56	0.96
25	3	1.11	6.68	1.41
25	4	1.45	8.75	1.84
30	3	1.36	8.13	1.71
30	4	1.77	10.63	2.24
40	3	1.81	11.00	2.31

Fuente: (DIPAC, 2016)

Haciendo lo mismo para la segunda viga cuya longitud es $l = 0,55[m]$. Se obtienen los siguientes valores:

$$I > 0,076[cm^4]$$

$$W_x \geq 0,075[cm^3]$$

Se elegirá la mejor opción de acuerdo a su peso, debido a que es directamente proporcional al costo.

Tabla 28

Selección del tipo de tubo a usarse en el esqueleto.

Tubo / Variables	Tubo cuadrado	Tubo rectangular	Ángulo	Unidades
Inercia	$2,9 * 10^3$	$4,26 * 10^3$	$4,58 * 10^3$	mm
Largo	20	25	20	mm
Ancho	20	12	20	mm
Espesor	0,6	0,75	2	mm
Peso (6 [m])	2,22	2,52	3,62	kg

Fuente: (DIPAC, 2016)

Por lo que el tubo cuadrado cuyas dimensiones son $H = 20[mm]$ y $e = 0,6[mm]$ es la mejor opción para construir el esqueleto de la cámara aisladora.

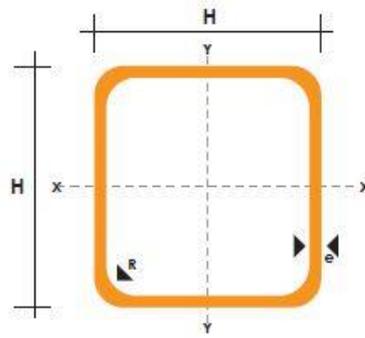


Figura 13. Medidas de un tubo cuadrado.

Fuente: (DIPAC, 2016)

3.2.2.1.2 Separación entre pisos.

Sobre estos se tomarán en cuenta las cargas variables o sobrecargas y las cargas permanentes correspondientes al peso de los animales y sus cajas de contención.

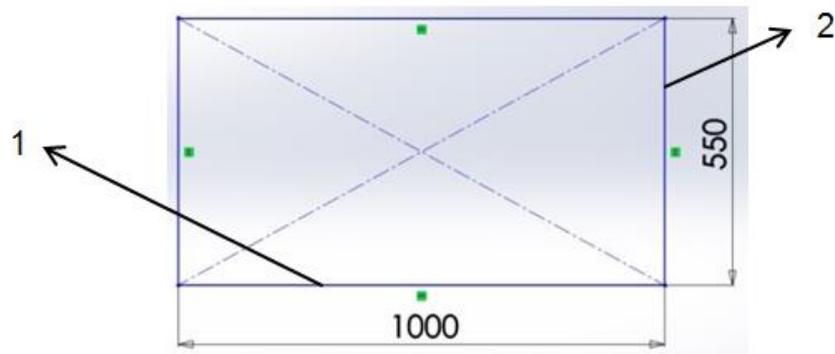


Figura 14. Medidas de las vigas de separación entre pisos (en mm).

Se hará el mismo estudio anterior para ambas vigas usando la ecuación número 2.

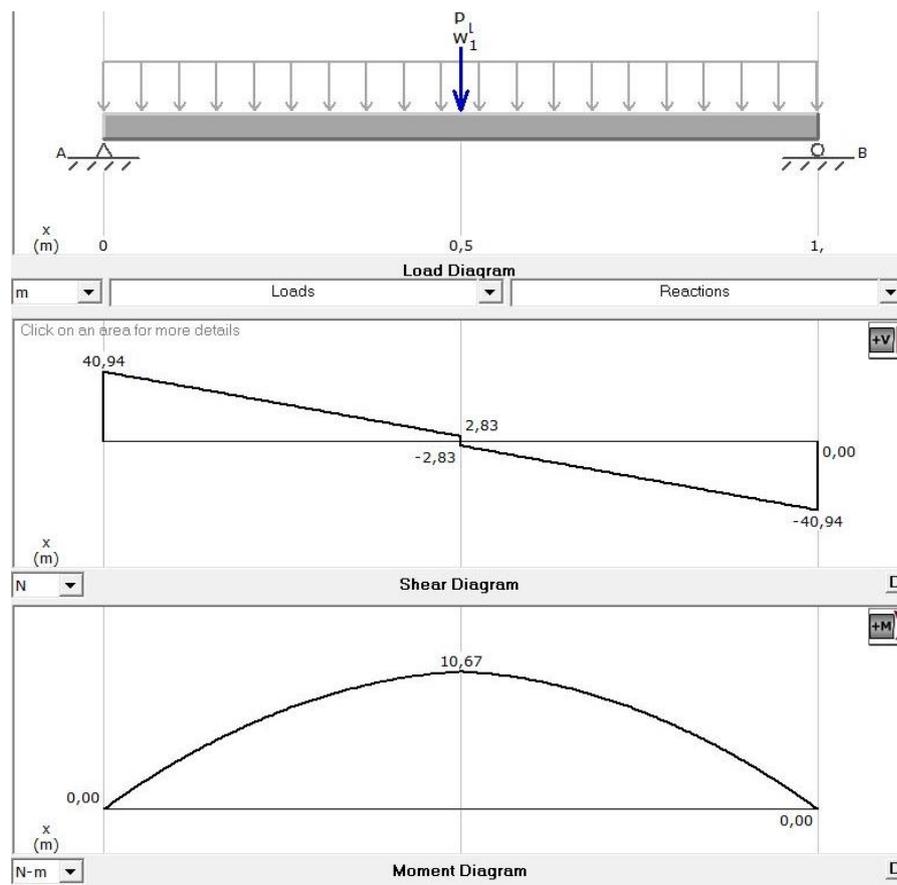


Figura 15. Diagrama de cuerpo libre de ambas vigas.

$$d_{max1} = \frac{0,975}{150} = 6,5 * 10^{-3} [m]$$

Para cargas distribuidas se sabe que:

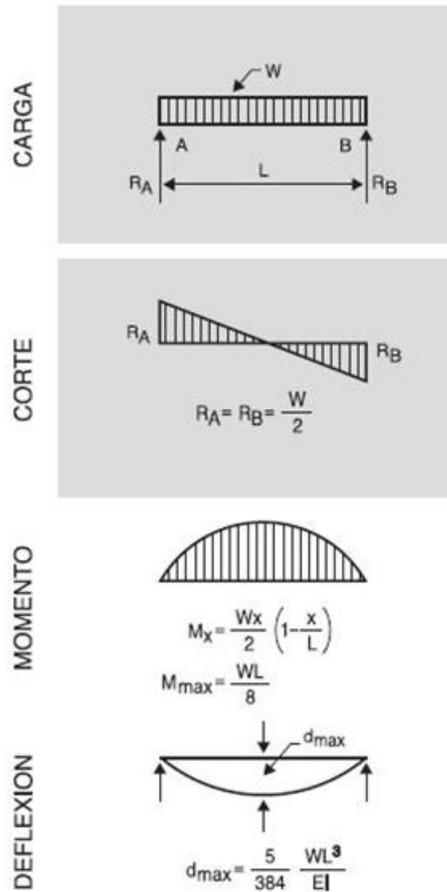


Figura 16. Fórmulas y diagramas para una carga distribuida

Fuente: (Altos hornos de México, 2013)

$$d_{max1} = \frac{5 * W * l_1^3}{384 * E * I} \quad (6)$$

$$M = \frac{P * l}{4} + \frac{W * l}{8} \quad (7)$$

Usando las ecuaciones (3) y (6) para la deformación máxima y las ecuaciones (4) y (7) para el momento se obtiene que:

$$d_{max1} > \frac{150 * 0,975^3}{48 * 190 * 10^9 * I} + \frac{5 * 60 * 0,975^3}{384 * 190 * 10^9 * I}$$

$$I > 0,29 [cm^4]$$

$$M = \frac{150 * 0,975}{4} + \frac{60 * 0,975}{8} = 43,88 [Nm]$$

Con la ecuación (5) se obtiene W_x a partir del límite de fluencia:

$$276 * 10^6 \geq \frac{43,88}{W_x}$$

$$W_x \geq 0,15[\text{cm}^3]$$

Para aprovechar de mejor manera el espacio interno de la cámara, se han descartado los tubos tanto cuadrados como rectangulares, por lo que se elegirá ángulos en acero inoxidable.

Tabla 29

Catálogo de ángulos de acero inoxidable.

Designaciones		Esp.	Peso		Propiedades Estáticas						
					Eje x-x			Eje y-y			Distancia de ser y superior
H	B	e	P	P	I	W	i	I	W	i	
mm	mm	mm	kg/m	kg/6m	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm
20	20	1,50	0,44	2,61	0,21	0,15	0,47	0,21	0,15	0,47	0,54
		2,00	0,58	3,46	0,28	0,20	0,62	0,28	0,20	0,62	0,59
		3,00	0,83	4,96	0,38	0,28	0,60	0,38	0,28	0,60	0,64

Fuente: (DIPAC, 2016)

Como se puede verificar, este ángulo de lado $a = 20[\text{mm}]$ y espesor $e = 1.5[\text{mm}]$ cumple con los valores necesitados, con una inercia de $I = 0.36 [\text{cm}^4]$.

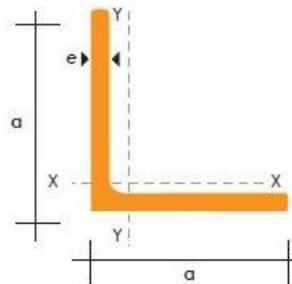


Figura 17. Medidas del ángulo

Fuente: (DIPAC, 2016)

3.2.2.2 Dimensionamiento de las láminas.

El método de sujeción de las láminas debe ser permanente, garantizando la hermeticidad de la cámara, por lo que se ha designado a la soldadura como el método de sujeción más apropiado entre las láminas y la estructura.

Por lo que se debe elegir el mejor método para soldar tomando en cuenta espesores, tipo y posición de soldadura y rangos de temperatura de trabajo, basándose en la norma EN ISO 4063.

Soldadura por arco con electrodo metálico revestido (soldadura por arco manual).

Soldadura por arco en atmósfera inerte con varilla metálica (soldadura MIG).

Soldadura por arco por en atmósfera inerte con electrodo de tungsteno (soldadura TIG).

Soldadura por arco sumergido.

Usamos la técnica matriz de decisión para elegir el tipo de soldadura a usarse.

En la siguiente tabla se muestra la evaluación del peso específico de cada criterio.

Tabla 30

Evaluación del peso específico de cada criterio para la elección del tipo de soldadura.

Criterio	Soldabilidad en láminas	Tipo y posición de soldadura	Espesores	$\sum+1$	Ponderación
Soldabilidad en láminas	—	1	0	2	0,33
Tipo y posición de soldadura	0	—	0	1	0,17
Espesores	1	1	—	3	0,50
			Total	6	1

En las siguientes tablas se muestran las evaluaciones para los criterios de soldabilidad en láminas, tipo y posición de soldadura y espesores.

Tabla 31**Evaluación del criterio: Soldabilidad en láminas.**

Soldabilidad en láminas	Por arco manual	MIG	TIG	Arco sumergido	$\Sigma+1$	Ponderación
Por arco manual	—	0	0	0	1	0,14
MIG	1	—	0,5	1	3,5	0,36
TIG	1	0,5	—	1	3,5	0,36
Arco sumergido	1	0	0	—	2	0,14
Total					10	1

Tabla 32**Evaluación del criterio: Posición de soldadura.**

Tipo y posición de soldadura	Por arco manual	MIG	TIG	Arco sumergido	$\Sigma+1$	Ponderación
Por arco manual	—	0,5	0,5	1	3	0,29
MIG	0,5	—	0,5	1	3	0,29
TIG	0,5	0,5	—	1	3	0,29
Arco sumergido	0	0	0	—	1	0,14
Total					10	1

Tabla 33**Evaluación del criterio: Espesor mínimo**

Espesor mínimo	Por arco manual	MIG	TIG	Arco sumergido	$\Sigma+1$	Ponderación
Por arco manual	—	0	0	0,5	1,5	0,13
MIG	1	—	0	1	3	0,27
TIG	1	1	—	1	4	0,40
Arco sumergido	0,5	0	0	—	1,5	0,20
Total					10	1

En la siguiente tabla se muestra los resultados para el tipo de soldadura a usarse.

Tabla 34**Tabla de resultados para la selección del tipo de soldadura.**

	Soldabilidad en láminas	Tipo y posición de soldadura	Espesores	Σ	Ponderación
Por arco manual	0,05	0,05	0,07	0,16	4
MIG	0,12	0,05	0,13	0,30	2
TIG	0,12	0,05	0,20	0,37	1
Arco sumergido	0,05	0,02	0,10	0,17	3
Total				1	

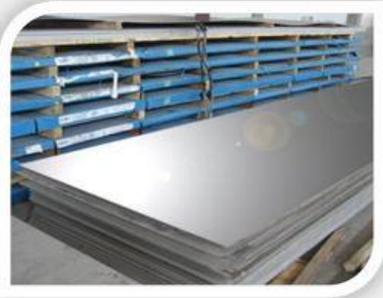
La soldadura por TIG aparece en la tabla como la mejor posicionada, lo que la convierte en la opción más adecuada.

3.2.2.2.1 Lámina superior e inferior.

Lámina superior e inferior: Se realizará el mismo análisis para ambas láminas solo tomando en cuenta las sobrecargas o carga puntual.

Usando el método de Navier se encontrarán las deformaciones, tomando en cuenta que la plancha está apoyada en sus 4 extremos y que sobre ella solo hay una carga puntual. Partiendo desde el espesor más delgado encontrado en el mercado.

Tabla 35**Catálogo de plancha de acero inoxidable.**



CALIDADES:
AISI 304L, AISI316L, AISI 310S Y DUPLEX SAF 2205

NORMA:
A-240/480

ESPEORES:
0,8 / 1,2 / 1,5 / 2,0 / 2,5 / 3,0 / 4,0 / 5,0 / 6,0 / 8,0 / 10,0 / 12,0 / 16,0 / 20,0 / 22,0 / 25,0 / 28,0 / 30,0 / 32,0 / 38,0 / 50,0 / 60,0 milímetros

DIMENSIONES:
1000 x 3000 x (0,8 – 50 mm)

Fuente: (DIPAC, 2016)

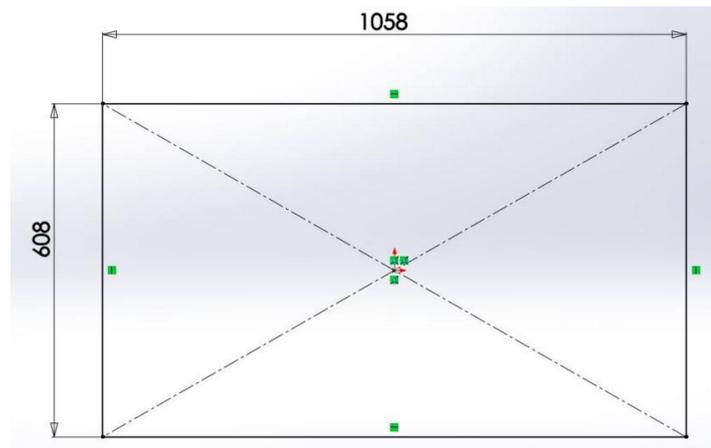


Figura 18. Plancha del techo y piso de la cámara del aislador.

$$D = \frac{E * e^3}{12 * (1 - \nu^2)} \quad (9)$$

$$D = \frac{190 * 10^9 * (8 * 10^{-4})^3}{12 * (1 - 0,305^2)} = 3,77 [N]$$

Se obtiene la carga:

$$P(m, n) = \frac{4 * P_0}{a * b} * \sin\left(\frac{m * \pi * \beta}{a}\right) * \sin\left(\frac{n * \pi * \mu}{b}\right) \quad (10)$$

Tabla 36

Resultado de la carga del método de Navier.

Número de interacción	Valores de m	Valores de n	P(m,n)
1	1	1	932,74
2	1	2	$1,14 * 10^{-13}$
	2	1	$1,14 * 10^{-13}$
3	1	3	-932,74
	2	2	$1,38 * 10^{-29}$
	3	1	-932,74

Se encuentra la deformación máxima:

$$W(m, n) = \frac{P(m, n)}{\pi^4 * D} * \left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2}\right)^{-2} \quad (11)$$

Tabla 37

Resultado de las flechas del método de Navier.

Número de interacción	Valores de m	Valores de n	P(m,n)	W(m,n)
1	1	1	932,74	0,01961
2	1	2	$1,14 * 10^{-13}$	$2,26 * 10^{-18}$
	2	1	$1,14 * 10^{-13}$	$7,88 * 10^{-18}$
3	1	3	-932,74	-0,0004
	2	2	$1,38 * 10^{-29}$	$1,83 * 10^{-34}$
	3	1	-932,74	-0,0022

El centro de la plancha está ubicada en $x = 0,529$ [m] & $y = 0,304$ [m], entonces se sustituye la deformación máxima para este punto:

Tabla 38

Resultado de las deformaciones en la flecha central del método de Navier.

Número de interacción	Valores de m	Valores de n	P(m,n)	W(m,n)	W(x,y)
1	1	1	932,74	0,01961	0,01961
2	1	2	$1,14 * 10^{-13}$	$2,26 * 10^{-18}$	$2,77 * 10^{-34}$
	2	1	$1,14 * 10^{-13}$	$7,88 * 10^{-18}$	$9,66 * 10^{-34}$
3	1	3	-932,74	-0,0004	0,0004
	2	2	$1,38 * 10^{-29}$	$1,83 * 10^{-34}$	$2,75 * 10^{-66}$
	3	1	-932,74	-0,0022	0,0022
				Total	0,22

$$d_{obtenida} = 22,08[mm]$$

La norma NTP 298 nos indica que la deformación máxima que deberá tener la plancha es de $\frac{1}{200}$ para materiales metálicos.

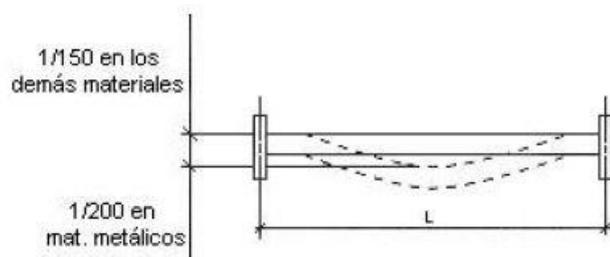


Figura 19. Pandeo máximo de entrepaños para estanterías.

Fuente: (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2003)

$$d = \frac{1058}{200} = 5,29[mm]$$

La deformación obtenida por el Método de Navier es excesiva, por lo que se lo vuelve a realizar tomando el siguiente espesor.

$$e = 1,2$$

$$D = \frac{190 * 10^9 * (6 * 10^{-4})^3}{12 * (1 - 0,305^2)} = 30,16[N]$$

$$d_{obtenida} = 2,13[mm]$$

La segunda interacción nos da una deformación que sí cumple con la norma, por lo que el espesor a usarse para la lámina es de $e = 1,2$ [mm].

Simulando dichas láminas, se tiene que la deformación máxima sería de 1,9 [mm] y un factor de seguridad de 5,06.

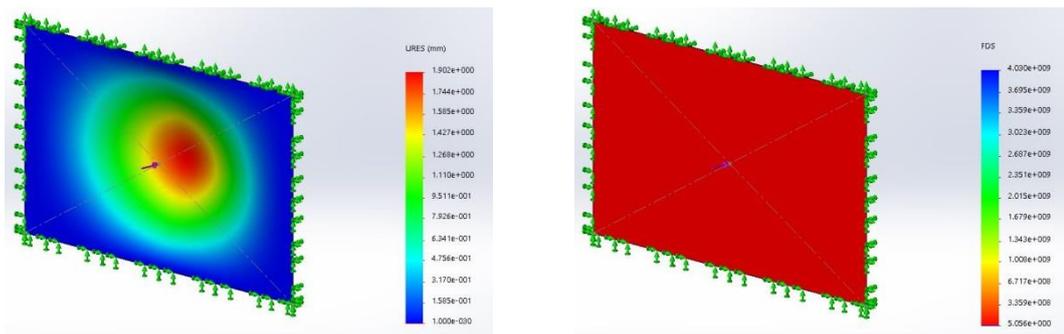


Figura 20. Deformaciones y factores de seguridad de las láminas del techo y el piso.

3.2.2.2.2 Lámina de separación entre pisos.

Lámina separación entre pisos: Se realizará el mismo análisis anterior, con las cargas causadas por los animales, para esta lámina primero se determinará el tamaño de la perforación y luego se determinará el espesor.

La norma ISO 4406:1999, indica que para limpieza en planchas perforadas para uso con animales, el diámetro mínimo deberá ser de 5 [cm].

