



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**CARRERA DE MECÁNICA**

**PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA:**

---

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA HIPERBÁRICA PARA  
MASCOTAS PEQUEÑAS Y MEDIANAS PARA LA CLÍNICA  
VETERINARIA SNAP DE LA CIUDAD DE AMBATO”**

---

**AUTORES:** Edison Fernando Casa Molina

Welington Wladimir Jati Chanchicocha

**TUTOR:** Ing. Jorge Enrique López Velástegui Mg.

**AMBATO - ECUADOR**

**Septiembre – 2023**

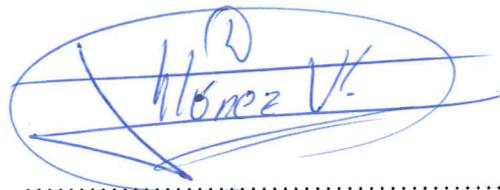
## APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA HIPERBÁRICA PARA MASCOTAS PEQUEÑAS Y MEDIANAS PARA LA CLÍNICA VETERINARIA SNAP DE LA CIUDAD DE AMBATO”**, elaborado por los señores **Edison Fernando Casa Molina**, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 0504604273 y **Welington Wladimir Jati Chanchicocha**, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 0504063249, estudiantes de la Carrera de Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente Proyecto Técnico es original de sus autores.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, septiembre 2023

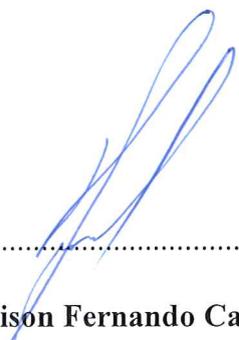


.....  
**Ing. Jorge Enrique López Velástegui Mg.**

## AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Edison Fernando Casa Molina** con C.I. 0504604273 y **Welington Wladimir Jati Chanchicocha** con C.I. 0504063249, declaramos que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Proyecto Técnico con el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA HIPERBÁRICA PARA MASCOTAS PEQUEÑAS Y MEDIANAS PARA LA CLÍNICA VETERINARIA SNAP DE LA CIUDAD DE AMBATO”**, así como también las ideas de diseño, criterio, análisis, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de nuestra exclusiva responsabilidad como autores del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, septiembre 2023



.....

**Edison Fernando Casa Molina**

**C.I. 0504604273**

**AUTOR**



.....

**Welington Wladimir Jati Chanchicocha**

**C.I. 0504063249**

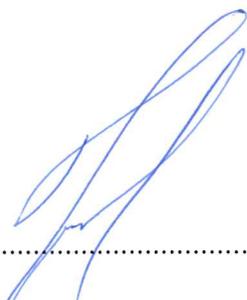
**AUTOR**

## DERECHOS DEL AUTOR

Autorizamos a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este proyecto técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y proceso de investigación, según las normas de la Institución.

Cedemos los Derechos en línea patrimoniales de nuestro Proyecto Técnico, con fines de difusión pública, además aprobamos la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando nuestros derechos de autor.

Ambato, septiembre 2023



.....  
**Edison Fernando Casa Molina**

**C.I. 0504604273**

**AUTOR**



.....  
**Welington Wladimir Jati Chanchicocha**

**C.I. 0504063249**

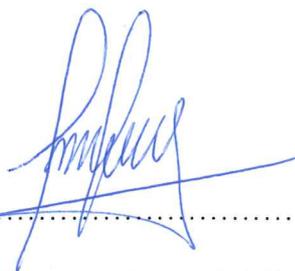
**AUTOR**

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico, realizado por los estudiantes Edison Fernando Casa Molina y Welington Wladimir Jati Chanchicocha, de la Carrera de Mecánica bajo el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA HIPERBÁRICA PARA MASCOTAS PEQUEÑAS Y MEDIANAS PARA LA CLÍNICA VETERINARIA SNAP DE LA CIUDAD DE AMBATO”**.

Ambato, septiembre 2023

Para constancia firma:



Ing. Mg. Diego Fernando Núñez Núñez

**MIEMBRO CALIFICADOR**



Ing. Mg. César Hernán Arroba Arroba

**MIEMBRO CALIFICADOR**

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar este trabajo a mis queridos padres Silvia y Fernando, por sus enseñanzas que nunca terminan y por ser una fuente inquebrantable de apoyo, comprensión y amor a lo largo de este viaje académico.

A mis hermanas, por su constante aliento y alegría en cada paso que doy. A mis abuelos, tíos, amigos y conocidos que han estado presentes, dándome palabras de aliento.

Y a mí mismo, por nunca perder la perseverancia y la determinación que me impulsaron a concluir este objetivo.

**Edison Fernando Casa Molina**

## **DEDICATORIA**

Este proyecto va dedicado en especial a Dios el cual me ha brindado salud, sabiduría, fuerzas e inteligencia durante toda mi vida, me ha guiado cada día y ahora me permite culminar un gran objetivo.

A mis padres Ernesto Jati y Piedad Chanchicocha, quienes me han apoyado durante toda mi vida, que, gracias a sus consejos y valores inculcados desde pequeño, me permite lograr este gran sueño y ahora que mi padre desde el cielo me sigue apoyando tanto como en vida lo supo hacer.

A mis hermanas y cuñados, que nunca me dieron la espalda y me brindaron todo el apoyo tanto económico como emocional para poder culminar mis estudios. Asimismo, deseo reconocer de manera especial a una persona que me ha apoyado y ha estado conmigo en las buenas y en las malas.

A mis amigos con los que he compartido grandes momentos y hemos estado apoyándonos mutuamente durante toda la carrera, demostrando que podemos cumplir las cosas que se propone con esfuerzo y dedicación.

**Wellington Wladimir Jati Chanchicocha**

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer a la Universidad Técnica de Ambato, dando especial énfasis a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, al personal docente y de servicios que han sido parte de mi desarrollo profesional, realizando diariamente un arduo trabajo para engrandecer el nombre de la institución y día a día educar a los futuros profesionales del país.

A toda mi familia, que han sido parte fundamental durante mi vida y durante esta etapa educativa, brindándome su apoyo incondicional e invaluable enseñanzas, valores y consejos que me han llevado a ser el hombre que soy ahora.

Al Ing. Jorge López, por su guía, apoyo y consejos durante el desarrollo de este proyecto final.

A mis amigos cercanos que me han brindado palabras de aliento y apoyo, estando presentes en los buenos y malos momentos.

A mis compañeros de clase, quienes fueron aliados durante la carrera, mostrando que con esfuerzo se puede conseguir cualquier objetivo.

**Edison Fernando Casa Molina**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por brindarme la salud y sabiduría para poder alcanzar un objetivo más en mi vida, por permitirme ser un hombre de bien y cuidar de mis seres queridos que me impulsan a diario.

A mi madre por su constante apoyo y porque siempre ha estado en el momento preciso para extenderme su mano, por convertir los malos pasos en momentos de reflexión, por enseñarme a luchar por mis sueños y ser una persona de bien.

A mi padre quién me apoyó incondicionalmente hasta el último día de su vida, quien me enseñó a valorar los resultados de un gran esfuerzo, padre mío, ahora que me cuidas desde el cielo debes estar orgullo porque tu mayor sueño siempre fue verme triunfando en la vida y logrando alcanzar un objetivo que soñaba desde niño, ocupadas un lugar muy especial en mi corazón.

A mis hermanas, que gracias a ellas aprendí a nunca rendirme y perseguir ese gran sueño, por aconsejarme y pese a la distancia nunca han dejado de apoyarme. Asimismo, a toda mi familia quienes me han brindad palabras de aliento y apoyo.

A mis amigos con quienes conjuntamente nos hemos apoyado y aconsejado para luchar por nuestros sueños. De igual forma, a una persona en especial quien me apoyó incondicionalmente y ha estado conmigo en los buenos y malos momentos.

Al Ing. Jorge López, por apoyarme y guiarme durante el desarrollo de este proyecto final.

A la Universidad Técnica de Ambato y en especial a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, que han permitido formar mis estudios y convertirme en un profesional.

**Wellington Wladimir Jati Chanchicocha**

## ÍNDICE GENERAL DEL CONTENIDO

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	iii
DERECHOS DEL AUTOR .....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
DEDICATORIA .....	vii
AGRADECIMIENTO .....	viii
AGRADECIMIENTO .....	ix
ÍNDICE GENERAL DEL CONTENIDO .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xxi
RESUMEN EJECUTIVO .....	xxiii
ABSTRACT.....	xxiv
1 MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Justificación.....	1
1.2 Antecedentes investigativos .....	2
1.3 Objetivos .....	5
1.3.1 Objetivo general .....	5
1.3.2 Objetivos específicos.....	5
1.3.2.1 Objetivo específico 1 .....	5
1.3.2.2 Objetivo específico 2.....	5
1.3.2.3 Objetivo específico 3.....	5
1.3.2.4 Objetivo específico 4.....	5
1.3.2.5 Objetivo específico 5.....	6
1.4 Fundamentación teórica .....	6

1.4.1	Terapia de oxigenación hiperbárica (TOHB).....	6
1.4.1.1	Fundamentos científicos del tratamiento hiperbárico.....	7
1.4.1.2	Tiempo y presión de terapia .....	7
1.4.1.3	Beneficios de la TOHB para uso veterinario.....	8
1.4.1.4	Aplicaciones clínicas especiales de la TOHB .....	8
1.4.2	Cámara hiperbárica.....	10
1.4.3	Tipos de cámaras hiperbáricas.....	10
1.4.3.1	Monoplaza .....	10
1.4.3.2	Multiplaza.....	11
1.4.4	Partes principales de una cámara hiperbárica monoplaza .....	12
1.4.4.1	Cuerpo principal de la cámara.....	12
1.4.4.2	Escotilla o compuerta .....	12
1.4.4.3	Camilla .....	12
1.4.4.4	Panel de control .....	13
1.4.5	Normas de diseño para recipientes sometidos a presión .....	14
1.4.5.1	Alcance de los códigos .....	15
1.4.6	Generalidades de los recipientes a presión.....	15
1.4.6.1	Recipientes a presión.....	15
1.4.6.2	La presión de operación <b>P<sub>o</sub></b> .....	16
1.4.6.3	La presión máxima de operación.....	16
1.4.6.4	La presión de diseño <b>P</b> .....	16
1.4.6.5	La presión de trabajo máxima permisible .....	16
1.4.6.6	La presión de prueba .....	17
1.4.6.7	El esfuerzo de diseño a la tensión <b>S</b> .....	18
1.4.6.8	La eficiencia de las soldaduras <b>E</b> .....	19
1.4.7	Tipos de recipientes a presión .....	19
1.4.7.1	Por su uso .....	19

1.4.7.2	Por su forma .....	19
1.4.8	Eficiencia de las Juntas Soldadas (E) .....	20
1.4.9	Partes de los recipientes a presión .....	21
1.4.9.1	Cabezales .....	21
1.4.10	Métodos de construcción de recipientes a presión.....	24
1.4.10.1	Proceso de soldadura .....	24
1.4.10.2	Electrodo 6011 .....	24
1.4.11	Materiales para la construcción de la cámara hiperbárica .....	26
1.4.11.1	Acero al carbono SA 516 .....	26
1.4.11.2	Acero ASTM A36 .....	27
1.4.11.3	Cristal de acrílico.....	29
1.4.11.4	Policarbonato (PC) .....	30
1.4.11.5	Mecanismos de cierre .....	31
1.4.11.6	Sellos .....	34
1.4.11.7	Selección de sello .....	35
1.4.11.8	Empaque de EPDM.....	36
1.4.11.9	Pegamento para el empaque (ABRO Silicona Gris 999) .....	36
1.4.12	Sistema de ingreso y salida de oxígeno .....	37
1.4.12.1	Componentes de ingreso de oxígeno.....	37
1.4.12.2	Componentes de salida de oxígeno .....	38
1.4.13	Válvulas .....	38
1.4.14	Seguridad contra incendios en la oxigenoterapia hiperbárica .....	39
1.4.14.1	Riesgo de incendio .....	39
1.4.14.2	Prevención de incendios .....	39
1.4.14.3	Sistema de iluminación contra incendios .....	40
1.4.15	Pintura al horno.....	44
1.4.16	Mascotas pequeñas y medianas .....	45

1.4.17	Dimensiones de la cámara hiperbárica .....	46
1.4.17.1	Dimensiones del cabezal toriesférico .....	46
1.4.17.2	Dimensiones del manto cilíndrico .....	48
1.4.17.3	Capacidad volumétrica de la cámara hiperbárica.....	48
1.4.17.4	Presión máxima a soportar .....	49
1.4.17.5	Cálculos de la masa y volumen del oxígeno medicinal.....	50
1.4.17.6	Masa del prototipo del cuerpo principal en condiciones de operación .....	51
1.4.17.7	Cálculo de los soportes del prototipo .....	51
1.4.17.8	Cálculo del tiempo de llenado del prototipo.....	53
CAPÍTULO II .....		54
2	METODOLOGÍA .....	54
2.1	Modalidad de investigación .....	54
2.2	Nivel o tipo de investigación.....	55
2.3	Materiales y recursos.....	55
2.3.1	Listado de materiales para el modelo y simulación de la cámara hiperbárica.....	55
2.3.2	Lista de materiales para la construcción del prototipo de cámara hiperbárica.....	56
2.4	Métodos.....	61
2.4.1	Alternativas del material para la construcción del cuerpo principal y la compuerta del prototipo .....	61
2.4.2	Ponderación de alternativas.....	61
2.4.3	Selección del material para la construcción de la máquina.....	62
2.4.4	Selección del material para las ventanas de la máquina.....	62
2.4.5	Ponderación de alternativas .....	63
2.4.6	Selección del material para las ventanas de la máquina.....	63

2.4.7	Selección del material para la construcción del soporte de la máquina .....	64
2.4.8	Selección del tipo de compuerta y su mecanismo de cierre .....	64
2.4.9	Ponderación de alternativas .....	65
2.4.10	Selección de la compuerta .....	65
2.4.11	Diagrama de flujo para el diseño y construcción de la máquina ..	66
2.4.12	Cálculos .....	68
2.4.12.1	Dimensiones y parámetros de funcionamiento de la máquina ..	68
2.4.12.2	Cabezal y compuerta toriesférica .....	70
2.4.12.3	Manto cilíndrico .....	71
2.4.12.4	Espesor de la cámara hiperbárica .....	71
2.4.12.5	Capacidad volumétrica de la cámara hiperbárica .....	72
2.4.12.6	Presión máxima a soportar .....	73
2.4.12.7	Cálculos de la masa y volumen del oxígeno medicinal.....	73
2.4.12.8	Cálculo de la masa del cuerpo principal del prototipo en condiciones de operación .....	75
2.4.12.9	Cálculo de los soportes del prototipo .....	75
2.4.12.10	Cálculo del tiempo de llenado del prototipo.....	78
2.4.12.11	Cálculo de la presión de prueba.....	78
2.4.13	Diseño geométrico de la cámara hiperbárica .....	79
2.4.14	Análisis y simulación de los componentes del prototipo de la cámara hiperbárica .....	95
2.4.15	Construcción del prototipo de la cámara hiperbárica .....	114
2.4.15.1	Adquisición de la materia prima .....	115
2.4.15.2	Corte de la plancha para el manto cilíndrico .....	115
2.4.15.3	Corte del cabezal y de la compuerta.....	116

2.4.15.4	Corte de los anillos y agujeros del manto cilíndrico y de la compuerta.....	116
2.4.15.5	Corte de los soportes y el apoyo.....	117
2.4.15.6	Rolado del manto cilíndrico .....	118
2.4.15.7	Ensamble del manto cilíndrico .....	118
2.4.15.8	Prensado del cabezal y la compuerta.....	119
2.4.15.9	Rebordeado del cabezal y la compuerta .....	120
2.4.15.10	Ensamble de los soportes .....	121
2.4.15.11	Ensamble de las guías para la camilla .....	122
2.4.15.12	Corte de los agujero para los accesorios y la ventana .....	122
2.4.15.13	Torneado del cuerpo y tapa de la ventana .....	122
2.4.15.14	Ensamble del cabezal y el cuerpo de la ventana.....	123
2.4.15.15	Ensamble de los anillos con el manto cilíndrico y la compuerta .....	124
2.4.15.16	Enderezado del anillo de la compuerta.....	125
2.4.15.17	Mecanizado del separador de la bisagra.....	125
2.4.15.18	Corte de los componentes de la bisagra .....	126
2.4.15.19	Corte de las bases de los pernos bloqueantes .....	126
2.4.15.20	Corte y taladrado de los orificios del eje roscado.....	126
2.4.15.21	Corte del acrílico para la ventana .....	127
2.4.15.22	Armado y ensamble de las bases de los pernos bloqueantes. 128	
2.4.15.23	Armado y ensamble de la bisagra.....	129
2.4.15.24	Ensamble del tirador en la compuerta .....	131
2.4.15.25	Inspección visual general .....	131
2.4.15.26	Colocación del acrílico en la carcasa de la ventana .....	132
2.4.15.27	Instalación de los accesorios .....	133
2.4.15.28	Pintado del prototipo .....	133

2.4.15.29	Luminaria .....	134
2.4.16	Proceso de prueba neumática.....	135
CAPÍTULO III .....		138
3	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	138
3.1	Análisis.....	138
3.1.1	Manto cilíndrico y cabezal toriesférico .....	138
3.1.2	Compuerta .....	140
3.1.3	Empaque .....	143
3.1.4	Estructura de soporte del prototipo .....	144
3.1.5	Cristal de ventana .....	146
3.2	Pruebas de funcionamiento .....	148
3.3	Manual de uso .....	149
3.4	Recursos Económicos .....	151
CAPÍTULO IV .....		153
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	153
4.1	Conclusiones .....	153
4.2	Recomendaciones.....	154
BIBLIOGRAFÍA .....		156
ANEXOS .....		163

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Logotipo de la clínica veterinaria SNAP .	1
Figura 2.	Uso de TOHB en perros .	4
Figura 3.	Cámara hiperbática para mascotas.	6
Figura 4.	Paciente canino listo para recibir el tratamiento en una cámara hiperbática .	7
Figura 5.	Cámara hiperbática .	10
Figura 6.	Cámara hiperbática monoplaza de Sechrist .	12
Figura 7.	Camilla de cámara hiperbática monoplaza .	13
Figura 8.	Panel de control de cámara hiperbática .	13
Figura 9.	Recipiente horizontal .	20
Figura 10.	Recipiente vertical .	20
Figura 11.	Principales tipos de cabezales .	22
Figura 12.	Partes de la puerta de un Autoclave .	32
Figura 13.	Despiece de una olla de presión .	34
Figura 14.	Procedimiento para la selección de sellos .	35
Figura 15.	Pegamento ABRO GREY 999 .	37
Figura 16.	Esquema del ingreso de oxígeno.....	38
Figura 17.	Medición de la altura y ancho de las mascotas .	45
Figura 18.	Variación del tamaño de mascotas .	46
Figura 19.	Cabezal toriesférico.....	47
Figura 20.	Cabezal toriesférico.....	47
Figura 21.	Diagrama de esfuerzo y deformación. ....	69
Figura 22.	Representación del soporte del prototipo.....	75
Figura 23.	Soporte del prototipo, articulado/fijo .....	77
Figura 24.	Materia prima .....	115

Figura 25.	Plancha para el manto cilíndrico.....	115
Figura 26.	Pieza cortada para el cabezal.....	116
Figura 27.	Pieza cortada para la compuerta.....	116
Figura 28.	Anillos de la compuerta y el mando cilíndrico .....	117
Figura 29.	Tubos cortados para el soporte.....	117
Figura 30.	Placa cortada .....	118
Figura 31.	Rolado del manto cilíndrico .....	118
Figura 32.	Unión de extremos del manto cilíndrico .....	119
Figura 33.	Manto cilíndrico soldado.....	119
Figura 34.	Prensado del cabezal y la compuerta .....	119
Figura 35.	Proceso de rebordeado .....	120
Figura 36.	Pieza del cabezal y la compuerta rebordeadas .....	120
Figura 37.	Ensamble del soporte .....	121
Figura 38.	Ensamble del soporte con el manto cilíndrico .....	121
Figura 39.	Ensamble final del soporte con el manto cilíndrico .....	121
Figura 40.	Guías para la camilla.....	122
Figura 41.	Agujeros para los accesorios y la ventana.....	122
Figura 42.	Torneado del cuerpo y la tapa de la ventana .....	123
Figura 43.	Torneado de la pieza de la ventana .....	123
Figura 44.	Ensamble del cabezal con el manto cilíndrico .....	123
Figura 45.	Ensamble de la carcasa de la ventana con el manto cilíndrico .....	124
Figura 46.	Ensamble del anillo con el manto cilíndrico .....	124
Figura 47.	Ensamble del anillo con la compuerta .....	124
Figura 48.	Enderezado y comprobación del anillo de la compuerta .....	125
Figura 49.	Separador de la bisagra mecanizado .....	125
Figura 50.	Componentes de la bisagra .....	126
Figura 51.	Bases de los pernos bloqueantes .....	126

Figura 52.	Eje cortado de longitud 10.5 cm .....	127
Figura 53.	Orificio en el eje roscado .....	127
Figura 54.	Corte del acrílico a láser.....	127
Figura 55.	Acrílico cortado de 127 mm de diámetro.....	128
Figura 56.	Armado de los pernos bloqueantes .....	128
Figura 57.	Alineación de la compuerta con el manto cilíndrico.....	129
Figura 58.	Ensamble de los soportes de pernos bloqueantes con el manto cilíndrico.....	129
Figura 59.	Armado de la bisagra .....	130
Figura 60.	Ensamble de la bisagra.....	130
Figura 61.	Ajuste de la bisagra .....	130
Figura 62.	Tirador de la compuerta .....	131
Figura 63.	Inspección visual de las partes soldadas .....	131
Figura 64.	Ventana del prototipo.....	132
Figura 65.	El empaque en la contratapa del manto cilíndrico .....	132
Figura 66.	Accesorios instalados en el prototipo.....	133
Figura 67.	Prototipo pintado.....	133
Figura 68.	Prototipo final Autor 1 .....	134
Figura 69.	Prototipo final Autor 2 .....	134
Figura 70.	Iluminación del prototipo, vista desde el exterior.....	135
Figura 71.	Iluminación del prototipo, vista desde el interior.....	135
Figura 72.	Desplazamientos del manto cilíndrico, compuerta toriesférica y contratapa del prototipo en ANSYS.....	138
Figura 73.	Tensión equivalente del manto cilíndrico, compuerta toriesférica y contratapa del prototipo en ANSYS.....	139
Figura 74.	Factor de seguridad del manto cilíndrico, compuerta toriesférica y contratapa del prototipo en ANSYS.....	139

