



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

**FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA MECATRÓNICA**

TEMA:

“DISEÑO DE UNA CÁMARA PARA DESINSECTACIÓN POR ANOXIA EN UNA ATMOSFERA CONTROLADA PARA LA ERRADICACIÓN DE PLAGAS EN LA PROTECCIÓN DE BIENES CULTURALES PARA LA CARRERA DE RESTAURACIÓN Y MUSEOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL”

TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO

AUTOR: JUAN FRANCISCO NICOLALDE GONZÁLEZ

DIRECTOR: MSC. LUIS HIDALGO

Quito - Ecuador

2015

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2015
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo **JUAN FRANCISCO NICOLALDE GONZÁLEZ**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Juan Francisco Nicolalde González

172204958-0

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**Diseño de una cámara para desinsectación por anoxia en una atmosfera controlada para la erradicación de plagas en la protección de bienes culturales para la carrera de Restauración y Museología de la Universidad Tecnológica Equinoccial.**”, que, para aspirar al título de **Ingeniero Mecatrónico** fue desarrollado por **Juan Francisco Nicolalde González**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 18 y 25.

Msc. Luis Hidalgo

DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I 1707721435

DEDICATORIA

Este título se lo dedico a mi padre y a mi madre que dieron e hicieron todo por verme ser un ingeniero y una gran persona.

Sin ustedes no lo hubiese logrado.

AGRADECIMIENTO

Agradezco en especial a toda mi familia y a las personas que han estado a mi lado apoyándome y dándome el soporte necesario durante todo este tiempo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Página
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1 TIPOS DE PLAGAS	8
2.2 TRATAMIENTO DE DESINSECTACIÓN	10
2.2.1 SISTEMAS DE DESINSECTACIÓN	10
2.2.1.1 Sistema de desinsectación por bolsa estanca	10
2.2.1.2 Sistema de desinsectación por cámara hermética	12
2.2.1.2.1 Vacío	15
2.2.1.2.2 Presión interna	16
2.2.1.2.3 Sistemas para hermetizar	18
2.2.1.2.4 Materiales para cámara	19
2.2.1.2.4.1 Vidrio	19
2.2.1.2.4.2 Acero inoxidable	20
2.2.1.2.5 Geometría de la cámara	21
2.2.1.2.6 Soldadura	21
2.2.1.2.7 Vigas y columnas	21
2.2.2 VARIABLES DE PROCESO	22
2.2.2.1 Temperatura	22
2.2.2.2 Humedad Relativa	23
2.2.2.3 Concentración de oxígeno	25
2.2.2.3.1 Gas inerte	25
2.2.2.3.2 Cantidad de gas suministrado	26
2.2.2.4 Tiempo de tratamiento	28
2.2.3 SISTEMAS DE CONTROL DEL PROCESO	28
2.2.3.1 Elementos de control	29
2.2.3.1.1 Sensor de temperatura	29
2.2.3.1.2 Sensor de humedad	30

2.2.3.1.3	Sensor de oxigeno	31
2.2.3.1.4	Sensor de Presión	32
2.2.3.1.5	Controlador	32
2.2.3.1.6	Software programador	33
2.2.4	SOFTWARE CAE	33
3	METODOLOGIA	35
3.1	NECESIDAD	36
3.2	ANÁLISIS DEL PROBLEMA	36
3.3	PREPARACIÓN DE UNA ESPECIFICACIÓN	36
3.4	GENERACIÓN DE SOLUCIÓN	36
3.4.1	DESCRIPCION DE UN MODELO DE CÁMARA	37
3.4.2	SELECCIÓN DE MATERIAL	39
3.4.3	DISEÑO DE LA CÁMARA	39
3.4.3.1	Diseño del cuerpo central	40
3.4.3.1.1	Diseño del Cilindro	40
3.4.3.1.1.1	Manufactura de cilindro	42
3.4.3.1.1.2	Modelo 3D Cilindro	42
3.4.3.1.2	Diseño de placa trasera	43
3.4.3.2	Diseño de puerta	44
3.4.3.2.1	Ventana	45
3.4.4	DISEÑO DE ESTRUCTURA	45
3.4.4.1	Diseño de vigas	45
3.4.4.2	Diseño de columna	47
3.4.5	CANTIDAD DE GAS	50
3.4.6	SISTEMA DE CONTROL	53
3.4.6.1	Sistema Neumático	53
3.4.6.2	Sistema Digital	54
3.4.6.3	Panel de control de potencia	55
3.4.7	EXPERIMENTACIÓN Y ANÁLISIS	56
3.4.8	COTIZACIÓN	56
4	DISEÑO	57
4.1	GEOMETRIA DE LA CÁMARA	57

4.2	CILINDRO PRINCIPAL	58
4.3	PLACA TRASERA	67
4.4	VENTANA	74
4.5	ENSAMBLE CUERPO CENTRAL	81
4.6	ENSAMBLE PUERTA	83
4.7	ENSAMBLE	85
4.8	VIGAS	85
4.9	COLUMNAS	90
4.10	ESTRUCTURA	95
4.11	SUMINISTRO DE GASES	98
4.12	SISTEMA NEUMÁTICO	104
4.12.1	DIAGRAMA DE FLUJO	105
4.12.2	DIAGRAMA DE CONTROL	109
4.12.3	LINEAS NEUMATICAS	115
4.13	SISTEMA DIGITAL	117
4.13.1	LECTURA DE SENSORES	119
4.13.1.1	Sensor de temperatura LM35	119
4.13.1.2	Sensor de humedad HS1101	120
4.13.1.3	Sensor de oxígeno ME3-02	121
4.13.1.4	Sensor de presión MPX4115A	123
4.13.2	PROGRAMA DE CONTROL	126
4.14	PANEL DE CONTROL DE POTENCIA	134
4.15	MODELO COMPLETO	136
5	ANÁLISIS DE RESULTADOS	137
5.1	ANÁLISIS DE GEOMETRIA	137
5.2	ANÁLISIS DE CILINDRO	137
5.3	ANÁLISIS DE CASQUETES	144
5.4	ANÁLISIS CONJUNTO DE VACIO	145
5.5	ANÁLISIS DE ESTRUCTURA	145

5.6	ANÁLISIS DE SISTEMA DE CONTROL	146
5.7	ANÁLISIS DE EXPERIMENTACIÓN Y SISTEMA NEUMÁTICO	148
5.8	BALANCE DE COSTO	150
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	152
6.1	CONCLUSIONES	152
6.2	RECOMENDACIONES	152
	Bibliografía	154
	ANEXOS	157

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Especies de insectos y material	8
Tabla 2. Condiciones para la eliminación de insectos	9
Tabla 3. Parámetros de calificación según relación	38
Tabla 4. Parámetros de calificación de relevancia	39
Tabla 5. Tabla de ponderación de criterios de ingeniería	57
Tabla 6. Tabla para selección de alternativa	58
Tabla 7. Tabla Final de selección de alternativa	58
Tabla 8. Perfiles en U para viga	88
Tabla 9. Perfiles para columna	92
Tabla 10. Referencia HR vs V	120
Tabla 11. Promedio de esfuerzo en simulación	143
Tabla 12. Costos	151

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Burbuja Sanitrade	11
Figura 2. Generador de nitrógeno Veloxy	11
Figura 3. Sistema de anoxia Imb Conservació	12
Figura 4. Cámara de anoxia CCI	13
Figura 5. Cámara de anoxia Imb Conservació	14
Figura 6. Presión de vapor	17
Figura 7. Sellos por anillo	18
Figura 8. Válvulas de vidrio	19
Figura 9. Secciones de vigas	22
Figura 10. Humectación de gas inerte	24
Figura 11. Tipos de entradas de control	29
Figura 12. Sensibilidad sensor oxígeno	31
Figura 13. Sensor de presión	32
Figura 14. Especificaciones de plancha	43
Figura 15. Diámetro de esfera para concavidad	44
Figura 16. Diagrama de momentos	46
Figura 17. Adquisición de datos seeds	55
Figura 18. Placas cilíndricas	61
Figura 19. Plancha de acero Inoxidable	61
Figura 20. Esfuerzo en cilindro de 0.8 mm	62
Figura 21. Esfuerzo en cilindro de 1 mm	63
Figura 22. Deformación de cilindro 1 mm	63
Figura 23. Factor de seguridad cilindro 1 mm	64

Figura 24.	Esfuerzo en cilindro de 2 mm	65
Figura 25.	Deformación en cilindro de 2 mm	65
Figura 26.	Factor de seguridad en cilindro de 2 mm	66
Figura 27.	Calidad de mallado	66
Figura 28.	Cilindro	67
Figura 29.	Esfuerzo placa plana	68
Figura 30.	Esfuerzo placa de 0.5 mm concavidad de 5 cm	68
Figura 31.	Esfuerzo placa de 1 mm concavidad de 5 cm	69
Figura 32.	Concavidad de tapa trasera	70
Figura 33.	Esfuerzo placa con concavidad calculada	70
Figura 34.	Ampliación de concavidad a 98.2 cm	70
Figura 35.	Esfuerzo placa de 2 mm concavidad de 10 cm	71
Figura 36.	Ampliación de concavidad 16.4 cm	71
Figura 37.	Esfuerzo placa concavidad 16.5 cm	72
Figura 38.	Deformación y factor de seguridad placa trasera	73
Figura 39.	Placa trasera con platinas	73
Figura 40.	Esfuerzo en platinas	74
Figura 41.	Esfuerzo Vidrio Plano	75
Figura 42.	Esfuerzo Vidrio cóncavo 5 cm	75
Figura 43.	Esfuerzo Vidrio cóncavo 10 cm	76
Figura 44.	Deformación y factor de seguridad vidrio cóncavo de 10 cm	77
Figura 45.	Esfuerzo de acrílico 4mm	78
Figura 46.	Esfuerzo acrílico 6 mm	78
Figura 47.	Esfuerzo acrílico 6 mm cóncavo 28 cm	79
Figura 48.	Esfuerzo acrílico 9 mm	79
Figura 49.	Deformación de acrílico	80

Figura 50.	Factor de seguridad acrílico	80
Figura 51.	Ventana	81
Figura 52.	Ajuste de tapa trasera	82
Figura 53.	Ensamble Tapa posterior	82
Figura 54.	Ensamble cuerpo central	83
Figura 55.	Marco para ventana	84
Figura 56.	Puerta	84
Figura 57.	Cámara ensamblada	85
Figura 58.	Diagrama de esfuerzos viga	86
Figura 59.	Perfil de Viga 80x40x5 mm	87
Figura 60.	Esfuerzo viga	89
Figura 61.	Deformación Viga	89
Figura 62.	Factor de seguridad	89
Figura 63.	Perfil Columna 40x25x2 mm	93
Figura 64.	Esfuerzo columna	94
Figura 65.	Deformación columna	94
Figura 66.	Factor de seguridad columna	95
Figura 67.	Ensamble estructura 80x40x5 mm	96
Figura 68.	Estructura con ángulos	97
Figura 69.	Paneles laterales e inferior	97
Figura 70.	Ensamble Final	98
Figura 71.	Volumen que ocupa el gas en el casquete	99
Figura 72.	Simulación de cámara llena	105
Figura 73.	Simulación vaciado de cámara	105
Figura 74.	Simulación inyección de gas	106
Figura 75.	Flujo de gas húmedo	107

Figura 76.	Flujo de gas seco	108
Figura 77.	Diagrama de flujo	108
Figura 78.	Control Maestro	109
Figura 79.	Control de vacío	110
Figura 80.	Inyección de gas inerte	111
Figura 81.	Humedad Relativa Bajo el Rango	112
Figura 82.	Humedad Relativa sobre el Rango	112
Figura 83.	Control de Oxígeno	113
Figura 84.	Sistema de apagado	114
Figura 85.	Diagrama de control	115
Figura 86.	Modelo sistema neumático	116
Figura 87.	Ajustes y acoples	117
Figura 88.	LIFA	118
Figura 89.	Base de programa	118
Figura 90.	Diagrama de bloque LM35	119
Figura 91.	Panel Frontal LM35	120
Figura 92.	Diagrama de bloque sensor de humedad relativa	121
Figura 93.	Panel frontal sensor de humedad relativa	121
Figura 94.	Diagrama de bloque sensor de O ₂	122
Figura 95.	Panel frontal sensor de O ₂	123
Figura 96.	Diagrama de bloques sensor de presión	125
Figura 97.	Panel frontal sensor de presión	125
Figura 98.	Configuración de salidas de control	126
Figura 99.	Sistema ON/OFF	127
Figura 100.	Sistema de control vaciado y llenado	128
Figura 101.	Control de línea húmeda	129

Figura 102. Control de línea seca	131
Figura 103. Control Manual	132
Figura 104. Instalador	132
Figura 105. Ejecutable	133
Figura 106. Panel de control Sistema	133
Figura 107. Circuito caja de control	134
Figura 108. Panel de control	135
Figura 109. Modelo Final	136
Figura 110. Cilindro con mallado por defecto	138
Figura 111. Cilindro con mallado tetraedro	138
Figura 112. Cilindro con mallado relevancia de contacto 3	139
Figura 113. Cilindro con mallado relevancia de contacto 5	139
Figura 114. Cilindro con mallado relevancia de contacto 10	140
Figura 115. Cilindro con mallado relevancia de contacto 15	140
Figura 116. Cilindro con mallado de contacto 1,5 mm	141
Figura 117. Cilindro con mallado de contacto 5 mm	141
Figura 118. Cilindro mallado de contacto 10 mm	142
Figura 119. Cilindro mallado de contacto 15 mm	142
Figura 120. Convergencia de deformación	143
Figura 121. Simulación de casquete	144
Figura 122. Grafica conjunta de esfuerzo en cilindro y casquetes	145
Figura 123. Simulación de sistema automático	147
Figura 124. Modelo de experimentación	149
Figura 125. Vacío alcanzado en experimentación	150

ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
ANEXO 1	157
Planos realizados en software Autodesk Inventor	
ANEXO 2	171
Proforma de perfiles y planchas metálicas	
ANEXO 3	172
Proforma de acople neumáticos	
ANEXO 4	173
Proforma de relé de estado sólido	
ANEXO 5	174
Proforma de elementos eléctricos	
ANEXO 6	175
Proforma de elementos electrónicos	
ANEXO 7	176
Proforma de domo acrílico	
ANEXO 8	177
Precio de sensores	
ANEXO 9	178
Proforma de electroválvulas	
ANEXO 10	179
Proforma de empaques O Ring por metro	

RESUMEN

Este trabajo de titulación consistió en el diseño de una cámara para restauración por anoxia en el tratamiento de bienes culturales basados en celulosa para la carrera de Restauración y Museología de la Universidad Tecnológica Equinoccial. El diseño se lo realizó con el criterio que las cámaras de vacío son construidas de forma cilíndrica para que estas puedan resistir la presión de aire con un espesor mínimo, mediante cálculos de recipiente con pared delgada y simulaciones tomando en cuenta debilidades en soldadura se diseñó un cilindro de 1.5 m de diámetro, 1 m de largo y 2 mm de espesor, para las tapas que sellan el cilindro las simulaciones probaron que a medida que la concavidad va en aumento la resistencia a la presión es mejor al igual que al aumentar su espesor, el diseño final contempló la realización de estas con el material acrílico con un espesor de 9mm y una región cóncava la cual tiene 28 cm de altura desde el foco central hasta la perpendicular con su base. El sistema se diseñó para que al succionar el aire atmosférico en la cámara reduzca su concentración de aire por debajo del 1% como mínimo, donde lo ideal es alcanzar una concentración de 0.02% o menor, el saber si se alcanza esta concentración se la realizó por medio de cálculos matemáticos utilizando teoría de gases. Se demostró que si se trabaja con una presión probada para la resistencia de la cámara de 1Pa la concentración de oxígeno baja a un nivel de 0.000206%, pero si se trabaja con una presión de 15Kpa se requerirá de 4 vaciados para alcanzar una concentración de oxígeno de 0.00088%. A su vez el tratamiento no debe quedar en vacío por lo que se diseñó un sistema de inyección de un gas inerte hasta compensar la presión atmosférica y niveles de humedad relativa. El sistema de control de estos factores se diseñó para dar la opción de uso manual o automático, donde el sistema manual permite al usuario monitorear los niveles de oxígeno, humedad relativa presión y temperatura por medio de sensores análogos, el sistema automático realiza el tratamiento por medio de un algoritmo donde el usuario solo escoge el rango de humedad relativa deseado para el tratamiento.

ABSTRACT

This work involved the design of a camera for restoration by anoxia for treatment to cultural goods based in cellulose for the Faculty of Restoration and Museology of the Universidad Tecnológica Equinoccial. The design was performed by using the criterion that the vacuum chambers are constructed in cylindrical shapes so that they can resist the pressure with a minimum thickness, the cylinder was calculated as a thin-walled container and validated by simulations, taking into account weaknesses in welding, the cylinder's dimensions are 1.5 m in diameter 1 m long and 2 mm of thickness, the caps that seal the cylinder were tested through simulations which proved that as the concavity increases the pressure resistance becomes better as well as increasing its thickness, the final design contemplated the performance of these with an acrylic material with a thickness of 9mm and a concavity of 28 cm of high from the upper origin to the perpendicular of the base. The system itself was designed to work by sucking the atmospheric air in the chamber to reduce air concentration below 1%, the ideal parameter is to achieve a concentration of 0.02% or less, to know whether this concentration was reached, was performed by mathematical calculations using gas theory. It was proven that if working with proven resistances pressure for the chamber of 1Pa the oxygen concentration low down to a level of 0.000206%, but if it is done with a working pressure of 15Kpa will require 4 emptying to achieve an oxygen concentration of 0.00088%. In turn, the treatment should not be leave in an empty state so for that an inert gas is injection system was designed to compensate the atmospheric pressure and relative humidity levels. The control system of these factors was designed to be use as manually or automatically, where the system allows the user to manually monitor the oxygen levels, pressure, temperature and relative humidity using analog sensors, the system performs automatic processing by means of an algorithm where the user only has to select the desired range of relative humidity for the treatment.

1. INTRODUCCIÓN

El Ecuador es un país rico en muchos aspectos y uno de ellos muy importante está en el ámbito cultural. La cultura del país trasciende a través del tiempo, esta se viene plasmando en bienes espirituales o inmateriales, como el lenguaje, mitos, historias, leyendas y costumbres que sobrepasan las barreras del tiempo, de la misma manera un legado de este pasado es el de los bienes materiales que datan desde la época prehispánica como son los hallazgos de restos arqueológicos de diversas culturas antes de la conquista española. La llegada de los españoles trae consigo legados culturales sumamente importantes como arte arquitectónico, escultural, pictórico y demás, estos objetos reflejan claramente cómo se da la unión del pueblo indígena con el español para dar nacimiento al mestizaje y con él las características del Ecuador. También existen pruebas de la revolución que permitió la liberación de la corona española y la creación de la república, pero ahí no muere la cultura, la historia continua aún y deja a los objetos con los que los abuelos y antepasados se desenvolvían en el día a día como su indumentaria, objetos personales, adornos, instrumentos y todo aquel objeto de diversas épocas, objetos que ahora en la práctica tal vez sean obsoletos pero de un valor histórico inmenso.

No todos estos bienes culturales han podido sobrevivir debido a varios factores como son la misma conquista y revolución, otros han sido hurtados, destrozados y tomado sus partes para otras actividades hasta desaparecer, otros simplemente han sido destruidos por el paso del tiempo y las condiciones naturales.

Sin embargo hay muchos bienes culturales materiales que han sobrevivido, ya no en las mismas condiciones en las que fueron fabricados y en algunos casos su funcionalidad perdida, es deber de todos el preservar y proteger estos objetos sobrevivientes de la historia pues aún cuentan historias de otros tiempos, en muchos casos estos pueden ser restaurados para que el público en general pueda apreciarlos y aprender de ellos. Pero el proceso de restauración no es algo que se pueda realizar con facilidad y peor aún tomado a la ligera.

La Universidad Tecnológica Equinoccial dentro de la Facultad de Arquitectura, Artes y Diseño, ofrece la carrera de Restauración y Museología, la cual tiene como objetivo el “desarrollar profesionales altamente competentes, cualificados y capacitados para realizar la restauración y museología, de los bienes culturales muebles, que consiste en el análisis y diagnóstico – pronóstico para su conservación preventiva, su restauración y puesta en valor en los museos, galerías, centros de interpretación y otras instituciones de los bienes patrimoniales artísticos”.

Estos profesionales son los encargados de restaurar y proteger los bienes históricos de todo tipo de amenaza que exista y ponga en peligro la integridad de los mismos. Para poder alcanzar estos objetivos se requieren años de estudio, conocimiento y equipamiento adecuado.

El deterioro de bienes se entiende como la alteración de las características físicas y químicas del bien, toda materia se degrada, deteriora o descompone dependiendo de las circunstancias a las cuales fue sometida. Las amenazas naturales del deterioro del arte se encuentran en la misma composición de este así como en los factores humanos.

Se pueden clasificar los factores de deterioro en:

- Degradación por proceso natural
- Alteración por función del objeto
- Alteración por intervención del hombre

(Martiarena, 1992)

En la degradación por proceso natural intervienen los factores que son parte de la naturaleza como temperatura, humedad, luz, aire, insectos, microorganismos y plantas.

Es de gran importancia mantener la temperatura y la humedad relativa en niveles estables, pues estas elevaciones de temperatura junto a la humedad relativa alta son las que causan deterioro y la creación de un ambiente propicio para el desarrollo de xilófagos y microorganismos, se debe tomar en cuenta también que en ciertos materiales la humedad relativa elevada causa

aumento de volumen y peso, alabeamiento, relajamiento de los adhesivos, y debilitamiento de las estructuras (Martíarena, 1992). También se debe tomar en cuenta que en regiones costeras los xilófagos y microorganismos son más comunes debido a las sales que se encuentran en el medio ambiente las que al ser higroscópicas mantiene una humedad relativa aún más altas que en otras regiones al impregnarse en el bien.

Dentro de este grupo se tiene a los seres bióticos que causan daños al bien, a esto se lo llama biodeterioro, el biodeterioro de un bien patrimonial es “la alteración de las propiedades físico químicas y mecánicas del material por acción de organismos biológico” (Valentín & García, 1999). Si se ve al bien como un ecosistema se puede dividir en 2 a los agentes degradantes, los productores y los destructores. Los productores son aquellos que no utilizan la materia del bien para sus necesidades pero al vivir en el producen desechos que alteran la consistencia del bien de una forma indirecta, o lo deterioran por el mismo echo de habitar ahí. Los agentes destructores, se alimentan directamente del bien y sus componentes orgánicos como son madera, tejidos, papel, cuero etc. en este grupo entran pequeños mamíferos, insectos, hongos y bacterias.

(Del Egidio Rodríguez, 2004)

Los insectos son los agentes de deterioro más peligrosos pues estos causan daños importantes, existen en millares, penetran fácilmente en edificios y una vez instalados es difícil su erradicación además que estos se reproducen en gran cantidad dejando larvas en los bienes.

La principal razón del biodeterioro por insectos está ligada a la alimentación de los mismos en cualquier etapa ya sea de huevo, larva, pupa o adulta, el deterioro puede ser de forma mecánicamente es decir arranque directo de material por sus mandíbulas, químicamente por efecto de sustancias en su saliva y desechos, otra razón de deterioro es la alteración física para la creación de refugio o de nidos para su reproducción. (Yela, 1997).

Los materiales elegidos por los insectos son los de origen vegetal como la madera, papel y otros derivados de la celulosa como herbarios y

pergaminos, barnices y resinas o alfombras y telas. Otros materiales que son atacados por los insectos son los de origen animal como cuero, pelo, piel plumas o tejidos y telas animales. (Yela, 1997)

En caso de que los insectos perduren sobre el material y sea necesaria una desinsectación, según Bletch y Valentín existen 5 métodos básicos para esto que son:

- Modificación de la atmosfera con determinados gases
- Fumigación con biosidas líquidos
- Pulverización de biosidas
- Tratamientos con gases inertes
- Tratamiento de choque con frío o calor intenso

(Yela, 1997)

El cuarto método señalado de tratamiento con gases inertes es el tratamiento por anoxia y se puede considerar como una variación del primer método pero en el primer método se incluyen gases como el anhídrido carbónico.

En la Universidad Tecnológica Equinoccial se busca que los futuros profesionales en Restauración y Museología aprendan los métodos de desinsectación de bienes culturales mediante la práctica, evitando al mínimo los riesgos tóxicos de los métodos químicos utilizando procedimientos seguros y eficaces.

Dentro de los varios métodos para la desinsectación se tiene el método por anoxia el cual es idóneo en aplicaciones didácticas y profesionales debido a que este utiliza un gas inerte siendo este inofensivo para la salud y no reacciona a los componentes que tenga el bien a restaurar. Los laboratorios de restauración de la Universidad Tecnológica Equinoccial carecen de sistemas de desinsectación como el de anoxia, debido a que dichos sistemas no son fabricados en el país y el costo de importación puede ser muy elevado, los precios de una de estos sistemas como el de Veloxy puede llegar a costar 29.000 euros (Imb Conservació, 2014), actualmente inclusive

entidades públicas como el Ministerio de Cultura y Patrimonio o el Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio e Integración, no poseen sistemas de esta naturaleza. Esta tesis diseña un sistema de desinsectación automático eficaz que busca ser de un costo menor al de importación, además de que al ser fabricado en el país se tiene acceso a mantenimiento y reparación en caso de ser requerido.

Para la realización de la tesis se toma los siguientes objetivos

OBJETIVO GENERAL

Diseñar una cámara para desinsectación por anoxia en una atmosfera controlada para la erradicación de plagas en la protección de bienes culturales para la carrera de Restauración y Museología de la Universidad Tecnológica Equinoccial.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar el diseño mecánico de una cámara de 1.5 metros cúbicos que permita generar vacío en su interior y reemplazarlo por un gas inerte sin provocar daños en su estructura
- Diseñar el sistema electrónico que permita obtener una concentración máxima 0.2 % de oxígeno dentro de la atmosfera controlada
- Diseñar el sistema electrónico que permite monitorear y controlar permanentemente la humedad relativa dentro de la atmosfera controlada durante el tiempo de tratamiento
- Asegurar que la atmosfera controlada no sobrepase la presión máxima de trabajo
- Diseñar el sistema de control que permite mantener las condiciones requeridas en el ambiente controlado durante un tiempo preestablecido.

El alcance de esta tesis es el otorgar el diseño de un sistema de desinsectación mediante la toma y procesamiento de datos adquiridos por sensores, que tiene como elementos actuadores la inyección y extracción de

gases dentro de una cámara hermética de la forma y dimensiones convenientes, siendo como requisito un volumen mínimo de 1.5 m³

El diseño del sistema neumático se basa en la inyección de gas desde su botella mientras que el vaciado se realiza utilizando una bomba de vacío, la inyección del gas se verá limitado por parte de electro válvulas que a su vez controlan si este transita por una línea húmeda o seca, al igual que la apertura y cierre de la línea destinada a la extracción de aire.

Dentro del aspecto de toma de datos se diseña el utilizar un sensor de temperatura, sensor de humedad relativa, sensor de presión atmosférica y un sensor de oxígeno los cuales controlaran y monitorearán el sistema.

En cuanto al diseño del sistema de control se usa una placa basada en un microcontrolador, tanto para realizar el control como para la interfaz con el usuario, además de los respectivos circuitos necesarios para el funcionamiento del sistema.

Con este diseño se puede realizar tratamientos de desinsectación por anoxia automatizada y de ser deseado manuales para experimentación e investigación.

2. MARCO TEÓRICO

La bondad del uso de los gases inertes es que al usarlos en métodos de desinsectación son seguros tanto para el restaurador como para el bien que se está tratando, no produce alteraciones físico-químicas en el material y puede alcanzar una mortalidad del 100% en cualquier etapa de vida del insecto, esto según datos de investigaciones previas (Valentín & Col 1998).

El modificar la atmosfera se refiere a confinar al bien a un espacio totalmente hermético en el cual se elimina casi por completo el oxígeno alcanzando una concentración ideal menor al 0,1% y sustituido por otro gas, creando una atmosfera de anoxia imposibilitando la vida en dicho espacio. Este gas que reemplazara al oxígeno puede ser un gas inerte como el nitrógeno o argón (Valentín & García, 1999) otro gas que sirve para este tipo de tratamiento es el helio según experimentación realizada por parte del Ministerio de Cultura y Patrimonio o el Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio e Integración. En este tipo de tratamientos se debe tomar en cuenta también que el flujo de gas debe ser humectado para evitar problemas derivados de la desecación del bien y a la vez tomar en cuenta el control de una humedad relativa aceptable. (Valentín & García, 1999)

Los insectos llegan a un bien por su instinto de supervivencia ya sea buscando alimento, refugio o un lugar para reproducirse afectando así al bien, cambiando sus propiedades física, química o mecánicamente. Al momento en el que estos insectos se reproducen utilizando el bien lo hacen de una manera significativa, la dificultad en desalojarlos es muy compleja, al llegar a estos niveles es cuando se dice que se tiene una plaga.

Una vez que la plaga se ha instaurado en el o los bienes es muy importante eliminarla antes que esta dañe de una forma irreversible el bien o hasta llegue a destruirla por completo.

Para poder alcanzar la desinsectación se debe introducir al bien dentro de una cámara compuesta por un material que sea impermeable al oxígeno así este no se queda pegado en él, una vez envuelto se debe hermetizar la cámara de cualquier forma necesaria, así el aire no escapará y más importante aún, no permitirá que entre más aire. La cámara creada debe

tener los orificios para introducir las diferentes mangueras para el vaciado e inyección del gas inerte, además de los conductores electrónicos que permitirán controlar la atmosfera dentro de la cámara. Una vez concluido este proceso se puede pasar a la inicialización del sistema de control que propone esta tesis.

2.1 TIPOS DE PLAGAS

Las distintas especies de plagas que sobreviven a costa de los bienes patrimoniales al rededor del mundo son millones, estudios realizados en el Instituto del Patrimonio Cultural de España (Valentín, 2003) da a conocer que los distintos tipos de plagas que se dan en el deterioro de bienes patrimoniales y al tipo de material que estos atacan, se toma la Tabla 1 de especies que representan riesgos para los bienes y el material al que atacan.

Tabla 1. Especies de insectos y material

Orden	Familia	Especie	Material
Thysanura	Lepismatidae	Lepisma Sacharina Thermobia Domestica	Papel Edificio
Isoptera	Rhinotermitidae	Reticulitermes Lucifugus	Materiales orgánicos
	Kalotermitidae	Cryptotermes Brevis	Materiales orgánicos
Psocoptera	Liposcelidae	Liposcelis Divinatorius	Papel
Coleoptera	Anobiidae	Anobium Punctatum	Madera estructural
		Ernobius Mollis	Objetos en madera
		Lasioderma Serricorne	Papel, textiles
		Nicobium Castaneum	
		Oligomerus Ptilenoides	
		Stegobium Paniceum	
		Xestobium Rufovillosum	
	Cerambycidae	Hylotrupes Bajolus	Madera estructural Objetos en madera
	Lyctidae	Lyctus Brunneus	Madera Papel
	Dermistidae	Anthrenus Coloratus	Lana,pergaminos
		Anthrenus Flavipes	cuero
		Anthrenus Verbaci	Madera con
		Attagenus Brunneus	adhesivos
Attagenus Pellio			
Dermestes Lardarius			
Ptinidac	Mezium Afine	Papel, objetos con	
	Ptinus Fur	hongos	
	Tribolium Castaneum	Textiles	
Lipidoptera	Tenebrionidae	Tinea Pellionella	Textiles
	Tideidae	Tienneola Bisselliella	Edificio

(Valentín, 2003)

Muchas de las especies y familias de insectos presentados en la tabla 1 se los encuentran a nivel mundial en diversos hábitats, climas y condiciones, por esta razón es muy común encontrar varias de estas al realizar trabajos de restauración en bienes dentro del Ecuador.

El principio de la desinsectación por anoxia se lo divide en 2, anoxia pasiva y anoxia activa, la anoxia pasiva es aquella crea un vacío y baja el nivel oxígeno mediante componentes químicos, mientras que la anoxia activa además de crear una reducción del oxígeno hace una inyección de un gas inerte que busca reducir los niveles de oxígeno a niveles entre el 0.2% y 0.1% pero análisis de laboratorio revelaron que existen coleópteros como el *Hylotrupes Bajulus*, *Lasioderma Serricorne* y el *Anthrenus Verbasci* capaces de soportar a niveles de oxígeno muy bajos siempre y cuando estén rodeados de un ambiente con una humedad relativa elevada y un temperatura favorable (Valentín, 2003).

Tomando en cuenta esto se revisa la Tabla 2 con las condiciones que se requieren para la eliminación de las distintas familias de insectos a eliminar.

Tabla 2. Condiciones para la eliminación de insectos

Insectos	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Oxígeno (%)	Tiempo (días)
<i>Hylotrupes</i>	20	35-60	0.03	24
	25	35-60	0.03	14
	20	60-80	0.03	40
	25	60-80	0.03	30
<i>Anobium</i>			0.05	
<i>Lasioderma</i>	20	35-60	0.05	20
<i>Lyctus</i>	25	35-60	0.05	15
<i>Nicobium</i>			0.05	
<i>Oligomerus</i>			0.05	
<i>Stegobium</i>			0.05	
<i>Xestobium</i>			0.05	
<i>Anthrenus</i>	20	60-80	0.05	30
<i>Attagenus</i>	25	60-80	0.05	15
<i>Cryptotermes</i>	20	35-60	0.2	15
	25	35-60	0.2	10
	20	60-80	0.2	25
	25	60-80	0.2	18

(Valentín, 2003)

2.2 TRATAMIENTO DE DESINSECTACIÓN

Se debe tener conocimiento de los sistemas ya existentes que permiten la obtención de anoxia para restauración, se debe analizar cada una de las condiciones necesarias y como alcanzarlas para implementar un sistema de anoxia que asegure la mortalidad de los insectos. En el mercado Ecuatoriano actual no hay sistemas de desinsectación por anoxia activa, estos sistemas se los encuentra en otros países.

2.2.1 SISTEMAS DE DESINSECTACIÓN

El tratamiento de desinsectación por anoxia se ha venido dando por 2 métodos, el de cámara hermética y el de bolsa estanca (algunas personas lo llaman burbuja) (Montero Redondo, 2008). Ambos buscan la obtención de una atmosfera controlada en un confinamiento totalmente sellado.

2.2.1.1 Sistema de desinsectación por bolsa estanca

Los sistemas de desinsectación por burbuja consisten en la construcción de una cámara temporal hecha de un plástico de barrera el cual tiene como propiedad la impermeabilidad al oxígeno es decir que las moléculas de oxígeno no se quedan pegadas a las paredes del film al momento de la creación de vacío, la empresa Sanitrade de España tiene el sistema "Kill box system" dentro de su catálogo para tratamientos de madera, como características principales se tiene que es una cámara fabricada de PVC de alta resistencia, su sellado se lo realiza mediante un sistema de cremallera doble para reducir las pérdidas del gas que se introduce, el vacío se realiza mediante un aspirador de 900 W, la temperatura se mantiene en 29°C mediante un termoconvector de 2000 W controlado por un termostato, humedad relativa es bajada mediante sales higroscópicas utilizadas en una relación de 100gr por cada m³ tratado, el gas inerte es introducido mediante un sistema de inyección automático programable para una concentración de gas constante, este sistema consta también de un pre calentador de 125W,

la presión de flujo tiene una regulación entre 50.66 KPa y 202.6 KPa. Esta empresa fabrica bolsas para cámaras de 3m³, 4m³ y 12 m³, otras medidas se las puede hacer bajo pedido. (Sanitrade, 2014) en la figura 1 se muestra un sistema de este tipo.

Otra empresa que realiza este tipo de sistemas es Imb Conservació este sistema es más completo y sofisticado que el de Sanitrade, incorpora su generador de nitrógeno Veloxy de 1000 cc, este generador entre sus características tiene un separador de agua de condensación, separador de aire por membrana, un presostato de seguridad para una eventual presión excesiva de entrada, manómetro de glicerina para medir presión de aire, analizadores de oxígeno y un humidificador para la regulación de humedad relativa (Imb Conservació, 2014), se aprecia el generador en la figura 2.



Figura 1. Burbuja Sanitrade

(Sanitrade, 2014)



Figura 2. Generador de nitrógeno Veloxy

(Imb Conservació, 2014)

Para poder realizar el tratamiento se emplea un film plástico polibarrera con permeabilidad al oxígeno de 0.5cc/m² por 24h a una presión de, 1bar, 20°C y una humedad relativa de 65%. Para realizar el sellado de la cámara se utiliza una pinza termoselladora la cual es una pinza de impulsos unida a un generador de corriente genera calor para soldar elementos termosellables, tiene 30mm de apertura y funciona a 250 V y 50 Hz Para la adecuación de mangueras de entrada y salida se utilizan juegos de válvulas nylon y permagum que es un sellador a base de polímeros sintéticos. La medición de nivel de oxígeno se realiza mediante un ojímetro GMH 3691 el cual es capaz de medir niveles de O₂ entre 0% y 100%, también incorpora un sensor de temperatura que mide en el rango de -20°C y 50°C (Imb Conservació, 2014). Se muestra el sistema funcional en la figura 3.



Figura 3. Sistema de anoxia Imb Conservació

(Imb Conservació, 2014)

2.2.1.2 Sistema de desinsectación por cámara hermética

Los sistemas de bolsa son in situ es decir en el lugar, pero las bolsas no son reutilizables, una vez utilizadas se desechan, por eso otro método de realizar la desinsectación por anoxia es el de cámara, en el cual se utiliza un confinamiento construido para alojar los bienes a tratar de manera que se

puede utilizar la misma estructura las veces que se desee sin la dependencia de la disponibilidad del plástico de barrera.

La empresa española CCI fabrica diversas clases de cámaras de atmosfera controlada entre las cuales se encuentran las cámaras para restauración de bienes por anoxia. Estas cámaras admiten cualquier tipo de gas en el reemplazo por el aire después de realizar el vacío pero siempre y cuando estén acorde a las condiciones de seguridad requeridas.

Dentro de sus características está que las construyen en cualquier tamaño bajo pedido, tiene una compuerta con cierres de presión de baja estanqueidad, está constituida por acero inoxidable AISI 316L en una soldadura por argón en continuo sin zonas corrosibles, la interfaz con el usuario es digital mediante un software propio de la empresa CCI, tiene sus sensores selectivos con sus correspondientes convertidores electrónicos, manómetro indicador de presión interna, válvula de sobre presión por seguridad y además consta de sistemas manuales y automáticos de dosificación. Se aprecia el modelo de cámara en la figura 4 (CCI, 2014)



Figura 4. Cámara de anoxia CCI

(CCI-Calidad, 2014)

La empresa que realiza sistemas de anoxia en burbuja Imb Conservació también fabrica equipos para anoxia por cámara, esta cámara está constituida por acero inoxidable en la pared interior y recubrimientos en la

pared y base de espuma de poliuretano, los paneles están hechos de material recubierto por chapa lacada, esta empresa fabrica sus cámaras con una dimensión de 3m³, posee su generador de nitrógeno el cual da una pureza de 99.9% a un caudal de 1500 L/h, el contenido de oxígeno, temperatura, presión y humedad relativa son parámetros controlados automáticamente, como infraestructura de apoyo se tiene un escape de gases de 50 mm de diámetro, y funciona con suministro de energía de 220 V a 32 A (Imb Conservació, 2014). En la figura 5 se observa la cámara de anoxia de Imb Conservació.



Figura 5. Cámara de anoxia Imb Conservació

(Imb, Conservació, 2014)

Para poder realizar el tratamiento se busca que las obras ingresen en un confinamiento el cual será totalmente hermetizado.

El diccionario de la real academia de la lengua define hermético como algo “que se encierra de tal modo que no deja pasar el aire u otros fluidos”, esta cámara es hermética para los gases y fluidos ambientales dado que se extraer el aire interior y se le introducir un gas inerte, esto quiere decir que

tiene una salida de aire para la extracción y una de inyección por ningún otro lugar puede haber filtraciones de aire o humedad de ningún tipo después de haberse sellado la compuerta.

2.2.1.2.1 Vacío

Dentro de la cámara se genera vacío con 2 funciones, primero indica que la cámara es hermética, si se genera vacío no entra aire y por lo tanto tampoco sale lo que indica que se puede controlar la cantidad de gas que es inyectado sin tener fugas. En segundo lugar al generar un vacío dentro de la cámara la inyección del gas inerte y reemplazo reducción de nivel de oxígeno es más sencilla.

De acuerdo a la Sociedad Americana de Vacío (1958) “vacío se refiere a cierto espacio lleno con gases a una presión total menor que la presión atmosférica” Donde la presión atmosférica tiene un valor de 1 atm, este es equivalente a 0,101325 MPa y a 760 torr (Serway & Faughn, 2008) , dado que se puede reducir el nivel de presión interna esto quiere decir que el grado de vacío se incrementa por esto es que se puede clasificar al nivel de vacío en:

- a) Bajo y medio vacío los cuales se consideran cuando la presión está entre el rango de un poco menos de 0,101325 MPa y $1,33 \times 10^{-6}$ Mpa, aquí la composición de aire residual se altera debido a la diferente velocidad de evacuación
- b) Alto cuando la presión se reduce de entre $1,33 \times 10^{-6}$ Mpa y $1,33 \times 10^{-11}$ Mpa, aquí se presente un elevado nivel de vapor de agua
- c) Ultra alto vacío se considera cuando el nivel de presión se encuentra entre $1,33 \times 10^{-11}$ Mpa y $1,33 \times 10^{-20}$ Mpa, en este punto el confinamiento se libera de gas y el componente que impera es el hidrógeno

(Talavera & Farías, 1995)

Debido a que hay una diferencia de presiones donde la presión externa es mayor que la interna en la cámara, se requiere que esta resista la fuerza de presión atmosférica, si la presión atmosférica ejerce una fuerza de 1Kg/cm^2 entonces una superficie plana de 1 m^2 deberá resistir una fuerza de 10 Toneladas de peso (Talavera & Farías, 1995).

2.2.1.2.2 Presión interna

Una vez alcanzado el vacío se busca que la cámara sea llenada con un gas inerte en su totalidad para así poder asegurar la desinsectación del bien a tratar, bajo el concepto de vacío se toma que la cámara está llena cuando alcance $0,101325\text{ Mpa}$ de presión. En un trabajo realizado en el museo del traje de España por parte de Silvia Redondo en 2007 se utilizó una cámara de 9m^3 de volumen trabajando a una presión de $0,101325\text{ Mpa}$ y con una inyección del gas inerte a una presión similar. (Montero Redondo, 2008)

La cámara tiene una temperatura interna estable y de darse un cambio de temperatura será mínimo y lento por lo cual la expansión del gas no es una variable a tomar en cuenta.

Otro factor a tomar en cuenta es la presión de vapor, sin importar la temperatura existe, el movimiento de partículas hace que un líquido pase a estado gaseoso, los puntos de ebullición se dan cuando la presión de vapor del líquido es igual a la presión externa que actúa sobre el líquido, la temperatura de ebullición aumenta al aumentar la presión externa (Brown, 2004) a partir de este concepto se puede decir que inversamente al disminuir la presión externa del líquido, es decir al generar vacío la temperatura de ebullición del líquido es menor. En la figura 6 se muestra la relación de presión de vapor vs temperatura para punto de ebullición de algunos compuestos.

Se muestra que el agua empieza a hacer ebullición a una temperatura ambiente cuando la presión externa se iguale a la presión de vapor que está cerca de los 0 torr, si 1 torr equivale a 133.32 Pa entonces el dejar una pieza a esta presión o más bajo hace que las tintas a base de agua empiecen a

evaporar, dado que las obras pueden estar hechas de distintos compuestos no solo a base de agua es preferible llenar la cámara con el gas inerte a presión atmosférica normal, así se asegura que no se dará ningún proceso de ebullición a temperatura ambiental.

Se muestra que el agua empieza a hacer ebullición a una temperatura ambiente cuando la presión externa se iguale a la presión de vapor que está cerca de los 0 torr, si 1 torr equivale a 133.32 Pa entonces el dejar una pieza a esta presión o más bajo hace que las tintas a base de agua empiecen a evaporar, dado que las obras pueden estar hechas de distintos compuestos no solo a base de agua es preferible llenar la cámara con el gas inerte a presión atmosférica normal, así se asegura que no se dará ningún proceso de ebullición a temperatura ambiental.

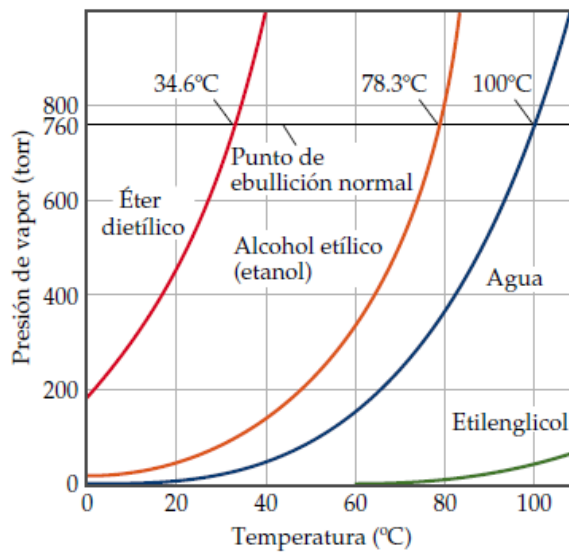


Figura 6. Presión de vapor

(Brown, 2004)

Se muestra que el agua empieza a hacer ebullición a una temperatura ambiente cuando la presión externa se iguale a la presión de vapor que está cerca de los 0 torr, si 1 torr equivale a 133.32 Pa entonces el dejar una pieza a esta presión o más bajo hace que las tintas a base de agua empiecen a evaporar, dado que las obras pueden estar hechas de distintos compuestos no solo a base de agua es preferible llenar la cámara con el gas inerte a

presión atmosférica normal, así se asegura que no se dará ningún proceso de ebullición a temperatura ambiental.

2.2.1.2.3 Sistemas para hermetizar

Las uniones entre secciones se las conoce como extensiones, en cada extensión se puede poner elementos como válvulas, medidores, sensores y de más elementos, cada artefacto viene montado en una brida para sellar las extensiones, los sellos se encargan de cerrar el sistema. Los sellos son de forma de anillos con secciones cuadrangulares o circulares, existen 2 tipos de sellos los mecánicos móviles y los estáticos en la figura 7 se puede apreciar los sellos por anillo (Talavera & Farías, 1995)

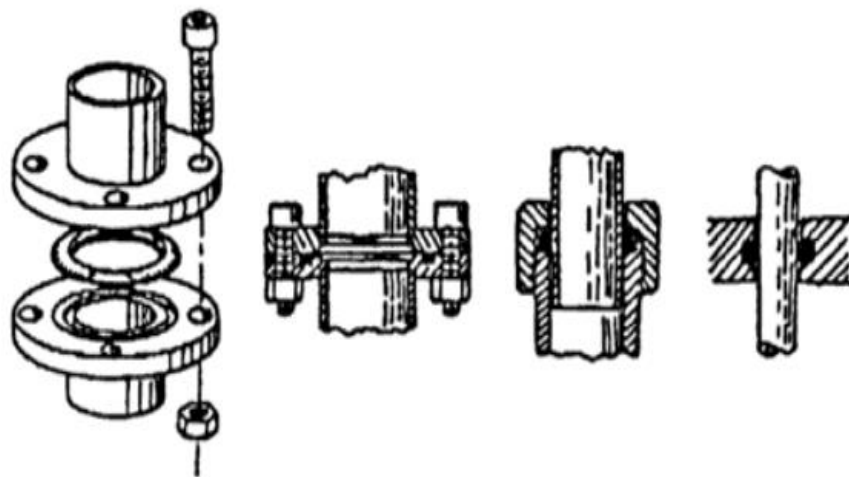


Figura 7. Sellos por anillo

(Talavera & Farías, 1995)

Las válvulas para cámaras de vacío se fabrican en vidrio o metal, las válvulas pueden ser diversas dependiendo del nivel de vacío que se quiera realizar, las de vidrio se utilizan en sistemas de producción de vacío primario mientras que las de metal se utilizan para alcanzar niveles de alto vacío y ultra vacío, estas también pueden variar su material entre acero inoxidable simple o con aluminio y con sellos de vitón dependiendo de la aplicación o la

forma de crear vacío. En la figura 8 se aprecian 2 las válvulas de vidrio más comunes. (Talavera & Farías, 1995)

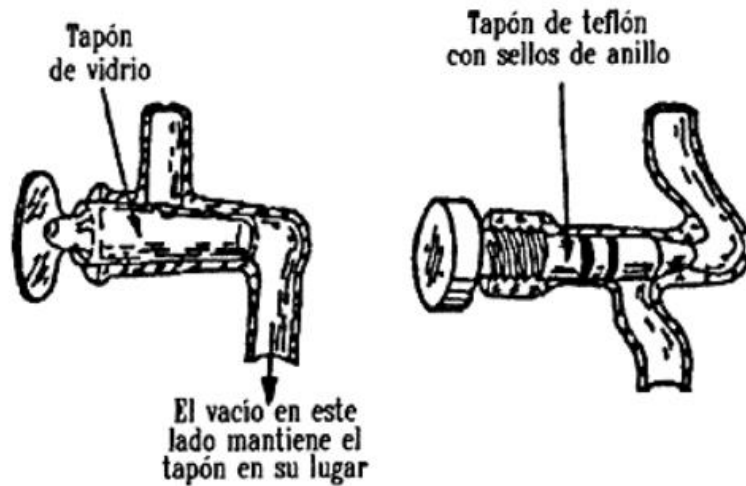


Figura 8. Válvulas de vidrio

(Talavera & Farías, 1995)

2.2.1.2.4 Materiales para cámara

Generalmente las cámaras de vacío son construidas en vidrio o acero inoxidable, dado que al realizar el vacío el material puede retener pequeñas partículas de oxígeno cosa que sucede en menor medida con estos materiales y menos aún si posterior a la construcción se les da un electro pulido. (Talavera & Farías, 1995)

2.2.1.2.4.1 Vidrio

El vidrio es un material amorfo, se lo enfría a velocidades muy altas para darle la propiedad de formar cristales, existen alrededor de 750 variedades de vidrios para distintas aplicaciones, con distintas propiedades mecánicas, eléctricas, ópticas, resistencia química y térmica. El vidrio como los cerámicos es considerado como frágil y elástico, por lo general la resistencia de los vidrios es menor a los 140 Mpa ya que tiene imperfecciones y micro grietas en la superficie, para poder darle resistencia y tenacidad se los

refuerza con tratamientos químicos o térmicos, como el templado que es el más común. (Kalpakjian & Schmid, 2008).

El proceso de templar el vidrio lo hace más resistente dependiendo del espesor al cual se lo somete al tratamiento térmico, un vidrio de 4 mm puede tener una resistencia de 181 Mpa y un espesor de 10 mm le puede dar una resistencia de 229 Mpa. (Costa, Miranda, Varum, & Teixeira, 2006)

2.2.1.2.4.2 Acero inoxidable

Los aceros inoxidables tienen la característica anticorrosiva que viene dada por la concentración de cromo mayor al 10%, estos se clasifican en 3 tipos que son los austeníticos clasificados en la serie AISI 200 y 300, esta familia no es magnética y es la principal utilizada en el procesamiento de alimentos, los ferríticos pertenecientes a la serie AISI 400 tienen propiedades magnéticas y son utilizados para trabajos en altas temperaturas, la última clase de aceros inoxidables es la martensítica que también pertenece a la serie AISI 400, son magnéticos pueden ser tratados térmicamente, son más resistentes que los austeníticos y tienen una buena tenacidad. (Mott, 2006)

Un fenómeno de los aceros inoxidable es que cuando pasa de temperaturas de 430°C a 870°C lentamente como en procesos de soldadura, el carbono se combina al cromo lo que hace que se liberen carburos que son sensibles a la corrosión en el área soldada, este fenómeno se lo conoce como “corrosión intergranular” (Indura, 2010)

El acero austenítico tiene una excelente soldabilidad mientras que la de los martensíticos y ferríticos es muy pobre esta propiedad viene dada por la concentración de carbono, entre menor sea esta mejor su propiedad de soldabilidad (Kalpakjian & Schmid, 2008)

El acero inoxidable 304 está disponible en el país en diversos espesores, una característica de esta calidad de acero es que tiene una baja concentración de carbono lo cual lo hace apto para ser utilizado.

(Dipac, 2015)

2.2.1.2.5 Geometría de la cámara

Al generar vacío las paredes de la cámara deberán soportar una fuerza de 1kg/cm^2 debido a la presión atmosférica, generalmente las cámaras de vacío son de forma cilíndrica de esta manera la estructura resistirá de una mejor manera la carga en relación a una superficie plana, la capacidad de una cámara cilíndrica para no ceder a la presión recae en su diámetro, espesor y firmeza del material. (Talavera & Farías, 1995)

2.2.1.2.6 Soldadura

Las soldaduras adecuadas para acero inoxidable son las de tipo TIG (Tugsten Inert Gas) y MIG (Metal Inert Gas), ya que utilizan gases inertes que crean una protección del ambiente para la soldadura, TIG es ampliamente utilizado y es idóneo ya que una de sus características es un proceso que se puede utilizar en cualquier posición lo que le hace adecuado para soldar cuerpos cilíndricos, al momento de realizar la soldadura se comienza con puntos de soldadura que son los encargados de sostener la unión para la soldadura final, mantener un espaciado uniforme y alineación, además que quedan incluidos en la soldadura final, las puntadas deberán ser de 3mm (Acrind s.c, 2010)

2.2.1.2.7 Vigas y columnas

La cámara no podrá sostenerse por sí misma por lo que requiere una estructura donde esta se pose, dicha estructura se conforma de vigas y columnas, la selección de vigas y columna debe realizarse basándose en la simetría de sección la cual es muy importante para que se asegure que las fuerzas sean simétricas y así la viga no gire al estar bajo una carga, esto se asegura siempre y cuando la carga pase por su eje de simetría (Mott, 2006) por lo que el elemento que regirá en la selección de un perfil será la inercia en el caso de la columna y la sección en caso de viga.

En la figura 9 se muestran vigas con el eje vertical simétrico.

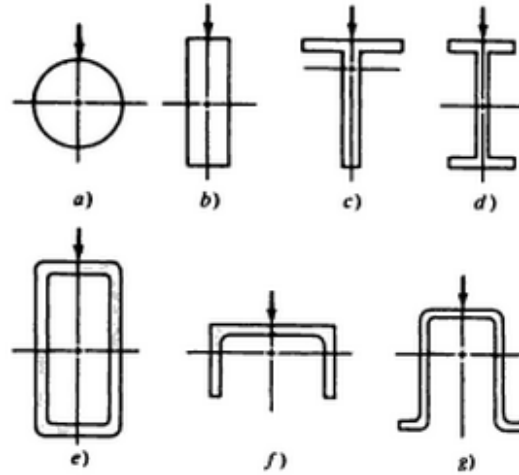


Figura 9. Secciones de vigas

(Mott, 2006)

2.2.2 VARIABLES DE PROCESO

Cuando se ha verificado que no existen fugas y la pieza a tratar es introducida se da la evacuación del aire atmosférico contenido en la cámara por medio de la creación de vacío. Aquí interviene las variables que permitirán el tratamiento por anoxia como se pudo apreciar en la tabla 2 de la investigación de Nieves Valentín, los factores que se deben tomar en cuenta son la temperatura a la cual se somete a la pieza, el nivel de humedad relativa que habrá internamente, la concentración de oxígeno en el mismo confinamiento y el tiempo de exposición a estas condiciones.

2.2.2.1 Temperatura

Como se puede apreciar en la tabla 2 de la investigación de Nieves Valentín las temperaturas que se manejan son temperaturas ambientales mas no tiene un rango de temperatura, sin embargo Silvia Montero trabajo en la restauración de obras en el Museo del traje a una temperatura de entre 20°C

y 30°C (Montero Redondo, 2008) por esta razón el control de temperatura no es algo que sea parte del sistema que se diseña, al realizar el tratamiento de desinsectación, se lo realiza en un laboratorio de la Universidad Tecnológica Equinoccial en el cual no existan variaciones de temperaturas muy altas, manteniendo una temperatura ambiente estable durante todos los días. Aunque no se diseña un sistema de control de temperatura si se adecua un indicador de temperatura con un sensor para poder monitorearla en caso de emergencia, debido a que habrá un porcentaje de nivel de humedad relativa, y una elevación en la temperatura podría significar un efecto invernadero dentro de la atmosfera controlada.

Normalmente el efecto invernadero se da cuando las elevaciones de temperatura son notables, con las especificaciones dadas se prevé que sea algo que no suceda pero con este sensor se tiene un sustento que indica que todo está en condiciones normales.

2.2.2.2 Humedad Relativa

Un sistema de humectación atmosférica utiliza la ecuación 1 (Peixoto & Oort, 1996) que se la conoce como la regla de fase de Gibbs.

$$l = c - P + 2 \quad [1]$$

Dónde:

l: Número de grados de libertad

c: Número de componentes

P: Número de fases

Dado que el gas se mantendrá en un solo estado el proceso que se realiza es un proceso monofásico es decir que solo tendrá una fase e incluye únicamente 2 componentes que son el gas inerte y el humectador que en este caso será el agua, para este tipo de sistemas se tiene que el número de grados de libertad es de 3, que son presión, temperatura y contenido de humedad (Peixoto & Oort, 1996).

Tomando en cuenta estos elementos se puede obtener una humedad relativa deseada tan solo con la mezcla de gases húmedo y seco ya que la temperatura y la presión son constantes en el tratamiento.

La humedad relativa constituye la cantidad de vapor de agua que hay en el medio ambiente en este caso se verá definida en el espacio que ocupe la cámara hermética, debido a que el gas inerte que se utiliza para reemplazar el oxígeno en la atmosfera controlada es muy seco este debe pasar por una etapa de humectación con el fin de que el bien no se vea afectado. En la figura 10 se aprecia un esquema básico del sistema que utiliza la empresa Imb Conservació para humectar el gas inerte que es inyectado

El sistema de humectación consiste en hacer pasar el gas utilizado a través de un contenedor de agua, y para poder regular el nivel de humedad relativa se le añade el gas seco en la medida de lo necesario, la presión de inyección de ambos gases debe ser la misma y esta es ajustable.