El libro Ventilación natural de edificios – Fundamentos y Métodos de cálculo para aplicación de Ingeniero y Arquitectos, nos dice que las perforaciones no deben ser mayores a 10[cm] de diámetro y la masa extraída deberá ser menor al 30% de la masa total de la plancha, por lo que sabiendo que la plancha mide $a = 1020$ y $b = 570$.

$$A = a * b \quad (12)$$

$$A = 581400[mm^2]$$

$$30\% * 581400 = 174420$$

$$A_{\text{círculos}} = 32 * (\pi * 25^2) = 62831,85[mm^2]$$

$$30\% A > A_{\text{círculos}}$$

Entonces el diámetro de las perforaciones será de 5[cm]

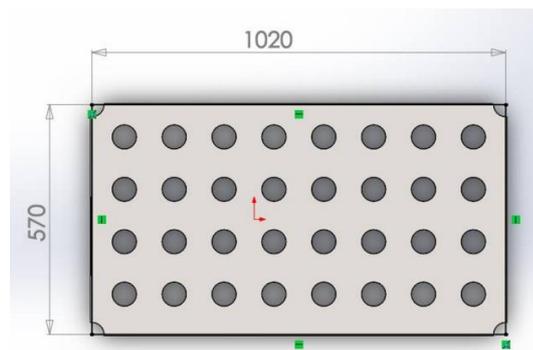


Figura 21. Plancha perforada para la separación de pisos de la cámara del aislador.

Reduciendo el área, de acuerdo a las perforaciones realizadas, las medidas de la plancha nos quedarán: $a = 1020$ y $b = 481,296$

Usando el Método de Navier se obtiene:

$$D = \frac{190 * 10^9 * (8 * 10^{-4})^3}{12 * (1 - 0,305^2)} = 8,93[N]$$

Se obtiene la carga:

Tabla 39

Resultado de la carga del método de Navier.

Número de interacción	Valores de m	Valores de n	P(m,n)
1	1	1	6,07
2	1	3	2,02
	3	1	2,02
3	1	5	1,21
	3	3	0,67
	5	1	1,21

Se encuentra la deformación máxima:

Tabla 40

Resultado de las flechas del método de Navier.

Número de interacción	Valores de m	Valores de n	P(m,n)	W(m,n)
1	1	1	6,07	$2,5 * 10^{-4}$
2	1	3	2,02	$1,46 * 10^{-6}$
	3	1	2,02	$1,38 * 10^{-5}$
3	1	5	1,21	$1,17 * 10^{-7}$
	3	3	0,67	$3,43 * 10^{-7}$
	5	1	1,21	$1,73 * 10^{-6}$

El centro de la plancha está ubicada en $x = 0,525 [m]$ y $y = 0,275 [m]$, entonces se sustituye la deformación máxima para este punto:

Tabla 41

Resultado de las deformaciones en la flecha central del método de Navier.

Número de interacción	Valores de m	Valores de n	P(m,n)	W(m,n)	W(x,y)
1	1	1	6,07	$2,5 * 10^{-4}$	$2,5 * 10^{-4}$
2	1	3	2,02	$1,46 * 10^{-6}$	$1,46 * 10^{-6}$
	3	1	2,02	$1,38 * 10^{-5}$	$1,38 * 10^{-5}$
3	1	5	1,21	$1,17 * 10^{-7}$	$1,17 * 10^{-7}$
	3	3	0,67	$3,43 * 10^{-7}$	$3,43 * 10^{-7}$
	5	1	1,21	$1,73 * 10^{-6}$	$1,73 * 10^{-6}$
				Total	$2,37 * 10^{-3}$

$$d_{obtenida} = 2,37[mm]$$

La guía de manejo de animales de laboratorio: Ratón del Instituto Nacional de Salud, Jirón Cápac Yupangui 1400, Lima-Perú, nos indica que la deformación de las láminas de un bioterio deben ser menores a $1[mm]$, por lo que con un espesor de $e = 0.8[mm]$ no se cumple.

Se vuelve a realizar el método tomando el siguiente espesor.

$$e = 1,2[mm]$$

$$d_{obtenida} = 1,51[mm]$$

La segunda interacción nos da una deformación que tampoco cumple con la norma, por lo que se vuelve a hacer el análisis con el siguiente el espesor.

$$e = 1,5[mm]$$

$$d_{obtenida} = 1,18[mm]$$

La tercera interacción nos da una deformación que sigue sin cumplir con la norma, por lo que se vuelve a hacer el análisis con el siguiente el espesor.

$$e = 2[mm]$$

$$d_{obtenida} = 0,35[mm]$$

Este espesor permite a la lámina cumplir con la deformación especificada. Simulando dichas láminas, se tiene que la deformación máxima sería de $0,24 [mm]$.

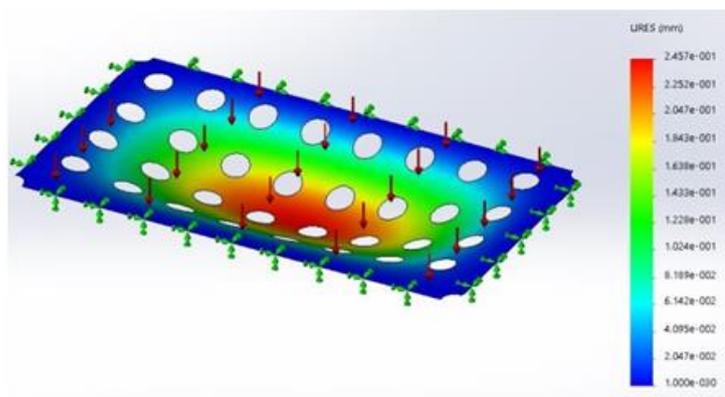


Figura 22. Deformación de la lámina perforada

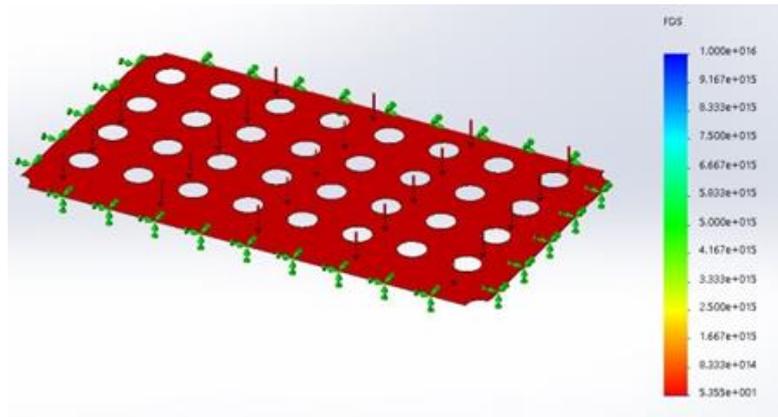


Figura 23. Factor de seguridad de la lámina perforada

La guía de manejo de animales de laboratorio: Ratón del Instituto Nacional de Salud, Jirón Cápac Yupangui 1400, Lima-Perú, indica que a este tipo de bandejas se le realiza un doblé que permita aumentar la rigidez de la misma ya que se manejarán seres vivos sobre la misma.

Haciendo análisis geométrico se encuentra que:

$$\frac{carga_{total}}{m^2} = 122,29 \left[\frac{N}{m^2} \right]$$



Figura 24. Vista lateral de la plancha de separación entre pisos del aislador con doblé para rigidez.

$$y = \frac{\sum A * d}{\sum A} \quad (13)$$

$$y = \frac{(0,57 * 0,002) \left(h - \frac{0,002}{2} \right) + 2 * (0,002 * (h - 0,002)) * \left(\frac{(h - 0,002)}{2} \right)}{(0,57 * 0,002) + 2 * (0,002 * (h - 0,002))}$$

$$I = \frac{b * h^3}{12} + a * d^2 \quad (14)$$

$$a = (0,57 * 0,002)(h - 0,001 - y)^2 + 2$$

$$* \left(\frac{0,002 * (h - 0,002)^3}{12} + (0,002 * (h - 0,002)) \right)$$

$$d = (h - 0,002 - y)^2$$

Haciendo sistema de ecuaciones se despeja la inercia que queda en función de h.

Usando el factor de seguridad:

$$fs = \sigma * 3 = \frac{M * C}{I} \quad (15)$$

$$\frac{I}{h} = \frac{76,73}{276 * 10^6 * 3} = 9,27 * 10^{-8}$$

Usando un software matemático se encuentra que:

$$h = 2,08[cm]$$

Simulando la nueva placa se puede verificar que la deformación es de 0,1 [mm].

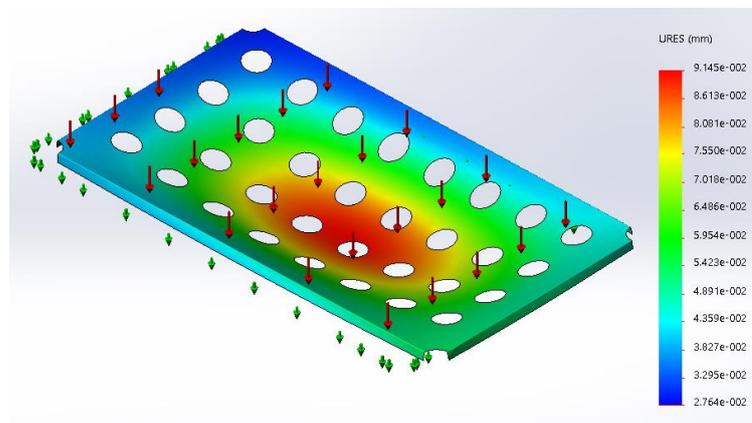


Figura 25. Deformaciones máximas de la plancha perforada del aislador con doblez.

Por lo que los valores de espesor y doblado de la lámina son:
 $e = 2$ [mm] y $h = 2$ [cm].

3.3 Diseño del sistema de filtración

El diseño del sistema de filtración consiste en la elección de los filtros de aire que satisfagan las necesidades de los usuarios del laboratorio.

3.3.1 Elección del filtro HEPA

Por requerimiento del usuario, el filtro usado para la limpieza del aire de ingreso a la cámara será un filtro HEPA cuya eficiencia debe ser del 99,9999%.

Los filtros que son usados para la limpieza de aire se rigen a la norma CEN-EN-1822-2000 como se muestra en la tabla.

Tabla 42

Rendimiento de filtros HEPA y ULPA según la norma CEN-EN 1822.

Clase de Filtración CEN-EN 1822	Rendimiento (%) para partículas MPPS	
	Eficiencia Global del filtro	Eficiencia Local (escaneado puntual)
H 10	≥ 85%	—
H 11	≥ 95%	—
H 12	≥ 99,5%	97,5 %
H 13	≥ 99,95%	99,75 %
H 14	≥ 99,995%	99,975 %
U 15	≥ 99,9995%	99,9975 %
U 16	≥ 99,99995%	99,99975 %
U 17	≥ 99,999995%	99,999975 %

Fuente: (Filtros CETA, 2015)

Para la elección del filtro se tomará en cuenta los filtros cuya eficiencia son mayores al 99,5%.

Usamos la técnica matriz de decisión para elegir el filtro a usarse.

En la siguiente tabla se muestra la evaluación del peso específico de cada criterio.

Tabla 43

Evaluación del peso específico de cada criterio para la elección del filtro HEPA

Criterio	Bajo Costo	Oferta en el mercado	Eficiencia	$\Sigma+1$	Ponderación
Bajo Costo	—	0	0	1	0,17
Oferta en el mercado	1	—	0	2	0,33
Eficiencia	1	1	—	3	0,50
			Total	6	1

En las siguientes tablas se muestra la evaluación para los criterios de bajo costo, oferta en el mercado y eficiencia.

Tabla 44**Evaluación del criterio: Bajo costo.**

Bajo costo	H12	H13	H14	$\Sigma+1$	Ponderación
H12	—	1	1	3	0,50
H13	0	—	1	2	0,33
H14	0	0	—	1	0,17
Total				6	1

Tabla 45**Evaluación del criterio: Oferta en el mercado**

Oferta en el mercado	H12	H13	H14	$\Sigma+1$	Ponderación
H12	—	1	0,5	2,5	0,42
H13	0	—	0	1	0,17
H14	0,5	1	—	2,5	0,42
Total				6	1

Tabla 46**Evaluación del criterio: Eficiencia**

Eficiencia	H12	H13	H14	$\Sigma+1$	Ponderación
H12	—	0	0	1	0,17
H13	1	—	0	2	0,33
H14	1	1	—	3	0,50
Total				6	1

En la siguiente tabla se muestra los resultados para el filtro a usarse.

Tabla 47**Tabla de resultados para la selección del filtro HEPA.**

	Bajo costo	Oferta en el mercado	Eficiencia	Σ	Prioridad
H12	0,8	0,14	0,08	0,31	2
H13	0,06	0,06	0,17	0,28	3
H14	0,03	0,14	0,25	0,42	1
Total				1	

El filtro HEPA H14 aparece en la tabla como la mejor posicionada, lo que la convierte en la opción más adecuada.

3.3.2 Elección del filtro de carbón activo

El filtro de carbón activo será usado para filtrar olores y así evitar que los mismos contaminen el laboratorio.

Hay tres tipos de filtros de carbón activo en el mercado: los filtros tipo panel-plano, los tipo plisado y los tipo cartucho. Los tres filtran olores.

Usamos la técnica matriz de decisión para elegir el filtro de carbón activo a usarse.

En la siguiente tabla se muestra la evaluación del peso específico de cada criterio.

Tabla 48

Evaluación del peso específico de cada criterio para la elección del filtro de carbón activo

Criterio	Montaje	Resistencia final	Eficiencia	$\Sigma+1$	Ponderación
Montaje	—	0	0	1	0,17
Resistencia final	1	—	0	2	0,33
Eficiencia	1	1	—	3	0,50
			Total	6	1

En las siguientes tablas se muestra la evaluación para los criterios de montaje, resistencia y eficiencia.

Tabla 49

Evaluación del criterio: Montaje.

Montaje	Panel-Plano	Plisado	Cartucho	$\Sigma+1$	Ponderación
Panel-Plano	—	1	1	3	0,50
Plisado	0	—	0	1	0,17
Cartucho	0	1	—	2	0,33
			Total	6	1

Tabla 50**Evaluación del criterio: Resistencia final**

Resistencia final	Panel-Plano	Plisado	Cartucho	$\Sigma+1$	Ponderación
Panel-Plano	—	0,5	0	1,5	0,25
Plisado	0,5	—	0	1,5	0,25
Cartucho	1	1	—	3	0,50
Total				6	1

Tabla 51**Evaluación del criterio: Eficiencia**

Eficiencia	Panel-Plano	Plisado	Cartucho	$\Sigma+1$	Ponderación
Panel-Plano	—	0	0	1	0,17
Plisado	1	—	0	2	0,33
Cartucho	1	1	—	3	0,50
Total				6	1

En la siguiente tabla se muestra los resultados para el filtro a usarse.

Tabla 52**Tabla de resultados para la selección del filtro de carbón activo.**

	Montaje	Resistencia final	Eficiencia	Σ	Ponderación
Panel-Plano	0,08	0,08	0,08	0,25	3
Plisado	0,03	0,08	0,17	0,17	2
Cartucho	0,06	0,17	0,25	0,47	1
Total				1	

El filtro de carbón activo tipo cartucho aparece en la tabla como la mejor posicionada, lo que la convierte en la opción más adecuada.

En el mercado se encuentran diferentes tipos de filtros de carbón activo tipo cartucho.

**Características de Filtro Alchimia Can Lite 100/150:**

- Diámetro: 100mm
- Longitud: 25cm
- Peso: 1.2kg
- Peso del carbón: 0.7kg
- Capacidad: 150m³/h
- Incluye camisa de prefiltro

Figura 26. Filtro Alchimia Can Lite 100/150.

Fuente: (Alchimiaweb, 2014)



Características de Filtro carbón Alchimia Can Lite 125/300:

- Diámetro: 125mm
- Longitud: 45cm
- Peso: 1.8kg
- Peso del carbón: 1.2kg
- Capacidad: 300m³/h
- Incluye camisa de prefiltro

Figura 27. Filtro Alchimia Can Lite 125/300.

Fuente: (Alchimiaweb, 2014)



Características de Filtro carbón Alchimia Can Lite 150/425S:

- Diámetro: 150mm
- Longitud: 35cm
- Peso: 4kg
- Peso del carbón: 1.9kg
- Capacidad: 425m³/h
- Incluye camisa de prefiltro

Figura 28. Filtro Alchimia Can Lite 150/425S.

Fuente: (Alchimiaweb, 2014)

Se elegirá la mejor opción de acuerdo al precio, el tamaño y el volumen de aire de trabajo.

Tabla 53

Selección del filtro de carbón activo tipo cartucho.

Tubo / Variables	100/150	125/300	150/425S	Unidades
Diámetro	100	125	150	mm
Longitud	25	45	35	cm
Peso	1.2	1.8	1.9	kg
Peso del carbón	0.7	1.2	1.9	kg
Capacidad	150	300	425	m ³ /h

Fuente: (Alchimiaweb, 2014)

Por lo que el filtro de carbón activo que trabaja con 150 m³/h es la mejor opción debido a que los otros estarían sobredimensionados.

3.4 Diseño del sistema electrónico

El diseño del sistema electrónico consiste en la elección del procesador, los sensores, el sistema de iluminación adecuado que satisfagan las necesidades de los usuarios del laboratorio y la forma de visualización de datos.

3.4.1 Elección de los sensores.

Se requiere tener dos tipos de sensores, el de temperatura que ayudará en el control de la calefacción del aire, y el de humedad que será usado para monitoreo de dicha variable, por lo que se tendrá un sensor de cada tipo tanto fuera como dentro de la cámara aisladora.

En el mercado se pueden encontrar sensores de humedad y temperatura por separado y en conjunto. Por cuestiones de espacio, se decidió usar sensores combinados de humedad y temperatura.

Debido a que uno de estos sensores estará dentro de la cámara aisladora, el mismo deberá ser blindado para que soporte los detergentes, hipoclorito al 0.5%, y a los productos de limpieza en general altamente abrasivos.

Las dos opciones más comunes en este tipo de sensor son: el DTH11 y el SHT11 (sensor blindado). Cuyas características se encuentran en el Anexo 1 y Anexo 2.

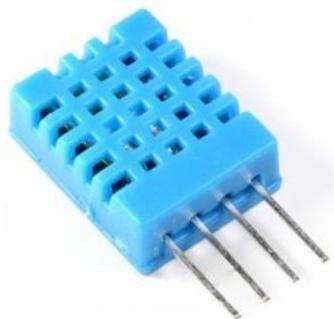


Figura 29. Sensor de temperatura y humedad DTH11.

Fuente: (Prometec, 2016)



Figura 30. Sensor de temperatura y humedad SHT11.

Fuente: (Cetronic, 2017)

3.4.2 Elección del sistema de iluminación.

Una de las características necesarias para la iluminación es que los focos no deben calentarse, por lo que la tecnología a usarse será la led.

En el mercado se encuentran los focos leds regulables en tres presentaciones: foco dimeable, panel dimeable y foco dicroico dimeable. Es importante que tengan la característica de dimeable debido a que la iluminación de la cámara será modificable de acuerdo a las necesidades diarias de los laboratoristas.

Usamos la técnica matriz de decisión para elegir el sistema de iluminación a usarse.

En la siguiente tabla se muestra la evaluación del peso específico de cada criterio.

Tabla 54

Evaluación del peso específico de cada criterio para la selección del sistema de iluminación.

Criterio	Control	Bajo costo	Oferta en el mercado	$\Sigma+1$	Ponderación
Control	—	1	0,5	2,5	0,42
Bajo costo	0	—	0	1	0,17
Oferta en el mercado	0,5	1	—	2,5	0,42
			Total	6	1

En las siguientes tablas se muestra la evaluación para los criterios de control, bajo costo y oferta en el mercado.

Tabla 55**Evaluación del criterio: Control**

Control	Foco dimeable	Panel dimeable	Foco dicroico dimeable	$\Sigma+1$	Ponderación
Foco dimeable	—	1	0,5	2,5	0,42
Panel dimeable	0	—	0	1	0,17
Foco dicroico dimeable	0,5	1	—	2,5	0,42
Total				6	1

Tabla 56**Evaluación del criterio: Bajo costo.**

Bajo costo	Foco dimeable	Panel dimeable	Foco dicroico dimeable	$\Sigma+1$	Ponderación
Foco dimeable	—	1	1	3	0,50
Panel dimeable	0	—	1	2	0,33
Foco dicroico dimeable	0	0	—	1	0,17
Total				6	1

Tabla 57**Evaluación del criterio: Oferta en el mercado.**

Oferta en el mercado	Foco dimeable	Panel dimeable	Foco dicroico dimeable	$\Sigma+1$	Ponderación
Foco dimeable	—	1	1	3	0,50
Panel dimeable	0	—	1	2	0,33
Foco dicroico dimeable	0	0	—	1	0,17
Total				6	1

En la siguiente tabla se muestra los resultados para el sistema de iluminación a usarse.

Tabla 58**Tabla de resultados para la selección del tipo del sistema de iluminación.**

	Control	Bajo costo	Oferta en el mercado	Σ	Ponderación
Foco dimeable	0,17	0,08	0,21	0,46	1
Panel dimeable	0,07	0,06	0,14	0,26	3
Foco dicroico dimeable	0,17	0,03	0,07	0,27	2
Total				6	

El foco dimeable aparece en la tabla como la mejor posicionada, lo que la convierte en la opción más adecuada.

3.4.3 Elección del sistema de visualización.

Es importante que el usuario pueda visualizar las variables controladas y las monitoreadas, por lo que se elegirá un sistema que permita acceder a dichos valores de la manera más eficiente.