Figura 75.	Desplazamientos de la compuerta del prototipo en ANSYS .....	140
Figura 76.	Tensión equivalente de la compuerta del prototipo en ANSYS .....	141
Figura 77.	Factor de seguridad del manto cilíndrico, compuerta toriesférica y contratapa del prototipo en ANSYS.....	142
Figura 78.	Vista lateral del prototipo de cámara hiperbárica desarrollado.....	143
Figura 79.	Desplazamientos de la estructura del soporte del prototipo en SolidWorks.....	144
Figura 80.	Tensión equivalente de la estructura de soporte del prototipo en Solidworks.....	145
Figura 81.	Factor de seguridad de la estructura de soporte del prototipo en SolidWorks.....	145
Figura 82.	Desplazamientos del cristal de la ventana del prototipo en ANSYS.....	146
Figura 83.	Tensión equivalente del cristal de la ventana del prototipo en Ansys.....	147
Figura 84.	Factor de seguridad del cristal de la ventana del prototipo en ANSYS.....	147
Figura 85.	Esquema del prototipo de la cámara hiperbárica .....	149

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Normas ocupadas para el diseño y construcción del prototipo de cámara hiperbárica.....	14
Tabla 2.	Eficiencias de Juntas Soldadas según el código ASME sección VIII División 1.....	21
Tabla 3.	Propiedades mecánicas del Acero A516 .....	26
Tabla 4.	Espesor máximo del Acero 516 según sus grados .....	27
Tabla 5.	Composición química nominal del acero ASTM A36 .....	28
Tabla 6.	Propiedades mecánicas del acero ASTM A36 .....	29
Tabla 7.	Propiedades mecánicas del cristal acrílico .....	30
Tabla 8.	Propiedades mecánicas del Policarbonato a 23 °C .....	31
Tabla 9.	Grados de protección contra el ingreso de cuerpos sólidos .....	40
Tabla 10.	Grados de protección contra el ingreso de agua .....	41
Tabla 11.	Clase de aislamiento eléctrico de luminarias .....	42
Tabla 12.	Resumen de las áreas clasificadas como peligrosas .....	43
Tabla 13.	Materiales para el diseño de la cámara hiperbárica. ....	55
Tabla 14.	Elementos para la construcción del prototipo de cámara hiperbárica....	56
Tabla 15.	Alternativas del material para la construcción.....	61
Tabla 16.	Valores de ponderación.....	61
Tabla 17.	Selección de alternativas .....	62
Tabla 18.	Alternativas de materiales termoplásticos para las ventanas .....	62
Tabla 19.	Ponderación de alternativas del material.....	63
Tabla 20.	Alternativas de la compuerta.....	64
Tabla 21.	Ponderación de alternativas del tipo de compuerta y su mecanismo de cierre.....	65
Tabla 22.	Desarrollo geométrico de las partes del prototipo de cámara hiperbárica desarrollado en SolidWorks .....	79

Tabla 23.	Análisis estructural aplicado al manto cilíndrico y cabezal toriesférico en ANSYS.....	96
Tabla 24.	Análisis estructural a la compuerta en ANSYS .....	101
Tabla 25.	Análisis estructural del Soporte del prototipo en SolidWorks. ....	106
Tabla 26.	Análisis estructural de cristal de ventana .....	110
Tabla 27.	Pruebas de funcionamiento del prototipo.....	148
Tabla 28.	Recursos económicos .....	152

## RESUMEN EJECUTIVO

Este proyecto técnico se desarrolló para suplir la escasez de equipos enfocados en la terapia de oxigenación hiperbárica de las clínicas veterinarias, para brindar un mejor servicio a sus pacientes. Se diseñó y construyó un prototipo de cámara hiperbárica funcional, seguro y económico en relación a equipos similares existentes en el mercado.

Para el diseño del prototipo se ocuparon los códigos ASME Sección VIII División 1, ASME Sección II Parte A, ASME Sección IX, para el diseño de recipientes sometidos a presión, selección de materiales, métodos de construcción y pruebas. Además, se realizó una investigación de dispositivos similares existentes en otros países para la selección de los accesorios y establecimiento de las especificaciones técnicas de funcionamiento que requiere una cámara hiperbárica.

Se desarrolló un diseño y simulación de un prototipo de dimensiones y características adecuadas para el uso de mascotas de tamaño pequeño y mediano, mediante un software de diseño CAD/CAE. Posteriormente, se hizo un listado y selección de materiales utilizados para la construcción de las partes y los accesorios fundamentales para el funcionamiento del prototipo.

Se construyó el prototipo según el diseño indicado en los planos y siguiendo los métodos de construcción establecidos.

Para las comprobaciones de la funcionalidad del prototipo, se desarrollaron pruebas con el fin de comprobar la hermeticidad y resistencia del prototipo a sus condiciones de funcionamiento.

**Palabras Claves:** Cámara hiperbárica, Código ASME, Diseño Geométrico, Construcción del Prototipo, Mascotas.

## ABSTRACT

This technical project was developed to address the scarcity of equipment focused on hyperbaric oxygen therapy in veterinary clinics, aiming to provide better service to their patients. A functional, safe, and cost-effective prototype of a hyperbaric chamber was designed and constructed in relation to similar existing equipment in the market.

For the design of the prototype, the ASME Section VIII Division 1, ASME Section II Part A, and ASME Section IX codes were utilized for the design of pressure vessels, material selection, construction methods, and testing. Additionally, research was conducted on similar devices existing in other countries to aid in the selection of accessories and the establishment of the necessary technical specifications for the operation of a hyperbaric chamber.

A design and simulation of a prototype with suitable dimensions and features for the use of small and medium-sized pets were developed using CAD/CAE design software. Subsequently, a list was compiled and materials were selected for the construction of the essential parts and accessories required for the prototype's operation.

The prototype was constructed according to the design indicated in the blueprints and following the established construction methods.

Functionality tests were conducted to verify the prototype's hermeticity and resistance under operating conditions.

**Keywords:** Hyperbaric chamber, ASME code, Geometric Design, Prototype Construction, Pet

## CAPÍTULO I

### 1 MARCO TEÓRICO

#### 1.1 Justificación

SNAP es una clínica veterinaria de la ciudad de Ambato dedicada al cuidado de la salud de mascotas con medicina veterinaria de alto nivel y cuenta con una infraestructura moderna para garantizar una atención de calidad. Sin embargo, carece de equipos enfocados en la terapia de oxigenación hiperbárica para el servicio de las mascotas que lo requieran, debido al elevado costo de estos equipos existentes en el mercado [1]. Además, en Ecuador la mayor parte de las cámaras hiperbáricas existentes están dedicadas al tratamiento de personas, un ejemplo de ello es la clínica Medical Cubacenter, especializados en brindar este tipo de servicio ubicada en la ciudad de Santo Domingo [2], lo que indica la escasez de cámaras enfocadas para el uso veterinario.



Figura 1. Logotipo de la clínica veterinaria SNAP [1].

Este trabajo investigativo se enfocó en el diseño y construcción de una cámara hiperbárica para la clínica veterinaria SNAP de la ciudad de Ambato, que busca ampliar los servicios a sus pacientes pretende integrar la terapia de oxigenación hiperbárica, ya que, según César Luna [3], se respira oxígeno al 100% que ayuda a la recuperación de una enfermedad o lesión con inflamación, hipoxia, isquemia, traumatismos espinales y heridas que no se cicatrizan.

En estudios previos efectuados por Catherine y Gema [4], se determinó que las propiedades de recuperación que se pueden alcanzar son muy importantes en diversos casos como son: el acelerar el proceso de cicatrización en general,

minimizando los rastros de las heridas, a través del tratamiento de una cámara hiperbárica, por lo que, contar con una cámara hiperbárica dentro de una clínica veterinaria será de gran ayuda para la recuperación de los animales que requieren de este tratamiento [4].

## **1.2 Antecedentes investigativos**

La idea de llevar a cabo un tratamiento de pacientes a través de aire comprimido en una cámara hiperbárica surge en 1662, cuando Nathaniel Henshaw, un médico y clérigo inglés construyó un domicilium, este fue la primera cámara en brindar tratamientos a pacientes que sufrían enfermedades crónicas, ya que, ofrecía aire puro a los pacientes. Sin embargo, la primera cámara hiperbárica que estaba cerrada herméticamente fue patentada en 1839 por Trigger, esta cámara fue diseñada para tratar enfermedades por descompresión ocasionadas en los mineros franceses y en 1834 Williams en su tratado de aeroterapéutico llegó a definir como enfermedades de los buzos y en ello se incluyó los planos para la fabricación de esta máquina. Pero lo que ocasionó una gran demanda por adquirir los servicios de oxigenación hiperbárica tanto en Europa como en Estados Unidos fue en 1857, cuando Paul Bernard llegó a describir la finalidad del oxígeno por la hemoglobina, a partir de ello este tratamiento fue ganando terreno [5].

En las últimas décadas el uso de la terapia de oxígeno hiperbárico (TOHB) ha crecido mucho en la medicina humana y veterinaria, ya que en ambas la oxigenoterapia hiperbárica que se realiza a menudo para tratar la fascitis necrosante, quemaduras, lesiones por aplastamiento y en las heridas infectadas y complicadas, ya que el paciente está en una cámara presurizada donde respira oxígeno al 100% permite tratar este tipo de enfermedades. Además, la primera terapia de oxígeno hiperbárica en veterinaria se dio a finales de los 90 y desde eso la TOHB ha tenido un gran impulso, ya que las instalaciones que ofrecen crecen continuamente [6] [7].

En Ecuador existen diversos centros, clínicas y hospitales veterinarios, lo que da indicios de que diseñar equipos para este sector es importante para apoyar a su desarrollo y tecnificación. En Ecuador el sector de mascotas ha evolucionado generando grandes oportunidades de negocios, ya que, según los datos emitidos por el INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos) en el país hay más de 130

locales dedicados a la industria de mascotas, distribuidos en diferentes puntos del país. Además, en este mismo estudio López [8] menciona que al menos el 60% de la población ecuatoriana cuenta con una mascota en casa [8].

Las cámaras hiperbáricas, el tema del que trata este proyecto, dirige su enfoque al tratamiento y recuperación de mascotas que han sufrido algún tipo de accidente o han sido intervenidas quirúrgicamente, en busca de reducir el tiempo que toma la recuperación del paciente, esto beneficia tanto al animal, ya que superará sus dolencias más rápidamente, al dueño de este, debido a que, al momento de seleccionar una clínica veterinaria existen factores claves como: El prestigio del veterinario, la cercanía geográfica a domicilio, servicio al cliente y sobre todo la calidad del servicio, este viene a ser un factor principal porque los dueños buscan un diagnóstico acertado y un tratamiento adecuado. Además, la implementación de esta cámara permitirá al establecimiento brindar un mejor servicio a sus clientes [9].

Según el diario el Telégrafo [10], tres de cada cinco familias en Ecuador tienen mascotas, entre los más comunes se presentan el perro, el gato, hámster, peces y conejos. Dichas mascotas pasan de ser meros animales de compañía a un miembro más de la familia, por lo que, las familias invierten más en los cuidados de la salud de sus mascotas, esto ha generado una gran oportunidad de negocios. Dicho afán por cuidar a sus mascotas proporciona una oportunidad de desarrollar proyectos para beneficio de los animales y sus dueños.

En la actualidad, las cámaras hiperbáricas que se pueden encontrar en el mercado nacional solo son para tratar personas, pero en las veterinarias de Ecuador hay escasez de cámaras hiperbáricas orientadas para recuperar mascotas, llegando a ser un problema que enfrentan cuando hay mascotas que requieren de un servicio o un tratamiento donde se pueda respirar oxígeno al 100%, como es, la clínica veterinaria SNAP que no cuenta con esta máquina [1].

Contar con una cámara hiperbárica que ayude a tratar enfermedades mediante la oxigenoterapia es de gran utilidad en el mundo veterinario, ya que existen estudios que demuestran la eficiencia de la máquina. Existen diferentes estudios realizados en el Departamento de Clínica Veterinaria Bambang Sektiari Lukiswanto y Wiwik Misaco Yuniarti, así como también en el Departamento de Cirugía Yosis Motulo en

Indonesia que demuestran los beneficios del uso de TOHB en los animales. En un estudio realizado con conejos que sufrían lesiones por infrarrojos en las extremidades traseras, se hizo uso de TOHB durante 90 minutos, el resultado fue satisfactorio, ya que, se pudo observar mejoras histopatológicas, menos lesiones necróticas y, además, la inflamación en el sitio de la lesión fue menor. Resalta que realizar una sola sesión de la terapia de oxígeno hiperbárico (TOHB) sometido a una presión de 2 ATA durante 2 horas duplica las células madre progenitoras CD34 más las circulantes, estas células son primordiales, ya que se destinan a salvar y a restaurar estructuras dañadas [6].

En una práctica veterinaria realizada en Commack en la ciudad de Nueva York, en donde usaron la terapia de oxígeno hiperbárica (TOHB) en perros que sufrían los siguientes problemas: (A) osteomielitis y celulitis, (C) vía aérea cerrada posterior a una picadura y (E) edema luego de una transfusión de plasma, se sometió a una tratamiento en donde respiraba oxígeno al 100% durante 1 hora a una presión de 2 ATA y el cambio que se pudo observar después del tratamiento fue notorio en cada uno de los pacientes como se puede observar en la Figura 2, inciso B, D y F.

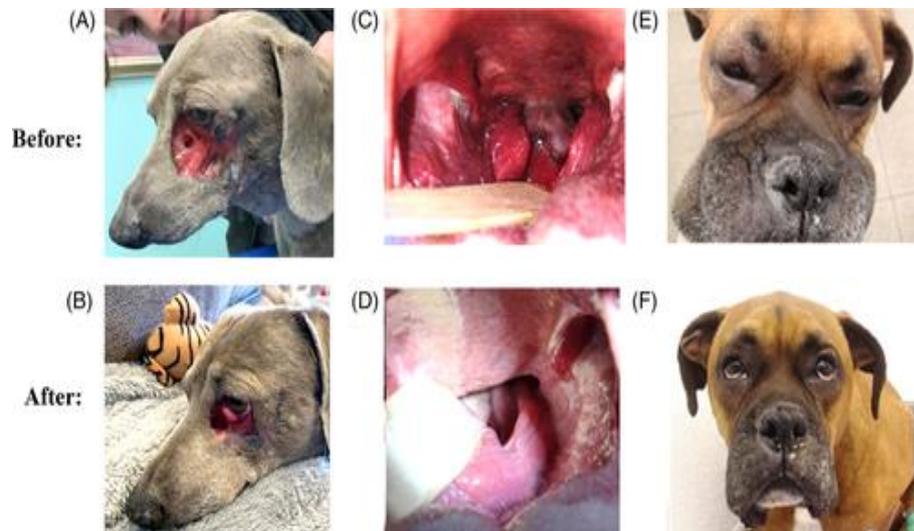


Figura 2. Uso de TOHB en perros [6].

Además, en Brasil se llegó a construir una cámara hiperbárica para el uso de animales de tamaño mediano, esta máquina está disponible para el uso veterinario, así como también para el uso de experimentos en el área de las Ciencias de la Salud debido a que cuenta con especificaciones técnicas que permiten el uso en ambas

áreas. Esta cámara hiperbárica está construida con un acero ASTM A36 y tiene la capacidad de soportar una presión hidrostática de 3 bar o 4 ATA y una presión máxima de trabajo de 2 bar o 3 ATA, luego de haber realizado pruebas de ingeniería y, además, de haber realizado el uso biológico en animales se logró demostrar la eficiencia de la máquina, ya que este dispositivo cuenta tanto con las características técnicas como con la confiabilidad requerida por una cámara hiperbárica para el tratamiento de personas [11].

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Diseñar y construir una cámara hiperbárica para mascotas pequeñas y medianas para la clínica veterinaria SNAP de la ciudad de Ambato.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

##### **1.3.2.1 Objetivo específico 1**

- Investigar la constitución y el funcionamiento de las cámaras hiperbáricas existentes.

##### **1.3.2.2 Objetivo específico 2**

- Determinar los parámetros de funcionamiento adecuados para el diseño de la cámara hiperbárica.

##### **1.3.2.3 Objetivo específico 3**

- Diseñar la cámara hiperbárica considerando los parámetros de funcionamiento y dimensiones establecidas mediante un software especializado.

##### **1.3.2.4 Objetivo específico 4**

- Construir un prototipo de una cámara hiperbárica utilizando componentes y materiales que se ajusten a las especificaciones del diseño.

### 1.3.2.5 Objetivo específico 5

- Realizar pruebas al prototipo de la cámara hiperbárica para comprobar que los parámetros de funcionamiento sean los adecuados.

## 1.4 Fundamentación teórica

### 1.4.1 Terapia de oxigenación hiperbárica (TOHB)

La terapia de oxigenación hiperbárica (TOHB) se basa en que el paciente debe respirar oxígeno puro al interior de una cámara hiperbárica que se encuentra sometida a una presión mayor a la atmosférica (1 atm) y según [12] la presión que se debe usar en casos clínicos es de al menos 1,4 ATA.



Figura 3. Cámara hiperbárica para mascotas[13].

Esta novedosa terapia es ampliamente aceptada por la comunidad médica, debido a las bondades y usos que tiene, como principal la elevación del niveles de oxígeno en los tejidos, que trae beneficios entre tantos otros, el estímulo al sistema enzimático, a las glándulas suprarrenales, reducción de la necesidad de insulina, mejora la síntesis de prostaglandinas, entre muchos otros beneficios [14].



Figura 4. Paciente canino listo para recibir el tratamiento en una cámara hiperbárica [13].

#### **1.4.1.1 Fundamentos científicos del tratamiento hiperbárico**

Los principios físicos en la que se basa la medicina hiperbárica son:

##### **a. Ley de Boyle**

La ley de Boyle menciona que cuando la temperatura es igual en un gas la presión por el volumen permanece constante. En otro término sería que cuando la presión incrementa el volumen del gas tiende a disminuirse de manera inversamente proporcional [15].

##### **b. Ley de Henry**

La ley de Henry menciona que en un líquido la cantidad de gas que se disuelve depende de la presión que se ejerce por el gas, también depende del tiempo de exposición al que se encuentre sometido [15].

#### **1.4.1.2 Tiempo y presión de terapia**

Durante la oxigenoterapia hiperbárica veterinaria, el paciente se coloca de forma segura y cómoda en una gran cámara llena de oxígeno al 100 % a una presión atmosférica de 1,5 a 3 veces la normal, ya que, para los efectos terapéuticos de la terapia de oxígeno hiperbárica (TOHB) la presión mínima requerida es de 1,4 ATA,

mientras que 3 ATA es la presión máxima recomendada, siendo como un punto crítico debido a que la TOHB en ese momento puede no ser segura ni tolerable [16].

Los procedimientos duran de 1 a 2 horas y se realizan de 1 a 3 veces al día con un intervalo mínimo de 4 horas entre sesiones. El número total de tratamientos necesarios depende del tipo de tratamiento y de la respuesta del paciente [17].

#### **1.4.1.3 Beneficios de la TOHB para uso veterinario**

- Hinchazón después de la cirugía, lesiones por compresión, mordeduras de serpientes, quemaduras
- Trauma interno, cabeza, médula espinal
- Inhalación de humo
- Envenenamiento por monóxido de carbono
- Pancreatitis
- Enfermedad del disco intervertebral
- Artritis
- Heridas no tratadas, especialmente heridas externas con suministro de sangre deteriorado [17].

#### **1.4.1.4 Aplicaciones clínicas especiales de la TOHB**

##### **a. Reparación de tejidos**

El mecanismo por el que TOHB promueve la cicatrización se debe al aumento de la oxigenación y la perfusión, y al aumento de la fagocitosis bacteriana, la actividad antimicrobiana y la angiogénesis. Diversos modelos animales experimentales y estudios clínicos han demostrado que TOHB mejora la cicatrización de colgajos, quemaduras, fascitis necrosante, hueso, cartílago e injertos musculares [13].

##### **b. Aplicaciones neurológicas**

Los efectos neuroprotectores de TOHB están recibiendo una importante atención clínica y de investigación. Con base en la creciente evidencia favorable en animales

de laboratorio, se están realizando ensayos clínicos en humanos que usan TOHB como tratamiento complementario para la lesión aguda de la médula espinal en la Universidad de Qinghai en China y en la Universidad Médica de Graz en Austria. Los mecanismos propuestos para los efectos neuroprotectores de TOHB incluyen la reducción del estrés oxidativo, la promoción de la angiogénesis, la modulación de la inflamación y la reducción del edema del sistema nervioso central. Además de la lesión de la médula espinal, la TOHB también es eficaz en el dolor neuropático, la regeneración de los nervios periféricos, las lesiones cerebrales traumáticas y vasculares y algunos estudios preliminares para retrasar la aparición de la enfermedad de las neuronas [13].

### **c. Modulación de inflamación y función inmune**

La capacidad de TOHB para regular la actividad de neutrófilos y macrófagos le permite tener un efecto positivo en muchas condiciones médicas internas, especialmente enfermedades del sistema inmunológico y enfermedades caracterizadas por inflamación. Además de reducir la hipoxia tisular, uno de los principales impulsores de la inflamación persistente, las altas concentraciones de oxígeno interfieren con la adhesión de los leucocitos polimorfonucleares y estimulan la producción endógena de antioxidantes. La literatura reciente sugiere que TOHB se puede usar como complemento en el tratamiento de la rinitis alérgica, la enfermedad inflamatoria intestinal, la pancreatitis y las enfermedades inflamatorias de las articulaciones, como la artritis reumatoide y la artritis de Lyme [13].