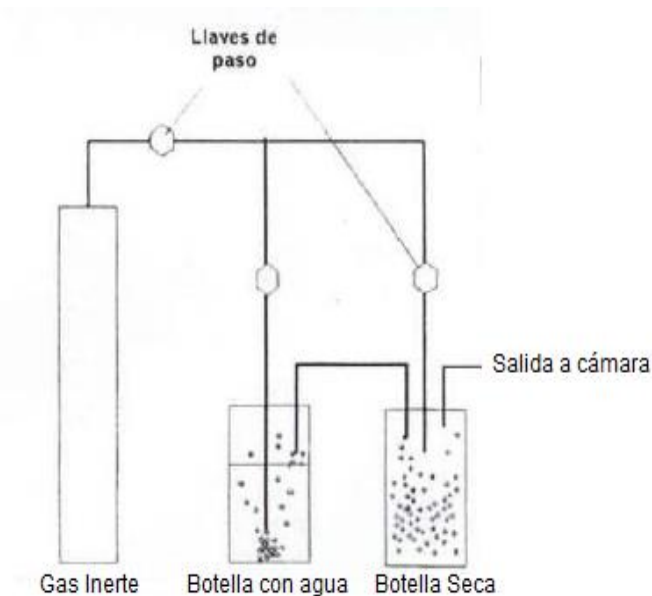


Figura 10. Humectación de gas inerte

(Imb Conservació, 2014)

La tabla 2 de la investigación de Nieves Valentín especifica el porcentaje de humedad relativa necesaria para cada tipo de insecto, siendo esta en un rango de entre 35% y 80%, mientras que Silvia Montero en su trabajo en el

museo del traje realizo los tratamientos con una humedad relativa de entre 30% y 40% en general (Montero Redondo, 2008)

2.2.2.3 Concentración de oxígeno

La real academia de la lengua define biológicamente la anoxia como “la falta casi total de oxígeno en la sangre o en tejidos corporales”, en principio un sistema de anoxia es la condición en la que la presencia de oxígeno es casi nula, provocando así la muerte de los seres aerobios que sean expuestos a dicha condición.

Como ya se vio anteriormente estudios realizados por Nieves Valentín indican que los niveles de oxígeno deben ser menores a un nivel de 0,2%, dependiendo del insecto a tratar y los trabajos realizados por Silvia Montero en el Museo del traje dieron buenos resultados con una concentración de oxígeno menor al 0,1% (Montero Redondo, 2008).

La cantidad de oxígeno se va eliminando a medida que se va creando vacío y se va reemplazando todo el aire con el gas inerte, para poder acelerar este proceso el restaurador puede utilizar componentes electrolíticos con propiedades de absorción de oxígeno como el ageless para favorecer el descenso del nivel de este elemento, el problema es que puede ser muy costoso y difícil de hallar, en cualquier caso este componente no es esencialmente necesario pero ayuda (Valentín, 1994) estos se los puede encontrar en pequeñas bolsitas.

2.2.2.3.1 Gas inerte

Lavoisier descubre mediante experimentación que hay un gas en el aire que no aporta a la preservación de la vida ni de la combustión, a este gas lo llama “azoe” lo que significa “sin vida”, posteriormente se reemplaza con el nombre de nitrógeno. Ramsey se interesa en el problema que al pesar el nitrógeno del aire es más pesado que el del suelo, al estudiarlo se da cuenta que el nitrógeno del aire libera ciertas burbujas las cuales hacen imposible que reaccione con el oxígeno u otros componentes, así se demuestra que el

nitrógeno es un gas casi inerte, estas burbujas son las que hacen más pesado al nitrógeno del aire, posteriormente analiza estas burbujas y nota que era otro gas, un nuevo elemento “inerte” ya que no puede reaccionar con otros elementos, lo llama argón que significa inerte. Mediante deducciones de que los gases inertes tienen una valencia de 0 ya que no pueden reaccionar con otros elementos, Ramsey concluye que el argón no puede existir sólo siendo el único gas inerte, se obtiene un gas a partir del nitrógeno y mineral de uranio que coincide con las investigaciones de Pierre Janssen sobre un nuevo gas llamado helio el cual tampoco reacciona a otros elementos. (Asimov, 2003)

El elemento fundamental necesario en el proceso de desinsectación por anoxia es el gas inerte que reemplaza al oxígeno dentro de la atmósfera controlada y así poder reducir la concentración de este gas al mínimo, dentro de los estudios realizados por Nieves Valentín y las experiencias de Silvia Montero se toma que los gases ideales para este procedimiento, son el nitrógeno y el argón, que por medio de varios barridos o por un barrido continuo logra reducir cada vez más la concentración de oxígeno en la cámara. El nitrógeno puede ser más fácil de adquirir pero el argón se considera más estable para atmósferas inertes, ideal para realizar tratamientos en elementos muy delicados, el control de calidad del argón en varios países puede ser más riguroso lo que daría una mayor pureza (Valentín, 1994) lo que significaría que el argón es más eficiente al momento de eliminar las plagas en los bienes a tratarse así el tiempo de exposición y tratamiento es menor al utilizado con nitrógeno. Otro gas que se ha venido utilizando por parte del Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio e Integración es el helio el cual es mucho más barato y sencillo de obtener, además que en los tratamientos que han realizado a dado buenos resultados después de realizar pruebas de laboratorio.

2.2.2.3.2 Cantidad de gas suministrado

El reemplazo del aire atmosférico por el del gas inerte está sujeto a leyes físicas que obedecen a su estado gaseosos, para poder definir el estado de

un gas se toma 4 variables, volumen, presión, temperatura y número de moles lo que se conoce como ley de los gases.

La ley de Boyle dice que “El volumen de una cantidad fija de gas mantenida a temperatura constante es inversamente proporcional a la presión”.

La ley de Charles dice que “El volumen de una cantidad fija de gas mantenida a presión constante es directamente proporcional a su temperatura absoluta”.

Si se agrega más gas entonces el volumen ya no dependerá de su temperatura y su presión sino también de la cantidad del mismo, Gay-Lussac descubre la ley de los volúmenes de combinación que dice que a una presión y temperaturas iguales los volúmenes de los gases se relacionen en proporciones de números enteros.

A partir de este conocimiento Amadeo Avogadro propone una hipótesis que dice “Volúmenes iguales de gases a la misma presión y temperatura contienen números iguales de moléculas” de la cual experimentalmente se obtiene el conocido número de Avogadro el cual es 6.02×10^{23} moléculas de gas (1 mol), a partir de esta hipótesis también surge la ley de Avogadro la cual dice que “El volumen de un gas mantenido a temperatura y presión constante es directamente proporcional al número de moles del gas”.

A partir de las 3 leyes de los gases nace la ecuación del gas ideal expresada que toma en cuenta, presión, temperatura, volumen, número de moles y constante de gases la cual depende su presión y volumen para su valor y unidades, en este caso se usa el valor $8.314 \frac{\text{m}^3 \text{Pa}}{\text{mol K}}$ (Brown, 2004)

A partir de la de la ecuación del gas ideal se puede calcular cual es la masa de gas que tendrá la cámara al reemplazar el aire atmosférico por el del gas inerte y así conocer el suministro necesario para un proceso de desinsectación dependiendo del gas inerte utilizado. Para poder realizar el cálculo del peso de un gas se debe conocer el número de moles del gas y su masa molar la cual se encuentra en la tabla periódica.

Al realizarse el vacío la extracción del aire atmosférico no es total por lo que al ingresar un gas inerte se da una mezcla de gases por las observaciones de John Dalton se prueba que la presión que ejerce la mezcla de los gases es igual a la suma de las presiones independientes, esta se conoce como la ley de Dalton de presiones parciales. (Brown, 2004)

2.2.2.4 Tiempo de tratamiento

Por último el tiempo al que se expone la pieza al tratamiento por anoxia es el factor final para determinar la mortalidad de los insectos, como ya se observó en la tabla 2 de la investigación de Nieves Valentín, el tiempo que debe durar el tratamiento varia de 10 a 40 días dependiendo del tipo de insecto y las condiciones de tratamiento, el tiempo de tratamiento depende también del gas inerte a utilizar, Nieves Valentín demostró que algunos coleópteros cerabícidos, alcanzaron una mortalidad más pronto cuando se utilizó argón (Valentín y Col, 1992). Silvia Montero ha venido realizando en 2008 trabajos de restauración en el Museo del traje de Madrid con lapsos de tiempo de 15 días (Montero Redondo, 2008).

2.2.3 SISTEMAS DE CONTROL DEL PROCESO

Primero se dieron a conocer las condiciones necesarias para la desinsectación por anoxia, cada uno de estos factores debe ser monitoreado mediante sensores para la obtención de datos en forma de señales análogas de acuerdo a los sensores utilizados. El sistema propone utilizar estas señales como condicionantes para un debido control.

Un sistema de control es la interacción de varios componentes en los cuales interviene una entrada $r(t)$, un proceso o sistema $g(t)$ y una salida $y(t)$, donde se busca que el sistema se controle a sí mismo. La salida y el proceso están ligados directamente al tipo de entrada que se tenga, en la figura 11 se muestran los tipos de entrada más comunes en el control. Control se define como “la cantidad dosificada de energía que afecta al sistema para producir la salida o la respuesta deseada” (Hernández, 2010).

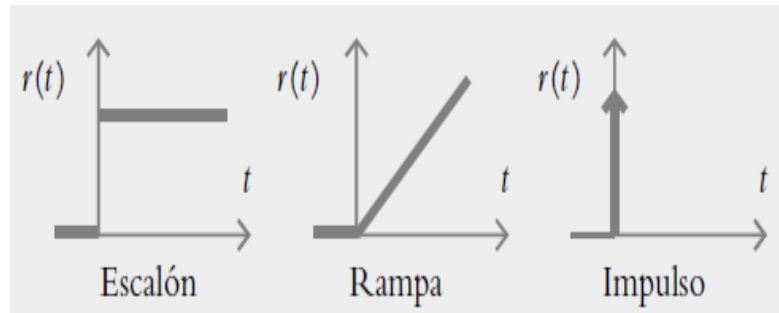


Figura 11. Tipos de entradas de control

(Hernández, 2010)

La entrada de impulso es una señal de tiempo muy corta por esta razón es que se prevé que los instrumentos de adquisición de señales solamente entreguen entradas de tipo escalón que son constantes en el tiempo, o tipo rampa que cambian en el tiempo de una forma lineal.

Los sistemas de control se dividen en de lazo abierto en los que las entradas no están totalmente ligadas a las salidas, para obtener la respuesta deseada se utilizan reguladores y lazo cerrado donde el control depende de la salida, se utilizan sensores para poder tomar datos reales y compararla con una referencia. (Hernández, 2010)

2.2.3.1 Elementos de control

Los sensores necesarios para poder realizar el control son los de las variables de proceso, es decir de humedad, temperatura y presión.

Cabe recalcar que los sensores necesitan de un controlador que permita la obtención y comparación de señales para el respectivo funcionamiento del sistema

2.2.3.1.1 Sensor de temperatura

Los sensores de temperatura usados más comúnmente y que están disponibles en el mercado son los termistores, los sensores LM35 y Dallas 18B20

EL LM35 es un sensor de temperatura constituido por un circuito integrado de precisión, este emite un voltaje lineal proporcional a una temperatura en grados centígrados, esta es una gran ventaja en relación a otros sensores de temperatura que están calibrados en grados Kelvin, pues no necesita de la sustracción de voltaje al momento de realizar un escalamiento. Entre sus características principales se tiene:

- No requiere de ningún tipo de acondicionamiento externo para su calibración
- Precisión de $\pm 1/4$ °C dentro de un rango de temperatura que va desde los -55°C hasta los 150°C.
- Baja impedancia de salida de 0,1 Ω y una carga de 1mA
- Para su operación requiere menos de 60 μ A para la corriente de drenado y trabaja con un voltaje de 4V a 30V
- El factor de escalamiento está dado en 10mV/°C
(Texas Instruments, 1999)

El utilizar este sensor es ideal debido a su bajo costo, su fácil escalamiento al momento de realizar un calibrado dado su voltaje de salida lineal análogo su visualización es sencilla.

2.2.3.1.2 Sensor de humedad

Dentro de los sensores de humedad que existen en el mercado se tiene el HS1101 y el HIH4030.

El HS1101 es un sensor basado en una única celda capacitiva y ha sido diseñado para aplicaciones como controles de aire en cabinas, oficinas hogar o en la misma industria, son de mucha ayuda en aplicaciones donde la compensación de humedad sea necesaria. Dentro de sus características se tiene:

- En condiciones normales de operación no es necesaria una calibración externa
- Tiene una salida de voltaje lineal

- Rápida respuesta en el tiempo
- Su temperatura de operación está entre los -40 °C y los 100 °C
- Con una operación de entre el 0% y el 100% de humedad relativa (Humirel, 2002)

2.2.3.1.3 Sensor de oxígeno

Los sensores de oxígeno son escasos existen sensores el sensor O2E2 es un sensor de oxígeno que se trae al país bajo pedido este puede medir niveles desde 0% hasta 20,9% con una salida en micro amperios de 260 a 315. (Alphasense, 2000) y el sensor ME3-O2 el cual es otro sensor que se trae al país bajo pedido, este viene en tamaños pequeños es de alta sensibilidad, es un sensor electroquímico el cual bajo la empresa seeed se vende con la placa de acondicionamiento de señal, su sensibilidad se muestra en la figura 12 (Henan Hanwei Electronics, 1998)

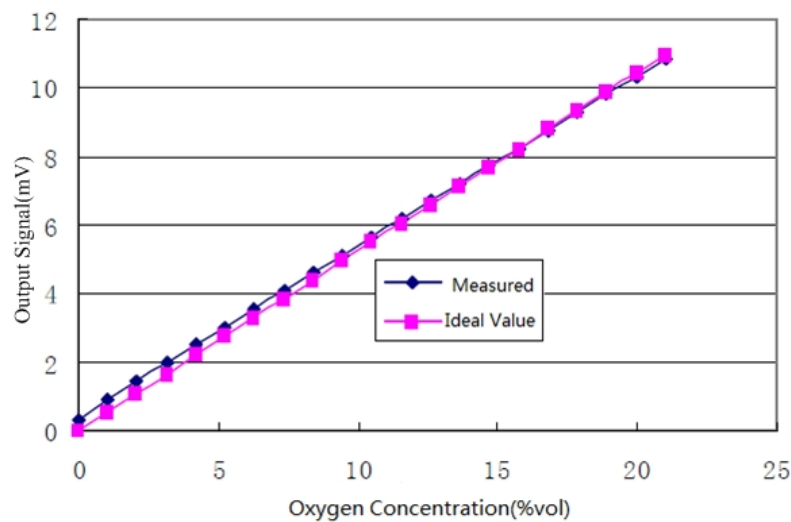


Figura 12. Sensibilidad sensor oxígeno

(Henan Hanwei Electronics, 1998)

La línea azul muestra los valores experimentales y la rosado los ideales, este sensor puede medir desde 0% hasta 25% de nivel de oxígeno, este es el sensor escogido.

2.2.3.1.4 Sensor de Presión

Dado que el sistema requiere medir presiones de vacío y de presión atmosférica normal se opta por el sensor de presión MPX4115A el cual es un sensor capaz de medir presiones desde 15KPa hasta 115KPa con una salida analógica de 0.2 V a 4.8 V con una sensibilidad de 45.9 mV/KPa y una compensación de temperatura. Este presenta una salida lineal de acuerdo a la figura 13 (Motorola, 2001)

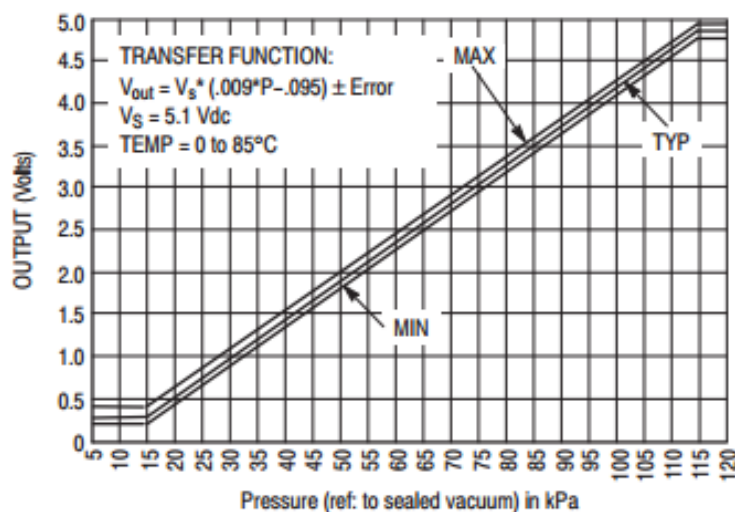


Figura 13. Sensor de presión

(Motorola, 2001)

2.2.3.1.5 Controlador

El sistema es controlado por arduino el cual es una plataforma electrónica libre, basado en software y hardware flexibles para un fácil uso, para la toma de información utiliza los pines de entrada y salida tanto analógicos como digitales, además que tiene salidas especiales PWM para poder controlar motores, luces y contactos, el lenguaje de programación está basado en C/C++ y dado que es software libre las librerías de interface de distintos hardware y otros software está disponibles para todo el mundo gratuitamente (Arduino.cc, 2014).

2.2.3.1.6 Software programador

LabVIEW es un software programador al igual que otros entornos BASIC u otros modernos en C, con la diferencia que otros entornos están basados en un lenguaje de texto, LabVIEW utiliza una programación grafica o en código G, lo que permite crear programas de una forma más sencilla en forma de diagramas de bloque. (National Instruments, 1998)

Arduino es programado con su propio software y mediante este se puede programar la interface para otros software, uno de esos software es LabVIEW, y este al ser una plataforma a base de un microcontrolador posee la habilidad de la adquisición de datos. El programa de interface con LabView se encuentra gratuitamente en la web al ser arduino software libre.

2.2.4 SOFTWARE CAE

La ingeniería asistida por computado o conocida por sus siglas en ingles CAE, es una herramienta que además de comprender el diseño asistido por computadora conocido como CAD puede integrar no solo el modelo físico sino las propiedades de su geometría como de su material y las condiciones a las cuales este está sometido. (Bonilla, 2003)

Las herramientas CAE trabajan con métodos de elementos finitos , este método permite realizar un modelo matemático el cual tiene como objetivo el facilitar el cálculo y la modificación del elemento en comparación con el de modificar un prototipo o hasta la creación de uno nuevo y así realizar un acercamiento importante al producto final. El concepto básico del método de elementos finitos es la división de una continuidad en una serie de elementos más pequeños y unidos entre si por puntos llamados nodos, es así como gobernado por ecuaciones diferenciales los elementos pasan a un sistema que restringe los grados de libertad a un número finito.

(Fuentes, 2011)

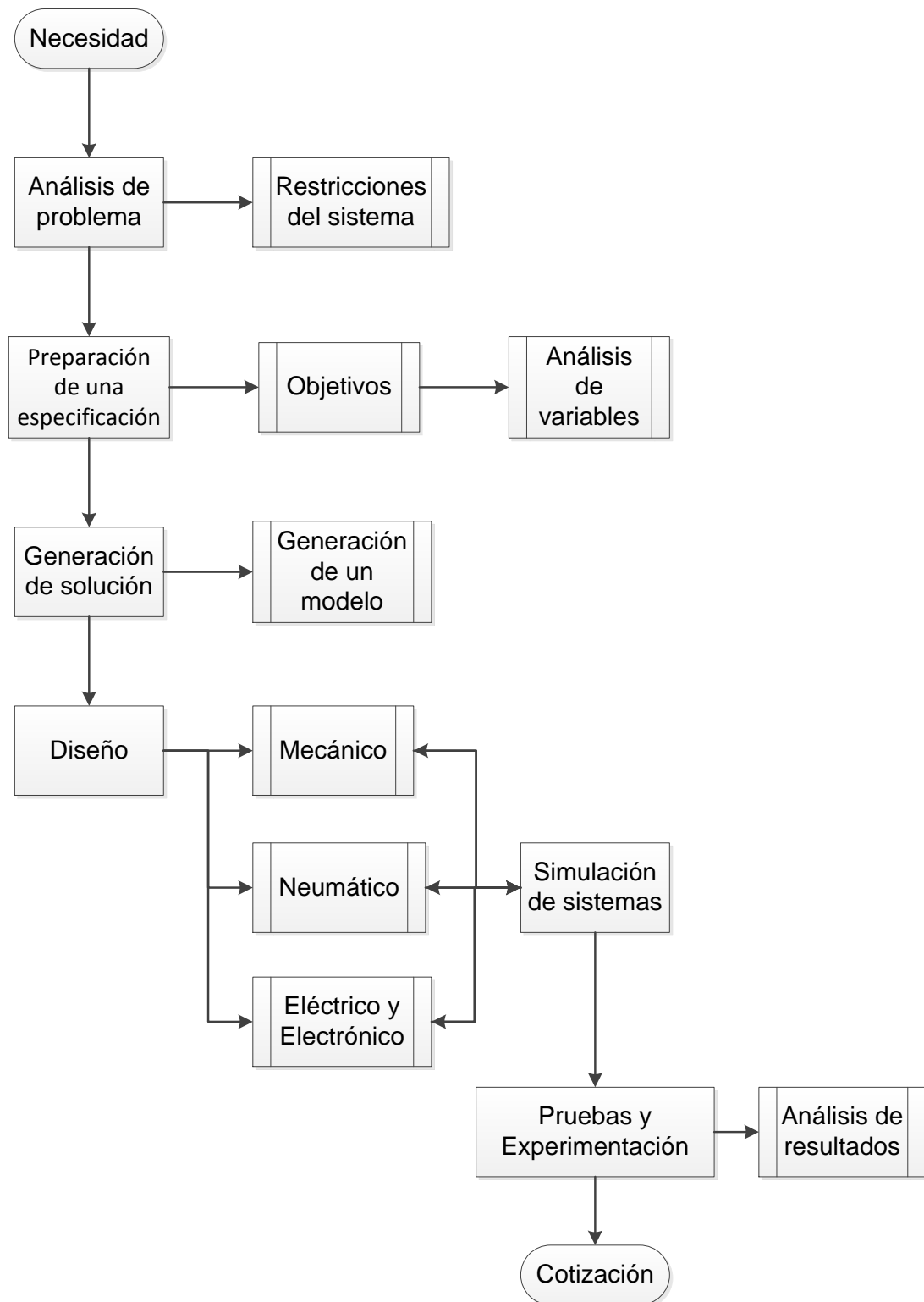
El continuo tiene con sus ecuaciones gobernantes son válidas en el como en cualquier parte del mismo por lo que se puede idealizar el modelo en regiones finitas que son los elementos ya mencionados, esto se conoce como discretización o mallado, al realizar un refinamiento del mallado es decir, al reducir el tamaño de los elementos se logra obtener mejores resultados pero a costa de esto se producen grandes sistemas de ecuaciones, lo que provoca que la resolución del mismo sea muy demorado e impráctico (Da Fonseca, 2011)

Mediante el método de elementos finitos se pueden realizar simulaciones de cálculos estáticos y dinámicos lineales o no lineales los cuales comprenden impactos, grandes deformaciones, contactos entre otros, de la misma manera se puede analizar comportamientos térmicos, de fluidos y magnéticos. Este también permite la visualización del sistema a lo largo del tiempo como al sometimiento de fatigas o cargas dinámicas.

La ventaja en el uso de sistemas CAE radica en el valor agregado al diseño el que permite percibir que habrán problemas que mediante un diseño matemático y CAD no pueden prever, así se puede obtener una predicción del comportamiento del producto y hasta una optimización del mismo sin la necesidad de prototipos innecesarios. (Bonilla, 2003)

3. METODOLOGÍA

En el siguiente diagrama de flujo se detalla el método que se utilizó para la consecución de los objetivos, este se basa en la metodología expuesta en el libro *Mecatrónica: Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica* cuarta edición de William Bolton.



3.1 NECESIDAD

La carrera de Restauración y Museología de la Universidad Tecnológica Equinoccial requirió de un equipo que facilite el proceso de desinsectación de los bienes culturales a tratar, los métodos para realizar estos son diversos y los equipos a utilizar también.

3.2 ANÁLISIS DEL PROBLEMA

Los métodos más utilizados para la desinfección de bienes culturales eran los químicos pero estos representaban un riesgo para la salud del restaurador y muchas veces el uso de químicos dañaba el bien a tratar y la desinsectación no era muy eficaz, los estudiantes no debían estar expuestos a este tipo de riesgos ya que se está en un proceso de aprendizaje. En cuanto a métodos no tóxicos como el de desinsectación por anoxia, requerían de un equipo especial que en el mercado internacional tiene un precio muy elevado y necesita ser importado.

3.3 PREPARACIÓN DE UNA ESPECIFICACIÓN

Se propuso diseñar un sistema validado por simulación para la desinsectación no toxica por anoxia. Los factores que se tomaron en cuenta para la desinsectación de bienes culturales son la temperatura, humedad relativa, cantidad de concentración de oxígeno y el tiempo de tratamiento para distintas familias de insectos. El factor principal en este proceso es el de la concentración de oxígeno, por esta razón se debía eliminar el aire atmosférico dentro de la cámara.

3.4 GENERACIÓN DE SOLUCIÓN

La cámara debía ser totalmente hermética de tal manera que pueda crearse un vacío, a partir de este vacío puede ingresar el flujo de un gas inerte que

irá reemplazando el oxígeno, de ser necesario se debía hacer un barrido del gas inerte hasta alcanzar la concentración de oxígeno necesaria. El gas inerte es un gas seco por lo que la humedad relativa era muy baja, para evitar la desecación de la pieza a tratar debido a la inyección del gas inerte este debía ser humectado haciéndolo pasar por una botella con agua, así el gas tendría una humedad y para no exceder los niveles de humedad relativa sería mezclado con el mismo gas totalmente seco así se equipararía la concentración de humedad necesaria.

3.4.1 DESCRIPCION DE UN MODELO DE CÁMARA

Se tuvo en cuenta 3 opciones de cámara las cuales eran por bolsa, por cámara cilíndrica y por cámara prismática. Para poder escoger la mejor opción se utilizó el método de criterios ponderados en el cual se tomaron los siguientes criterios:

- a) Vida útil: El uso en el tiempo que se le dará
- b) Manufactura: La facilidad de poder producirlo
- c) Seguridad: La fiabilidad de que el riesgo al usarlo sea mínimo
- d) Volumen: La capacidad volumétrica
- e) Peso y movilidad: El peso que tendrá y la facilidad de transporte del mismo
- f) Impermeabilidad térmica: la capacidad de mantener una temperatura interna estable al no permitir que el aire ambiente traspase hacia el interior con facilidad.
- g) Costo: El costo de producción
- h) Resistencia a esfuerzo: Capacidad de soportar las fuerzas de compresión externas causadas por la diferencia de presión al crear vacío
- i) Sistema de control: El sistema que se utilizará para poder regular las inyecciones y extracciones de gases además de la interacción de todos los dispositivos usados para el monitoreo.
- j) Diseño: Diseño mecatrónico que se realizara para alcanzar los parámetros deseados

Una vez formulados los criterios importantes que se debían tomar en cuenta para la obtención de un producto adecuado se verificó la relación que tiene un criterio en base a otro y se cuantificó en una tabla de ponderación mediante los parámetros de la tabla 3.

Tabla 3. Parámetros de calificación según relación

Parámetros de calificación	
Tiene relación	1
No tiene mucha relación	0.5
Ninguna relación	0

Se realizó la sumatoria de los valores obtenidos en la tabla de ponderación de cada criterio con el resto y se los sumó en uno, se realizó la sumatoria de los totales de cada criterio. El valor porcentual indica la relevancia que tiene cada criterio en el concepto que se realizó.

En una tabla para selección de alternativas se realizó la comparación de las opciones de diseño con los criterios escogidos y se cuantificó la relevancia que tiene cada opción con los criterios de ingeniería, la cuantificación se rigió a la tabla 5.

Se tomó los valores de la tabla para selección de alternativas y se multiplicó cada valor de esta por el porcentaje de importancia que se obtuvo según su criterio en la tabla de ponderación y se realizó la sumatoria de todos los valores en una tabla final de selección, la opción que obtuvo el mayor valor fue la opción escogida.

Tabla 4. Parámetros de calificación de relevancia

Parámetros de calificación	
5	Óptimo
4	Importante
3	Normal
2	Apropiado
1	Muy poco práctico
0	Despreciable

3.4.2 SELECCIÓN DE MATERIAL

Por procesos de manufactura más convenientes, como material para la cámara se escogió el acero inoxidable, en el mercado nacional se tiene disponibilidad de acero inoxidable 304 y 201 los cuales son aceros inoxidables austeníticos, también se puede conseguir el acero inoxidable 403 el cual es de tipo martensítico, por el factor de la soldabilidad se escogió el acero inoxidable 304, debido a que se planeó usar planchas del material y luego soldar para poder conseguir un cilindro con costura, la soldabilidad es muy importante para que sea totalmente hermético y no sufra roturas por causa de la corrosión. Este se diseñó para usar en todos los elementos que tengan contacto directo con el aire que será evacuado excepto parte de la puerta ya que se requiere poder ver lo que sucede en el interior de la cámara, para la única parte de la puerta que tendrá contacto con el aire que será evacuado se tomó en cuenta el uso de vidrio templado y como segunda alternativa por su fácil manufacturabilidad se toma como opción el acrílico Polimetilmetacrilato. Para el resto de elementos se utilizará acero estructural o madera

3.4.3 DISEÑO DE LA CÁMARA

La cámara se diseñó para tener como elementos individuales el cuerpo central del cilindro, la puerta para el ingreso y extracción de elementos restaurar, el soporte que deberá resistir el peso de la cámara y la pieza a restaurar.

El modelo total de la cámara se lo realizó mediante un software CAD.

3.4.3.1 Diseño del cuerpo central

El cuerpo central de la cámara se diseñó para tener como componentes el cilindro principal, una tapa trasera que cubrirá al cilindro y un pequeño marco en la parte frontal.

3.4.3.1.1 Diseño del Cilindro

Primero se tomó en cuenta el esfuerzo admisible del material mediante la ecuación 2.

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{N} \quad [2]$$

Dónde:

σ_{adm} : Esfuerzo admisible del material (Mpa)

S_y : Resistencia a la fluencia (Mpa)

N : Factor de diseño

La resistencia a la fluencia del material utilizado en este caso acero inoxidable 304 es de 241Mpa, se tomó en cuenta un factor de diseño de 2.5, este valor se lo utiliza cuando se emplean cargas dinámicas y se tiene una confianza promedio en los datos utilizados (Mott, 2006).

Como requerimiento del director de la carrera de Restauración y Museología de la Universidad Tecnológica Equinoccial, la cámara debe tener como dimensiones un diámetro interno de 1.5 m y una longitud interna de 1 m.

Dado el diámetro tan extenso se supuso que este se comporta como un cilindro de pared delgada.

Adoptando esta condición se realizó el cálculo del espesor mediante la ecuación 3 de esfuerzo de Von Mises (Mott, 2006).

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_l^2 - \sigma_t \sigma_l} \quad [3]$$

Dónde:

σ' : Esfuerzo de Von Mises (Mpa)

σ_t : Esfuerzo tangencial (Mpa)

σ_l : Esfuerzo longitudinal (Mpa)

El esfuerzo tangencial se lo encuentra mediante la Ecuación 4 (Mott, 2006) y el esfuerzo longitudinal mediante la Ecuación 5 (Mott, 2006).

$$\sigma_t = \frac{p * D}{2t} \quad [4]$$

Dónde:

p : Presión (Mpa)

D : Diámetro (m)

t : Espesor (mm)

$$\sigma_l = \frac{p * D}{4t} \quad [5]$$

Al generarse un vacío el cilindro deberá soportar la presión atmosférica desde el exterior tomando en cuenta que internamente hay vacío, tomando esto en cuenta se reemplazó las ecuaciones 4 y 5 en la ecuación 3, y se reemplazando el esfuerzo de Von Mises con el esfuerzo admisible para despejar el espesor [t].

La ecuación 6 (Mott, 2006) es una fórmula matemática que condiciona un cilindro para que se comporte como de pared delgada, se la utilizó una vez que se obtuvo el espesor [t] para comprobar que la condición de cilindro de pared delgada es acertada.

$$\frac{D}{t} \geq 20 \quad [6]$$

Una vez obtenido el espesor t se reemplazó en 4 y 5 que posteriormente se los utilizó en 3 para obtener el esfuerzo de Von Mises.

Después de haber obtenido el esfuerzo de Von Mises se lo comparó con el admisible, donde el esfuerzo de Von Mises debe ser menor al admisible.

3.4.3.1.1.1 Manufactura de cilindro

Para poder obtener un cilindro con las características antes descritas, se diseñó el tomar una lámina de acero inoxidable 304, se realiza en él un proceso de rolado para luego ser unido mediante soldadura.

Para poder obtener un cilindro de 1.5 m de radio y 1 m de largo se debe conocer de qué tamaño debe ser la plancha a rolar, para conocer esto se obtiene el perímetro del cilindro mediante la Ecuación 7.

$$P = D * \pi \quad [7]$$

Donde

P: Perímetro (m)

Luego de realizarse el rolado se debe soldar la unión esta se la realiza con una soldadura TIG que es la más favorable.

3.4.3.1.1.2 Modelo 3D Cilindro

Utilizando el software CAD, se realizó la extrusión de una forma cilíndrica hueca con el espesor adecuado que es el que se utiliza, posteriormente con la opción "Convert to Sheet Metal" se lo llevó a una estructura de plancha de metal de acero inoxidable austenítico como se muestra en la figura 14

Al cuerpo cilíndrico se le realizó un corte de 3mm que es donde irá la soldadura y se repitió la operación para obtener 2 planchas en forma cilíndrica que empatan con las soldaduras.

Una vez obtenido el cilindro se simula el vacío mediante el software CAE, donde se aplicó una presión de 1Pa en la cara interior del cilindro simulando que este es el vacío que causa la bomba, en su cara exterior se aplicó la presión atmosférica.

Dado que el software no cuenta con el acero indicado se creó uno propio con las características del acero inoxidable 304 para su simulación.

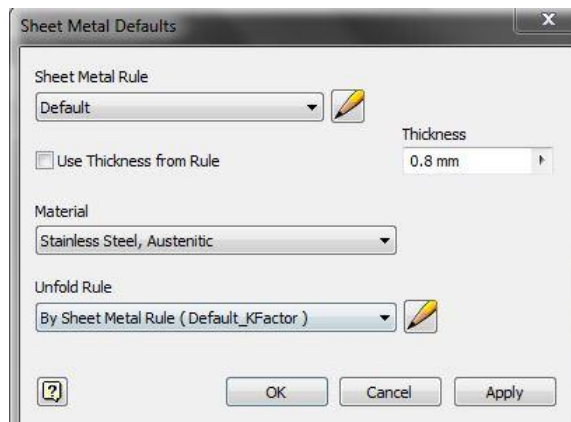


Figura 14. Especificaciones de plancha

3.4.3.1.2 Diseño de placa trasera

La placa que cubra la parte trasera del cilindro tiene el mismo diámetro del cilindro es decir un diámetro de 1.5 m.

Se hizo 2 diseños el uno plano y el otro con una concavidad para realizar una comparación en la se verifica el comportamiento de ambas geometrías, conociendo que la pared plana requiere de un espesor grande dado que la presión se distribuye de una manera uniforme, mientras que una forma curva distribuye la presión en varios planos muy pequeños haciéndolo más resistente, se probó esto utilizando el mismo espesor para ambos diseños.

Sabiendo que la resistencia no depende únicamente del espesor se realizaron varias simulaciones aumentando tanto el espesor de la placa como la altura de foco de la concavidad con respecto al plano de base perpendicular, dado que la tapa al debe ir sujeta al borde del cilindro por facilidad de manufactura se toma el mismo espesor del cilindro, al ser cóncavo los esfuerzos tangenciales y longitudinales son iguales, tomándolo como una esfera, en base a esto en busca de la concavidad que debe tener la placa utilizó la ecuación 8 (Beer, Jhonston, DeWolf, & Mazurek, 2009).

$$\sigma_t = \sigma_l = \frac{p * D}{4t} \quad [8]$$

Con la ecuación 8 se buscó el diámetro de la esfera basada en la figura 15.

Se reemplazó el esfuerzo longitudinal $[\sigma_l]$ por el admisible $[\sigma_{adm}]$ y se despejó el diámetro y para conocer cuál es la concavidad necesaria se realizó el mismo gráfico que en la figura 15 con el diámetro obtenido y así automáticamente se ajustó la altura de concavidad para realizar el modelo 3D y la simulación de esfuerzo

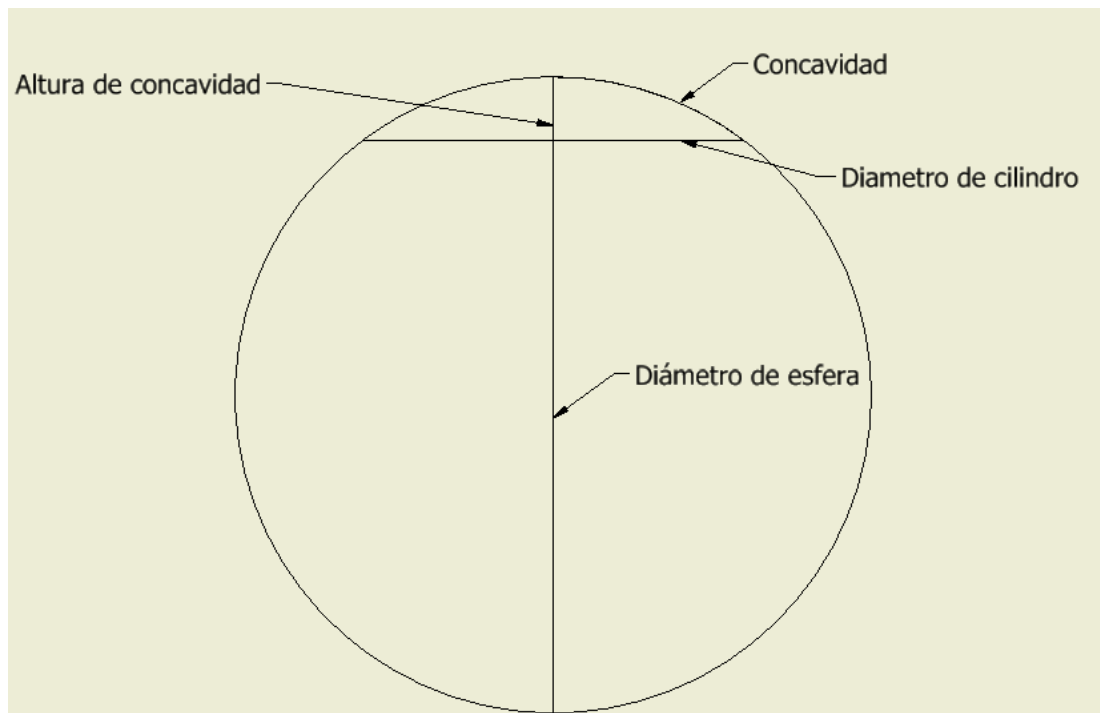


Figura 15. Diámetro de esfera para concavidad

3.4.3.2 Diseño de puerta

Dentro del diseño de la puerta se contempló un ensamble que incluye un marco, una ventana de vidrio templado sellos de caucho además de los seguros para poder hermetizar la cámara y de una bisagra para poder abrir y cerrar la puerta con facilidad.

3.4.3.2.1 Ventana

La ventana se diseñó igual que la placa trasera con la diferencia que se utilizará vidrio templado el cual puede tener una resistencia a la fluencia entre los 120Mpa y 200Mpa, se tomó un $S_y = 181$ Mpa que corresponde a un espesor de 4 mm para obtener mediante la ecuación 2 un σ_{adm} para el vidrio, posteriormente se encontró el espesor requerido por la ecuación 8.

Debido a las complicaciones con la manufactura en el vidrio templado se contempló la posibilidad de usar acrílico polimetilmetacrilato (PMMA), se realizó el mismo proceso para dicho material, este tiene una resistencia a la fluencia mínima testeada por la empresa UC de $S_y = 37.024$ Mpa es la que se utilizó. (UL, 2015)

En ambos casos después de calculado espesor se realizó un modelo 3D en CAD y una simulación de esfuerzos en CAE.

3.4.4 DISEÑO DE ESTRUCTURA

La estructura que sostiene a la cámara se diseñó para ser compuesta de 3 vigas que sirven como cama para que repose la cámara, en las esquinas se ubicaran las columnas que sostengan a la estructura.

3.4.4.1 Diseño de vigas

Para propósitos de cálculo se diseñó únicamente la viga central, aunque el peso también es sostenido por las otras 2 vigas, se lo diseñó en base al peso total de la cámara que se compone de cilindro, placas y puerta, añadido un peso de referencia el cual se basa en un mueble de madera que pesa 10Kg de medidas 101.6 x 191.8 x 187.7 cm.

Se tomó una longitud de 2 m con un perfil estructural en U fabricado en acero estructural A36, para la selección de un perfil adecuado se buscó el módulo de sección respectiva mediante la ecuación 9 (Mott, 2006).

$$\sigma_n = \frac{M}{S}$$

[9]

Dónde:

σ_n : Esfuerzo normal máximo (Mpa)

M: Momento flector máximo que soportará la viga (Nm)

S: Módulo de sección (m³)

Se tomó en cuenta que la viga irá soldada a otras 2 vigas por lo que se tomó como que está empotrada en ambos extremos, así se buscó M el cual se lo obtuvo basados en la figura 16

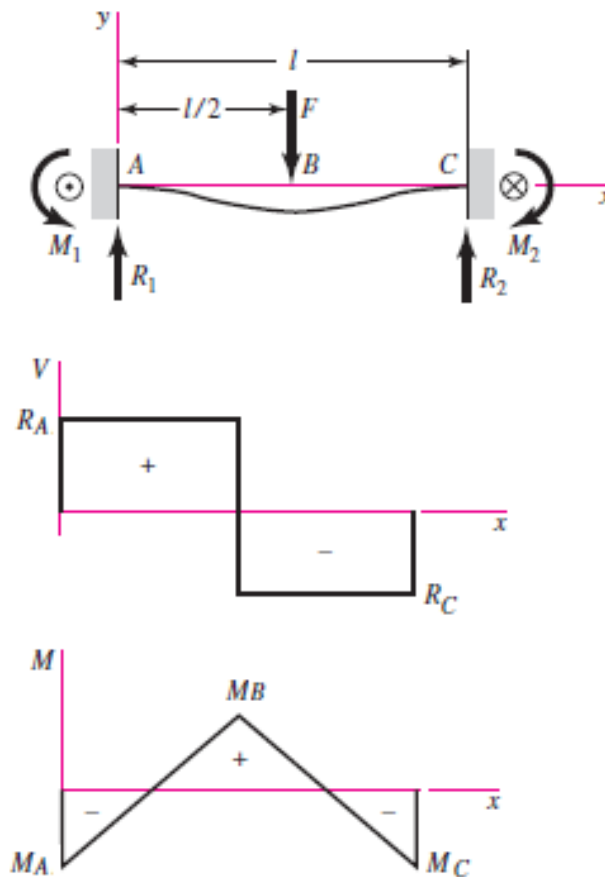


Figura 16. Diagrama de momentos

(Budynas & Nisbett, 2008)

Donde para las fuerzas cortantes se aplicó la ecuación 10 (Mott, 2006) y para el momento flector la ecuación 11 (Mott, 2006).

$$R_A = R_C = \frac{F}{2} \quad [10]$$

Dónde:

R_A : Reacción en el punto A

R_C : Reacción en el punto C

F: Fuerza (N)

$$M_A = M_B = M_C = \frac{F * L}{8} \quad [11]$$

Dónde:

L: Longitud de la viga (m)

Utilizando la ecuación 2 se encontró el esfuerzo admisible del material y se utilizó un $S_y = 250 \text{ Mpa}$ (Mott, 2006) y el mismo factor de seguridad, posteriormente se reemplazó el admisible en la ecuación 9 y se despejó la sección S. Conocido este escogió un perfil para recalcular el esfuerzo flector y asegurar que es menor al admisible y posteriormente se realizó el modelo y simulación del mismo.

3.4.4.2 Diseño de columna

Para poder escoger el perfil de la viga se basó en la inercia [I] la cual es calculada, para esto se debió conocer las ecuaciones necesarias, la carga crítica, la longitud efectiva de la columna y el módulo de elasticidad del material.

Se diseñó que las columnas que sostendrán a la estructura serán divididas en 4, una en cada esquina por lo que para encontrar la indicada se encontró conocer la carga crítica que esta soporta, para la obtención de esta se utilizó la ecuación 12.

$$P_{adm} = \frac{P_{cr}}{N} \quad [12]$$

Dónde:

P_{adm} : Carga admisible (N)

P_{cr} : Carga crítica (N)

De la cual se despejó P_{cr} , N es el factor de diseño que se vino utilizando en toda la estructura y P_{adm} es el peso total admisible de la estructura donde reposará la cámara sumado el peso de la cámara más el peso asignado de seguridad, se lo dividió para 4 debido a que son 4 columnas las que soportan él peso.

Se presenta la ecuación 13 (Mott, 2006) la cual es conocida como la fórmula de Euler para columna larga que es como se asumió para realizar el cálculo.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * E * A}{R_e^2} \quad [13]$$

Dónde:

E: Modulo de elasticidad (Gpa)

A: Área de sección (m²)

R_e : Relación de esbeltez

La relación de esbeltez es hallada mediante la ecuación 14.

$$R_e = \frac{L_e}{r_{min}} \quad [14]$$

Dónde:

L_e : Longitud efectiva de la columna (m)

r_{min} : Radio de giro mínimo (m)

La longitud efectiva de la columna se encontró mediante la ecuación 15 (Mott, 2006)

$$L_e = K * L \quad [15]$$

Dónde:

L: Longitud de la viga (m)

K: Valor práctico

Se diseñó que las columnas estén fijadas a la estructura donde se postra la cámara por medio de suelda y no se fije en el otro extremo para hacerla móvil por lo que se la consideró empotrada-libre para poder obtener el valor práctico.

El radio de giro mínimo se lo obtuvo mediante la ecuación 16 (Mott, 2006).

$$r_{min} = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad [16]$$

Dónde:

I: Momento de inercia

Conocidas todas las ecuaciones necesarias se reemplazan la ecuaciones 16 en la ecuación 14, obteniendo

$$R_e = \frac{L_e * \sqrt{A}}{\sqrt{I}}$$

Esta es reemplaza en la ecuación 13 quedando de la siguiente manera

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * E * A * I}{L_e^2 * A}$$

Donde se elimina el factor A y se despeja el factor I obteniendo la ecuación 17.

$$I = \frac{P_{cr} * L_e^2}{\pi^2 * E} \quad [17]$$

Mediante dicha ecuación se pudo encontrar la inercia que debe tener el perfil de la columna y se escogió la indicada. Una vez escogido el perfil se calcularon los valores r_{min} con la ecuación 16 y R_e con la ecuación 14.

Para poder realizar una comparación se calculó la constante de columna que viene dada por la ecuación 18 (Mott, 2006).

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 * E}{S_y}} \quad [18]$$

Dónde:

C_c : Constante de columna

El Módulo de elasticidad del acero estructural A36 es de $E= 200$ Gpa (Mott, 2006).

Conocidos la relación de esbeltez y la constante de columna se los comparó para obtener la carga crítica real P_{cr} que soporta la columna, Donde se ve si $R_e > C_c$ entonces se considera que es una columna larga y se utiliza la ecuación 13, de lo contrario se considera una columna corta y se utiliza la ecuación 19 (Mott, 2006).

$$P_{cr} = A * S_y * \left[1 - \frac{S_y * R_e^2}{4\pi^2 * E} \right] \quad [19]$$

La carga crítica indica bajo que carga la columna empezará a pandearse por lo que no debe ser usada, así que se recurre a la ecuación 12 donde se obtiene un peso admisible, y así se verifica que se ha escogido el perfil indicado.

3.4.5 CANTIDAD DE GAS

Primero se buscó la cantidad de masa de aire que habrá en la cámara en condiciones iniciales, es decir llena de aire atmosférico, el cálculo se realizó tomando el volumen completo del interior de la cámara es decir como si no

hubiese ningún objeto dentro ya que el volumen de este puede variar, a una temperatura ambiental promedio de 22 C°.

El aire está compuesto de un 78% de Nitrógeno y 21% de oxígeno el 1% está compuesto de varios otros gases y vapor de agua.

Conocido esto mediante la ecuación 20 (Brown, 2004) de los gases ideales se despejó n y se obtuvo el número de moles en la cámara.

$$pV_t = nRT \quad [20]$$

Dónde:

V_t : Volumen total que ocupará el gas (m³)

n : Numero de moles (mol)

T : Temperatura absoluta (K)

R : Constante de gas ($\frac{m^3 Pa}{mol K}$)

Por propósitos de cálculo se manejó una temperatura absoluta 295,15 K° y una presión atmosférica de 0,101325 Mpa que equivale a 101325 Pa, para encontrar el volumen total se sumaron los volúmenes de la cámara, de la tapa trasera y tapa que son cóncavos, el volumen de la cámara se encuentra utilizando la ecuación 21.

$$V_c = \pi r^2 h \quad [21]$$

Dónde:

V_c : Volumen de cilindro

r : Radio de cilindro

h : altura de cilindro

Cabe recalcar que la tapa posterior y ventana son cóncavas y dado que el cálculo de estos volúmenes es muy complejo la obtención de estos se lo hizo con ayuda del software, se dibujó el elemento macizo y se verificó el

volumen de este obteniendo un V_1 , posteriormente se realizó el vaciado que dio el espesor deseado y se obtuvo un V_2 , al restar V_2 de V_1 se obtuvo el volumen final que ocupa el gas al cual se lo denominó V_v .

De este volumen total el 78% es ocupado por nitrógeno y el 21% de oxígeno, conocido el número de moles de cada componente se multiplicó por el su masa molar en el caso del nitrógeno su masa molar es de 14 g/mol pero el nitrógeno molecular es di atómico por lo que se usó la masa molar de 28 g/mol, el oxígeno tiene una masa molar de 16 g/mol e igualmente el oxígeno molecular es di atómico así que se usó una masa molar de 32 g/mol (Brown, 2004) así se obtuvo el peso de cada gas en la cámara.

Posteriormente se realizó el mismo procedimiento pero cambiando la presión atmosférica por la presión máxima de vacío de 1Pa.

También se realizó el mismo procedimiento para una presión de 15Kpa que es la presión que puede controlar el sistema automático.

Por la ley de Dalton se sabe que la suma de las presiones de cada gas es igual a la presión total, cuando se realiza la inyección del gas inerte debe alcanzar la presión atmosférica entonces se aplicó la ecuación 22 (Brown, 2004).

$$P_t = P_i + P_{O_2} + P_{N_2} \quad [22]$$

Dónde

P_t : Presión total

P_i : Presión que ocupará el gas inerte inyectado

P_{O_2} : Presión de oxígeno restante

P_{N_2} : Presión del nitrógeno restante.

La presión total es igual a la atmosférica, se despejó la presión del gas inerte P_i y con esta presión se utilizó la ecuación 20 para obtener el número de moles del gas inerte, posteriormente se multiplicó por su masa molar y así se

obtuvo el peso del gas necesario para el proceso dependiendo del gas a utilizar.

3.4.6 SISTEMA DE CONTROL

Las condiciones fundamentales para un proceso de desinsectación por anoxia exitoso son que dentro de la cámara se mantenga una humedad relativa, temperatura y concentración de oxígeno adecuada.

Para alcanzar el porcentaje de oxígeno deseado se diseñó un sistema que extrae todo el aire generando un vacío bajo y se reemplaza este aire atmosférico con un gas inerte reduciendo el porcentaje de oxígeno en la cámara, si no se alcanza el nivel deseado se realiza el vaciado e inyección del gas inerte las veces necesarias hasta obtener esta condición, se calculó matemáticamente el nivel de oxígeno reducido por el vacío mientras que el sensor ME3-O2 da una señal de salida indicando que el nivel de oxígeno está cerca del 0% siempre.

Al inyectar el gas inerte se dio la alternativa de pasar directo a la cámara o a través de un humidificador, la vía por la que este transite se gobierna por el sensor de humedad HS1101, si la humedad relativa en la cámara es menor al rango necesario entonces la inyección del gas se la hace a través del humidificador, si la humedad relativa supera el nivel deseado pasa seco a la cámara. Siempre y cuando el sensor de oxígeno no de ninguna señal de salida y el sensor de humedad indique que el rango de humedad relativa es el necesario se para el proceso de vaciado e inyección del gas.

La temperatura necesaria en los tratamientos es ambiental por lo que no se requirió un control pero mediante el sensor LM35 se la monitorea.

3.4.6.1 Sistema Neumático

Mediante el software FluidSim se realizó la simulación de vaciado e inyección de gas, dado que el software no cuenta con las herramientas para simular los sensores, se simuló las señales de control mediante pulsadores.

De la misma manera para simular el vaciado se utilizó un cilindro de doble efecto y un compresor que indique cuando se ha vaciado la cámara. Se utilizó solenoides para realizar el control de posición de las válvulas.

Se realizaron 2 esquemas, uno de flujo que es el que indica la ubicación y distribución de válvulas y compresores, y uno de control que es el que indica las conexiones de bobinas y sensores para gobernar el sistema y así se tuvo una idea análoga de cómo funciona el sistema.

Posteriormente se modelaron las líneas de flujo mecánicamente para poder observar la distribución de espacios.

3.4.6.2 Sistema Digital

El sistema de control digital se lo realiza con el microcontrolador Arduino y se lo programa con el software LabVIEW de National Instruments. Tomando esto en cuenta lo primero que se hizo fue cargar la interface entre el software y el microcontrolador.

Una vez configurado y listo para la programación se tomó en cuenta todos los aspectos que se necesitan para poder desarrollar un sistema de control.

Primero se programó la adquisición de datos, es decir las señales analógicas que los sensores simulados enviarán al Arduino y este transmite al software, después de haber tenido una lectura de las señales de los sensores, el software interpreta valores y desplegará de una forma visual sus valores.

En el caso del sensor de temperatura LM35 no se lo simuló ya que se puede usar el sensor real, la relación de voltaje temperatura es de 10mv/ °C, para el sensor de humedad relativa la salida de voltaje viene dada por la ecuación 23 (Humirel, 2002).

$$V_{out} = V_{cc} * ((0,00474 * \%HR) + 0,2354) \quad [23]$$

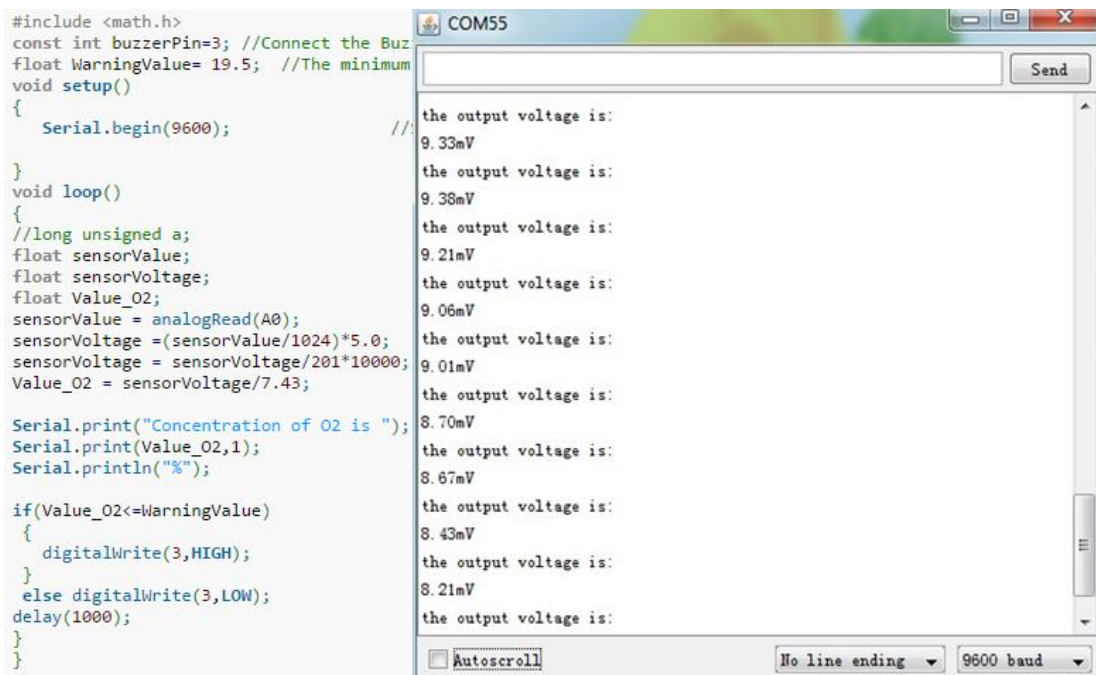
Esta ecuación se aplica al rango de humedad relativa de 5% a 99%.

Para realizar el escalamiento del sensor de oxígeno se basó en la página web de la empresa del fabricante de la placa de acondicionamiento donde en la figura 17 muestra la adquisición de datos en mV. (Seeeds, 2015).

Por último se realizó el escalamiento del sensor de presión MPX4115A dado que este tiene una salida lineal y tiene una salida de 0.2V a 4.8V se realizó el escalamiento mediante la ecuación de la recta expresada por la ecuación 24.

$$f(x) = a(x) + b \quad [24]$$

Una vez escalado el voltaje se realizó el mismo procedimiento para la presión en relación a las salidas de voltaje



```
#include <math.h>
const int buzzerPin=3; //Connect the Buz
float WarningValue= 19.5; //The minimum
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}
void loop()
{
  //long unsigned a;
  float sensorValue;
  float sensorVoltage;
  float Value_O2;
  sensorValue = analogRead(A0);
  sensorVoltage = (sensorValue/1024)*5.0;
  sensorVoltage = sensorVoltage/201*10000;
  Value_O2 = sensorVoltage/7.43;

  Serial.print("Concentration of O2 is ");
  Serial.print(Value_O2,1);
  Serial.println("%");

  if(Value_O2<=WarningValue)
  {
    digitalWrite(3,HIGH);
  }
  else digitalWrite(3,LOW);
  delay(1000);
}
```

COM55

the output voltage is:
9.33mV
the output voltage is:
9.38mV
the output voltage is:
9.21mV
the output voltage is:
9.06mV
the output voltage is:
9.01mV
the output voltage is:
8.70mV
the output voltage is:
8.67mV
the output voltage is:
8.43mV
the output voltage is:
8.21mV
the output voltage is:

Autoscroll No line ending 9600 baud

Figura 17. Adquisición de datos seeeds

3.4.6.3 Panel de control de potencia

Se diseñó que el sistema sea alimentado por corriente alterna, por lo que este requiere de un panel de control de potencia para electro válvulas y la bomba de vacío. En cuanto al microcontrolador Arduino, este se alimenta por una batería de 9 V conectada directamente

El diagrama de circuito es graficado con la ayuda del software de diseño electrónico y la caja donde este se almacena con el software Inventor CAD.

3.4.7 EXPERIMENTACIÓN Y ANÁLISIS

Una vez simulados los sistemas mecánicos se pasó al análisis de los resultados arrojados realizando las comparaciones con distintos métodos de simulación, así obteniendo un claro concepto del comportamiento mecánico en la realidad.

Se analizaron las simulaciones electrónicas del sistema de donde se tomó las distintas gráficas que validan el sistema en un uso real.

Con estas se pasó construcción de un modelo para experimentación, en este se realizó vacío y así se probó la funcionalidad de la geometría mecánica, verificación de la obtención de vacío y el adecuado funcionamiento de los elementos selladores, además de la importancia de elementos neumáticos que no pudieron ser simulados en software.

3.4.8 COTIZACIÓN

Junto al análisis de resultados se obtuvo un diseño del sistema validado para construcción y funcionamiento, mientras que con el modelo para experimentación se tomaron en cuenta condiciones imprevistas pero que pudieron ser controladas. Con estos aspectos se realizó la obtención de cotizaciones de todos los elementos necesarios para realiza la realización del sistema en su totalidad

4. DISEÑO

A través de la metodología antes expuesta se realiza el diseño del proyecto y se le somete a las respectivas simulaciones.