En el mercado se encuentran distintos tipos de pantallas, y se elegirá las más conveniente tomando en cuenta principalmente su tamaño.

Usamos la técnica matriz de decisión para elegir el sistema de visualización.

En la siguiente tabla se muestra la evaluación del peso específico de cada criterio.

Tabla 59**Evaluación del peso específico de cada criterio para la selección del sistema de visualización.**

Criterio	Bajo costo	Tamaño	Peso	Programación	$\Sigma+1$	Ponderación n
Bajo costo	—	0	0	0,5	1,5	0,15
Tamaño	1	—	0,5	1	3,5	0,35
Peso	1	1	—	1	3,5	0,35
Programación	0,5	0	0	—	1,5	0,15
Total					10	1

En las siguientes tablas se muestra la evaluación para los criterios de control, bajo costo y oferta en el mercado.

Tabla 60**Evaluación del criterio: Bajo costo**

Bajo costo	LCD	Touch Panel	Monitor	$\Sigma+1$	Ponderación
LCD	—	1	1	3	0,50
Touch Panel	0	—	0	1	0,17
Monitor	0	1	—	2	0,33
Total				6	1

Tabla 61**Evaluación del criterio: Tamaño.**

Tamaño	LCD	Touch Panel	Monitor	$\Sigma+1$	Ponderación
LCD	—	0	0	1	0,17
Touch Panel	1	—	0	2	0,33
Monitor	1	1	—	3	0,50
Total				6	1

Tabla 62**Evaluación del criterio: Peso.**

Peso	LCD	Touch Panel	Monitor	$\Sigma+1$	Ponderación
LCD	—	1	1	3	0,50
Touch Panel	0	—	1	2	0,33
Monitor	0	0	—	1	0,17
Total				6	1

Tabla 63**Evaluación del criterio: Programación.**

Programación	LCD	Touch Panel	Monitor	$\Sigma+1$	Ponderación
LCD	—	1	1	3	0,50
Touch Panel	0	—	0	1	0,17
Monitor	0	1	—	2	0,33
Total				6	1

En la siguiente tabla se muestra los resultados para el sistema de visualización a usarse.

Tabla 64

Tabla de resultados para la selección del tipo del sistema de visualización.

	Bajo costo	Tamaño	Peso	Programación	Σ	Prioridad
LCD	0,08	0,06	0,18	0,18	0,38	1
Touch Panel	0,03	0,12	0,12	0,03	0,28	3
Monitor	0,15	0,18	0,06	0,05	0,33	2
				Total	1	

La pantalla LCD aparece en la tabla como la mejor posicionada, lo que la convierte en la opción más adecuada.

3.4.4 Elección del sistema de procesamiento.

Ya que es necesario controlar y monitorear variables, se requiere de un procesador que nos permita realizar varios procesos al mismo tiempo.

En el mercado se encuentran distintos tipos de controladores de los cuales se tomaron 3 opciones: Arduino, raspberry y una computadora de escritorio (Dell vostro).

Usamos la técnica matriz de decisión para elegir el sistema de procesamiento a usarse.

En la siguiente tabla se muestra la evaluación del peso específico de cada criterio.

Tabla 65

Evaluación del peso específico de cada criterio para la elección del procesador.

Criterio	Bajo costo	Tamaño	Programación	$\Sigma+1$	Ponderación
Bajo costo	—	1	0,5	2,5	0,42
Tamaño	0	—	0	1	0,17
Programación	0,5	1	—	2,5	0,42
			Total	6	1

En las siguientes tablas se muestra la evaluación para los criterios de control, bajo costo y oferta en el mercado.

Tabla 66**Evaluación del criterio: Bajo costo**

Bajo costo	Arduino	Raspberry	Computadora	$\Sigma+1$	Ponderación
Arduino	—	1	1	3	0,50
Raspberry	0	—	1	2	0,33
Computadora	0	0	—	1	0,17
Total				6	1

Tabla 67**Evaluación del criterio: Tamaño.**

Tamaño	Arduino	Raspberry	Computadora	$\Sigma+1$	Ponderación
Arduino	—	0,5	1	2,5	0,42
Raspberry	0,5	—	1	2,5	0,42
Computadora	0	0	—	1	0,17
Total				6	1

Tabla 68**Evaluación del criterio: Programación.**

Programación	Arduino	Raspberry	Computadora	$\Sigma+1$	Ponderación
Arduino	—	1	0,5	2,5	0,42
Raspberry	0	—	0	1	0,17
Computadora	0,5	1	—	2,5	0,42
Total				6	1

En la siguiente tabla se muestra los resultados para el material a usarse.

Tabla 69**Tabla de resultados para la elección del procesador.**

	Bajo costo	Tamaño	Programación	Σ	Prioridad
Arduino	0,21	0,07	0,17	0,45	1
Raspberry	0,14	0,07	0,07	0,28	2
Computadora	0,07	0,03	0,17	0,27	3
Total				1	

El Arduino aparece en la tabla como la mejor posicionada, lo que la convierte en la opción más adecuada.

Debido a que se pueden encontrar diferentes tipos de Arduinos en el mercado, se deberá elegir el más apto.

Tabla 70**Selección del tipo de Arduino a usarse para el control.**

Arduino Variables	Arduino uno	Arduino mega 2560	Arduino mega ADK	Unidades
Pines digitales	14	54	54	
Pines PWM	6	14	15	
Entradas análogas	6	16	16	
Memoria flash	32	256	256	<i>Kb</i>
Velocidad de procesamiento	16	16	16	<i>MHz</i>

Fuente: (Arduino G.A., 2016)

El Arduino más idóneo para el trabajo requerido es el uno debido a que cumple con las necesidades en cuanto a número de pines digitales y PWM.

3.5 Diseño de la cámara de mezclado

3.5.1 Elección del material.

Debido a que la cámara de mezclado no estará en contacto con los animales, no es necesario que la misma sea resistente a los detergentes, hipoclorito al 0.5%, y a los productos de limpieza en general altamente abrasivos. Por lo que la misma puede estar diseñada en cualquier material apropiado para laboratorios.

Se han encontrado tres materiales que pueden ser usados según la OMS, informe No. 957: Acero inoxidable, aluminio y PVC.

Usamos la técnica matriz de decisión para elegir el material.

En la siguiente tabla se muestra la evaluación del peso específico de cada criterio.

Tabla 71**Evaluación del peso específico de cada criterio para la elección del material**

Criterio	Oferta en el mercado	Manufactura	Bajo costo	Pérdida de calor	$\Sigma+1$	Ponderación
Oferta en el mercado	—	0	0,5	0,5	2	0,20
Manufactura	1	—	0	0	2	0,20
Bajo costo	0,5	1	—	0	2,5	0,25
Pérdida de calor	0,5	1	1	—	3,5	0,35
Total					10	1

En las siguientes tablas se muestra la evaluación para los criterios de oferta en el mercado, manufactura y bajo costo.

Tabla 72**Evaluación del criterio: Oferta en el mercado.**

Oferta en el mercado	Acero inoxidable	Aluminio	PVC	$\Sigma+1$	Ponderación
Acero inoxidable	—	0,5	1	2,5	0,42
Aluminio	0,5	—	1	2,5	0,42
PVC	0	0	—	1	0,17
Total				6	1

Tabla 73**Evaluación del criterio: Manufactura.**

Manufactura	Acero inoxidable	Aluminio	PVC	$\Sigma+1$	Ponderación
Acero inoxidable	—	0,5	1	2,5	0,42
Aluminio	0,5	—	1	2,5	0,42
PVC	0	0	—	1	0,17
Total				6	1

Tabla 74**Evaluación del criterio: Bajo costo.**

Bajo costo	Acero inoxidable	Aluminio	PVC	$\Sigma+1$	Ponderación
Acero inoxidable	—	0	0	1	0,17
Aluminio	1	—	1	3	0,50
PVC	1	0	—	2	0,33
			Total	6	1

En la siguiente tabla se muestra los resultados para el material a usarse.

Tabla 75**Evaluación del criterio: Pérdida de calor.**

Pérdidas de calor	Acero inoxidable	Aluminio	PVC	$\Sigma+1$	Ponderación
Acero inoxidable	—	1	0,5	2,5	0,42
Aluminio	0	—	0	1	0,17
PVC	0,5	1	—	2,5	0,42
			Total	6	1

En la siguiente tabla se muestra los resultados para el material a usarse.

Tabla 76**Tabla de resultados para la selección del material.**

	Oferta en el mercado	Manufactura	Bajo costo	Pérdida de calor	Σ	Prioridad
Acero inoxidable	0,08	0,08	0,04	0,15	0,35	1
Aluminio	0,08	0,08	0,13	0,04	0,33	2
PVC	0,03	0,03	0,08	0,15	0,30	3
			Total		1	

El acero inoxidable aparece en la tabla como la mejor posicionada, lo que la convierte en la opción más adecuada.

3.5.2 Dimensionamiento del sistema de calefacción:

Para un correcto dimensionamiento, se debe tomar el tipo de calefacción y calcular la carga térmica para tener la mayor eficiencia posible.

3.5.2.1 Elección del tipo de calefacción:

Para poder generar la transferencia de calor necesaria para alcanzar las temperaturas requeridas, se ha tomado en cuenta las formas comúnmente utilizadas en aires acondicionados: Calefacción por resistencias eléctricas, calefacción infrarroja y calefacción por combustión de gases.

Usamos la técnica matriz de decisión para elegir el tipo de calefacción.

En la siguiente tabla se muestra la evaluación del peso específico de cada criterio.

Tabla 77

Evaluación del peso específico de cada criterio para la elección de la calefacción de aire

Criterio	Bajo Costo	Oferta en el mercado ecuatoriano	Eficiencia	$\Sigma+1$	Ponderación
Bajo Costo	—	0	0	1	0,17
Oferta en el mercado ecuatoriano	1	—	0,5	2,5	0,42
Eficiencia	1	0,5	—	2,5	0,42
			Total	6	1

En las siguientes tablas se muestra la evaluación para los criterios de bajo costo, oferta en el mercado ecuatoriano y eficiencia.

Tabla 78

Evaluación del criterio: Bajo costo.

Bajo costo	Resistencia eléctrica	Infrarrojo	Combustión	$\Sigma+1$	Ponderación
Resistencia eléctrica	—	1	1	3	0,50
Infrarrojo	0	—	0	1	0,17
Combustión	0	1	—	2	0,33
			Total	6	1

Tabla 79**Evaluación del criterio: Oferta en el mercado ecuatoriano.**

Oferta en el mercado ecuatoriano	Resistencia eléctrica	Infrarrojo	Combustión	$\Sigma+1$	Ponderación
Resistencia eléctrica	—	1	0,5	2,5	0,42
Infrarrojo	0	—	0	1	0,17
Combustión	0,5	1	—	2,5	0,42
Total				6	1

Tabla 80**Evaluación del criterio: Eficiencia**

Eficiencia	Resistencia eléctrica	Infrarrojo	Combustión	$\Sigma+1$	Ponderación
Resistencia eléctrica	—	0	1	2	0,33
Infrarrojo	1	—	1	3	0,50
Combustión	0	0	—	1	0,17
Total				6	1

En la siguiente tabla se muestra los resultados para el tipo de calefacción a usarse.

Tabla 81**Tabla de resultados para la selección del material.**

	Bajo Costo	Oferta en el mercado ecuatoriano	Eficiencia	Σ	Prioridad
Resistencia eléctrica	0,08	0,17	0,14	0,40	1
Infrarrojo	0,03	0,07	0,21	0,31	2
Combustión	0,16	0,17	0,07	0,30	3
Total				1	

La resistencia eléctrica aparece en la tabla como la mejor posicionada, lo que la convierte en la opción más adecuada.

3.5.2.2 Determinación de la potencia del sistema de calefacción:

Para poder dimensionar las resistencias necesarias se usarán las normas ASHRAE para determinar la carga térmica de calefacción descrita por la siguiente ecuación.

$$Q_C = (Q_{st} + Q_{si} - Q_{saip}) * (1 + F) \quad (16)$$

Donde:

Q_{st} : Pérdida de calor sensible por transmisión a través de los cerramientos [W]

Q_{si} : Pérdida de calor sensible por infiltraciones de aire exterior [W]

Q_{saip} : Ganancia de calor sensible por aportaciones internas permanentes [W]

F: Suplementos (tanto por uno)

Los suplementos se refieren a variables que aparecen cuando se encuentran corrientes de aire, interrupciones de servicio eléctrico y cuando se tienen más de dos paredes en la cámara. Por lo que el valor F será igual a 0 debido a que la cámara estará en un laboratorio cerrado, con paredes únicas.

3.5.2.2.1 Pérdidas de calor sensible por transmisión de los cerramientos (Q_{st})

Se calcula el calor transmitido a través de paredes, techo, y piso en estado estable.

$$Q_{st} = K * A * (T_i - T_e) \quad (17)$$

Donde:

K: Coeficiente de transmisión térmica del cerramiento [$W/m^2\text{°C}$]

A: Superficie del cerramiento [m^2]:

T_i : Temperatura interior de diseño [$^{\circ}\text{C}$]

T_e : Temperatura exterior de diseño [$^{\circ}\text{C}$]

Para calcular el coeficiente K se usa la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_c} + \frac{e_i}{k_i} \quad (18)$$

Donde:

h_c : Coeficiente de convección forzada.

e_i : Espesor de los diferentes materiales que conforman las paredes de la cámara

k_i : Coeficiente de transmisión térmica de los diferentes materiales de las paredes de la cámara

$$h_c = 5 + \frac{v}{1100} \quad (19)$$

Donde:

v : Velocidad del aire.

$$h_c = 5 + \frac{0,5 * 3600}{1100}$$

$$h_c = 6,63 \left[\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}} \right]$$

$$h_c = 7,71 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}} \right]$$

Ya que la cámara está conformada únicamente por 2 materiales (Acero Inoxidable AISI A304 y Vidrio Templado) se debe calcular 2 coeficientes de transmisión térmica de cerramiento y por consiguiente 2 Pérdidas de calor sensible por transmisión a través de los cerramientos.

$$Q_{st} = Q_{st1} + Q_{st2}$$

$$Q_{st1} = K_1 * A_1 * (T_i - T_e)$$

$$Q_{st2} = K_2 * A_2 * (T_i - T_e)$$

De esta manera:

$$\frac{1}{k_1} = \frac{1}{h_c} + \frac{e_{inox}}{k_{inox}}$$

$$\frac{1}{k_2} = \frac{1}{h_2} + \frac{e_{vidrio}}{k_{vidrio}}$$

$$e_{inox} = 12[\text{mm}]$$

$$e_{vidrio} = 6[\text{mm}]$$

$$k_{inox} = 17 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}} \right]$$

$$k_{vidrio} = 1 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}} \right]$$

$$\frac{1}{K_1} = \frac{1}{7,71} + \frac{0,0012}{17}$$

$$\frac{1}{K_2} = \frac{1}{7,71} + \frac{0,0006}{1}$$

$$K_1 = 7,71 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}} \right]$$

$$e_{vidrio} = 7,67 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}} \right]$$

De acuerdo a la Figura 6, el área del acero inoxidable y del vidrio templado son:

$$A_{acero} = (1 * 0,55) * 2 + (1 * 0,665) * 1 + (0,55 * 0,665) * 2$$

$$A_{acero} = 2,5 [\text{m}^2]$$

$$A_{vidrio} = (1 * 0,665) * 1$$

$$A_{vidrio} = 0,665 \text{ [m}^2\text{]}$$

Por lo que:

$$Q_{st1} = 134,93 \text{ [W]}$$

$$Q_{st2} = 35,7 \text{ [W]}$$

3.5.2.2.2 Pérdidas de calor sensible por infiltraciones de aire exterior (Q_{si})

Se calcula el calor necesario para calentar el aire que ingresa a la cámara.

$$Q_{si} = V_{ae} * 0,33 * (T_i - T_e) \quad (20)$$

Donde:

V_{ae} : Caudal de aire exterior que se introduce en la cámara $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$

T_i : Temperatura interior de diseño $[\text{°C}]$

T_e : Temperatura exterior de diseño $[\text{°C}]$

El caudal del aire, obtenido anteriormente es:

$$V_{ae}: 0,002 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] = 7,2 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$$

Por lo tanto:

$$Q_{si} = 7,2 * 0,33 * (24 - 17)$$

$$Q_{si} = 16,63 \text{ [W]}$$

3.5.2.2.3 Ganancia de calor sensible por aportaciones internas permanentes (Q_{saip})

Todos los elementos que se encuentran dentro de la cámara generan calor, por lo que se debe tomar en cuenta las aportaciones por cada uno.

$$Q_{saip} = Q_{sil} + Q_{sp} + Q_{sv} \quad (21)$$

Donde:

Q_{sil} : Ganancia interna de calor sensible por iluminación [W].

Q_{sp} : Ganancia interna de calor sensible debido a los ocupantes [W]

Q_{sv} : Ganancia interna de calor sensible por aparatos diversos [W]

Debido a que dentro de la cámara aisladora, únicamente se encontrarán las cajas que contendrán a los animales y un sensor de temperatura-humedad, se puede decir que no existe ganancia interna de calor sensible por aparatos.

3.5.2.2.3.1 Ganancia de calor sensible por iluminación (Q_{sil})

El sistema de iluminación de la cámara consta de 2 focos LED, los cuales pueden variar su intensidad luminosa.

Dentro de las especificaciones técnicas del foco LED se tiene:

Tabla 82

Especificaciones técnicas del foco LED dimeable.

Especificaciones técnicas del foco LED dimeable	
Consumo de energía	9,5 [W]
Factor de potencia	> 0,9

Fuente: (Solydi, 2014)

Por lo tanto se puede decir que el calor que genera el sistema de iluminación es:

$$Q_{sil} < 9,5 * (1 - 0,9) * 2 \quad (22)$$

$$Q_{sil} = 1,9 [W]$$

3.5.2.2.3.2 Ganancia de calor sensible debido a los ocupantes (Q_{sp})

De la siguiente tabla se puede hacer referencia para conocer el calor sensible que liberan los ratones que se alojarán dentro de la cámara aisladora.

Tabla 83**Calor sensible y agua liberados por diferentes especies de animales.**

Becerras (kg)	50	80	100	120	150	180
kcal/hora	85	100	115	140	150	170
g/hora	90	120	125	150	180	200
Cerdos en cebo (kg)	15	30	60	90	110	
kcal/hora	30	55	85	105	140	
g/hora	40	70	110	145	185	
Poluelos (kg)	4.5	14	23	35		
kcal/hora	9	32	47	58		
g/hora	22	43	60	77		

Fuente: (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010)

En la Tabla 83 se puede ver que un polluelo de 4,5 [kg] libera 9 [kcal/h], por tanto se puede estimar que un ratón de 100 [g] libera:

$$x \approx \frac{0,1 * 9}{4,5}$$

$$x \approx 0,2 \left[\frac{\text{kcal}}{\text{h}} \right] \approx 0,2326 \text{ [W]}$$

Y en el caso más crítico, es decir, que dentro de la cámara solo se tuviera un solo ratón, la ganancia interna de calor sensible debida a los ocupantes sería:

$$Q_{sp} = 0,23 \text{ [W]}$$

3.5.2.2.3.3 Ganancia interna de calor sensible por aparatos diversos (Q_{sv})

$$Q_{sv} = 0 \text{ [W]}$$

Por lo tanto:

$$Q_{saip} = Q_{sil} + Q_{sp} + Q_{sv}$$

$$Q_{saip} = 1,9 + 0,23 + 0$$

$$Q_{saip} = 2,13 \text{ [W]}$$

Entonces, se tiene que:

$$Q_C = Q_{st} + Q_{si} - Q_{saip}$$

$$Q_C = 163,024 + 16,63 - 2,13$$

$$Q_C = 177,524 \text{ [W]} \approx 177 \text{ [W]}$$

Por lo que la resistencia a usarse deberá ser de mínimo $177[W]$:

3.5.3 Dimensiones de la cámara de mezclado.

Las dimensiones de la cámara de mezclado dependen del flujo másico del aire a calentarse y de la variación de temperatura.

En el mercado se pueden encontrar diferentes tipos de resistencias para calefacción, pero las niquelinas son las que más se acercan a la potencia requerida, las mismas que trabajan hasta $400 [W]$ y son físicamente manejables.

Para el diseño de la cámara de mezclado se debe tomar en cuenta las dimensiones de dicha niquelina, además se debe considerar que las pérdidas de calor de la cámara deben ser casi despreciables, por lo que el diseño de la misma se hará en base al criterio de ducto corto.