### **d. Neoplastia**

Debido a que TOHB promueve la angiogénesis y aumenta la oxigenación de los tejidos, existe la preocupación de que este tratamiento pueda promover el crecimiento tumoral en pacientes con enfermedad neoplásica conocida. Actualmente, los tumores se consideran indicaciones aceptables para TOHB en humanos en China y Japón. Hay datos que respaldan su potencial efecto inhibitorio sobre la malignidad de ciertos subtipos de tumores cancerosos. La evidencia reciente sugiere que la TOBH usada de forma complementaria puede potenciar los efectos citostáticos de ciertos agentes de quimioterapia y mejorar la eficacia de la radioterapia [13].

## 1.4.2 Cámara hiperbárica

Es un dispositivo compuesto por una estructura herméticamente cerrada y presurizada con inyección de aire comprimido en el interior. En ese estado de presurización el paciente respira oxígeno u otros gases usados en tratamientos médicos. Éstas se pueden clasificar dependiendo de su capacidad como, monoplaza o multiplaza [15].



Figura 5. Cámara hiperbárica [18].

Una cámara hiperbárica que se usa para el tratamiento de personas se trata de un cilindro horizontal y su tamaño varía dependiendo del tipo de cámara, este contiene todas las características necesarias para que el ingreso de las camillas sea accesible, además en cámaras conocidas como multiplaza tiene el acceso suficiente para poder ingresar a pacientes sobre una silla de ruedas [19].

## 1.4.3 Tipos de cámaras hiperbáricas

### 1.4.3.1 Monoplaza

Este tipo de cámara cuenta con una capacidad limitada, ya que, su volumen es reducido y en ello se presuriza oxígeno puro u otros gases medicinales. El paciente está aislado del exterior, lo que limita la capacidad de atención si hay un problema, además, puede estar en peligro de deflagración por altas concentraciones de oxígeno en un volumen reducido [20].

### **1.4.3.2 Multiplaza**

Este tipo de cámara tiene la capacidad de albergar más de un paciente en su interior a la vez, estos pueden respirar oxígeno puro a través de una mascarilla nasofacial hermética o también mediante un casco integral. Estas se benefician de que, si se presenta una emergencia o si el personal hospitalario debe ingresar con el paciente, se puede realizar sin problemas gracias a su amplio espacio donde se pueden realizar los procedimientos médicos que el paciente requiere [20].

Todas las cámaras de este tipo tienen componentes en común y entre ellas están las siguientes:

- Escotillas
- Mirillas (portillos)
- Esclusas
- Válvulas
- Silenciadores
- Mascarilla de oxígeno
- Caudalímetros (flujómetros)
- Eliminación de CO<sub>2</sub> y vapor de H<sub>2</sub>O
- Refrigeración
- Calefacción
- Sistema de iluminación
- Sistema de comunicación
- Termómetro
- Hidrómetro
- Entre otros [19].

## **1.4.4 Partes principales de una cámara hiperbárica monoplaza**

### **1.4.4.1 Cuerpo principal de la cámara**

Es la parte más grande y el cuerpo donde se unen el resto de las partes de la cámara hiperbárica, debe tener mirillas que ayuden a la inspección del paciente en el interior, además de una adecuada iluminación.



Figura 6. Cámara hiperbárica monoplaza de Sechrist [21].

### **1.4.4.2 Escotilla o compuerta**

Es la compuerta que se encarga de sellar herméticamente a la cámara hiperbárica, para mantener una presión constante al interior y brindar el espacio adecuado de ingreso para el paciente.

### **1.4.4.3 Camilla**

El espacio donde se recuesta el paciente cuando es ingresado a la cámara hiperbárica debe ser de un material suave (como la goma espuma), para consolar durante el tratamiento. Esta puede ser fija o móvil, dependiendo la necesidad del sistema y el paciente.



Figura 7. Camilla de cámara hiperbárica monoplaza [22].

#### 1.4.4.4 Panel de control

Espacio en el que se encuentran los controles de la cámara hiperbárica, recibe información y se pueden regular parámetros como:

- Presurización y despresurización de la cámara hiperbárica, mediante válvulas.
- Presión al interior de la cámara usando manómetros.
- Medición del tiempo de tratamiento.
- Niveles de  $O_2$  y  $CO_2$ .
- Iluminación al interior de la cámara hiperbárica.



Figura 8. Panel de control de cámara hiperbárica [23].

### 1.4.5 Normas de diseño para recipientes sometidos a presión

Todas las fases para desarrollar un recipiente a presión, diseño, fabricación, pruebas e inspección se basan en un código, que dictan los requerimientos mínimos para todas las fases mencionadas.

Los países con industrias desarrolladas cuentan con sus propios códigos, entre los más importantes están:

- Código ASME (American Society of Mechanical Engineers), de Estados Unidos.
- BS PD 5500 Specification for Unfired Fusion Welded Pressure Vessels, de Inglaterra.
- AD- Merkblatt Technical Rules for Pressure Vessels, de Alemania.
- EN 13445 Unfired Pressure Vessels, usado en varios países europeos [24].

Uno de los códigos más extendidos a lo largo del mundo y también usado en nuestro país es el Código ASME para Calderas y Recipientes a Presión (BPVC) [25].

Este está compuesto de doce secciones, pero la centrada en el diseño de recipientes a presión es la Sección VIII-Reglas para la construcción de recipientes a presión, que cuenta con tres Divisiones, en la que la División 1 detalla las reglas básicas de diseño.

Este trabajo se desarrollará considerando las recomendaciones de dicho código, para obtener un diseño que cumpla satisfactoriamente con las condiciones de trabajo previamente establecidas [24].

Tabla 1. Normas ocupadas para el diseño y construcción del prototipo de cámara hiperbárica

<b>Norma o Código</b>	<b>Tema</b>
Código ASME Sección VIII, División 1	Diseño de recipientes sometidos a presión.
Código ASME Sección II, Parte A	Selección de materiales de la cámara hiperbárica (SA-516/SA-516M).
Código ASME Sección IX	Soldadura de recipientes sometidos a presión.

Norma o Código	Tema
Código ASME Sección VIII, División 1	Aberturas en recipientes a presión.

#### 1.4.5.1 Alcance de los códigos

- **Código ASME Sección VIII, División 1**

Los recipientes a presión se ocupan para contener presión, ya sea de forma interna o externa, cuya fuente puede ser externa o por la aplicación de calor directa o indirectamente, o una combinación de ambos.

Las reglas de esta división se establecen en base a los principios de diseño y construcción adecuadas para recipientes destinados a presiones no mayores a 3000  $\frac{lb}{pulg^2}$  [26].

- **Código ASME Sección II, Parte A**

Esta especificación integra las placas de acero al carbono que van destinadas al servicio en recipientes a presión soldados. El espesor máximo se limita por la capacidad de cumplir con los requisitos de las propiedades mecánicas especificadas.

- **Código ASME Sección IX**

Esta sección cuenta con los requisitos para la calificación de los operadores de soldaduras y demás procesos de unión de materiales, según las reglas que se establecen en el código ASME[27].

#### 1.4.6 Generalidades de los recipientes a presión

##### 1.4.6.1 Recipientes a presión

Son recipientes cerrados, que tienen la capacidad de contener gases o líquidos sometido a una presión distinta a la presión atmosférica, son recipientes que pueden soportar diferentes cargas y tienen diferentes formas geométricas. La fuente de presión a la que se los somete puede ser interna o externa [28].

- **Presión absoluta (ATA):** Es la suma de la presión atmosférica más la presión manométrica.

Todas las presiones que se muestran en el desarrollo del proyecto son presiones absolutas (ATA).

#### 1.4.6.2 La presión de operación ( $P_o$ )

Es la presión a la que trabaja el equipo en condiciones normales [28].

#### 1.4.6.3 La presión máxima de operación

La presión máxima de operación o trabajo es de 2 ATA, esta presión es necesario para las pruebas de funcionamiento y se establece a criterio de los diseñadores.

#### 1.4.6.4 La presión de diseño ( $P$ )

Es el valor que se ocupa en las ecuaciones necesarias para calcular las partes que conforman los recipientes sometidos a presión, este valor se calcula con:

$$\text{Si } P_o > 300 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2} \dots\dots\dots P = 1.1 P_o \quad (1)$$

$$\text{Si } P_o \leq 300 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2} \dots\dots\dots P = P_o + 30 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2} \quad (2)$$

Teniendo en cuenta esto, podemos definir los niveles de presión a los que se someten los recipientes:

Presión Baja (0.14 MPa a 1.6 MPa)

Presión Media (1.6 MPa a 10 MPa)

Presión Alta (10 MPa a 100 MPa)

Presión Ultra Alta (Mayor a 100 MPa) [28].

#### 1.4.6.5 La presión de trabajo máxima permisible

Esta es la presión máxima que es posible aplicar en un recipiente que se encuentra en operación, suponiendo las siguientes condiciones:

- En condiciones posteriores a su corrosión.
- Sometido a los efectos de la temperatura de diseño.
- En su posición normal de funcionamiento.

- Sometido a otras cargas, como la fuerza causada por la presión hidrostática y viento, entre otras, que deben sumarse a los efectos producidos por la presión interna.

Esta presión se limita por la resistencia del cuerpo o tapas, excluyendo los componentes pequeños [28].

#### 1.4.6.6 La presión de prueba

Según ASME, las pruebas a las que se somete los recipientes posteriormente a su construcción pueden ser una prueba hidrostática y una prueba neumática [26].

Para el caso del presente proyecto se realizaron pruebas neumáticas, evitando las hidrostáticas, debido a las siguientes restricciones:

- A menos que lo permita el usuario o supervisor el recipiente no debe ser pintado interna o externamente antes de la prueba de presión.
- Cuando se permite pintar, recubrir o aplicar revestimientos en el recipiente antes de la prueba neumática, antes se lo debe someter a una prueba de fugas.
- Es un recipiente que no está diseñado para llenar con agua de manera segura.
- El Acero A36 es un material que al no contar con recubrimiento anticorrosivo al momento de la prueba presenta problemas con la humedad [26].

Las condiciones de presión adecuadas que nos da ASME para la realización de las pruebas son las siguientes:

- La presión de prueba neumática en cada punto del recipiente deberá ser al menos igual a 1,1 veces la presión de trabajo máxima permitida (se asumen 2 ATA en nuestro caso), multiplicada por la relación de tensión más baja (LSR) para los materiales de los que está construido el recipiente.

$$P_p = 1,1 * P_{tM} * LSR \quad (3)$$

Donde:

$P_p$ : Presión de prueba

$P_{tM}$ : Presión de trabajo máxima permitida (2 ATA, asignada por los diseñadores)

*LSR*: Relación de tensión más baja para los materiales de construcción

- *LSR* se calcula de la siguiente forma [26]:

$$LSR = \frac{S_{Tp}}{S_{Td}} \quad (4)$$

En donde:

$S_{Tp}$  = Esfuerzo a la tensión a la temperatura de prueba

$S_{Td}$  = Esfuerzo a la tensión a la temperatura de diseño

#### 1.4.6.7 El esfuerzo de diseño a la tensión (*S*)

Establece el valor máximo al que se puede someter un material del que se construye un recipiente a presión, teniendo en cuenta las condiciones normales de operación. Su valor se acerca a la cuarta parte del esfuerzo último a la tensión del material escogido[28].

Según Shigley en [29] “cuando el espesor de la pared de un recipiente cilíndrico a presión se acerca a un décimo de su radio o menos”, teniendo en cuenta que la relación esperada entre el radio y el espesor de la cámara hiperbárica cumple esta condición, se la considera un recipiente de pared delgada, por lo que usamos la siguiente ecuación que nos brinda [29], que calcula el esfuerzo tangencial o circunferencial ( $\sigma_t$ ) promedio y es válida sin importar el espesor de la pared:

$$(\sigma_t)_{m\acute{a}x} = \frac{p(d_i+t)}{2t} \quad (5)$$

En donde:

$p$ : Presión interna ejercida sobre la pared de un cilindro

$t$ : Espesor

$d_i$ : Diámetro interior del cilindro

Además, en [29] se indica la ecuación para el esfuerzo longitudinal ( $\sigma_l$ ):

$$\sigma_l = \frac{p d_i}{4t} \quad (6)$$

Teniendo en cuenta que para diseñar debemos tomar los mayores esfuerzos a los que se someterá el dispositivo, sólo se tendrá en cuenta el esfuerzo calculado con la ecuación (3), es decir el esfuerzo circunferencial ( $\sigma_t$ ).

#### **1.4.6.8 La eficiencia de las soldaduras ( $E$ )**

Se define como el grado de confiabilidad que se puede tener en las soldaduras. Sus valores están dados en el Anexo 1[28].

#### **1.4.7 Tipos de recipientes a presión**

Los recipientes a presión se clasifican en dos que son por su uso y por su forma, cada una tiene su función [28].

##### **1.4.7.1 Por su uso**

Estos se clasifican en recipientes:

- **De almacenamiento:** Ocupados como depósitos que contienen una reserva de productos para su uso o comercialización.
- **De procesos:** Tienen diferentes usos tales como las torres fraccionadoras, torres de destilación, intercambiadores de calor, reactores, entre otros [28].

##### **1.4.7.2 Por su forma**

La forma más común de estos recipientes puede ser cilíndricos o esféricos.

- 1. Recipientes esféricos:** Generalmente se ocupan para el almacenamiento de grandes volúmenes de fluidos a presiones bajas. Dichos fluidos son principalmente butano, gas natural, hidrógeno, amoníaco, isobutileno, y demás productos petroquímicos.

Estos recipientes son los más eficientes para almacenar fluidos a presión, por su forma esférica, distribuyendo los esfuerzos uniformemente alrededor de su coraza, pero su fabricación es más cara que su similar de forma cilíndrica [30].

- 2. Recipientes cilíndricos:** Pueden ser diseñados en posición horizontal o vertical:

- a. **Recipiente Horizontal:** Estos recipientes son conocidos como salchichas, ya que son instalados en posición horizontal y comúnmente están soportados por patas, faldones o cunas (silletas) [30].



Figura 9. Recipiente horizontal [30].

- b. **Recipiente Vertical:** Este tipo de recipientes son instalados en posición vertical y los soportes más habituales que son utilizados para estos recipientes son las patas de ángulo o tubo, faldones o cunas conocido como silletas [30].



Figura 10. Recipiente vertical [30].

#### 1.4.8 Eficiencia de las Juntas Soldadas (E)

Este se define como el grado de confiabilidad que se puede tener en las juntas soldadas. Este es un coeficiente que adopta valores menores a 1, este ayuda a reducir

el esfuerzo admisible del material. La eficiencia dependerá del nivel de ensayos no destructivos, además del tipo y categoría de junta que se ocupa en la unión de dos partes. El valor de la eficiencia adecuada se define en la tabla UW-12 del Código ASME Sección VIII División 1.

Tabla 2. Eficiencias de Juntas Soldadas según el código ASME sección VIII División 1[26].

<b>TABLA UW-12</b>						
<b>EFICIENCIAS DE JUNTAS MÁXIMAS PERMISIBLES PARA JUNTAS SOLDADAS</b>						
<b>Tipo No.</b>	<b>Descripción de junta</b>	<b>Limitaciones</b>	<b>Categoría de la junta</b>	<b>Prueba Radiográfica</b>		
				<b>(a) Pleno</b>	<b>(b) Local</b>	<b>(c) Ninguno</b>
(1)	Juntas a tope que se logran por soldadura doble o por otro medio	Ninguna	A, B, C y D	1	0.85	0.7
(2)	Junta a tope con soldadura simple con tira de respaldo diferente de aquellas incluidas en (1).	(a) Ninguna excepto como en (b) abajo.	A, B, C y D	0.90	0.80	0.65
		(b) Juntas a tope circunferenciales con un rebajo de plana.	A, B y C	0.90	0.80	0.65
(3)	Junta a tope con soldadura simple con tira de respaldo diferente de aquellas incluidas en (1).	Sólo juntas circunferenciales a tope, no mayores de 5/8 pulg. de grueso y no mayor de 24 pulg. de diámetro exterior.	A, B y C	NA	NA	0.60

## 1.4.9 Partes de los recipientes a presión

### 1.4.9.1 Cabezales

Son los encargados de cerrar los recipientes cilíndricos, existen varios tipos, entre los que podemos encontrar tenemos:

- Elipsoidales
- Toriesférico
- Hemiesféricos
- Cónicos
- Toricónicos
- Planos
- Cubiertas esféricas conformadas (Cabezales apernados)

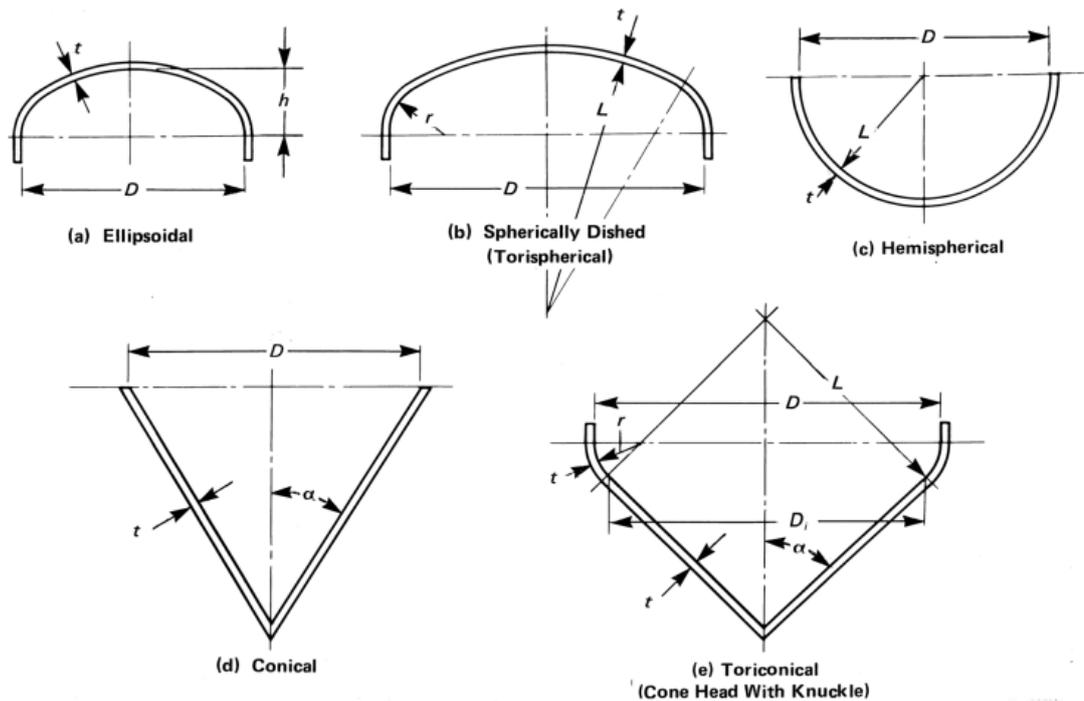


Figura 11. Principales tipos de cabezales [31].

En donde:

$D$  = Diámetro interior del faldón del cabezal; o longitud interna del eje mayor de un cabezal elipsoidal; o diámetro interno de un cabezal cónico al punto bajo consideración, medido perpendicularmente al eje longitudinal.

$D_i$  = Diámetro interno de una porción cónica de un cabezal toricónico al punto tangente del plegado, medido perpendicularmente al eje del cono.

$$D_i = D - 2r(1 - \cos \alpha) \quad (6)$$

$\alpha$  = Mitad del ángulo del cono a la línea del centro del cabezal.

$L$  = Radio de conformado (Crown radius).

$r$  = Radio de plegado o transición (knuckle radius).

$h$  = Una mitad de la longitud del eje menor del cabezal elipsoidal, o la profundidad interna medida desde la línea tangente del cabezal.

$E$  = Eficiencia más baja de cualquier articulación en el cabezal; para las cabezas hemisféricas, esto incluye la unión entre el cabezal y la coraza; para los recipientes soldados usar la eficiencia especificada en el Anexo 1.

$P$  = Presión de diseño interna.

$S$  = Valor máximo de tensión permisible en tensión.

$t$  = Espesor mínimo requerido del cabezal después de la formación.

$t_s$  = Espesor mínimo especificado del cabezal después de la formación,  $t_s \geq t$ [31]

#### 1.4.9.1.1 Cabezales elipsoidales

$$\text{Con } \frac{t_s}{L} \geq 0.002$$

Según el Código ASME Sección VIII División 1, el espesor requerido de un cabezal cóncavo de forma semielipsoidal, en la que la mitad del eje menor (profundidad interior del cabezal al faldón) es igual a un cuarto del diámetro interior del faldón del cabezal, se determinará mediante [31]:

$$t = \frac{PD}{2SE - 0.2P} \quad \text{o} \quad P = \frac{2SEt}{D + 0.2t} \quad (7)$$

#### 1.4.9.1.2 Cabezales toriesféricos

Según el Código ASME Sección VIII División 1, el espesor requerido de un cabezal toriesférico para el caso en el cual el radio del plegado es el 6% del radio del interior de la corona y el radio interior de la corona es igual al diámetro exterior del faldón, se determina por [31]:

$$t = \frac{0.885PL}{SE - 0.1P} \quad \text{o} \quad P = \frac{SEt}{0.885L + 0.1t} \quad (8)$$

$$\text{Con } \frac{t_s}{L} \geq 0.002.$$

$$r = 6\% L$$

$$L = D_o$$

Para los materiales que tenga una resistencia mínima mayor a 70000 psi, los cabezales toriesféricos tendrán que ser diseñados usando el esfuerzo permitido  $S$ ,

igual a 20000 a temperatura ambiente y reducir proporcionalmente los valores de las máximas tensiones admisibles a la temperatura del material [31].

#### **1.4.9.1.3 Cabezales hemisféricos**

Según el Código ASME Sección VIII División 1, cuando el espesor del cabezal hemisférico no excede  $0.356L$  o  $P$  no excede  $0.665E$ .

$$t = \frac{PL}{2SE-0.2P} \quad \text{o} \quad P = 2 \frac{SEt}{L+0.2t} \quad (9)$$

Un cuerpo hemisférico delgado en términos del material es el más eficiente diseñado para presión interna [31].

### **1.4.10 Métodos de construcción de recipientes a presión**

#### **1.4.10.1 Proceso de soldadura**

La soldadura por arco eléctrico es un proceso de unión ampliamente utilizado en la industria para unir metales mediante la generación de calor intenso a través de un arco eléctrico entre un electrodo y el material base. Durante la soldadura por arco eléctrico, el calor funde los bordes de las piezas a unir, y al enfriarse y solidificarse, se forma una unión sólida y resistente. Este proceso de soldadura ofrece varias ventajas, como la alta velocidad de soldadura, la capacidad de unir diferentes tipos de metales y la posibilidad de automatización. Sin embargo, también presenta desafíos, como la generación de salpicaduras, la formación de inclusiones y la deformación del material base [32].