4.1 GEOMETRIA DE LA CÁMARA

Los criterios para la construcción de la cámara antes mencionados, son comparados mediante la ponderación de la tabla 3, estos valores son sumados respectivamente y se obtuvo un valor porcentual de cada uno como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Tabla de ponderación de criterios de ingeniería

Criterios de Ingeniería	Vida útil	Man	Seguridad	Volumen	Peso	Térmico	Costo	Resist	Control	Diseño	Σ +1	Ponderación
Vida útil		1	1	0	0	1	1	1	0.5	1	7.5	0.12
Man	0		0	1	1	1	1	1	0.5	1	7.5	0.12
Seguridad	0	1		0	0	0	1	1	1	1	6	0.096
Volumen	0	0.5	0		1	0	0.5	0	0	1	4	0.064
Peso	0	0.5	0	1		0.5	1	0.5	0	1	5.5	0.088
Térmico	0	1	0	1	0		1	0	0	1	5	0.08
Costo	1	1	1	1	1	0.5		0.5	0.5	1	8.5	0.136
Resist	0	1	0	0	0	0.5	1		0	1	4.5	0.072
Sistema de Control	0	1	0.5	0	0	0	1	0		1	4.5	0.072
Diseño	1	1	1	1	1	1	0.5	1	1		9.5	0.152
											Σ 62,5	1

Las abreviaturas Man se refiere a manufactura, Resist a resistencia y Térmico a la impermeabilidad térmica

En la tabla 6 se muestra la cuantificación de los criterios y de las opciones de cámara utilizando la ponderación de la tabla 4.

Tabla 6. Tabla para selección de alternativa

Alternativa /Criterios de Ingeniería	Vida útil	Man	Seguridad	Volumen	Peso	Térmico	Costo	Resist	Control	Diseño
Bolsa Cuerpo	1	5	5	5	5	1	3	1	4	2
Prismático Cuerpo	5	2	5	5	2	5	3	4	4	4
Cilindro	5	4	5	5	4	5	3	4	4	4

Los valores de la tabla 6 son multiplicados por el valor porcentual de cada criterio de la tabla 4, todos los valores son sumados y se escoge el de mayor valor como se muestra en la tabla 7.

Alternativa/ Criterios de Ingeniería	Vida útil	Man	Seguridad	Volumen	Peso	Térmico	Costo	Resist	Control	Diseño	Σ
Bolsa Cuerpo	0,1	0,6	0,48	0,32	0,44	0,08	0,4	0,07	0,28	0,3	3,1
prismático Cuerpo	0,6	0,24	0,48	0,32	0,17	0,4	0,4	0,28	0,28	0,6	3,8
cilindro	0,6	0,48	0,48	0,32	0,35	0,4	0,4	0,28	0,28	0,6	4,2

Tabla 7. Tabla Final de selección de alternativa

Se obtuvo como mejor opción el usar una forma cilíndrica para la cámara.

4.2 CILINDRO PRINCIPAL

Utilizando la 2 ecuación 2 con el S_y del acero inoxidable 304 y un factor de seguridad 2.5 se encuentra el esfuerzo admisible σ_{adm}

$$\sigma_{adm} = \frac{241Mpa}{2.5}$$

$$\sigma_{adm} = 96.4Mpa$$

Este se reemplaza por $[\sigma']$ en la ecuación 3, junto a las ecuaciones 4 y 5 para poder despejar $[t]$ de la siguiente manera.

$$96.4 \text{ Mpa} = \sqrt{\frac{0.102335 \text{ Mpa} * 1.5 \text{ m}^2}{2 * t} + \frac{0.102335 \text{ Mpa} * 1.5 \text{ m}^2}{4 * t} - \left(\frac{0.101325 \text{ Mpa} * 1.5 \text{ m}}{2 * t} * \frac{0.101325 \text{ Mpa} * 1.5 \text{ m}}{4 * t} \right)}$$

$$9.292 \times 10^{15} \text{ pa}^2 = \frac{5.77 \times 10^9}{t^2} + \frac{1.44 \times 10^9}{t^2} - \frac{2.88 \times 10^9}{t^2}$$

$$9.292 \times 10^{15} \text{ pa}^2 = \frac{4.33 \times 10^9 \text{ pa}^2 \text{ m}}{t^2}$$

$$t^2 = \frac{4.33 \times 10^9 \text{ pa}^2 \text{ m}^2}{9.292 \times 10^{15} \text{ pa}^2}$$

$$t = 0.00068 \text{ m} \approx 0.7 \text{ mm}$$

Dado que en el mercado no se puede obtener un espesor de 0.7 mm se busca un espesor de 0.8 mm, para poder comprobar que las ecuaciones utilizadas para un cilindro de pared delgada están bien aplicadas se utiliza la ecuación 6 con el espesor obtenido

$$\frac{1.5 \text{ m}}{8 \times 10^{-4} \text{ m}} = 1875 > 20$$

Así se demostró que la cámara se comporta como un cilindro de pared delgada y los cálculos son acertados.

Con el espesor obtenido por medio del esfuerzo admisible se reemplaza en la ecuación 4 y se obtiene que el esfuerzo tangencial.

$$\sigma_t = \frac{0,101325 \text{ Mpa} * 1.5 \text{ m}}{2 * 8 \times 10^{-4} \text{ m}}$$

$$\sigma_t = 94.99 \text{ Mpa}$$

Se utiliza la ecuación 5 para la obtención del esfuerzo lineal

$$\sigma_l = \frac{0,101325 \text{ Mpa} .1,5 \text{ m}}{4 * 8 \times 10^{-4} \text{ m}}$$

$$\sigma_l = 47.49 \text{ Mpa}$$

Conocidos los 2 esfuerzos tangencial y longitudinal, mediante la ecuación 3 se calcula el esfuerzo de Von Mises

$$\sigma' = \sqrt{94.99^2 \text{ Mpa} + 47.49^2 \text{ Mpa} - 94.99 \text{ Mpa} * 47.49 \text{ Mpa}}$$

$$\sigma' = 82.26 \text{ Mpa}$$

Por último se comparan los esfuerzos de Von Mises y el esfuerzo admisible.

$$82.26 \text{ Mpa} < 96.4 \text{ Mpa}$$

Como resultado se obtuvo que un espesor de 0.8 mm que es menor al admisible lo que lo hace aceptable para resistir la presión

Para la manufactura se obtiene el tamaño de la plancha mediante la ecuación 7

$$P = 1.5 \text{ m} * \pi$$

$$P = 4.72 \text{ m}$$

Las planchas de acero inoxidable se venden en una medida estándar de 1.22 m x 2.44 m por esta razón es que para poder obtener el cilindro de 1.5 m de diámetro se requiere hacerlo mediante 2 placas la una 1.22 m x 2.44 m y la otra de 1.22 m x 2.28 m y se recorta el 0.22 m de cada plancha.

En la figura 18 se muestra el cilindro con sus 2 placas en colores azul y blanco transparente, en esta misma se puede apreciar los puntos donde se unen y requieren soldadura.

En la figura 19 se verifica que la longitud de la placa es la adecuada al realizar la operación "Go to Flat Pater" la cual despliega la plancha más grande que es de 2.44 m, la cual es la medida comercial.

Se realizó la simulación de diferencia de presión causadas por el vacío a 1Pa, en esta simulación se hizo un énfasis en la zona de soldadura previniendo que es una zona crítica, por esto se utilizó la herramienta de "Bonded" para realizar la unión entre soldadura y placas, esta opción se aplica por default desde la exportación del software CAD y es aceptada

debido a que esta herramienta es la más preferible al momento de analizar esfuerzos con grandes deformaciones en un mallado discontinuo, esta opción permite que las cargas no sufran una discontinuidad en los esfuerzos (David, 2002) la simulación arroja el resultado en la figura 20.

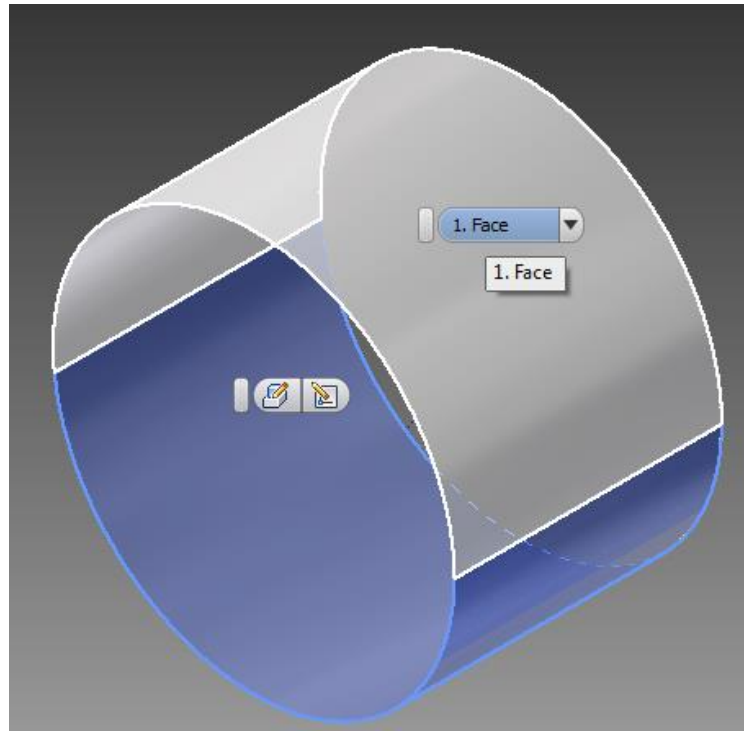


Figura 18. Placas cilíndricas

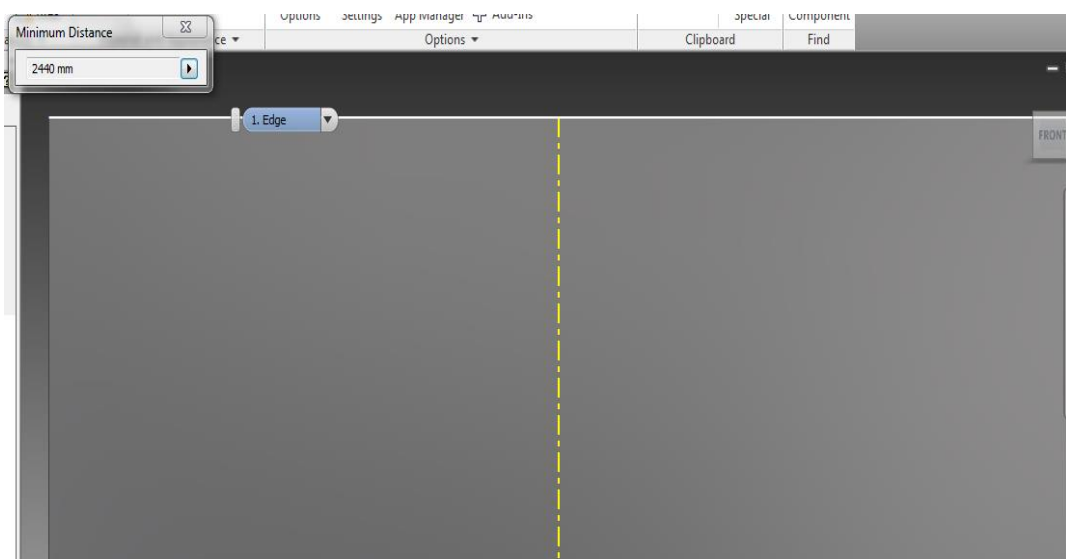


Figura 19. Plancha de acero Inoxidable

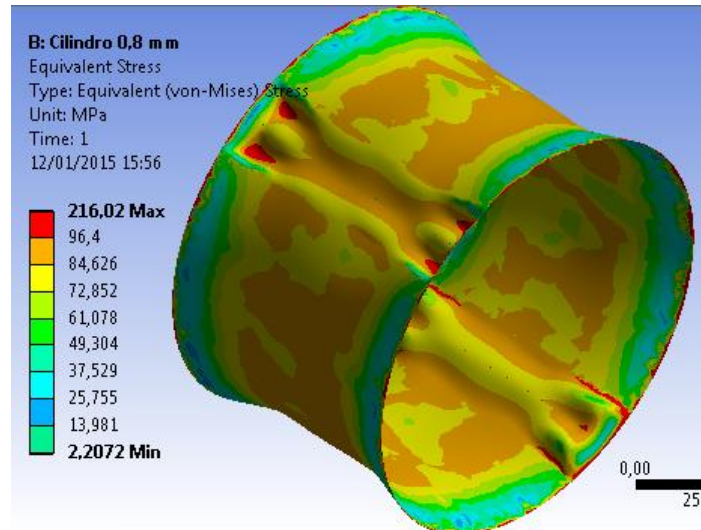


Figura 20. Esfuerzo en cilindro de 0.8 mm

Como resultado se obtuvo que el cilindro resiste la presión pero el esfuerzo cerca de las sueldas y los bordes es más grande que el admisible para lo que por seguridad se incrementa el espesor a 1mm.

Con este nuevo espesor se recalcula el esfuerzo tangencial utilizando la ecuación 4.

$$\sigma_t = \frac{0,101325 \text{ Mpa} \cdot 1,5m}{2 * 1 \times 10^{-3} \text{ m}}$$

$$\sigma_t = 76 \text{ Mpa}$$

Con la ecuación 5 se calcula el esfuerzo longitudinal

$$\sigma_l = \frac{0,101325 \text{ Mpa} \cdot 1,5m}{4 * 1 \times 10^{-3} \text{ m}}$$

$$\sigma_l = 37.99 \text{ Mpa}$$

Y con la ecuación 3 se calcula es esfuerzo de von Mises para estos esfuerzos

$$\sigma' = \sqrt{76^2 \text{ Mpa} + 37.99^2 \text{ Mpa} - 76 \text{ Mpa} * 37.99 \text{ Mpa}}$$

$$\sigma' = 65.81 \text{ Mpa}$$

Conocido que el nuevo espesor da un esfuerzo menor al admisible se modela el cilindro 3D con el espesor de 1mm y se pasa a la simulación de esfuerzos obteniendo los siguientes resultados en la figura 21.

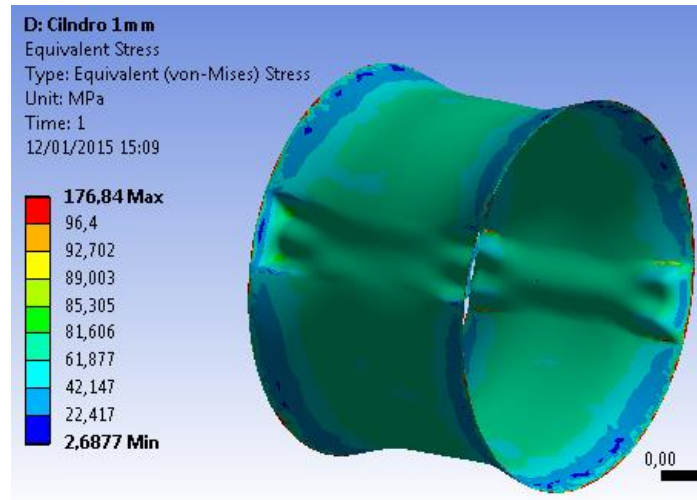


Figura 21. Esfuerzo en cilindro de 1 mm

Como resultado se obtuvo que para el cilindro de 1mm de espesor en los bordes y en pequeñas zonas cercanas a la zona de suelda se sobrepasa el esfuerzo permisible, este modelo es más aceptable así que se realizó la simulación de deformación y de factor de seguridad con los resultados obtenidos en las figuras 22 y 23.

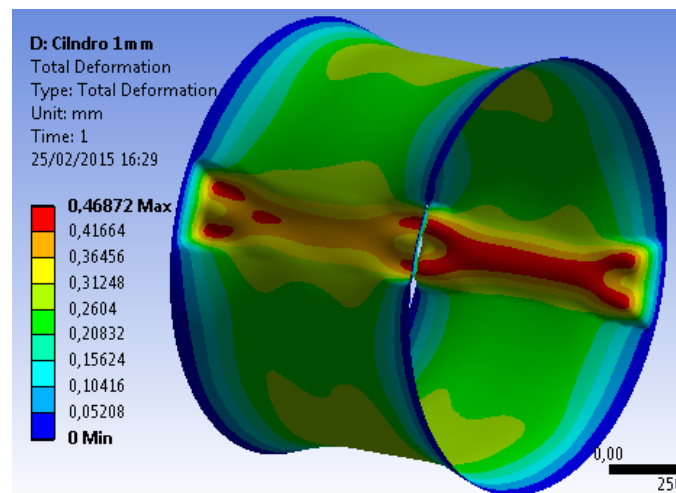


Figura 22. Deformación de cilindro 1 mm

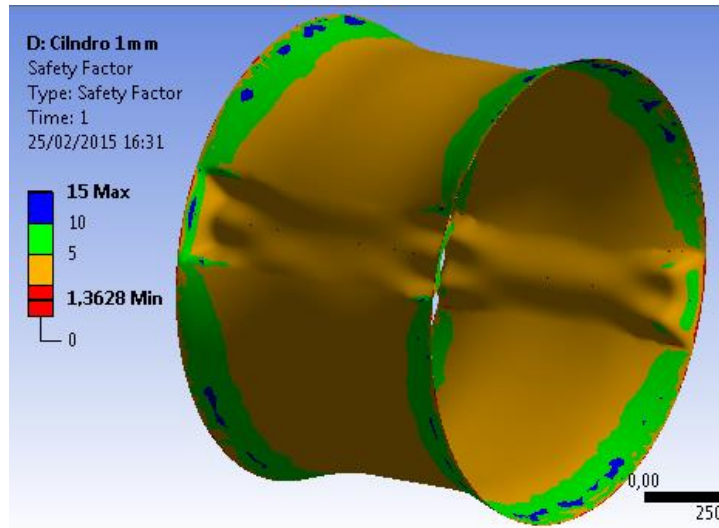


Figura 23. Factor de seguridad cilindro 1 mm

Aunque el cilindro de 1mm es aceptable y requeriría de refuerzo en la suelda se lleva el diseño a un cilindro de 2mm para prevenir posibles fallas o abolladuras causados por golpes o caídas en el transporte del mismo, así se recalcula el esfuerzo tangencial con el nuevo espesor utilizando la ecuación 4.

$$\sigma_t = \frac{0.101325 \text{ Mpa} * 1.5m}{2 * 2 \times 10^{-3} \text{ m}}$$

$$\sigma_t = 37.99 \text{ Mpa}$$

Una vez más se recalcula el esfuerzo longitudinal con la ecuación 5

$$\sigma_l = \frac{0.101325 \text{ Mpa} * 1.5m}{4 * 2 \times 10^{-3} \text{ m}}$$

$$\sigma_l = 32.99 \text{ Mpa}$$

Y por última vez se recalcula el esfuerzo de von Mises con la ecuación 3

$$\sigma' = \sqrt{37.99^2 \text{ Mpa} + 18.99^2 \text{ Mpa} - 37.99 \text{ Mpa} * 18.99 \text{ Mpa}}$$

$$\sigma' = 32.9 \text{ Mpa}$$

El esfuerzo de von Mises es aún menor que el anterior y el permisible por lo que se pasa a la simulación de esfuerzo, en la figura 24 se muestra la

simulación de resistencia realizada, como resultado se obtuvo que el esfuerzo es el requerido como se esperaba y no sobrepasa el admisible en ningún punto, en la figura 25 se realizó la simulación de deformación y en la figura 26 la simulación de factor de seguridad.

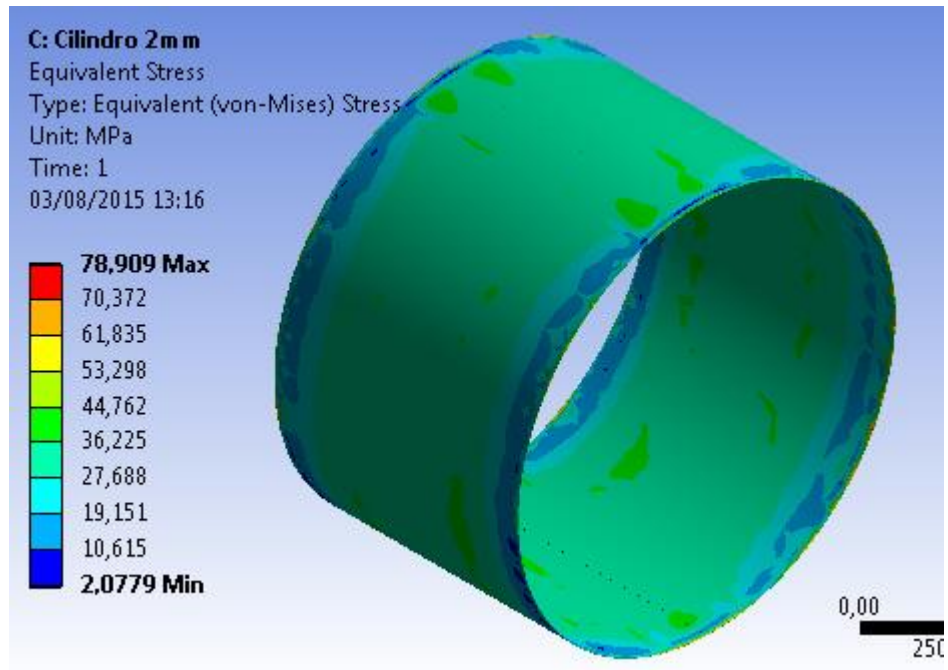


Figura 24. Esfuerzo en cilindro de 2 mm

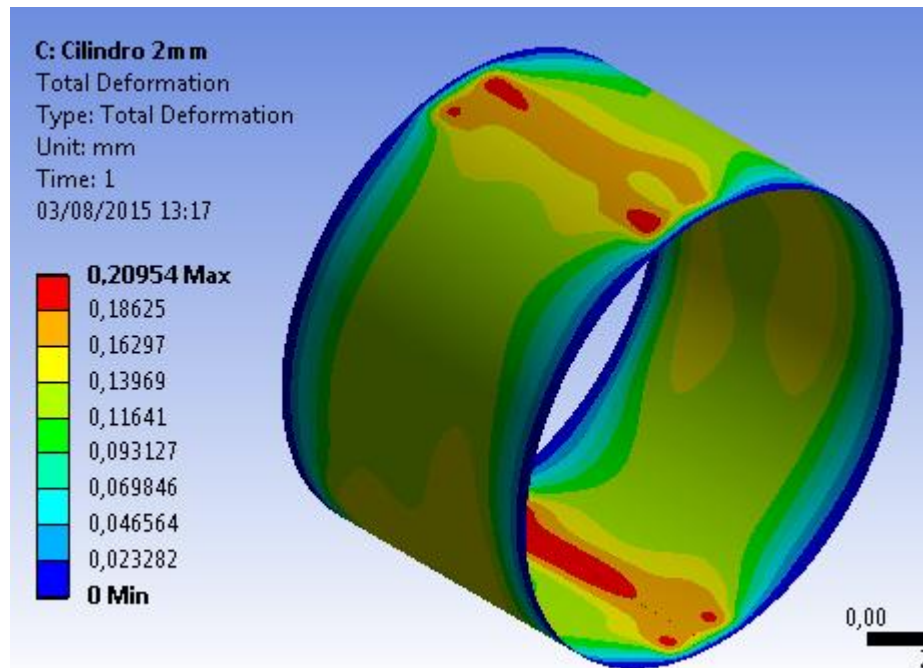


Figura 25. Deformación en cilindro de 2 mm

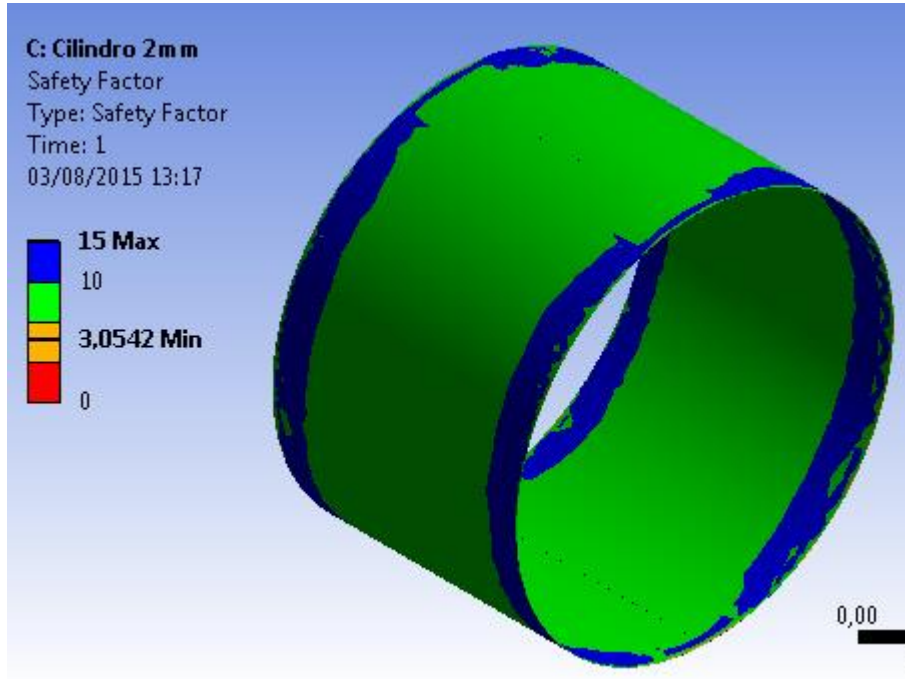


Figura 26. Factor de seguridad en cilindro de 2 mm

La simulación es validada con la calidad de su mallado que al poseer 1869540 elementos la calidad de la gran mayoría de estos se encuentra sobre el 0.75 en la figura 27 se muestra la tabla de calidad de mallado.

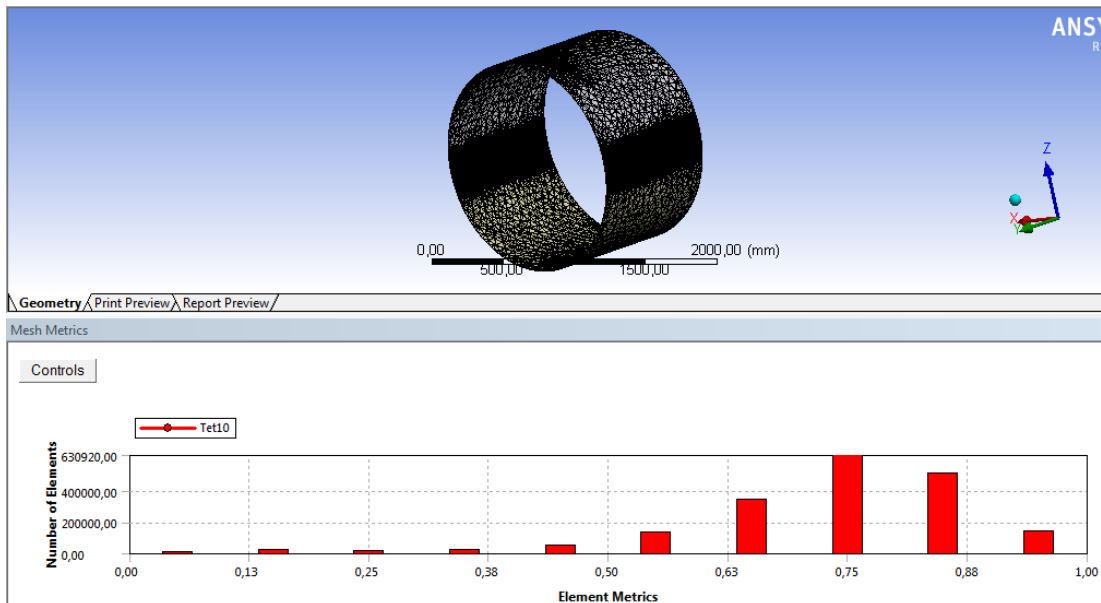


Figura 27. Calidad de mallado

Con las simulaciones pertinentes se muestra el cilindro que trabajara en la figura 28 resaltando en azul las soldas y en el anexo 1 se muestra el plano

con sus medidas además de 4 orificios que son los que se acoplen al sistema neumático y cableado eléctrico.

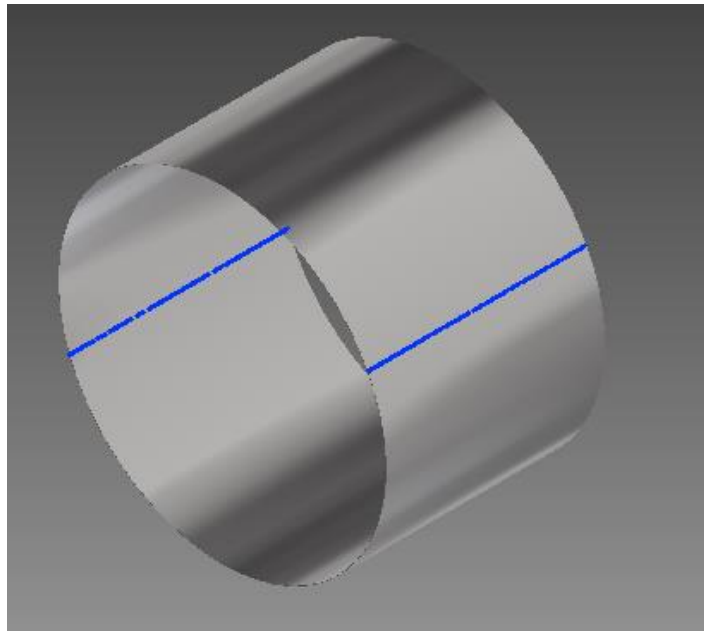


Figura 28. Cilindro

Como resultado se obtuvo un modelo aprobado tanto matemáticamente como por simulación que cumple con los requerimientos de la Facultad de Restauración y Museología.

La simulación mostró que el esfuerzo máximo en vacío será de 78.9 Mpa, es decir por debajo del admisible calculado, la deformación máxima será de 0.2 mm es decir el 10% del espesor del cilindro y por último el factor de seguridad mínimo será de 3 lo cual es ideal dado que se trabajó con un factor de 2.5

El costo de cada plancha de acero inoxidable de dichas medidas es de 188.33 dólares, en el anexo 2 se encuentra una proforma con el precio de la empresa Dipac.

4.3 PLACA TRASERA

Se realiza una simulación de una placa plana circular de 1.5 m solamente para probar como resistiría si se escogiera de esta manera, se la modela con

un espesor de 0.5 mm el cual es el mínimo en el mercado y se presenta en la figura 29.

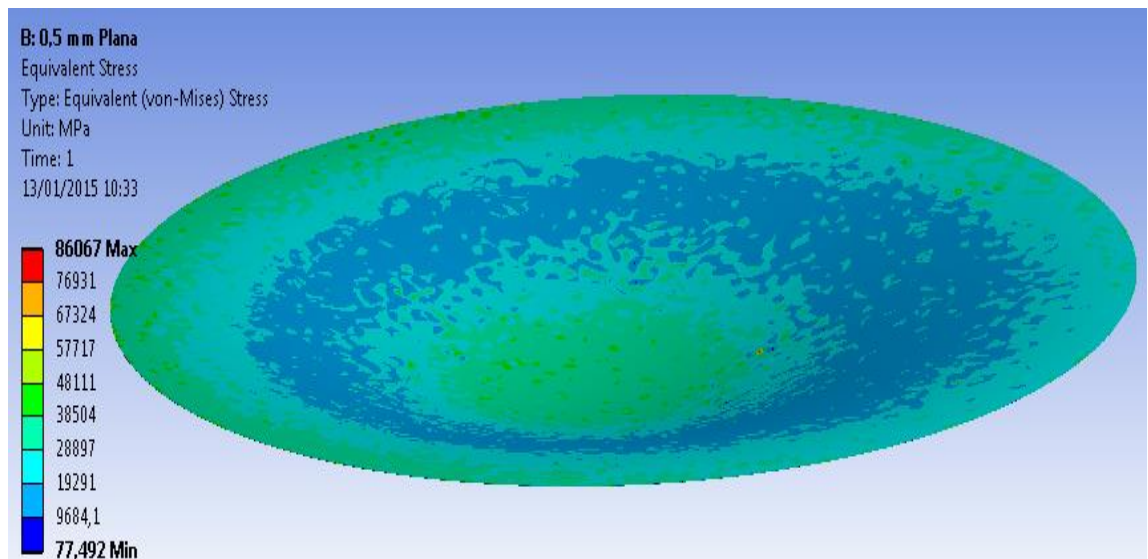


Figura 29. Esfuerzo placa plana

De una forma comparativa se realizó la simulación de una placa con el mismo espesor añadiendo una concavidad de 5 cm la que se muestra en la figura 30.

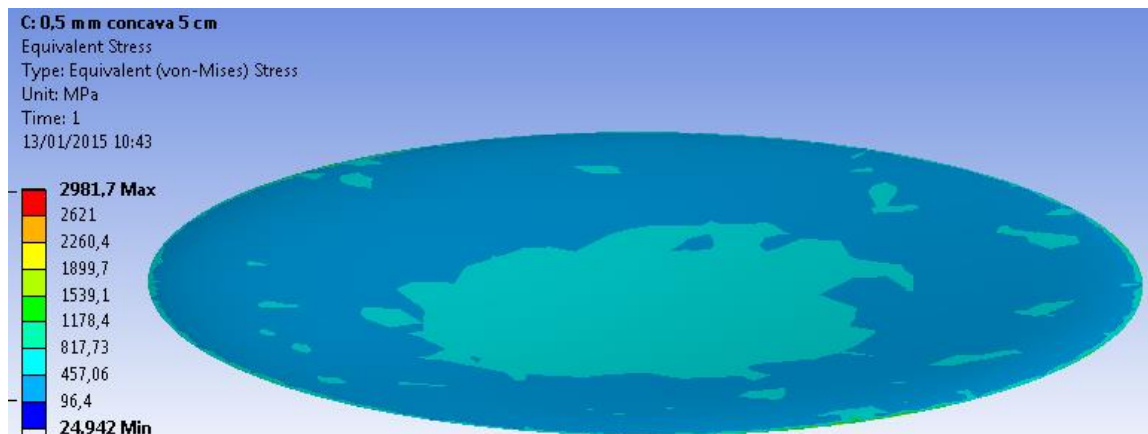


Figura 30. Esfuerzo placa de 0.5 mm concavidad de 5 cm

Como resultado de la comparación se obtuvo que placa plana no resiste ni de cerca el vacío y la placa al tener una concavidad que le da mayor resistencia .pero hay zonas que no soportan el esfuerzo y sobrepasan fácilmente el admisible, esto se supone es por el espesor de la placa.

Tomando esto en cuenta se realizó una simulación aumentando el espesor a 1mm, en la figura 31 se muestra el resultado obtenido.

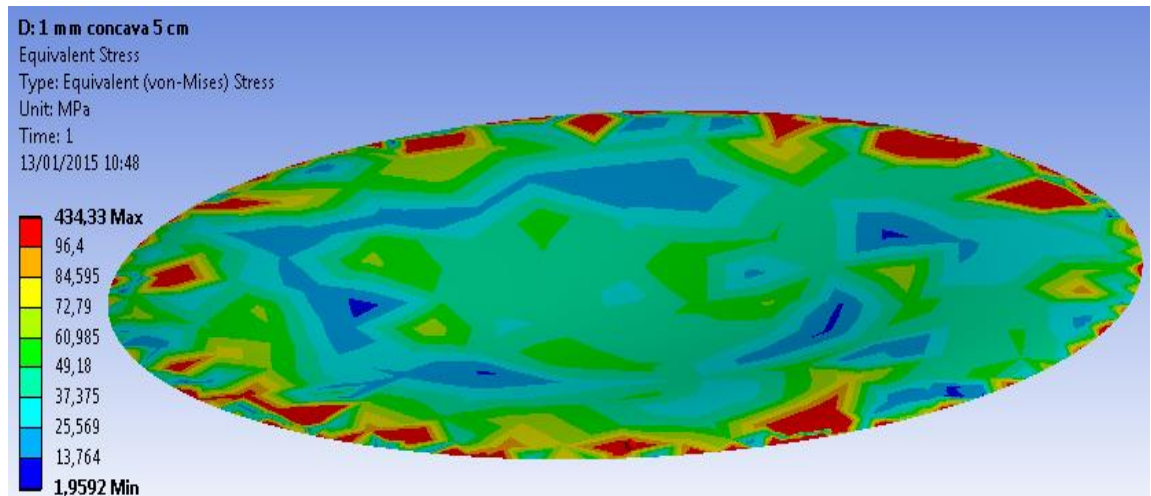


Figura 31. Esfuerzo placa de 1 mm concavidad de 5 cm

Como resultado se observó que la resistencia mejora notablemente pero aún existen zonas en las que el esfuerzo es mayor al admisible, se ve que las zonas son las más cercanas a los límites las cuales son donde se perdería concavidad

Después de haber probado la importancia del espesor y la concavidad, se utiliza la ecuación 8 con un espesor de 2mm y reemplazando el esfuerzo longitudinal por el admisible se despeja el diámetro y con este se grafica la figura 15 y se presenta en la figura 32.

$$D = \frac{96.4 \text{ Mpa} * 4 * 2 \times 10^{-3} \text{ m}}{0.101325 \text{ Mpa}}$$

$$D = 7.61 \text{ m}$$

Una vez conocidas las dimensiones de la concavidad se realiza el modelado 3D y la simulación, donde se obtuvo el resultado de la figura 33.

Como resultado se obtuvo que es notablemente más resistente pero aún hay, zonas que no pueden con la presión ya que en estas se va perdiendo la concavidad, por esto se realiza un modelo en el que la concavidad calculada de 74 mm es llevada a la mitad como se muestra en la figura 34.

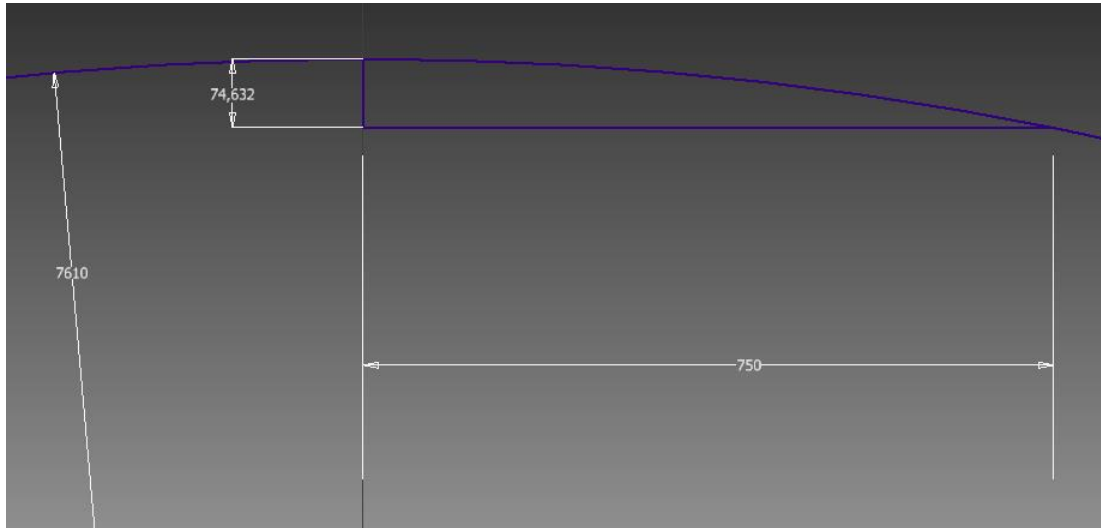


Figura 32. Concavidad de tapa trasera

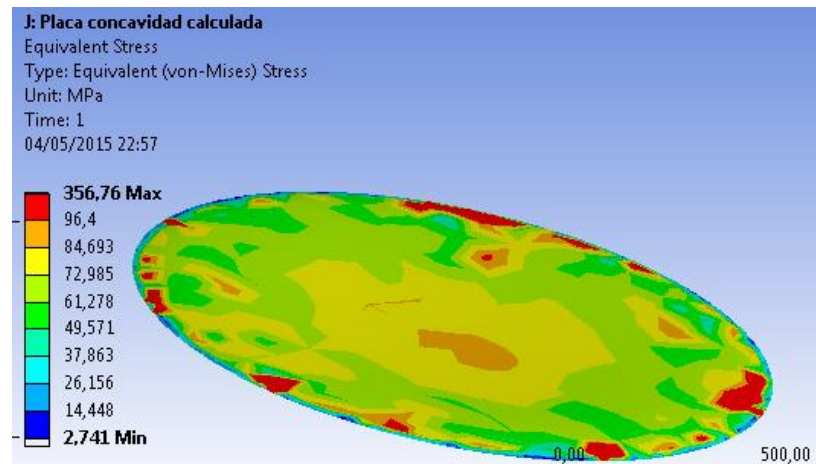


Figura 33. Esfuerzo placa con concavidad calculada

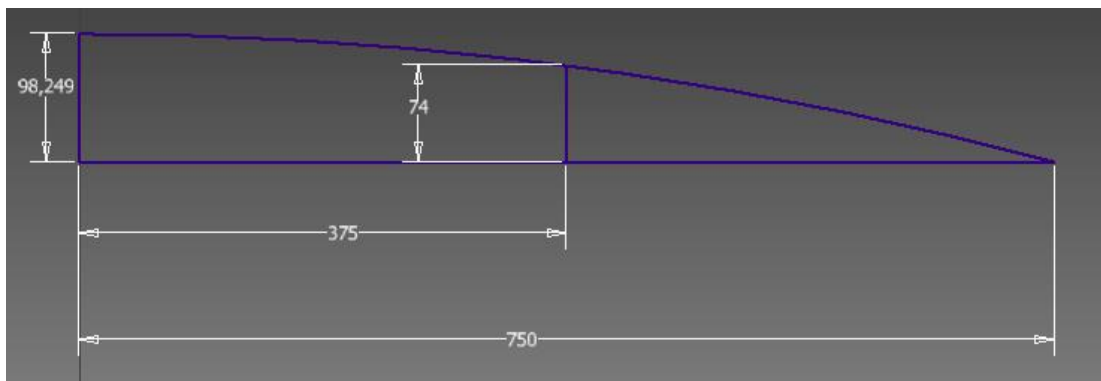


Figura 34. Ampliación de concavidad a 98.2 cm

Así la concavidad aumenta y para redondear se la modela de 10 cm y el resultado se muestra en la figura 35.

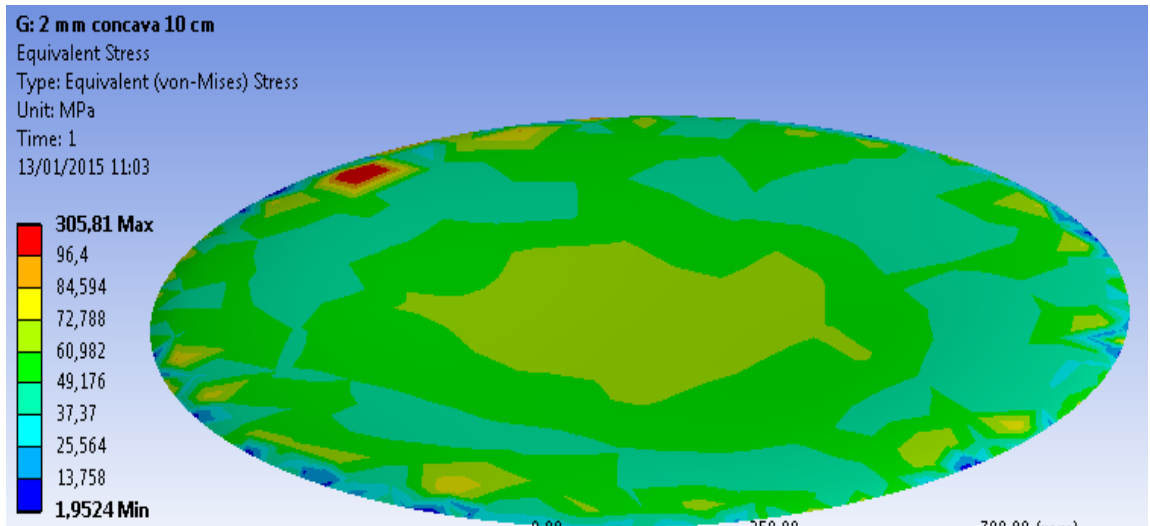


Figura 35. Esfuerzo placa de 2 mm concavidad de 10 cm

En este una pequeña zona sobrepasa el esfuerzo admisible por lo que se lleva la concavidad calculada a tres cuartos de la distancia como se muestra en la figura 36.

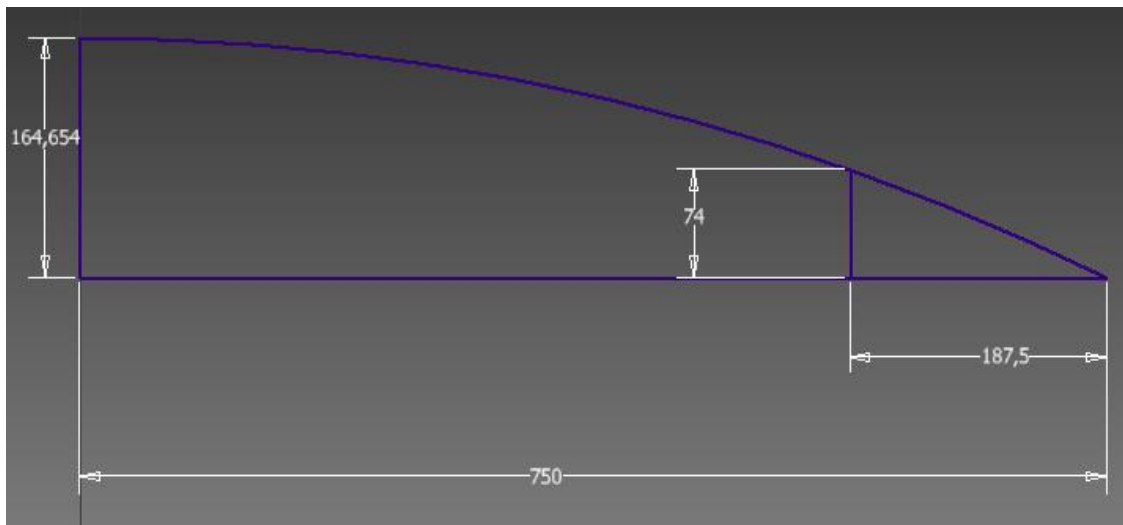


Figura 36. Ampliación de concavidad 16.4 cm

Esto eleva la concavidad a y se realiza simulación de esfuerzo arrojando el siguiente resultado en la figura 37.

Como resultado se obtuvo que ampliando la curvatura a 16.5 cm superficialmente resiste sin problemas y excede el esfuerzo en zonas ínfimas de los soportes.

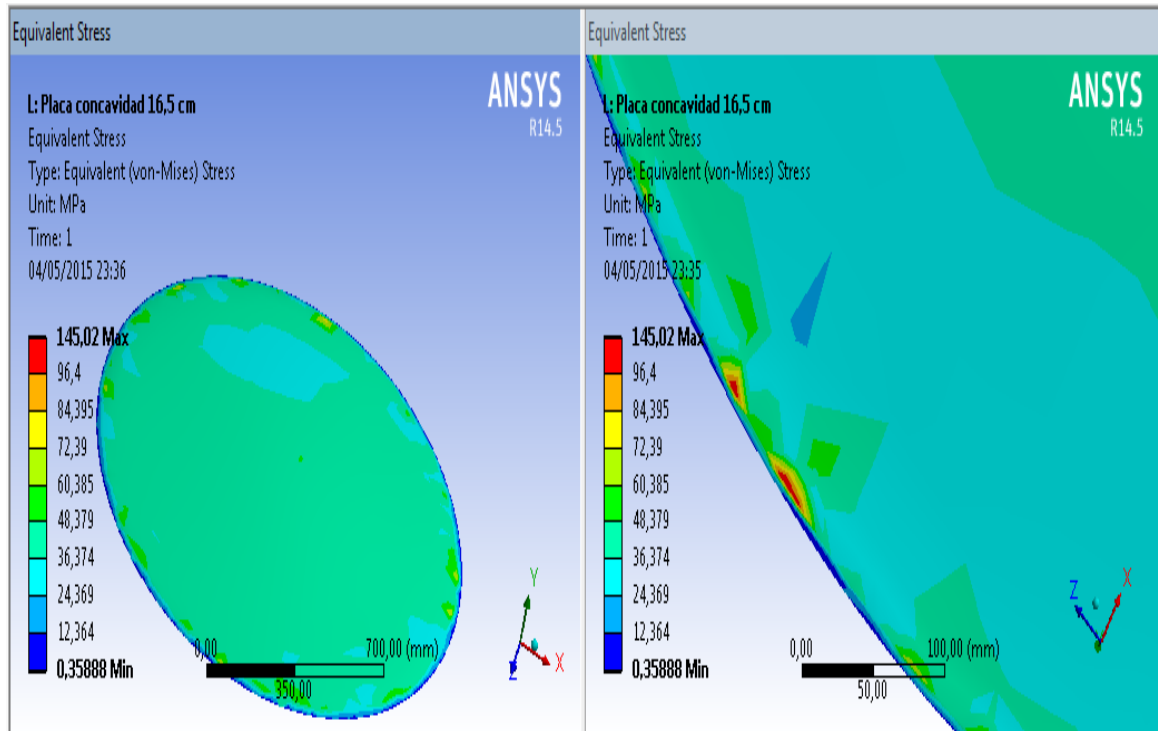


Figura 37. Esfuerzo placa concavidad 16.5 cm

Como sustento se toma el diámetro de la esfera que con un concavidad de 16.5 cm esta pasa a tener 3.36 m, con este diámetro se usa la ecuación 8 y se calcula el esfuerzo longitudinal.

$$\sigma_l = \frac{0.101325 \text{ Mpa} * 3.36 \text{ m}}{4 * 2 \times 10^{-3} \text{ m}}$$

$$\sigma_l = 42.55 \text{ Mpa}$$

$$42.55 \text{ Mpa} < 96.4 \text{ Mpa}$$

Al compararlo con el admisible se observó que es menor lo que lo hace aceptable.

Siendo la mejor opción se realizó la simulación de deformación y de factor de seguridad y se obtuvo los resultados de la figura 38

Debido a procesos de manufactura para realizar la tapa la placa circular viene de una plancha de 2.44 m 1.22 m con esta solo puede realizar una circunferencia de 1 m de diámetro, así que se diseña un placa de 2 mm con una concavidad de 16.5 cm como en la simulación pero de 1 m de diámetro

y sujeto por patinas soldadas como se muestra en la figura 39 y marcado con azul los puntos de suelda.

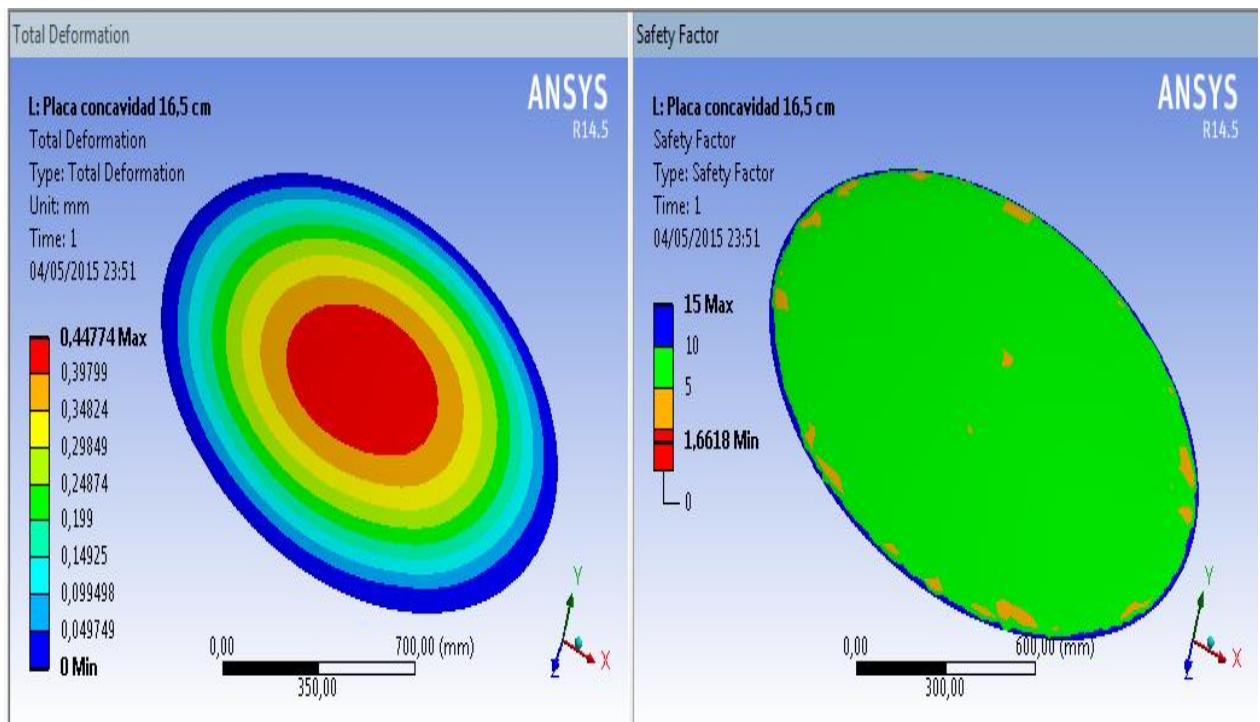


Figura 38. Deformación y factor de seguridad placa trasera

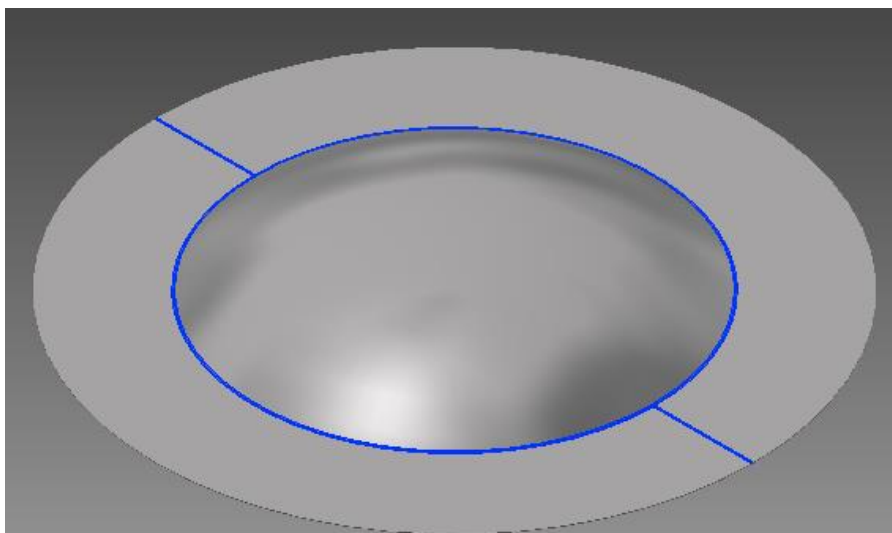


Figura 39. Placa trasera con patinas

Anteriormente se probó que la placa cóncava de 1.5 m de diámetro resiste a la presión, por lo que al reducir la placa a un diámetro de 1m esta también resistirá, a continuación se presenta la simulación de las patinas en la figura 40.

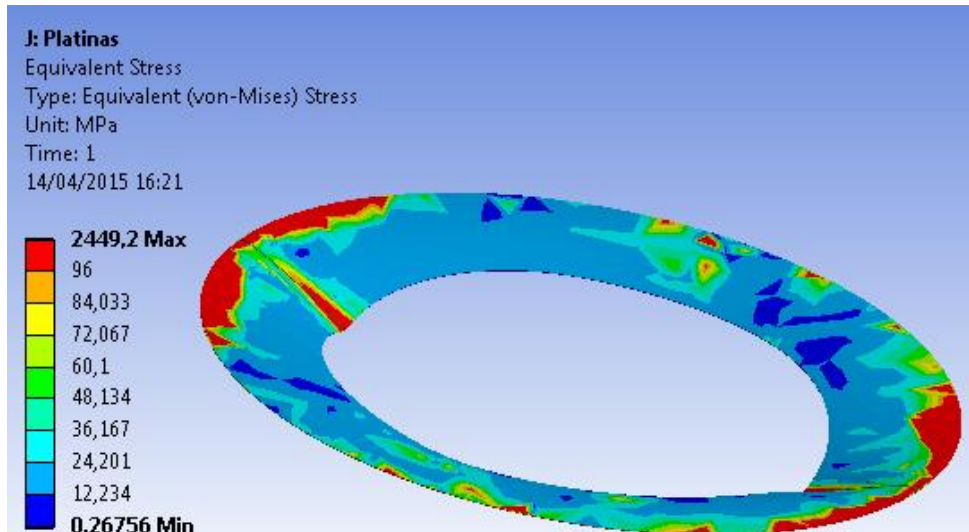


Figura 40. Esfuerzo en platinas

Como resultado se observó que al ser la platina plana y de medidas grandes no soporta la presión en vacío.

Para poder construir tapa trasera de 1.5 m de diámetro, 16.5 cm de concavidad y 2 mm de espesor se requiere de la fabricación de una plancha de acero de 1.5m la cual no existe en el mercado se la descarta hacerla en un acero inoxidable y se evalúa realizarla de la misma manera que la ventana.

4.4 VENTANA

El diámetro de la ventana no puede ser igual al del cilindro ya que este viene dentro de un marco

Ajustado al marco entra el vidrio lo que quiere decir que su diámetro es de 1,45 m, y el espesor es de 4 mm por la resistencia a la fluencia probada.

Aunque se probó que la geometría más resistente es la cóncava se realiza la simulación de una ventana plana dado que el espesor ahora es el doble, y se muestra el resultado que se obtuvo en la figura 41.

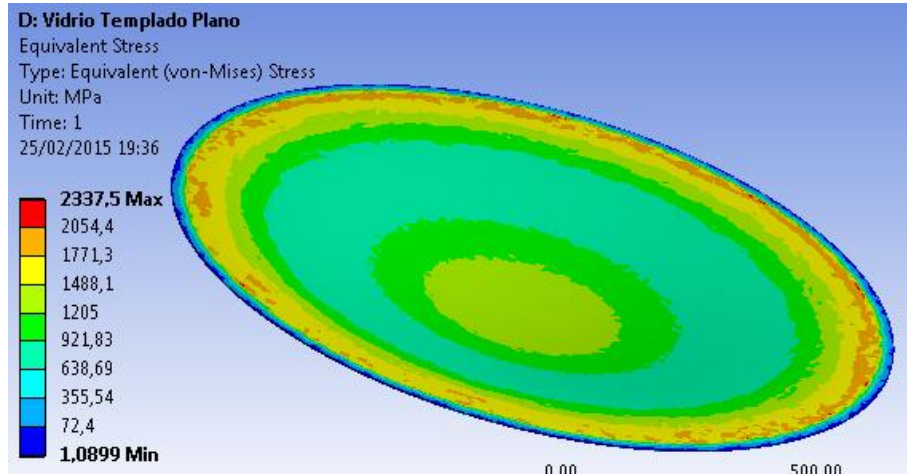


Figura 41. Esfuerzo Vidrio Plano

Como resultado se probó que la puerta plana no resiste ni de cerca el vacío a pesar de que el espesor es amplio, una vez más se comprueba que la concavidad permite una mejor distribución de fuerzas y resiste mejor la presión.