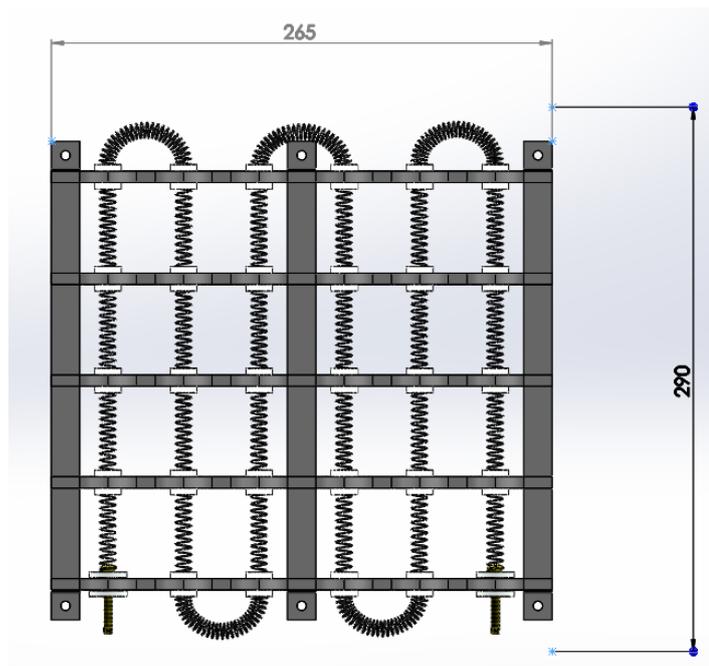


Figura 31. Arreglo de niquelina.

De esta manera, las dimensiones de la cámara de mezclado se estimarán conforme a las de la siguiente figura

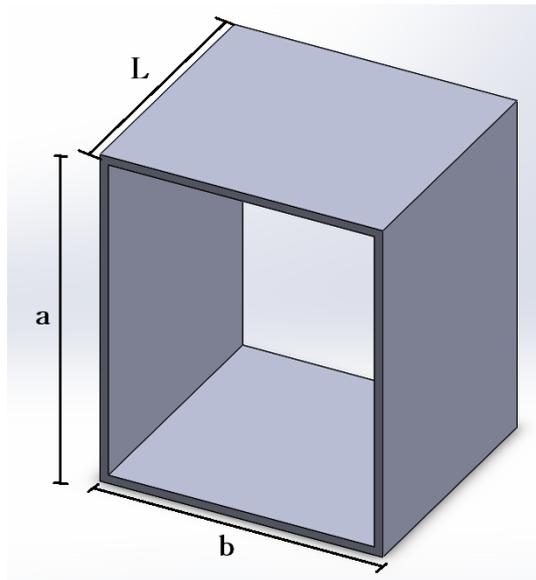


Figura 32. Diseño básico de la cámara de mezclado.

Además se conoce que dentro de la cámara de mezclado circulará aire con flujo laminar. Por tanto se tienen los siguientes datos:

$$\rho = 1,204 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$C_p = 1007 \left[\frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \right]$$

$$Pr = 0,7309$$

$$v = 1,516 \times 10^{-5} \left[\frac{m^2}{s} \right]$$

$$k = 0,02514 \left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right]$$

$$\rho = 1,204 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

Estos datos se tomaron de la tabla:

Tabla 84

Propiedades del aire a la presión de 1 atmósfera.

Temp., T , °C	Densidad, ρ , kg/m ³	Calor específico, c_p , J/kg · K	Conductividad térmica, k , W/m · K	Difusividad térmica, α , m ² /s ²	Viscosidad dinámica, μ , kg/m · s	Viscosidad cinemática, ν , m ² /s	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-6}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1 011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1 013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1 016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1 019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1 023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1 033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1 044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1 056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1 069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1 081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1 093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1 115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1 135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1 153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1 169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1 000	0.2772	1 184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1 500	0.1990	1 234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2 000	0.1553	1 264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Fuente: (Cengel, 2006)

Debido a que la presión en el lugar de trabajo es de 0,75 atmósferas, los valores no variarán de manera significativa.

Además se conocía que las temperaturas críticas (interna y externa) son:

$$T_{ext} = 20^\circ\text{C}$$

$$T_{int} = 27^\circ\text{C}$$

Debido a que es un ducto corto, se considera que la temperatura de la superficie de este debe similar a la de salida del mismo ya que no existen muchas pérdidas de calor.

Por lo tanto:

$$T_{ext} \approx 27^\circ\text{C}$$

Y también se sabe que el flujo volumétrico que proporciona el ventilador es de:

$$Q = 11,6 \left[\frac{m^3}{min} \right] = 0,19 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Entonces:

$$T_{int} = T_s - (T_s - T_{ext}) \frac{-h.A_s}{\dot{m}.C_p} \quad (23)$$

Donde:

T_{int} : Temperatura interna de la cámara aisladora (salida del ducto)

T_{ext} : Temperatura externa de la cámara aisladora (entrada del ducto)

T_s : Temperatura de la superficie del ducto

h : Coeficiente de transferencia de calor por convección

A_s : Área superficial para la transferencia de calor

\dot{m} : Flujo másico del fluido

C_p : Calor específico del fluido

Por tanto, se tiene que:

$$h = \frac{k}{D_h} Nu \quad (24)$$

$$A_s = pL \quad (25)$$

Donde:

D_h : Diámetro hidráulico

Nu : Número de Nusselt

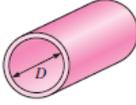
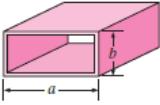
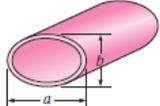
p : Perímetro de la sección del ducto

Al tenerse un flujo laminar y un flujo constante, el Número de Nusselt se puede determinar utilizando la siguiente tabla:

Tabla 85

Número de Nusselt y factor de fricción para flujo laminar.

Número de Nusselt y factor de fricción para el flujo laminar completamente desarrollado en tubos de diversas secciones transversales ($D_h = 4A_c/p$, $Re = V_{prom}D_h/\nu$, y $Nu = hD_h/k$)

Configuración geométrica del tubo	a/b o θ°	Número de Nusselt		Factor de fricción f
		$T_s = \text{Const.}$	$\dot{q}_s = \text{Const.}$	
Círculo 	—	3.66	4.36	64.00/Re
Rectángulo 	1	2.98	3.61	56.92/Re
	2	3.39	4.12	62.20/Re
	3	3.96	4.79	68.36/Re
	4	4.44	5.33	72.92/Re
	6	5.14	6.05	78.80/Re
	8	5.60	6.49	82.32/Re
	∞	7.54	8.24	96.00/Re
	Elipse 	1	3.66	4.36
2		3.74	4.56	67.28/Re
4		3.79	4.88	72.96/Re
8		3.72	5.09	76.60/Re
16		3.65	5.18	78.16/Re
Triángulo 		10°	1.61	2.45
	30°	2.26	2.91	52.28/Re
	60°	2.47	3.11	53.32/Re
	90°	2.34	2.98	52.60/Re
	120°	2.00	2.68	50.96/Re

Fuente: (Cengel, 2006)

Debido a que la sección de la cámara de mezclado tendrá una sección aproximadamente cuadrada, la relación de $a/b \approx 1$, por tanto se trabajará con un Número de Nusselt de 2,98.

$$h = \frac{k}{D_h} Nu$$

$$h = \frac{0,02514}{D_h} * 2,98$$

$$h = \frac{0,0749}{D_h}$$

Ya que se consideró que la sección del ducto es cuadrangular, se tiene que su perímetro es 4 veces el tamaño de su lado y el área de la sección es el lado al cuadrado, es decir:

$$p = 4a \quad (26)$$

$$A_c = a^2 \quad (27)$$

Por lo tanto:

$$D_h = a$$

$$\dot{m} = \rho * Q \quad (28)$$

$$\dot{m} = 1,204 * 0,19$$

$$\dot{m} = 0,2288 \left[\frac{kg}{s} \right]$$

Entonces se tiene:

$$T_{int} = T_s - (T_s - T_{ext})^{\frac{-h.A_s}{\dot{m}.C_p}}$$

$$T_{int} = T_s - (T_s - T_{ext})^{\frac{-0,0749*4L}{\dot{m}.C_p}}$$

Y de esta ecuación se despeja L:

$$L = - \frac{\ln(T_s - T_{int}) * \dot{m} * C_p}{\ln(T_s - T_{ext}) * 0,0749 * 4}$$

$$L = 0,18 [m]$$

Por lo que las dimensiones de la cámara de mezclado serán:

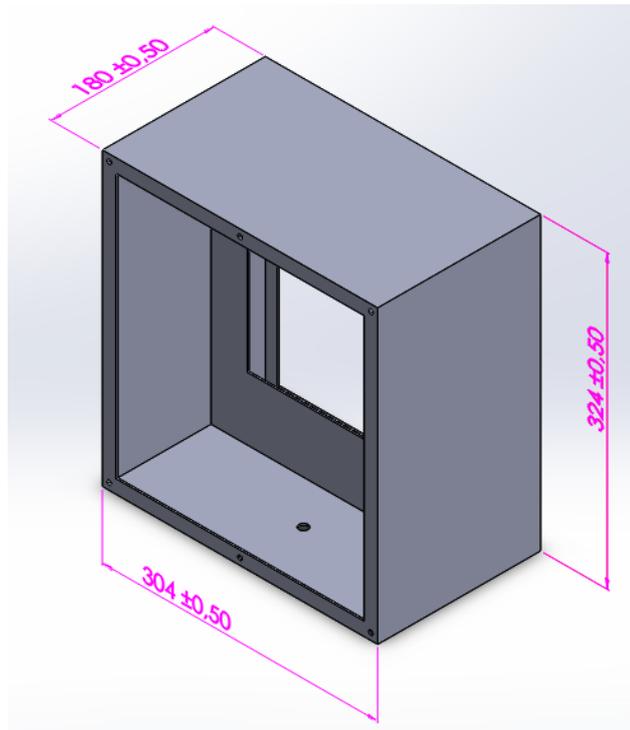


Figura 33. Vista isométrica de la cámara de mezclado.

La cámara de mezclado consta de dos tapas, cada una con perforaciones de entrada y salida circular, la medida de estos agujeros se dan por el filtro HEPA

que estará pegado a la cámara para que el aire que ingrese a la misma sea ya purificado.

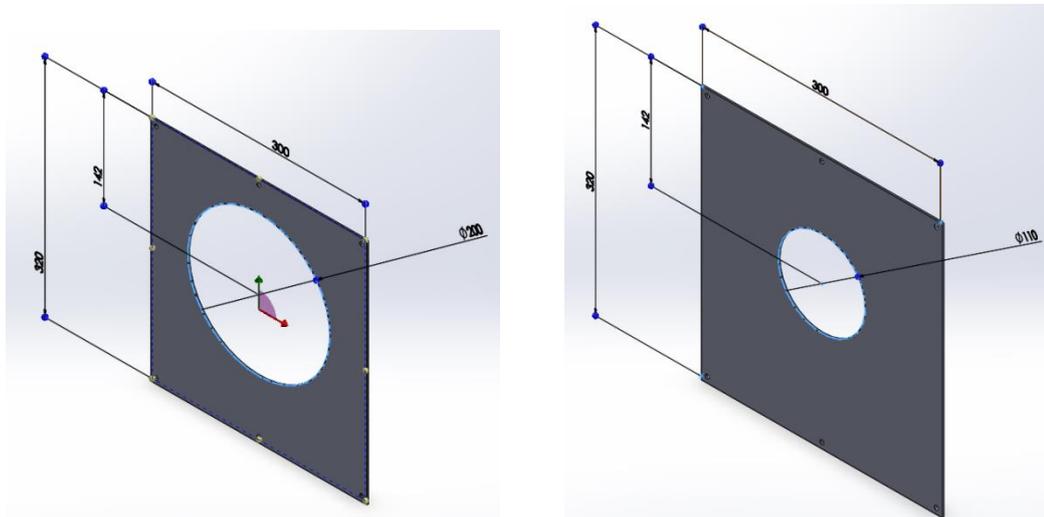


Figura 34. Dimensiones de las perforaciones de la cámara de mezclado.

Todas estas medidas están detalladas en los planos anexos a este documento.

3.6 Diseño del sistema de ventilación.

El sistema de ventilación consta de dos partes, ductos (mangueras) y fuente de extracción de aire (ventilador).

3.6.1 Diseño de conductos de ventilación:

Los conductos de ventilación deben poseer las mismas características de resistencia a los detergentes, hipoclorito al 0.5%, y a los productos de limpieza en general altamente abrasivos.

También es importante tomar en cuenta las caídas de presión de los ductos y que permitan la movilidad de toda la estructura, por lo que la opción más válida son las mangueras flexibles.

En el mercado se encuentran mangueras de PVC y poliuretano.

Se usó el método de matriz de selección para determinar el tipo de ducto a usarse

En la siguiente tabla se muestra la evaluación del peso específico de cada criterio.

Tabla 86

Evaluación del peso específico de cada criterio para la elección del tipo de conducto para desfogue de aire

Criterio	Movilidad	Indeformable	Bajo costo	$\Sigma+1$	Ponderación
Movilidad	—	0,5	1	2,5	0,42
Indeformable	0,5	—	1	2,5	0,42
Bajo costo	0	0	—	1	0,17
Total				6	1

En las siguientes tablas se muestra la evaluación para los criterios de movilidad, indeformable y bajo costo.

Tabla 87

Evaluación del criterio: Movilidad

Movilidad	Poliuretano flexible	PVC flexible	Vinilo flexible	$\Sigma+1$	Ponderación
Poliuretano flexible	—	0,5	0	1,5	0,25
PVC flexible	0,5	—	0	1,5	0,25
Vinilo flexible	1	1	—	2	0,50
Total				6	1

Tabla 88

Evaluación del criterio: Indeformable.

Indeformable	Poliuretano flexible	PVC flexible	Vinilo flexible	$\Sigma+1$	Ponderación
Poliuretano flexible	—	0,5	0,5	2	0,33
PVC flexible	0,5	—	0,5	2	0,33
Vinilo flexible	0,5	0,5	—	2	0,33
Total				6	1

Tabla 89**Evaluación del criterio: Bajo costo**

Bajo costo	Poliuretano flexible	PVC flexible	Vinilo flexible	$\Sigma+1$	Ponderación
Poliuretano flexible	—	1	0	2	0,33
PVC flexible	0	—	0	1	0,17
Vinilo flexible	1	1	—	3	0,50
Total				6	1

En la siguiente tabla se muestra los resultados para el tipo de ducto a usarse.

Tabla 90**Tabla de resultados para la selección del tipo de ducto.**

	Movilidad	Indeformable	Bajo costo	Σ	Prioridad
Poliuretano flexible	0,10	0,14	0,06	0,30	2
PVC flexible	0,10	0,14	0,03	0,27	3
Vinilo flexible	0,21	0,14	0,08	0,43	1
Total				6	

El vinilo flexible aparece en la tabla como la mejor posicionada, lo que la convierte en la opción más adecuada.

Esta tubería se rige según la norma UNE EN ISO 3994, que significa que es una tubería fabricada por coextrucción de compuestos vinílicos, usada en el mercado para aspiraciones de aire cargado de sustancias abrasivas moderadas.

Comercialmente se encuentra la tubería con sus respectivas abrazaderas lista para ser usada, las dimensiones de la misma son: diámetro 4 [in] y de largo 5[ft].

3.6.2 Elección del ventilador a usarse

Según la norma AMCA 205-10, que habla de la clasificación de eficiencia energética para ventiladores, el ventilador a utilizarse debe ser del tipo centrífugo.

Para poder elegir el ventilador se debe tomar en cuenta que la caída de presión del filtro HEPA es de 60mm agua, y debido a que la tubería es flexible, la caída de presión estimada será 6mm agua.

También se tomará en cuenta que el ventilador pueda mover la masa de aire requerida y que sea monofásico por estandarización eléctrica en Ecuador.

En la siguiente tabla se detallan las características requeridas para el ventilador.

Tabla 91

Características requeridas para el ventilador.

Especificaciones técnicas del ventilador a usarse	
Caudal	0,04 [m^3/s]
Nivel de ruido	80 [dB]
Presión	66 [mm agua]
Voltios	110 [V]
Frecuencia	60 [HZ]

Se han encontrado algunos ventiladores en el mercado.

Tabla 92

Catálogo ventiladores centrífugos de Siemens.

	Tipo	Diámetro (mm)	Caudal (m ³ / s)	Potencia (kW)	Nivel ruido dB(A)	Corriente (Amp.)	
	Con motores monofásicos 110V, 1.800 rpm ¹⁾					110V	
01181	2CC2 254 - 5YC3	250	0.38	0.05	62	0.8	
01182	2CC2 314 - 5YC3	310	0.70	0.09	65	1.5	
01183	2CC2 354 - 5YC3	350	1.01	0.11	68	1.9	
01184	2CC2 404 - 5YC3	400	1.45	0.22	74	3.2	
01185	2CC2 504 - 5YA3	500	2.93	0.70	78	8.3	
	Con motores trifásicos 220 / 440V, 1.800 rpm ¹⁾					220V 440V	
01186	2CC2 404 - 5YD6	400	1.45	0.20	74	1.14	0.57
01187	2CC2 504 - 5YB6	500	2.93	0.66	78	3.0	1.5
01188	2CC2 634 - 5YB6	630	5.33	1.60	87	6.4	3.2
01189	2CC1 714 - 5YB6	710	8.37	3.58	91	14.0	7.0
	Con motores trifásicos 220 / 440V, 1.200 rpm ¹⁾					220V 440V	
01190	2CC2 506 - 5YB6	500	1.91	0.19	68	1.22	0.61
01191	2CC2 636 - 5YB6	630	3.55	0.51	76	2.2	1.1
01192	2CC2 716 - 5YB6	710	5.27	1.2	80	6.7	3.35

Fuente: (Siemens, 2010)



Diámetro (mm)	120
Caudal (m ³ /s)	0.12
Potencia (kW)	0.09
Nivel de ruido (dB)	50
Corriente (Amp.)	0.65
Voltios (V)	100

Figura 35. Ventilador centrífugo CY120A2P.

Fuente: (Direct Industry, 2017)



Figura 36. Características del ventilador centrífugo CY1250A2P.

Fuente: (Importadora TAPEISA, 2017)

Tabla 93

Selección del ventilador centrífugo.

Ventilador Variables	Siemens	CY1200A2P	CY1250A2P	Unidades
Diámetro	250	120	125	mm
Velocidad	1800	2800	3480	R.P.M.
Caudal	0.38	0.12	0.19	m ³ /s
Presión	60.7	62.8	66.6	mm Agua
Potencia	0.05	0.09	0.2	KW

Por lo que el ventilador CY1250A2P será el elegido, ya que sus valores de presión y caudal son los requeridos y cumplen con el factor de seguridad para diseño.

3.7 Diseño de la estructura de soporte.

Se debe diseñar dos estructuras de soporte, una para la cámara aisladora, que soporte el peso de la misma, más la cámara de mezclado y el filtro HEPA, y otra que soporte el ventilador centrífugo y el filtro de carbón activo. Ambas estructuras tendrán ruedas de movilidad con freno.

3.7.1 Elección del material.

Debido a que las estructuras no estarán en contacto con los animales, no es necesario que las mismas sean resistentes a los detergentes, hipoclorito al 0.5%, y a los productos de limpieza en general altamente abrasivos. Por lo que la misma puede estar diseñada en cualquier material apropiado para laboratorios.

Se han encontrado tres materiales que pueden ser usados según la OMS, para estructuras en laboratorios, informe No. 958: Acero negro (color plateado), aluminio y PVC.

Se usará el método de matriz de selección para determinar el material a usarse.

En la siguiente tabla se muestra la evaluación del peso específico de cada criterio.

Tabla 94

Evaluación del peso específico de cada criterio para la elección del material

Criterio	Resistencia	Manufactura	Oferta en el mercado	$\sum+1$	Ponderación
Resistencia	—	1	1	3	0,50
Manufactura	0,5	—	1	2	0,33
Oferta en el mercado	0	0	—	1	0,17
			Total	6	1

En las siguientes tablas se muestra la evaluación para los criterios de oferta en el mercado, manufactura y bajo costo.

Tabla 95**Evaluación del criterio: Resistencia.**

Resistencia	Acero negro	Aluminio	PVC	$\Sigma+1$	Ponderación
Acero negro	—	1	1	3	0,50
Aluminio	0	—	0,5	1,5	0,25
PVC	0	0,5	—	1,5	0,25
Total				6	1

Tabla 96**Evaluación del criterio: Manufactura.**

Manufactura	Acero negro	Aluminio	PVC	$\Sigma+1$	Ponderación
Acero negro	—	1	1	3	0,50
Aluminio	0	—	1	2	0,33
PVC	0	0	—	1	0,17
Total				6	1

Tabla 97**Evaluación del criterio: Oferta en el mercado.**

Oferta en el mercado	Acero negro	Aluminio	PVC	$\Sigma+1$	Ponderación
Acero negro	—	0,5	1	2,5	0,42
Aluminio	0,5	—	1	2,5	0,42
PVC	0	0	—	1	0,17
Total				6	1

Tabla 98**Tabla de resultados para la selección del material.**

	Resistencia	Transparencia	Oferta en el mercado	Σ	Prioridad
Acero negro	0,25	0,17	0,07	0,49	1
Aluminio	0,13	0,11	0,07	0,31	2
PVC	0,13	0,06	0,03	0,21	3
Total				1	

El acero negro aparece en la tabla como la mejor posicionada, lo que la convierte en la opción más adecuada.

3.7.2 Dimensionamiento de la estructura de soporte para la cámara aisladora.

Para poder dimensionar la estructura se debe calcular las cargas permanentes y las variables y las accidentales a las que estará sometida la estructura.