#### **1.4.10.2 Electrodo 6011**

El electrodo 6011 es un tipo de electrodo revestido de rutilo que se utiliza ampliamente en la soldadura por arco eléctrico. Su revestimiento está compuesto principalmente de dióxido de titanio, lo que contribuye a estabilizar el arco eléctrico, mejorar la formación del cordón de soldadura y disminuir la posibilidad de inclusiones y porosidades. El electrodo 6011 es reconocido por su facilidad de uso, su capacidad de penetración y su versatilidad en diversas aplicaciones. Es comúnmente empleado para soldar aceros de baja aleación, aceros al carbono y

estructuras metálicas, ofreciendo una soldadura de alta calidad con excelentes propiedades de resistencia y ductilidad [33].

El electrodo 6011 es utilizado en todas las posiciones y de manera muy eficiente tanto en posiciones verticales hacia arriba como hacia abajo. Además, es capaz de unir diferentes tipos de metales y se puede utilizar con corriente alterna o continua [33].

**a. Composición y clasificación:**

El electrodo 6011 es clasificado como un electrodo de rutilo de acuerdo con la clasificación de la AWS (Sociedad Americana de Soldadura). Su revestimiento está compuesto principalmente de dióxido de titanio y otros aditivos que mejoran las propiedades de soldabilidad [34].

**b. Resistencia y propiedades mecánicas:**

El electrodo 6011 proporciona una soldadura con buena resistencia y ductilidad. La resistencia mínima a la tracción típica del metal depositado es de alrededor de 60,000 psi (415 MPa). Es importante tener en cuenta que las propiedades mecánicas pueden variar según las condiciones de soldadura y los materiales base utilizados [34].

**c. Materiales que pueden ser soldados:**

El electrodo 6011 es adecuado para la soldadura de aceros al carbono y de baja aleación. Es ampliamente utilizado en aplicaciones de construcción, reparación y fabricación de estructuras metálicas.

**d. Recomendaciones para su uso:**

**Limpieza:** Antes de la soldadura, es importante asegurarse de limpiar la superficie del metal base para eliminar cualquier suciedad, óxido, grasa o pintura.

**Corriente y polaridad:** La selección adecuada de la corriente de soldadura y la polaridad puede variar según el espesor del metal base. Se recomienda consultar las recomendaciones del fabricante o realizar pruebas para determinar la configuración óptima.

Técnica de soldadura: Es importante utilizar movimientos de avance y retroceso uniformes, mantener un ángulo de inclinación adecuado y controlar la distancia del arco para obtener una soldadura de calidad [34].

#### **1.4.11 Materiales para la construcción de la cámara hiperbárica**

##### **1.4.11.1 Acero al carbono SA 516**

El material que se utiliza para la fabricación de placas, láminas y tiras de acero para recipientes a presión según el Código ASME de Calderas y Recipientes a Presión Sección II es el Acero SA 516, como se puede apreciar en el Anexo 3.

##### **a. Especificación para placas de recipientes a presión, acero al carbono, para servicio de temperatura moderada y baja**

Engloba a las placas de acero al carbono que se utilizan principalmente para la fabricación de recipientes a presión soldados y se dispone de cuatro grados dependiendo de los niveles de resistencia y estas son:

- Grado 55
- Grado 60
- Grado 65
- Grado 70

En la Tabla 3 se menciona sobre las propiedades mecánicas del Acero A516 de cada uno de los grados existentes.

Tabla 3. Propiedades mecánicas del Acero A516 [35].

<b>Grado EE. UU. (SI)</b>	<b>Resistencia a la tracción ksi (MPa)</b>	<b>Límite Elástico min. Ksi (MPa)</b>
55 (380)	55 - 75 (380 - 515)	30 (205)
60 (415)	60 - 80 (415 - 550)	32 (220)
65 (450)	65 - 85 (450 - 585)	35 (240)
70 (485)	70 - 90 (485 - 620)	38 (260)

- **El espesor máximo de las placas**

El espesor máximo de estas placas únicamente se limita por la capacidad de la composición con el fin de cumplir los requisitos especificados en cuanto a las propiedades mecánicas, pero el espesor máximo en la práctica actual está limitado de la siguiente forma como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Espesor máximo del Acero 516 según sus grados [35].

<b>Grado EE. UU. (SI)</b>	<b>Espesor máximo pulg (mm)</b>
55 (380)	12 (305)
60 (415)	8 (205)
65 (450)	8 (205)
70 (485)	8 (205)

#### **1.4.11.2 Acero ASTM A36**

El acero ASTM A36 es el material más utilizado en la industria de la construcción a nivel mundial, debido a su resistencia y dureza. Es un tipo de acero que está constituido en su mayoría por hierro (al menos 98%) y posee bajo niveles de carbono (menos del 1%), así como pequeñas cantidades de elementos como magnesio, fósforo, vanadio, azufre y silicio que mejoran la soldabilidad y la resistencia a factores ambientales y además es un material económico [36].

##### **a. Aplicaciones**

El acero A36 es un material muy versátil, utilizado ampliamente en aplicaciones industriales, entre las principales están:

- Estructuras de construcción: vigas, columnas y pilares.
- Puentes y pasarelas.
- Tanques y equipos de almacenamiento.
- Maquinaria.
- Equipos pesados.
- Componentes estructurales.

### b. Composición química del acero ASTM A36

En la Tabla 5 se puede observar la composición química nominal compuesta por carbono, magnesio, fósforo, azufre, silicio y cobre del acero ASTM A36.

Tabla 5. Composición química nominal del acero ASTM A36 [37].

Producto	Perfil	Planchas				
		Hasta 20	De 20 a 40	De 40 a 65	De 65 a 100	De 100 a más
Carbono max %	0,26	0,25	0,25	0,26	0,27	0,29
Magnesio %	-	-	0,8-1,2	0,8-1,2	0,84-1,2	0,84-1,2
Fósforo máx. %	0,04	0,04	0,04	0,04	0,4	0,04
Azufre máx.%	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Silicio %	0,40 máx.	0,40 máx.	0,40 máx.	0,15-0,4	0,15-0,40	0,15-0,40
Cobre min. %	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

### c. Propiedades mecánicas del acero ASTM A36

En la Tabla 6 se puede apreciar las propiedades mecánicas del acero ASTM A36, de los siguientes materiales.

- Planchas, perfiles y barras.
- Planchas y barras.
- Perfiles

Tabla 6. Propiedades mecánicas del acero ASTM A36 [37].

<b>Planchas, perfiles y barras</b>	
<b>Propiedades</b>	<b>Unidades Ksi (MPa)</b>
Resistencia a la tracción	58-80 (400-550)
Resistencia a la fluencia mínimo	36 (250)
<b>Planchas y barras</b>	
Elongación en 8 pulgadas (200 min) min, %	20
Elongación en 2 pulgadas (50 min) min, %	23
<b>Perfiles</b>	
Elongación en 8 pulgadas (200 min) min, %	20
Elongación en 2 pulgadas (50 min) min, %	21

#### **d. Soldabilidad del acero ASTM A36**

La soldabilidad de un acero depende del porcentaje de carbono presente en el material, ya que, a menor %C mayor será la soldabilidad de este y, además, se debe tener en consideración a los elementos aleantes debido a que si el contenido es mayor la soldabilidad del acero será menor.

#### **1.4.11.3 Cristal de acrílico**

El cristal acrílico es un termoplástico muy rígido completamente transparente que puede pigmentarse para obtener varios colores. Además, es resistente 10 o 24 veces más que el vidrio flotante, sin embargo, el policarbonato sigue siendo más resistente que el cristal acrílico [38].

La transparencia de este material permite visualizar mejor a través de ello, ya que la luz pasa fácilmente y este tiene la ventaja de obtener nuevamente su transparencia óptica realizando una restauración con pulido. El cristal acrílico puede mantenerse en su color natural sin adquirir un tono amarillo con el pasar del tiempo, siendo también un material menos propenso a rayarse. En la Tabla 7 se menciona las propiedades mecánicas del cristal acrílico [38].

Tabla 7. Propiedades mecánicas del cristal acrílico [38].

Propiedad		Valor
Temperatura de deformación de carga		72 °C
Resistencia al impacto		15 $\frac{kJ}{m^2}$
Fuerza de Rockwell		98,4 L
Ensayo de tracción	Fuerza de tensión	56,2 MPa
	Tensión nominal en el descanso	17%
Transmitancia		93,30%
Temperatura de ablandamiento Vicat		80,3%
Gravedad específica		1,2 $\frac{g}{cm^3}$
Módulo de elasticidad a la tracción		3100 MPa

En el Anexo 8 se observa la ficha técnica del acrílico, donde están las propiedades mecánicas del material.

#### 1.4.11.4 Policarbonato (PC)

El policarbonato es un polímero termoplástico que cuenta con una resistencia mecánica alta y sus temperaturas de uso rondan entre -100 y 135 °C, pero si el policarbonato es reforzado la temperatura llega hasta 145 °C y este material cuenta con las siguientes características:

- Dureza elevada.
- Buena tenacidad.
- Gran rigidez.
- Excelente resistencia al impacto [39].

Además, el policarbonato es un material que se puede encontrar en distintos puntos de venta, tales como centros comerciales o una ferretería a nivel nacional. También, el PC es conocido por tener excelentes propiedades mecánicas y ópticas, ya que posee una transparencia alta. En la Tabla 8 se menciona las propiedades mecánicas del policarbonato [40].

Tabla 8. Propiedades mecánicas del Policarbonato a 23 °C [40].

Propiedades	Valores	Unidades
<b>Ensayo a tracción</b>		
Esfuerzo de tensión para fluencia	70	MPa
Elongación de la rotura	≥ 50	
Módulo de elasticidad	240	
<b>Ensayo de compresión</b>		
Esfuerzo al 1/2/5% de deformación	18/35/72	MPa
<b>Ensayo de fluencia a tracción</b>		
Esfuerzo necesario para producir un 1% de deformación las 1000 h	17	MPa
Resistencia al impacto Charpy-sin entalla	Sin rotura	
Resistencia al impacto Charpy-con entalla	9	$\frac{kJ}{m^2}$
Resistencia al impacto izod. Con entalla	9	$\frac{kJ}{m^2}$
Dureza con bola	120	$\frac{N}{mm^2}$
Dureza Rockwell	M75	

En el Anexo 9 [41] se puede observar la ficha técnica del policarbonato, en donde se encuentra las propiedades mecánicas del material.

#### 1.4.11.5 Mecanismos de cierre

##### a. Por pernos bloqueantes

En la autoclave el punto más débil del equipo es la puerta, por ende, es algo peligroso para el operador, ya que, es el encargado de soportar la presión interna dentro del recipiente permitiendo mantener hermética. Por estos criterios, la puerta

debe contar con uno o varios pernos bloqueantes, deben ser tan resistentes como para soportar la presión de la que se trabaja [42].

En este tipo de puerta hay un empaque que permite mantener herméticamente la cámara. El fluido que se está utilizando es el encargado de mantener en la cámara el fluido de goma o silicona en forma de anillo y que cumple un rol importante durante su funcionamiento.

En caso de fallar este empaque no habrá accidentes por acumulación de presión, sino solo se acumulará el fluido dentro de la cámara, por lo que no se realizará el funcionamiento para el que se diseñó la máquina. Para evitar este inconveniente, es importante llevar una constante inspección del manómetro, para verificar si hay un aumento de la presión en la cámara. Además, una puerta de un Autoclave cuenta con tres elementos esenciales: manilla, empaque y perno bloqueante, en la Figura 12 se muestra cada una de ellas [42].

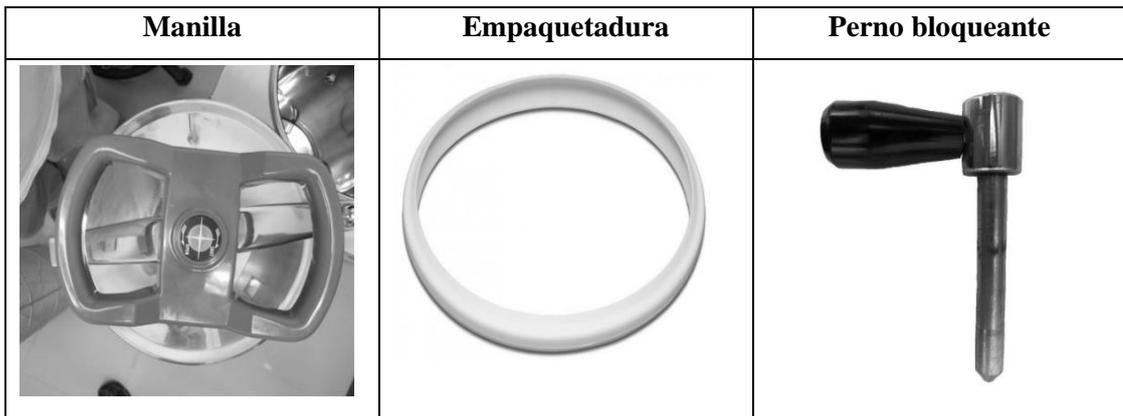


Figura 12. Partes de la puerta de un Autoclave [42].

**b. Dispositivo de apertura y cierre de tipo bayoneta, aplicado a ollas de presión**

Una olla de presión es un recipiente que cuenta con un cierre hermético que retiene el vapor y puede alcanzar presiones superiores a la atmósfera. En el funcionamiento de este recipiente hay relación entre presión, volumen y temperatura; en una olla de presión, el volumen tiende a permanecer constante, mientras que el vapor aumenta la presión porque está herméticamente cerrado. La olla de presión tiene una válvula de seguridad en la tapa y su función es dejar escapar el vapor cuando se alcance una presión determinada, la presión de trabajo [43].

El bloque o cierre de la tapa contra el recipiente generalmente se da mediante una unión a bayoneta (unión de macho y hembra), ya que la tapa tiene un reborde doblado hacia el interior, mientras que el recipiente tiene un borde doblado hacia el exterior, esto permite realizar un correcto bloqueo únicamente a través de un movimiento giratorio. Además, en el interior de la tapa se encuentra un anillo de empaquetadura, esto garantiza mantener una estanqueidad entre la tapa y la olla tanto en condiciones normales como en condiciones de sobrepresión [44].

### **c. Partes de una olla de presión**

A continuación, se mencionará las partes que conforman una olla de presión tipo tijera y posteriormente se podrá observar el despiece de este.

- Válvula reguladora
- Válvula de escape
- Abuja de limpieza
- Ventana de seguridad
- Válvula de seguridad
- Empaquetadura
- Rejilla vaporizadora
- Mango de bloqueo
- Mango para soporte



Figura 13. Despiece de una olla de presión [45].

#### 1.4.11.6 Sellos

Son los dispositivos que se utilizan en el diseño de máquinas donde requieren que los fluidos presurizados estén en un área específica, ya que, el objetivo principal de un sello es prevenir o limitar posibles fugas de fluidos o partículas. Los sellos están divididos en dos categorías: sellos estáticos y sellos dinámicos [46].

##### a. Sellos estáticos

Son aquellos en donde el sellado se presenta entre dos superficies que no se mueven entre sí, cuyo objetivo principal es brindar una barrera física completa al flujo de fuga y para poder conseguir un adecuado sellado el material de este debe cumplir con las siguientes características:

- Resistente tanto para fluir como para llenar cualquier irregularidad en la superficie que se están sellando.
- El material debe permanecer lo suficientemente rígido [46].

El material que cumplen con estos criterios son los sellos y juntas elastoméricos, a continuación, se menciona las características principales de este material.

- Sirve tanto para el sellado estático como para dinámico.

- Crean un sellado uniforme.
- Es un recubrimiento elástico.
- Resistente a temperaturas altas y bajas.
- Tiene alta resistencia a la intemperie, a la luz y a la oxidación.

### b. Sellos dinámicos

Son los sellos que se utilizan para prevenir o limitar el flujo de fluido, donde el sellado se hace entre dos superficies que se mueven entre sí, puede ser mediante un movimiento giratorio o alternativo [46].

Según [46], a través de un diagrama se muestra el procedimiento que se debe realizar para la selección del sello, en la Figura 14 se puede apreciar dicho diagrama.

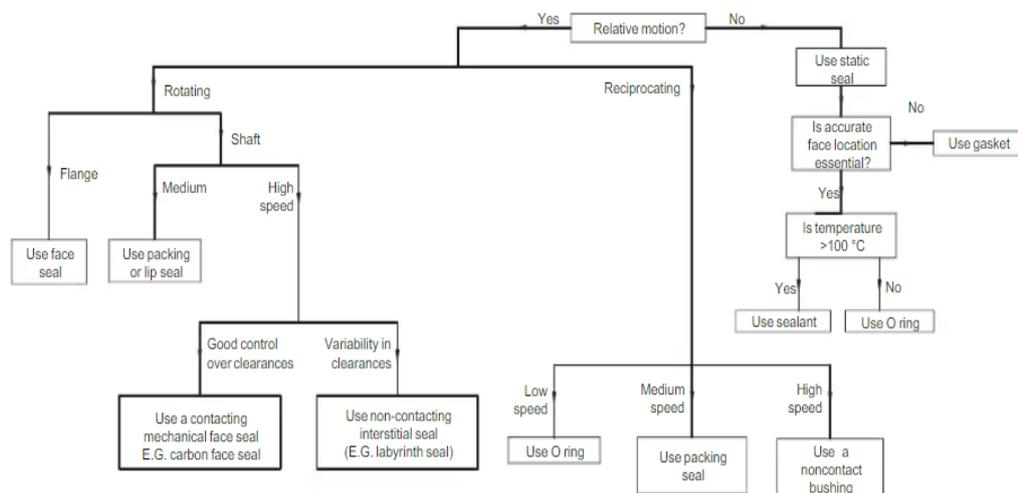


Figura 14. Procedimiento para la selección de sellos [46].

#### 1.4.11.7 Selección de sello

Según el diagrama de la Figura 14, el procedimiento de selección es el siguiente:

- Movimiento relativo: La compuerta y el cuerpo de la cámara no permanecen estáticos.
- Movimiento alternativo: La compuerta y el cuerpo de la cámara tienen un movimiento de cierre y apertura constante, mas no existe movimiento rotativo.

- Velocidad media: No existe una velocidad definida, sin embargo, para el movimiento de cierre y apertura de la compuerta se realiza de manera controlada.
- De acuerdo a lo establecido anteriormente, el sello a utilizar es el Packing Seal (Sello de embalaje).

#### **1.4.11.8 Empaque de EPDM**

El empaque de EPDM (Etileno Propileno Dieno tipo M) es un empaque adquirido mediante un proceso de vulcanización dinámica y utilizados para solucionar problemas de filtraciones y estanqueidad [47] [48].

Las propiedades de un producto de EPDM son altas gracias a la vulcanización dinámica, ya que permite mejorar su proceso productivo y un ejemplo de ello es que se obtiene un producto con una mejor resistencia a la fatiga. Además, el resultado de la composición es obtener empaques flexibles con dureza suficiente para mantenerse en una estructura y brindar un buen sellado [48].

##### **a. Características del EPDM**

- Excelente resistencia al agua, vapor, al ozono y a los rayos UV.
- Posee buenas propiedades de flexibilidad a temperaturas bajas.
- Tiene una resistencia alta al envejecimiento
- Posee un óptimo comportamiento frente a los agentes climáticos.

En el Anexo 10 se puede observar la ficha técnica del material EPDM, donde se identifican las propiedades mecánicas que posee.

#### **1.4.11.9 Pegamento para el empaque (ABRO Silicona Gris 999)**

La silicona ABRO GREY 999 es un pegamento de alta calidad fabricado para una variedad de aplicaciones de sellado tanto en la industria como el hogar. A continuación, se menciona algunas de las características principales:

- Un pegamento rápido y duradero.
- Excelente adhesivo y flexibilidad.
- Mantiene sus propiedades elastoméricas a temperaturas desde -62° a 232 °C.

- Efectivo hasta temperaturas de 540 °F (343°C)
- Resistente al agua, a la intemperie y a los productos químicos.
- Bajo olor.
- No es corrosivo.
- Sella una variedad de superficies e inclusive madera, cuero, metal, goma y vinilo [49].



Figura 15. Pegamento ABRO GREY 999 [49].

En el Anexo 11 se indica la ficha técnica del pegamento ABRO GREY 999 en donde se muestra la información técnica, como las propiedades físicas de este.

#### 1.4.12 Sistema de ingreso y salida de oxígeno

##### 1.4.12.1 Componentes de ingreso de oxígeno

Los componentes de ingreso de oxígeno son los siguientes:

1. Tanque de oxígeno
2. Válvula y regulador de oxígeno
3. Manguera para transportar gases
4. Válvula

## 5. Abrazaderas



Figura 16. Esquema del ingreso de oxígeno

### 1.4.12.2 Componentes de salida de oxígeno

Los componentes de salida de oxígeno son los siguientes:

- Acople
- Válvula de seguridad (para vaciado de emergencia).
- Válvula de despresurización.
- Válvula de purga.
- Manguera para transportar gas
- Abrazaderas

### 1.4.13 Válvulas

Las válvulas básicamente cumplen dos funciones en específico que son; cierre y estrangulación. Para poder seleccionar la válvula más adecuada en cualquier proceso que se desea instalar depende de varios factores, a continuación, se menciona las características más comunes que se debe considerar para dicha selección:

- Tipo de válvula.
- Materiales de construcción.
- Capacidad de presión.
- Capacidad de temperatura.
- Costo.
- Disponibilidad [50].

Las válvulas que se utilizan para controlar el flujo de gases que ingresan y salen de la cámara hiperbárica son:

- Válvula de ingreso de oxígeno
- Válvula de despresurización
- Válvula de seguridad
- Válvula de purga.

#### **1.4.14 Seguridad contra incendios en la oxigenoterapia hiperbárica**

##### **1.4.14.1 Riesgo de incendio**

Los riesgos de incendio en entornos de altas presiones son una preocupación por varias razones.