Como se probó con la placa trasera igualmente con el vidrio al tener una geometría plana no resiste ya que la forma más eficiente es la que tiene una concavidad, tomando esto en cuenta se realizó un arco de 5 cm y se pasó a la simulación de esfuerzos, en la figura 42 se muestra el resultado que se obtuvo.

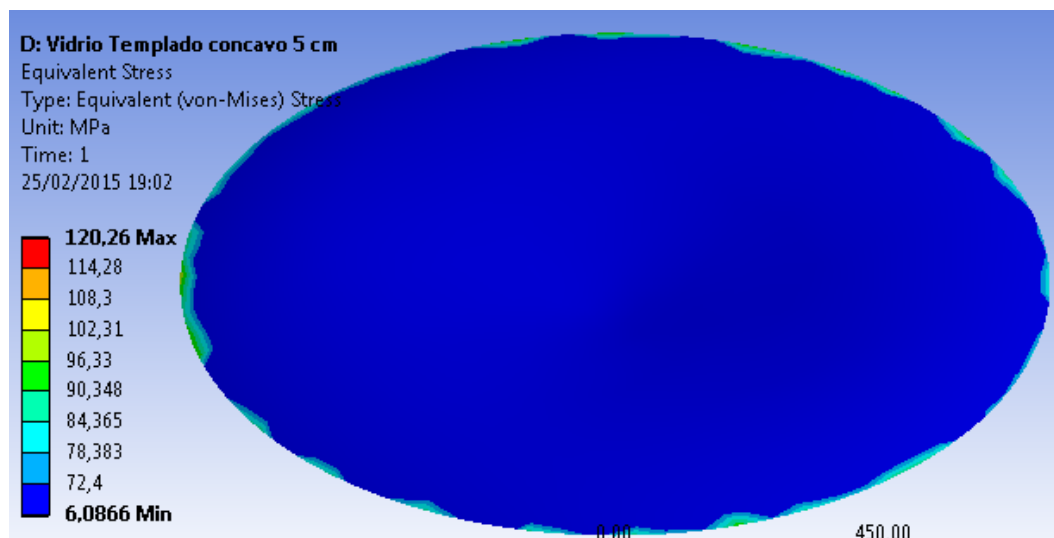


Figura 42. Esfuerzo Vidrio cóncavo 5 cm

Como resultado se aprecia que resiste fácilmente aunque hay partes que no lo hacen y en el caso del vidrio esto significa agrietamiento lo que es inadmisibles así que se realiza el cálculo para la concavidad.

Con la ecuación 2 y la resistencia a la fluencia del vidrio templado se encuentra el esfuerzo admisible

$$\sigma_{adm} = \frac{181 \text{ Mpa}}{2.5}$$

$$\sigma_{adm} = 72.4 \text{ Mpa}$$

Se lo reemplaza en la ecuación 8 junto al espesor y se obtiene el diámetro de la esfera.

$$D = \frac{72.4 \text{ Mpa} * 4 * 4 \times 10^{-3} \text{ m}}{0.101325 \text{ Mpa}}$$

$$D = 11.43 \text{ m}$$

Y al igual que la placa trasera se modela en base al diámetro de la esfera y se obtuvo una concavidad de 4.6 cm esta se lleva a tres cuarto de distancia haciendo que la altura de concavidad sea de 10 cm, con esto se realiza el modelo y la simulación con la concavidad a 10 cm arrojando el resultado de la figura 43.

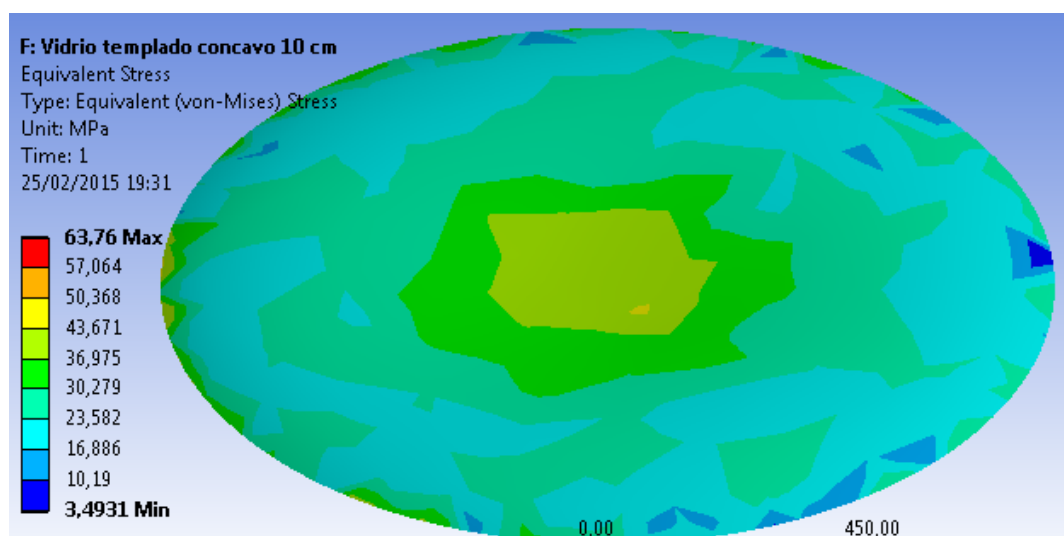


Figura 43. Esfuerzo Vidrio cóncavo 10 cm

Como resultado se obtuvo que el vidrio resiste fácilmente debido a su amplio espesor, resistencia y geometría.

Con este resultados se definió que el vidrio de la puerta será de un espesor de 4 mm con una concavidad de 10 cm se pasa al análisis de deformación y de factor de seguridad del modelo elegido en las figuras 44.

Debido a las dificultades en manufactura de la concavidad en vidrio templado como alternativa se toma la opción de un domo en acrílico Polimetilmetacrilato, el diámetro del domo será de 1.4 m para poder tener una pestaña para el marco de la puerta. Basado en los tests al material por parte de la empresa UL, utilizando la ecuación 2 se calcula el esfuerzo admisible con el esfuerzo mínimo probado.

$$\sigma_{adm} = \frac{37.024 \text{ Mpa}}{2.5}$$

$$\sigma_{adm} = 14.81 \text{ Mpa}$$

En la figura 45 se muestra la simulación con el acrílico a un espesor de 4 mm y una concavidad de 10 cm al igual que el vidrio.

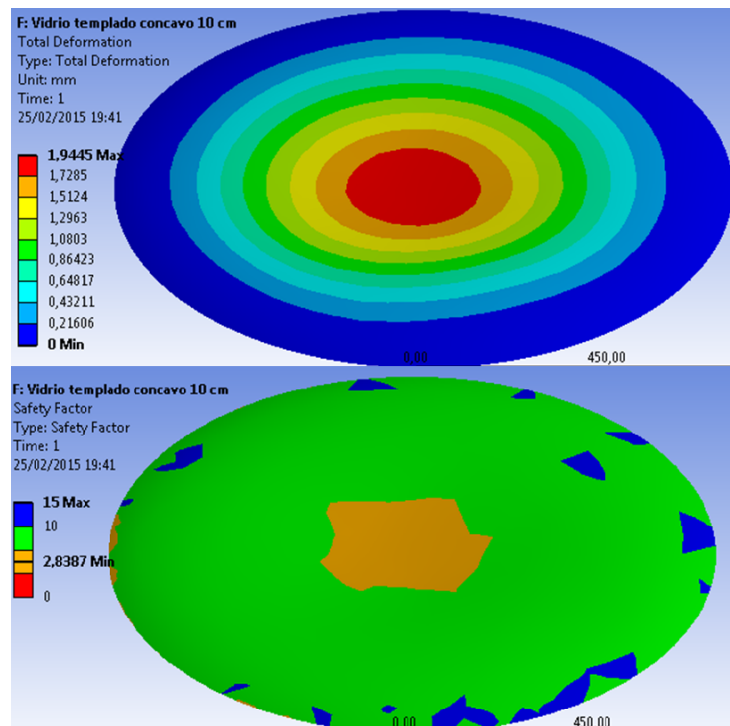


Figura 44. Deformación y factor de seguridad vidrio cóncavo de 10 cm

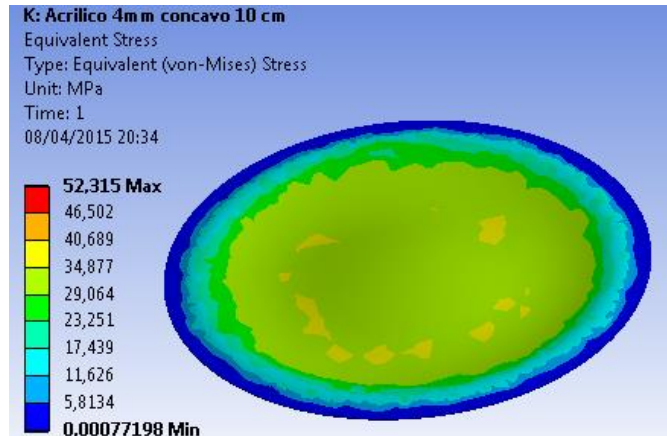


Figura 45. Esfuerzo de acrílico 4mm

Se obtuvo que el acrílico no resiste a la presión como lo hace el vidrio por lo que se prueba aumentando al espesor comercial más grueso que es el 6 mm, en la figura 46 se muestra el esfuerzo de este modelo.

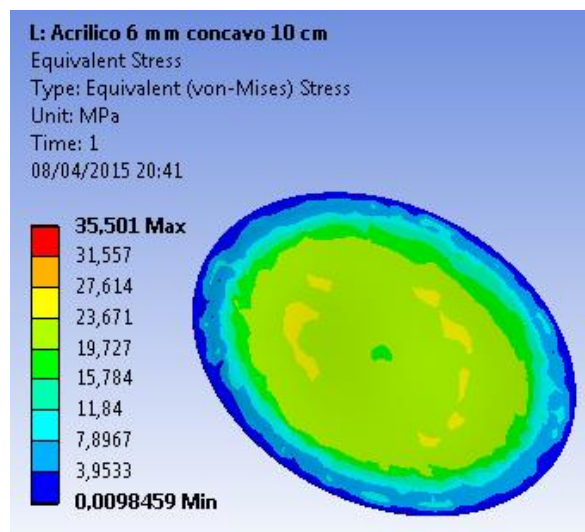


Figura 46. Esfuerzo acrílico 6 mm

Se demostró que aumentado el espesor la resistencia también mejora pero aún no es suficiente por lo que se lleva la curvatura al límite donde no se pierde el espesor que es el 20% del diámetro interno es decir una curvatura de 28 cm, en la figura 47 se muestra el esfuerzo que resiste este modelo.

Como resultado se ve que el acrílico en este punto aun no es lo suficientemente resistente por lo que se opta por realizar una simulación a la concavidad máxima de 28 cm y con el espesor más grueso que se puede

encontrar que es de 9 mm, este espesor no se lo encuentra fácilmente en el mercado pero se lo puede adquirir, en la figura 48 se muestra el esfuerzo que resiste dicho espesor.

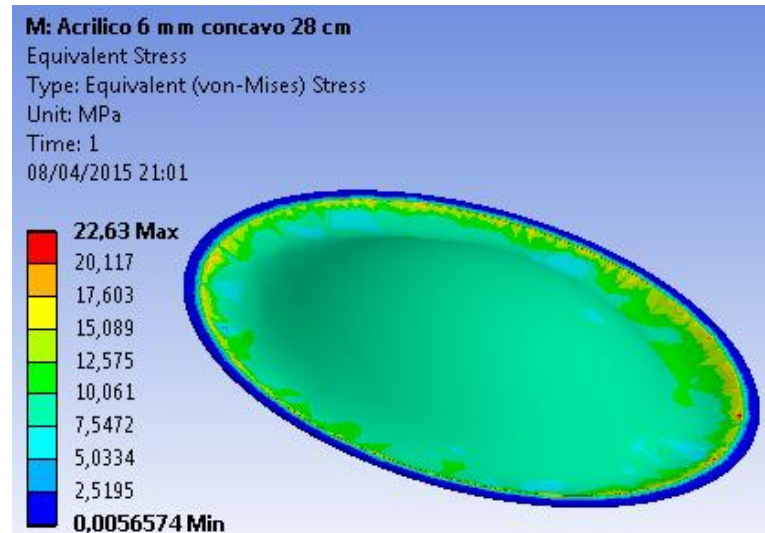


Figura 47. Esfuerzo acrílico 6 mm cóncavo 28 cm

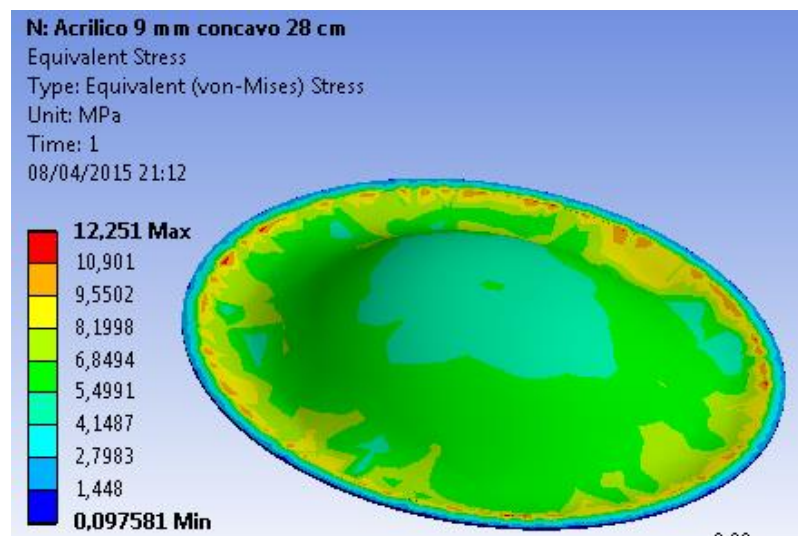


Figura 48. Esfuerzo acrílico 9 mm

Como resultado se obtuvo que este diseño tiene un esfuerzo máximo de 12.251 Mpa el cual es menor al admisible del material, para corroborar esto, se toma el espesor de 9 mm y la concavidad de 28 cm que da un diámetro a la esfera de 2.03 m y se los reemplaza en la ecuación 8.

$$\sigma_l = \frac{0.101325 \text{ Mpa} * 2.03 \text{ m}}{4 * 9 \times 10^{-3} \text{ m}}$$

$$\sigma_l = 5.71 \text{ Mpa}$$

$$5.71 \text{ Mpa} < 14.81 \text{ Mpa}$$

Al comparar matemáticamente con el admisible se obtuvo que este diseño es menor, por su fácil manufactura y resistencia es el elegido.

En la figura 49 se muestra la deformación del mismo al ser sometido al vacío y en la figura 50 su factor de seguridad

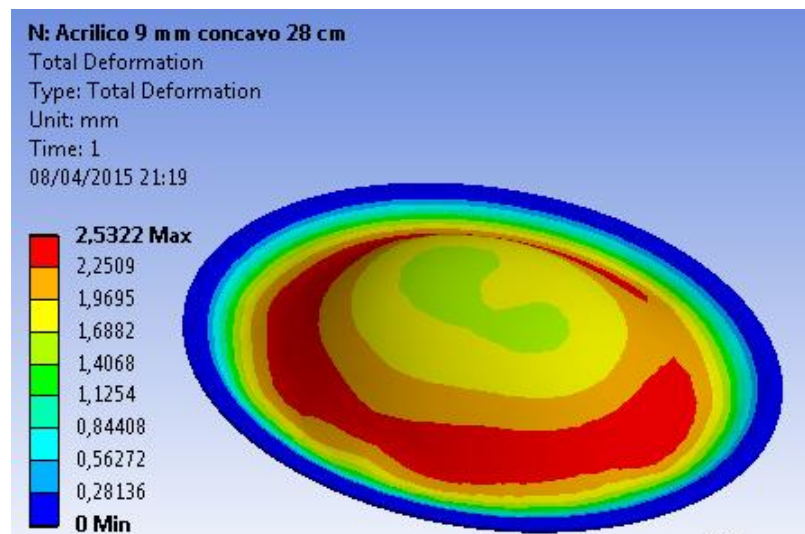


Figura 49. Deformación de acrílico

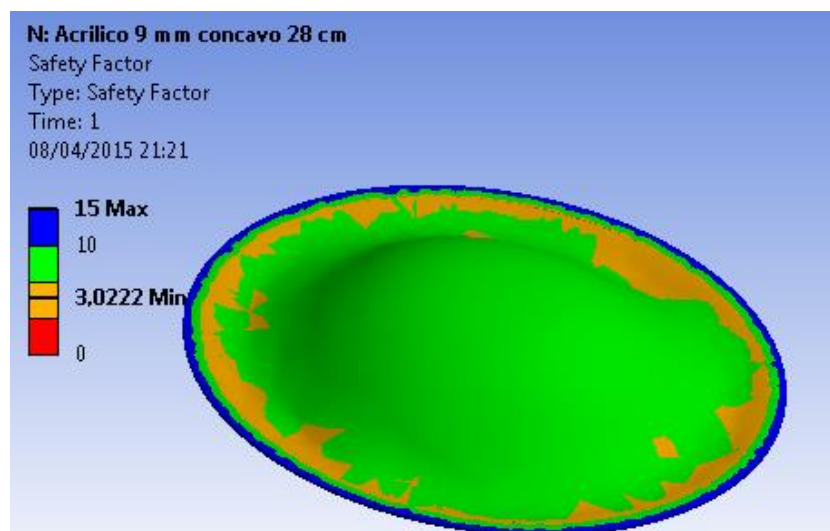


Figura 50. Factor de seguridad acrílico

Conocido la resistencia del diseño, en la figura 51 se muestra la ventana de acrílico y en el anexo 1 el plano con sus dimensiones.

Como resultado se obtuvo el diseño de una estructura que en las simulación resiste un esfuerzo de 12.25 Mpa el cual está por debajo del admisible para este material, la deformación máxima que sufrirá es de 2.5 mm la cual no es ni la tercera parte del espesor del acrílico y por último el factor de seguridad mínimo es de 3 siendo una vez más mayor al de diseño escogido, el precio de manufactura por domo se encuentra en el anexo 7.

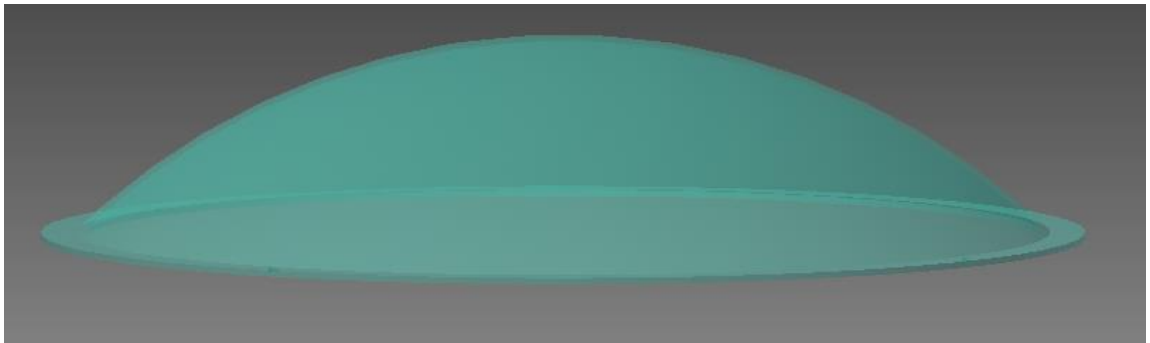


Figura 51. Ventana

4.5 ENSAMBLE CUERPO CENTRAL

Conocidas las dimensiones del cilindro principal y la placa trasera se realizó el ensamble, la puerta y la tapa trasera necesitan un lugar al cual asentarse por lo que se diseña platinas a partir de una placa de un espesor de 2 mm, Debido a que las planchas de acero inoxidable vienen en la medida de 1.22 x 2.44 de cada plancha se extrae la mitad de cada platina para soldarlas primero entre si y luego al cuerpo central.

El acrílico se fija a la platina utilizando una segunda platina por encima y amabas ajustadas por medio de 12 pernos de 3/8 de diámetro y 1 ¼ de pulgada de longitud con su respectiva tuerca, entre la primera platina y el acrílico se ubican 2 empaques O ringa de caucho, uno en el límite interno de la platina y otro en el externo, en la figura 52 se muestra el ajuste de la tapa, en la figura 53 se muestra el ensamble, en la el anexo 1 se muestran los planos con las medidas del acrílico al igual que el de las platinas.

El marco frontal que se una a la tapa es de las mismas medidas pero con distintos orificios de sujeción en el anexo 1 se muestra sus medidas.

En la figura 53 se obtuvo el ensamble del cuerpo, se aprecia en plateado el cilindro y el marco, en rojo el empaque y en azul los puntos de suelda además de la tapa acrílica.

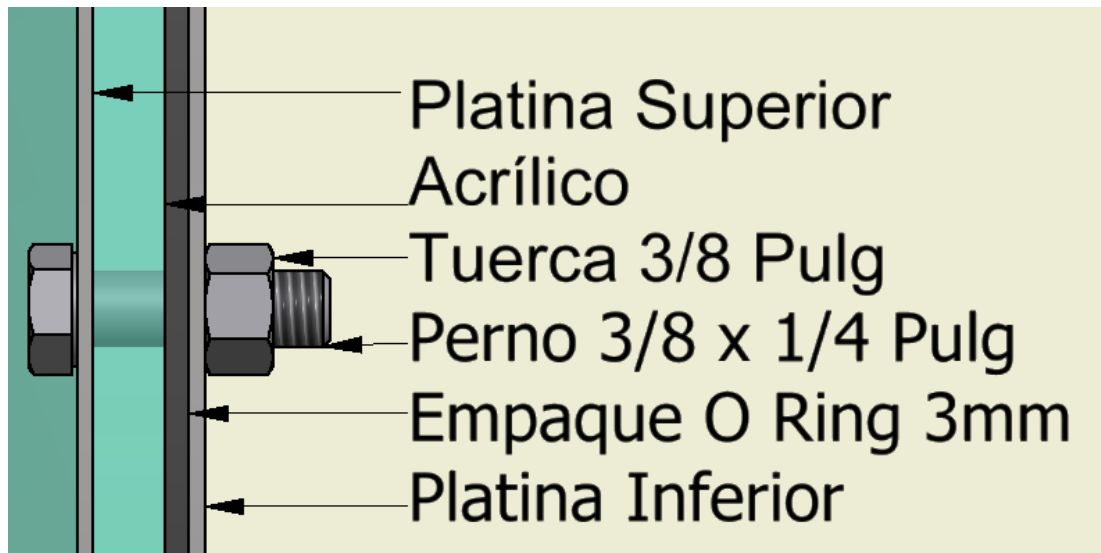


Figura 52. Ajuste de tapa trasera

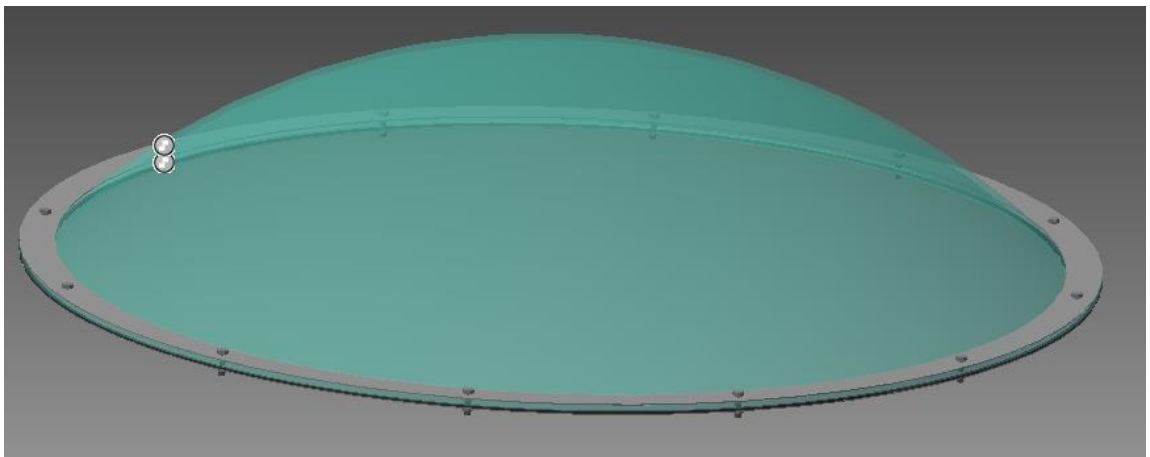


Figura 53. Ensamble Tapa posterior

Como resultado se obtuvo el modelo del cuerpo central y la manera de ensamble, de cada plancha de acero se extraen 3 mitades de las platinas que sirven como marcos, para la construcción de estos se requieren 2 planchas, en el anexo 10 se muestra la proforma del empaque O ring por metro.

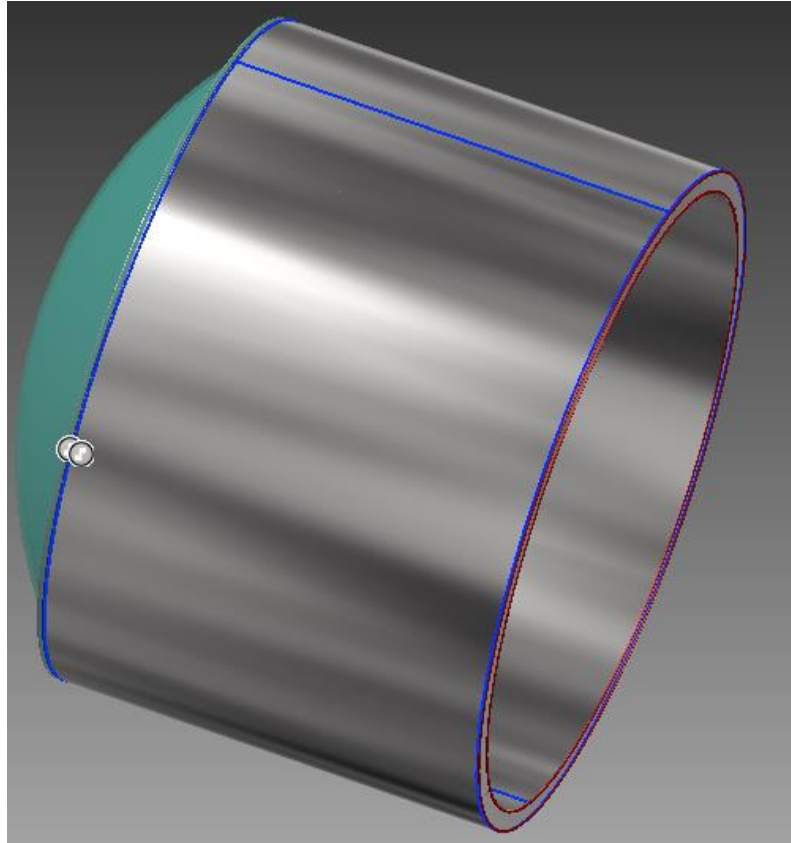


Figura 54. Ensamble cuerpo central

4.6 ENSAMBLE PUERTA

Los primeros componentes de la puerta son el marco y la ventana, el marco del acrílico al tener una pestaña plana lo hace fácil de ubicar en un anillo de madera con una grada, la pestaña no influye en resistencia a la presión de aire por lo que se la recorta a la mitad para que entre en su marco y unidos con silicona selladora, para poder sujetarse al marco frontal tendrá 4 orificios de $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro por $1 \frac{1}{4}$ de pulgada de largo, en la figura 54 se muestra el marco.

La ventana de acrílico quiere de un marco de madera para ser sellado, el cual se diseñó de 5 mm de espesor, la unión se realiza mediante pegamento de tipo industrial y así se sella la ventana en la figura 56 se muestra el sellado, y en el anexo 1 se muestran las medidas del marco principal al igual que las del sello para el marco.



Figura 55. Marco para ventana

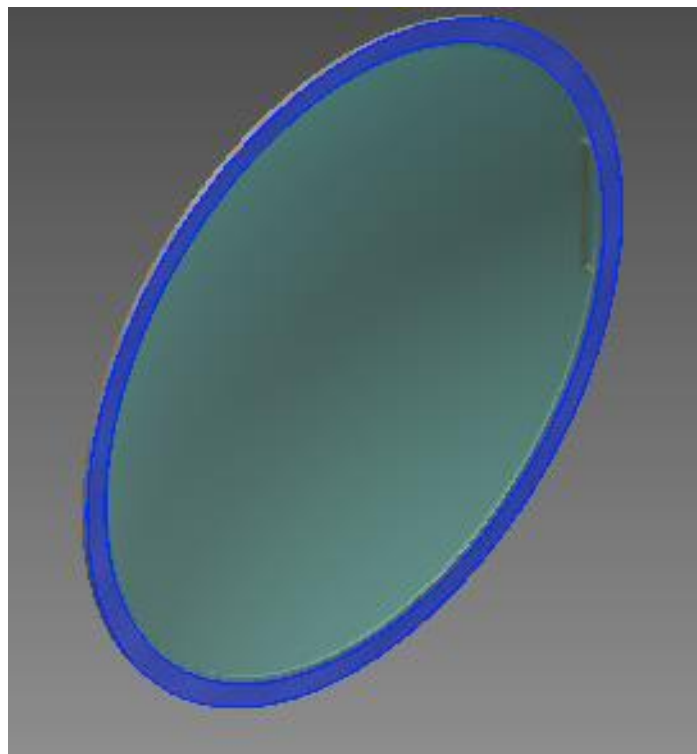


Figura 56. Puerta

4.7 ENSAMBLE

Se obtuvo el ensamble de todas las partes que conforman la cámara incluyendo el marco de la puerta, empaques de sello y marcos de apoyo en la figura 57 el ensamble, resaltados los pernos en azul.

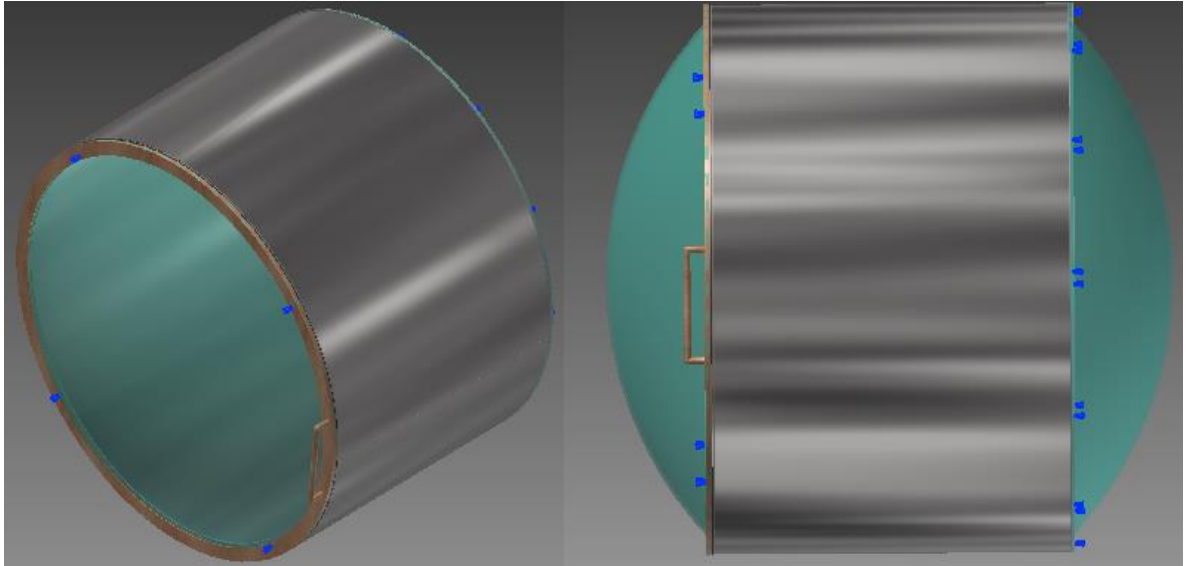


Figura 57. Cámara ensamblada

Como resultado se obtuvo el modelo de la cámara para restauración con su geometría final y los materiales necesarios para su construcción al costo mínimo, asegurando su correcto funcionamiento, la estructura en su totalidad tiene un peso de 131.8 Kg, en el anexo 1 se encuentra el plano del ensamble total.

4.8 VIGAS

Utilizando la ecuación 2 se encuentra el esfuerzo admisible del acero estructural A36

$$\sigma_{adm} = \frac{250 \text{ Mpa}}{2.5}$$

$$\sigma_{adm} = 100 \text{ Mpa}$$

La viga de una longitud de 2m, soporta el peso de la cámara y el del objeto a ser restaurado, para el peso de este objeto se toma el peso referencial para poder encontrar la sección S que es el factor para elegir un perfil se lo hace con la ecuación 9, requiere el momento flector M, el que se encuentra basado en la figura 15, el peso que se usa para el cálculo es de 150Kg, al multiplicar este peso por 9.8 que es el valor de gravedad se obtiene la carga que soporta la cual será igual a 1470 N.

Se utilizan las ecuaciones 10 y 11 para encontrar los momentos cortante y flector respectivamente.

$$R_A = R_C = \frac{1470 \text{ N}}{2}$$

$$R_A = R_C = 735 \text{ N}$$

$$M_A = M_B = M_C = \frac{1470 \text{ N} * 2 \text{ m}}{8}$$

$$M_A = M_B = M_C = 367.5 \text{ NM}$$

En la figura 58 se muestran los esfuerzos actuantes en la viga.

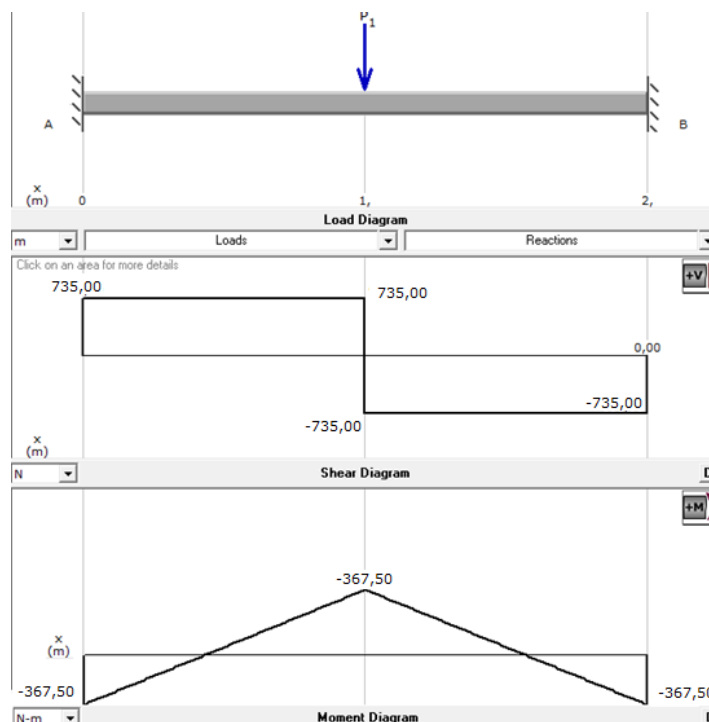


Figura 58. Diagrama de esfuerzos viga

Del diagrama de momento se obtuvo un Momento flector máximo de 343 Nm, el cual se reemplaza en la ecuación 9 junto al esfuerzo admisible y se obtiene S

$$100 \text{ Mpa} = \frac{367.5 \text{ Nm}}{S}$$

$$S = \frac{367.5 \text{ Nm}}{100 \text{ Mpa}}$$

$$S = 3.67 \times 10^{-6} \text{ m}^3 = 3.67 \text{ cm}^3$$

Se realiza la conversión a cm^3 dado que para poder escoger un perfil se toma la tabla 8 la cual expresa el factor S como W en cm^3 , se toma dicho factor en el eje Y-Y ya que ahí es donde se asiente la carga.

Se muestra que el factor S o W más cercano superior es de 7.17 cm^3 , con el cual se recalcula el esfuerzo normal máximo de la viga utilizando la ecuación 9.

$$\sigma_n = \frac{343 \text{ Nm}}{3.83 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$\sigma_n = 89.56 \text{ Mpa}$$

$$89.56 \text{ Mpa} < 100 \text{ Mpa}$$

El esfuerzo normal es menor al esfuerzo admisible lo cual lo hace apto para ser usado. Con esto se obtuvo el modelo de la viga con las especificaciones indicadas en la tabla 8, en la figura 59 se muestra su modelo 3D.

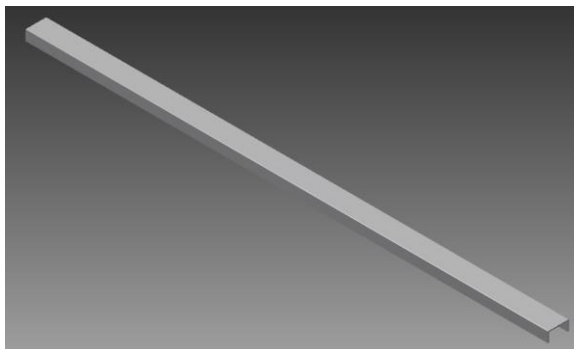


Figura 59. Perfil de Viga 80x40x5 mm

Tabla 8. Perfiles en U para viga



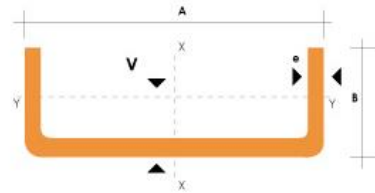
DIPAC[®]
PRODUCTOS DE ACERO

CANALES "U"

PERFILES ESTRUCTURALES
CANALES "U"

Especificaciones Generales

- Otras calidades: Previa consulta
- Largo normal: 6.00m
- Otros largos: Previa consulta
- Espesores: Desde 1.50mm hasta 12.00mm
- Acabado: Natural
- Otro acabado: Previa consulta



DIMENSIONES			PESOS			TIPOS						
A	B	e	6 metros	1 metro	SECCION	EJE X-X			EJE Y-Y			
mm	mm	mm	kg	kg	cm2	I	W	I	I	W	I	x
						cm4	cm3	cm	cm4	cm3	cm	cm
40	25	2	7.86	1.31	1.67	4.20	2.10	1.59	1.06	0.62	0.80	0.79
50	25	2	8.82	1.47	1.87	7.06	2.83	1.94	1.13	0.63	0.78	0.72
50	25	3	12.72	2.12	2.70	9.70	3.88	1.89	1.57	0.91	0.76	0.77
60	30	2	10.62	1.77	2.26	12.50	4.16	2.35	2.00	0.93	0.94	0.85
60	30	3	15.54	2.59	3.30	17.50	5.85	2.31	2.84	1.34	0.93	0.89
60	30	4	19.80	3.30	4.20	21.10	7.03	2.24	3.51	1.72	0.91	0.95
80	40	2	14.46	2.41	3.07	30.80	7.71	3.17	4.89	1.68	1.26	1.09
80	40	3	21.24	3.54	4.50	43.90	11.00	3.12	7.01	2.45	1.25	1.14
80	40	4	27.66	4.61	5.87	55.40	13.90	3.07	8.92	3.17	1.23	1.19
80	40	5	34.44	5.74	7.18	65.49	16.37	3.02	10.62	3.83	1.21	1.23
80	40	6	40.44	6.74	8.42	74.18	18.54	2.96	12.10	4.44	1.19	1.28
100	50	2	18.24	3.04	3.87	61.50	12.30	3.99	9.72	2.66	1.58	1.34
100	50	3	26.88	4.48	5.70	88.50	17.70	3.94	14.10	3.89	1.57	1.39
100	50	4	35.22	5.87	7.47	113.00	22.60	3.89	18.10	5.07	1.56	1.44
100	50	5	43.20	7.20	9.18	135.00	27.10	3.84	21.80	6.19	1.53	1.48
100	50	6	51.96	8.66	10.82	155.26	31.05	3.79	25.14	7.24	1.52	1.53
100	60	4	38.28	6.38	8.13	128.00	25.60	3.97	29.70	7.17	1.91	1.86
100	60	5	46.86	7.81	9.95	152.00	30.50	3.91	35.70	8.76	1.90	1.92
100	60	6	57.72	9.62	12.02	181.80	36.36	3.89	42.25	10.38	1.87	1.93
100	60	8	74.40	12.40	15.50	22.60	44.52	3.78	52.47	13.32	1.83	2.06
125	50	2	20.58	3.43	4.37	103.60	16.50	4.86	10.40	2.74	1.54	1.20
125	50	3	30.42	5.07	6.45	149.00	23.90	4.81	15.10	4.02	1.53	1.24
125	50	4	39.90	6.65	8.47	192.00	30.70	4.76	19.40	5.24	1.51	1.29
125	50	5	49.14	8.19	10.40	231.00	37.00	4.71	23.40	6.40	1.50	1.34
125	50	6	59.16	9.86	12.32	266.00	42.67	4.65	27.19	7.51	1.48	1.38
125	60	5	53.82	8.97	11.43	266.98	42.71	4.83	39.36	9.15	1.86	1.70
125	60	6	64.92	10.82	13.52	309.25	49.48	4.78	45.85	10.78	1.84	1.75
125	60	8	84.00	14.00	17.50	383.34	61.33	4.68	57.30	13.94	1.80	1.81
125	80	6	76.44	12.74	15.92	394.28	63.08	4.97	102.94	19.10	2.54	2.61
125	80	8	99.30	16.55	20.69	493.02	78.88	4.88	130.27	24.30	2.50	2.64
125	80	10	120.96	20.16	25.21	576.62	92.25	4.78	154.19	29.31	2.47	2.74
150	50	2	22.92	3.82	4.87	159.00	21.10	5.71	10.90	2.80	1.50	1.09
150	50	3	33.96	5.66	7.20	230.00	30.70	5.65	15.90	4.11	1.49	1.13
150	50	4	44.64	7.44	9.47	297.00	39.60	5.60	20.50	5.36	1.47	1.17
150	50	5	55.02	9.17	11.70	359.00	47.90	5.55	24.80	6.55	1.46	1.22
150	50	6	66.36	11.06	13.82	416.69	55.55	5.49	28.80	7.70	1.44	1.26
150	60	5	59.70	9.95	12.68	441.85	54.91	5.7	41.72	9.40	1.81	1.56
150	60	6	72.12	12.02	15.02	478.93	63.85	5.64	48.70	11.07	1.80	1.60
150	60	8	93.60	15.60	19.50	598.74	79.83	5.54	61.15	14.35	1.77	1.74
150	80	6	83.64	13.94	17.42	603.42	80.45	5.88	109.91	19.73	2.51	2.43
150	80	8	108.90	18.15	22.69	760.23	101.36	5.78	139.53	25.09	2.47	2.44
150	80	10	132.96	22.16	27.71	896.29	119.50	5.68	165.85	30.37	2.44	2.54

(Dipac, Perfiles Dipac Productos de acero, 2015)

A continuación se realizó la simulación de esfuerzo y se obtuvo el resultado que muestra en la figura 60

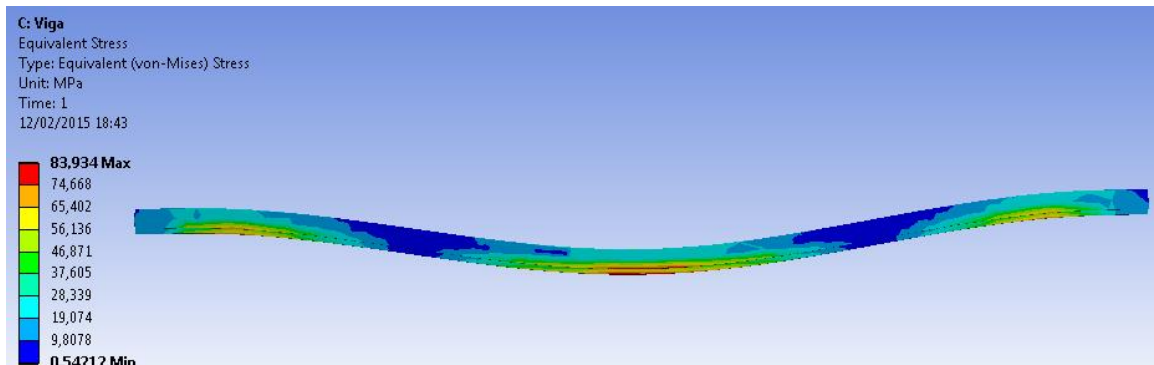


Figura 60. Esfuerzo viga

Se observó que la viga puede resistir el esfuerzo plenamente así que se realiza la simulación de deformación y de factor de seguridad y se obtuvo los resultados de la figura 61 y 62.

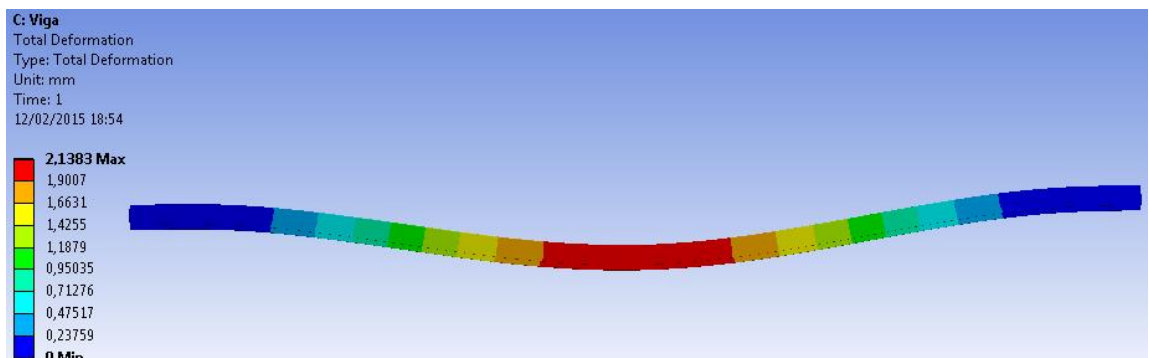


Figura 61. Deformación Viga

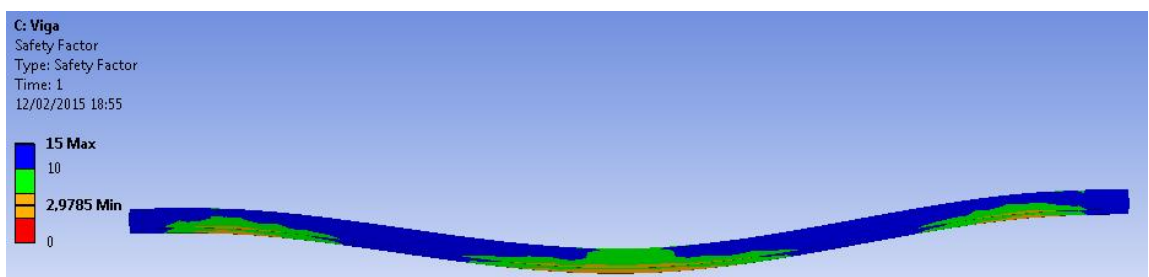


Figura 62. Factor de seguridad

Las simulaciones como resultado mostraron que la viga con dicho perfil resiste fácilmente y estas se realizan suponiendo que el peso total descansa

en una sola viga pero este se distribuirá en 3 es decir que es más que resistente.

4.9 COLUMNAS

Para poder escoger el perfil de la viga se basa en la inercia I la cual es calculada con la ecuación 17, para esto se deben conocer la carga crítica, la longitud efectiva de la columna y el módulo de elasticidad del material.

Se empieza por sumar el peso de la estructura de vigas que es de 53.254 Kg más el peso de la cámara y la carga que pueda tratarse siendo un peso de 150 Kg, en total se obtiene un peso de 203.254 Kg, este es dividido para el número de columnas, es decir 4, obteniendo un peso de 50.81 Kg por columna, este es multiplicado por la gravedad 9.8 para obtener una carga de 497.97 N, mediante la ecuación 12 se encuentra la carga crítica.

$$P_{cr} = 493.47 \text{ N} * 2.5$$

$$P_{cr} = 1244 \text{ N}$$

Se continúa por encontrar la longitud efectiva la cual viene dada por la ecuación 15, al ser una columna libre empotrada $K=2.1$ y la longitud $L= 1 \text{ m}$ entonces

$$L_e = 2.1 \times 1 \text{ m}$$

$$L_e = 2.1 \text{ m}$$

Tomando el módulo de elasticidad del acero estructural A36 $E= 200 \text{ Gpa}$ se conoce todos los elementos para el cálculo de la inercia I antes mencionada obteniendo.

$$I = \frac{1244.93 \text{ N} * (2.1 \text{ m})^2}{\pi^2 * 200 \text{ Gpa}}$$

$$I = 8.73 \times 10^{-9} \text{ m}^4 = 6.4 \text{ cm}^4$$

Conociendo la inercia se busca en la tabla 9 el valor superior más cercano, dado que las columnas pueden sufrir de pandeo, se toma la inercia más cercana pero la menor entre el eje X-X y Y-Y para este caso se elige el perfil con inercia de 1.06 cm^4 en el eje Y-Y y 4.20 cm^4 en el eje X-X.

Conocido el perfil, el objetivo es calcular la carga crítica y admisible que soportará la columna, para poder encontrar la relación de esbeltez se necesita el radio mínimo el cual se encuentra por la ecuación 16.

$$r_{min} = \sqrt{\frac{1.06 \text{ cm}^4}{1.67 \text{ cm}^2}}$$

$$r_{min} = 0,79 \text{ cm} = 0,0079 \text{ m}$$

Conocido el radio se aplica la ecuación 14 y se obtiene la relación de esbeltez

$$R_e = \frac{2.1 \text{ m}}{0,0079 \text{ m}}$$

$$R_e = 265.82$$

Se prosigue a encontrar la constante de columna mediante la ecuación 18, para lo que el módulo de elasticidad del acero estructural A36 $E = 200 \text{ Gpa}$

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 * 200 \text{ Gpa}}{250 \text{ Mpa}}}$$


$$C_c = 125.66$$

Con estos 2 factores se realiza la comparación $R_e = 265.82 > C_c = 125.66$ lo que indica que es una columna larga y se debe emplear la fórmula de Euler la cual se expresa en la ecuación 13.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * 200 \text{ Gpa} * 0,000167 \text{ m}^2}{265.82^2}$$

$$P_{cr} = 4,665 \text{ KN}$$

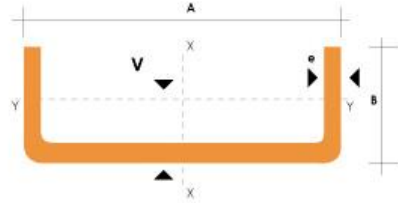
Tabla 9. Perfiles para columna



PERFILES ESTRUCTURALES CANALES "U"

Especificaciones Generales

Otras calidades	Previa consulta
Largo normal	6.00m
Otros largos	Previa consulta
Espesores	Desde 1.50mm hasta 12.00mm
Acabado	Natural
Otro acabado	Previa consulta



DIMENSIONES			PESOS		TIPOS							
A	B	e	6 metros	1 metro	SECCION	EJE X-X		EJE Y-Y				
mm	mm	mm	kg	kg	cm2	I	W	I	I	W	I	x
						cm4	cm3	cm	cm4	cm3	cm	cm
40	25	2	7.86	1.31	1.67	4.20	2.10	1.59	1.06	0.62	0.80	0.79
50	25	2	8.82	1.47	1.87	7.08	2.83	1.94	1.13	0.63	0.78	0.72
50	25	3	12.72	2.12	2.70	9.70	3.88	1.89	1.57	0.91	0.76	0.77
60	30	2	10.62	1.77	2.26	12.50	4.16	2.35	2.00	0.93	0.94	0.85
60	30	3	15.54	2.59	3.30	17.50	5.85	2.31	2.84	1.34	0.93	0.89
60	30	4	19.80	3.30	4.20	21.10	7.03	2.24	3.51	1.72	0.91	0.95
80	40	2	14.46	2.41	3.07	30.80	7.71	3.17	4.89	1.68	1.26	1.09
80	40	3	21.24	3.54	4.50	43.90	11.00	3.12	7.01	2.45	1.25	1.14
80	40	4	27.66	4.61	5.87	55.40	13.90	3.07	8.92	3.17	1.23	1.19
80	40	5	34.44	5.74	7.18	65.49	16.37	3.02	10.62	3.83	1.21	1.23
80	40	6	40.44	6.74	8.42	74.18	18.54	2.96	12.10	4.44	1.19	1.28
100	50	2	18.24	3.04	3.87	61.50	12.30	3.99	9.72	2.66	1.58	1.34
100	50	3	26.88	4.48	5.70	88.50	17.70	3.94	14.10	3.89	1.57	1.39
100	50	4	35.22	5.87	7.47	113.00	22.60	3.89	18.10	5.07	1.56	1.44
100	50	5	43.20	7.20	9.18	135.00	27.10	3.84	21.80	6.19	1.53	1.48
100	50	6	51.96	8.66	10.82	155.26	31.05	3.79	25.14	7.24	1.52	1.53
100	60	4	38.28	6.38	8.13	128.00	25.60	3.97	29.70	7.17	1.91	1.86
100	60	5	46.86	7.81	9.95	152.00	30.50	3.91	35.70	8.76	1.90	1.92
100	60	6	57.72	9.62	12.02	181.80	36.36	3.89	42.25	10.38	1.87	1.93
100	60	8	74.40	12.40	15.50	22.60	44.52	3.78	52.47	13.32	1.83	2.06
125	50	2	20.58	3.43	4.37	103.60	16.50	4.86	10.40	2.74	1.54	1.20
125	50	3	30.42	5.07	6.45	149.00	23.90	4.81	15.10	4.02	1.53	1.24
125	50	4	39.90	6.65	8.47	192.00	30.70	4.76	19.40	5.24	1.51	1.29
125	50	5	49.14	8.19	10.40	231.00	37.00	4.71	23.40	6.40	1.50	1.34
125	50	6	59.16	9.86	12.32	266.00	42.67	4.65	27.19	7.51	1.48	1.38
125	60	5	53.82	8.97	11.43	266.98	42.71	4.83	39.36	9.15	1.86	1.70
125	60	6	64.92	10.82	13.52	309.25	49.48	4.78	45.85	10.78	1.84	1.75
125	60	8	84.00	14.00	17.50	383.34	61.33	4.68	57.30	13.94	1.80	1.81
125	80	6	76.44	12.74	15.92	394.28	63.08	4.97	102.94	19.10	2.54	2.61
125	80	8	99.30	16.55	20.69	493.02	78.88	4.88	130.27	24.30	2.50	2.64
125	80	10	120.96	20.16	25.21	576.62	92.25	4.78	154.19	29.31	2.47	2.74
150	50	2	22.92	3.82	4.87	159.00	21.10	5.71	10.90	2.80	1.50	1.09
150	50	3	33.96	5.66	7.20	230.00	30.70	5.65	15.90	4.11	1.49	1.13
150	50	4	44.64	7.44	9.47	297.00	39.60	5.60	20.50	5.36	1.47	1.17
150	50	5	55.02	9.17	11.70	359.00	47.90	5.55	24.80	6.55	1.46	1.22
150	50	6	66.36	11.06	13.82	416.69	55.55	5.49	28.80	7.70	1.44	1.26
150	60	5	59.70	9.95	12.68	441.85	54.91	5.7	41.72	9.40	1.81	1.56
150	60	6	72.12	12.02	15.02	478.93	63.85	5.64	48.70	11.07	1.80	1.60
150	60	8	93.60	15.60	19.50	598.74	79.83	5.54	61.15	14.35	1.77	1.74
150	80	6	83.64	13.94	17.42	603.42	80.45	5.88	109.91	19.73	2.51	2.43
150	80	8	108.90	18.15	22.69	760.23	101.36	5.78	139.53	25.09	2.47	2.44
150	80	10	132.96	22.16	27.71	896.29	119.50	5.68	165.85	30.37	2.44	2.54

(Dipac, Perfiles Dipac Productos de acero, 2015)

Conociendo la carga crítica de la columna se aplica la ecuación 12 y así se conoce la carga admisible de la columna

$$P_{adm} = \frac{4665 N}{2.5}$$

$$P_{adm} = 1866 N$$

Esta carga admisible es la que podrá soportar cada columna y como se puede ver en base al cálculo inicial es mayor a lo que soportara realmente cada columna.

Conocido las dimensiones se realiza el modelo de la columna con las dimensiones del perfil y se muestra la columna en la figura 63 y se realiza la simulación de esfuerzos mostrando los resultados en la figura 64



Figura 63. Perfil Columna 40x25x2 mm

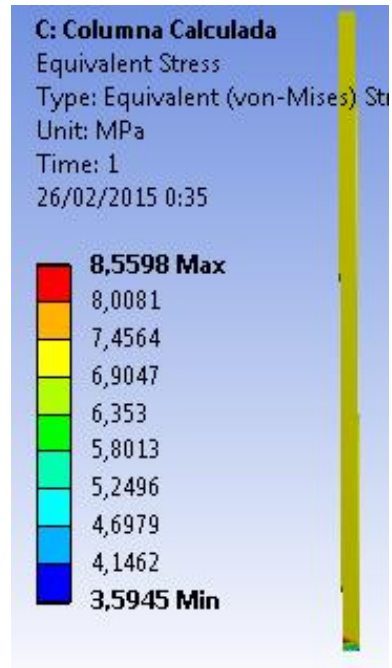


Figura 64. Esfuerzo columna

Como resultado la simulación mostró que la viga puede soportar la carga fácilmente y se procede a realizar la simulación de deformación en la figura 65 y factor de seguridad en la figura 66.

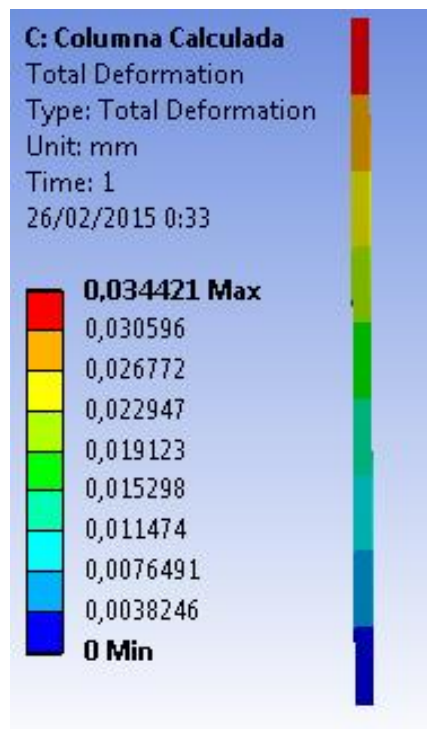


Figura 65. Deformación columna

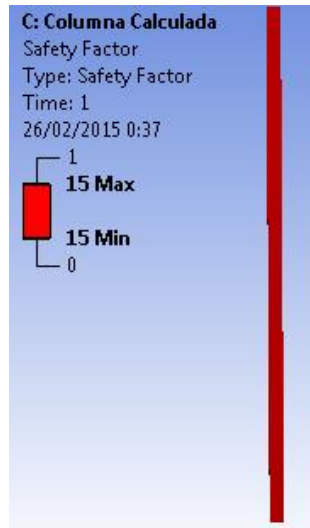


Figura 66. Factor de seguridad columna

Por facilidad de manufactura se busca que el perfil de columna y de viga sean el mismo, al compararlos se encuentra que el perfil de viga es más robusto y la inercia es mayor que el perfil de columna así se deduce que resistirá mejor que el perfil de columna por lo que se utilizará este en toda la estructura

4.10 ESTRUCTURA

En la figura 67 se muestra se obtuvo el diseño de la estructura mecánica que sostiene a la cámara, aparte de las vigas y columnas se utilizan tensores ubicadas 30 cm del suelo entre las columnas para que las patas de la mesa no se abran al ser funcionales no requieren de ningún cálculo, remarcadas en azul se ven los puntos de suelda. En el anexo 2 de muestra el precio de los perfiles.