Las cargas permanentes se obtienen sumando el peso de la cámara (25 kg), el peso de los animales y sus cajas (6 [kg]), el peso de la cámara de mezclado (5 kg) y el peso del filtro HEPA (3 kg).

$$G_1 = 39[kg]$$

$$G = 39 * 9.81 = 382.59 \approx 383[N]$$

Las cargas variables (Q) será la sobrecarga de uso que según la norma NTP 298 para almacenamiento en estanterías y estructuras será de 5[kg] ya que la estantería será cargada a mano.

$$Q = 5 * 9.81 = 49.05 [N] \approx 50[N]$$

La dimensiones se basarán en el tamaño de la cámara aisladora.

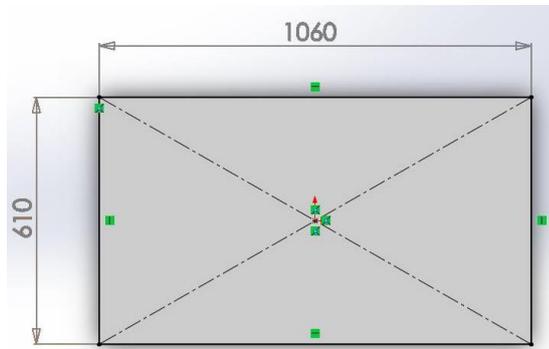


Figura 37. Medidas de las vigas de la estructura de soporte.

Se hará el estudio para ambas vigas usando la ecuación número 2.

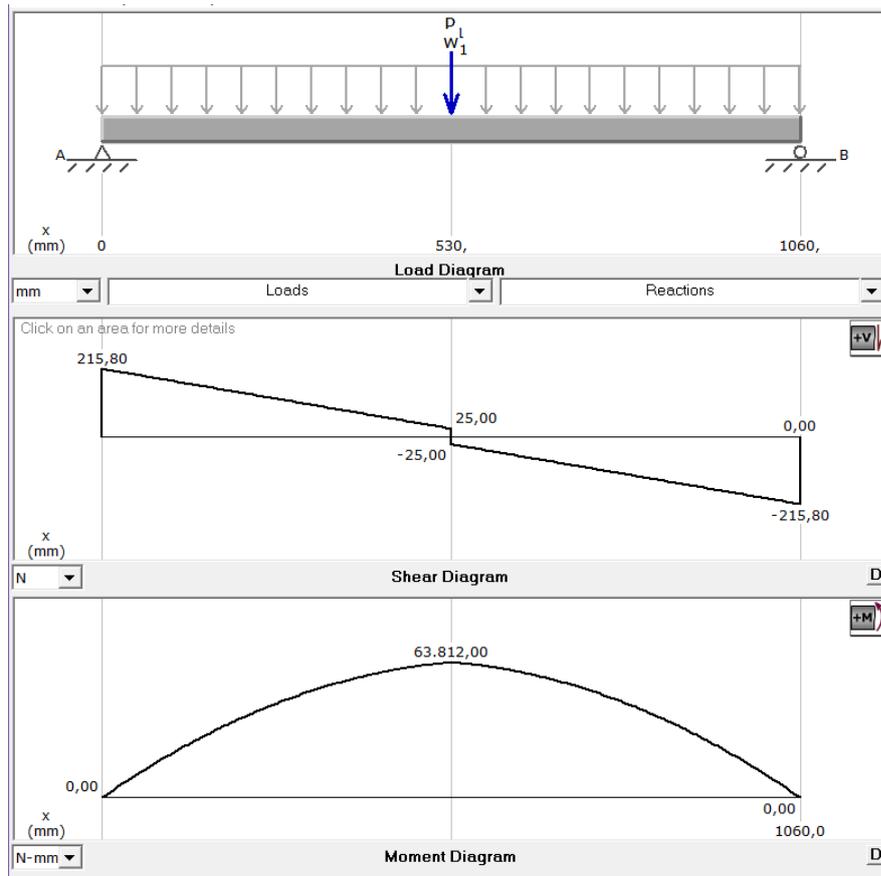


Figura 38. Diagrama de cuerpo libre de ambas vigas.

$$d_{max1} = \frac{1.06}{150} = 7.1 \cdot 10^{-3} [m]$$

Usando las ecuaciones conocidas para el pandeo de vigas hechas de acero se obtiene que:

$$d_{max1} > \frac{50 \cdot 1.06^3}{48 \cdot 205.68 \cdot 10^9 \cdot I} + \frac{5 \cdot 383 \cdot 1^3}{384 \cdot 205.68 \cdot 10^9 \cdot I}$$

$$I > 0.51 [cm^4]$$

$$M = \frac{50 \cdot 1.03}{4} + \frac{383 \cdot 1.03}{8} = 66.75 [Nm]$$

$$260 \cdot 10^6 \geq \frac{66.75}{W_x}$$

$$W_x \geq 0.26 [cm^3]$$

Para dar mayor estabilidad a la cámara aisladora se usarán ángulos en acero negro.

Tabla 99

Catálogo de ángulos de acero negro.

Designaciones	Esp.	Peso		Propiedades Estáticas							
				Eje x-x				Eje y-y			Distancia de eje x-y superior
				Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro	Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro		
H	B	e	P	P	I	W	i	I	W	i	X=Y
mm	mm	mm	kg/m	kg/6m	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm
20	20	1,50	0,44	2,61	0,21	0,15	0,47	0,21	0,15	0,47	0,54
		2,00	0,58	3,46	0,28	0,20	0,62	0,28	0,20	0,62	0,59
		3,00	0,83	4,96	0,38	0,28	0,60	0,38	0,28	0,60	0,64
25	25	1,50	0,55	3,32	0,42	0,24	0,59	0,42	0,24	0,59	0,67
		2,00	0,73	4,38	0,56	0,32	0,78	0,56	0,32	0,78	0,72
		3,00	1,06	6,36	0,79	0,45	0,76	0,79	0,45	0,76	0,77

Fuente: (DIPAC, 2016)

Como se puede verificar, este ángulo de lado $a = 25$ [mm] y espesor $e = 2$ [mm] cumple con los valores necesarios, con una inercia de $I = 0.56$ [cm⁴].

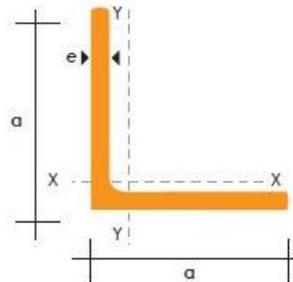


Figura 39. Medidas del ángulo

Fuente: (DIPAC, 2016)

Debido a que el estudio se hizo sobre la viga más crítica por ser la más larga, no es necesario hacer los cálculos para la viga más pequeña

3.7.3 Elección de las ruedas o garruchas.

Ya que la estantería es una estructura móvil se deben agregar garruchas para cumplir con esta condición, cámara aisladora cargada con animales tienen un peso de aproximadamente 39 [kg], más el peso de la estantería que es de aproximadamente 10 [kg], se deben seleccionar ruedas que, por lo menos, soporten 49 [kg] (se adiciona una carga de 10 [kg] conforme la norma EN12528 lo dice).

Según esta norma para la selección de las ruedas se debe usar la siguiente fórmula:

$$C = \frac{P + M * S}{N} \quad (23)$$

Donde:

C: capacidad de carga requerida para cada rueda

P: peso propio del aparato de transporte

M: carga máxima

N: número de ruedas aplicadas

S: factor de seguridad

$$C = \frac{59 + (60 * 2)}{4} = 44.75[kg]$$

45 [kg] es lo mínimo que debería poder soportar cada rueda, por lo que la elección es la mejor.

Las ruedas que se han escogido para la evaluación pertenecen a las series: 27-Médica, 19-Negro y 03. Todas estas cumplen con el requerimiento de soportar los 55 [kg] cada una, por lo que las 4 soportan un peso máximo de 180 [kg].

Para poder elegir las ruedas correctas de la serie ya mencionada se eligen tres tipos de ruedas.

Usando el método de matriz de decisión, se elige las ruedas a usarse.

En la siguiente tabla se muestra la evaluación del peso específico de cada criterio.

Tabla 100

Evaluación del peso específico de cada criterio para la elección de las ruedas a usarse

Criterio	Bajo costo	Oferta en el mercado	Freno	$\sum+1$	Ponderación
Bajo costo	—	0	0	1	0,17
Oferta en el mercado	1	—	0,5	2,5	0,42
Freno	1	0,5	—	2,5	0,42
			Total	6	1

En las siguientes tablas se muestra la evaluación para los criterios de oferta en el mercado, manufactura y bajo costo.

Tabla 101**Evaluación del criterio: Bajo costo.**

Bajo costo	Serie 27	Serie 19	Serie 03	$\Sigma+1$	Ponderación
Serie 27	—	0	0	1	0,17
Serie 19	1	—	1	3	0,50
Serie 03	1	0	—	2	0,33
Total				6	1

Tabla 102**Evaluación del criterio: Oferta en el mercado.**

Oferta en el mercado	Serie 27	Serie 19	Serie 03	$\Sigma+1$	Ponderación
Serie 27	—	0	0	1	0,17
Serie 19	1	—	0	2	0,33
Serie 03	1	1	—	3	0,50
Total				6	1

Tabla 103**Evaluación del criterio: Freno.**

Freno	Serie 27	Serie 19	Serie 03	$\Sigma+1$	Ponderación
Serie 27	—	0	0	1	0,17
Serie 19	1	—	0	2	0,33
Serie 03	1	1	—	3	0,50
Total				6	1

Tabla 104**Tabla de resultados para la selección de las ruedas.**

Freno	Bajo costo	Oferta en el mercado	Freno	Σ	Prioridad
Serie 27	0,03	0,07	0,07	0,17	3
Serie 19	0,08	0,14	0,14	0,36	2
Serie 03	0,06	0,21	0,21	0,47	1
Total				1	

Las ruedas de la serie 03 aparecen en la tabla como la mejor posicionada, lo que la convierte en la opción más adecuada.

**Figura 40. Garrucha Serie 03**

Fuente: (Ruedas y Garruchas Industriales, 2014)

3.8 Diseño del sistema de control.

El equipo es semiautomático, por lo que el usuario deberá elegir los valores de la temperatura que se requiere, el ciclo de luz a usarse y la cantidad de luz deseada.

Entonces se tienen dos procesos que requieren de un control, el primer se refiere a las luces donde se debe elegir su intensidad y su tiempo de encendido, el segundo proceso es controlar el calor emitido por la niquelina para calentar el aire interno de la cámara.

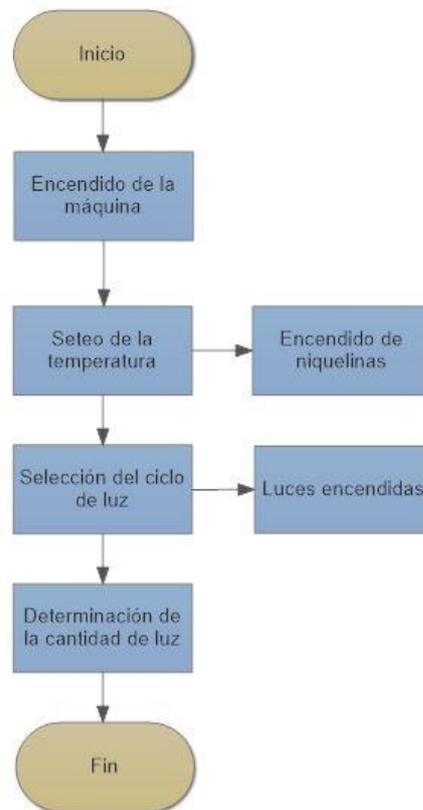


Figura 41. Diagrama de flujo general de funcionamiento del equipo.

3.8.1 Control de las luces.

Las luces deben permanecer prendidas en dos ciclos, el primero con 12 prendidas y 12 horas apagadas, y otro ciclo de 14 horas encendidas y 10 apagadas.

Para esto solo se necesita de un control ON-OFF que permita elegir entre un ciclo y otro.

Debido a que las luces son dimerizables, en el mercado ya se las puede encontrar su dimmer, por lo que no es necesario diseñar un controlador para las mismas.

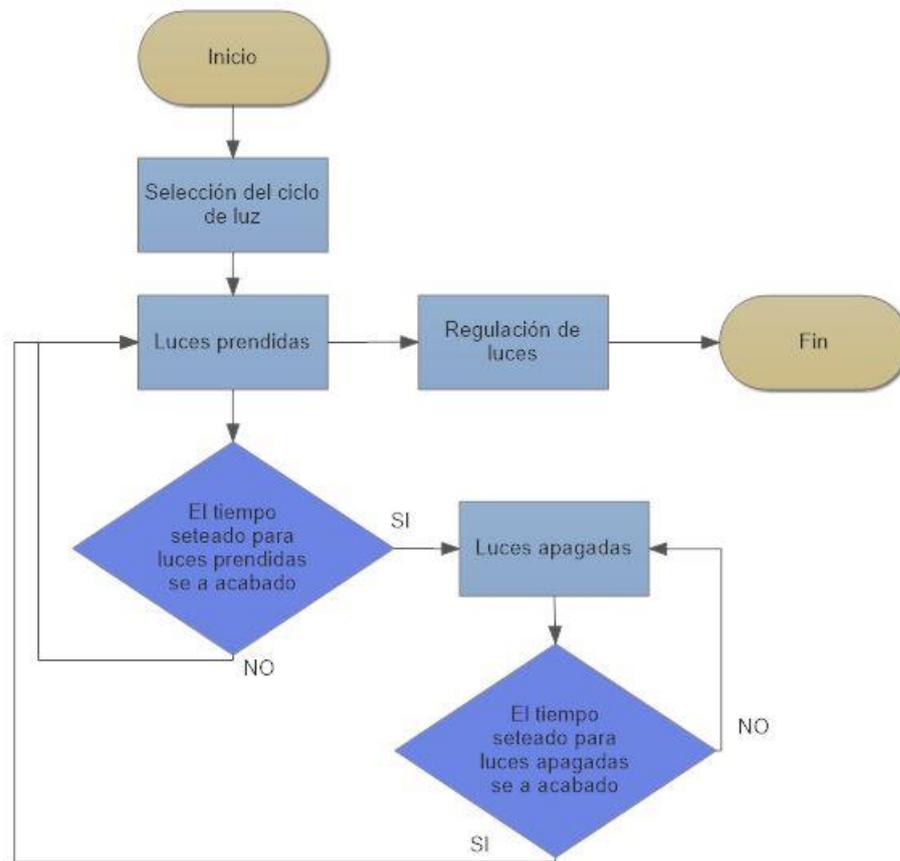


Figura 42. Diagrama de flujo del funcionamiento de las luces.

3.8.2 Control de la niquelina.

La niquelina tiene el fin de calentar el aire que ingresa a la cámara aisladora con la temperatura que el usuario requiera.

Para poder diseñar el controlador, se requiere conocer el comportamiento de la planta en lazo abierto con un *set point* de 40%, es decir, usando una potencia de 240[W]. Se usará un arduino UNO como tarjeta de adquisición de datos con un tiempo de muestreo de 5 [seg].

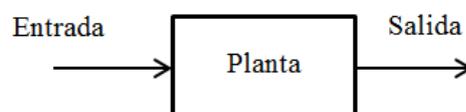


Figura 43. Diagrama sistema en lazo abierto.

Después de tomar los datos se obtiene la siguiente gráfica.

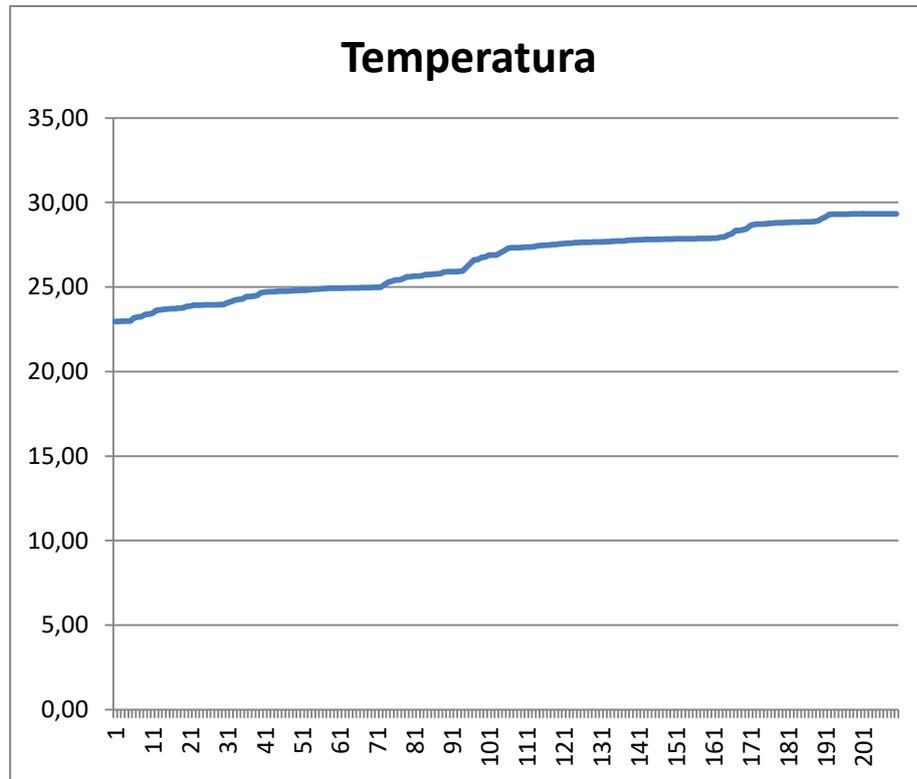


Figura 44. Comportamiento de la planta en lazo abierto.

La planta se estabiliza a los 18 minutos a una temperatura de 29.33[°C]. Se usa un software de modelado matemático para obtener la función de transferencia a partir de estos datos.

Se crea un dato encapsulado con estos valores obtenidos, tomando en cuenta también los valores de entrada de la niquelina y el tiempo de muestreo.

Usando la herramienta IDENT se debe cargar el dato encapsulado.

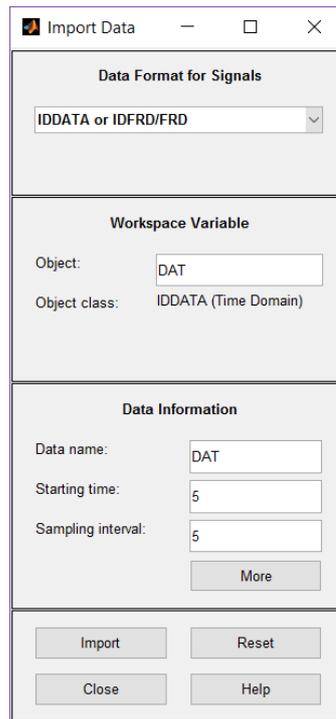


Figura 45. Herramienta ident con dato encapsulado cargado.

Una vez importado este dato, se procede a estimar la función de transferencia:

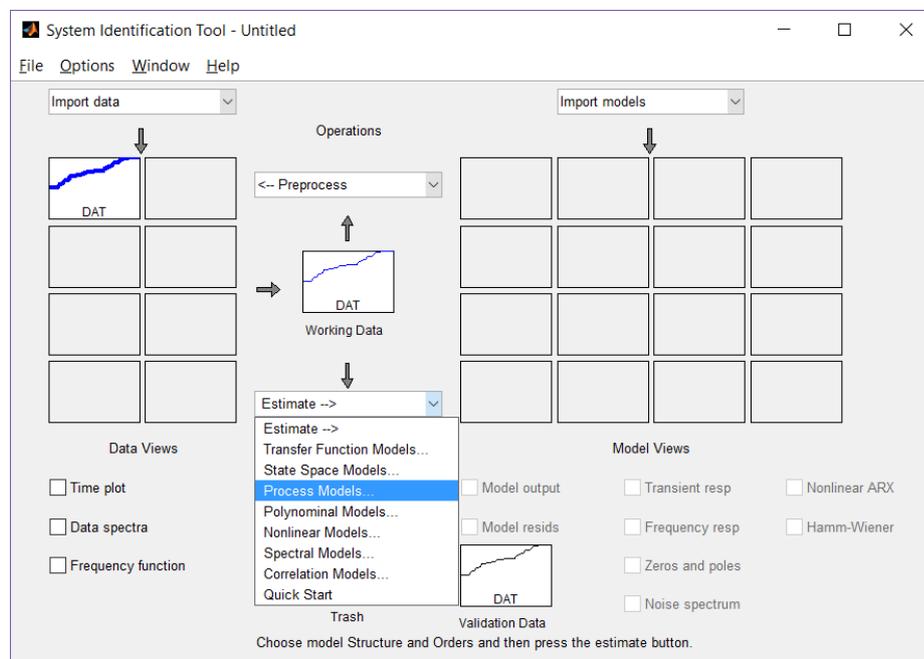


Figura 46. Estimación de la función de transferencia.

Se puede elegir el número de polos y si los mismos son reales o imaginarios, si se tiene retraso o algún elemento integrador. Se aceptará lo que por default nos da la herramienta.

Parameter	Known	Value	Initial Guess	Bounds
K	<input type="checkbox"/>		Auto	[-Inf Inf]
Tp1	<input type="checkbox"/>		Auto	[0 Inf]
Tp2	<input type="checkbox"/>	0	0	[0 Inf]
Tp3	<input type="checkbox"/>	0	0	[0 Inf]
Tz	<input type="checkbox"/>	0	0	[-Inf Inf]
Td	<input type="checkbox"/>		Auto	[0 150]

Figura 47. Modelamiento de la función de transferencia.