Para que se inicie un incendio, se deben cumplir las tres condiciones del triángulo de fuego: combustible, oxígeno y una fuente de ignición. Durante el tratamiento, la cámara hiperbárica es un entorno rico en oxígeno. El combustible es la tela, papel o demás en el interior de la cámara. Por lo tanto, siempre existe la posibilidad de ignición durante el tratamiento [51].

No es posible abrir rápidamente la puerta porque la cámara está cerrada y presurizada, así que no siempre es posible una evacuación rápida. Por la misma razón, es difícil ventilar rápidamente el humo y los gases tóxicos que acompañan a un incendio [51].

Debido a estos riesgos, la seguridad contra incendios es una preocupación importante y existen procedimientos para prevenir incendios y extinguirlos rápidamente cuando ocurren.

##### **1.4.14.2 Prevención de incendios**

Para reducir las posibilidades de incendio, se busca disminuir los niveles peligrosos de combustible, oxígeno y fuentes de ignición.

##### **Combustible**

- Los materiales inflamables como grasa, aceite y otros productos derivados del petróleo no deben entrar en la cámara.
- Están prohibidos los cosméticos y laca para el cabello.

- Reduzca la cantidad de papel y tela presentes en la cámara.
- Utilice materiales ignífugos de ser posible [51].

### **Fuente de fuego**

- No debe haber fuentes de fuego ni chispas en la cámara.
- La iluminación se realiza por métodos indirectos.
- Los pacientes y el personal deben usar ropa 100 % de algodón, ya que esto reduce el riesgo de chispas estáticas y no liberará gases tóxicos ni se fusionará con la piel si se expone al fuego [51].

### **1.4.14.3 Sistema de iluminación contra incendios**

#### **a. Grado de Protección IP (Ingress Protection)**

Las luminarias y otros equipos electrónicos deben operar de manera segura, durante largos periodos, incluso en condiciones climáticas extremas. La presencia de humedad, polvo y demás cuerpos contaminantes pueden afectar su adecuado funcionamiento. Con el fin de garantizar la protección de estos equipos, se utilizan las clases de protección que indican las condiciones a las que pueden ser expuestos sin perder su funcionalidad [52].

El grado de protección IP tiene sus bases en IEC (International Electrotechnical Commission) 60529 Grados de protección. Este sistema clasifica el grado de protección contra cuerpos sólidos y líquidos de las luminarias y aparatos eléctricos, dependiendo de las funciones que tengan [52].

La nomenclatura de IP tiene dos cifras:

IPxx

- La primera se centra en la protección contra el ingreso de sólidos:

Tabla 9. Grados de protección contra el ingreso de cuerpos sólidos [53].

<b>Denominación</b>	<b>Nivel de protección</b>
IP0x	Sin protección
IP1x	Protección contra dimensiones mayores a 50mm.

<b>Denominación</b>	<b>Nivel de protección</b>
IP2x	Protección contra dimensiones mayores a 12mm.
IP3x	Protección contra dimensiones mayores a 2,5mm.
IP4x	Protección contra dimensiones mayores a 1mm.
IP5x	Protección contra el polvo.
IP6x	Protección total contra el polvo.

- La segunda cifra se centra en la protección contra el ingreso del agua.

Tabla 10. Grados de protección contra el ingreso de agua [53].

<b>Denominación</b>	<b>Nivel de protección</b>
IPx0	Ninguna protección
IPx1	Protección a la caída vertical de gotas de agua.
IPx2	Protección a la caída vertical de gotas de agua con una inclinación máxima de 15°.
IPx3	Protección contra la caída vertical de gotas de agua con una inclinación máxima de 60°.
IPx4	Protección al rociado de agua.
IPx5	Protección a los chorros de agua.
IPx6	Protección a olas y chorros de agua potentes.
IPx7	Protección a la inmersión temporal.
IPx8	Protección a la sumersión.

#### **b. Clase de aislamiento eléctrico de luminarias**

El aislamiento eléctrico se centra en el recubrimiento de una parte de una instalación eléctrica utilizando materiales que no conducen la electricidad, lo que impide la circulación de corriente al medio exterior. Estas se establecen según el estándar internacional IEC 61140 [52].

Tabla 11. Clase de aislamiento eléctrico de luminarias [54].

Clase de protección	Definición	Símbolo
0	La luminaria no cuenta con conexión de protección a tierra.	-
I	Las luminarias cuentan con un aislamiento continuo, doble y reforzado, además de protección con una conexión a tierra.	
II	La luminaria cuenta con doble aislamiento, no requiere una toma a tierra para la seguridad eléctrica.	
III	Luminaria enfocada en que su alimentación sea una fuente de bajo voltaje.	

### c. Luminarias para áreas peligrosas

Las áreas peligrosas son las instalaciones industriales o exteriores en las que está presentes uno o varios tipos de elementos inflamables que son capaces de iniciar un incendio o explosión al presentarse una fuente de ignición. Para iluminar dichos espacios, se debe ocupar luminarias a prueba de explosión.

Según las NEC (Código Eléctrico Nacional) de Estados Unidos, las áreas peligrosas se dividen en tres grupos, según los productos inflamables o combustibles presentes en el ambiente [55]. Las clases existentes son:

- **Clase I:** Presencia de gases, vapores o líquidos inflamables.
- **Clase II:** Presencia de polvos combustibles.
- **Clase III:** Presencia de fibras inflamables.

A su vez, dentro de estas clasificaciones pueden existir dos Divisiones, en las que se muestran circunstancias del nivel de riesgo presente.

- División 1: Ambiente normalmente peligroso. El agente inflamable o combustible siempre está presente durante los procesos.

- División 2: Ambiente normalmente no peligroso: El agente inflamable o combustible se presenta en situaciones anormales del proceso [55].

A su vez, existe una clasificación en grupos, en los que se indican los agentes inflamables o combustibles:

Para la Clase I – Divisiones 1 y 2

- Grupo A: Para Acetileno
- Grupo B: Para Hidrógeno
- Grupo C: Para Etileno
- Grupo D: Para Propano

Para la clase II – Divisiones 1 y 2

- Grupo E: Para polvos metálicos
- Grupo F: Para polvos de carbón
- Grupo G: Para polvos orgánicos

Para la Clase III – Divisiones 1 y 2

- Sin clasificación de grupos

Tabla 12. Resumen de las áreas clasificadas como peligrosas [55].

<b>Clase</b>	<b>División</b>	<b>Grupo</b>	<b>Agente inflamable o combustible</b>
I	1 y 2	A	Acetileno
		B	Hidrógeno
		C	Etileno
		D	Propano
II	1 y 2	E	Polvos metálicos
		F	Polvos de carbón
		G	Polvos orgánicos
III	1 y 2	Sin clasificación de grupos	

#### **1.4.15 Pintura al horno**

La pintura en polvo electrostática sirve para el recubrimiento de piezas en donde se debe tener en cuenta diversos factores como la corrosión, la resistencia al impacto y la exposición al sol.

##### **a. Ventajas**

- Es amigable con el medio ambiente.
- Ahorros en energía, debido a que no se requiere extraer gran cantidad de aire.
- El costo es menor que la pintura de líquidos electrostáticas.
- La eficiencia de operación es alta, debido a que no se requiere tiempos muertos (tiempo de secado).
- Brinda una excelente resistencia a la corrosión, calor, impacto, ataque de rayos solares, abrasión y climas extremos.
- Se obtiene un excelente acabado [56].

##### **b. Desventajas**

- Deben ser debidamente cuidados.
- Durante el proceso de aplicación tienden a ser muy sensibles a las condiciones atmosféricas como la humedad, el polvo y el calor.
- El tiempo de curado es mayor que el de líquidos electrostáticas, ya que ronda entre 15 y 20 minutos [56].

##### **c. Epoxi**

Existen tres tipos de polvos electrostáticos que son el epoxi, híbrido y el poliéster, cada uno de estos cuentan con sus propias características, sin embargo, la pintura que cumple con las características que se requiere para el proyecto es el EPOXI.

## Características

- Se utiliza cuando la pieza a pintar permanecerá la mayor parte de tiempo en interiores (alejada de la luz directa).
- Se usa cuando se necesita resistencia contra los químicos.
- Tienen una excelente flexibilidad y dureza.
- Posee una buena resistencia a la corrosión [56].

### 1.4.16 Mascotas pequeñas y medianas

#### a. Pequeñas

Las mascotas pequeñas pesan en promedio entre 1 y 10 kg y pueden llegar a medir hasta los 30 cm. El tamaño se mide desde el suelo hasta la parte superior de los hombros (A) y para conocer el ancho de las mascotas se mide entre la parte más ancha de hombro a hombro (B), como se muestra en la Figura 17[57].

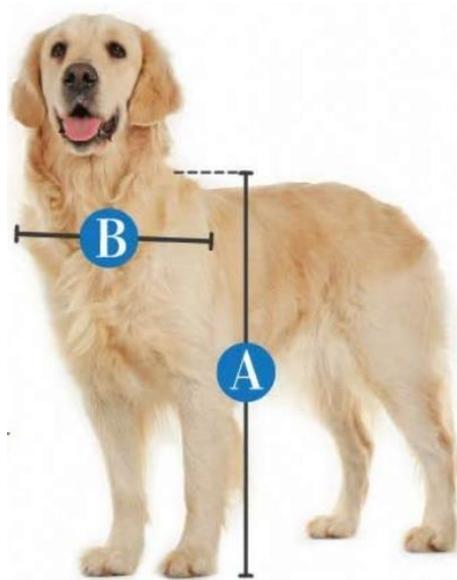


Figura 17. Medición de la altura y ancho de las mascotas [58].

#### b. Medianas

Las mascotas medianas pesan en promedio entre 10 y 25 kg y rondan entre 30 y 45 cm, mientras que el ancho es menor de 7 in (17,78 cm), medidos igual que las mascotas pequeñas, como se muestra en la Figura 17 [57] [58].

En la Figura 18 se observa la variación del peso y el tamaño de las mascotas de diferentes razas. De acuerdo con este gráfico, las mediciones mencionadas están dentro del rango.

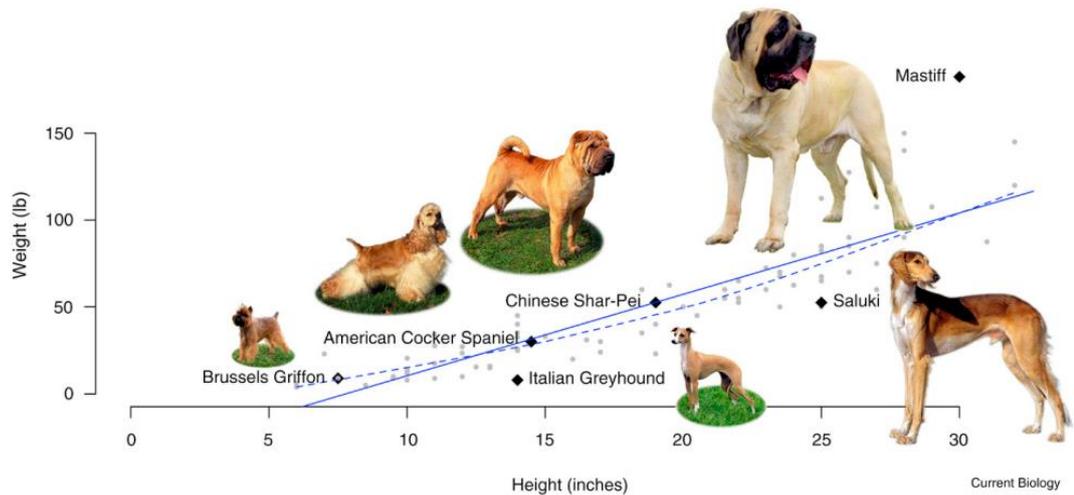


Figura 18. Variación del tamaño de mascotas [59].

#### 1.4.17 Dimensiones de la cámara hiperbárica

##### 1.4.17.1 Dimensiones del cabezal toriesférico

###### a. Espesor

Según el código ASME Sección VIII División 1, para calcular el espesor del cabezal toriesférico se hace uso de la ecuación UG-32 (2) como se muestra a continuación:

$$t = \frac{0.885PL}{SE - 0.1P} \quad (10)$$

Donde:

$t$ : Espesor mínimo sin corrosión

$P$ : Presión de diseño

$L$ : Radio interior esférico o de corona para cabezales toriesféricos o semiesféricos

$S$ : Esfuerzo admisible máximo del material

$E$ : Eficiencia de la junta

En la Figura 19 se puede visualizar las variables del cabezal toriesférico según ASME Sección VIII División 1.

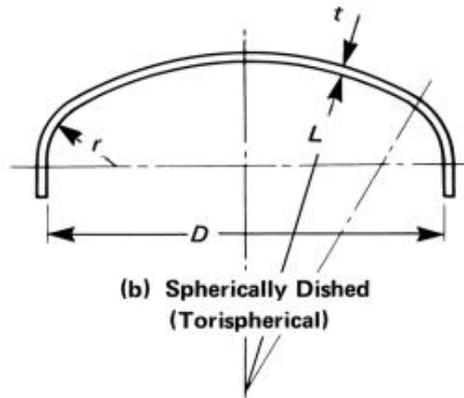


Figura 19. Cabezal toriesférico

### b. Capacidad volumétrica

Según [60], la fórmula para calcular el volumen de un cabezal toriesférico es la siguiente:

$$V = 0,1 * D^3 + 0,7854h(D^2) \quad (11)$$

Donde:

V: Volumen del cabezal

D: Diámetro

h: altura del cilindro

En la Figura 20 se puede observar las variables del cabezal toriesférico.

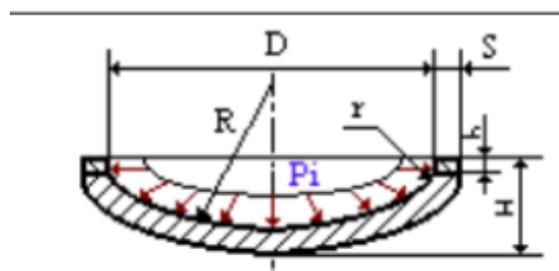


Figura 20. Cabezal toriesférico

#### 1.4.17.2 Dimensiones del manto cilíndrico

##### a. Espesor

Según el código ASME Sección VIII División 1, para el cálculo del espesor del manto cilíndrico se hace uso de la ecuación UG-27 (1) como se muestra a continuación:

$$t = \frac{P * R}{S * E - 0,6 * P} \quad (12)$$

Donde:

$t$ : Espesor mínimo requerido sin corrosión

$P$ : Presión de diseño

$R$ : Radio interior

$S$ : Esfuerzo admisible máximo del material

$E$ : Eficiencia de la junta

##### b. Capacidad volumétrica

Para calcular el volumen de la parte cilíndrica se hace uso de la siguiente fórmula:

$$V_{cilindro} = \frac{\pi * D^2}{4} * L \quad (13)$$

Donde:

$V$ : Volumen del cilindro

$D$ : Diámetro interior parte cilíndrica

$L$ : Longitud de la parte cilíndrica

#### 1.4.17.3 Capacidad volumétrica de la cámara hiperbárica

El cálculo total de la capacidad volumétrica se debe tener en cuenta la capacidad volumétrica tanto del manto cilíndrico como del cabezal. Entonces

$$V_{Total} = V_{cabezal} + V_{tapa} + V_{manto c.} \quad (14)$$

Donde:

$V_{Total}$ : Capacidad volumétrica total

$V_{cabezal}$ : Capacidad volumétrica del cabezal

$V_{tapa}$ : Capacidad volumétrica de la tapa

$V_{manto c.}$ : Capacidad volumétrica del manto cilíndrico

#### **1.4.17.4 Presión máxima a soportar**

##### **a. Cabezal toriesférico**

Según el código ASME Sección VIII División 1, para el cálculo de la presión máxima a soportar del cabezal toriesférico se hace uso de la ecuación UG-32 (2) como se muestra a continuación:

$$P = \frac{SEt}{0.885L + 0.1t} \quad (15)$$

Donde:

$P$ : Presión máxima a soportar

$S$ : Esfuerzo admisible máximo del material

$E$ : Eficiencia de la junta

$t$ : Espesor determinado

$L$ : Radio interior esférico o de corona para cabezales toriesféricos o semiesféricos

##### **b. Manto cilíndrico**

Según el código ASME Sección VIII División 1, para el cálculo de la presión máxima del manto cilíndrico se hace uso de la ecuación UG-27 (1) como se indica a continuación:

$$P = \frac{SET}{R + 0,6t} \quad (16)$$

Donde:

$P$ : Presión máxima a soportar

$S$ : Esfuerzo admisible máximo del material

$E$ : Eficiencia de la junta

$t$ : Espesor determinado

$R$ : Radio interno

#### 1.4.17.5 Cálculos de la masa y volumen del oxígeno medicinal

Estableciendo las condiciones de diseño:

$P_{atm}$ : Presión atmosférica

$P_{man}$ : Presión manométrica (Condición de diseño)

$T_{ambiente}$ : Temperatura ambiente (Condición de diseño)

El cálculo tanto de la masa como el volumen se realiza usando las siguientes fórmulas:

##### a. Masa ( $m_{O_2}$ )

$$m_{O_2} = \frac{P_o V_{Total}}{RT_{abs}} \quad (17)$$

Donde:

$m_{O_2}$ : masa del oxígeno en función de la presión absoluta

$P_o$ : Presión de operación (ATA)

$V_{Total}$ : Capacidad volumétrica total del prototipo a presión atmosférica

$T_{abs}$ : Temperatura absoluta

$R$ : Constante de los gases ideales

##### b. Volumen ( $V_{O_2}$ )

$$\rho_{O_2} = \frac{m_{O_2}}{V_{O_2}} \rightarrow V_{O_2} = \frac{m_{O_2}}{\rho} \quad (18)$$

Donde:

$V_{O_2}$ : Volumen del oxígeno en función de la presión de diseño

$m$ : masa del oxígeno en función de la presión absoluta

$\rho_{O_2}$ : Densidad del oxígeno

#### 1.4.17.6 Masa del prototipo del cuerpo principal en condiciones de operación

La masa del cuerpo principal se calcula de la siguiente forma:

$$m = \sum m \quad (19)$$

$$m = m_{prototipo} + m_{accesorios} + m_{paciente} + m_{O_2}$$

Donde:

$m$ : Masa del cuerpo principal del prototipo en condiciones de operación

$m_{prototipo}$ : Masa del prototipo

$m_{accesorios}$ : Masa de accesorios

$m_{paciente}$ : Masa máxima de paciente

$m_{O_2}$ : Masa del oxígeno en función de la presión absoluta

#### 1.4.17.7 Cálculo de los soportes del prototipo

- **Esfuerzo de compresión**

El esfuerzo de compresión se calcula de la siguiente forma:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (20)$$

Donde:

$\sigma$ : Esfuerzo de compresión

$F$ : Fuerza aplicada en la columna

$A$ : Área

- **Fuerza aplicada en la columna**

$$F = q * g \quad (21)$$

Donde:

$q$ : carga

$g$ : *gravedad* (9,81 m/s<sup>2</sup> )

- **Carga máxima a soportar**

La carga máxima a soportar se calcula haciendo uso de la ecuación de la carga crítica o también conocida como la carga de pandeo de Euler:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{Le^2} \quad (22)$$

Donde:

$P_{cr}$ : Carga crítica

$E$ : Módulo de elasticidad del material (Anexo 4)

$I$ : Inercia (Anexo 7)

$Le$ : Longitud de efectividad

- **Longitud de efectividad**

La longitud de efectividad se determina haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$Le = Lk \quad (23)$$

$L$ : Longitud de la columna

$k$ : Factor de pandeo (Anexo 12)

- **Verificación:**

Para verificar si la estructura del prototipo soporta la carga a la que se encuentra sometido se determina de la siguiente forma:

$$P_{cr} \geq P_{diseño} \quad (24)$$

Donde:

$P_{cr}$ : Carga crítica o carga máxima a soportar

$P_{diseño}$ : Carga de diseño

#### 1.4.17.8 Cálculo del tiempo de llenado del prototipo

Según [61], el caudal de llenado de una cámara hiperbárica de uso veterinario recomendado va de 10 a 30 L/min y se calcula de la siguiente forma:

$$Q = \frac{V_{Total}}{t} \rightarrow t = \frac{V_{Total}}{Q} \quad (25)$$

$t$ : Tiempo de llenado

$Q$ : Caudal de llenado (Se ocupa 30 L/min)

$V_{Total}$ : Volumen total del prototipo

- Generación de  $CO_2$  en la respiración de animales

Según [62] la Capnografía se encarga de las mediciones de la presión parcial del dióxido de carbono al exhalar, durante el ciclo respiratorio del paciente.

En [62] se menciona que la concentración normal de  $CO_2$  durante la exhalación de un perro de raza mediana va de 35 a 40 mm Hg, sin embargo, este valor estimado no siempre es el mismo, dependerá de muchos factores como la especie, raza, peso, tamaño, estado de salud, temperatura, ambiente, entre otros. La existencia de estos factores de los que depende la generación de  $CO_2$  durante la respiración del paciente, hace sumamente difícil estimar el tiempo adecuado para la evacuación de dichos gases durante el funcionamiento del prototipo. Por lo tanto, el tiempo en el que se realice este proceso deberá ser estimado por el operador del equipo, teniendo en cuenta los factores antes mencionados.

## CAPÍTULO II

### 2 METODOLOGÍA

Se realizó una investigación aplicada donde se buscó la información necesaria para diseñar y construir un prototipo de una cámara hiperbárica para mascotas medianas y pequeñas [63]. Además, durante el desarrollo del proyecto se aplicaron todos los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, como, por ejemplo, diseño mecánico y diseño de elementos finitos.

Se utilizó una metodología de campo donde se investigó los factores de una cámara hiperbárica, la presión, la forma y la capacidad volumétrica, entre otros. También, se seleccionó el material adecuado, lo suficientemente resistente para los factores a la que se encuentra sometida la cámara hiperbárica [19] [64], para ello se utilizó un software especializado para realizar el diseño correspondiente, luego se analizaron los parámetros necesarios para que el funcionamiento sea óptimo y este software permitió realizar los planos que se considerarán durante la construcción de la máquina.

Finalmente, se construyó la cámara hiperbárica considerando los parámetros analizados en la sección de diseño y los planos del software. Después, se realizaron pruebas de funcionamiento para verificar los parámetros del prototipo.