Como resultado se obtuvo una estructura capaz de resistir fácilmente un peso de 150Kg que equivale al peso de la cámara más un peso de elementos de restauración de 28 Kg restauración.

Los cálculos matemáticos y las simulaciones probaron que las vigas resisten el esfuerzo máximo de 83 Mpa la cual está por debajo del admisible, una deformación de 2.1 mm el cual es mínimo comparado con las dimensiones de la viga y un factor de seguridad de 2.9 el cual esta sobre el 2.5 que es el

límite, cabe recalcar que las simulaciones son para el peso de una sola viga, este peso es distribuido en 3 por lo que el peso máximo que resista la estructura es el triple.

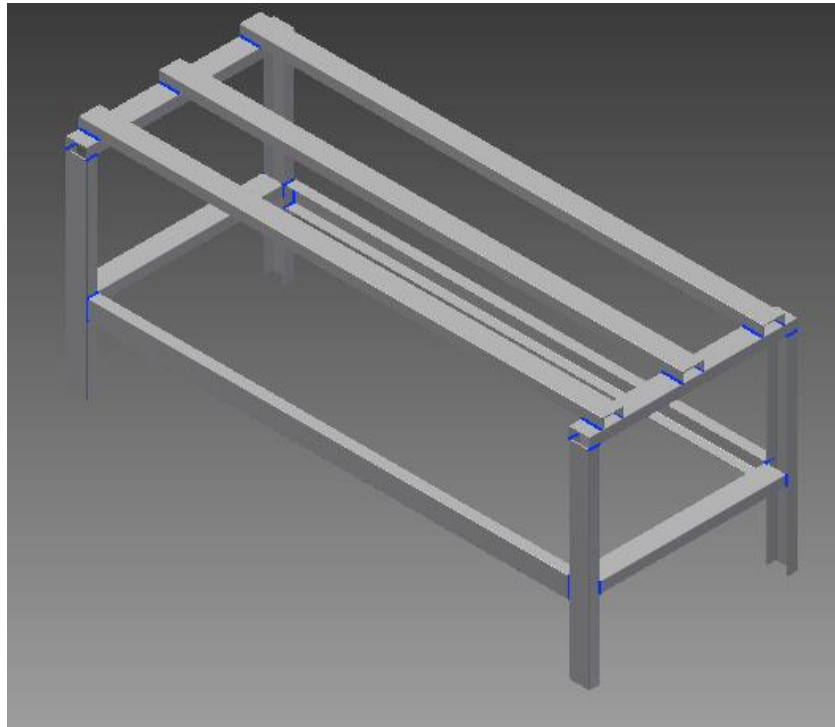


Figura 67. Ensamble estructura 80x40x5 mm

En cuanto a las columna el resultado mostró que el esfuerzo que cada una resiste es de 8 Mpa máximo la deformación es de 0.03 mm y el factor de seguridad es de 15 siendo el máximo que puede existir, si se toma en cuenta que las columnas se construyen con el perfil de viga la seguridad y resistencia aumenta aún más, haciendo a la estructura 100% confiable.

Al sumar las longitudes de todas las vigas, columnas y tensores se obtiene 17.5 m, esto quiere decir que se puede construir la estructura con 3 vigas de 6m que es la medida comercial. Con el sobrante se hacen 8 ángulos de 6 cm los cuales irán soldado a la estructura, en la figura 68 se muestra esta y señalados en azul los ángulos, en el anexo 1 se muestran las medidas de vigas, columnas, tensores de la estructura y ángulos.

Los ángulos sirven como encajes para paneles de madera y con estos poder crear espacios de trabajo para el restaurador, además los paneles internos

sirven como topes para que la cámara no ruede y se mantenga estática. Al igual que el área de trabajo, los tensores servirán para sostener otro panel donde se ubicarán los sistemas neumáticos y de control, en la figura 69 se muestran los paneles laterales e inferior

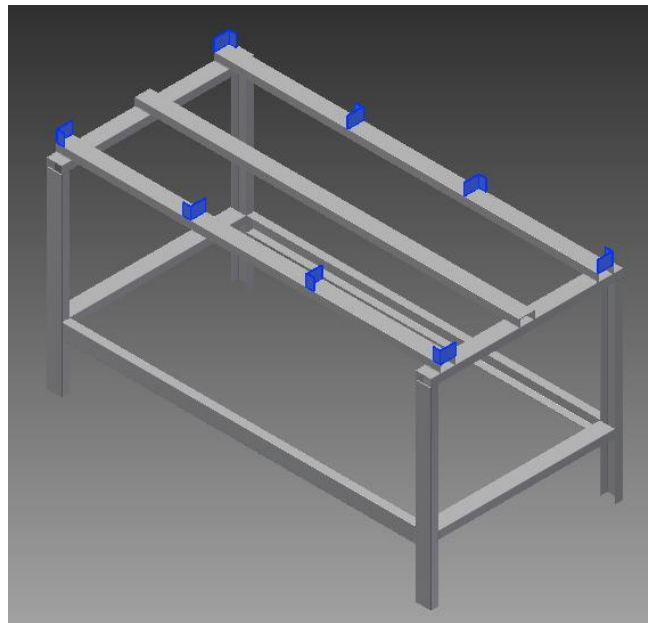


Figura 68. Estructura con ángulos

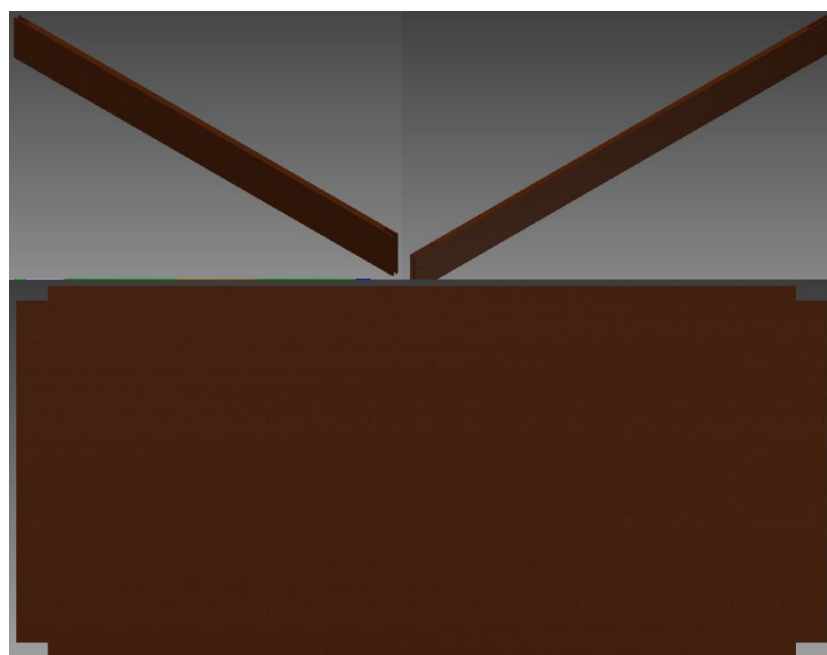


Figura 69. Paneles laterales e inferior

En la figura 70 se obtuvo el ensamble de la estructura y la cámara.

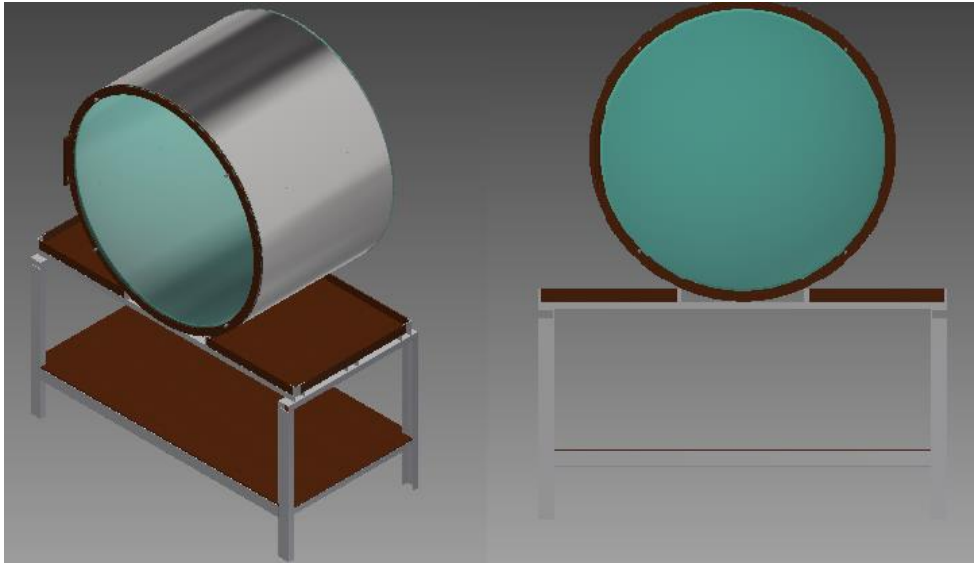


Figura 70. Ensamble Final

Como resultado se obtuvo un modelo de la cámara y cómo esta lucirá ocupando un espacio mínimo con un peso total de aproximadamente 300kg

4.11 SUMINISTRO DE GASES

Primero se encuentra el volumen del que ocupa el gas en el cilindro con la ecuación 21

$$V_c = \pi \times (0.75 \text{ m})^2 \times 1 \text{ m}$$

$$V_c = 1.76 \text{ m}^3$$

Luego se encuentra el volumen de las tapas, en la figura 71 se muestran los volúmenes 1 y 2 de las tapas de acrílico, al restar V_2 de V_1 se obtiene V_{tp} que es el volumen de las tapas.

$$V_v = 227401128,450 \text{ mm}^3 - 15750407,883 \text{ mm}^3$$

$$V_v = 211650720,567 \text{ mm}^3 = 0.211 \text{ m}^3$$

General Properties			
V1			
Mass	270,153 kg (Relative)	Center of Gravity	
		X	0,000 mm (Relative)
Area	3325838,427 mm ²	Y	0,000 mm (Relative)
Volume	227401128,450 mm ³	Z	95,820 mm (Relative)
General Properties			
V2			
Mass	18,711 kg (Relative)	Center of Gravity	
		X	0,000 mm (Relative)
Area	3557302,284 mm ²	Y	0,000 mm (Relative)
Volume	15750407,883 mm ³	Z	137,972 mm (Relative)

Figura 71. Volumen que ocupa el gas en el casquete

Al sumar los 3 volúmenes se obtuvo el volumen total V_t

$$V_t = V_c + 2V_{tp}$$

$$V_t = 1.76 \text{ m}^3 + 0.21 \text{ m}^3 + 0.21 \text{ m}^3$$

$$V_t = 2.18 \text{ m}^3$$

Conocido el volumen total se busca el número de moles que hay en la cámara utilizando la ecuación 20 y despejando n de la siguiente manera

$$n = \frac{PV}{RT}$$

$$n = \frac{101325 \text{ Pa} * 2.18 \text{ m}^3}{8.314 \frac{\text{m}^3 \text{ Pa}}{\text{mol K}^\circ} * 295.15 \text{ K}^\circ}$$

$$n = 90.01 \text{ mol}$$

Se obtuvo porcentualmente el número de moles para el nitrógeno y el oxígeno siendo

$$n_{N_2} = 70.2 \text{ mol}$$

$$n_{O_2} = 18.9 \text{ mol}$$

Conocidos los números molares se los multiplica por sus respectivas masa molares obteniendo así el peso de cada gas en la cámara

$$N_2 = 70.2 \text{ mol} * 28 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 1965.6 \text{ g} = 1.96 \text{ Kg}$$

$$O_2 = 18.9 \text{ mol} * 32 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 604.8 \text{ g} = 0.6 \text{ Kg}$$

Este es el peso de los gases con la cámara llena de aire atmosférico, se realizó el mismo procedimiento con la cámara en un vacío de 1Pa

$$n = \frac{1 \text{ Pa} * 2.18 \text{ m}^3}{8.314 \frac{\text{m}^3 \text{ Pa}}{\text{mol K}^\circ} * 295.15 \text{ K}^\circ}$$

$$n = 8.88 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

Se obtuvo porcentualmente el número de moles para el nitrógeno y el oxígeno siendo

$$n_{N_2} = 6.92 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

$$n_{O_2} = 1.86 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

Conocidos los números molares se los multiplica por sus respectivas masa molares obteniendo así el peso de cada gas en la cámara cuando ha sido vaciada.

$$N_2 = 6.95 \times 10^{-4} \text{ mol} \times 28 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 19.37 \times 10^{-3} \text{ g}$$

$$O_2 = 1.87 \times 10^{-4} \text{ mol} \times 32 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 5.98 \times 10^{-3} \text{ g}$$

Como resultado se obtuvo que al realizar el vaciado a 1Pa mediante una regla de 3 que el oxígeno baja de una concentración de 21% a un 0.000206%

Se repite el mismo procedimiento con la presión con la que trabaja el sistema de control es decir de 15Kpa

$$n = \frac{15 \text{ KPa} * 2.18 \text{ m}^3}{8.314 \frac{\text{m}^3 \text{ Pa}}{\text{mol K}^\circ} * 295.15 \text{ K}^\circ}$$

$$n = 13.32 \text{ mol}$$

La relación porcentual del nitrógeno, oxígeno y otros gases es de

$$n_{N_2} = 10.38 \text{ mol}$$

$$n_{O_2} = 2.79 \text{ mol}$$

$$n_{\text{otros}} = 0.15 \text{ mol}$$

Con sus números molares se obtuvo el peso de cada gas en la cámara cuando ha sido vaciada a esta presión.

$$N_2 = 10.38 \text{ mol} * 28 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 290.64 \text{ g} = 0.29 \text{ Kg}$$

$$O_2 = 2.79 \text{ mol} * 32 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 89.28 \text{ g} = 0.08 \text{ Kg}$$

Comparando con el peso de la cámara llena a la del vaciado a 15Kpa la concentración de oxígeno baja de 21% a un 3.1%.

Dado que 3.1% no es una concentración de oxígeno aceptable se llena la cámara con el gas inerte y se realiza un barrido.

Conocidos el número de moles de cada gas se obtuvo la presión que cada gas ejerce individualmente utilizando la ecuación 22.

$$P_{N_2} = \frac{10.38 \text{ mol} * 295.15 \text{ K}^\circ * 8.314 \frac{\text{m}^3 \text{Pa}}{\text{mol K}^\circ}}{2.18 \text{ m}^3}$$

$$P_{N_2} = 11.684 \text{ KPa}$$

$$P_{O_2} = \frac{2.79 \text{ mol} * 295.15 \text{ K}^\circ * 8.314 \frac{\text{m}^3 \text{Pa}}{\text{mol K}^\circ}}{2.18 \text{ m}^3}$$

$$P_{O_2} = 3.14 \text{ KPa}$$

$$P_{\text{otros}} = \frac{0.15 \text{ mol} * 295.15 \text{ K}^\circ * 8.314 \frac{\text{m}^3 \text{Pa}}{\text{mol K}^\circ}}{2.186 \text{ m}^3}$$

$$P_{\text{otros}} = 168.84 \text{ Pa}$$

Con las presiones individuales se pasa a encontrar la presión del gas inerte que se inyectará con la ecuación 19 sabiendo que la presión total debe ser la atmosférica.

$$P_i = 101.325 \text{ KPa} - 11.684 \text{ KPa} - 3.14 \text{ KPa} - 0.168844 \text{ KPa}$$

$$P_i = 86.332 \text{ KPa}$$

Conociendo la presión que deberá tener el gas inerte se calcula el número de moles que este tiene con la ecuación 17 y posteriormente su peso al multiplicarlo por su masa molar.

Para esta presión del gas inerte que será inyectado el número de moles es

$$n = \frac{86.332 \text{ KPa} * 2.18 \text{ m}^3}{8.314 \frac{\text{m}^3 \text{Pa}}{\text{mol K}^\circ} * 295.15 \text{ K}^\circ}$$

$$n = 76.69 \text{ mol}$$

En el caso del nitrógeno molecular su masa molar es 28 g/mol, el del argón 40 g/mol este es monoatómico al igual que el helio y su masa molecular es 4 g/mol así sus pesos respectivos son.

$$N_2 = 76.69 \text{ mol} * 28 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$N_2 = 2147.32 \text{ g} = 2.14 \text{ Kg}$$

$$Ar = 76.69 \text{ mol} * 40 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$Ar = 3067.6 \text{ g} = 3.06 \text{ Kg}$$

$$He = 76.69 \text{ mol} * 4 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$He = 306.76 \text{ g} = 0.3 \text{ kg}$$

Al llenarse la cámara con el gas inerte a la misma presión atmosférica mantiene las cantidades de oxígeno y nitrógeno que se obtuvieron en el vaciado, el nitrógeno pasa de ocupar el 78% de la cámara a ocupar el

11.54% y el oxígeno su 3.1% y los otros gases se llegan a despreciar, lo que indica que el gas inerte ocupa el 85.36% al realizar el segundo vaciado a la misma presión de 15Kpa el número de moles en la cámara vuelve a ser

$$n = 13.32 \text{ mol}$$

Y la relación porcentual del nitrógeno y oxígeno cambia haciendo que tengan

$$n_{N_2} = 1.53 \text{ mol}$$

$$n_{O_2} = 0.41 \text{ mol}$$

$$n_i = 11.37 \text{ mol}$$

La cantidad de otros gases con el segundo vaciado es tan pequeña que llega a ser despreciable.

Se vuelve a calcular su peso dentro de la cámara.

$$N_2 = 1.53 \text{ mol} * 28 \frac{g}{mol} = 42.84 \text{ g} = 0.04 \text{ Kg}$$

$$O_2 = 0.41 \text{ mol} * 32 \frac{g}{mol} = 13.12 \text{ g} = 0.01 \text{ Kg}$$

Se obtuvo que ahora la concentración de oxígeno pasa de ser de 3.1% a 0.45%.

Esta concentración de oxígeno es lo suficientemente baja para experimentación y trabajo pero aún no es lo suficientemente baja como la de otros estudios realizados, tomando esto en cuenta se realiza un tercer barrido, tomando la misma presión de trabajo de 15Kpa se mantiene el número de moles en el vaciado.

$$n = 13.32 \text{ mol}$$

Porcentualmente el oxígeno pasa a tener

$$n_{O_2} = 0.059 \text{ mol}$$

Multiplicado por su masa molecular se tiene

$$O_2 = 0.059 \text{ mol} * 32 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 1.88 \text{ g}$$

En este punto el porcentaje de concentración de oxígeno desciende al 0.06 %, aun no se alcanza la concentración que los estudios demostraron mortalidad por lo que se repite el barrido donde el número de moles es de

$$n_{O_2} = 0.0079 \text{ mol}$$

Y su peso llega a ser

$$O_2 = 0.0079 \text{ mol} * 32 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 0.25 \text{ g}$$

Lo que hace que la concentración de oxígeno descienda a 0.00088%, en este punto la mortalidad de cualquier especie de insecto está asegurada por lo que no necesitará más barridos.

Para alcanzar la concentración de oxígeno de 0.00088% a la presión de vaciado 15Kpa se requieren 4 inyecciones de gas inerte, por lo que en total el gas inerte necesario para un proceso de desinsectación será de cuatro veces el de la primera inyección.

$$N_2 = 2068.64 \text{ g} * 4 = 8.27 \text{ Kg}$$

$$Ar = 2955.2 \text{ g} * 4 = 11.82 \text{ Kg}$$

$$He = 295.52 \text{ g} * 4 = 1.18 \text{ Kg}$$

Como resultado se obtuvo tiene un modelo de teoría de gases para el sistema de desinsectación asegurando la mortalidad de insectos bajo las condiciones controlables.

4.12 SISTEMA NEUMÁTICO

La simulación del sistema neumático se realizó con el software FluidSim, este tiene 2 partes, un diagrama de flujo y uno de control que funcionan conjuntamente para mostrar cómo opera el sistema.

4.12.1 DIAGRAMA DE FLUJO

Los componentes utilizados en el diagrama de flujo son compresores de aire, válvulas controladas eléctricamente (electroválvulas) y un cilindro de doble efecto que representa a la cámara como se muestra en la figura 72

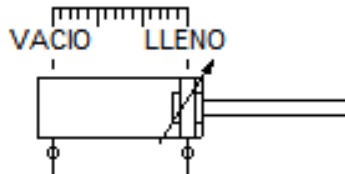


Figura 72. Simulación de cámara llena

La cámara está llena que es cuando el proceso comienza como estado inicial, posteriormente pasa a estar vacía, el vaciado se simuló cómo si un compresor empujara el cilindro hasta alcanzar el estado de vacío como se muestra en la figura 73

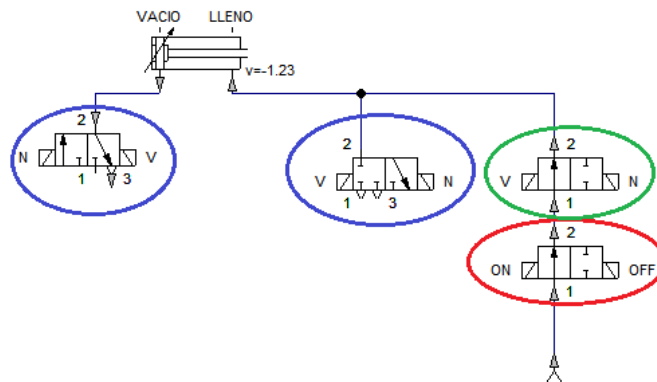


Figura 73. Simulación vaciado de cámara

Delineado en azul se muestran válvulas que ayudan en la simulación a la salida de aire tanto en el vaciado como en el llenado, en verde se muestra la electroválvula encargada de abrir y cerrar la línea de la bomba de vacío y en rojo se emplea una herramienta extra para el encendido y apagado de la bomba de vacío.

Por otro lado se simula la línea de inyección de gas, la cual tiene la posibilidad de transitar directamente como aire seco o por un humidificador según su necesidad cómo se muestra en la figura 74

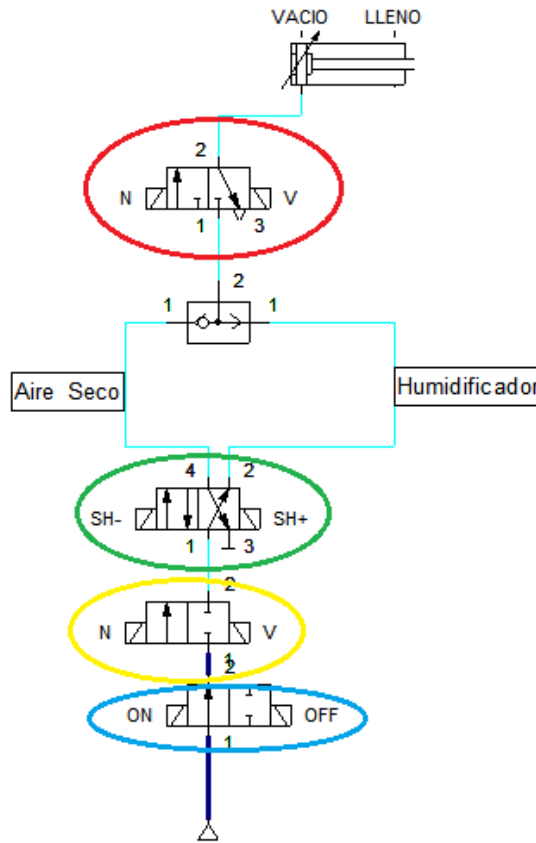


Figura 74. Simulación inyección de gas

Marcado en verde se muestra la electroválvula que permitirá el paso del gas por la línea seca o a través del humidificador, esta viene controlada por la señal del sensor de humedad.

En amarillo muestra la electroválvula que controla el paso del gas desde el tanque hasta que deba elegir una vía, en rojo se ubica una válvula para que en la simulación ayude al paso o expulsión de aire y poder simular el llenado y vaciado de la cámara y por último marcado en azul se encuentra una herramienta que ayuda a simular el apagado y encendido de la inyección de gas.

Como se muestra en la figura 75 se puede ver como se simuló el flujo del gas a través del humidificador hasta la cámara en el proceso de llenado,

mientras que en la figura 76 se muestra la simulación que se obtuvo del flujo del gas por la línea seca.

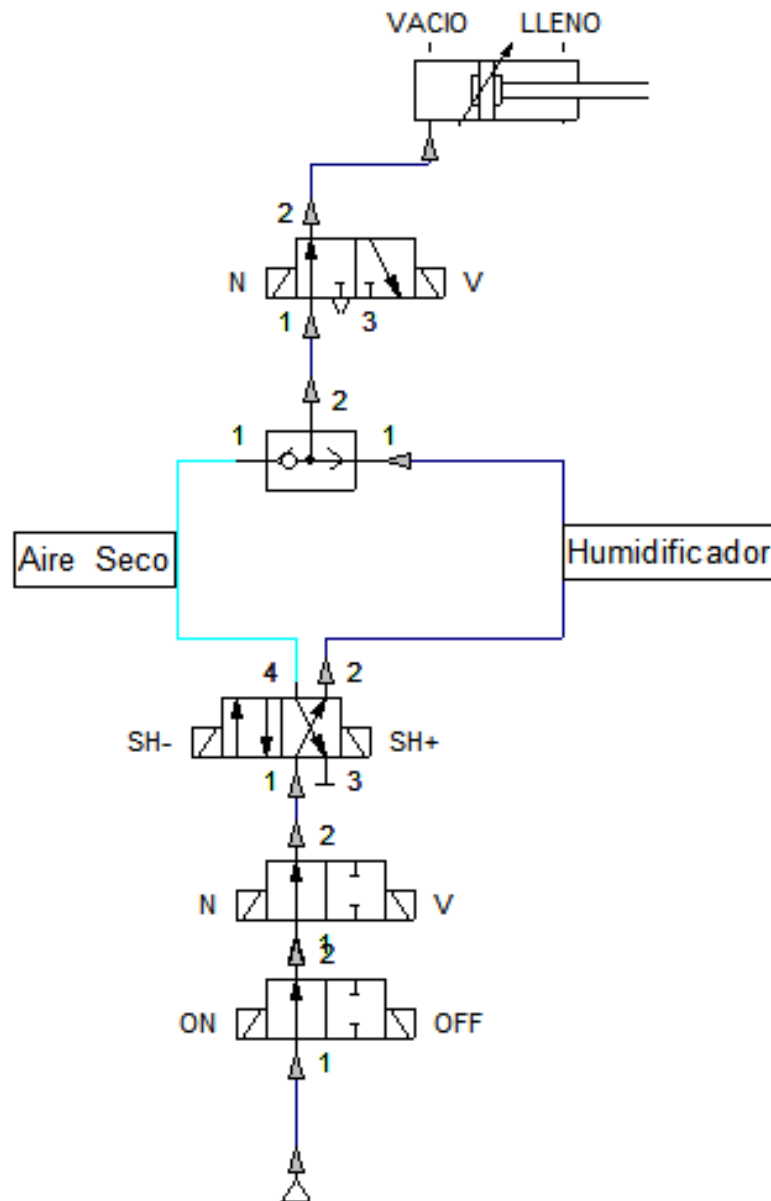


Figura 75. Flujo de gas húmedo

Cabe recalcar que ambas líneas la seca y la húmeda se unen en una misma válvula selectora, para posteriormente ser transportada a la cámara.

Por ultimo en la figura 77 se muestra el diagrama de flujo entero que se obtuvo detenido en un momento en el que se han cumplido las condiciones y la cámara está llena.

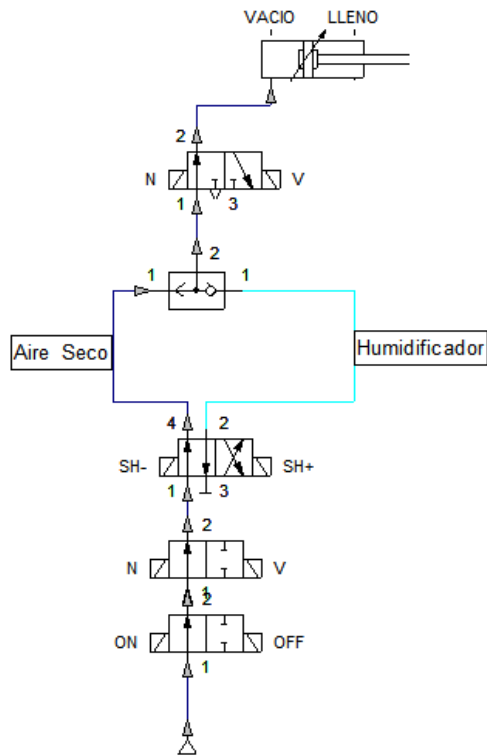


Figura 76. Flujo de gas seco

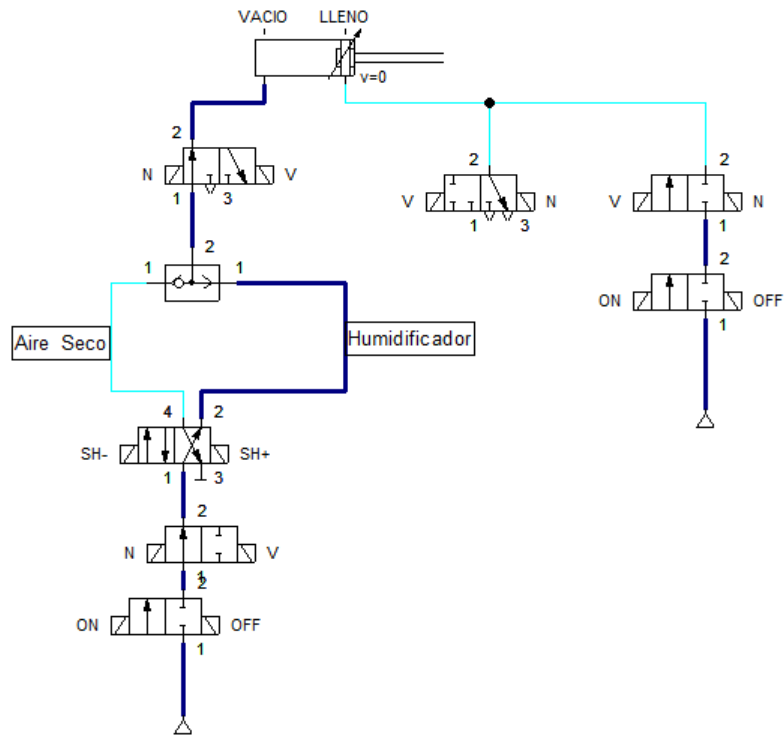


Figura 77. Diagrama de flujo

4.12.2 DIAGRAMA DE CONTROL

El diagrama de control es netamente eléctrico análogo para esta simulación, se compone de bobinas, contactos y pulsadores que simulan las señales que envían los sensores para el control del sistema. El diagrama se divide en 4 partes que son la de control maestro del sistema, esta parte es la encargada de la alimentación de energía del sistema tiene un botón de encendido absoluto y de apagado de emergencia el cual corta la energía de todo el sistema, este se muestra encendido en la figura 78

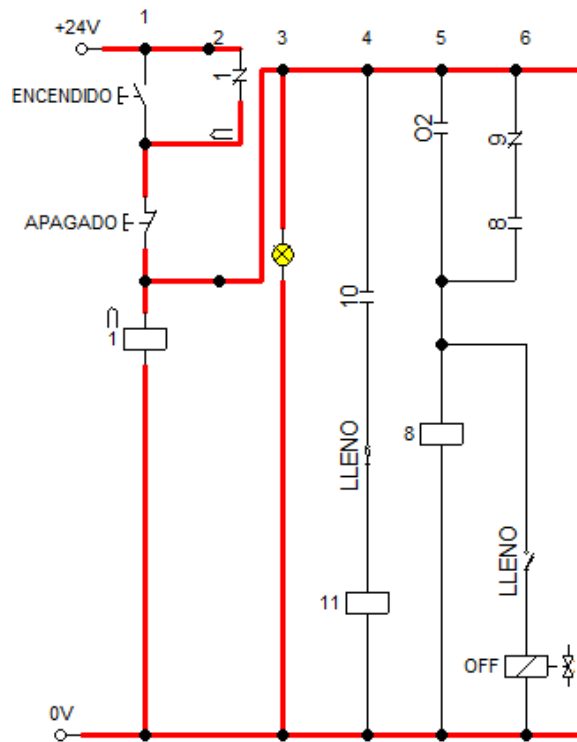


Figura 78. Control Maestro

El pulsador normalmente abierto “ENCENDIDO” permite el paso de la energía a través del pulsador normalmente cerrado “APAGADO” energiza la bobina 1 la cual cierra el contacto normalmente abierto 1 permitiendo el paso perpetuo de la energía hacia la bobina 1 provocando un continuo paso de energía, si el contacto normalmente cerrado “APAGADO” es pulsado este al abrirse interrumpe el paso de la energía a la bobina 1 apagando así todo el sistema.

El funcionamiento de los contactos O2, 9, 8, 10, las bobinas 8, 11 y el solenoide OFF se indicará más adelante pues son la etapa final del sistema.

La segunda etapa del sistema es la que permite la inicialización del sistema comenzando el proceso de vaciado, este muestra en la figura 79

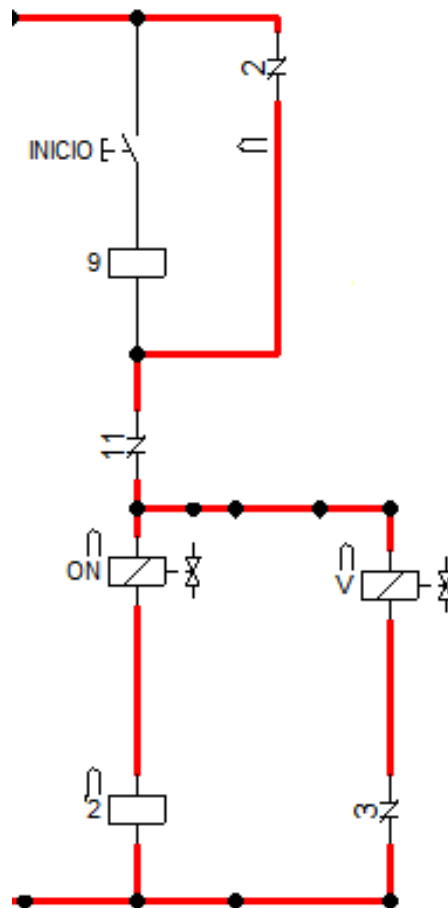


Figura 79. Control de vacío

Al pulsar el contacto normalmente abierto "INICIO" energiza la bobina 2 la cual cierra el contacto normalmente abierto 2 permitiendo el paso continuo de la energía, esta a su vez enciende los sistemas de inyección y vacío con el solenoide "ON" y permite la apertura de la válvula para vaciado con el solenoide V.

La tercera etapa comienza cuando se ha vaciado la cámara y es momento de inyectar el gas inerte, este se muestra en la figura 80

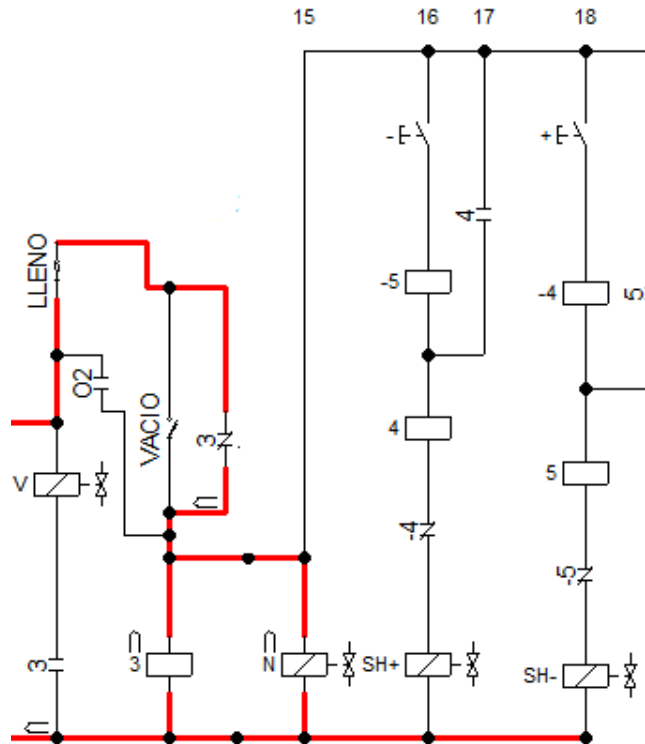


Figura 80. Inyección de gas inerte

Una vez alcanzado el vacío el contacto normalmente abierto “VACIO” cierra para energizar la bobina 3 y cerrar el contacto normalmente abierto 3, así la energía pasa permanentemente por esta vía hacia el solenoide N el cual permite el paso del gas, y a la vez abre el contacto normalmente cerrado 3 que quita la energía al solenoide “V” y para el proceso de vaciado, a su vez mediante el contacto 3 la energía intentará energizar los solenoides que controlan por cual vía irá el gas que será inyectado, en la figura 81 se muestra la condición inicial la cual es de una humedad relativa menor a la requerida.

La señal de que la humedad relativa está bajo el nivel se la simula con un pulso, este energiza la bobina 4 el cual cierra el contacto normalmente abierto 4 permitiendo un flujo continuo de energía para energizar la electro válvula “SH+” que hace que el gas pase por el humidificador. Con tan solo haber sentido que la humedad está por debajo del rango esperado también se energiza la bobina -5 que abre el contacto normalmente cerrado -5 y así interrumpir la condición de que la humedad relativa está sobre el rango deseado.

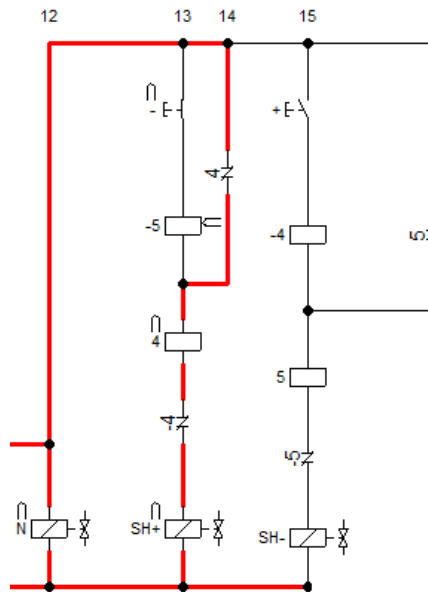


Figura 81. Humedad Relativa Bajo el Rango

En la figura 82 se muestra la condición cuando la humedad relativa ha sobrepasado el rango requerido.

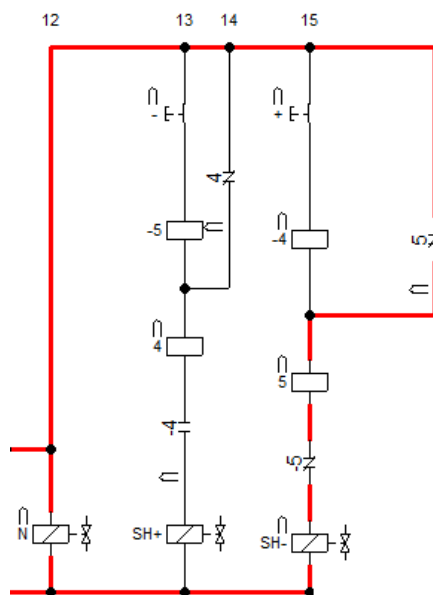


Figura 82. Humedad Relativa sobre el Rango

Al detectar que se ha alcanzado un nivel superior al deseado se energiza la bobina -4 la cual abre el contacto normalmente cerrado -4 así interrumpiendo la condición de humedad relativa bajo el nivel deseado, también energiza la bobina 5 la cual cierra el contacto normalmente abierto 5 permitiendo el paso

permitiendo el paso continuo de energía por este, el contacto normalmente abierto 10 energiza la bobina 11 el cual abre el contacto normalmente abierto 11 desconectando todo el sistema, dejándolo en su estado final de llenado. Cuando se alcanza el estado de llenado se desconecta la bobina 11 y se activa el solenoide “OFF” el cual apaga el proceso de inyección y vaciado como se muestra en la figura 84

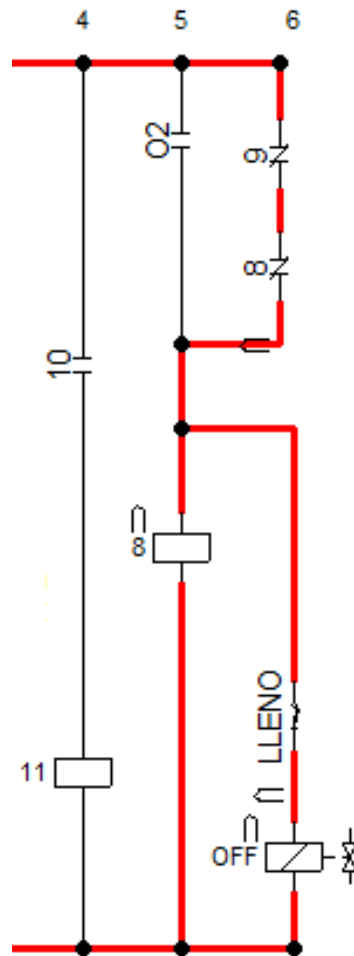


Figura 84. Sistema de apagado

Si se requiere que comience el proceso de nuevo se energiza la bobina 9 la cual abrirá el contacto normalmente cerrado así se interrumpe el flujo de energía al solenoide “OFF” permitiendo el re inicio.

En la figura 85 se muestra el diagrama de control completo.

Como resultado se obtuvo una simulación del sistema neumático que sirve como base para la creación del sistema de control final análogo o digital.

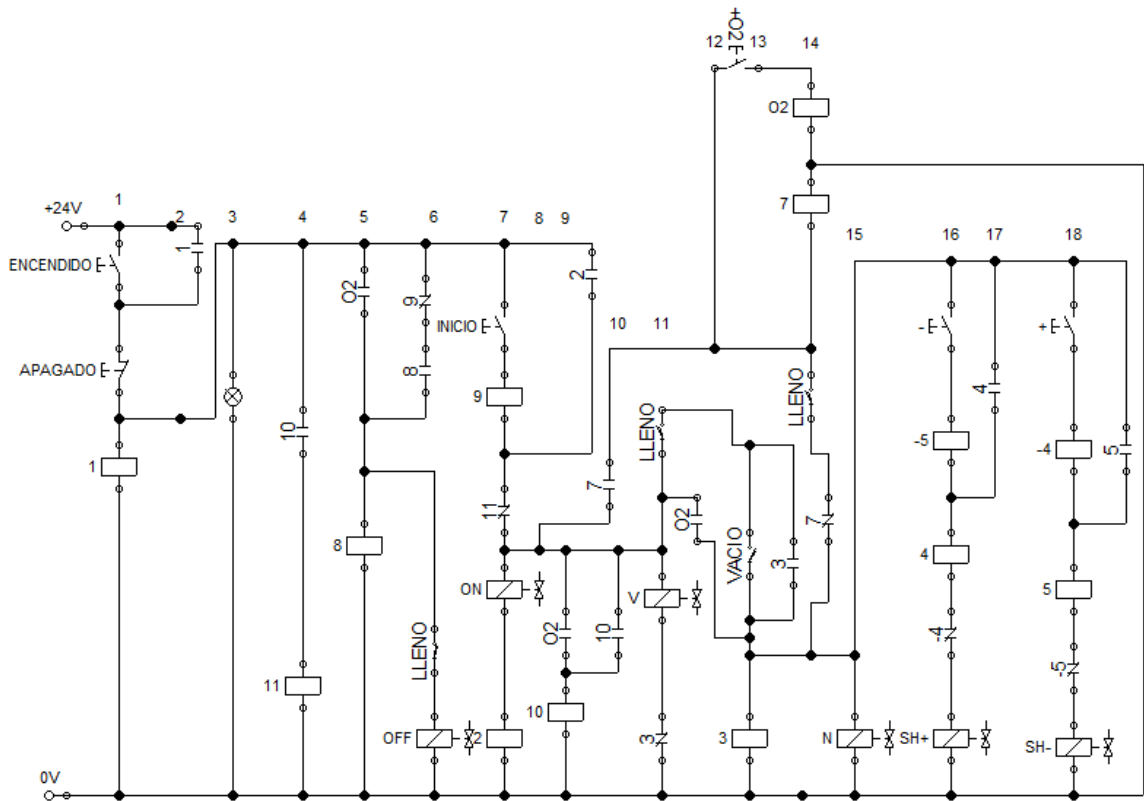


Figura 85. Diagrama de control

4.12.3 LINEAS NEUMATICAS

Para el sistema neumático se diseñó un sistema de 3 líneas neumáticas que son de vaciado, inyección de gas seco e inyección de gas humidificado, estas 2 últimas parten de un mismo punto y se unen en un mismo punto para poder ser inyectado a la cámara, en la figura 86 se muestra el modelo neumático y los orificios a los cuales se adapta en la cámara, en el anexo 1 se muestra en detalle todos los elementos. Las mangueras son de ¼ de pulgada, estas son las que viene con el inyector de gas y la bomba de vacío, los adaptadores de manguera son acoples machos de ¼ x 1/8 en total se utilizan 15, el control se da por 3 electroválvulas que de 1/8 para poder ser acopladas, para evitar el regreso de aire después del vaciado por la línea de vacío se toma una válvula check para oxígeno unida a la cámara por un niple y a la manguera por medio de un acople modificado a la medida de este, dado que el espesor de la cámara es de 2 mm se opta por orificios de 1/8 de pulgada que es una medida comercial pequeña y así evitar fugas además

que es la de los adaptadores, 3 acoples en T de 1/8 para la línea de gas inerte, 1 niple de 1/8 de pulgada con un tapón en el cilindro para realizar una purga en caso de emergencia y 3 roscas mariposa de 1/8 de pulgada para asegurar los elementos al tanque, en la figura 87 se muestran estos elementos y en el anexo 3 la proforma de precio para el sistema neumático.

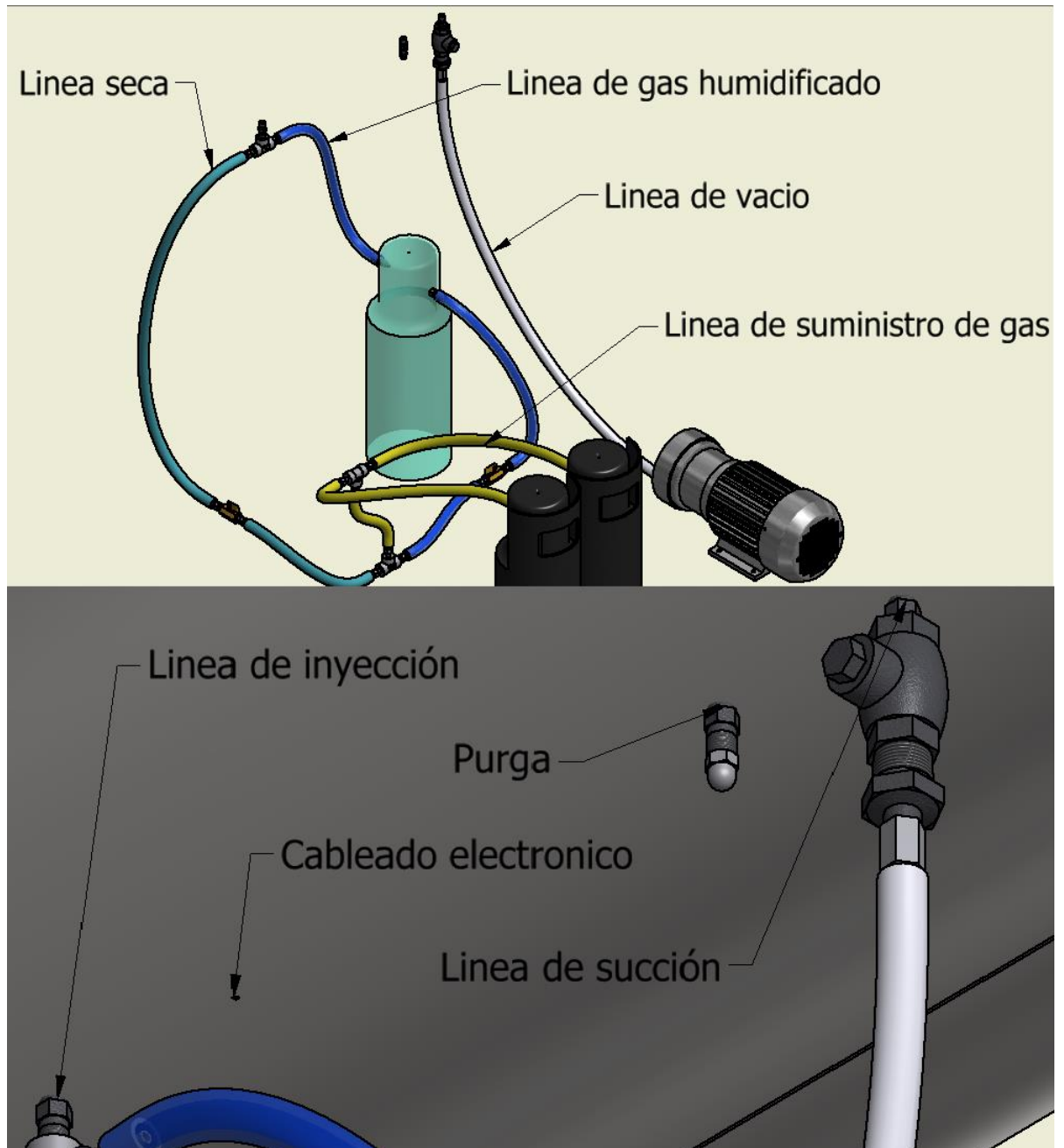


Figura 86. Modelo sistema neumático

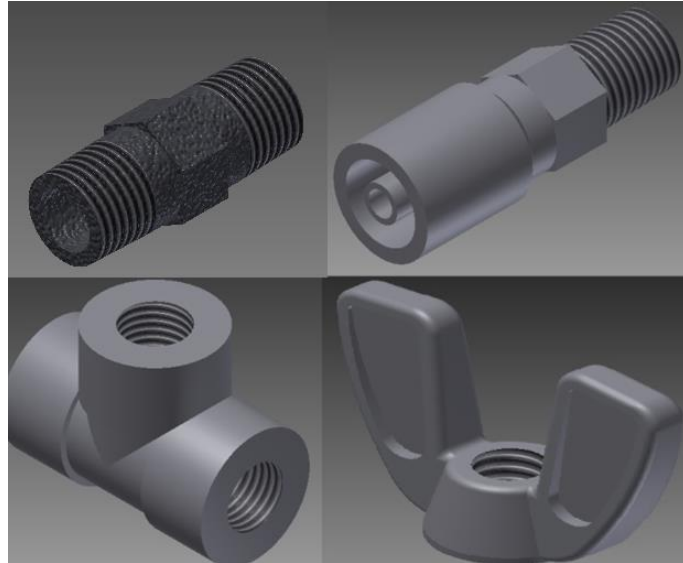


Figura 87. Ajustes y acoples

4.13 SISTEMA DIGITAL

El sistema de control es programado en LabVIEW y el microcontrolador es una placa Arduino UNO, una vez instalados los software se configura la interface entre LabVIEW y Arduino en VI de LabVIEW como se muestra en la figura 88.

Se selecciona el puerto serial en el cual ha sido instalado la placa y el tipo de Arduino que se tiene, en este caso UNO. La tasa de baudios y los byte por paquete viene dado por defecto no se los mueve y el tipo de conexión en este caso será por USB, de ser necesario puede ser cambiado a Xbee o Bluetooth.

En la figura 89 se muestra la inicialización y cierre de programa para la interface con Arduino.

Como se puede observar el programa comienza con el comando Arduino INIT y finaliza con Arduino CLOSE, dentro hay un ciclo WHILE que es en donde se realiza la programación de todo el sistema

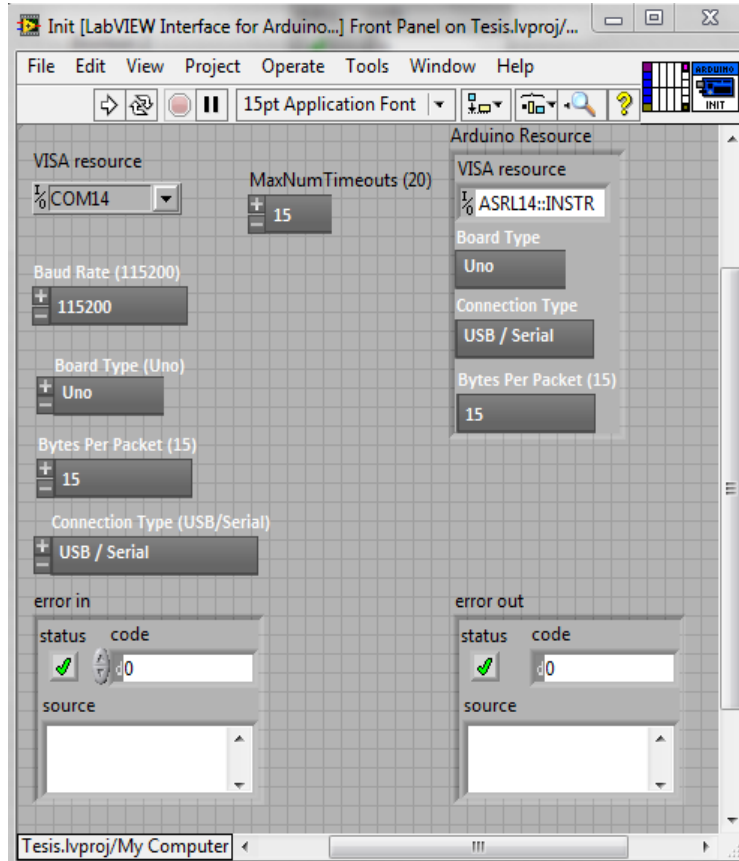


Figura 88. LIFA



Figura 89. Base de programa

4.13.1 LECTURA DE SENSORES

Los sensores al ser analógicos se les da una lectura similar a todos, el comando Analog Read PIN se cablea con el INIT y el CLOSE en la línea resource que es la rosada y en error que es la verde para evitar que se caiga la interface, dado que el sistema es desmontable se asigna el bloque de pin para que el usuario pueda escoger a que pin ha conectado el sensor que desee

4.13.1.1 Sensor de temperatura LM35

En la figura 90 se muestra el programa que se obtuvo para el sensor LM35 y en la figura 91 se muestra la visualización del estado de la temperatura medida.

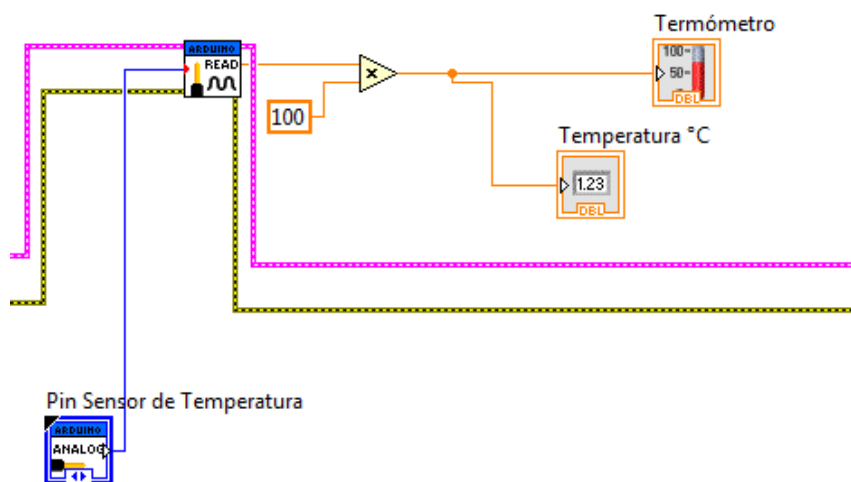


Figura 90. Diagrama de bloque LM35

Se asigna el ya antes mencionado comando de Analog Read y el pin de lectura, se asignan 2 indicadores uno gráfico y otro numérico, tomando en cuenta que la salida de voltaje del LM35 es lineal de $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ se multiplica por 100 la salida y se visualiza de una forma real la temperatura ya que en este caso no se simula el sensor se utiliza el real.

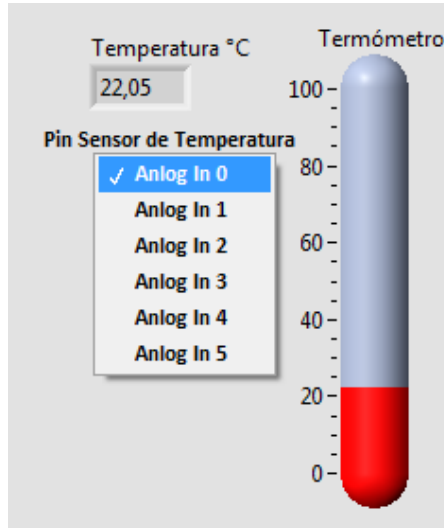


Figura 91. Panel Frontal LM35

4.13.1.2 Sensor de humedad HS1101

Mediante la ecuación 22, tomando que el arduino alimentara el sensor con un voltaje de 5 V se obtiene la siguiente tabla referencial del fabricante.

Tabla 10. Referencia HR vs V

RH%	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Voltaje	-	1.44	1.65	1.89	2.12	2.36	2.6	2.83	3.07	3.31	3.55

(Humirel, 2002)

Para realizar la visualización de la humedad relativa en el programa se toma la ecuación 22 y se despeja la %HR, se reemplaza el valor de Vcc a 5V y se simplifica de la siguiente manera

$$\%RH = \frac{Vout}{Vcc * 0,00474} - \frac{0,2354}{0,0047}$$

$$\%RH = \frac{Vout - 1.176}{0,0235}$$

Esta ecuación es llevada al diagrama de bloques para la obtención de la salida de humedad relativa, en la figura 92 se muestra el diagrama de bloques de la programación que se obtuvo y en la figura 93 el panel frontal con la gráfica validando la simulación del sensor.