Se crea así la función de transferencia de la planta con el nombre P1D, el cual debe ser exportado a la ventana de trabajo para poder ser usado.

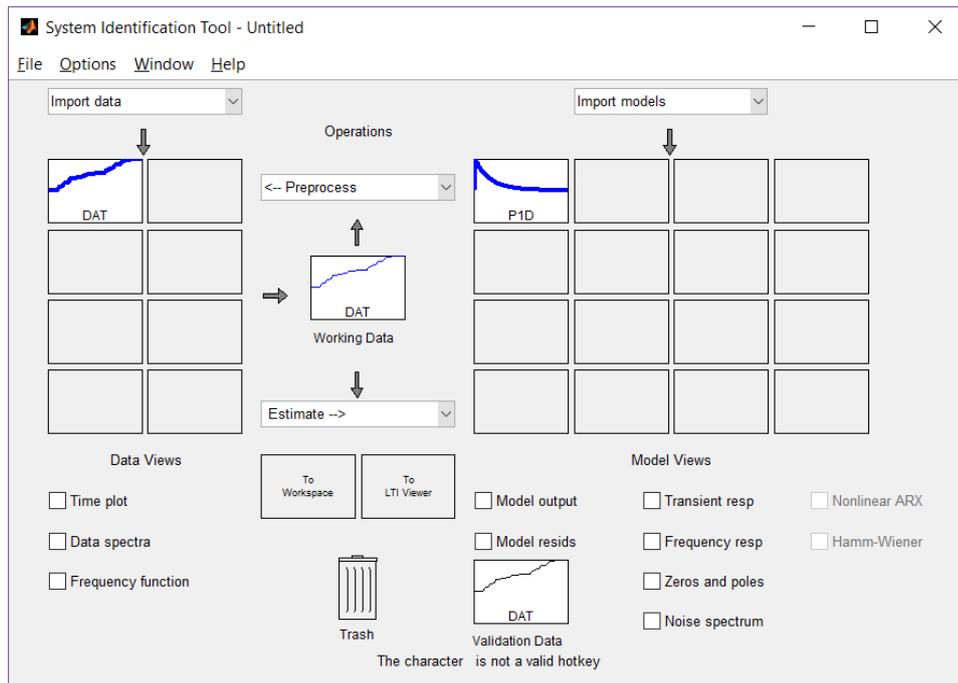


Figura 48. Función de transferencia generada en el ident.

$$G(s) = \frac{K_p}{1+T_{p1}s} * \exp(-T_d*s)$$

$K_p = 0.16077$
 $T_{p1} = 1911.6$
 $T_d = 1.71$

Figura 49. Función de transferencia de la planta de forma exponencial.

Esta función de transferencia se divide en dos partes, la primera se refiere al comportamiento de la planta y la segunda a su retardo que la misma.

Así se tiene:

```
>> GP1=tf([0.16077],[1 1911.6])

GP1 =

    0.1608
    -----
    s + 1912

Continuous-time transfer function.
```

Figura 50. Función de transferencia del comportamiento de la planta.

```

>> [NUMr,DENr] = pade(1.71,1)

NUMr =

    -1.0000    1.1696

DENr =

    1.0000    1.1696

>> Gr=tf(NUMr,DENr)

Gr =

    -s + 1.17
    -----
     s + 1.17

Continuous-time transfer function.

```

Figura 51. Función de transferencia del retardo de la planta.

Por lo que multiplicando ambas funciones de transferencia, se obtiene la función final de la planta.

```

>> Gpt=series(GP1,Gr)

Gpt =

    -0.1608 s + 0.188
    -----
     s^2 + 1913 s + 2236

Continuous-time transfer function.

```

Figura 52. Función de transferencia de la planta.

La respuesta de la planta a un escalón unitario basada en la función de transferencia se muestra en la siguiente gráfica.

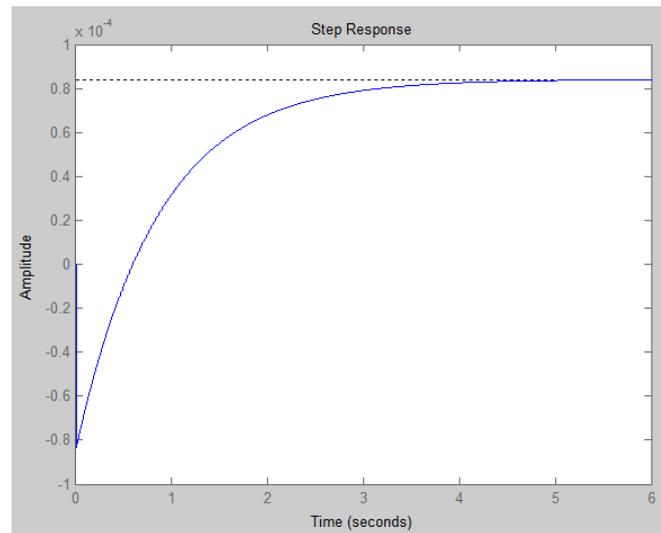


Figura 53. Respuesta de la planta en lazo cerrado con una entrada tipo escalón.

A continuación se muestra el comportamiento de la planta de acuerdo a su lugar geométrico de raíces, su diagrama de bode en lazo cerrado, y su diagrama de bode en lazo abierto.

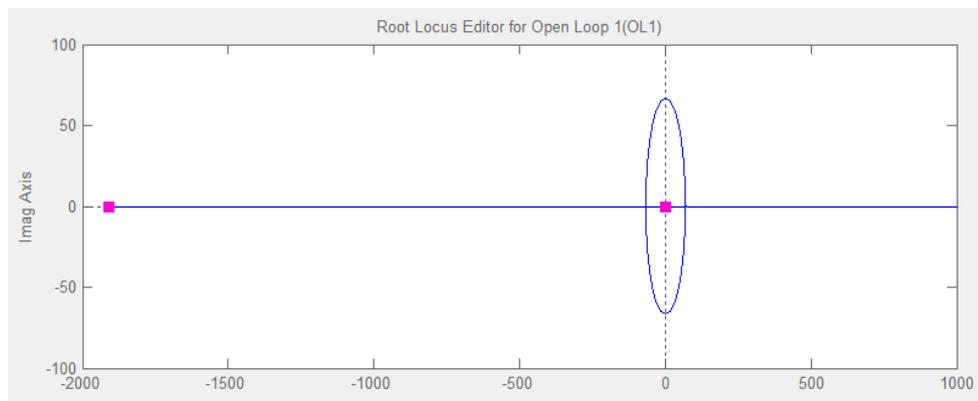


Figura 54. Lugar geométrico de raíces.

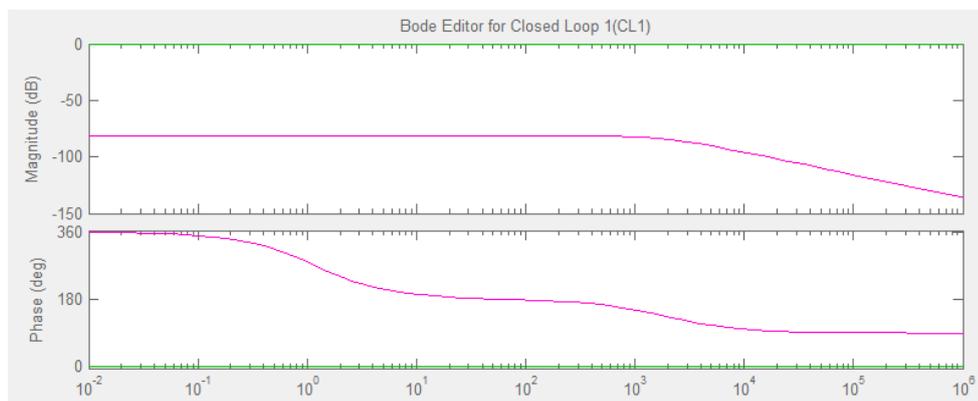


Figura 55. Diagrama de Bode de magnitud y Fase en lazo cerrado.

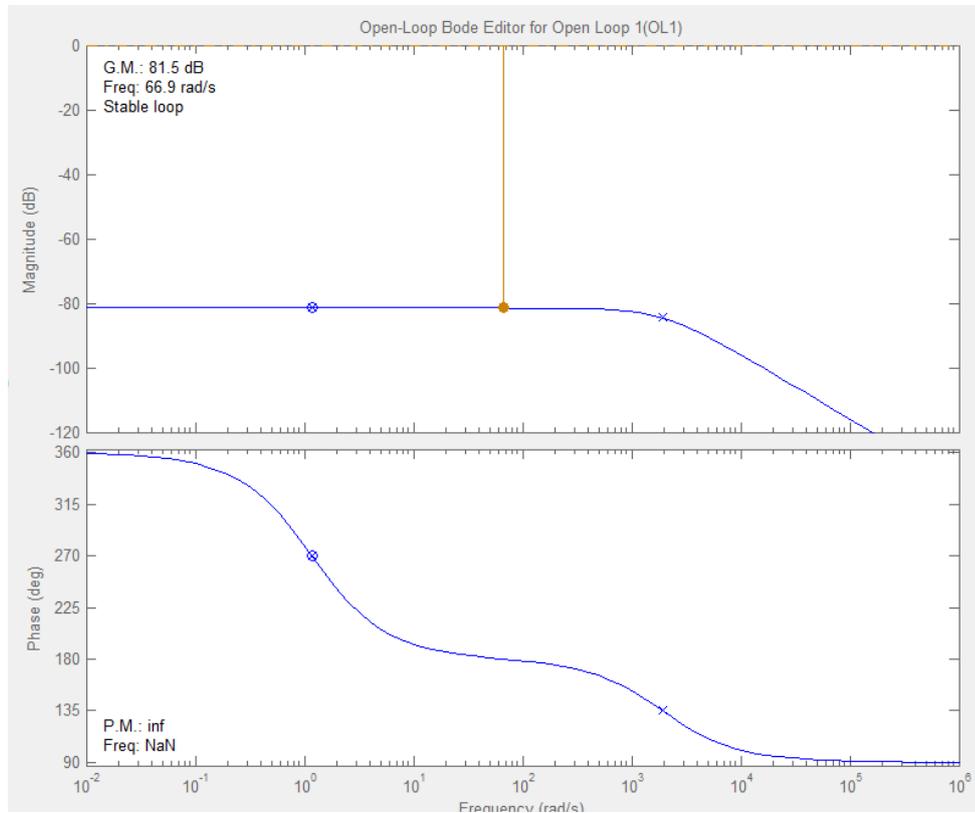


Figura 56. Diagrama de Bode de magnitud y Fase en lazo abierto.

Utilizando el método de Ziegler Nichols, y usando el valor final K , el tiempo de retardo L y la constante de tiempo (63.2% del valor final del tiempo) T , encontramos la ganancia proporcional K_p , el tiempo integral T_i y el tiempo de derivación T_d para diseñar los controladores: proporcional, proporcional integral y proporcional integral derivativo; de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 105

Parámetros para diseño de controladores.

Tipo de controladores	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 * \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 * \frac{T}{L}$	$2 * L$	$0.5 * L$

Donde:

$$K = 0.1607$$

$$L = 1.71$$

$$T = 1961.6$$

3.8.2.1 Controlador ON/OFF:

También se lo conoce como controlador todo o nada, es el control más básico que hay, el cual envía una señal de activación cuando la señal de entrada es menor a un set point y lo desactiva cuando esta señal se vuelve mayor.

Es el más usado para controlar termostatos y aires acondicionados, por lo que sería el más efectivo para esta aplicación.

Como el actuador es una niquelina, el controlador ON/OFF se lo hará mediante un PWM que modifica el ancho de pulsos. Es el más usado para controlar termostatos y aires acondicionados.

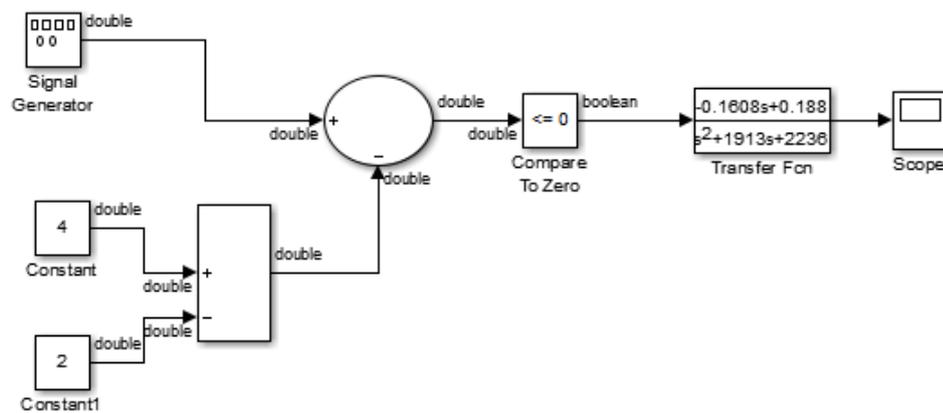


Figura 57. Planta con control ON/OFF del tipo PWM.

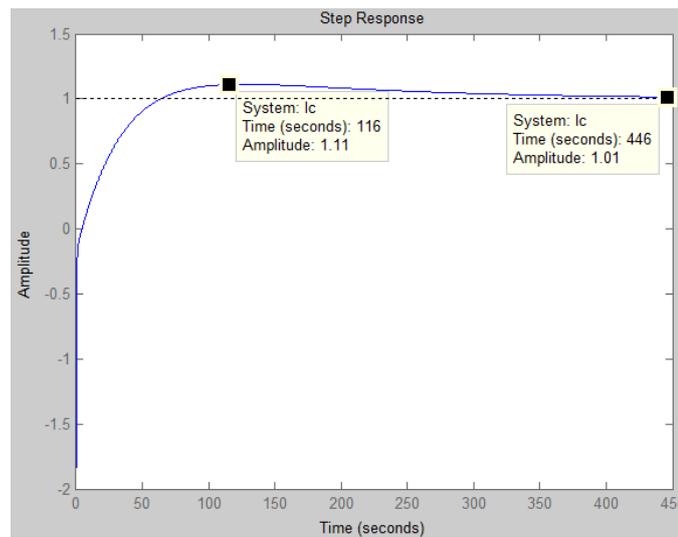


Figura 58. Respuesta de la planta con controlador PWM.

3.8.2.2 Controlador proporcional:

El controlador proporcional se basa en el producto entre la señal de error y una constante proporcional que no debe sobrepasar un límite impuesto para que el sistema no se vuelva oscilatorio.

$$G_c = K_p = \frac{1961.6}{1.71}$$

$$G_c = 1.15 * 10^3$$

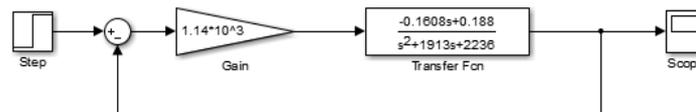


Figura 59. Planta con controlador proporcional en lazo cerrado.

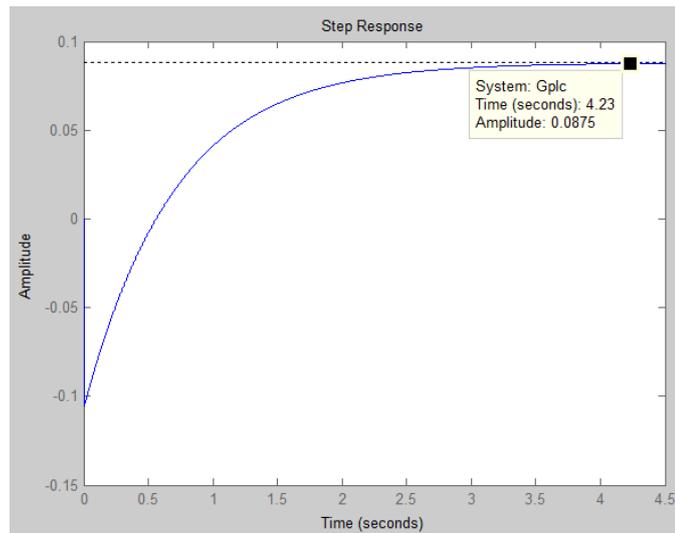


Figura 60. Respuesta de la planta a una entrada step con controlador proporcional en lazo cerrado.

El controlador estabiliza la planta en 4.23[seg], pero el error en estado estacionario es de 91.25%, por lo que requiere de sintonización. Se puede verificar que el máximo valor de la ganancia es 11896, pues sobrepasando este valor la planta se vuelve inestable, pero dicho valor genera muchas oscilaciones y un sobrepico muy alto, además de que continua con un error excesivo.

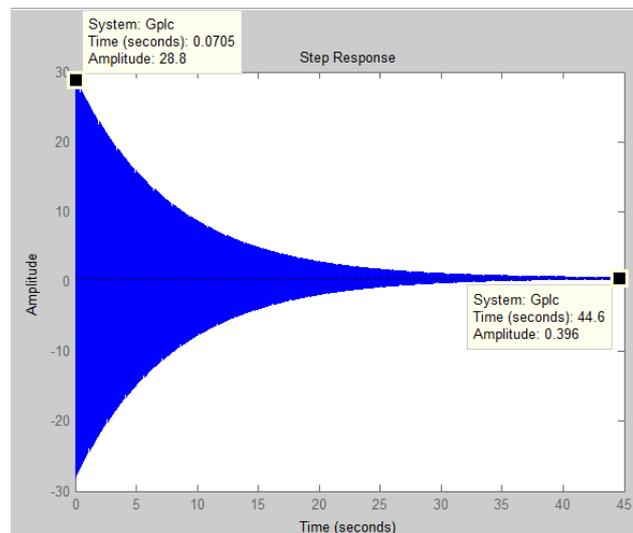


Figura 61. Respuesta de la planta a una entrada step con controlador proporcional en lazo cerrado.

En ambos casos la amplitud del controlador no llega a 1, por lo que el mismo no cumple con la condición requerida.

3.8.2.3 Controlador proporcional integral:

Este controlador combina la parte proporcional y la integral para encontrar una relación entre el régimen transitorio y el permanente de la respuesta temporal de la planta.

$$G_c = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i * s} \right) = 1032.42 \left(1 + \frac{1}{5.7s} \right)$$

$$G_c = \frac{5885s + 181.1}{s}$$

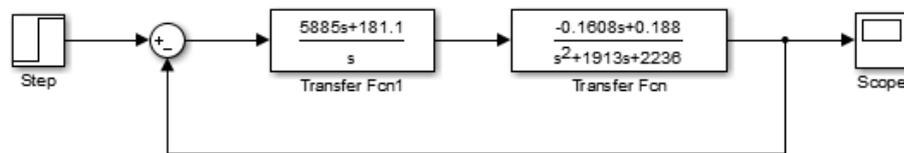


Figura 62. Planta con controlador proporcional integral en lazo cerrado.

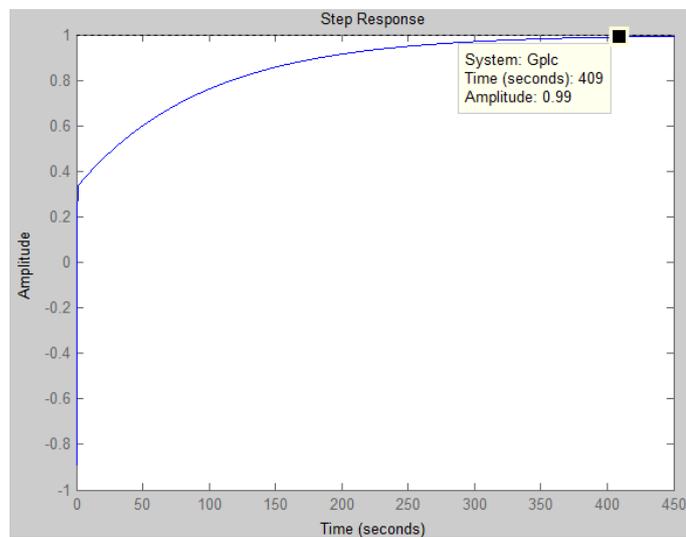


Figura 63. Planta con controlador proporcional integral en lazo cerrado.

El controlador estabiliza la planta a los 409[seg] y se tiene un error en estado estacionario de 1%.

3.8.2.4 Controlador proporcional integral derivativo:

Este controlador posee una señal de control proporcional al error, a su integral y a su derivada.

$$G_c = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i * s} + T_d * s \right) = 1376.56 \left(1 + \frac{1}{3.42s} + 0.855s \right)$$

$$G_c = \frac{1177s^2 + 1373.6s + 402.34}{s}$$

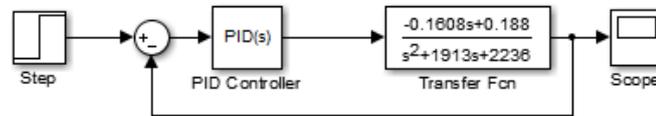


Figura 64. Planta con controlador proporcional integral derivativo en lazo cerrado.