#### 2.1 Modalidad de investigación

##### **De campo**

Esta metodología se utilizó para seleccionar el material que se seleccionó para la construcción de la cámara hiperbárica, ya que con ello se comparan las opciones que se tienen de este.

##### **Bibliográfico**

Este método se utilizó para recabar información de estudios y aplicaciones similares desarrollados con anterioridad a nivel nacional e internacional, que ayuden a establecer un fundamento teórico adecuado para el proyecto, para lo que es posible valerse de revistas y artículos científicos, libros, tesis, entre otros.

## 2.2 Nivel o tipo de investigación

### Exploratorio

Este método permitió conocer inicialmente los parámetros a considerar para el diseño y construcción de la cámara hiperbárica. Además, se estableció los conceptos a considerar: presión, terapia de oxigenación hiperbárica (TOHB), tiempo de recuperación de los animales, entre otros.

### Descriptivo

Se utilizó este método para considerar y registrar los parámetros cuantitativos de funcionamiento de la máquina, como presión y temperatura, además de las características de los animales a las que está destinado el prototipo.

### Experimental

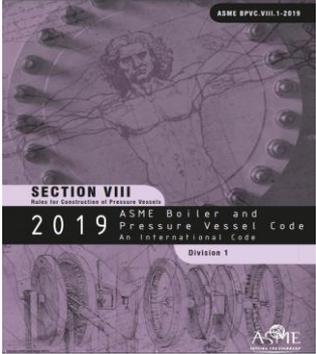
Se utilizó para realizar pruebas al prototipo de la cámara hiperbárica, para verificar los parámetros de diseño y funcionamiento y reemplazar piezas o corregir errores que se presentaron.

## 2.3 Materiales y recursos

### 2.3.1 Listado de materiales para el modelo y simulación de la cámara hiperbárica

En la Tabla 13 se menciona todos los materiales que se utilizó para realizar el diseño, modelado y simulación de la máquina.

Tabla 13. Materiales para el diseño de la cámara hiperbárica.

Nombre	Descripción	Representación gráfica
Normas	Se utilizará el Código ASME para Calderas y Recipientes a Presión (BPVC).	

Nombre	Descripción	Representación gráfica
SolidWorks	Es un software donde se realiza el diseño de todas las partes que conforma la cámara hiperbárica.	
ANSYS	Este software se utilizará para la simulación de la máquina.	

### 2.3.2 Lista de materiales para la construcción del prototipo de cámara hiperbárica

En la Tabla 14 se describe los componentes principales que se utilizó para la construcción del prototipo de la cámara hiperbárica.

Tabla 14. Elementos para la construcción del prototipo de cámara hiperbárica.

Nombre	Descripción	Representación gráfica
Acero ASTM A36	Acero estructural de 4 mm de espesor, utilizado para la construcción del cuerpo del prototipo. Además, de dos planchas cuadrada de 1x1 m de 10 mm de espesor, utilizada para los bordes de la compuerta, del cuerpo principal y para la elaboración de la bisagra.	
Tubo cuadrado 40x2 mm ASTM A36	Tubo estructural cuadrado, negro 40x40x2 mm acero ASTM A36, utilizado para la construcción de los soportes del prototipo. En el Anexo 6 se puede observar sus propiedades.	

Nombre	Descripción	Representación gráfica
Varilla redonda A36	Varilla redonda lisa de 11 mm de diámetro, utilizado para el tirador de la compuerta, además para el ensamble del perno bloqueante tipo mariposa	
Electrodos 6011	Electrodos 6011, utilizado para soldar las partes de la estructura metálica del prototipo a través de un proceso de soldadura SMAW.	
Eje SAE 1018	Es un acero utilizado para la elaboración del eje de la bisagra.	
Arandelas planas	Arandelas planas galvanizadas de 5/16 in, utilizado para la separación del eje roscado respecto de las platinas.	
Arandelas planas	Arandelas planas galvanizadas de 7/8 in, utilizado para el ajuste de los pernos bloqueantes.	
Eje roscado	Eje roscado de 7/8 in, este es el perno bloqueante que sirve como guía para la tuerca encargada de brindar	

Nombre	Descripción	Representación gráfica
	el ajuste necesario para el cierre de la compuerta.	
Perno	Perno de Allen de 5/16 in y de longitud 2,5 in, utilizado como pasador que sujeta el perno bloqueante.	
Tuerca	Tuerca de 7/8 in, utilizado para el ajuste de la compuerta del prototipo guiada por el perno bloqueante.	
Tuerca	Tuerca de 3/4 in, utilizado para el ajuste del eje de la bisagra.	
Empaque EPDM de la ventana	Empaque EPDM sección cuadrada 8x8 mm, utilizado para el sellado de la ventana del prototipo.	
Empaque EPDM de la compuerta	Empaque EPDM sección rectangular 20x5 mm, utilizado para el sellado de la compuerta.	

Nombre	Descripción	Representación gráfica
Acrílico	Acrílico transparente de 10 mm de espesor, utilizado para la ventana del prototipo.	
Válvula de ingreso de oxígeno (Llave de paso AC/INOX ¼ in)	Válvula de paso de acero inoxidable ¼ in, permite el ingreso de oxígeno al prototipo a una presión regulada.	
Válvula de despresurización (Llave de paso AC/INOX ¼ in)	Válvula de paso de acero inoxidable ¼ in, permite el desfogue los gases residuales de la terapia y el vaciado del prototipo.	
Válvula de seguridad	Válvula de seguridad o alivio de presión de acero inoxidable ¼ in, tiene la función de desfogar el exceso del fluido si la presión del prototipo supera la presión de trabajo máxima de 2 ATA (30 psi).	
Manómetro	Es un manómetro que se acopla a una rosca de ¼ in, cuenta con un rango de presión de 0 a 60 psi, este dispositivo mide la presión del gas que se encuentra dentro del prototipo.	
Tapón macho	Tapón macho de acero galvanizado de ¼ in, utilizado para tapar los agujeros del prototipo previo	

Nombre	Descripción	Representación gráfica
	a las pruebas de funcionamiento.	
Neplo	Neplo de acero inoxidable de ¼ in y 2,5 in de longitud, utilizado para la unión de los accesorios.	
Racores neumáticos	Conector recto de ¼ in para tubo de 10 mm, utilizado para conectar la manguera de poliuretano.	
Manguera de poliuretano	Manguera universal de poliuretano de 10 mm, utilizado para transportar el fluido hacia el prototipo.	
Permatex	Utilizado para el sellante del roscado de los accesorios.	
Pegamento	Pegamento ABRO Grey 999, utilizado para pegar los empaques utilizados en la compuerta y la ventana.	
Lupa	Utilizado para realizar una inspección visual de las uniones soldadas del prototipo.	

## 2.4 Métodos

### 2.4.1 Alternativas del material para la construcción del cuerpo principal y la compuerta del prototipo

La selección del material para la construcción del cuerpo principal y la compuerta del prototipo se basa en dos tipos de aceros estructurales, en la Tabla 15 se muestra las diferentes alternativas que se tiene para dicha selección.

Tabla 15. Alternativas del material para la construcción

<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>
Acero SA 516 grado 70	Acero A36
Tienes mejores propiedades mecánicas que los demás grados (55, 60, 65). Buena soldabilidad Tiene una alta resistencia al agrietamiento por fragilidad Utilizados para la fabricación de recipientes sometidos a presión Difícil adquisición en el mercado local. El costo es elevado.	Buenas propiedades mecánicas Excelente soldabilidad Utilizados en la fabricación de estructuras de acero soldadas, atornilladas, entre otros. Existencia de una cámara hiperbárica de mascotas fabricada con el acero A36. Se puede adquirir en el mercado local a precios económicos.

### 2.4.2 Ponderación de alternativas

La ponderación se realizó con las cuatro alternativas y se seleccionó el material más adecuado, es decir, el material que cumpla con las características que se requiere para la construcción del cuerpo y la compuerta del prototipo. Para la evaluación de las alternativas se toma en cuenta tres valores: Excelente, regular y malo, tal y como se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16. Valores de ponderación

<b>Ponderación</b>	<b>Concepto</b>
10	Excelente
5	Regular
1	Malo

### 2.4.3 Selección del material para la construcción de la máquina

En la Tabla 17 se menciona los principales factores que permitieron seleccionar el material más adecuado para la construcción del cuerpo y la compuerta del prototipo.

Tabla 17. Selección de alternativas

Factores	Alternativas	
	Alternativa 1	Alternativa 2
Costos	5	10
Soldabilidad	10	10
Adquisición en el mercado nacional	1	10
Propiedades mecánicas	10	10
Costo de manufactura	5	10
<b>Total</b>	<b>31</b>	<b>50</b>

Según la Tabla 17, el material que más se ajusta a las condiciones necesarias para fabricar el cuerpo principal y la compuerta es el acero ASTM A36, con un valor ponderado de 50, por ende, es el material seleccionado para la fabricación.

### 2.4.4 Selección del material para las ventanas de la máquina

Para selección de las ventanas de la máquina se tomó en cuenta dos tipos de materiales termoplásticos, en la Tabla 19 se indica las alternativas a ponderar.

Tabla 18. Alternativas de materiales termoplásticos para las ventanas

Alternativa 1	Alternativa 2
Cristal acrílico	Policarbonato
Es un termoplástico completamente transparente y muy resistente. La transmisión de la Luz es de un 92%. Posee mejor rigidez que el policarbonato Se puede adquirir fácilmente en el	Es un termoplástico transparente al igual que el cristal acrílico, pero es más resistente. Transmite la Luz en un 88%, menor que el cristal acrílico. Tiene buena rigidez Este material se puede encontrar en

<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>
mercado nacional El precio promedio por metro cuadrado es de entre \$15 y \$25. Menos propenso a rayaduras Propiedades mecánicas: Tiene una resistencia a la flexión de 104 MPa Tiene una resistencia a la tracción de 72 MPa	el país, sin embargo, es más costoso que el cristal acrílico. El Es más propenso a rayaduras Propiedades mecánicas: Tiene una resistencia a la flexión de 93 MPa Tiene una resistencia a la tracción de 65,5 MPa

#### 2.4.5 Ponderación de alternativas

La escala de ponderación es la misma que se utilizó en la selección del material para la construcción del cuerpo principal de la máquina en el apartado 2.4.2, para ser específico la escala usada en la Tabla 16.

#### 2.4.6 Selección del material para las ventanas de la máquina

En la Tabla 19 se detalla los factores que se tomaron en cuenta para la selección del material más adecuado para la ventana de la máquina.

Tabla 19. Ponderación de alternativas del material

<b>Factores</b>	<b>Alterativas</b>	
	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>
Costos	10	5
Adquisición en el mercado nacional	10	10
Transmisión de luz	10	10
Propiedades mecánicas	10	5
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>30</b>

De acuerdo con la Tabla 19 el material más adecuado para la ventana del prototipo es el cristal acrílico con un valor ponderado de 40, por ende, es el material que se utilizó.

#### 2.4.7 Selección del material para la construcción del soporte de la máquina

##### a. Acero A36

Para construir el soporte de la máquina se seleccionó directamente el acero A36, ya que es un acero al carbono estructural, considerado el más común en el mundo bajo la norma ASTM A36. Además, se puede adquirir fácilmente en las distribuidoras a precios económicos y es un tipo de material para fabricar estructuras de acero soldadas. También posee excelentes propiedades mecánicas lo que hace que sea el material adecuado para la construcción del soporte del prototipo.

#### 2.4.8 Selección del tipo de compuerta y su mecanismo de cierre

Para selección del mecanismo de cierre de la compuerta de la máquina se tomó en cuenta tres tipos de mecanismos, en la Tabla 20 se indica las alternativas a ponderar.

Tabla 20. Alternativas de la compuerta

Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
<b>Compuerta toriesférica con pernos bloqueantes</b>	<b>Compuerta plana con pernos bloqueantes</b>	<b>Compuerta toriesférica con apertura y cierre de tipo bayoneta, aplicado a ollas de presión</b>
Soporta mayor presión con un espesor menor. Tiempo de construcción considerable. El costo del material es económico. El costo de construcción es considerable. Mayor facilidad de la apertura y cierre de la	El espesor aumenta según la presión a la que se somete. Menor tiempo de construcción. El costo del material es elevado. El costo de construcción es económico. Dificultad en la apertura y	Soporta mayor presión con un espesor menor. Mayor tiempo de construcción. El costo del material es económico. El costo de construcción es elevado. Mayor facilidad de la apertura y cierre de la

<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>
compuerta, debido a su ligereza. El tiempo de apertura y cierre de la compuerta es considerable.	cierre de la compuerta, debido a su peso. El tiempo de apertura y cierre de la compuerta es considerable.	compuerta, debido a su ligereza y el mecanismo de cierre. El tiempo de apertura y cierre de la compuerta es menor.

#### **2.4.9 Ponderación de alternativas**

La escala de ponderación es la misma que se utilizó en la selección del material para la construcción del cuerpo principal de la máquina en el apartado 2.4.2, para ser específico la escala usada en la Tabla 16.

#### **2.4.10 Selección de la compuerta**

En la Tabla 21 se detalla los factores que se tomaron en cuenta para la selección de la compuerta del prototipo y su mecanismo de cierre.

Tabla 21. Ponderación de alternativas del tipo de compuerta y su mecanismo de cierre

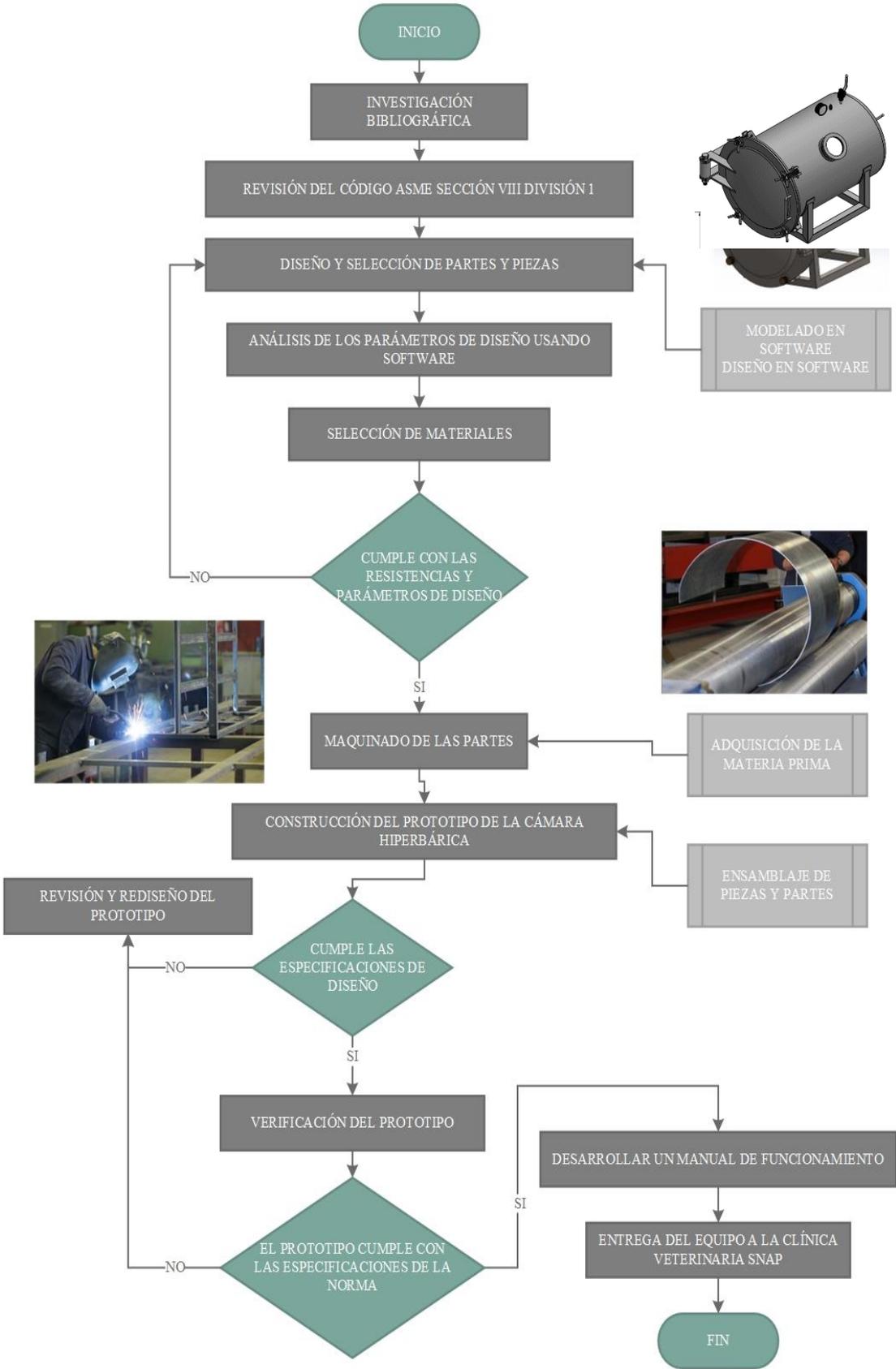
<b>Factores</b>	<b> Alternativas</b>		
	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>
Costos	10	1	5
Tiempo de fabricación	5	10	1
Resistencia a la presión	10	5	10
Maniobrabilidad	10	5	10
Facilidad de apertura y cierre	5	5	10
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>26</b>	<b>36</b>

De acuerdo con la Tabla 21 la compuerta y el mecanismo de cierre que mejor se ajustan a los factores de ponderación establecidos es la compuerta toriesférica con pernos bloqueantes.

#### **2.4.11 Diagrama de flujo para el diseño y construcción de la máquina**

En el siguiente diagrama de flujo se detalla el proceso realizado para el diseño y construcción del prototipo de cámara hiperbárica.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA HIPERBÁRICA PARA MASCOTAS PEQUEÑAS Y MEDIANAS PARA LA CLÍNICA VETERINARIA SNAP



## 2.4.12 Cálculos

### 2.4.12.1 Dimensiones y parámetros de funcionamiento de la máquina

Para empezar con el diseño de la cámara hiperbárica es importante considerar las siguientes dimensiones:

- Diámetro interno

$$D = 50 \text{ cm} = 500 \text{ mm}$$

- Longitud del manto cilíndrico

$$D = 70 \text{ cm} = 700 \text{ mm}$$

- Longitud de la tapa

$$L = 50 \text{ cm} = 500 \text{ mm}$$

Además de parámetros básicos como:

- Presión de operación

$$P_0 = 1.4 \text{ atm} = 20.57 \text{ psi}$$

- Presión de diseño

Según el inciso 1.4.6.4 se tiene que  $P_0 \leq 300 \text{ psi}$ , entonces la presión de diseño se calcula haciendo uso de la ecuación 2, como se muestra a continuación.

$$P = P_0 + 30 \text{ psi} \tag{26}$$

$$P = 20.57 \text{ psi} + 30 \text{ psi}$$

$$P = 50.57 \text{ psi}$$

$$P = 3,4414 \text{ atm} = 0,03557 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

- Eficiencia de soldadura

Según la Tabla 2 el valor de la eficiencia de soldadura es de:

$$E = 0,65$$

- Esfuerzo máximo permisible del acero A36

Para poder determinar el esfuerzo del material con el que se trabajó, se hizo uso del diagrama esfuerzo-deformación, tomando los siguientes criterios:

- Región lineal (zona elástica): Si se somete a esfuerzos, siempre se tendrá una recuperación casi total de la deformación.
- Fluencia: Se puede experimentar cedencia, es decir, la resistencia del material ya no es suficiente para soportar el esfuerzo a la que está sometido.

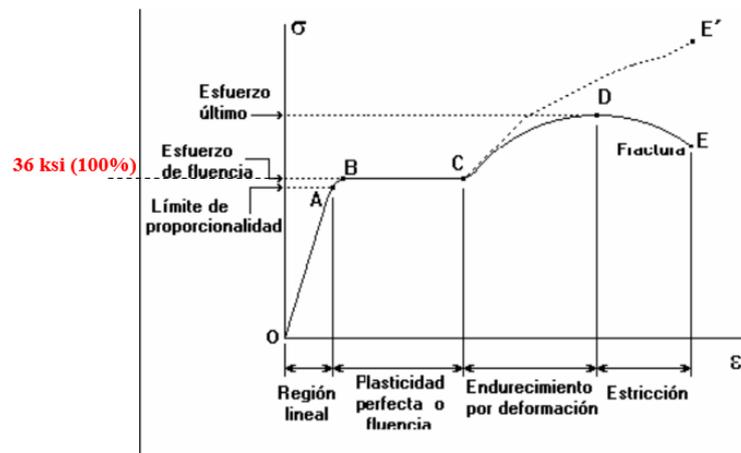


Figura 21. Diagrama de esfuerzo y deformación.

Considerando el punto principal de la zona de fluencia, donde el material deja de ser elástico y pasa a ser inelástico, llegando a tener deformación en esa zona y se quiere evitar que el recipiente a presión no experimente esa deformación, para ello se usa el límite máximo de esfuerzo del material.

$$S_{material} = 36000 \text{ psi} \rightarrow \text{Al } 100\%$$

Según el Código ASME Sección VIII, el factor de seguridad mínimo con el que se puede trabajar es de 1,5 y máximo de 3,5. Para poder trabajar con el 50% de la capacidad del material se trabaja con un factor de seguridad de 2.

$$S_{material} = \frac{36000 \text{ psi}}{2}$$

$$S_{material} = 18000 \text{ psi} = 12,66 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \rightarrow \text{Al } 50\%$$

Entonces el esfuerzo máximo del material con el que se trabajará es de 18000 psi o  $12,66 \frac{kg}{mm^2}$ , con el fin de evitar estar muy cerca de límite elástico.