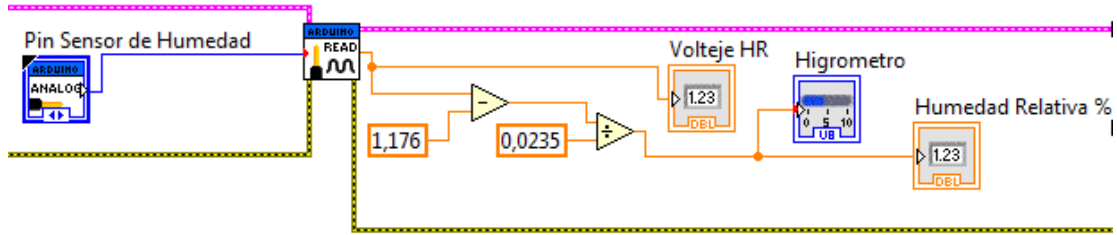


Figura 92. Diagrama de bloque sensor de humedad relativa

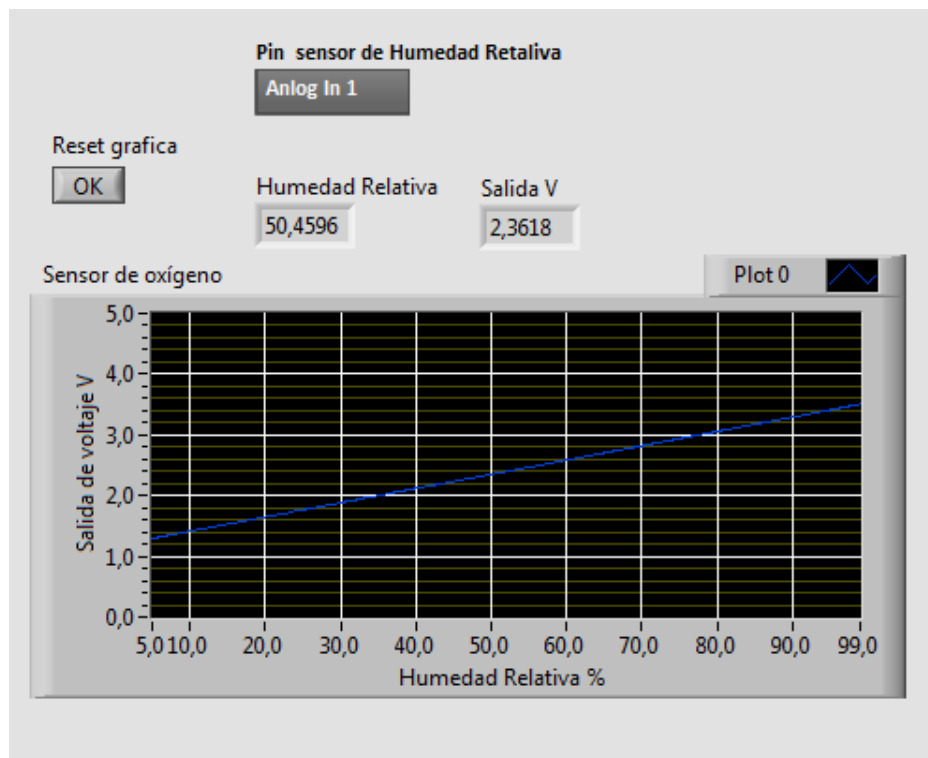


Figura 93. Panel frontal sensor de humedad relativa

En el diagrama de bloques se muestra como la ecuación 22 es llevada al campo de programación, las salidas se muestran de una manera gráfica, numérica y dado que este sensor no es el real sino un simulado se muestra el voltaje que este entrega y se lo compara con la tabla obtenida por el fabricante.

4.13.1.3 Sensor de oxígeno ME3-02

La empresa fabricante seeed refiere a que una salida de 9.01mV es cercana al 17% de concentración de oxígeno por lo cual la medida máxima de

concentración de oxígeno será de 25% a 13.25 mV, tomando esto en cuenta y que el sensor simulado tiene una salida de 0V a 5V se realiza la programación multiplicando el valores de salida por un factor 2.645 obtenido de la división entre valor máximo que debe tener la salida y el valor máximo de la salida del sensor simulado, para el porcentaje de concentración de oxígeno se multiplica por un factor de 1,886 el cual se obtiene de la división entre el valor máximo de concentración que se puede medir, y el valor de salida máximo del sensor simulado, con esto se desarrolla una grafique igual a la del fabricante. En la figura 94 se muestra el diagrama de bloque para el escalamiento que se realizó y la gráfica de los valores, en la figura 95 se muestra el panel de frontal de los resultados que se obtuvieron.

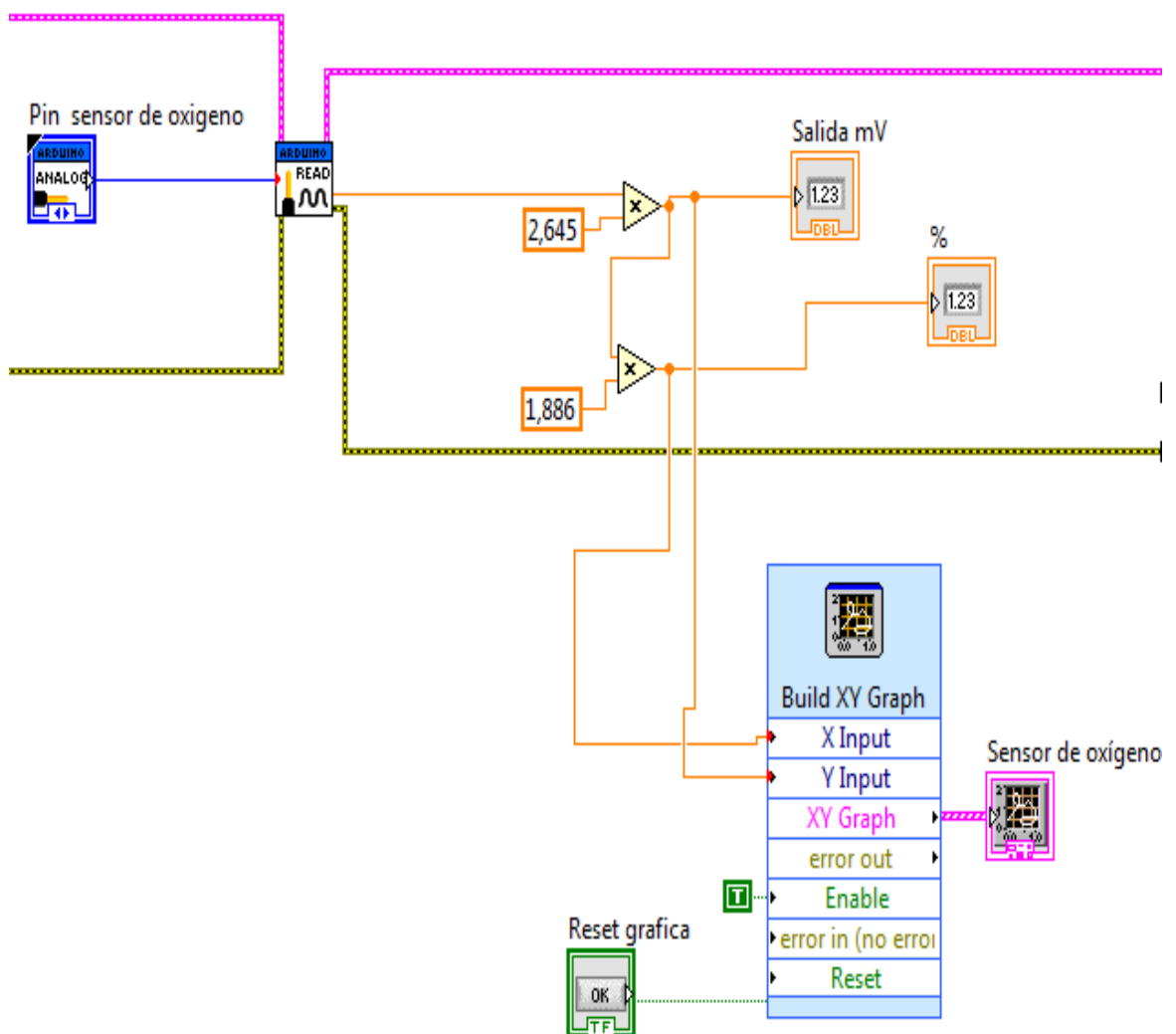


Figura 94. Diagrama de bloque sensor de O2

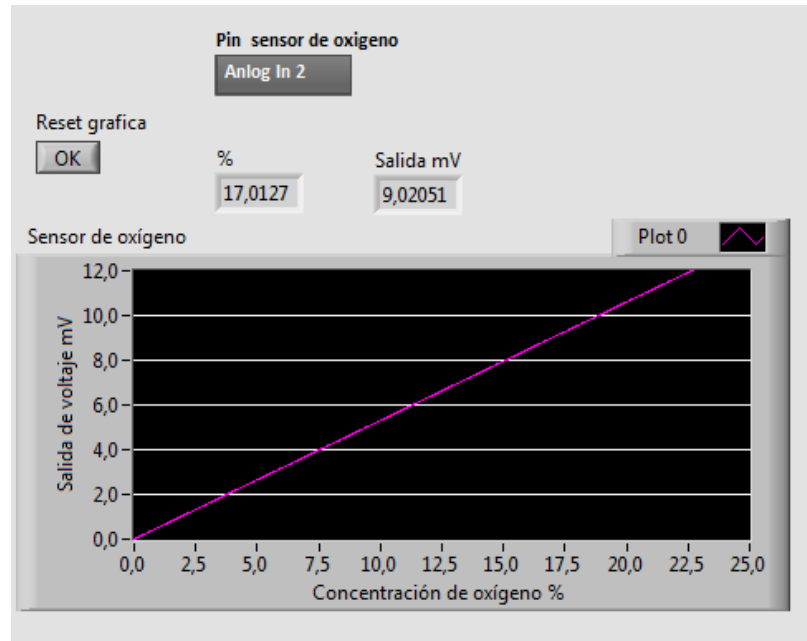


Figura 95. Panel frontal sensor de O2

4.13.1.4 Sensor de presión MPX4115A

El sensor de presión MPX4115A puede medir una presión mínima de 15KPa y una máxima de 115Kpa, donde sus especificaciones indican que tiene una señal de salida mínima de 0.2 V y una máxima de 4.8 V, el sensor simulado da una medida máxima de 5.0127 V y una mínima de 0 V, basados en estos parámetros se utiliza la ecuación 24 para poder obtener la ecuación de la recta de la siguiente manera

$$0.2 = a(0) + b$$

$$b = 0.2$$

De la misma manera se reemplaza para el valor máximo siendo y obteniendo la ecuación 25.

$$4.8 = a(5.0127) + b \quad [25]$$

Al reemplazar el valor b antes obtenido en la ecuación se despeja el valor de a de la siguiente manera

$$a = \frac{4.8 - 0.2}{5.0127}$$

$$a = 0.917669$$

Con los valores a y b se lo pasa al diagrama de bloques y se obtiene el escalamiento del voltaje de salida.

Utilizando la misma ecuación 25 se remplazan los valores de presión con su respectivo voltaje de salida obteniendo las ecuaciones 26 y 27 de la siguiente manera

$$15K = a(0.2) + b$$

$$b = 15K - a(0,2) \quad [26]$$

$$115k = a(4.8) + b$$

$$b = 115k - a(4.8) \quad [27]$$

Reemplazando 27 en 26 y despejando a se obtiene

$$115k - 4.8(a) = 15k - 0.2a$$

$$115 k - 15k = 4.8a - 0.2 a$$

$$a = \frac{100000}{4.6}$$

$$a = 21739.13$$

Obtenido el valor de a se lo reemplaza en la ecuación 25 obteniendo b

$$b = 15k - (21739.13 \times 0.2)$$

$$b = 10652.174$$

Con estos de la misma manera que el sensor de oxígeno se reprodujo la señal de salida en una gráfica, en la figura 96 se muestra el diagrama de bloques que se obtuvo para el sensor de presión y en la figura 97 el panel frontal con su respectiva gráfica.

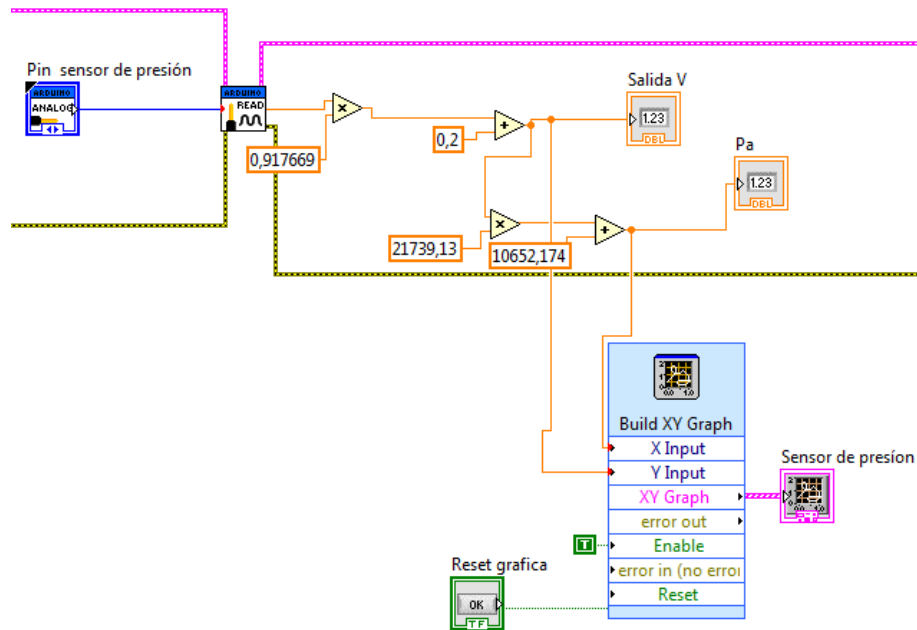


Figura 96. Diagrama de bloques sensor de presión

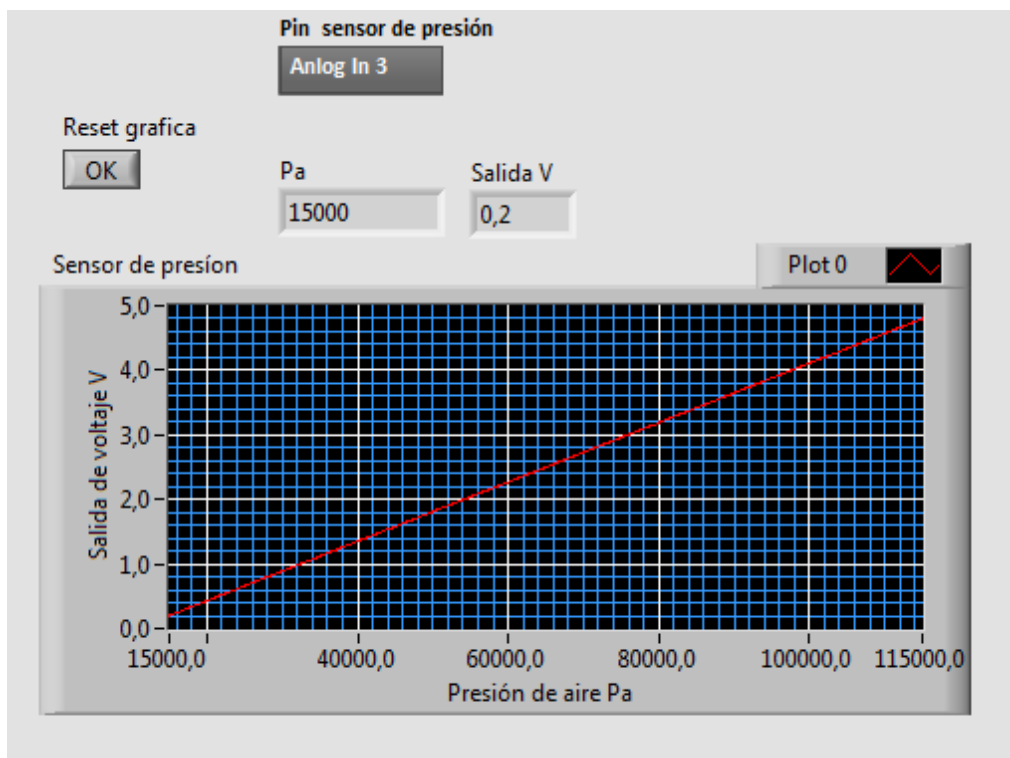


Figura 97. Panel frontal sensor de presión

La grafica es similar a la gráfica de la salida típica del sensor, con esto se muestra que el sensor simulado es preciso a la especificación del fabricante acerca del máximo y mínimo tanto en voltaje como de presión de aire,

aunque no se utilizó la función de transferencia del mismo ya que no coincide con los resultados de la gráfica

4.13.2 PROGRAMA DE CONTROL

El programa de control es el encargado de regir sobre todo el sistema a partir de las señales que se obtiene de los sensores, lo que se controla son las válvulas para generar el vacío, la inyección del gas humectado y la inyección del gas seco, tomando en cuenta esto en la figura 98 se muestra la configuración de las 3 salidas de control que se diseñó.

Las 3 salidas son salidas digitales, es decir el Arduino enviara una señal de 1 o 0 que se traduce ON/OFF para los relés que abran o cierren su respectiva electro válvula. Al igual que con los sensores el usuario escoge los pines a los cuales asigna cada salida y dentro de la configuración todos se establecen como un “output” es decir como un pin de salida y no de lectura.

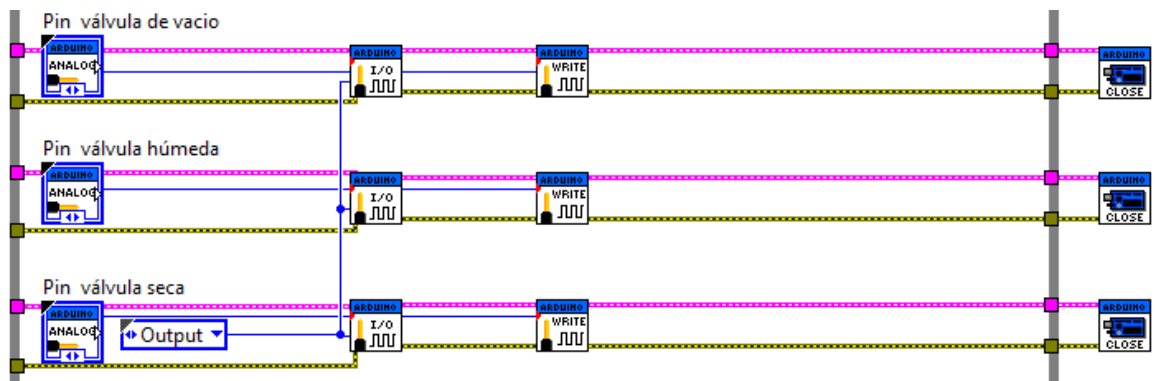


Figura 98. Configuración de salidas de control

El sistema configurado se inicializa y se apaga con 2 pulsadores respectivamente, los cuales controlan el estado de una salida verdadera o falsa, esta salida controla un ciclo case el cual en su estado verdadero implementa el programa de control como se muestra en la figura 99 y en su estado de falso ordena a todas las salidas y sus indicadores apagarse y no lee ningún sensor.

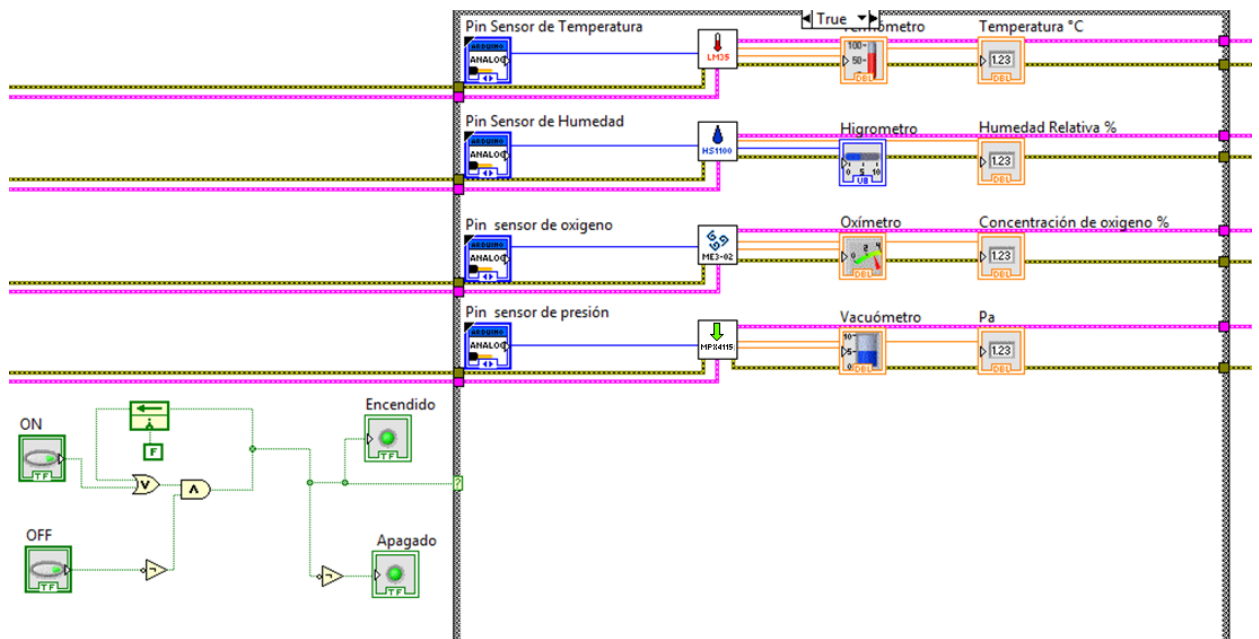


Figura 99. Sistema ON/OFF

El pulsador ON envía una señal de F, el pulsador OFF envía continuamente una señal F y es negada por el nodo NOT lo que hace que envíe continuamente una señal V al comparador lógico AND, al ser presionado el pulsador ON envía una señal V al comparador lógico OR el cual envía el valor V al indicador Encendido, y al pasar por la negación del indicador Apagado, envía la señal de F, de la misma forma la señal del comparador AND pasa al ciclo case haciendo que se inicie la programación en la condición “True”, a su vez esta señal verdadera es retroalimentada al comparador lógico OR haciendo verdadera la condición permanentemente, al oprimir el pulsador OFF este envía una señal V que al ser negada pasa como F al Comparado AND teniendo como resultado una salida F haciendo que el ciclo case entre en la programación de False y los indicadores cambien su estado, igualmente la realimentación del comparador OR se convierte en F manteniendo ese estado.

Al gobernar el encendido y apagado del sistema, se realiza el sistema de control de vaciado y llenado del gas con base en la adquisición de datos, el diagrama de bloques de este control se encuentra en la figura 100

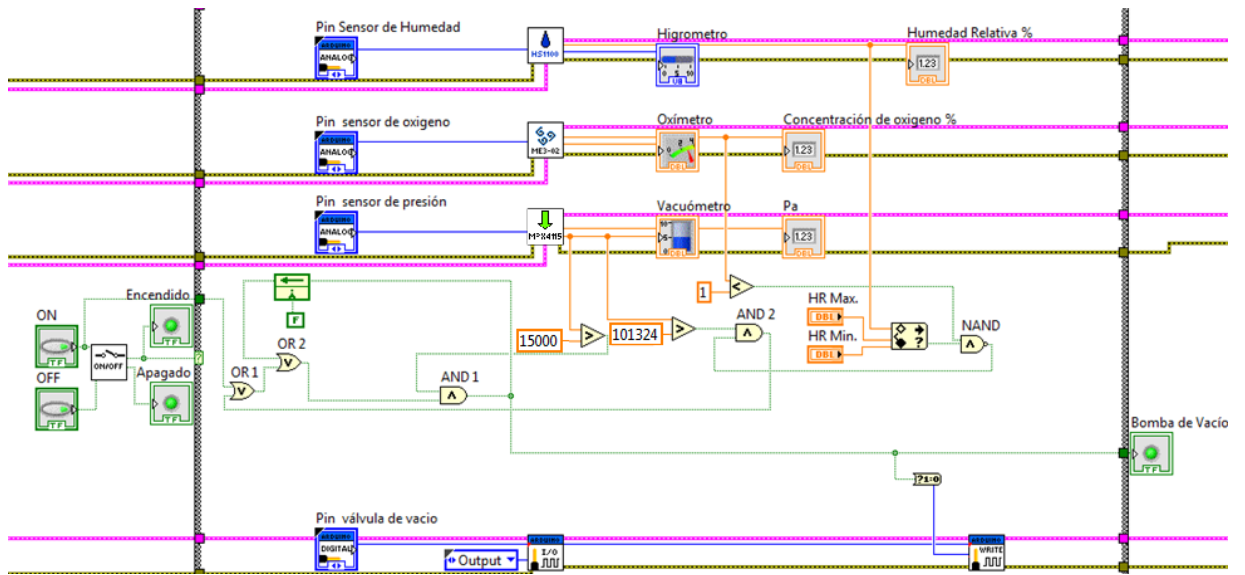


Figura 100. Sistema de control vaciado y llenado

El comparador OR 1 recibe las señales de inicio del pulsador ON, este al enviar la señal V pasa al comparador OR 2 y a través de este al comparado AND 1, el comparador AND 1 recibe la condición de que la presión sea mayor al 15000 Pa para que sea verdadera, dado que el sistema nunca inicia en vacío esta envía una señal V que es transformada a un valor numérico 1 y enviada a la salida de arduino para la activación de la válvula de vacío, esta señal V es retroalimentada al comparador OR 2 haciéndola verdadera permanentemente.

Una vez alcanzada la condición de 15000 Pa el comparador AND 1 recibe y envía una señal F haciendo que se apague la válvula de vacío y la realimentación se mantenga en el mismo estado de F.

En este punto se da la inyección del gas inerte hasta que sobre pase la presión 101324 Pa, esta señal es enviada al comparador AND 2 la cual envía su respuesta al comparador OR 1, paralelamente las señales de concentración de oxígeno y rango de humedad relativa son comparadas con el nodo NAND 1, este enviara continuamente una salida V hasta que se cumplan las condiciones de concentración de oxígeno y humedad relativa al nodo AND 2 de presión máxima, solo en ese momento se enviara una señal F, esto quiere decir que hasta que no se cumplan las 3 condiciones el comparador OR 1 enviara una señal V la cual activara la válvula de vacío

repitiendo el ciclo, solo con las 3 condiciones verdaderas el sistema se detiene.

El sistema principal está controlado suponiendo la inyección de gas inerte, dicha inyección se da por 2 línea una que pasa por un humidificador y una línea seca, en la figura 101 se muestra el diagrama de bloque de la línea húmeda para la inyección del gas inerte.

El sistema inicia cuando se realiza la comparación de la presión de aire, si esta desciende bajo los 15001 Pa dispara una señal de V al comparador OR 3, este a su vez pasa la señal a los comparadores AND 3, 4 y 8, AND 3 compra la señal con la condición de que la presión sea mayor a 101324 Pa, siendo esta señal negada por el nodo NOT 1 haciéndola verdadera mientras no se sobrepase esta presión, siendo así AND 3 envía una señal V que se realimenta en OR 3 manteniendo la condición.

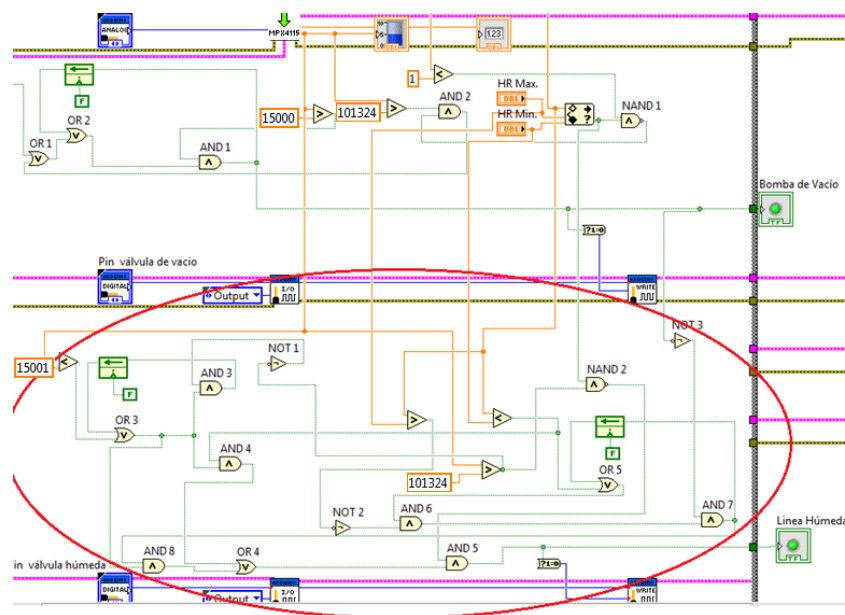


Figura 101. Control de línea húmeda

Esta condición también se retiene en AND 4 la cual compara con la señal con la condición de que la humedad relativa sea menor al límite del rango, cuando la presión ha baja a los 15000 Pa la cámara estará vacía por lo que la humedad relativa siempre será menor al rango escogido esto al ser cierto hace que AND 4 envíe una señal V al comparador OR 4, que pasa hasta el comparador AND 5, la condición de que la presión sea mayor a 101324 Pa

es enviada a ser comparada por el nodo NAND 2 con la condición de que la humedad relativa se encuentre dentro del rango establecido, al ser estas 2 condiciones falsas se envía una señal V al comparador AND 5 la cual envía una señal V al arduino y hace que la válvula de inyección de gas húmeda se encienda.

A su vez al haber disminuido la humedad relativa bajo el rango establecido se envía una señal V al comparador OR 5 y a través de el al comparador AND 6 el cual compara dicha señal con la condición negada por NOT 2 de que la humedad relativa sea mayor al rango establecido, ambas al ser verdad envían la señal V al comprador AND 7 que compara la señal con la condición negada por NOT 3 de la condición de la bomba de vacío, esta al estar apagada envía una señal V haciendo que AND 7 envíe una señal V de retroalimentación a OR 5 haciéndola permanente y a AND 8 que a su vez envía su señal a AND 5 a través de OR 4.

Al abrir la válvula inyectando el gas humectado, la humedad relativa dentro de la cámara empezará a incrementarse y alcanzará el rango lo que hace que AND 4 reciba y envíe una señal de F, pero dado que AND 5 recibe su señal V por el comparador OR 4 está aún sigue siendo V por la señal V de AND 8 hasta que se sobrepase el límite del rango de humedad relativa entonces AND 4 y AND 6 reciben una señal F lo que hace que AND 7 envíe una señal F realimentada y a su vez AND 8 y 5 envíen una señal F apagando la válvula de inyección por la línea húmeda, esto significa que la línea de inyección por la línea seca está activa e inyectando el gas a través de esta, al ingresar gas seco la humedad relativa irá disminuyendo hasta que pase por debajo del límite del rango establecido, en ese momento AND 4 y 6 volverán a tener la condición V que envíe a AND 5, 7 y 8 encendiendo de nuevo la válvula de línea humectada.

Al llenarse la cámara y alcanzar la presión de 101325 Pa AND 3 recibe una señal F haciendo que la retroalimentación de OR 3 se haga F de nuevo, si las condiciones no son las adecuadas en cuanto a humedad relativa y concentración de oxígeno se enciende la válvula de vacío haciendo que AND 7 envíe reciba una señal F haciendo que AND 8 envíe una señal F por

OR 4 a AND 5 haciéndola F y apagando la válvula de inyección, si es que las condiciones son las adecuadas la válvula de vacío no vuelve a encender y AND 7 sigue enviando una señal V pero NAND 2 recibe las señales V de que se encuentra dentro del rango y la presión es mayor a 101324 Pa envía una señal F a AND 5 apagando la válvula y dejando así el sistema permanentemente.

La válvula de línea seca debe encenderse cuando la de línea húmeda se apague y apagarse cuando la otra se encienda, pero manteniendo las mismas condiciones el control para la línea seca es exactamente el mismo que el de la línea húmeda con la excepción de los comparadores de límites de humedad relativa intercambiados como se muestra en la figura 102

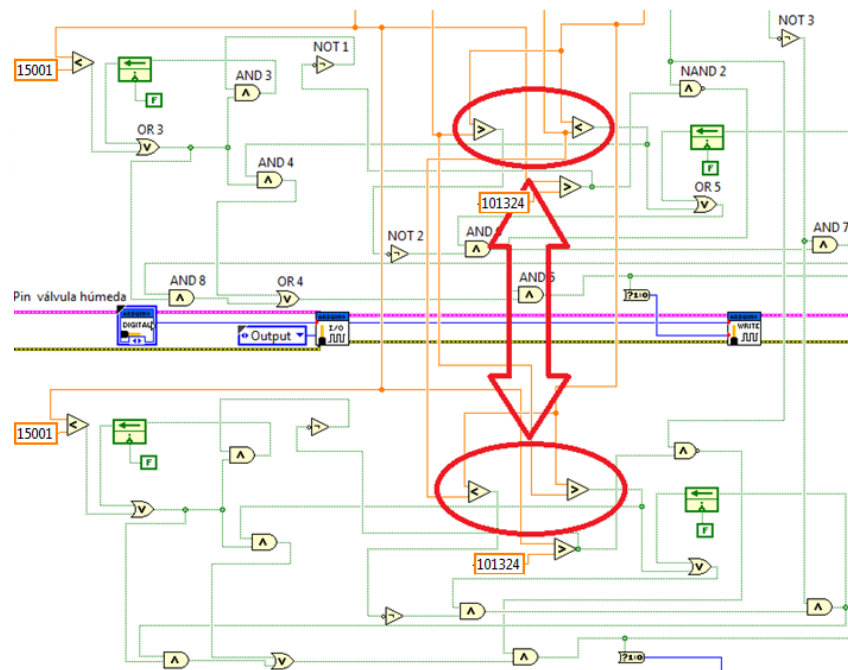


Figura 102. Control de línea seca

El sistema de control automático es la prioridad pero dado que este sistema sirve para la experimentación se le da al usuario la opción de cambiar a un control manual mediante pulsadores o volver al control automático mediante el uso de pulsadores, dentro del sistema manual el restaurador mediante switches escoge abrir las válvulas a voluntad mientras los sensores continúan con su trabajo, en la figura 103 se muestra el diagrama de bloques para este control.

Dentro del ciclo case ON/OFF se realiza otro ciclo case en el que en la condición verdadera se encierra el sistema de control automático y en la condición falsa el manual, el sistema de pulsadores es el mismo incluyendo un comparador OR el que compara la señal del pulsador manual con la de OFF para que así al apagar el sistema se reinicie el sistema.

Por último se realiza la aplicación ejecutable del programa y con su respectivo instalador, en la figura 104 se muestra la ventana de bienvenida desplegada por el instalador, en la figura 105 el icono desplegado en la barra de Windows y en la figura 106 la aplicación abierta.

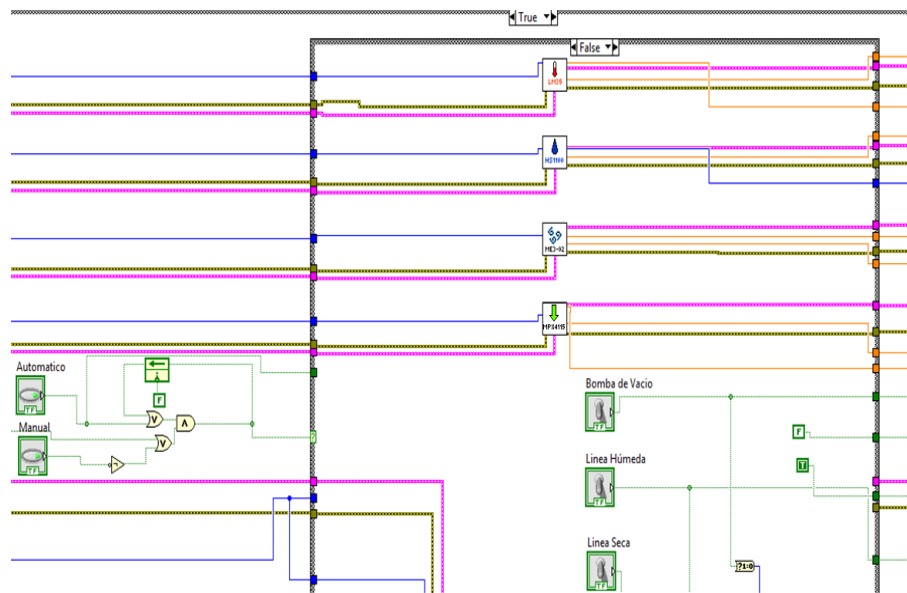


Figura 103. Control Manual



Figura 104. Instalador

Como resultado se obtuvo la simulación de los sensores con salidas analógicas por medio de potenciómetros, con los cuales se crea y se representa el sistema de control final que servirá para la implementación del sistema, además de la creación de la aplicación final instalable a ser utilizada.

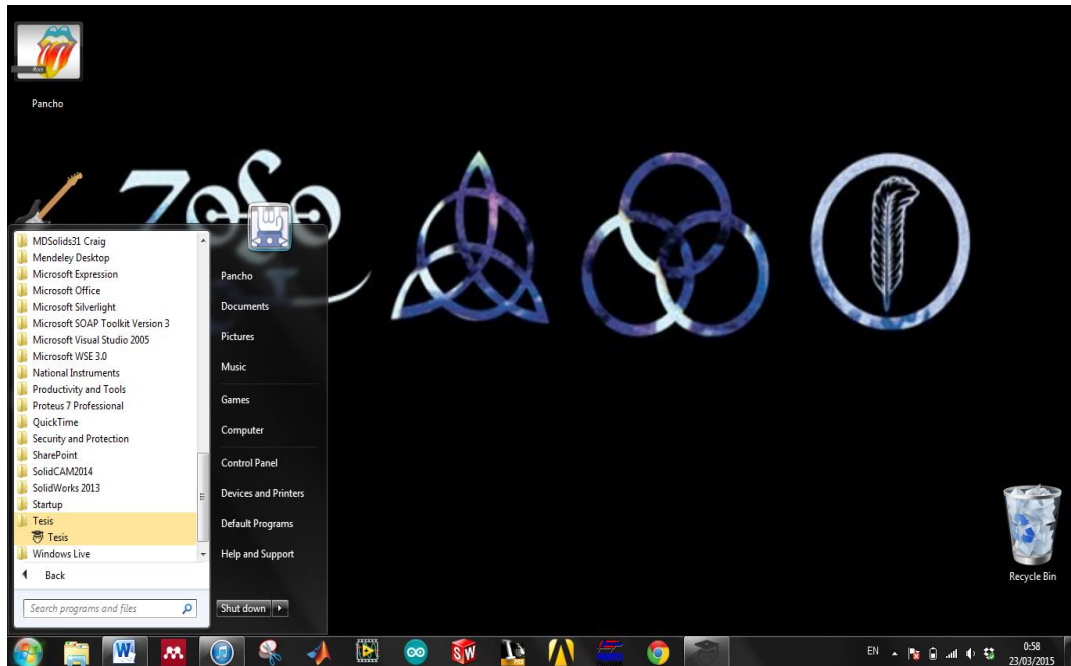


Figura 105. Ejecutable

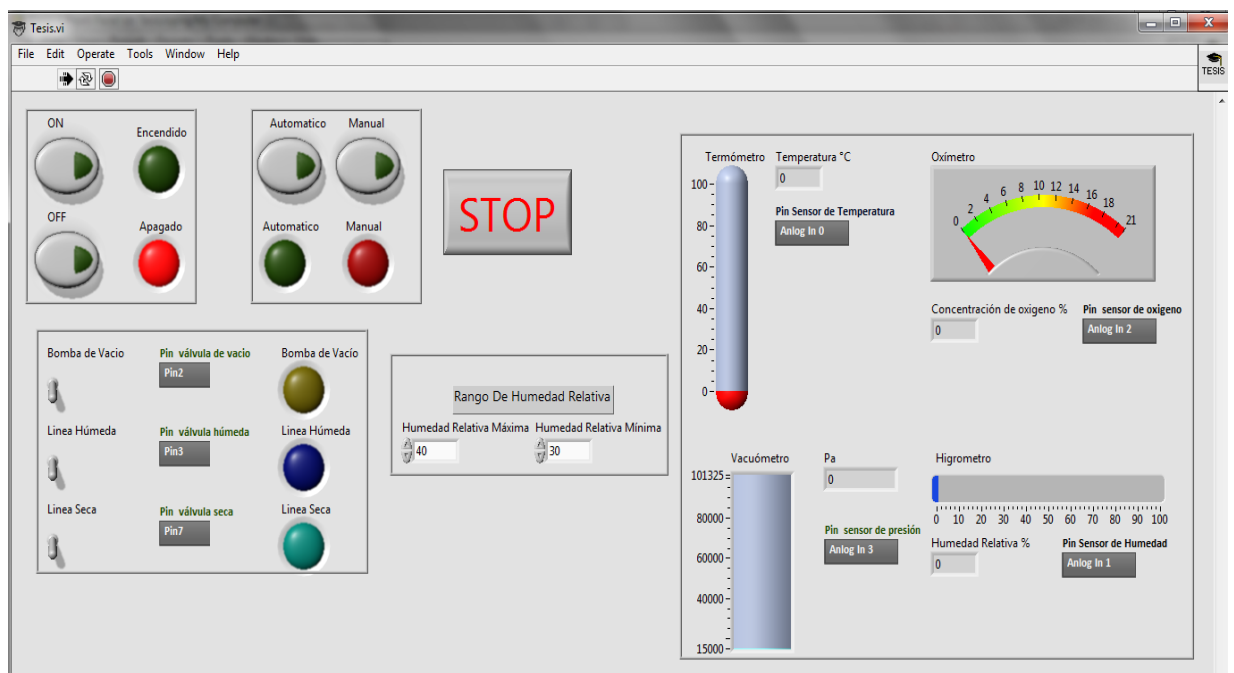


Figura 106. Panel de control Sistema

4.14 PANEL DE CONTROL DE POTENCIA

Se presenta el diagrama que se obtuvo de circuito en la figura 107

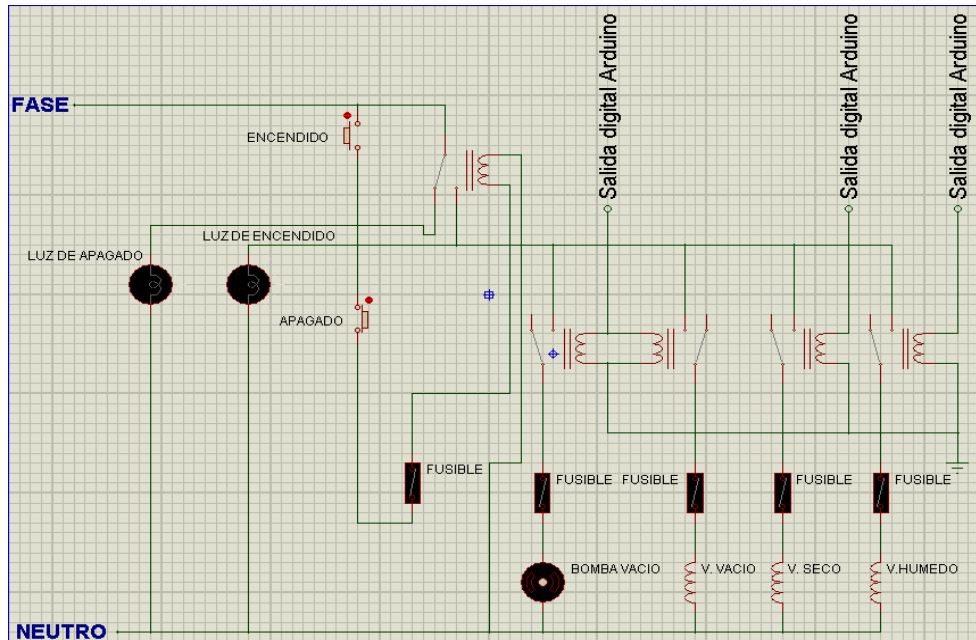


Figura 107. Circuito caja de control

El circuito se alimenta con una fuente monofásica AC de 120 V mientras que arduino se alimenta con una batería de 9 V DC, este solo aporta a las señales de control en los relés para la bomba de vacío y válvulas.

El pulsador de encendido normalmente abierto al ser presionado permite el paso de la energía a través del pulsador normalmente cerrado de apagado y alimenta la bobina de 6 A que al energizarse cierra el circuito sin la necesidad de pasar por el pulsador de encendido.

Esta línea queda alimentada al resto de relés el que alimenta a la bomba de vacío es igual al del circuito de control mientras que los relés de electro válvulas son de estado sólido de 10 A, estos solo esperan la señal de control de arduino para permitir el paso de la energía.

A la salida de cada componente pasa por un contactor con fusible antes de cerrar el circuito con neutro para protección.

Periféricamente se encuentran las luces de aviso y los pulsadores de encendido y apagado además de 3 orificios para la salida de cableado destinando el inferior para alimentación AC, el central para conexión de electroválvulas y bomba de vacío y el orificio superior para la salida de conexión de la placa de sensores dentro de la cámara y la conexión de arduino al computador.

La caja de control se muestra en la figura 108, las medidas mostradas son las que se encuentran en el mercado y las necesarias para almacenar el sistema de control, además de las 3 perforaciones, en los anexos 4,5,6,8 se encuentran las proformas de los elementos eléctricos y electrónicos.

Como resultado se obtiene el elemento de potencia que protegerá a los componentes y al usuario en caso de un sobre voltaje o cualquier otra eventualidad en el proceso.

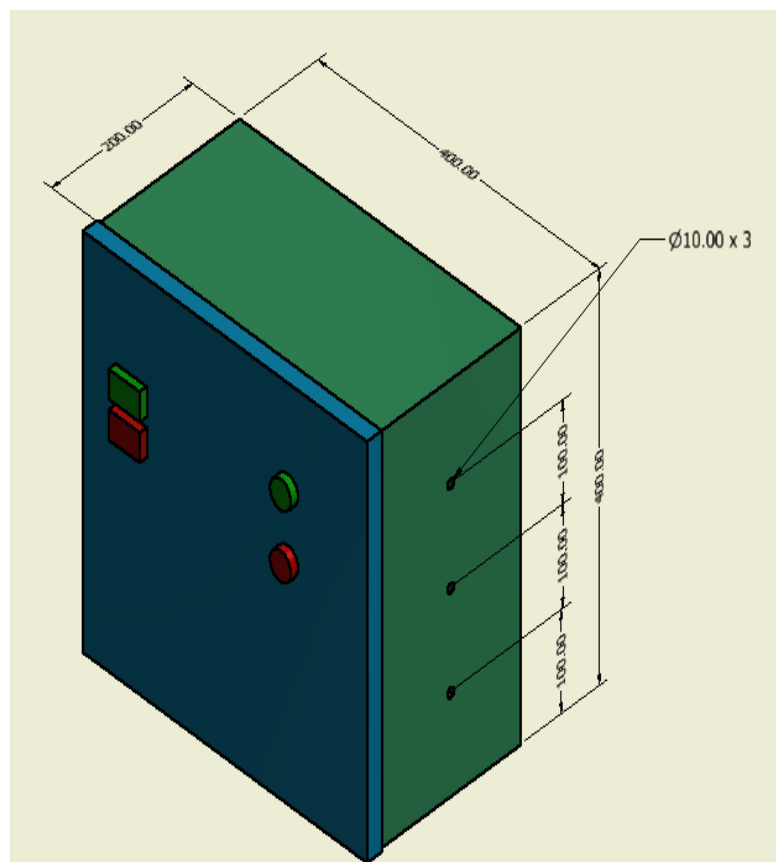


Figura 108. Panel de control

4.15 MODELO COMPLETO

En la figura 109 se muestra el modelo final del proyecto.

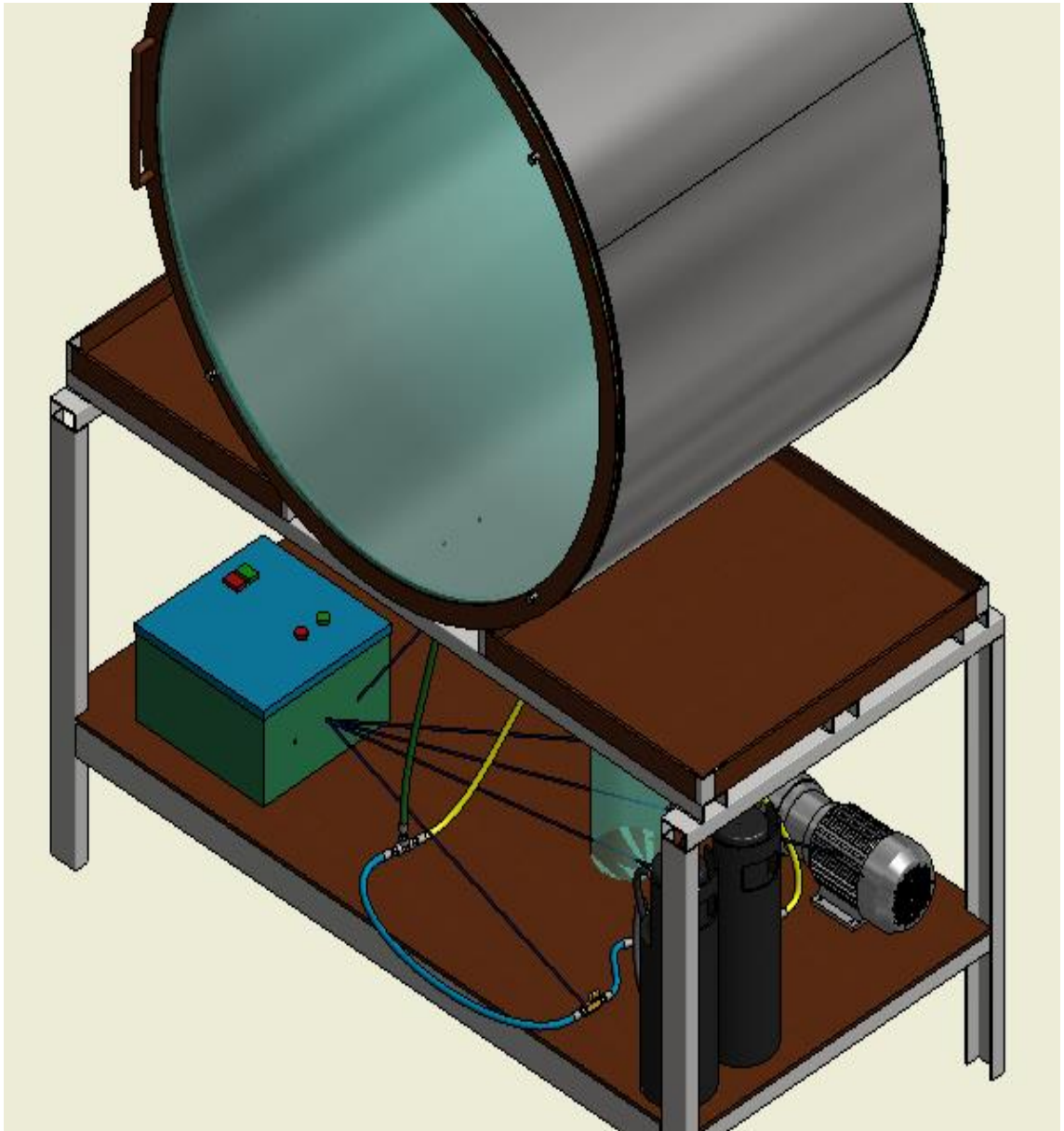


Figura 109. Modelo Final

Como resultado se obtuvo el modelo de la cámara de restauración con su sistema neumático y panel de control, es como debe verse al momento de la construcción.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 ANÁLISIS DE GEOMETRIA

Mediante el método de criterios ponderados, se obtuvo en la tabla 7 en donde se aprecia que la geometría cilíndrica es la mejor opción, esto se debe no solo a las bondades sino también a la falta de eficiencia de las otras opciones.

Las falencias que presenta la bolsa están en la vida útil, esta se da porque la bolsa no puede ser usada permanentemente, esta eventualmente no podrá seguir siendo utilizada y se requerirá de otra. La característica térmica es deficiente porque la bolsa no tiene una resistencia térmica como el acero, el objeto a ser restaurado puede calentarse tan solo con la entrada de la luz solar. La bolsa carece de resistencia alguna a la deformación y en cuanto al diseño es algo muy complejo el simular una bolsa que se deforma y amolda a la figura del objeto para posteriormente inflarse hasta el punto máximo de resistencia de sus uniones.

Los puntos débiles en la forma prismática se encuentran en el peso y la manufactura debido a que las formas planas requieren una gran robustez para soportar la presión por lo que el espesor debe ser muy amplio, por esta razón se deben mandar a hacer los paneles de la cámara y su peso demasiado grande haciendo también su transporte muy complicado.

5.2 ANÁLISIS DE CILINDRO

En un caso ideal el cilindro podría ser construido con un espesor de 0.7 mm pero debido a factores como son la soldadora, el transporte y la manufactura el realizar un cilindro de 2mm de espesor es más adecuado.

La verificación de que el diseño es aceptable se la realizó mediante el uso de software CAE, con el cual se realizaron 9 simulaciones más aparte de la ya antes realizada con distintos tipos de mallado, en las figuras 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118 se muestra los resultados de estas.