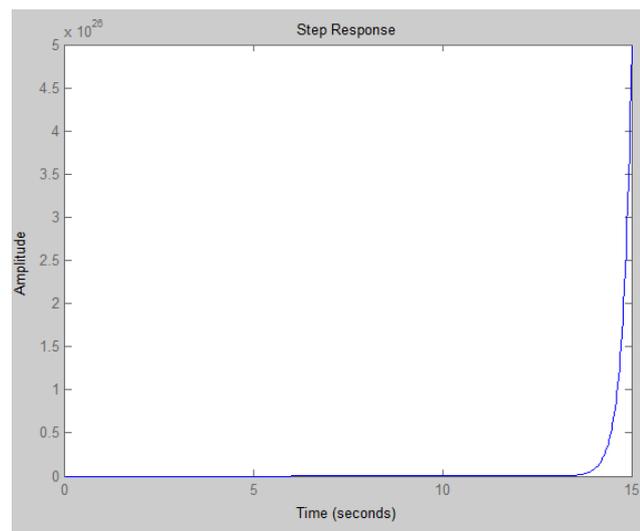


Figura 65. Planta con controlador proporcional integral derivativo en lazo cerrado.

El controlador desestabiliza la planta, esto es debido a que el componente derivativo funciona de manera errónea cuando el actuador de la planta es lento. La niquelina es un actuador lento, por lo que un controlador PID no sería efectivo de implementar.

Se realiza la comparación entre los diferentes controladores:

Tabla 106
Elección del tipo de controlador.

Controlador	Variables	ON/OFF	P	PI	PID	Unidades
Controla la planta		SI	NO	SI	NO	
Ts		446	NA	40 9	NA	[seg]
Mp		11	0	0	NA	[%]
Ess		1	60,4	1	NA	[%]

Debido a que el tiempo de estabilización de la planta no es un factor decisivo, se elige al controlador ON/OFF para implementarlo, ya que permite tener un sobrepico, necesario para que la temperatura interna se mantenga por mayor tiempo cercana a la temperatura seteada.

Por lo que el diagrama de flujo final del control de la niquelina queda de la siguiente manera:

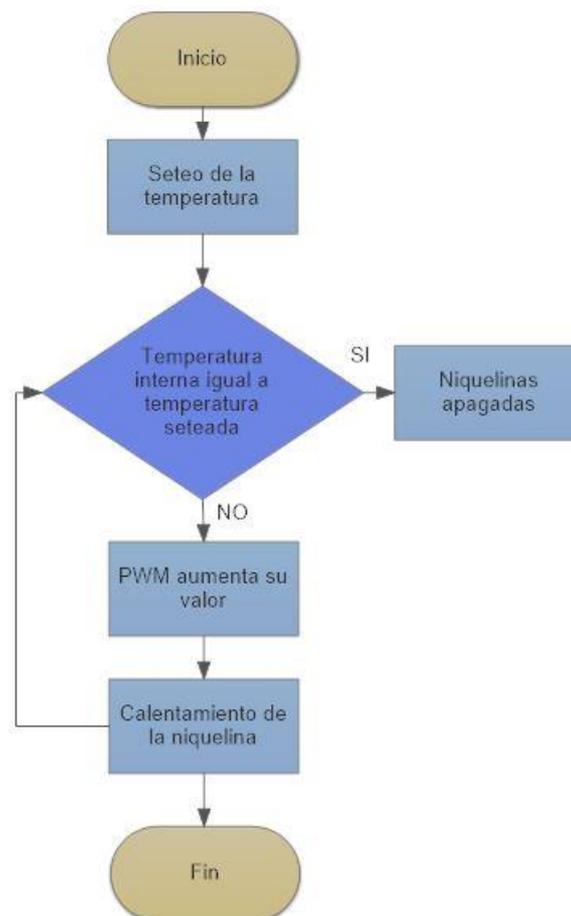


Figura 66. Diagrama de flujo del funcionamiento de la niquelina.

3.8.3 Programación del arduino.

Como ya se diseñó el tipo de controlador para las luces y para la niquelina se debe programar dicho controlador, por lo que se generan funciones en el arduino.

Tabla 107

Funciones programadas en el arduino.

Número	Conectado a	Descripción
1	Sensores	<ul style="list-style-type: none"> A través de las entradas PWM se leen los datos que envían ambos sensores
2	Pulsadores	Para setear la temperatura el arduino recibe valores de 1 o 0 en dos entradas digitales, lo que le permite saber si se desea más o menos temperatura
3	Conmutador	Para setear los ciclos de luz el arduino recibe valores de 1 o 0 en dos entradas digitales, lo que le permite saber si se desean 12 o 14 horas de luz
4	Arduino NANO	Cuando se determinan los ciclos de luz, el arduino activa la sub-función de reloj dentro del arduino NANO, y este activa las luces internas de la cámara
5	Leds indicadores de luz	El arduino emite la misma señal de control del arduino NANO a los leds de visualización
6	Led y buzzer de alarma	Al no detectar señal de alguno de los sensores, el arduino emite una señal para que se prendan de manera intermitente el led y el buzzer de alarma
7	Pantalla	El arduino indica a través de la pantalla la temperatura y humedad dentro y fuera de la cámara, el ciclo de luz elegido y si hay una alarma
8	Relé de estado sólido	A través de un relé de estado sólido se controlan las niquelinas, ya que el arduino emite una señal PWM que permite que la resistencia vaya aumentando gradualmente su temperatura

3.8.4 Diseño del circuito de control y potencia.

Como ya se tienen la programación, lo primero es probar el circuito en un protoboard, así se verifica que el arduino esté debidamente programado

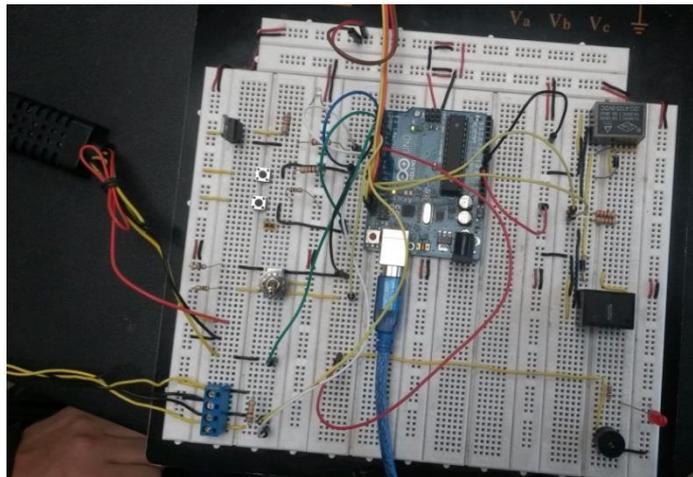


Figura 67. Comprobación de funcionamiento del equipo.



Figura 68. Verificación de la pantalla LCD.

Con el circuito ya probado se pasa al diseño de las placas o baquelitas tanto de control como de potencia.

3.8.4.1 Diseño de la placa de control.

La placa de control es la placa conectada al arduino, y contiene todos los elementos de seteo y visualización, a esta se conectan: la pantalla LCD, los pulsadores, el conmutador, los leds, el relé de estado sólido y el buzzer.

Se usa el programa Proteus para realizar este diseño.

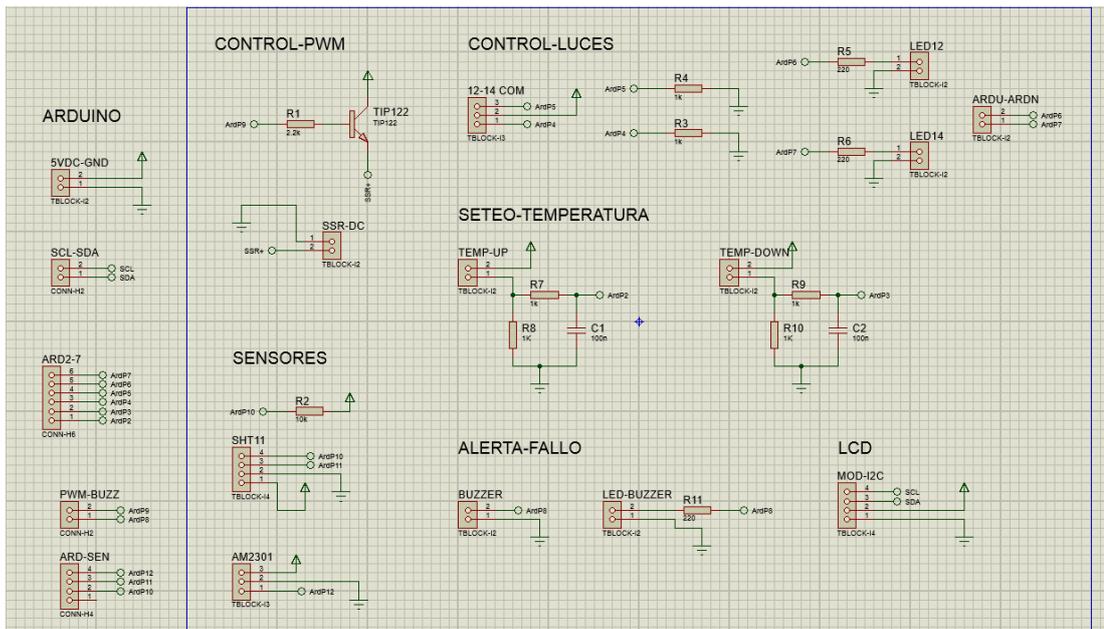


Figura 69. Diseño del circuito.

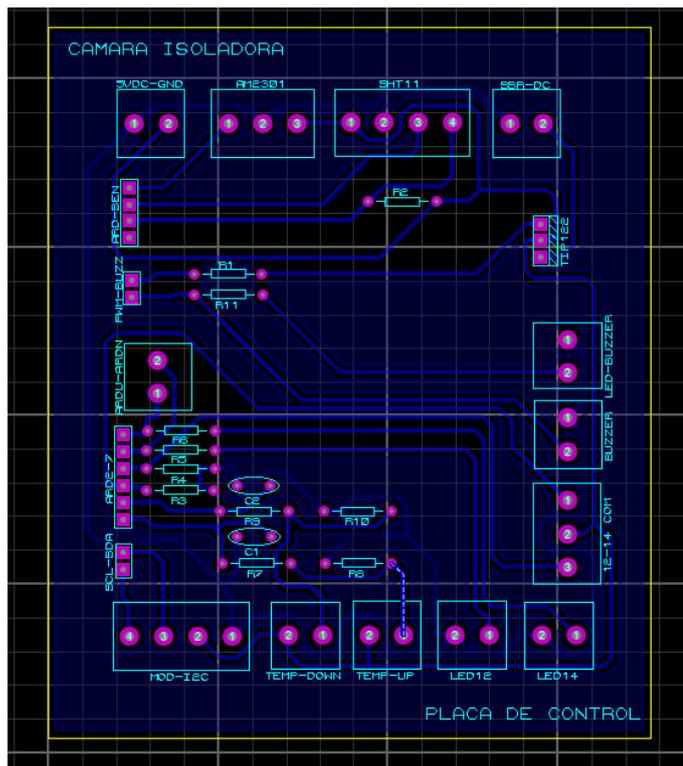


Figura 70. Diseño de la baquelita.

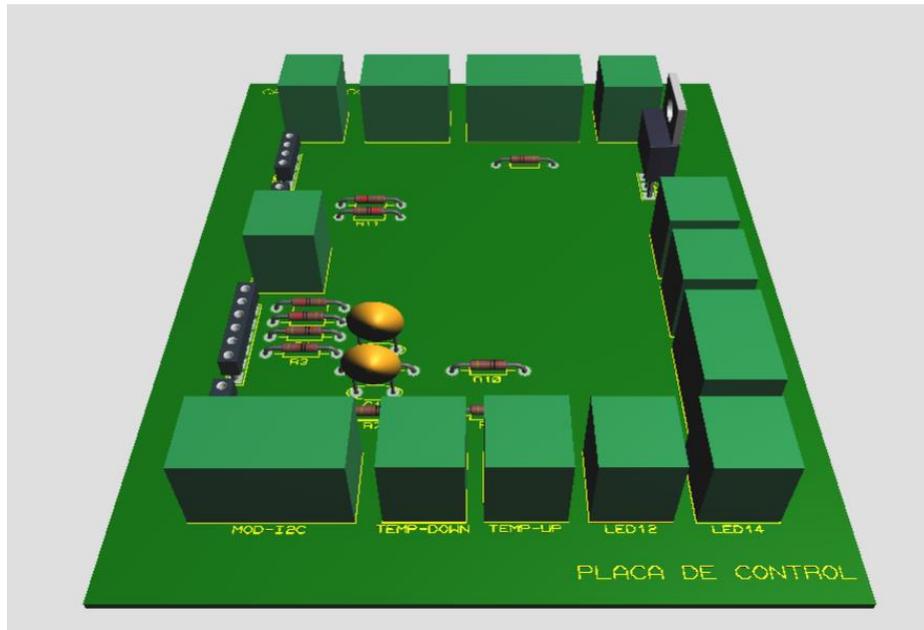


Figura 71. Vista preliminar de la baquelita en 3D.

3.8.4.2 Diseño de la placa de potencia

La placa de potencia es la placa conectada a los elementos controlables, contiene conexiones a la niquelina, los focos y el ventilador

Se usa el programa Proteus para realizar este diseño.

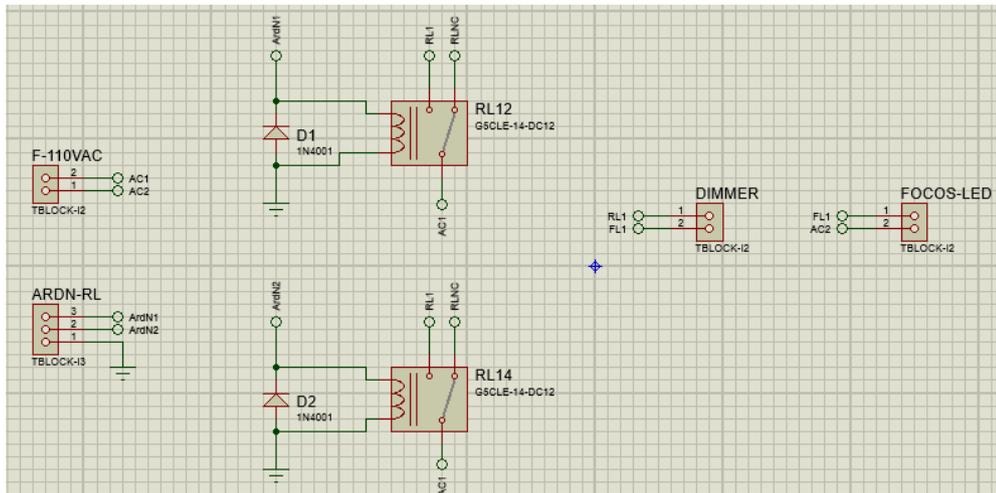


Figura 72. Diseño del circuito.

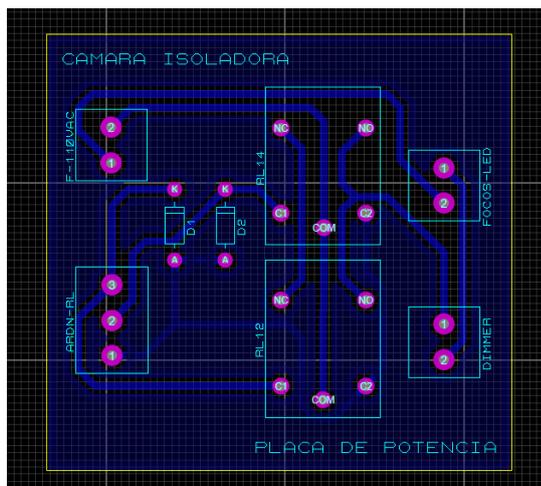


Figura 73. Diseño de la baquelita.

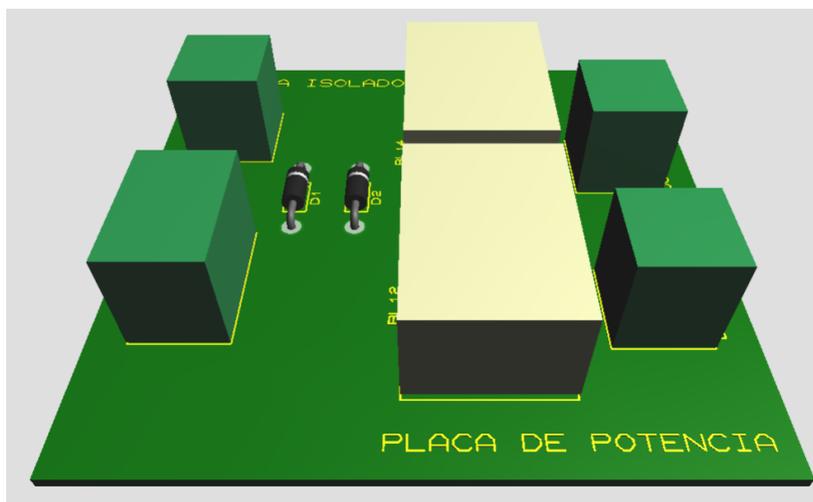


Figura 74. Vista preliminar de la baquelita en 3D.

CAPÍTULO IV

OPERACIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 Funcionamiento de la cámara aisladora

Una vez construida la unidad de contención de animales de acuerdo a los requerimientos planteados y en concordancia al diseño ya realizado, podemos comenzar con las pruebas de la misma.



Figura 75. Unidad de contención de animales.

Los parámetros de temperatura, y ciclos e intensidad de luz son controlados mediante el mando alámbrico que está conectado a la caja de control.

En este mando también se puede visualizar la temperatura, y la humedad dentro y fuera de la cámara de mezclado y el ciclo de luz elegido por el usuario.



Figura 76. Mando alámbrico.

Los pasos que se deben tomar en cuenta para que el equipo trabaje de manera correcta son:

- El equipo se enciende a través de un switch general ubicado en la caja de control.



Figura 77. Switch de encendido general del equipo.

Al activar dicho switch se escuchará al ventilador funcionando y aunque no sea visible de manera tan evidente, las luces y la niquelina también se encuentran activadas.

- La pantalla muestra las condiciones iniciales de la cámara aisladora, y por default la temperatura se setea en 23°C.
- Con los pulsadores se controla la temperatura de seteo.
- Automáticamente si la temperatura de seteo es mayor a la temperatura interna del aislador se prende la niquelina y calienta el aire, que está circulando por toda la cámara gracias al ventilador.
- En el caso de que la temperatura de seteo sea menor a la temperatura de la cámara se deberá esperar a que hayan suficientes renovaciones de aire para que todo el aire caliente sea expulsado.
- Cuando no se ha elegido un ciclo de luz, aparece en la pantalla el mensaje de luces desactivadas, para que se prendan las luces se debe elegir el ciclo de tiempo con el conmutador, hacia la izquierda son 12[h] y hacia la derecha 14[h]. Los leds y la pantalla indicarán que ciclo de luz fue escogido por el usuario.
- Con el dimmer ubicado en la parte inferior se regula la cantidad de luz deseada, es necesario que para que el dimmer funcione las luces deben estar activadas. Las luces permanecerán prendidas por todo el tiempo seteado, luego se

apagaran 12[h] en el caso del ciclo de 12[h] y 10[h] en el caso del ciclo de 14[h].

- Cuando se detecta error en las lecturas de los sensores, se presenta una alarma tanto sonora como visual. En la pantalla se presenta el mensaje: ERROR EN LA LECTURA, además se activan de manera intermitente el buzzer y el led de alarma, durante 5[seg], pasado ese tiempo el arduino vuelve a leer las entradas de los sensores, si el error fue solucionado se desactiva la alarma, caso contrario sonará por otros 5[seg].



Figura 78. Led y buzzer de seguridad.

4.2 Pruebas de funcionamiento del aislador.

Para las pruebas de funcionamiento se seteó la temperatura desde 20°C hasta los 26°C con la cámara aisladora sin ratones cada temperatura se mantuvo por 15 minutos.

Las pruebas se las realizaron con las luces apagadas y con las luces prendidas, para verificar que efectivamente los focos nos producen calor y no alteran el funcionamiento de la cámara.

4.2.1 Luces apagadas.

La temperatura y humedad con la que se comienzan las pruebas son: temperatura externa 18°C, temperatura interna 20,3°C, humedad externa 19% y la humedad interna 35%.

Las mediciones se hicieron cada 5 minutos para determinar cómo va modificándose la temperatura de la cámara.

El tiempo que se demora en estabilizarse la temperatura es de 6 minutos.

Tabla 108

Comportamiento de la cámara aisladora con temperatura seteada en 20°C

Tiempo de prueba [min]	Temperatura externa [°C]	Temperatura Interna [°C]	Humedad externa [%]	Humedad interna [%]
5	18	20,3	19	35
10	18	20,6	18	35
15	18	20,8	19	36

Obtenemos el error porcentual de cada medición. Tomando en cuenta que no deben sobrepasar el 5%, esto cumple con el requerimiento del cliente de no tener una diferencia de más de 2°C entre la temperatura deseada y la final.