#### 2.4.12.2 Cabezal y compuerta toriesférica

##### a. Espesor

Según el inciso 1.4.17.1 ecuación 10, el espesor del cabezal toriesférico se calcula de la siguiente forma:

$$t = \frac{0.885PL}{SE - 0.1P} \quad (27)$$

Según el inciso 1.4.9.1.2, al considerarse  $\frac{t_s}{L} \geq 0.002$ , tenemos:

- $r = 6\% L = 500 \text{ mm} * 0.06 = 30 \text{ mm}$
- $L = D_o = 500 \text{ mm}$

Entonces:

$$t = \frac{0.885PL}{SE - 0.1P}$$

$$t = \frac{0.885 * 0,03557 \frac{kgf}{mm^2} * 500 \text{ mm}}{12,66 \frac{kgf}{mm^2} * 0,65 - 0.1 * 0,03557 \frac{kgf}{mm^2}}$$

$$t = 1,914 \text{ mm}$$

##### b. Capacidad volumétrica

Según el inciso 1.4.17.1 ecuación 11, la capacidad volumétrica del cabezal toriesférico se calcula de la siguiente manera:

$$V_{cabezal} = 0,1 * D^3 + 0,7854h(D^2) \quad (28)$$

$$V_{cabezal} = 0,1 * 500^3 + 0,7854(0)(500^2)$$

$$V = 12500000 \text{ mm}^3$$

$$V_{cabezal} = 0,0125 \text{ m}^3$$

$$V_{tapa} = V_{cabezal}$$

### c. Masa

El valor de la masa del cabezal toriesférico se toma del software de diseño CAD.

### 2.4.12.3 Manto cilíndrico

#### a. Espesor

Según el inciso 1.4.17.2 ecuación 12, el espesor del manto cilíndrico se calcula de la siguiente forma:

$$t = \frac{P * R}{S * E - 0,6 * P} \quad (29)$$

$$t = \frac{0,03557 \frac{kgf}{mm^2} * 250 \text{ mm}}{12,66 \frac{kgf}{mm^2} * 0,65 - 0,6 * 0,03557 \frac{kgf}{mm^2}}$$

$$t = 1,08 \text{ mm}$$

#### b. Capacidad volumétrica

Según el inciso 1.4.17.2 ecuación 13, la capacidad volumétrica del manto cilíndrico se calcula de la siguiente manera:

$$V_{cilindro} = \frac{\pi * D^2}{4} * L \quad (30)$$

$$V_{cilindro} = \frac{\pi * (500\text{mm})^2}{4} * 700 \text{ mm}$$

$$V_{cilindro} = 137444678,6 \text{ mm}^3$$

$$V_{cilindro} = 0,137 \text{ m}^3$$

### c. Masa

El valor de la masa del manto cilíndrico se toma del software de diseño CAD.

### 2.4.12.4 Espesor de la cámara hiperbárica

Para el diseño, se selecciona el espesor mayor entre el espesor del cabezal y el espesor del manto cilíndrico y se tiene lo siguiente.

$$t = 1,91 \text{ mm} \rightarrow \text{Espesor del cabezal}$$

Por lo tanto, se promueve al inmediato superior, entonces tenemos que el espesor es:

$$t \approx 2 \text{ mm}$$

El fluido con el que se trabaja es oxígeno medicinal, que resulta corrosivo para el material con el que está fabricado el prototipo, teniendo en cuenta lo mencionado en [65] se debe compensar dicha pérdida de material con un espesor extra que ronda entre 1 y 6 mm. En nuestro caso el valor que se agrega al espesor es de 1 mm. Entonces:

$$t = 2 \text{ mm} + 1 \text{ mm}$$

$$t = 3 \text{ mm}$$

Otro parámetro importante que menciona [65], es la tolerancia de fabricación, ya que se tiende a perder espesor en las curvaturas de los cabezales toriesféricos al momento de la contracción, por ende, se debe compensar con un sobreespesor extra equivalente al 10% del espesor calculado. Entonces:

$$t = 3 \text{ mm} + 3 \text{ mm}(0,10)$$

$$t = 3 \text{ mm} + 0,3 \text{ mm}$$

$$t = 3.3 \text{ mm}$$

Por lo tanto, se promueve al inmediato superior, entonces tenemos que el espesor del prototipo es:

$$t = 4 \text{ mm}$$

#### **2.4.12.5 Capacidad volumétrica de la cámara hiperbárica**

Según el inciso 1.4.17.3 ecuación 14, la capacidad volumétrica total del prototipo se calcula de la siguiente manera:

$$V_{Total} = V_{cabezal} + V_{tapa} + V_{manto c.} \quad (31)$$

$$V_{Total} = 0,0125 \text{ m}^3 + 0,0125 \text{ m}^3 + 0,137 \text{ m}^3$$

$$V_{Total} = 0,162 \text{ m}^3$$

#### 2.4.12.6 Presión máxima a soportar

##### a. Cabezal toriesférico

Según el inciso 1.4.17.4 ecuación 15, la capacidad volumétrica del manto cilíndrico se calcula de la siguiente manera:

$$P = \frac{SEt}{0.885L + 0.1t} \quad (32)$$

$$P = \frac{12,66 \frac{kg}{mm^2} * 0,6 * 4 mm}{0.885 * 500mm + 0.1 * 4mm}$$

$$P = 0,07431151 kg/mm^2$$

$$P = 105,667 psi$$

$$P = 7,190 atm$$

##### b. Manto cilíndrico

Según el inciso 1.4.17.4 ecuación 16, la capacidad volumétrica del manto cilíndrico se calcula de la siguiente manera:

$$P = \frac{SET}{R + 0,6t} \quad (33)$$

$$P = \frac{12,66 \frac{kg}{mm^2} * 0,6 * 4 mm}{250 mm + 0,6 * 4 mm}$$

$$P = 0,130398447 kg/mm^2$$

$$P = 185,418 psi$$

$$P = 12,617 atm$$

#### 2.4.12.7 Cálculos de la masa y volumen del oxígeno medicinal

Con el fin de calcular tanto la masa como el volumen del oxígeno medicinal máximos que se puede ingresar en el prototipo, se asumió que la presión de operación del prototipo es la presión de diseño de 3,5 ATA y se utilizaron los siguientes datos:

$$\rho_{O_2} = 1,355 \frac{kg}{m^3}$$

$$P_o = P = 3,5 \text{ ATA} \rightarrow 354,637 \text{ KPa} \rightarrow \text{Condición de diseño}$$

$$T_{ambiente} = 25 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow \text{Condición de diseño}$$

$$T_{abs} = 298 \text{ K}$$

$$R = 0,2598 \frac{KPa - m^3}{Kgmasa^\circ K}$$

$$V_{Total} = 0,162 \text{ m}^3$$

**a. Masa ( $m_{O_2}$ )**

Según el inciso 1.4.17.5 ecuación 17, la masa del oxígeno se calcula de la siguiente forma:

$$m_{O_2} = \frac{P_o V_{Total}}{RT_{abs}} \quad (34)$$

$$m_{O_2} = \frac{354,637 \text{ KPa} * 0,162 \text{ m}^3}{0,2598 \frac{KPa - m^3}{Kgmasa^\circ K} (298 \text{ K})}$$

$$m_{O_2} = 0,742 \text{ kg}$$

**b. Volumen ( $V_{O_2}$ )**

Según el inciso 1.4.17.5 ecuación 18, el volumen del oxígeno se calcula de la siguiente manera:

$$\rho_{O_2} = \frac{m_{O_2}}{V_{O_2}} \rightarrow V_{O_2} = \frac{m_{O_2}}{\rho_{O_2}} \quad (35)$$

$$V_{O_2} = \frac{0,742 \text{ kg}}{1,335 \text{ kg/m}^3}$$

$$V_{O_2} = 0,555 \text{ m}^3$$

- El cálculo de la masa y el volumen del oxígeno medicinal se pueden realizar haciendo uso de las mismas ecuaciones, únicamente cambiando la presión de operación, dependiendo de las necesidades del usuario.

### 2.4.12.8 Cálculo de la masa del cuerpo principal del prototipo en condiciones de operación

Según el inciso 1.4.17.6 ecuación 19, el peso del cuerpo principal de la cámara se calcula de la siguiente forma:

$$m = \sum m \quad (36)$$

$$m = m_{\text{prototipo}} + m_{\text{accesorios}} + m_{\text{paciente}} + m_{O_2}$$

$$m = 75,84 \text{ kg} + 7,5 \text{ kg} + 30 \text{ kg} + 0,555 \text{ kg}$$

$$m = 113,895 \text{ kg}$$

### 2.4.12.9 Cálculo de los soportes del prototipo

- **Esfuerzo de compresión**

La estructura del prototipo soporta esfuerzo de compresión ejercidas por el manto cilíndrico, cabezal, compuerta, accesorios y la mascota. En la Figura 22 se representa el soporte del prototipo con su respectivo corte transversal.

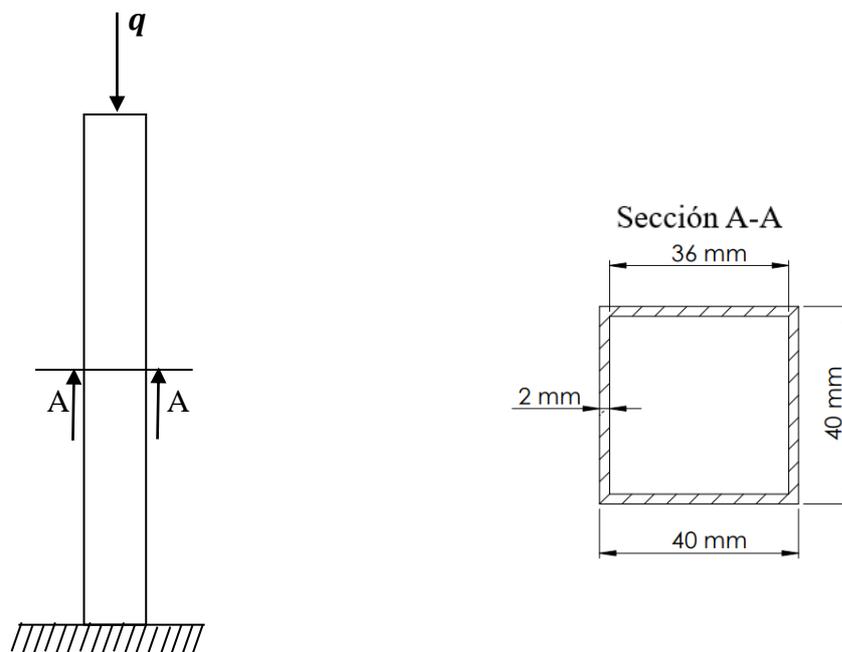


Figura 22. Representación del soporte del prototipo

-Carga para cada columna:

$$q = 113,895 \text{ kg}$$

$$q = \frac{113,895 \text{ kg}}{4} = 28,474 \text{ kg}$$

-Fuerza aplicada en cada columna:

Según el inciso 1.4.17.7 ecuación 21, la fuerza aplicada en cada soporte del prototipo se calcula de la siguiente forma:

$$F = q * g \quad (37)$$

$$F = 28,474 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F = 279,327 \text{ N}$$

-Área:

$$A = A_2 - A_1 \quad (38)$$

$$A_2 = 40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} = 160 \text{ mm}^2 = 16 \text{ cm}^2$$

$$A_1 = (40 \text{ mm} - 2(2 \text{ mm})) \times (40 \text{ mm} - 2(2 \text{ mm})) = 1296 \text{ mm}^2 = 12,96 \text{ cm}^2$$

$$A = 16 \text{ cm}^2 - 12,96 \text{ cm}^2$$

$$A = 3,04 \text{ cm}^2$$

-Esfuerzo de compresión:

El esfuerzo de compresión de los soportes se calcula haciendo uso de la ecuación 20 del inciso 1.4.17.7. como se muestra a continuación:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (39)$$

$$\sigma = \frac{279,327 \text{ N}}{3,04 \text{ cm}^2}$$

$$\sigma = 91,88 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} * \left(\frac{100}{1 \text{ m}}\right)^2$$

$$\sigma = 918840,419 \text{ Pa}$$

$$\sigma = 0,918 \text{ MPa}$$

-Esfuerzo de compresión que soporta cada columna:

De acuerdo al resultado obtenido, cada columna soporta un esfuerzo de compresión de 0,918 MPa.

-Verificación:

$$\sigma_{calculado} \leq \sigma_{material}$$

Según [36], la resistencia a la compresión que posee el Acero ASTM A36 es de 250 MPa, entonces:

$$0,918 \text{ MPa} \leq 250 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK}$$

- **Carga máxima a soportar**

Para calcular la carga máxima que puede soportar cada columna se determina haciendo uso de la ecuación 22 del inciso 1.4.17.7.

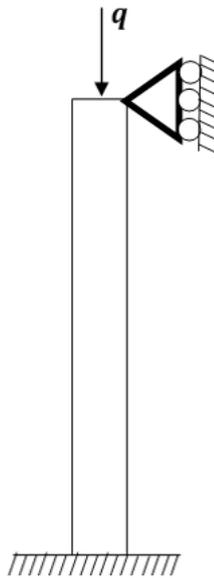


Figura 23. Soporte del prototipo, articulado/fijo

Según el Anexo 12, el valor K recomendado de proyectos para condiciones reales para columnas empotrado/articulado es 0,80. Haciendo uso de la ecuación de la carga crítica o la carga de pandeo de Euler, determinamos:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{Le^2} \quad (40)$$

$$Le = Lk$$

$$Le = 0,27m \times 0,80 = 0,216 m$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 (200 \times 10^9 Pa) (6,95 \times 10^{-8} m^4)}{(0,216 m)^2}$$

$$P_{cr} = 2940404,26 N$$

-Verificación:

Según el inciso 1.4.17.7 ecuación 24, para verificar si el soporte resiste la carga a la que se encuentra sometido, se determina de la siguiente manera:

$$P_{cr} \geq P_{diseño}$$

$$2940404,26 N \geq 279,327 N \rightarrow OK$$

#### 2.4.12.10 Cálculo del tiempo de llenado del prototipo

Según el inciso 1.4.17.8 ecuación 25, el tiempo de llenado del prototipo se calculó de la siguiente forma:

$$Q = 30 L/min$$

$$t = \frac{V_{Total}}{Q} \quad (41)$$

$$t = \frac{0,162 m^3}{30 L/min} * \left( \frac{1000 L}{m^3} \right)$$

$$t = 5,4 min$$

#### 2.4.12.11 Cálculo de la presión de prueba

Teniendo en cuenta el inciso 1.4.6.6, en nuestro caso, tanto la temperatura de diseño como la temperatura de pruebas son las mismas, así que se asume que la relación LSR es igual a 1.

Por lo tanto, la presión de prueba se calcula como:

$$P_p = 1,1 * P_{tM} * LSR \quad (42)$$

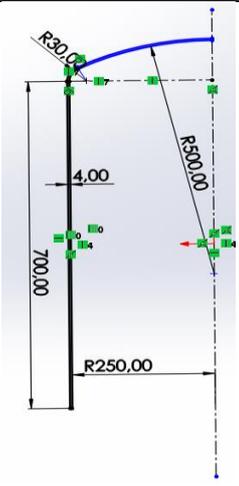
$$P_p = 1,1 * (2 \text{ atm}) * 1$$

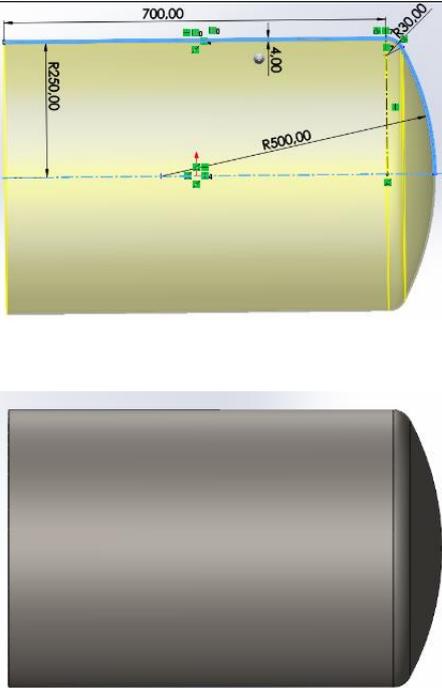
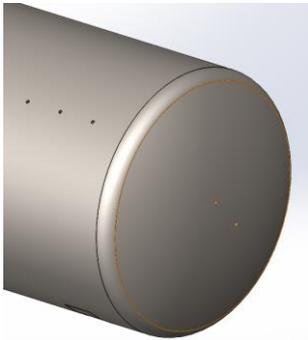
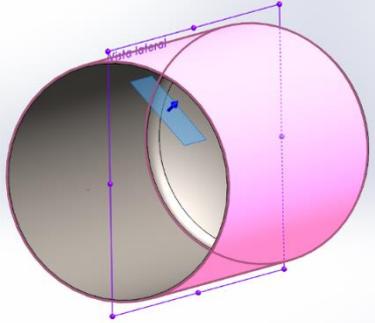
$$P_p = 2,2 \text{ atm} = 32,33 \text{ psi} = 0,223 \text{ MPa}$$

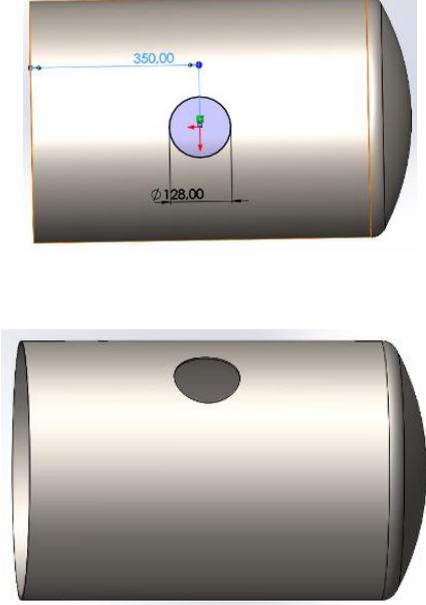
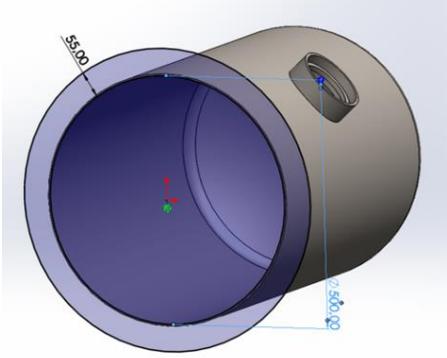
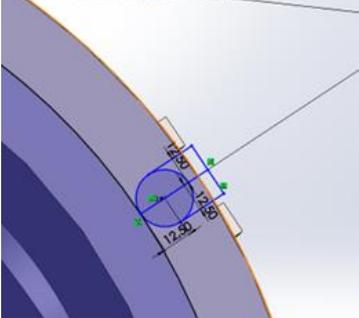
### 2.4.13 Diseño geométrico de la cámara hiperbárica

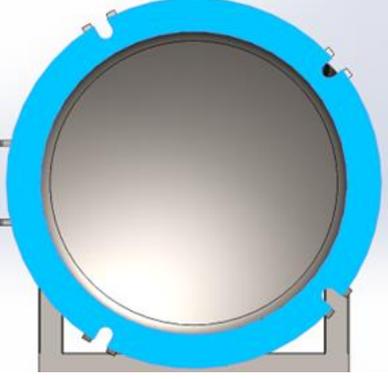
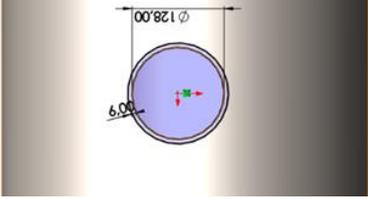
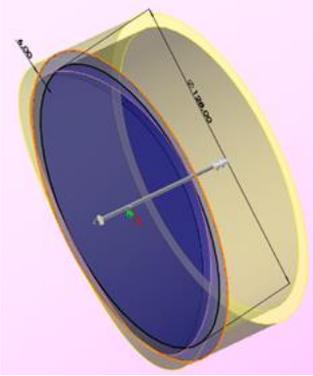
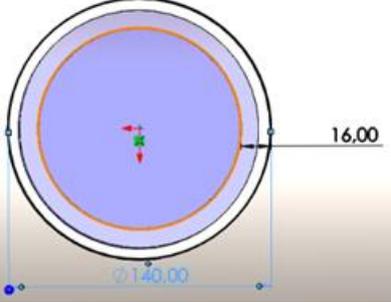
Para la realización del diseño y la simulación se ocupa un software CAD, en este caso, SolidWorks, que permite la rápida generación de geometría del diseño, además de los análisis del comportamiento de los elementos diseñados al ser sometidos a diversas situaciones, con el fin de comprender su comportamiento al ser llevados a la realidad.