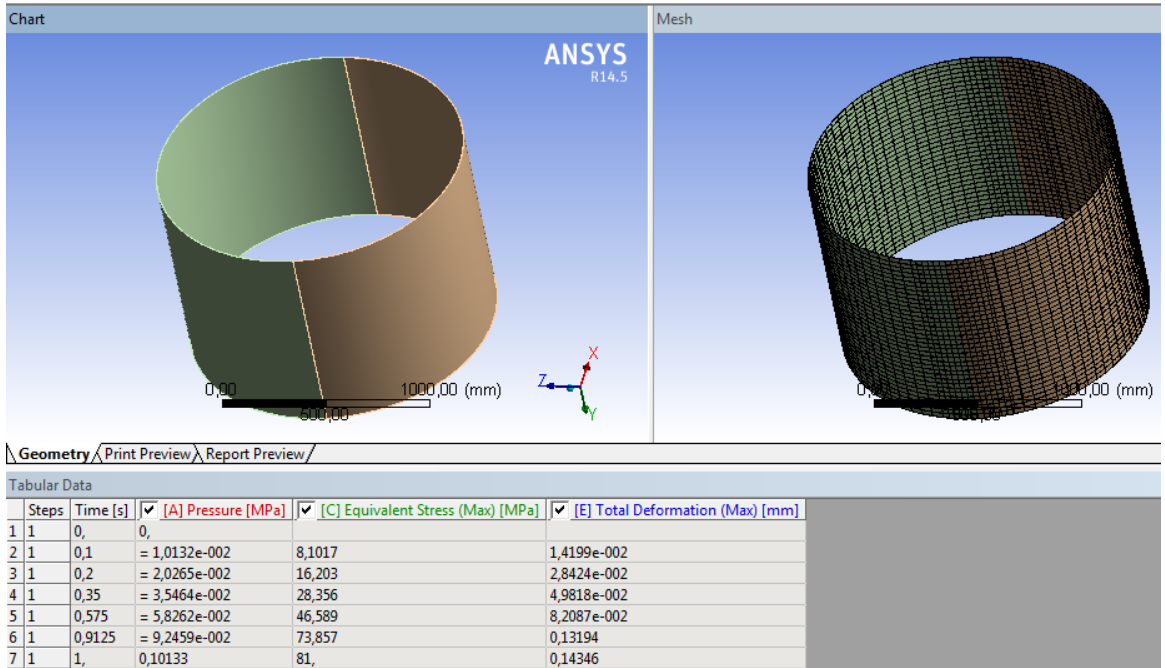


Figura 110. Cilindro con mallado por defecto

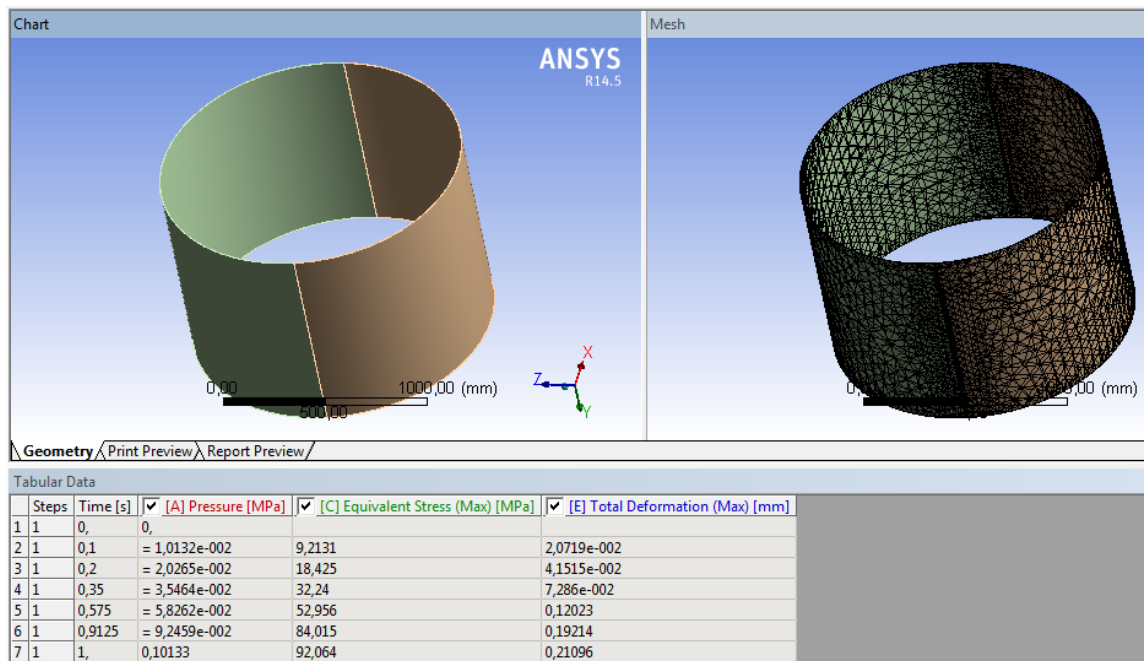


Figura 111. Cilindro con mallado tetraedro

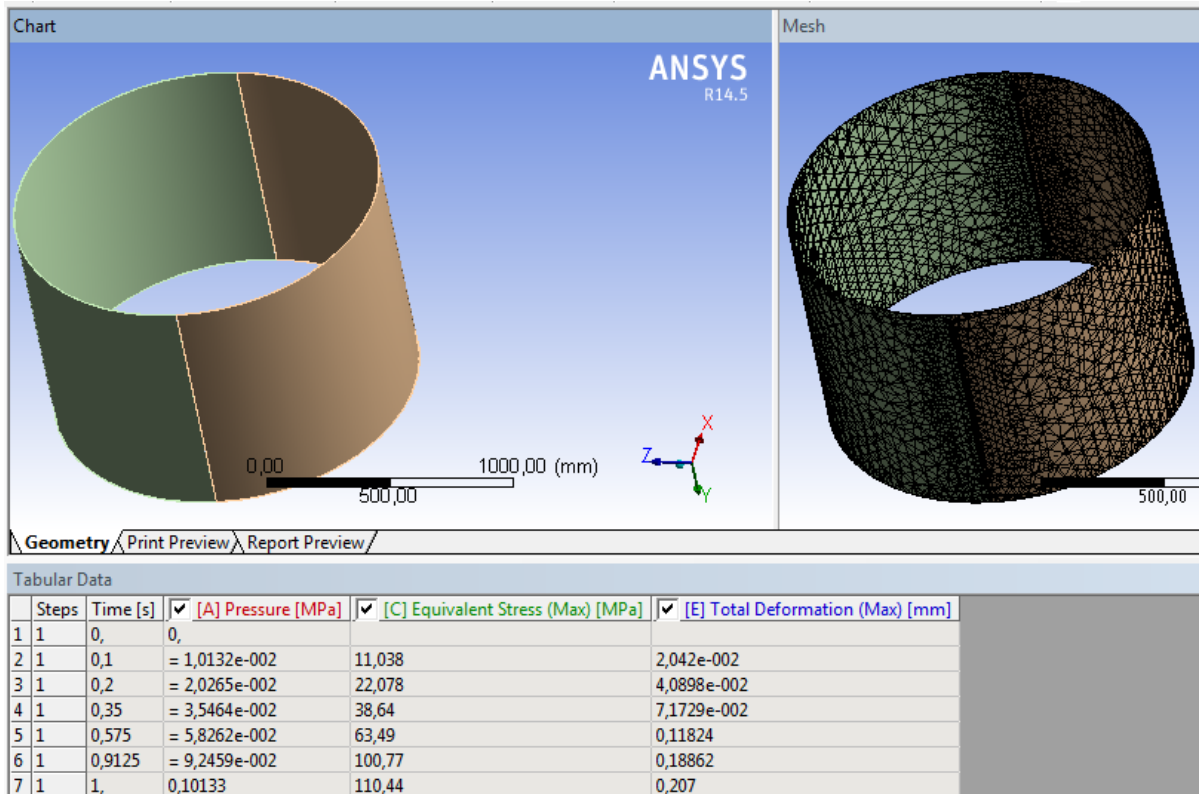


Figura 112. Cilindro con mallado relevancia de contacto 3

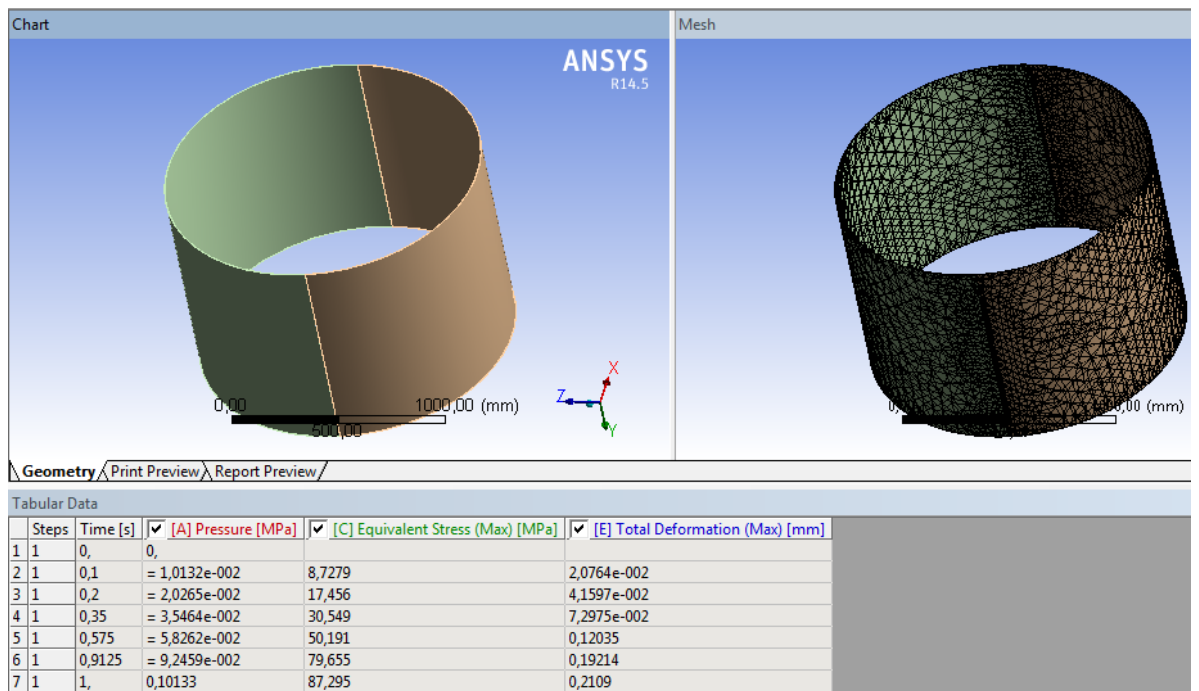


Figura 113. Cilindro con mallado relevancia de contacto 5

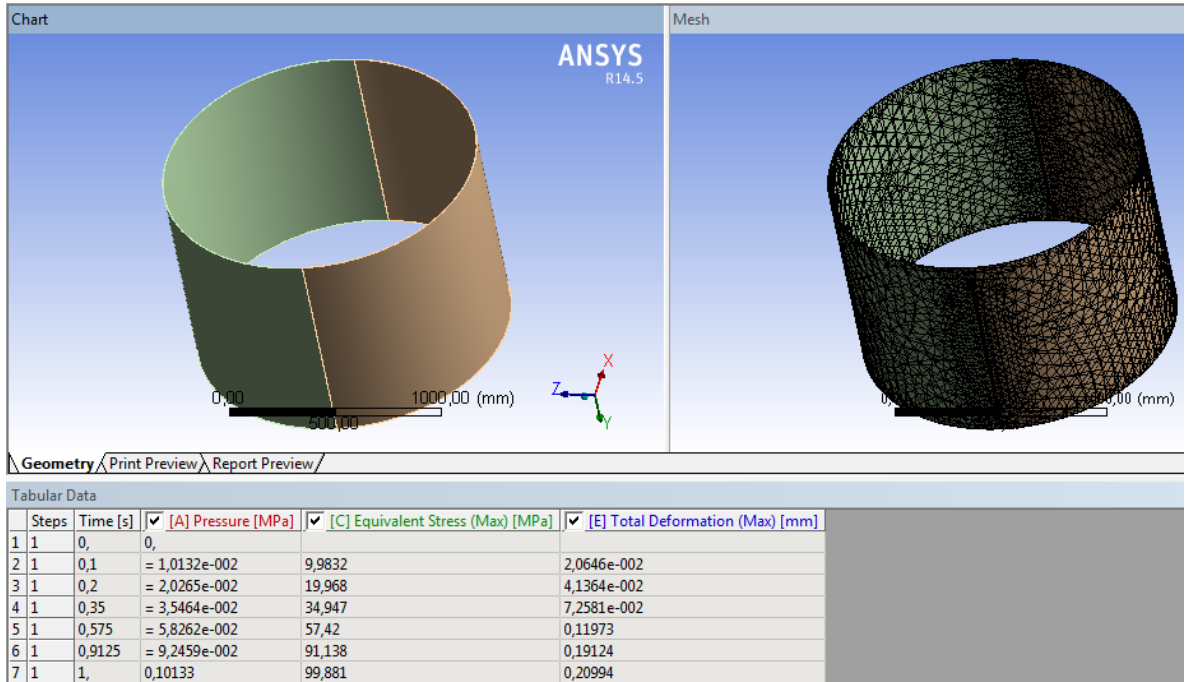


Figura 114. Cilindro con mallado relevancia de contacto 10

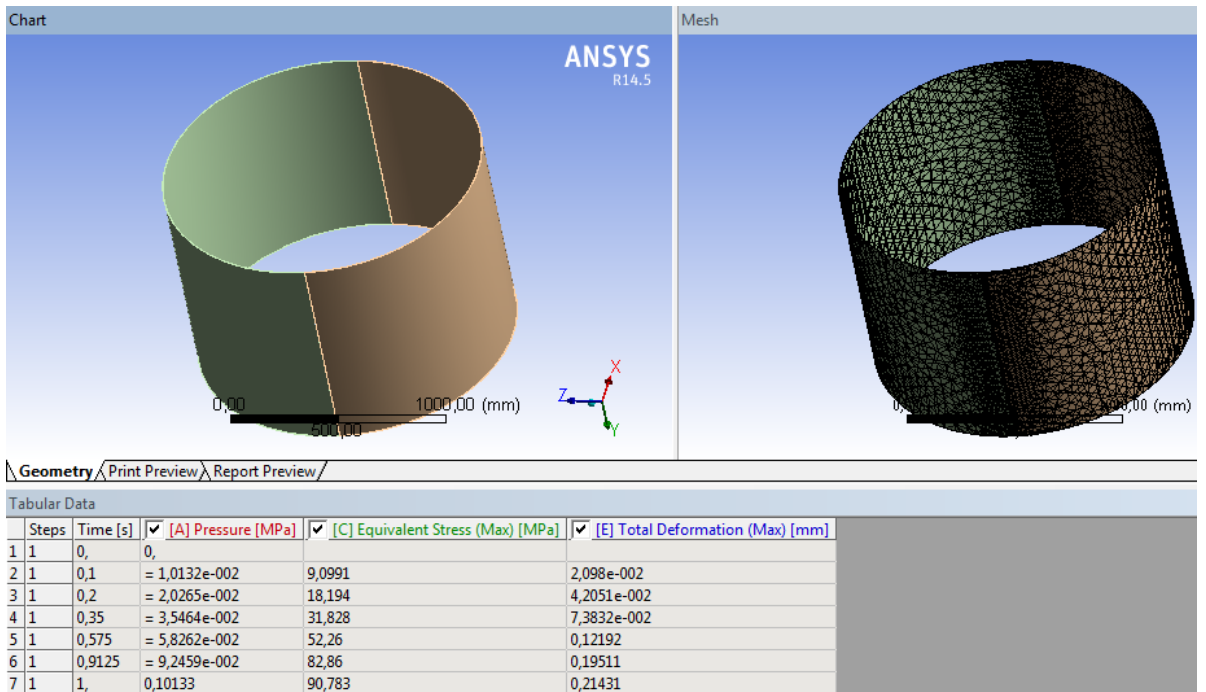


Figura 115. Cilindro con mallado relevancia de contacto 15

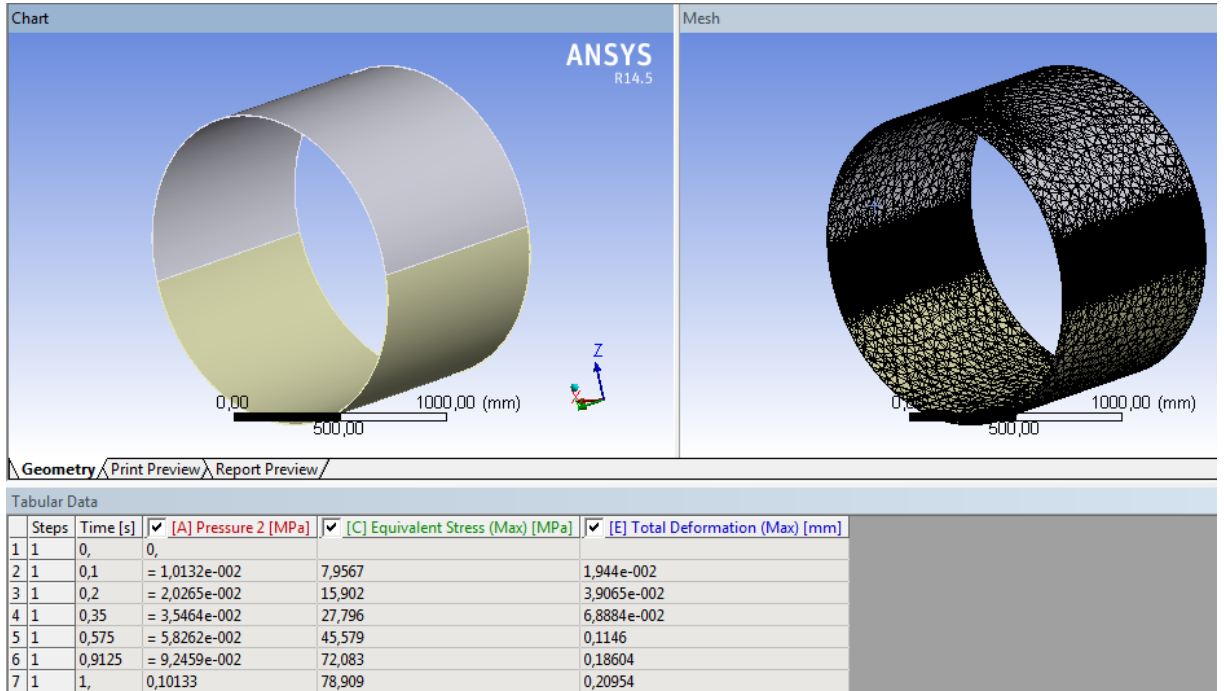


Figura 116. Cilindro con mallado de contacto 1,5 mm

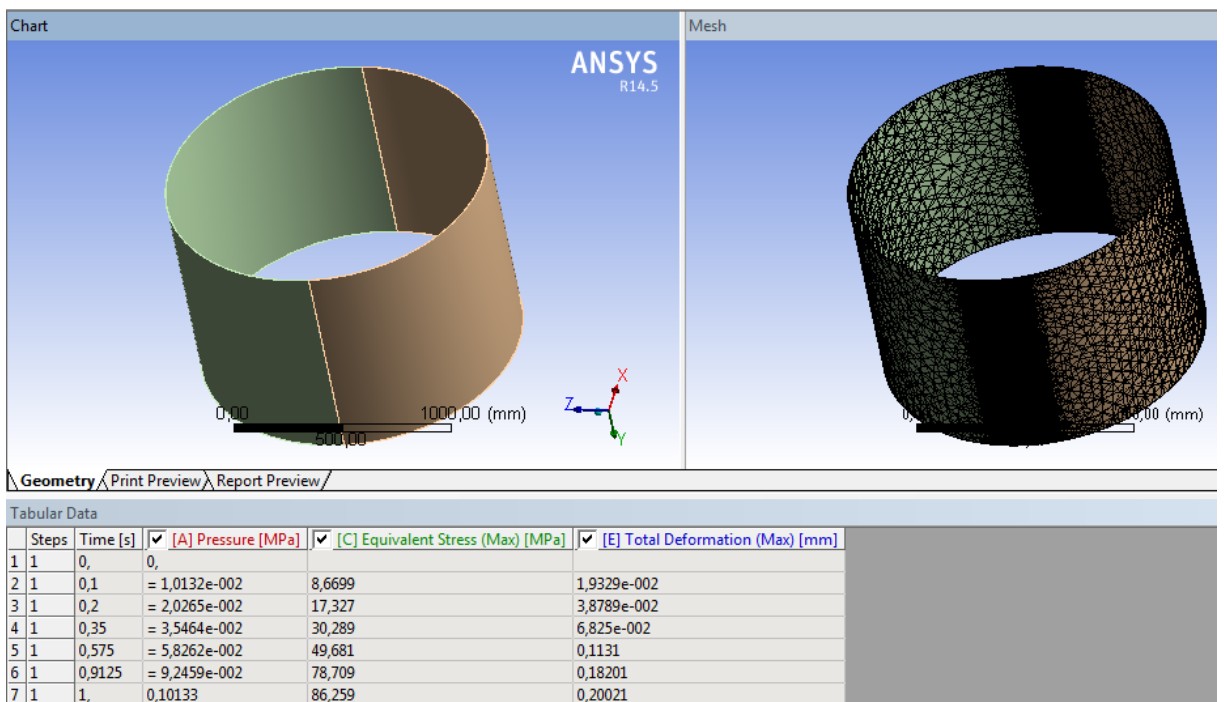


Figura 117. Cilindro con mallado de contacto 5 mm

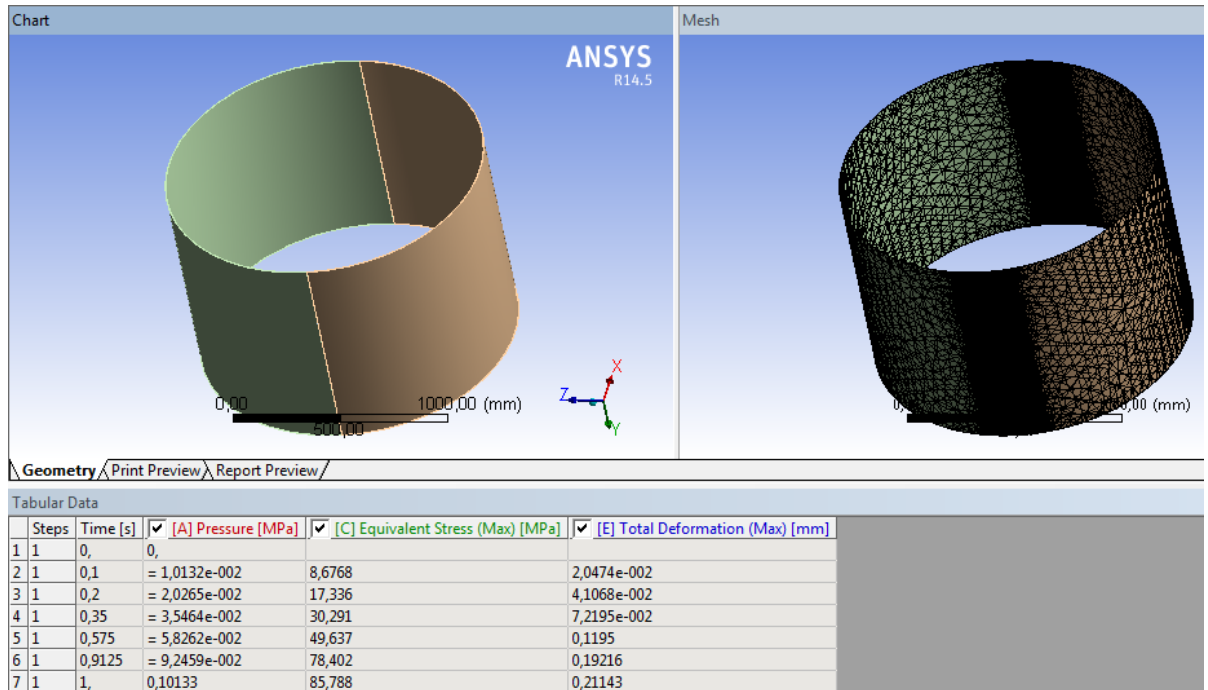


Figura 118. Cilindro mallado de contacto 10 mm

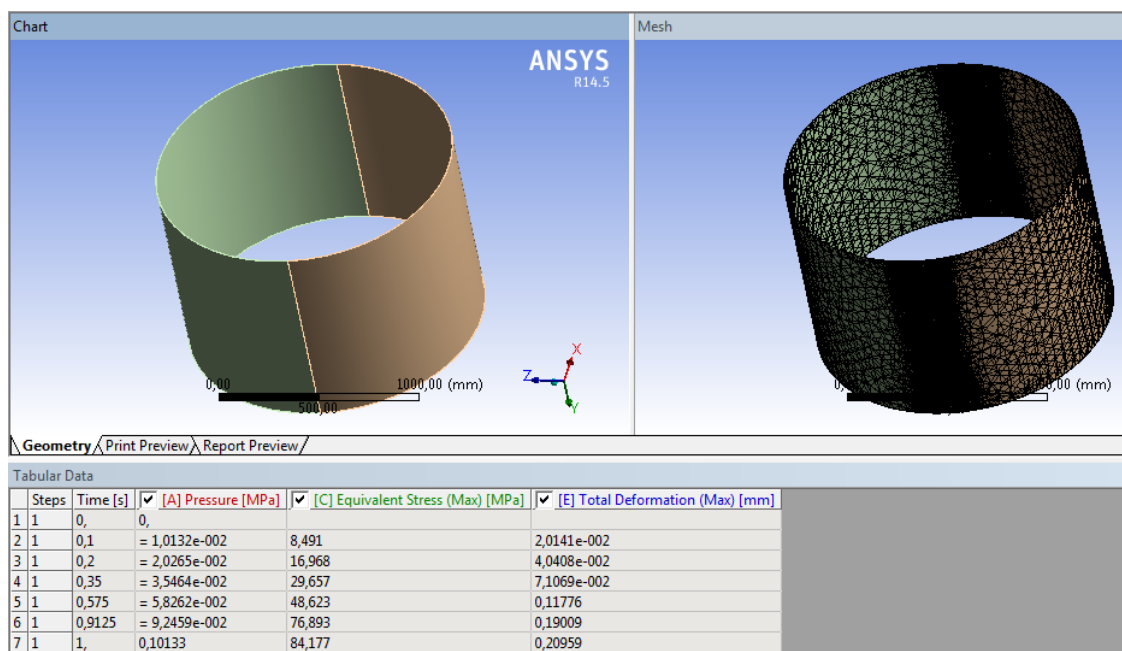


Figura 119. Cilindro mallado de contacto 15 mm

Como se puede apreciar en la figura 110, esta tiene un mallado cuadrangular y al ser distinto al resto viene gobernado por ecuaciones distintas por lo que es descartado. Tomando todos los datos se los analizó y se obtuvo un valor promedio del esfuerzo que soporta el cilindro en

comparación de la diferencia de presión por el vacío, estos datos se muestran en la tabla 11.

Tabla 11. Promedio de esfuerzo en simulación

Promedio de esfuerzo en simulación		
Tiempo[s]	Presión[Mpa]	Esfuerzo[Mpa]
0	0	0
0,1	0,010132	9,06
0,2	0,020265	18,11
0,35	0,035464	31,68
0,575	0,058262	52,00
0,9125	0,092459	82,39

Los resultados muestran que el esfuerzo máximo en promedio de todas simulaciones no sobrepasa el máximo admisible.

Para el estudio de convergencia se tomó como base la deformación del cilindro con el que se aprobó el diseño el cual tiene una deformación máxima de 0.20954 mm, en la figura 120 se muestra la gráfica de las deformaciones y como ninguna sobre pasa el 10% del valor base o entre mayor y menor.

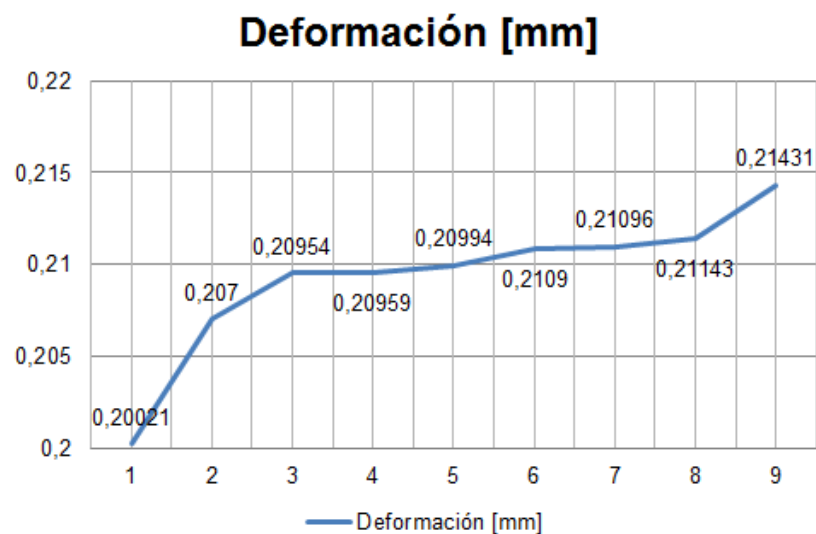


Figura 120. Convergencia de deformación

5.3 ANÁLISIS DE CASQUETES

En el caso de los casquetes la condición de darles una geometría cóncava fue esencial ya que al igual que el cuerpo si es que estos son planos requerirán de un espesor sumamente robusto, pesado a la vez que difícil y costoso.

La opción más eficiente resulta la de construir los casquetes de polimetilmetacrilato de 9 mm debido a que la manufactura y adaptación al cuerpo principal es más sencilla, además de que es más segura con respecto a un casquete de vidrio debido a que este por procesos de manufactura solamente se le puede realizar un semi templado.

En la figura se muestra el modelo de los casquetes en conjunto con la simulación de equivalente de estrés, deformación y factor de seguridad junto a los datos arrojados por la simulación.

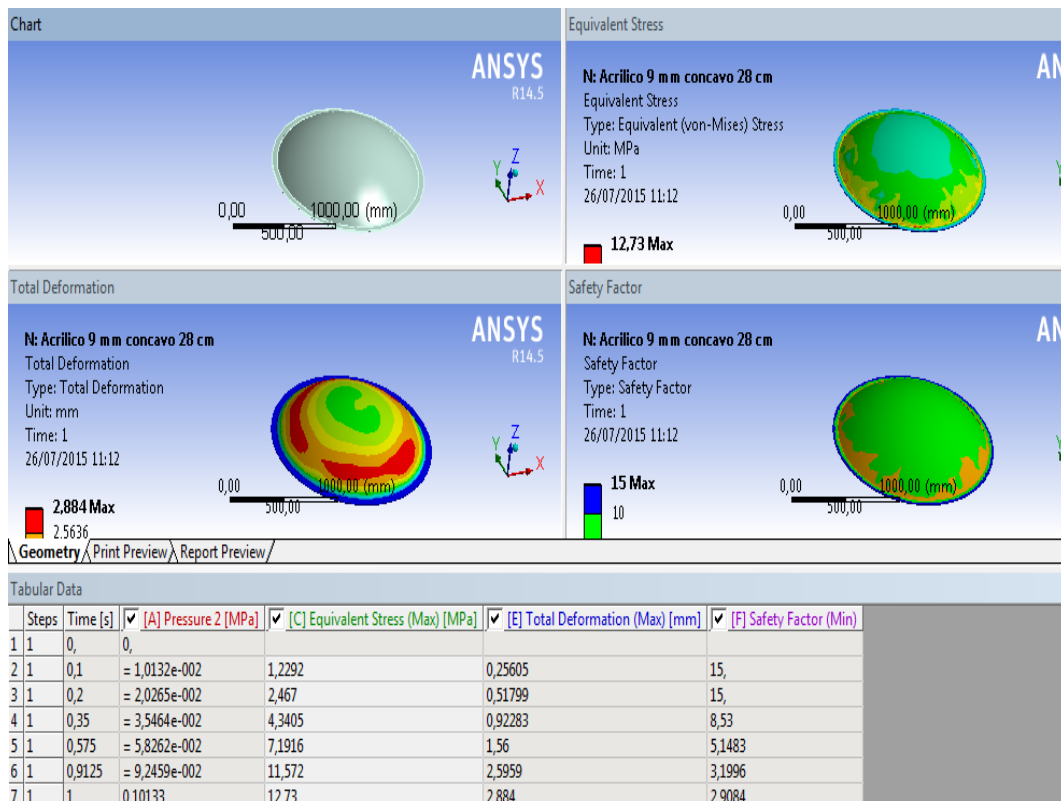


Figura 121. Simulación de casquete

5.4 ANÁLISIS CONJUNTO DE VACIO

A medida que se va extrayendo el aire de la cámara la diferencia de presión va en aumento hasta llegar al de la presión atmosférica,

En la figura 121 se muestra el esfuerzo que soportan la cámara y los casquetes.

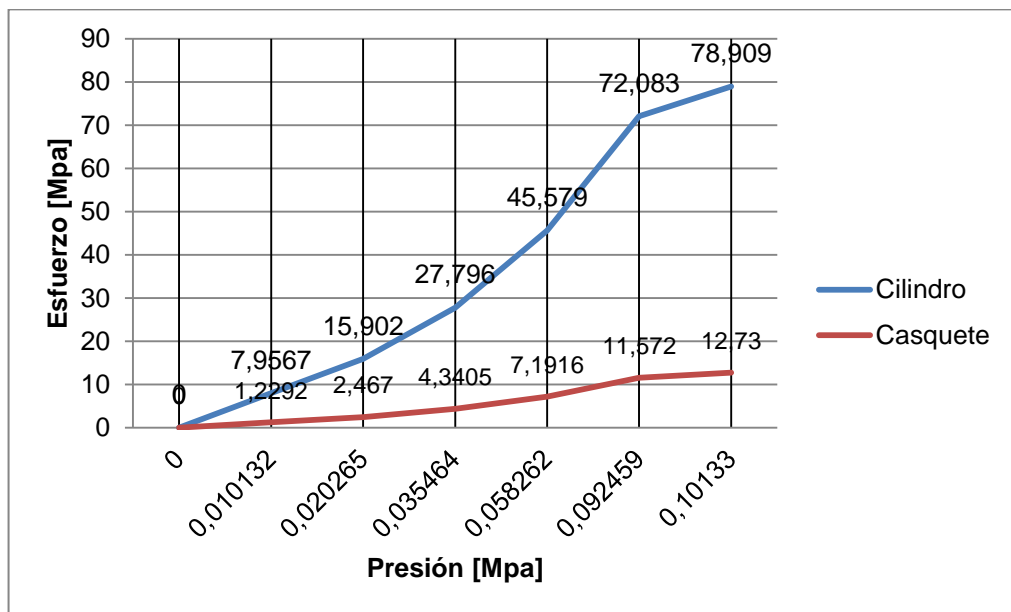


Figura 122. Grafica conjunta de esfuerzo en cilindro y casquetes

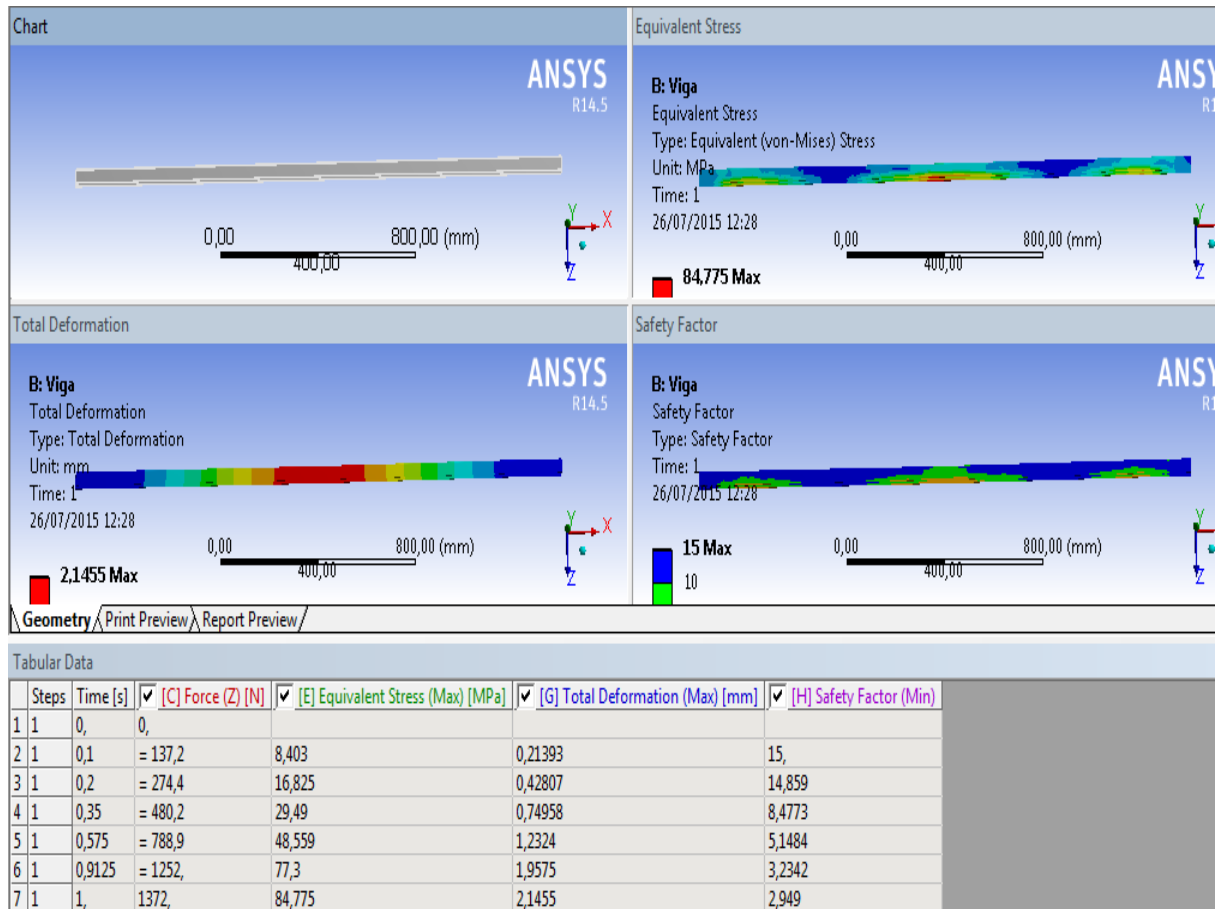
El esfuerzo siempre es menor en el casquete dado que este tiene un espesor mucho más robusto debido a que el admisible de la misma manera es menor, y aunque los esfuerzos en el cilindro sean muy superiores están por debajo del admisible haciéndolo idóneo

5.5 ANÁLISIS DE ESTRUCTURA

La estructura que soporta la cámara y los elementos a restaurar se compone de 3 vigas de 6 m de longitud cada una con un perfil en U de 80x40x5 mm, estas se utilizan para construir 3 vigas transversales, 2 laterales, 4 columnas, 4 tensores y 8 ángulos para poder adaptar paneles.

A pesar de que dichas vigas son 3 mm más robustas de lo que requieren las columnas se las utiliza para así tener facilidad en manufactura.

La viga es el elemento que debe resistir más fuerza por aquello es el más robusto, en la figura se muestra su modelo con la simulación de esfuerzo, deformación factor de seguridad y cómo reaccionan a medida que la fuerza aumenta



5.6 ANÁLISIS DE SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control permite al usuario encender y apagar el sistema, una vez encendido tiene la opción de usar el modo manual el cual se inicia por default y permite la visualización de los niveles de temperatura, humedad relativa, concentración de oxígeno y presión interna de la cámara además de la activación de las válvulas y bomba de vacío a voluntad. El sistema encendido también permite el ingreso al modo manual cuando el usuario así lo requiera, este modo permite un funcionamiento automático del proceso de

desinsectación donde da la seguridad de que nunca 2 válvulas estén abiertas al mismo tiempo ni de que se de inyección de gas durante la evacuación y viceversa todo esto controlado por medio de los respectivos sensores.

Analógicamente también el panel de control permite desconectar todos los elementos electrónicos en cualquier momento en caso de emergencia por un eventual mal funcionamiento de algún equipo y así evitar cualquier contrariedad. En la figura 123 se muestra el funcionamiento de cada válvula en el tiempo, indicando con sus picos el estado de encendido.

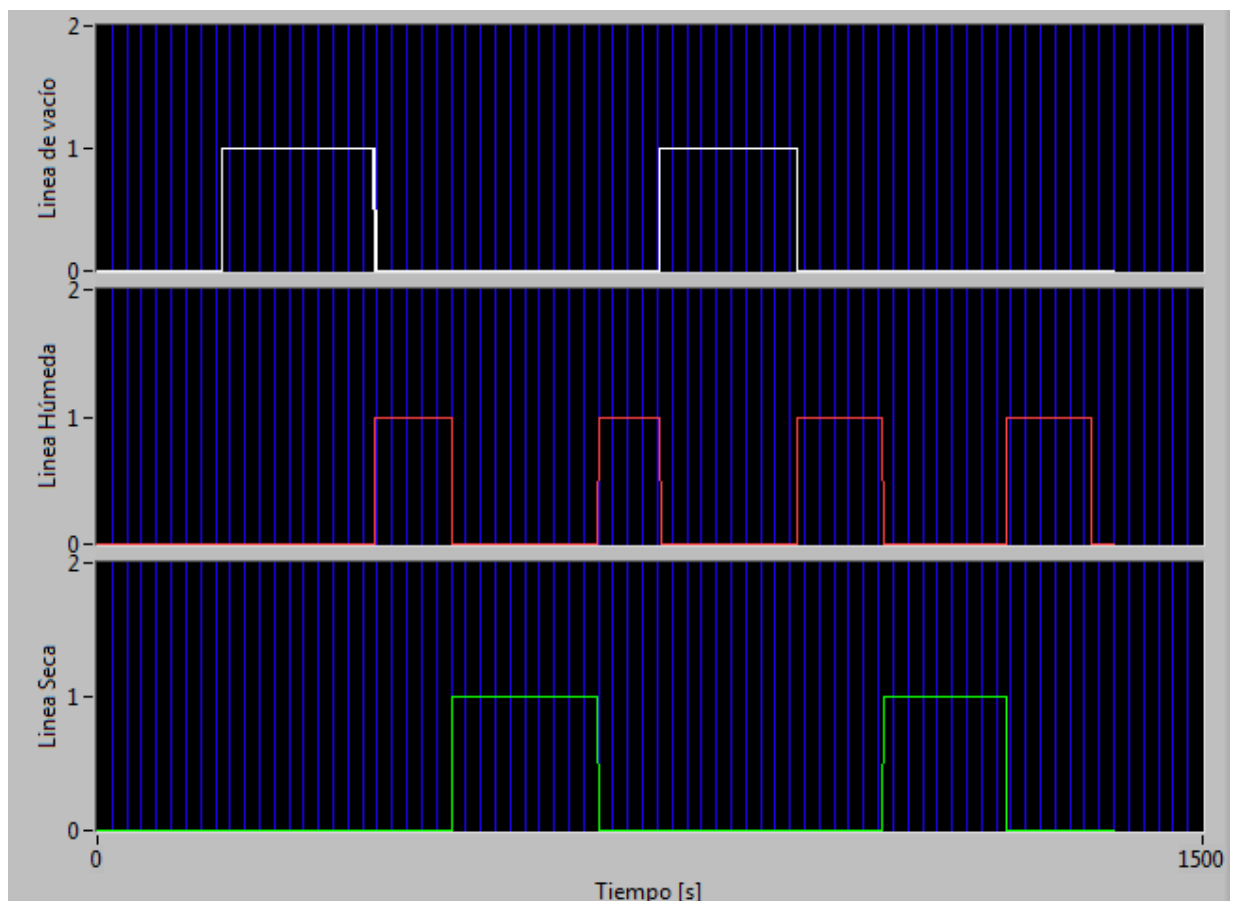


Figura 123. Simulación de sistema automático

Se realizó una simulación del sistema el cual se enciende y empieza en modo manual, posteriormente se inicia el modo automático permitiendo el vaciado hasta alcanzar los 15KPa, una vez vaciado se simuló una humedad relativa por debajo del rango deseado, se realiza la inyección hasta los 40KPa donde el rango de humedad es superado, sigue la inyección de gas

hasta alcanzar los 80Kpa donde el porcentaje de humedad relativa va por debajo del rango deseado, la inyección continua hasta que en los 90KPa la humedad relativa alcanza y se mantiene en el rango deseado, se simula el llenado hasta los 101.325 KPa pero con una concentración de oxígeno mayor al 1%.lo que hace que se repita el proceso hasta el segundo vaciado en el cual la concentración de oxígeno es de 0% y el sistema se detiene.

Como se puede apreciar al iniciar la simulación ninguna válvula es encendida pues el sistema automático no empieza, durante la simulación del tratamiento ninguna válvula se activa al mismo tiempo, en el primer proceso al superar el 1% el proceso se repite automáticamente y al cumplir todas las condiciones toda válvula queda apagada y sellada.

5.7 ANÁLISIS DE EXPERIMENTACIÓN Y SISTEMA NEUMÁTICO

Se realizó un modelo para poder realizar experimentación de vacío y pruebas neumáticas, este es un cilindro de 300 x 300 x 1 mm en acero, con una tapa inferior plana de 4 mm de espesor y una ventana de vidrio templado de 6mm, este se muestra en la figura 124.

El modelo sirvió para probar la geometría y los elementos de sellado, en este se utilizó un sistema de sellado por presión de pernos, como se lo realizó en el diseño en este también se utilizó empaques de caucho y selladores a base de silicona y formadores de empaque.

En cuanto al sistema neumático, se comprobó la utilidad de las mangueras estándar para sus bombas de vacío y la necesidad de válvulas, en especial de una válvula check y de acoples hechos a la medida.

En la figura 125 se muestra el vacío alcanzado y mantenido prueba de que el sistema funciona.

Este modelo de experimentación se encuentra funcional en la carrera de Restauración y Museología.



Figura 124. Modelo de experimentación



Figura 125. Vacío alcanzado en experimentación

5.8 BALANCE DE COSTO

Después de haber realizado las simulaciones y experimentaciones respectivas se realiza una cotización del costo real de construir este sistema.

En la tabla 11 se muestra los costos de todos los materiales.

Todas las proformas referenciales de los costos se encuentran en los anexos del 2 al 10

Tabla 12. Costos

Artículo	Cantidad	Precio	Total
Elementos Mecánicos			
Plancha acero inoxidable 304 -1.22m x 2.44 m	4	188,33	753,32
Domo acrílico	2	422,4	844,8
Pernos 3/8 x 3/4	12	0,09	1,08
Perno 1/8	2	0,18	0,36
Marco de madera + Bisagra	1	52,8	52,8
Pernos 1/2 x 3/4	4	0,03	0,12
Perfil en U 80 mm x 40mm x 5 mm	3	31,96	95,88
Trabajo de panel en madera	1	140,8	140,8
Tuercas	13	0,04	0,52
Empaque 1m	30	3,5	105
Elementos de neumática			
Manguera 1/4 1m	1	2,31	2,31
Acople en T 1/8	2	5,3	10,6
Neplos acoples	15	2,58	38,7
Abrazadera	15	0,74	11,1
Electroválvula 1/8	3	56,83	170,49
Cilindro para gas 24lb	1	266	266,18
Regulador 350 psi	1	69,55	69,55
Elementos electrónicos			
Arduino UNO original	1	32,5	32,5
Sensor LM35	1	2,01	2,01
Sensor HS1101	1	12,23	12,23
Sensor ME3-02 Groove	1	59	59
Sensor MPX4115A	1	23,56	23,56
Gabinete 40cm x 40cm x 20 cm	1	43,98	43,98
Riel Din	1	2,31	2,31
Botonera Marcha/Paro	1	3,9	3,9
Contactador 9A	5	8,2	41
Rele 110 AC	1	4,37	4,37
Luz piloto	2	1,45	2,9
Bornera 10A	1	0,9	0,9
Rele estado sólido 10 A	3	17,06	51,18
		Subtotal	2843,45
		IVA	12%
		TOTAL	341,214
			3184,664

Como resultado se tiene un balance de lo que costaría fabricar todo el sistema, este costo no contempla precios de manufactura ni de transporte ya que estos pueden variar por convenios con la persona que los fabrique. El valor de este es realmente bueno tomando en cuenta el costo de compra de un sistema extranjero.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Se diseñó una cámara para erradicación de plagas por anoxia la cual integra un sistema digital para visualización de parámetros importantes con la opción de realizar un tratamiento manual o automático.
- Se validó mediante la realización de cálculos matemáticos y simulaciones con sistemas CAE el diseño de una cámara que soporta un vacío de 1Pa de forma cilíndrica de acero inoxidable y con concavidades en las tapas de acrílico por facilidad de manufactura, ya que se probó que dicha geometría es más resistente al momento de soportar el vacío en comparación a una de geometría prismática, por lo que no requiere un gran espesor haciéndolo más barato y ligero, se probó que esta ha de ser débil en las zonas de soldadura, estas zonas son las más sensibles a fallar.
- Se obtuvo un sistema de control digital basado en una plataforma libre Arduino y programado en Labview siendo la base del algoritmo la comparación lógica con lo que se pudo controlar todas las condiciones, lo que dio una interface con el usuario amigable con indicadores gráficos y numéricos de las condiciones que rigen en el sistema.
- Se logró diseñar el sistema de control automático para que no sobrepase la capacidad de llenado de gas en la cámara ni permita una humedad relativa fuera de los rangos necesarios.
- Se realizó un cálculo matemático de la cantidad de gas que requeriría el restaurador para realizar un tratamiento a un vacío controlable de 15Kpa y a un vacío el cual puede resistir la cámara de 1Pa

6.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda tomar en cuenta los cálculos realizados con teoría de gases los cuales indican que al realizar un tratamiento si se llega a vaciar la cámara al nivel máximo de 1Pa en modo manual se

requeriría una sola inyección de gas para asegurar mortalidad a diferencia de trabajar a un vacío de 15KPa en modo automático que necesitaría de 4 inyecciones de gas y de trabajarse con argón en este significaría la compra de una botella de gas extra.

- En cuanto al uso del sistema en experimentación se recomienda tomar en cuenta otros posibles usos como el de liofilización para aplicación de la misma cámara.
- De ser aprobada la construcción de este diseño se recomienda tomar en cuenta los elementos utilizados en el modelo experimental para una correcta hermetización del sistema
- Se recomienda no pintar los anillos de sello dado que se comprobó con el modelo de experimentación que al momento de mantener el vaciado por un largo periodo de tiempo la pintura se adhiere al empaque impidiendo la apertura de la puerta teniendo así que acudir a disolventes.

BIBLIOGRAFIA

- Acrind s.c. (2010). *Soldadura de los aceros inoxidableables*. Santa Fe: Acerind s.c.
- Alphasense. (2000). *02-E2 oxygen sensor*. Londres: Alphasense.
- Asimov, I. (2003). *Breve Historia de la Química*. Madrid: Alianza Editorial.
- Beer, F., Jhonston, R., DeWolf, J., & Mazurek, D. (2009). *Mecánica de MAteriales*. Mexico: McGraw Hill.
- Bonilla, A. (2003). *Guía Básica para la aplicación de las TICs en PYMES*. Zamudio: TecnoPyme.
- Brown, L. (2004). *Química la ciencia central*. México: Pearson Education.
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica*. Mexico: McGraw Hill.
- CCI. (2014). *Cámaras de gases. Cámaras climáticas con atmósferas gaseosas controladas*. Barcelona: <http://www.cci-calidad.com/camara20.htm>.
- Costa, S., Miranda, M., Varum, H., & Teixeira, F. (2006). *On the Evaluation of the Mechanical Behaviour of Structural*. Aveiro: Material Science Forum.
- Da Fonseca, Z. (2011). *El metodo de elementos finitos: Una introducción*. Maracaibo: Universidad Rafael Urdaneta.
- David, J. (2002). *Principles of Simulating Contact Between Parts using*. Pennsylvania: ANSYS.
- Del Egado Rodríguez, M. (2004). *Prevención del biodeterioro en archivos y bibliotecas*. Madrid: Departamento científico de conservación de España.
- Dipac. (2015). *Perfiles Dipac Productos de acero*. Manta: Dipac.
- Dipac. (2015). *Planchas en acero inoxidable calidad 304*. Manta: http://www.dipacmanta.com/alineas.php?ca_codigo=3501#.
- Fuentes, L. (2011). *El método de los elementos finitos*. Salamanca: Universidad de Salamanca.
- Henan Hanwei Electronics. (1998). *ME3-O2 Gas Sensors Manual*. Zhengzhou: Henan Hanwei Electronics CO.Ltd.

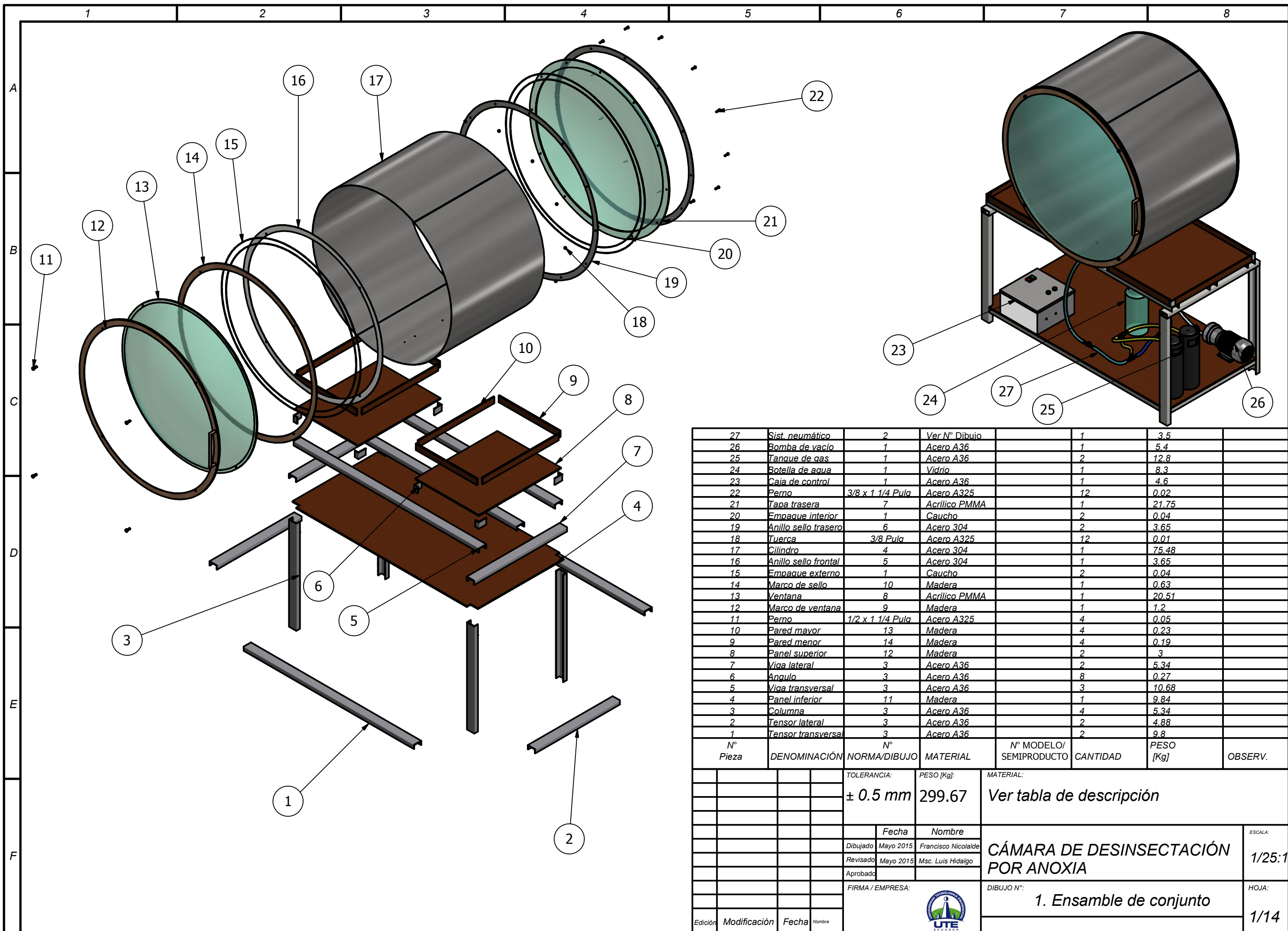
- Hernández, R. (2010). *Introducción a los sistemas de control: conceptos, aplicaciones y simulación con matlab*. Naucalpan de Juarez: Pearson Education.
- Humirel. (2002). *Relative Humidity Sensor*. Toulouse: Humirel.
- Imb Conservació. (2014). *Suministro de material para la desinsectación de material museístico y archivístico mediante un tratamiento de anoxia en atmósferas controladas de gases inertes*. Barcelona: Imb Conservació.
- Indura. (2010). *Manual de Aceros Inoxidables para Soldadores*. Mexico: Indurmex.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. (2008). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México: Pearson.
- Martiarena, X. (1992). *Cuadernos de Sección Artes Plásticas y Documentales*. Álava: Ondare.
- Montero Redondo, S. (2008). *Desinsectación por anoxia de las colecciones del Museo del traje*. CIPE. Madrid: CIPE.
- Motorola. (2001). *Integrated silicon pressure sensor for manifold absolute pressure, altimeter or barometer applications on-chip signal conditioned, temperature compensated and calibrated*. Tokyo: Motorola.
- Mott, R. (2006). *Diseño de elementos de máquina*. México: Pearson Educación.
- National Instruments. (1998). *LabView User Manual*. Texas: National Instruments.
- Peixoto, J., & Oort, A. (1996). *The Climatology of Relative Humidity in the Atmosphere*. Lisboa: Universidad de Lisboa.
- Sanitrade. (2014). *KILL BOX SYSTEM "NUEVO SISTEMA DE CIERRE"*. Madrid:
http://www.sanitrade.es/index.php?page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl&product_id=538&category_id=28&vmcchk=1&option=com_virtuemart&Itemid=10.
- Seeeds. (2015). *Grove - Gas Sensor(O₂)*. Shenzen:
[http://www.seeedstudio.com/wiki/Grove_-_Gas_Sensor\(O%E2%82%82\)](http://www.seeedstudio.com/wiki/Grove_-_Gas_Sensor(O%E2%82%82)).

- Serway, R., & Faughn, J. (2008). *Fundamentos de física*. México D.F: Cengage Learning.
- Talavera, L., & Farías, M. (1995). *El Vacío y Sus Aplicaciones*. México: S.L. FONDO DE CULTURA ECONOMICA DE ESPAÑA.
- Texas Instruments. (1999). *LM35 Precision Centigrade Temperature Sensor*. Texas: Texas Instruments.
- UL. (2015). *Acrylic Typical Properties Generic Acrylic (PMMA)*. California: <http://plastics.ulprospector.com/generics/3/c/t/acrylic-properties-processing>.
- Universidad Tecnológica Nacional. (2013). *Metalografía y tratamientos térmicos*. Rosario: UTN.
- Valentín, N. (1994). *Tratamientos no tóxicos de desinsectación con gases inertes*. Madrid: Apoyo.
- Valentín, N. (2003). *Análisis de biodeterioro Infestaciones y su erradicación*. Madrid: Instituto del Patrimonio Histórico Español.
- Valentín, N. (2003). *Análisis de biodeterioro Infestaciones y su erradicación*. Instituto del Patrimonio Histórico Español.
- Valentín, N., & García, R. (1999). *El Biodeterioro en el Museo*. Madrid: Arbor.
- Yela, J. (1997). *Insectos causantes de daños al patrimonio histórico y cultural: Caracterización, tipos de daño y métodos de lucha (Arthropoda:Insecta)*. Madrid: INIA.

ANEXOS

ANEXO 1

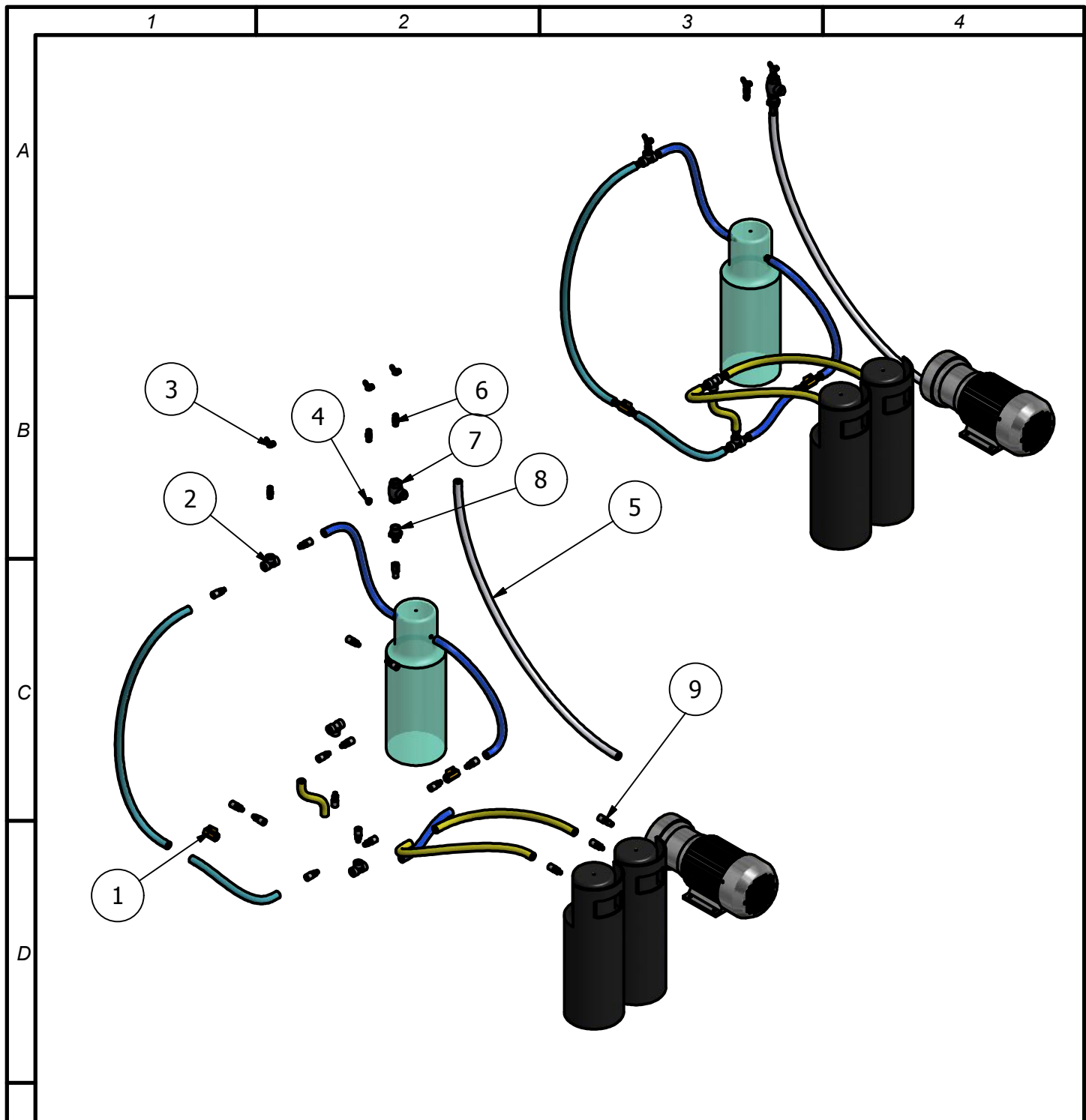
Planos realizados en software Autodesk Inventor



27	Sist. neumático	2	Ver N° Dibujo		1	3.5	
26	Bomba de vacío	1	Acero A36		1	5.4	
25	Tanque de gas	1	Acero A36		2	12.8	
24	Botella de agua	1	Vidrio		1	8.3	
23	Caia de control	1	Acero A36		1	4.6	
22	Perno	3/8 x 1 1/4 Pulg	Acero A325		12	0.02	
21	Tapa trasera	7	Acrílico PMMA		1	21.75	
20	Empaque interior	1	Caucho		2	0.04	
19	Anillo sello trasero	6	Acero 304		2	3.65	
18	Tuerca	3/8 Pulg	Acero A325		12	0.01	
17	Cilindro	4	Acero 304		1	75.48	
16	Anillo sello frontal	5	Acero 304		1	3.65	
15	Empaque externo	1	Caucho		2	0.04	
14	Marco de sello	10	Madera		1	0.63	
13	Ventana	8	Acrílico PMMA		1	20.51	
12	Marco de ventana	9	Madera		1	1.2	
11	Perno	1/2 x 1 1/4 Pulg	Acero A325		4	0.05	
10	Pared mayor	13	Madera		4	0.23	
9	Pared menor	14	Madera		4	0.19	
8	Panel superior	12	Madera		2	3	
7	Viga lateral	3	Acero A36		2	5.34	
6	Angulo	3	Acero A36		8	0.27	
5	Viga transversal	3	Acero A36		3	10.68	
4	Panel inferior	11	Madera		1	9.84	
3	Columna	3	Acero A36		4	5.34	
2	Tensor lateral	3	Acero A36		2	4.88	
1	Tensor transversa	3	Acero A36		2	9.8	
N° Pieza	DENOMINACIÓN	N° NORMA/DIBUJO	MATERIAL	N° MODELO/ SEMIPRODUCTO	CANTIDAD	PESO [Kg]	OBSERV.