Tabla 109

Error porcentual

Temperatura medida [°C]	Temperatura seteada [°C]	Error [°C]	Error porcentual
20,6	20	0,6	3,00%
20,8	20	0,8	4,00%
20,2	20	0,2	1,00%

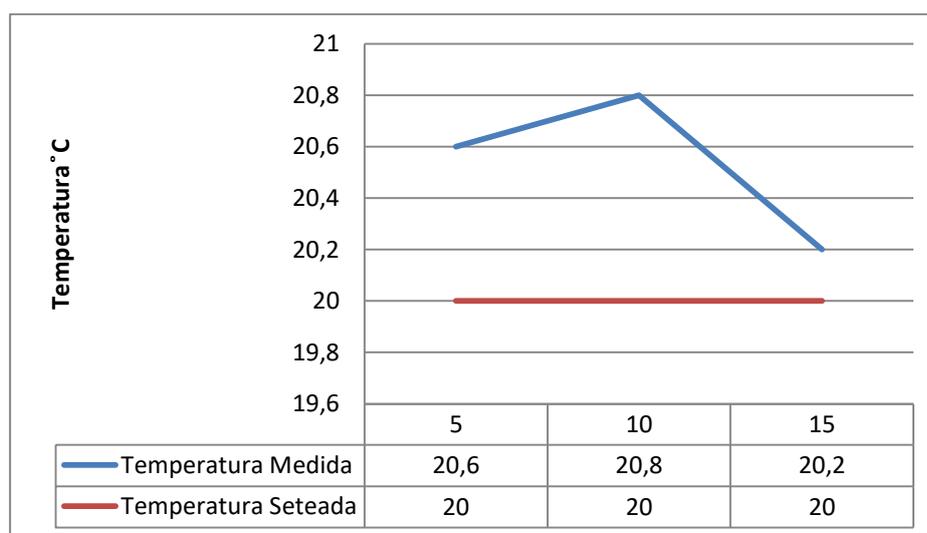


Figura 79. Comportamiento de la cámara aisladora con temperatura seteada 20°C.

Como se puede ver, el error no sobrepasa el 4% para las primeras mediciones, se hizo el mismo procedimiento para diferentes temperaturas seteadas, hasta llegar a los 26°C.

Tabla 110

Error porcentual desde 21°C hasta 26°C

Temperatura medida [°C]	Temperatura seteada [°C]	Error [°C]	Error porcentual
21,9	21	0,6	4,29%
21,7	21	0,8	3,33%
21,5	21	0,2	2,38%
22,7	22	0,9	3,18%
22,3	22	0,7	1,36%
22,5	22	0,5	2,27%
23,7	23	0,7	3,04%
23,2	23	0,3	0,87%
22,9	23	0,5	0,43%
24,1	24	0,7	0,42%
24,2	24	0,2	0,83%
24	24	0,1	0,00%
25,3	25	0,1	1,20%
25	25	0,2	0,00%
24,9	25	0	0,40%
25,6	26	0,3	1,54%
25,5	26	0	1,92%
25,5	26	0,1	1,92%

Viendo cómo se comporta la cámara aisladora aumentando su temperatura, y esperando que la misma se estabilice a los 7 minutos, se puede ver que:

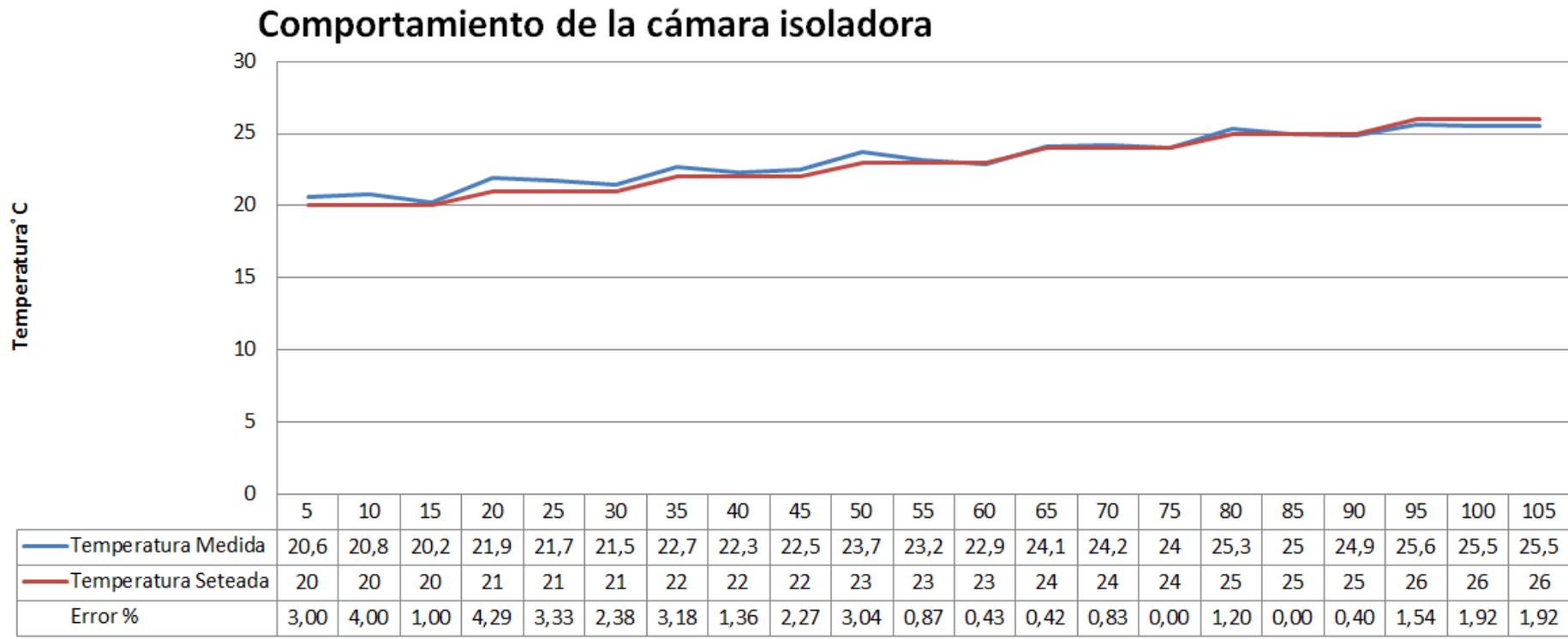


Figura 80. Comportamiento de la cámara aisladora con temperatura seteada desde 20°C a 26°C.

Como se puede observar, la curva de la temperatura medida no está lejos de la curva de temperatura seteada, además la misma coincide con el tipo de controlador diseñado.

4.2.2 Luces prendidas.

Debido a que las luces son led no deberían agregar calor a la cámara aisladora. Por lo que se realiza el mismo procedimiento que en el caso de las luces apagadas.

Tabla 111

Comportamiento de la cámara aisladora con temperatura seteada en 20°C

Tiempo de prueba [min]	Temperatura externa [°C]	Temperatura Interna [°C]	Humedad externa [%]	Humedad interna [%]
5	20	20,7	17	33
10	20	20,9	17	33
15	20	20,7	17	32

Obtenemos el error porcentual de cada medición. Tomando en cuenta que no deben sobrepasar el 5%, esto cumple con el requerimiento del cliente de no tener una diferencia de más de 2°C entre la temperatura deseada y la final.

Tabla 112

Error porcentual

Temperatura medida [°C]	Temperatura seteada [°C]	Error [°C]	Error porcentual
20,7	20	0,7	3,50%
20,9	20	0,9	4,50%
20,7	20	0,7	3,50%

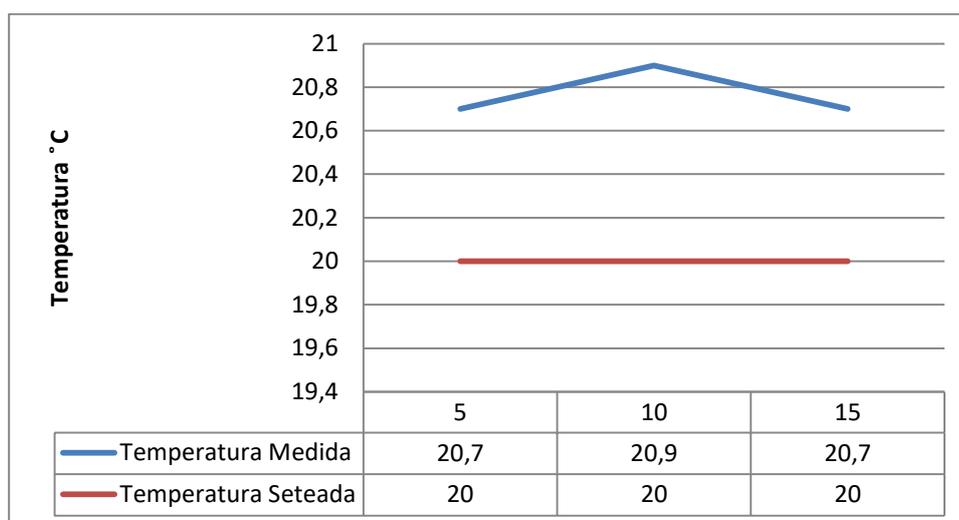


Figura 81. Comportamiento de la cámara aisladora con temperatura seteada 20°C.

Como se puede ver, el error no sobrepasa el 4% para las primeras mediciones, se hizo el mismo procedimiento para diferentes temperaturas seteadas, hasta llegar a los 26°C.

Tabla 113

Error porcentual desde 21°C hasta 26°C

Temperatura medida [°C]	Temperatura seteada [°C]	Error [°C]	Error porcentual
21,7	21	0,7	3,33%
22	21	1	4,76%
21,1	21	0,1	0,48%
22	22	0	0,00%
21,9	22	0,1	0,45%
22,4	22	0,4	1,82%
23,1	23	0,1	0,43%
23,2	23	0,2	0,87%
22,9	23	0,1	0,43%
24	24	0	0,00%
24,2	24	0,2	0,83%
23,9	24	0,1	0,42%
25,3	25	0,1	1,20%
25	25	0,2	0,00%
24,9	25	0	0,40%
25,6	26	0,3	1,54%
25,5	26	0	1,92%
25,5	26	0,1	1,92%

Viendo como se comporta la cámara aisladora aumentando su temperatura, y esperando que la misma se estabilice a los 7 minutos, se puede ver que:

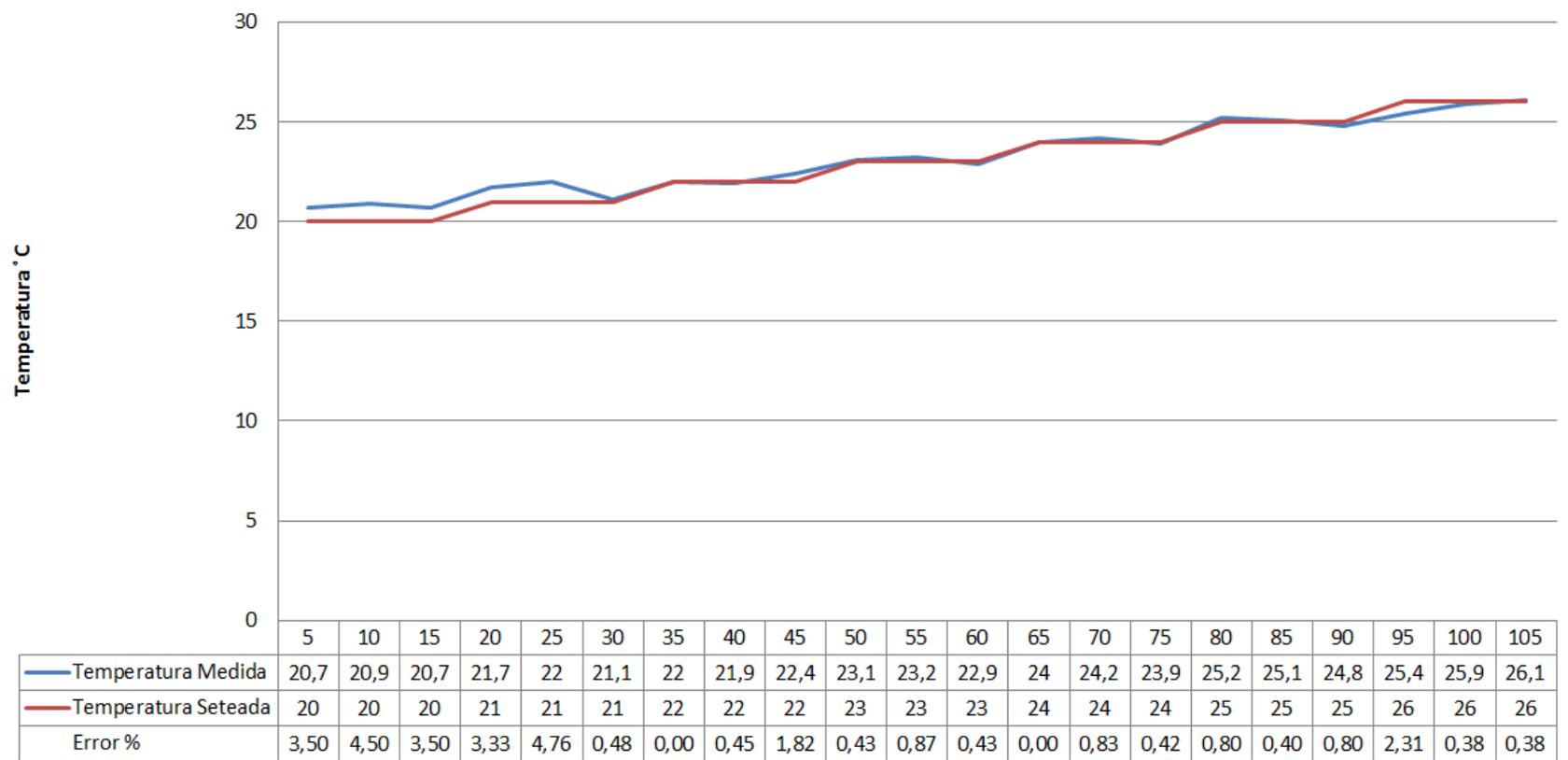


Figura 82. Comportamiento de la cámara aisladora con temperatura seteada desde 20°C a 26°C.

Como se puede observar, la curva de la temperatura medida no está lejos de la curva de temperatura seteada, además la misma coincide con el tipo de controlador diseñado.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES.

- Se diseñó e implementó una unidad de contención de animales totalmente operativa, funcional, con las siguientes características: Temperatura interna modificable entre 20 [°C] y 26[°C]. Luces dimeables con ciclos de luz encendida de 12 [h] y 14[h], con intensidad de luz de hasta 609 [Lux] y de 10 a 20 renovaciones de aire por hora.
- Los materiales y las dimensiones de los componentes de todo el equipo cumplen con las condiciones requeridas y se rigen a las siguientes normas: Cámara aisladora EN 1991-1-6, EN-1993 y EN ISO 4063; mesas de soporte y garruchas EN-1993 y EN12528; cámara de mezclado ASHRAE S2; y filtros CEN-EN 1822.
- Los sensores elegidos cumplen con la normativa EN 54 que rige todos los sensores de temperatura. Y el actuador cumple con la norma: ISO 1940 o AMCA 204 para ventiladores centrífugos industriales en materiales resistentes a químicos abrasivos.
- El controlador más eficiente para los procesos que la unidad de contención de animales debe realizar es el ON/OFF ya que es el único que permite tener un sobrepico de 5% en la práctica, y un error en estado estacionario del 1% cuando la temperatura se haya estabilizado.
- La interfaz humano-máquina desarrollada es el mando alámbrico, ya que a través de pulsadores, conmutadores y dimmer se pueden modificar los valores de la temperatura y la intensidad de luz, además muestra de manera clara a través de una pantalla las condiciones en las que se encuentra el equipo trabajando.

5.2 RECOMENDACIONES.

- Se recomienda constantemente medir el flujo de aire que entra al filtro HEPA para determinar si se lo debe cambiar o no. El fabricante recomienda cambiarlo cada 3 meses si se lo usa más de 24 horas al día.
- El carbón activado del filtro debe ser cambiado una vez al año.
- Como proyectos a futuro, implementar un sistema para modificar la humedad interna de la cámara y otro para poder disminuir la temperatura interna.
- Mantener cada parte del equipo en buen estado y seguir el plan de mantenimiento indicado en el manual de usuario, de manera que se extienda la vida útil de la unidad de contención de animales.
- No abrir el mando y la cámara de control sin tener un conocimiento amplio de electrónica.

BIBLIOGRAFÍA.

- Alchimiaweb. (2014). *Alchimia Growing Happiness*. Obtenido de Filtros de carbón:
<https://www.alchimiaweb.com/filtro-carbon-alchimia-can-lite-100150-product-5300.php>
- Alonso Espadalé, R. M., Martí Solé, M. D., & Constans Aubert, A. (2010). *NTP 468: Trabajo con animales de experimentación*. Madrid.
- Altos hornos de México. (2013). *Manual de diseño para la construcción con acero*. México: AHMSA.
- Arduino G.A. (2016). *Arduino*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/>
- Argentina, C. B. (2006). *Clasificación de los Ventiladores Industriales*. Recuperado el 22 de 11 de 2016, de www.chiblosa.com.ar/spanish/herramientas/teoria_de_los_ventiladores.htm
- Boada Saña, M., Colom Comí, A., & Castelló Echeverría, N. (2015). *La Experimentación Animal*.
- Boles, M., & Cengel, Y. (2002). *Termodinámica* (4ta ed.). McGrawHill.
- Cengel, Y. A. (2006). *Transferencia de calor*. McGraw-Hill.
- Cetronic. (2017). *Cetronic Componentes Electrónicos*. Obtenido de Sensor de humedad y temperatura SHT11:
<http://www.cetronic.es/sqlcommerce/disenos/plantilla1/seccion/producto/DetalleProducto.jsp?idIdioma=&idTienda=93&codProducto=151346015&cPath=1343>
- Chicago Blower. (2006). *Clasificación de los Ventiladores Industriales*. Obtenido de http://www.chiblosa.com.ar/spanish/herramientas/teoria_de_los_ventiladores.htm
- DIN 28184. (Enero de 2009). *Tubular heat exchangers with two fixed heads*. Alemania.
- DIPAC. (2016). *Catálogo de acero*. Quito.

- Direct Industry. (2017). *Oriental Motor*. Obtenido de Productos:
<http://www.directindustry.es/prod/orientalmotor/product-15581-595135.html>
- EN1822. (2011). *High Efficiency Particulate Air filters*.
- Europea, U. (1999). Animals used for scientific purposes. *3rd. Commission Report, European Union 1999*. Bruselas.
- Europea, U. (2008). *Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificios*.
- Filtros CETA. (2015). *Catálogo general*. Cataluña.
- Hedrich, H. J. (2012). *The Laboratory Mouse*. Academic Press.
- Importadora TAIPEISA. (07 de Enero de 2017). *Línea de aire*. Obtenido de Ventiladores: <http://impormontero.com/index.php/linea-aire/ventiladores/ventilador-industrial.html>
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2003). *NTP 618: Almacenamiento en estanterías metálicas*. España.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2013). Calidad de aire interior: filtros de carbón activo para su mejora. En N. T. Prevención, 989 (pág. 6).
- Investigación, T. p. (2016). *Jaulas y accesorios*. Recuperado el 22 de Octubre de 2016, de www.tdi.es/portal/lang__es/rowid__970960,62273/cat__Jaulas%20y%20Accesorios/tabid__25797/default.aspx
- Investigación, T. p. (2016). *Unidades Protección Animales*. Recuperado el 23 de Octubre de 2016, de http://www.tdi.es/portal/lang__es/tabid__25797/cat__UNIDADES%20PROTECCION%20ANIMALES/rowid__1178457,62273/animalarios.aspx
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2010). *Plataforma de conocimiento para el medio rural y pesquero*. Madrid.
- Perez, E. (2006). *Diseño de un sistema de aire acondicionado portátil termoeléctrico*. Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Prometec. (5 de Enero de 2016). *Prometec*. Obtenido de DTH11 sensor: <http://www.prometec.net/producto/dht11-sensor-temperatura-y-humedad/>

- Ruedas y Garruchas Industriales. (2014). *Ruedas y Garruchas*. Obtenido de <http://www.ruedasygarruchas.com/index.html>
- SCHROTH, T., & DE MULLER, S. (1999). Nueva normativa y nueva técnica de producción de filtros HEPA/ULPA para salas limpias. *Tecnología Industrial*, 65.
- Siemens. (2010). *Productos Eléctricos Industriales*. Ecuador.
- Solydi. (2014). *Informe Técnico Iluminación Led*. Barcelona.
- Steel Construction Institute. (2006). *Manual de Diseño para Acero Inoxidable Estructural*. ISBN.
- TDI. (2017). *Tecnología para Diagnóstico e Investigación*. Obtenido de Jaulas y accesorios:
www.tdi.es/portal/lang__es/rowid__970960,62273/cat__Jaulas%20y%20Accesorios/tabid__25797/default.aspx
- The International Society of Automation. (7 de Diciembre de 2015). *Standards & Publications*. Obtenido de ISA: www.isa.org
- Yuan, Y. B., Vorburger, T. V., Song, J. F., & Renegar, T. B. (2000). A Simplified Realization for the Gaussian Filter in Surface Metrology. *Tenth International Colloquium on Surfaces* (pág. 133). Aachen: Shaker Verlag GmbH: M. Dietzsch, H. Trumpold, eds.