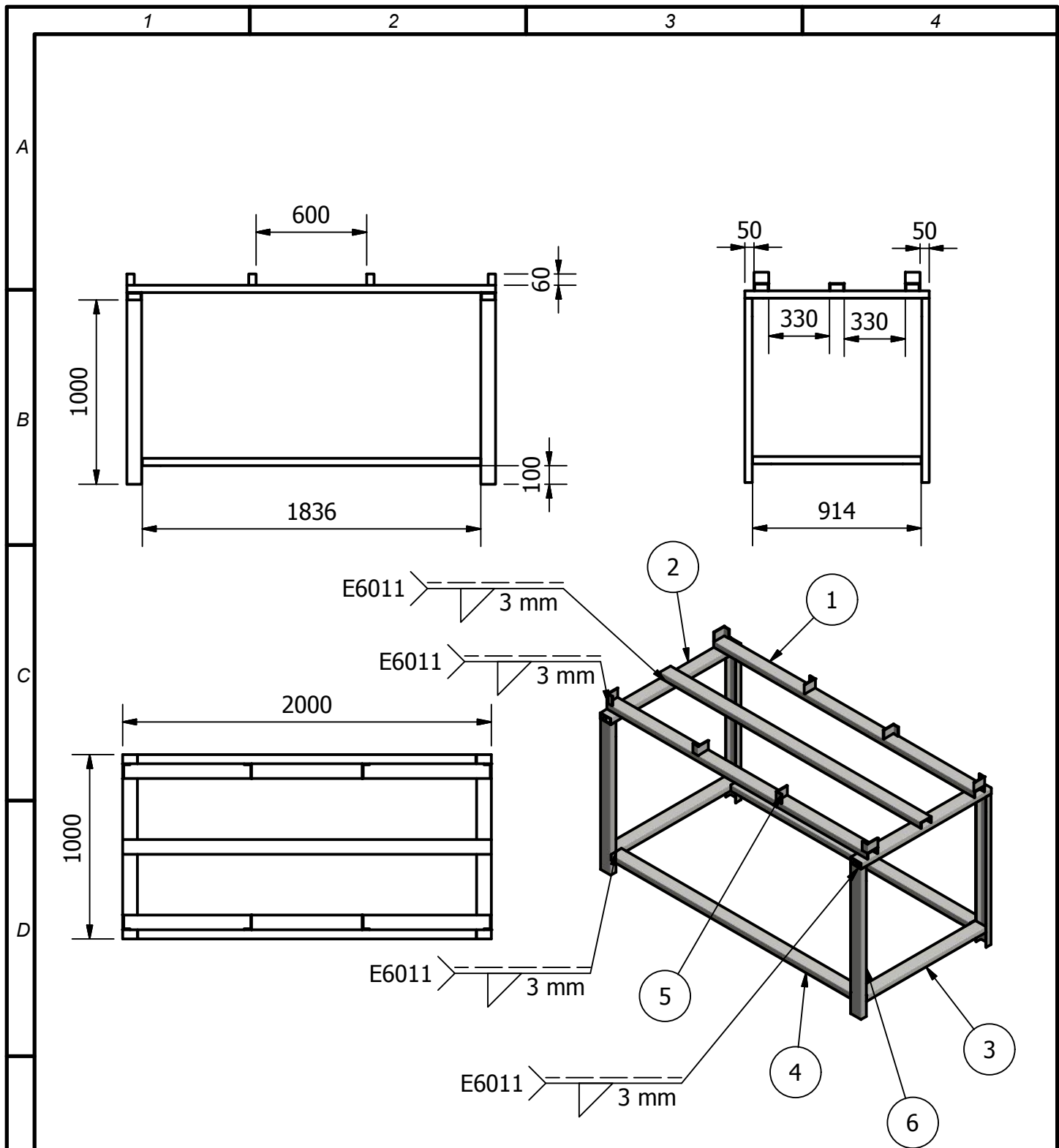
TOLERANCIA:		PESO [Kg]:		MATERIAL:	
± 0.5 mm		299.67		Ver tabla de descripción	
Fecha		Nombre		ESCALA:	
Dibujado Mayo 2015		Francisco Nicolalde		1/25:1	
Revisado Mayo 2015		Msc. Luis Hidalgo		HOJA:	
Aprobado				1/14	
FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO N°:		1. Ensamble de conjunto	
Edición		Modificación		Fecha	





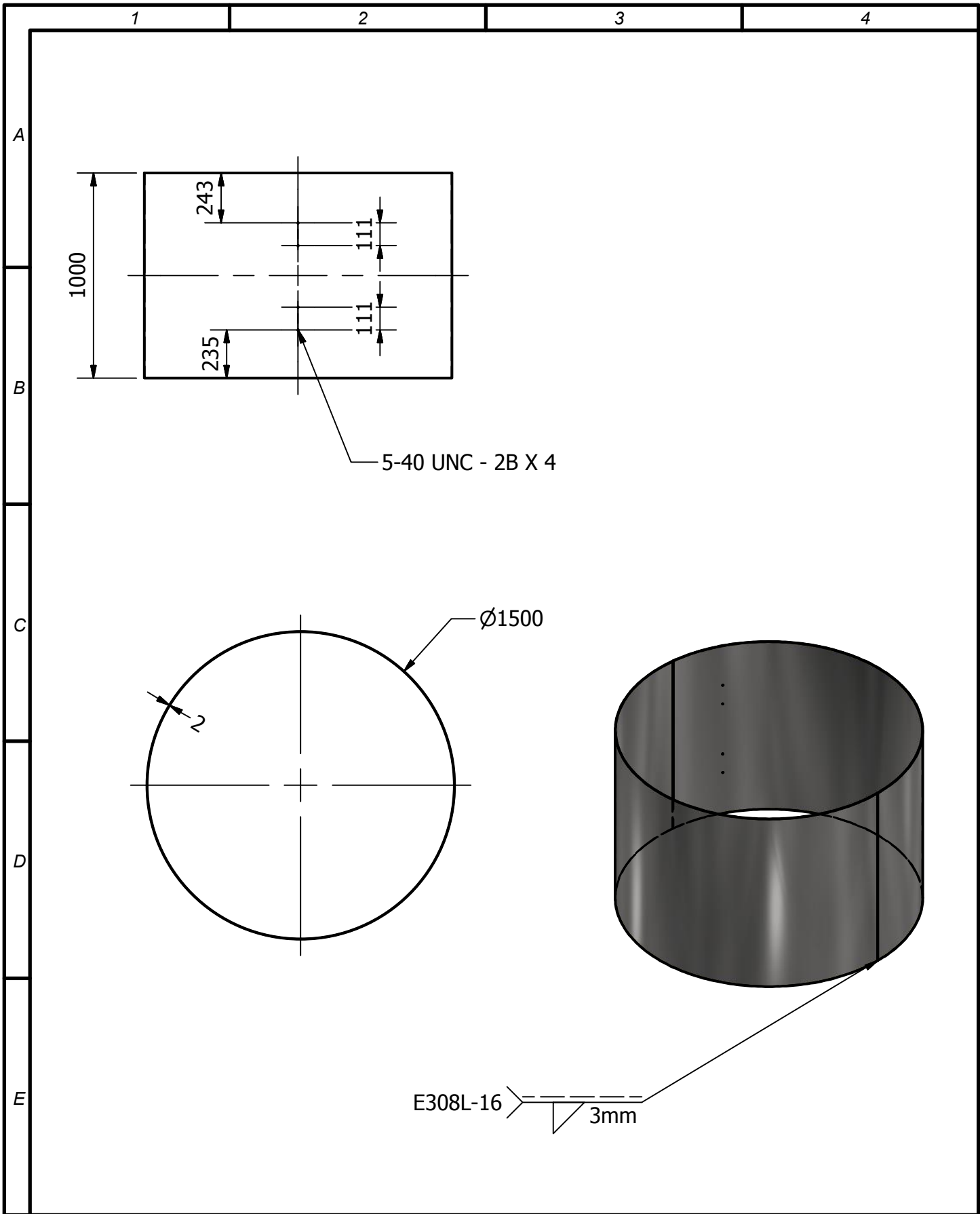
9	Acople manguera	1/4 x 1/8 Pulg	Acero 304		18	0.02	
8	Acople especial	Adapt 1012-8-4	Acero 304		1	0.03	
7	Válvula Check	1/4 Pulg	Cobre		1	0.1	
6	Niple	1/8 Pulg	Cobre		2	0.02	
5	Manguera	1/4 x 50 Pulg	Caucho		1	0.17	
4	Tapón	1/8 Pulg	Acero A36		1	0.02	
3	Rosca mariposa	1/8 Pulg	Acero A36		12	0.01	
2	Union en T	1/8 Pulg	Acero A36		1	0.1	
1	Electroválvula	1/8 Pulg	Cobre		2	0.25	
N° Pieza	DENOMINACIÓN	N° NORMA/DIBUJO	MATERIAL	N° MODELO/ SEMIPRODUCTO	CANTIDAD	PESO [Kg]	OBSERV.


TOLERANCIA:		PESO [Kg]:		MATERIAL:				
± 0.5 mm		3.5		Ver tabla de descripción				
Fecha		Nombre		CÁMARA DE DESINSECTACIÓN POR ANOXIA				ESCALA:
Dibujado	Mayo 2015	Francisco Nicolalde						0.06:1
Revisado	Mayo 2015	Msc. Luis Hidalgo						
FIRMA / EMPRESA:				DIBUJO N°:		HOJA:		
				2. Sistema neumático		2/14		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					

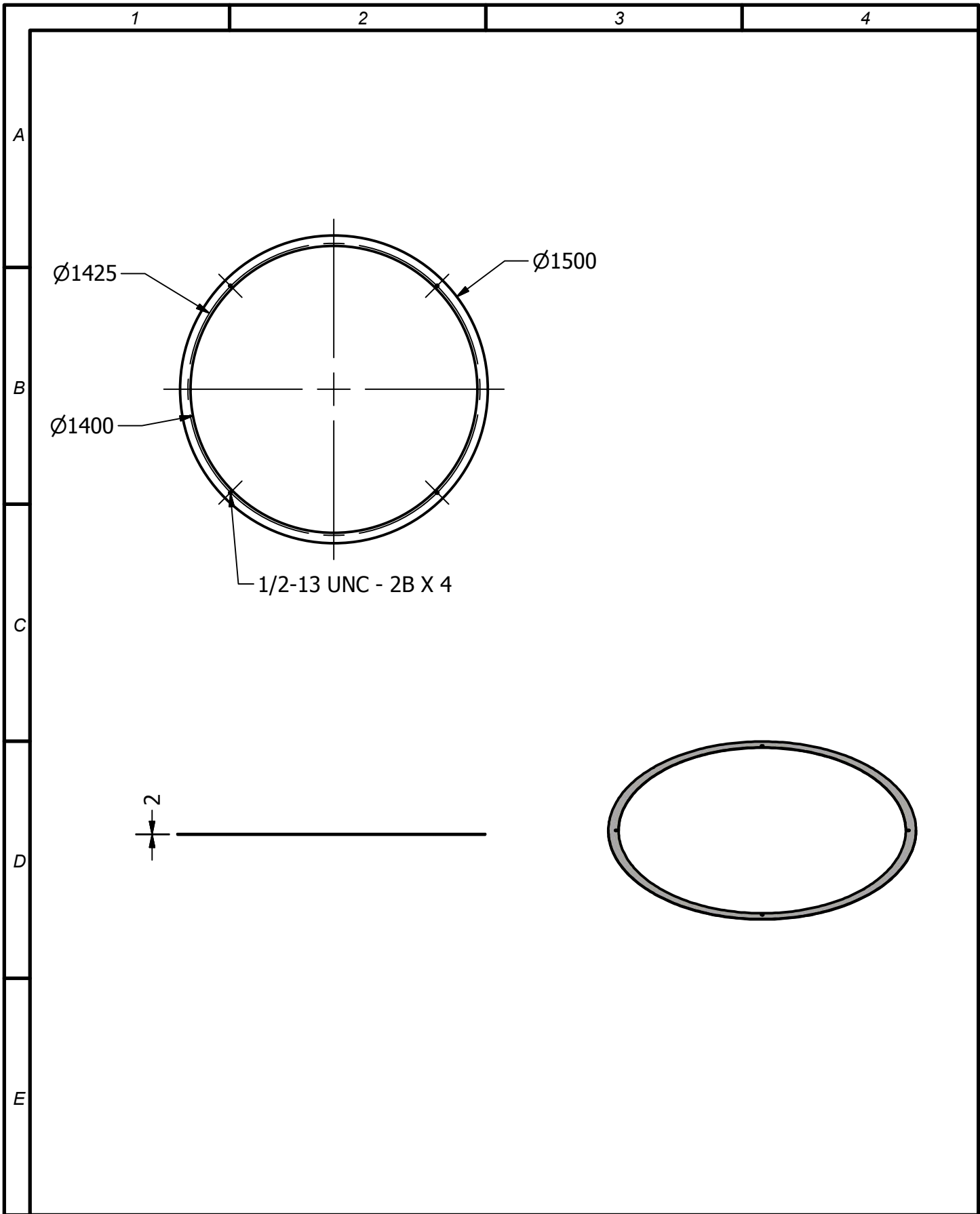



6	Columna	80x40x5 mm U	Acero A36	4	5.34	
5	Ángulo	80x40x5 mm U	Acero A36	8	0.27	
4	Tensor transversal	80x40x5 mm U	Acero A36	2	0.02	
3	Tensor lateral	80x40x5 mm U	Acero A36	2	9.8	
2	Viga lateral	80x40x5 mm U	Acero A36	2	5.34	
1	Viga transversal	80x40x5 mm U	Acero A36	3	10.7	
N° Pieza	DENOMINACIÓN	N° NORMA/DIBUJO	MATERIAL	N° MODELO/ SEMIPRODUCTO	PESO [Kg]	OBSERV.

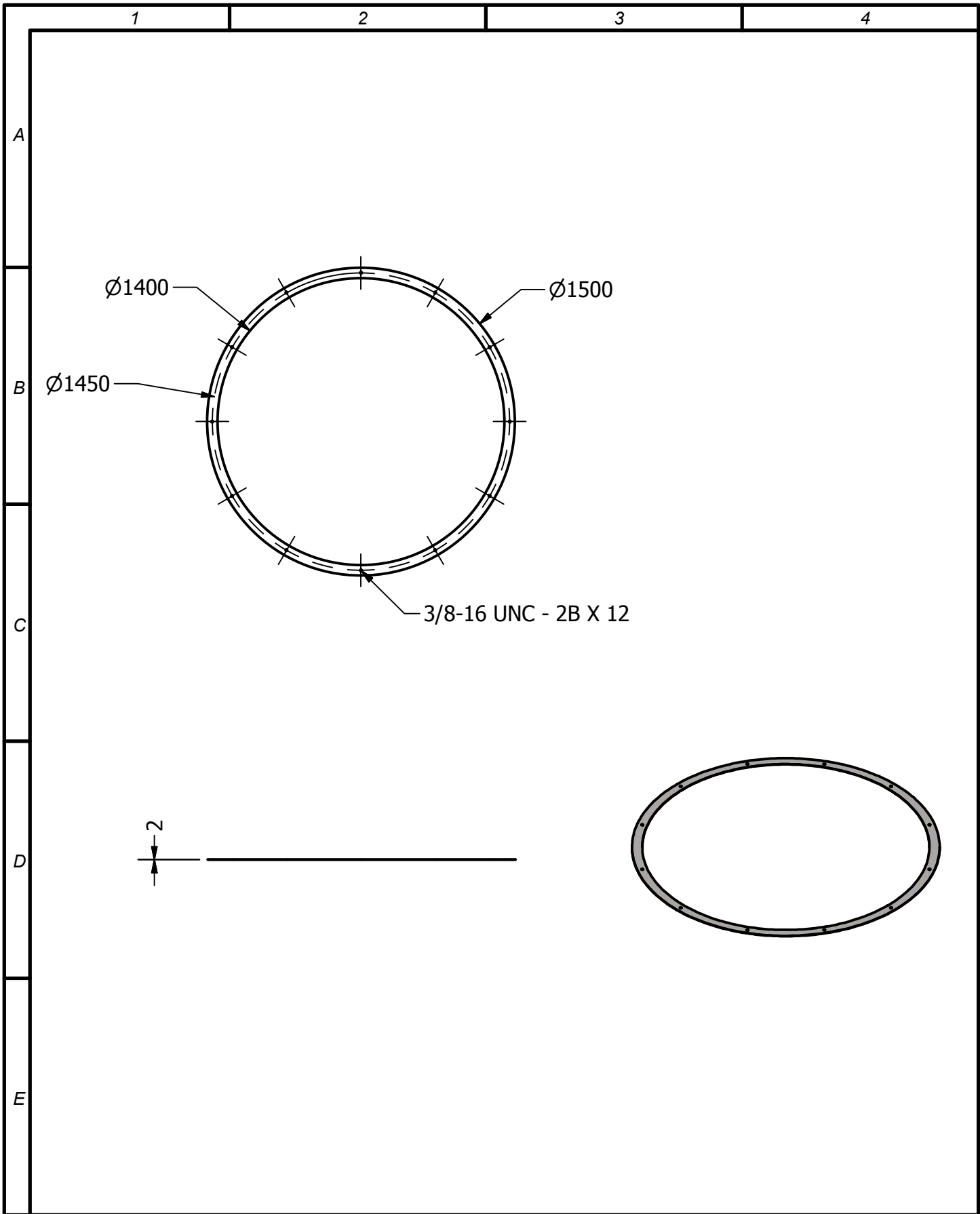
TOLERANCIA:		PESO [Kg]:		MATERIAL:	
± 0.5 mm		95.63		Ver tabla de descripción	
Fecha		Nombre		CÁMARA DE DESINSECTACIÓN POR ANOXIA	
Dibujado	Mayo 2015	Francisco Nicolalde			
Revisado	Mayo 2015	Msc. Luis Hidalgo			
Aprobado					
FIRMA / EMPRESA:				DIBUJO N°:	
				3. Estructura de soporte	
				HOJA:	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	3/14	



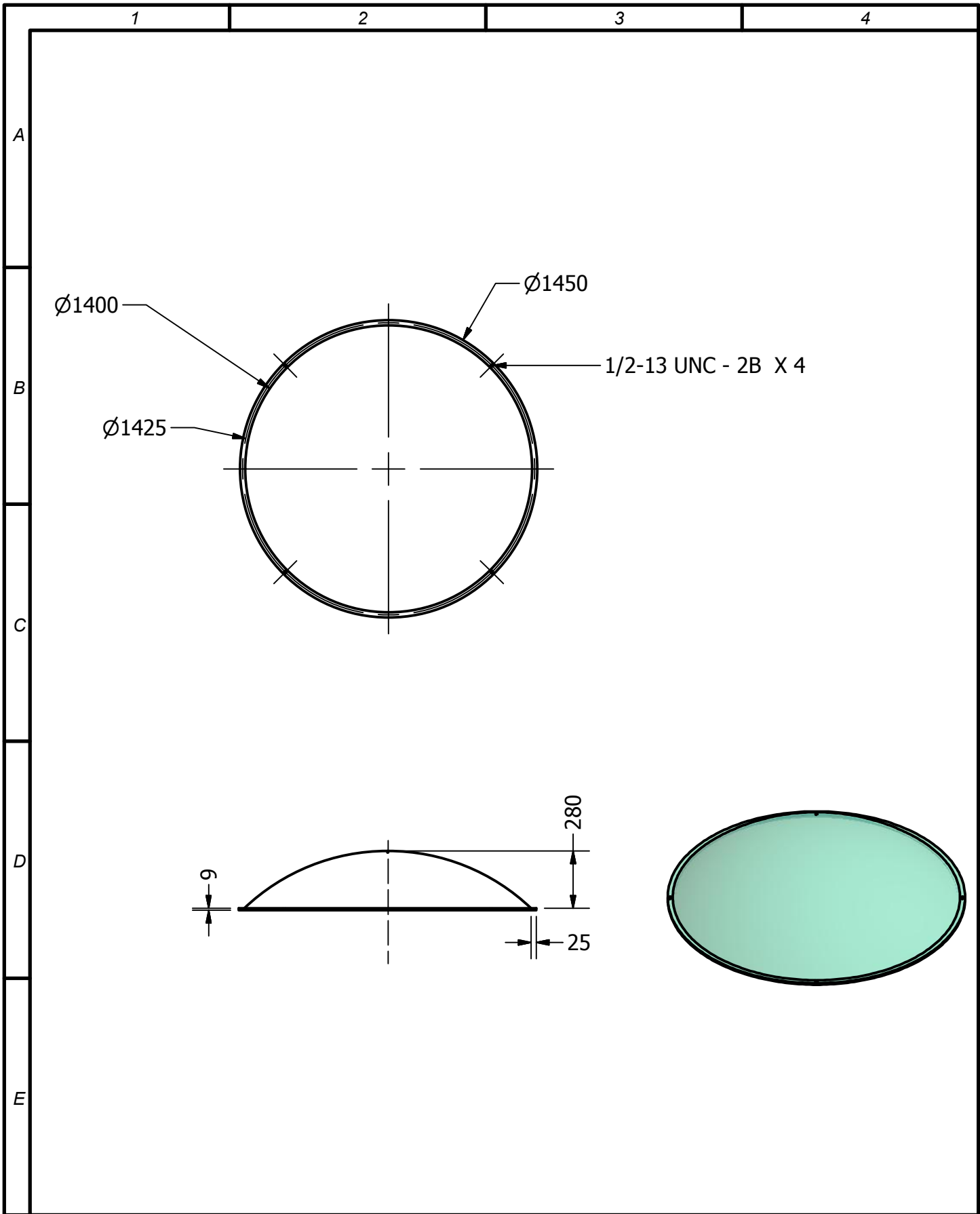
		TOLERANCIA:		PESO [Kg]:		MATERIAL:	
		±0.5 mm		75.57		Acero Inoxidable 304	
		Fecha		Nombre		CÁMARA DE DESINSECTACIÓN POR ANOXIA	
		Dibujado Mayo 2015		Francisco Nicolalde			
		Revisado Mayo 2015		Msc. Luis Hidalgo			
		Aprobado				ESCALA: 0.04:1	
		FIRMA / EMPRESA:				DIBUJO N°:	
						4. Cilindro	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



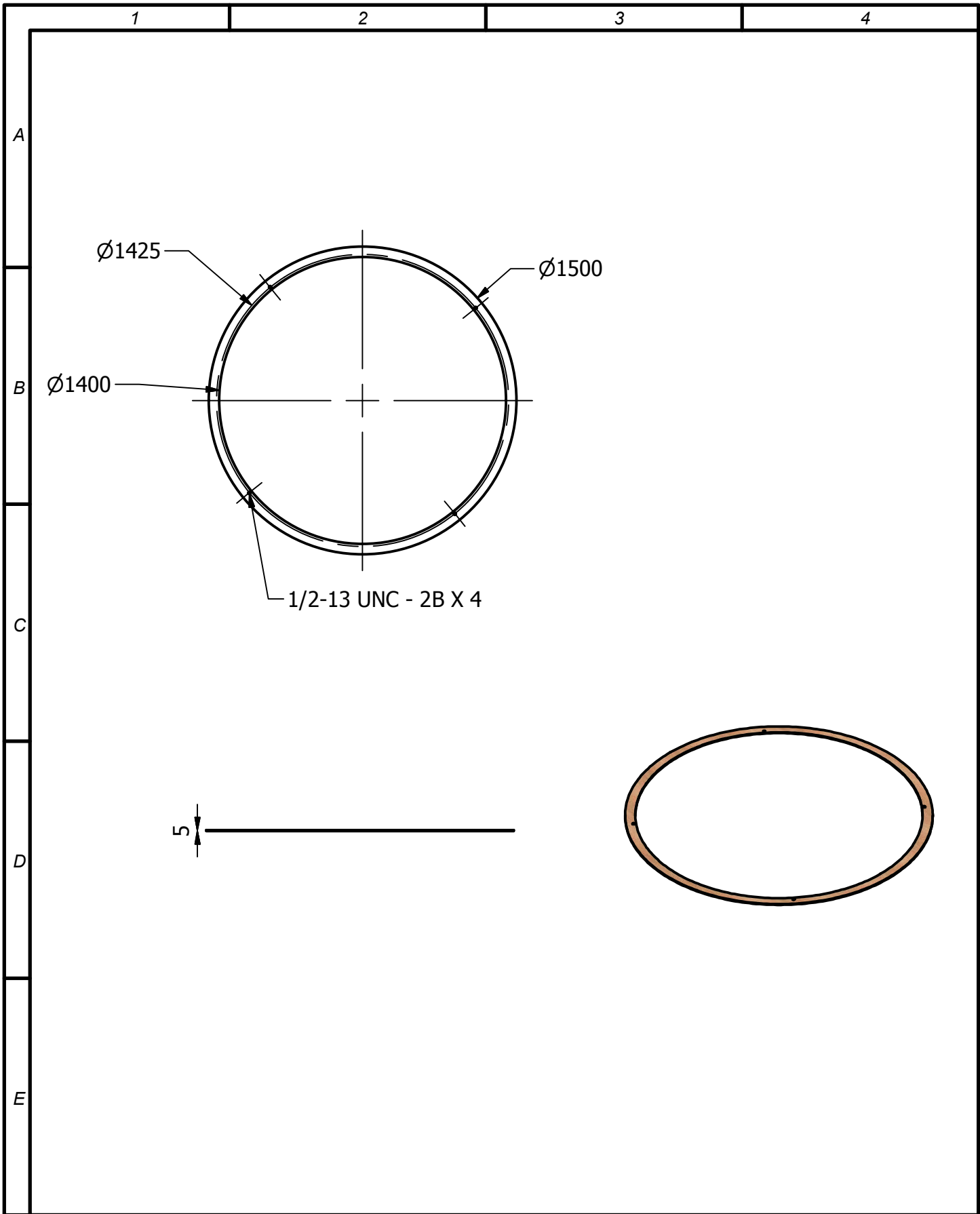
		TOLERANCIA:		PESO [Kg]:		MATERIAL:	
		± 0.5 mm		3.652		Acero Inoxidable 304	
		Fecha		Nombre		CÁMARA DE DESINSECTACIÓN POR ANOXIA	
		Dibujado Mayo 2015		Francisco Nicolalde			
		Revisado Mayo 2015		Msc. Luis Hidalgo			
		Aprobado				ESCALA: 1/25:1	
		FIRMA / EMPRESA:				DIBUJO N°:	
						5. Anillo de sello frontal	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



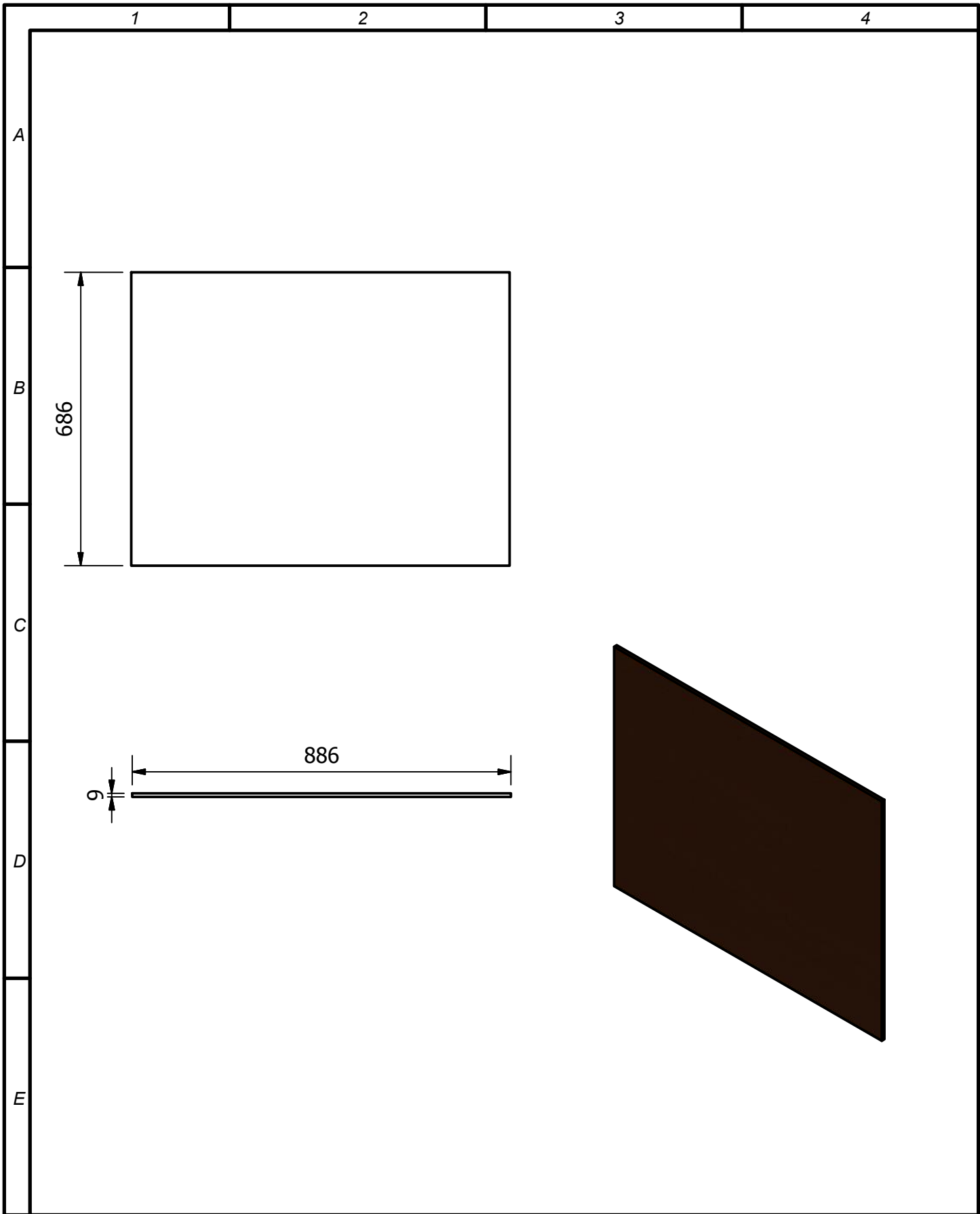
				TOLERANCIA: $\pm 0.5 \text{ mm}$	PESO [Kg]: 3.649	MATERIAL: Acero Inoxidable 304		
					Fecha	Nombre	ESCALA:	
				Dibujado	Mayo 2015	Francisco Nicolalde	CÁMARA DE DESINSECTACIÓN POR ANOXIA	
				Revisado	Mayo 2015	Msc. Luis Hidalgo		1/25:1
				Aprobado				
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO N°:	HOJA:	
						6.Anillo de sello trasero	6/14	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					




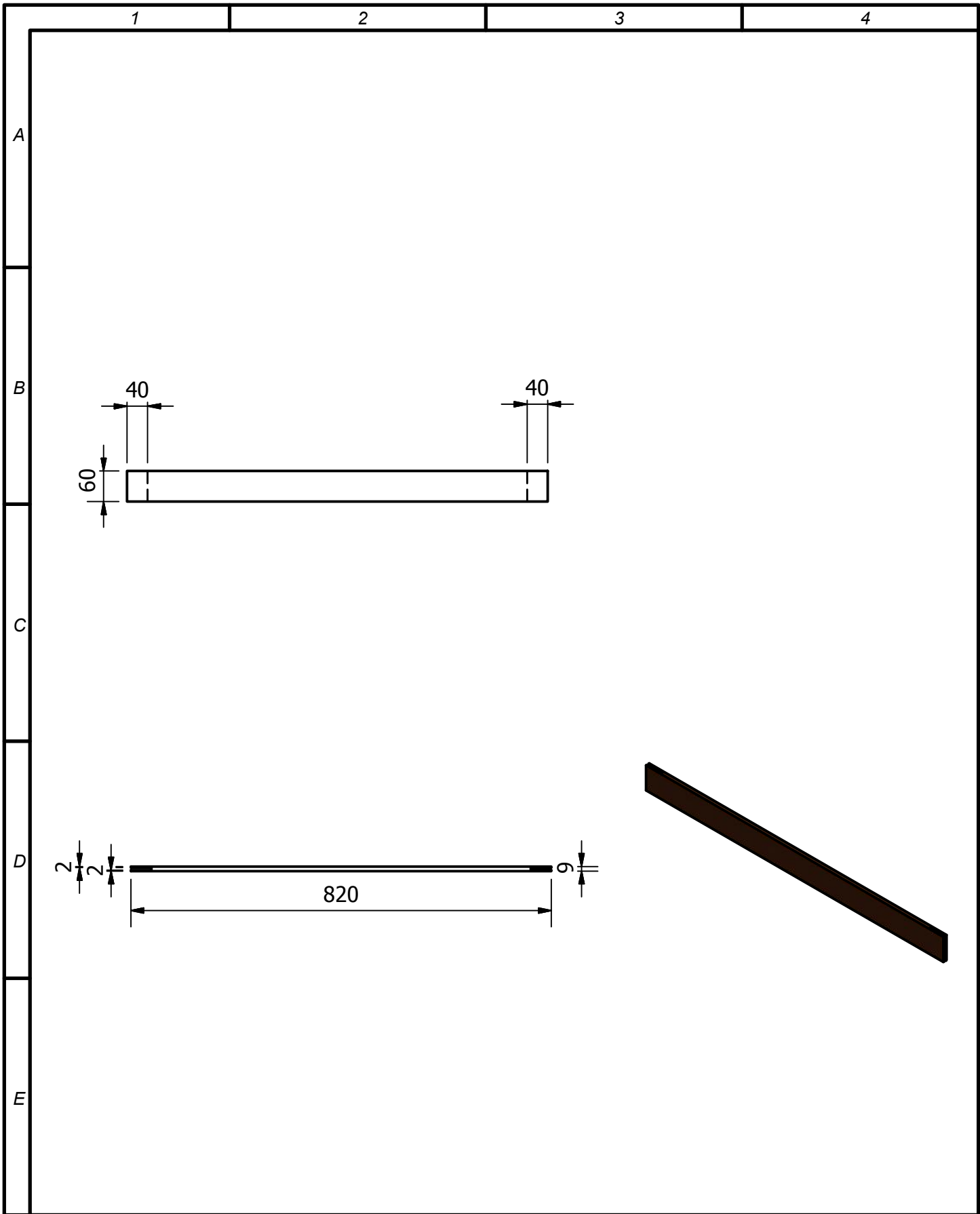
		TOLERANCIA:		PESO [Kg]:		MATERIAL:	
		± 0.5 mm		20.51		Acrílico PMMA	
		Fecha		Nombre		CÁMARA DE DESINSECTACIÓN POR ANOXIA	
		Dibujado Mayo 2015		Francisco Nicolalde			
		Revisado Mayo 2015		Msc. Luis Hidalgo			
		Aprobado				ESCALA: 1/25:1	
		FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO N°:		HOJA:	
				8.Ventana		8/14	
Edición	Modificación			Fecha	Nombre		



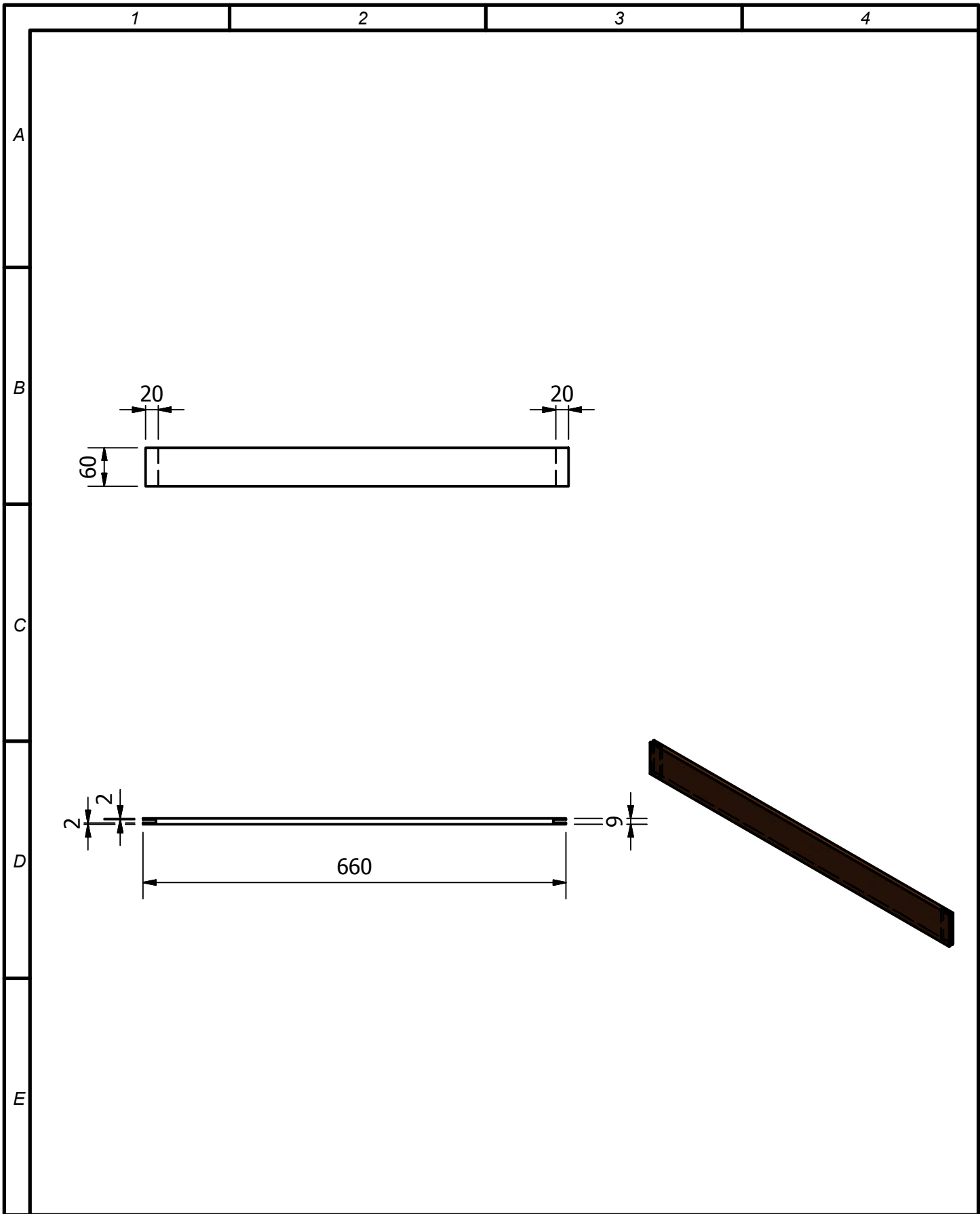
				TOLERANCIA: $\pm 0.5 \text{ mm}$	PESO [Kg]: 0.63	MATERIAL: <i>Madera</i>	
							ESCALA: 1/25:1
				Fecha	Nombre	CÁMARA DE DESINSECTACIÓN POR ANOXIA	
				Dibujado Mayo 2015	Francisco Nicolalde		
				Revisado Mayo 2015	Msc. Luis Hidalgo		
				Aprobado			
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO N°: <i>10.Marco de sello</i>	HOJA: 10/14
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				




		TOLERANCIA:		PESO [Kg]:		MATERIAL:	
		± 0.5 mm		3		Madera	
		Fecha		Nombre		CÁMARA DE DESINSECTACIÓN POR ANOXIA	
		Dibujado Mayo 2015		Francisco Nicolalde			
		Revisado Mayo 2015		Msc. Luis Hidalgo			
		Aprobado				ESCALA: 0/15:1	
		FIRMA / EMPRESA:				DIBUJO N°:	
						12.Panel superior	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				




		TOLERANCIA:		PESO [Kg]:		MATERIAL:	
		± 0.5 mm		0.23		Madera	
		Fecha		Nombre		CÁMARA DE DESINSECTACIÓN POR ANOXIA	
		Dibujado Mayo 2015		Francisco Nicolalde			
		Revisado Mayo 2015		Msc. Luis Hidalgo			
		Aprobado				ESCALA: 1/10:1	
		FIRMA / EMPRESA:				DIBUJO N°:	
						13.Pared mayor	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



		TOLERANCIA:		PESO [Kg]:		MATERIAL:	
		± 0.5 mm		0.19		Madera	
		Fecha		Nombre		CÁMARA DE DESINSECTACIÓN POR ANOXIA	
		Dibujado Mayo 2015		Francisco Nicolalde			
		Revisado Mayo 2015		Msc. Luis Hidalgo			
		Aprobado				ESCALA: 1/8:1	
		FIRMA / EMPRESA:				DIBUJO N°:	
						14.Pared menor	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

ANEXO 2

Proforma de perfiles y chapas metálicas



(MATRIZ MANTA): Av. 21 de Mayo y Calle 40a, Esquina - Telf: (06) 2620839 - 2624952 - Cell: 099-7633993.
 (QUITO SUR): Calle Taura y Panamericana Sur Km. 5 1/2 - PBX: (02) 2671310 - Cell: 099-9444596.
ESTABLECIMIENTOS:
 (Quevedo): Via a Valencia Km. 1 - Telfs: (05) 2781618 - 271229 - 781413 - Cell: 099-7634019.
 (Sto. Domingo): Via a Quevedo Km. 3 1/2 (a lado de la gasolinera JAMAJAY).
 Telfs: (02) 2703144 - 2703145 - 2712001 - Cell: 099-9444524.
 (Portoviejo): Av. Universitaria y Calle César Chávez Canarte - Telfs: (05) 2633105 - 2634569 - Cell: 099-7633899.
 (Guayaquil): Ruta Via a Daule Km. 10 1/2 - Telfs: (04) 2111319 - 2111411.
 (Alfaro): Via a Daule Km. 10 1/2 - Telfs: (04) 2111319 - 2111411.
 (Planta 2): Via a Daule Km. 14 Primera Sec. Industrial - Telfs: (04) 2111319 - 098-7096054.
 (Local 2): Via a Daule Km. 8 1/2 - Telfs: (04) 2201511 - 2201535 - 0982653 - 4028554 - Cell: 099-9444497.
 (Local 3): Av. Eloy Alfaro y Calle Calucuchima, esq. - PBX: (06) 2410854 - 2413371.
 (Ambato): Av. Alahuiza y Juan Zarmita Esquina - Telfs: (03) 2585001 - 2585082 - Cell: 099-9444593.
 (Cuenca): Av. 12 de Abril entre las Calles Inaburra y Calacoto - Telf: (07) 2611092 - 2634768 - 7888974.
 (Machala): Guayas y El Guabo esq. - Telfs: (07) 2521763 - 2521577 - Cell: 099-7634161.
 (Milagro): Av. 1 de Septiembre y Calle Colon - Telfs: (08) 2711311 / 2711355 - Cell: 099-7634131.
 (Ibarra): Av. Cristóbal de Troya y Mejía - Telfs: (06) 2604596 - 2604597 - 2604598 - Cell: 099-7633829.
 (Loja): Calle Ambato sin entre Isaura y Tulcan - Telf: (07) 2550609 - Cell: 099-7633886.
 (Coca): Av. 9 de Octubre # 12 y Calle Cuyabeno - Telfs: (06) 2860931 - 860047.
 (Lago Agrio): Av. 9 de Octubre # Manzana 13 - Telfs: (06) 2353185 - 2353116.
 (Puyo): Av. Alberto Zambrano sin y 9 de Octubre - Telf: (03) 4539072.
www.dipacmanta.com

DIPAC MANTA S.A.
R.U.C. 1390060757001
CONTRIBUYENTE ESPECIAL
 RESOLUCIÓN 3368 DEL 2 DE JUNIO 1993 DIPAC MANTA S.A.

- La mercadería viaja por cuenta y riesgo del comprador.
- Salida la mercadería de nuestros almacenes no se aceptan reclamos.
- Los pagos deben realizarse con cheque cruzado a nombre de DIPAC MANTA S.A.
- Somos contribuyentes especiales favor no retener el IVA.
- Emitir los comprobantes de retención a nombre de DIPAC MANTA S.A.

NUMERO DE OFERTA: 040033392
 NOMBRE/RAZON SOCIAL: NICOLALDE FRANCISCO
 CODIGO DE CLIENTE: 004999999
 CODIGO DE DIRECCION: 004028170

QUITO NORTE .., 26-03-15
 TELEFONO:
 LA LIGA

Pos	Artículo	Descripción	Cantidad	Precio	Total USD.	Und
10	PAI32B48020	PLAN.AC.INOX. 4x8 304-2B 2.0MM	7.00	188.33	1318.31	u
20	PEU08004005	PERFIL CANAL U 80mmx40mmx5mm	3.00	31.96	95.88	u

ESTE DOCUMENTO NO CONSTITUYE VENTA Y LOS PRECIOS PUEDEN CAMBIARSE SIN PREVIO AVISO

Estos precios no aplican para pago con Tarjeta de Crédito	Subtotal	1414.19
	Iva	169.70
	Total USD	1583.89

VENDEDOR: ZAMBRANO NAVIA INGRID GISELA

ORIGINAL - DESTINATARIO

IMPRESO POR: FERIA RECLUTADOR S.R.L. 2014/SEP/02 10756293

ANEXO 3

Proforma de acoples neumáticos



MANGUERAS CONEXIONES
Y ADAPTADORES
IMPORTACIÓN DE REPUESTOS
EN GENERAL

PROFORMA No. 427

CLIENTE: CONSUMIDOR FINAL EMISION: 26/March/2015
CI / RUC: 99999999999999 TELEFONO: 9999999999 PLAZO: 15 DIAS
DIRECCION: Quito COD. VENDEDOR: 30/December/1899

CODIGO	CANTIDAD	DETALLE	P.UNITARIO	TOTAL
150143-2-4	15.00	NEPLOS 150143-2-4	2.58	38.70
6204	15.00	ABRAZADERAS 6204	0.74	11.10
A.A.G.1/4	2.00	MANGUERA 559988-04 A.A.G. 1/4'	2.31	4.62
3709X2	2.00	ACOPLES 3709X2	5.30	10.60

Suman:	65.02
Descuentos:	0.00
Subtotal:	65.02
Base 0%:	0.00
Base 12%:	65.02
IVA 12%:	7.80
Total:	72.82

Av. 10 de AGOSTO N52-62 Y CAP. RAMÓN BORJA TELEFS.:(593-2) 240-0323/2408-040/2408-041 FAX:(593-2) 2408-017 CASILLA: 17-01-272
www.cucasa.com.ec / E-mail: info@cucasa.com.ec / ventas@cucasa.com.ec / ventascucasa@tvccable.net.ec / cucasa @netlife.ec / infocucasa.com.ec
SUCURSAL SUR: JUAN MÁRQUEZ 40 y Av. RÍO MACHANGARA TELÉFONOS: 2613-552 / 2667-747 QUITO - ECUADOR

ANEXO 4

Proforma de relé de estado sólido



Av. de la Prensa N47-296 y Rio Topo
Quito - Ecuador

RUC: 1790508943001

Tel. 2240-668

Fax. 2446-237

PROFORMA N: 21,378

CLIENTE: FRANCISCO NICOLALDE

Página: 1 de 1

ATENCION:

FECHA: 08/04/2015

TELEFONO:

CODIGO	DETALLE	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
62-038	Relay en estado sólido 10 Amp. ECE	3.00	17.06	51.18

TIEMPO DE ENTREGA : Inmediato

TIEMPO DE VALIDEZ: 10 Dias

FORMA DE PAGO: Cheque a favor de RETENA S.A.

OBSERVACIONES:

SUBTOTAL: 51.18

DESCUEN 0 %: 0.00

BASE IMP: 51.18

IVA 12%: 6.14

COSTO ENVIO: 0.00

TOTAL: 57.32

Condiciones de pago:

1. El despacho de mercadería cuya cancelación sea realizada por medio de depósitos en cheque o pagos realizados a través de transferencias bancarias, se efectuarán luego que se acrediten los fondos. En caso de depósito en efectivo el envío será inmediato.
2. No aplica descuento: Materiales de importación, valores de mano de obra, refractarios y materiales y equipo de instalación complementarios.
3. Los gastos de envío a provincia será de costo adicional a la factura en compras menores a USD\$100.00 (Total base imponible).
4. Salida la mercadería de RETENA S.A, no se admiten devoluciones.

Importante:

Señor(a) cliente se solicita al momento de la compra la presentación del presente documento, para dar continuidad a la atención que el vendedor le ha brindado y lograr que su pedido sea atendido de manera rápida y evitar confusiones en el despacho del material

Nombre vendedor: Mario Vladimir Moreno Dávila
Celular: 0997326816
Teléfono:
Email: mario.moreno@retena.ec

ANEXO 5

Proforma de elementos eléctrico



polielektric@hotmail.com

POLIELEKTRIC

productos eléctricos industriales

Av. 10 de Agosto N57-47 (Av. Galo Plaza Lasso N57-35)
y Borrero, Sector Cotac

Telf.: 2402-849 • Telfax.: 2408-956

polielektric@hotmail.com Quito - Ecuador

PROFORMA
R.U.C.1704103728001

0010910

FECHA:

DIA	MES	AÑO
6	4	2015

Sr. FRANCISCO NICOLALDE GONSALEZ R.U.C./ C.C.: 1722049580

DIRECCIÓN: LA PAMPA TELF.: 2352199

CANT.	DESCRIPCIÓN	V. UNIT.	V. TOTAL
1.00	CL-44-20 GABINETE MET BEAC 40X40X20 LI'	43.9800	43.98
1.00	BOTONERA DOB. PTC MARCHA/PARO I/O ME	3.9000	3.90
1.00	RIEL DIN-35 mm META SIMETRICA 1m CAMB	2.3100	2.31
5.00	CONTACTOR CNC LC1-D09 9A AC3 V	8.2000	41.00
1.00	RELAY AUXILIAR CNC 110V AC SERIE MK2 E	4.3700	4.37
1.00	LUZ PILOTO EST. SOLLID CORTA ROJA 230V	1.4500	1.45
1.00	LUZ PILOTO EST. SOLLID CORTA VERDE 220V	1.4500	1.45
1.00	CABLE CUENCA FLEXIBLE 14	0.4000	0.40
MAYOR SURTIDO Y CALIDAD AL MENOR PRECIO			
Total Neto:			98.86
DESCUENTO:			-5.92
Subtotal:			94.94
Tarifa 0%:			0.00

CRÉDITO		Tarifa 12%	SUBTOTAL	94.94
CONTADO		12.00 %	IVA	11.03
TOTAL USD \$.				102.97

Bowen Mejía Viviana León / IMPRENTA - GAM
Fecha Impresión: 29/Mayo/2014
Del 010401 al 011000 1: 6 3: 100x2(a) negro, químico

"SOMOS PERSONAS NATURALES OBLIGADOS A LLEVAR CONTABILIDAD"

 AUTORIZADO

 RECIBÍ CONFORME

ANEXO 6

Proforma de elementos electrónicos



ALL POWER MICROCONTROLLER APM
AV. COLON OE3-31 Y VERSALLES LOCAL N°1
1714061932001
022502124

PROFORMA NO.0000002208

CLIENTE: CONSUMIDOR FINAL
DIRECCION: ;
RUC/CI: 999999999999999
FECHA: 26/03/2015 02:16:47 PM

CODIGO	DESCRIPCION	CANT	P.UNIT.	TOTAL
2243	SENSOR MPX5050DP	1.00	26.3393	26.34
4880	MPX10DP	1.00	15.6250	15.63
2290	HS1101LF	1.00	12.2321	12.23
1209	ARDUINO UNO	1.00	32.5000	32.50
4188	BLUETOOTH HC06	1.00	13.3929	13.39
1394	BAT. 9V - GP	1.00	1.2500	1.25
1397	BROCHE BATERIA 9V	1.00	0.2232	0.22
2248	LM35DZ	1.00	2.0089	2.01
0154	CABLE UTP 8H - METRO CAT.5E	1.00	0.4464	0.45
1681	RELE 5V - 5P	3.00	0.5804	1.74

SON: CIENTO DIECIOCHO , 45/100

VALIDEZ DE ESTA PROFORMA: 8 DIAS

SUBTOTAL: 105.75

DESCUENTO: 0.00

IVA: 12.69

FLETE: 0.00

TOTAL: 118.45

ELABORADO POR:

RECIBIDO POR:

ANEXO 7

Proforma de domo acrílico


CALIFICACION ARTESANAL Nº 51151

ACRILICOS ARQUITECTONICOS
Av. John F. Kennedy N70-10 a Isidro Loza, Cotacotaco - Quito
Junto al Estadio de la Liga
Teléfono: 259 60 60 - Telefax: 259 63 95 - Celular: 0999 44 57 31
www.acrilicosarquitectonicos.com
E-mail: acrilicosarquitectonicos@gmail.com

D.M de Quito, Abril 8 2015

**SEÑOR
FRANCISCO NICOLALDE
OBRA: TESIS
Presente.**

Me es muy grato poner a vuestra consideración la cotización de un Domo
en material acrílico, color Transparente

<u>CANTIDAD</u>	<u>ESPESOR</u>	<u>DIMENSIONES</u>	<u>VALOR U</u>	<u>VALOR TOTAL</u>
1	8mm	1.50 diametro	320.00	320.00
1	9mm	1.50 diametro	480	480.00

PLAZO DE ENTREGA: 10 DIAS LAB. A PARTIR DE LA FIRMA DEL CONTRATO

**FORMA DE PAGO: 60% A LA FIRMA DEL CONTRATO
40 % A LA ENTREGA DE LA OBRA**

Aprovecho la oportunidad para reiterar a Usted, mi agradecimiento por su confianza que
compromete a servirlo mejor.

Atentamente


ACRILICOS
ARQUITECTONICOS
SR. FRANCISCO MARQUEZ D.

ANEXO 8

Precio de sensores



Seeed estudio Grove Sensor de Gas (O2) prueba de la concentración de oxígeno en el aire alta precisión y sensibilidad módulo para ArduinoSEN00500P

[Ver nombre original del producto en inglés](#)

★★★★★ 100.0% clientes contentos con este artículo (8 votos) | 8 vendidos

Precio: **US \$ 59.00** / unidad
Precio al por mayor: ▼

Envío: **Envío gratis** a Ecuador vía Singapore Post ▼
Tiempo de entrega: 15-60 días (Se envía en 25 días hábiles)

Cantidad: unidad (35 unidades available)

Precio total: **US \$59.00**

[Comprar ahora](#)

[Añadir a la cesta](#)

♥ Añadir a mi Lista de Deseos ▼ (16 veces añadido)

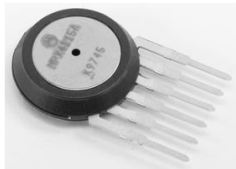
Mejor Valorado

Vendido por
Seeedstudio
China (Mainland)

1307
99.6% Valoraciones positivas
Valoraciones detalladas del vendedor ▼

[Visitar tienda](#)

Añadir a Mis tiendas favoritas
(342 veces añadido)



FREESCALE SEMICONDUCTOR - MPX4115A - IC, PRESSURE SENSOR, 15 TO 115KPA, SIP-6

by Freescale Semiconductor
[Be the first to review this item](#)

Price: **\$23.56 & FREE Shipping**

In stock.
Usually ships within 3 to 4 days.
Ships from and sold by **Electric Test**.

• FREESCALE SEMICONDUCTOR MPX4115A IC, PRESSURE SENSOR, 15 TO 115KPA, SIP-6

4 new from \$17.04

Share

Qty:

\$23.56 + Free Shipping
In stock. Usually ships within 3 to 4 days.

Sold by **Electric Test**

[Turn on 1-Click ordering for this browser](#)

Ship to:

Select a shipping address: ▼

[Add to Wish List](#)

ANEXO 9

Proforma electroválvulas



Av. de la Prensa N47-296 y Río Topo
Quito - Ecuador

RUC: 1790508943001

Tel. 2240-668

Fax. 2446-237

PROFORMA N: 21,338

CLIENTE: FRANCISCO NICOLALDE

Página : 1 de 1

ATENCION:

FECHA: 26/03/2015

TELEFONO:

CODIGO	DETALLE	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
17-067	Electroválvulas ODE 1/8, NC (14 Bar)	3.00	56.83	170.49
TIEMPO DE ENTREGA : Inmediato			SUBTOTAL:	170.49
TIEMPO DE VALIDEZ: 10 Dias			DESCUEN 0 %:	0.00
FORMA DE PAGO: Cheque a favor de RETENA S.A.			BASE IMP:	170.49
OBSERVACIONES:			IVA 12%:	20.46
			COSTO ENVIO:	0.00
			TOTAL:	190.95

Condiciones de pago:

1. El despacho de mercadería cuya cancelación sea realizada por medio de depósitos en cheque o pagos realizados a través de transferencias bancarias, se efectuarán luego que se acrediten los fondos. En caso de depósito en efectivo el envío será inmediato.
2. No aplica descuento: Materiales de importación, valores de mano de obra, refractarios y materiales y equipo de instalación complementarios.
3. Los gastos de envío a provincia será de costo adicional a la factura en compras menores a USD\$100.00 (Total base imponible).
4. Salida la mercadería de RETENA S.A, no se admiten devoluciones.

Importante:

Señor(a) cliente se solicita al momento de la compra la presentación del presente documento, para dar continuidad a la atención que el vendedor le ha brindado y lograr que su pedido sea atendido de manera rápida y evitar confusiones en el despacho del material

Nombre vendedor: Mario Vladimir Moreno Dávila
Celular: 0997326816
Teléfono:
Email: mario.moreno@retena.ec

ANEXO 10

Proforma de empaques O Ring por metro

<p>CATEIN Cauchos Técnicos Industriales</p> <p>Av. 10 de Agosto N45-125 y Av. Amazonas (El Labrador) Telfs.: 2462361 5103937 / 0999208295 E-mail: catein111@hotmail.com www.cauchostecnicosindustriales.com Quito-Ecuador</p>	<p>PROFORMA RUC. 1001160231001 Nº 0004585</p> <p>FABRICAMOS: Todo tipo de empaques, o rings, retenedores, bases, acoples, perfiles, reencauche de rodillos para todo tipo de industria y maquinaria. Trabajamos en caucho neopreno, nitrilo, silicona camel back, natural, Epdm, Poliuretano, etc.</p>
Fecha de emisión: <u>16 - ABRIL - 2015</u>	
Cliente/Empresa: <u>FRANCISCO NICOLALDE</u>	
Dirección/Telf.: <u>2352 199</u>	
Ponemos a su consideración la siguiente cotización:	

Cant.	Ref.	DETALLE	Precio Unitario	TOTAL
1		metro O ring 3.mn	3.50	3.50

Enero/2015

MATERIA PRIMA:
 COLOR:
 DUREZA:
 FORMA DE PAGO:
 TIEMPO DE ENTREGA:
 GARANTIA: Producto realizado bajo todas las especificaciones técnicas de la muestra o plano

Subtotal	3.50
IVA 12 %	0.42
TOTAL U\$D	3.92

PROFORMA VALIDA POR DIAS



 POR CAUCHOS TECNICOS INDUSTRIALES