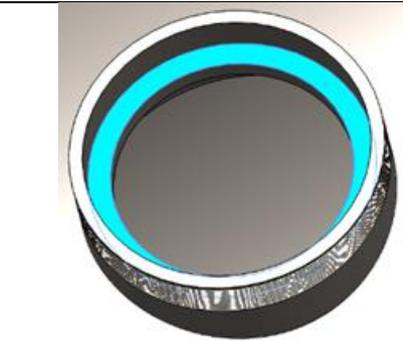
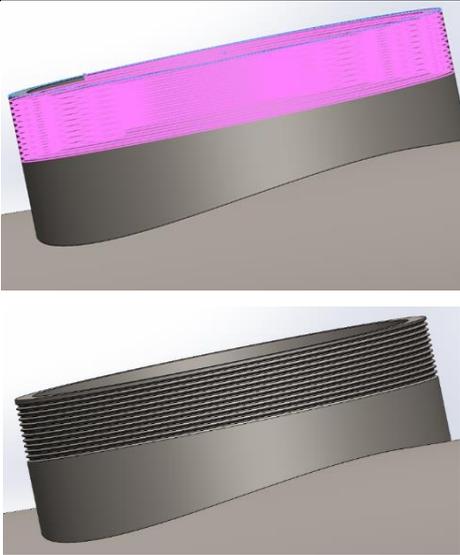
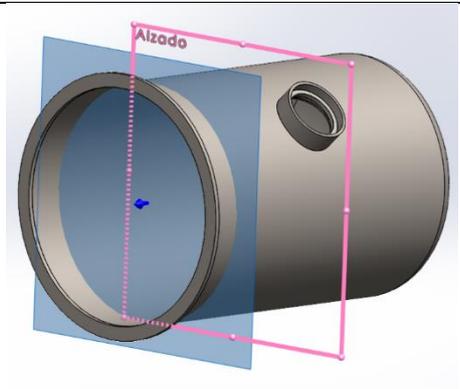
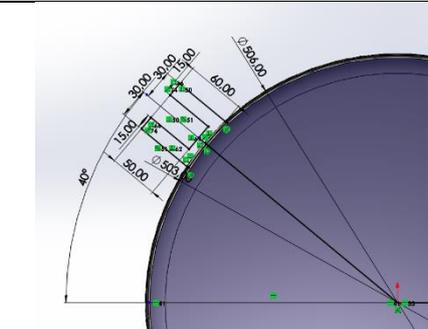
Tabla 22. Desarrollo geométrico de las partes del prototipo de cámara hiperbárica desarrollado en SolidWorks

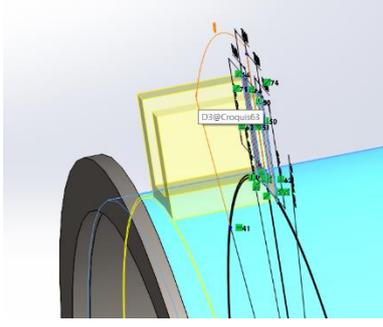
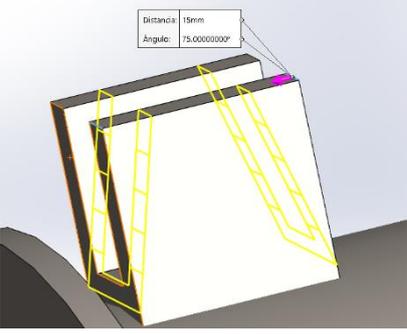
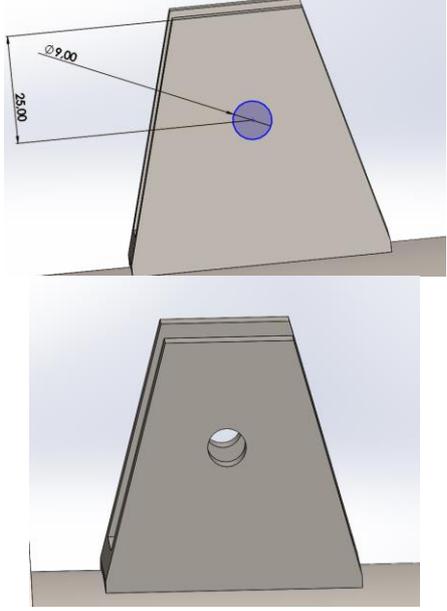
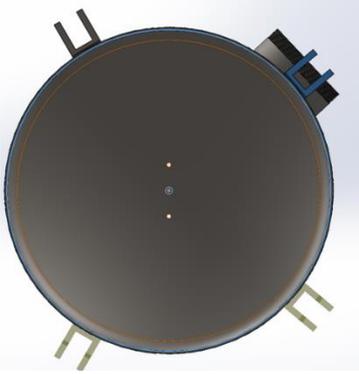
Elemento	#	Desarrollo de los elementos del prototipo	Descripción
Manto cilíndrico y cabezal toriesférico	1		Realizamos el perfil del tanque que conforma el tanque principal, en el que se incluyen el manto cilíndrico y el cabezal toriesférico, con las dimensiones y el espesor calculado.

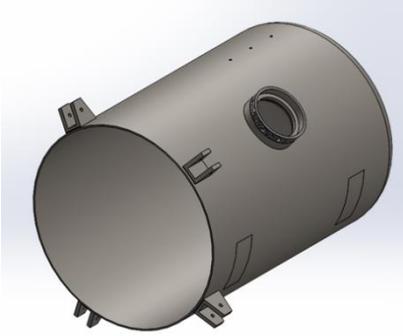
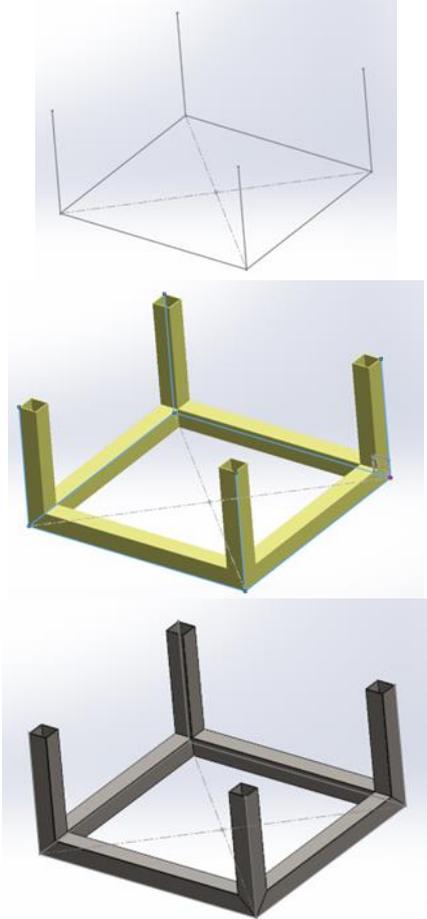
Elemento	#	Desarrollo de los elementos del prototipo	Descripción
	2		<p>Se realiza una operación de revolución para obtener un cuerpo sólido. Se realizan los orificios para accesorios, separadas a 80 mm entre cada una de ellas, posicionando tres orificios en la parte superior y dos orificios en el cabezal toriesférico.</p>
	3		<p>Se realizan 5 perforaciones destinadas al ingreso, salida y control del flujo de gases, dichas perforaciones tienen un diámetro adecuado para acoples de ¼ de pulgada y están separadas</p>
	4		<p>Se establece un ángulo de 43° con referencia en el plano “Planta”, con el fin de desarrollar el espacio para la ventana.</p>

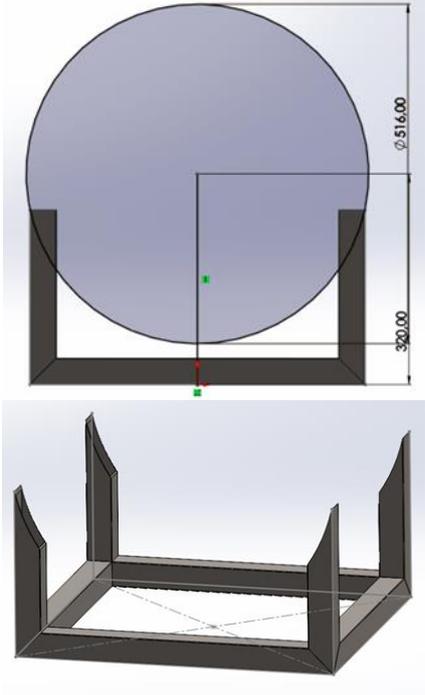
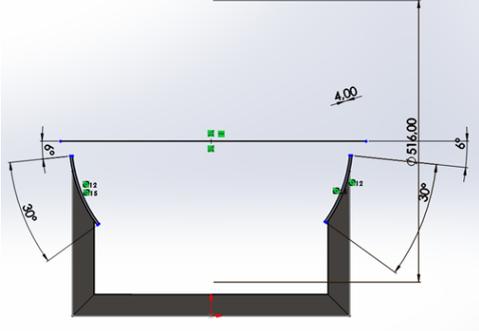
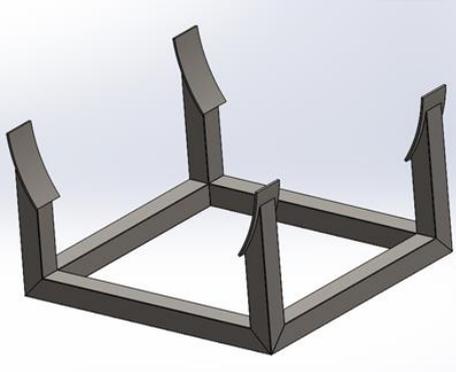
Elemento	#	Desarrollo de los elementos del prototipo	Descripción
	5		<p>Se establecen las dimensiones de corte para la ventana.</p>
Contratapa	1		<p>Se dimensiona y construye la contratapa que cuenta con un espesor de 10 mm. Dicho elemento es el encargado de estar en contacto con el empaque de la compuerta y la compuerta, por lo que este debe ser perfectamente plano.</p>
	2		<p>Se crean los mismos cortes que en la compuerta, que permiten el paso del perno bloqueante.</p>

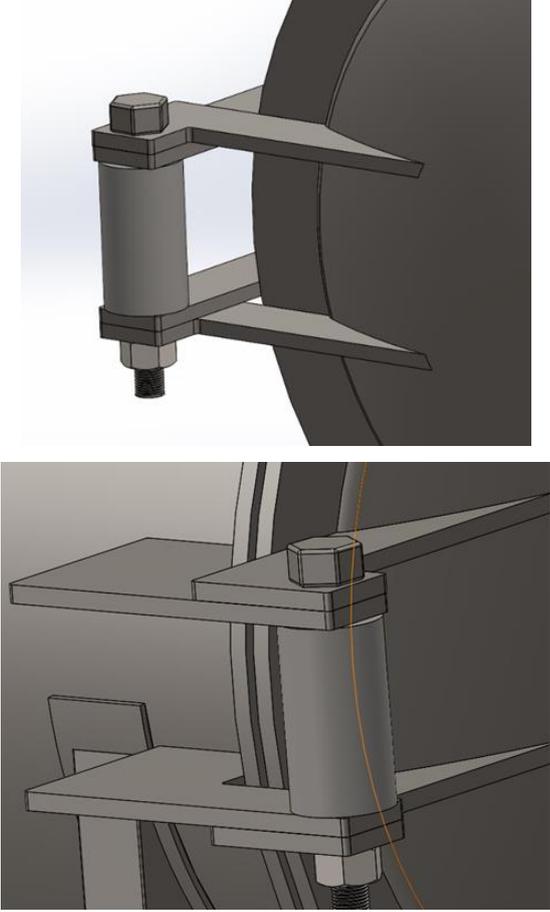
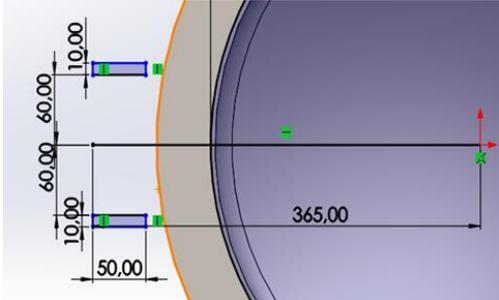
Elemento	#	Desarrollo de los elementos del prototipo	Descripción
	3		<p>Se realiza un corte, en una posición adecuada, y el resto se realiza mediante matrices, separadas por 80° de separación entre sí.</p>
	1	 	<p>Dimensionamiento y creación de la carcasa de la ventana.</p>
	2		<p>Dimensionamiento y desarrollo del asiento del cristal acrílico con sus respectivos empaques, dejando 20 mm para el alojamiento de dichos elementos.</p>

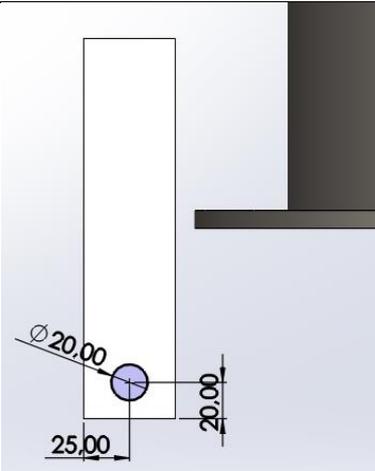
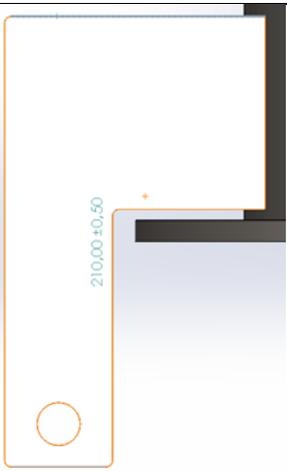
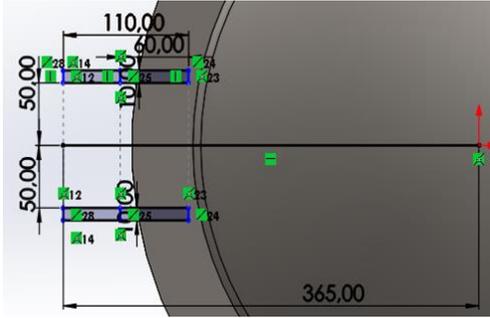
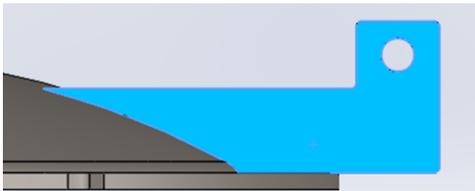
Elemento	#	Desarrollo de los elementos del prototipo	Descripción
			
	3		<p>Para la rosca de la carcasa de la ventana, se realiza una rosca métrica externa de 14 hilos por pulgada, con una longitud total de 20 mm.</p>
Base de pernos bloqueantes	1		<p>Creación de un nuevo plano a 270 mm desde el plano medio del manto cilíndrico.</p>
	2		<p>Dimensionamiento y extrusión del cuerpo que servirá de soporte para los pernos bloqueantes.</p>

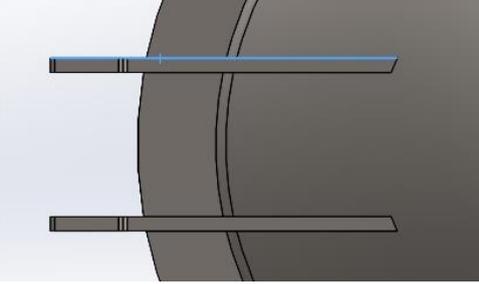
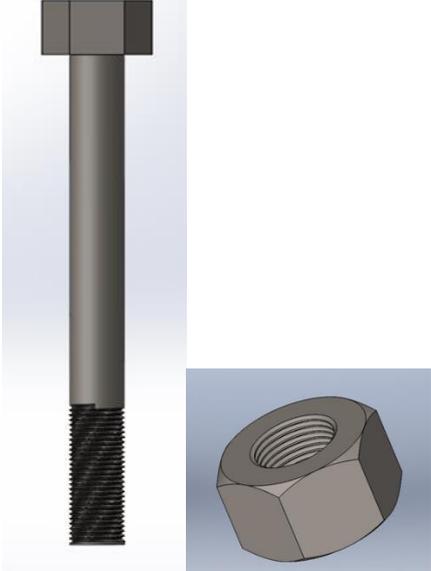
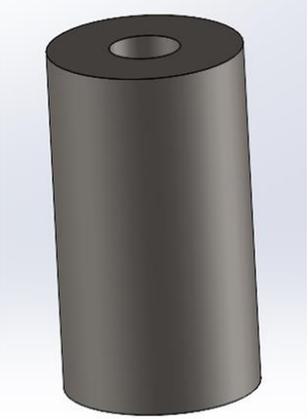
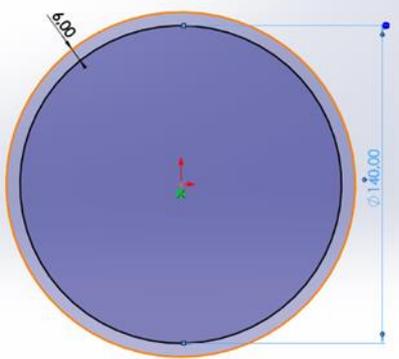
Elemento	#	Desarrollo de los elementos del prototipo	Descripción
			
	3		<p>Se realiza chaflanes a una distancia de 15 mm del lateral y con un ángulo de 75°.</p>
	4		<p>Se dimensiona y realiza un corte de 20 mm de diámetro que será el espacio en el que rotará el perno bloqueante. Se realiza la perforación destinada al perno que servirá de pasador para el perno bloqueante.</p>
	5		<p>Se realizan matrices para extender el sólido a cuatro puntos totales, distribuidos de forma uniforme con una separación de 80°, manteniendo el primer sólido como</p>

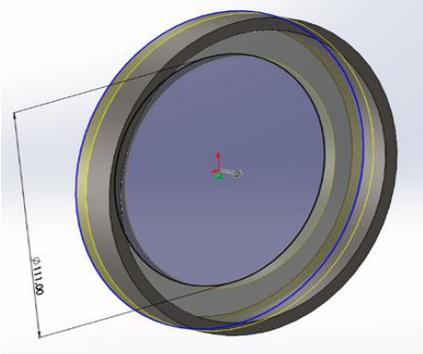
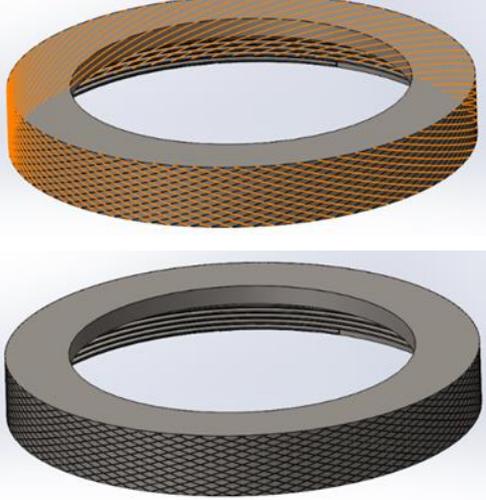
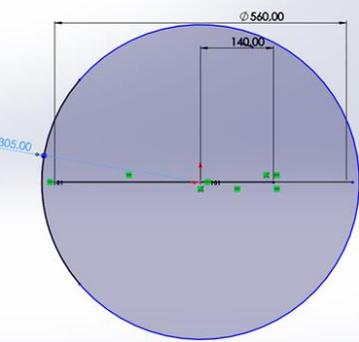
Elemento	#	Desarrollo de los elementos del prototipo	Descripción
	6		<p>referencia.</p> <p>Con esto se obtiene una distribución de puntos de ajuste distribuida de forma uniforme, dejando el espacio adecuado para la bisagra.</p>
Estructura de Soporte	1		<p>Para el soporte se ocuparán tubos de 40x40x2 mm, para lo que dibujamos el perfil de la estructura, con las dimensiones establecidas, usando la función perfil estructural.</p>

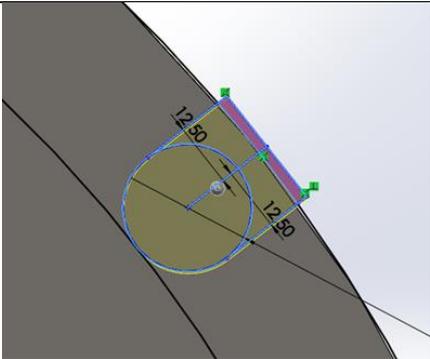
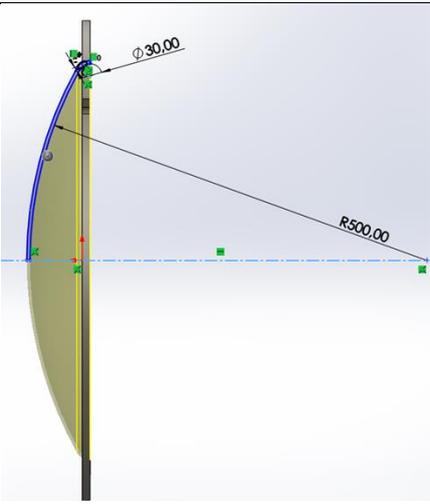
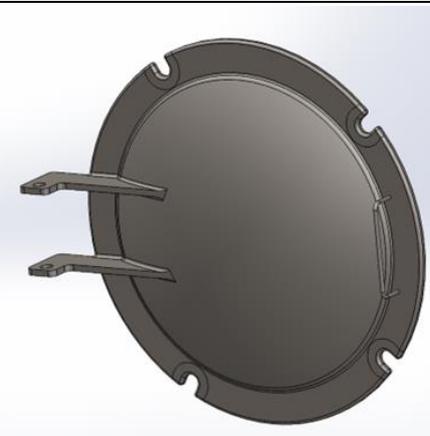
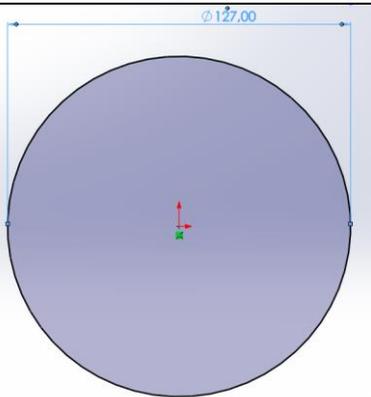
Elemento	#	Desarrollo de los elementos del prototipo	Descripción
	2		<p>Teniendo la estructura lista, procedemos a cortarla según la dimensión del manto cilíndrico, teniendo en cuenta que se agregarán placas soldadas que servirán como pedestal para el manto cilíndrico.</p>
	3		<p>Creamos el croquis para las placas que servirán de pedestal, dichas placas contarán con un espesor de 4 mm y un ancho de 60 mm.</p>
	4		<p>Extruimos las placas, estas deberán ubicarse centradas en cada tubo, logrando así crear un espacio en donde el manto cilíndrico se apoye adecuadamente.</p>

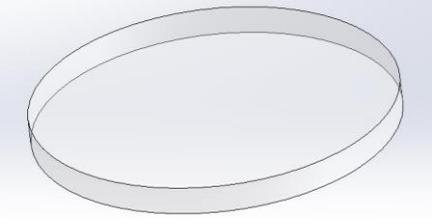
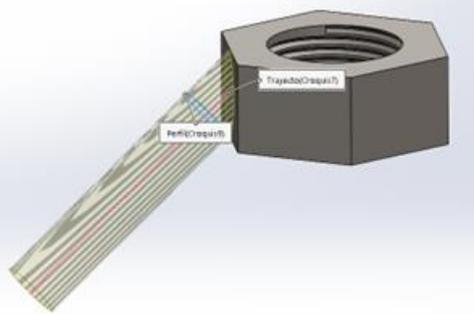
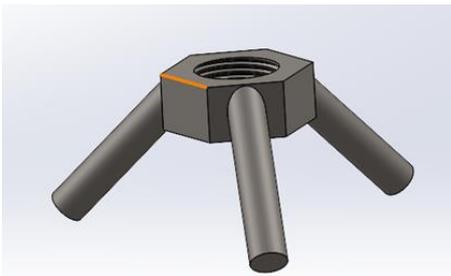
Elemento	#	Desarrollo de los elementos del prototipo	Descripción
Bisagra	1		<p>La bisagra se ubica en la parte izquierda del prototipo, vista desde el frente, esta está compuesta de partes soldadas tanto en el manto cilíndrico como en la compuerta, además de partes desmontables que ayudan al movimiento de apertura y cierre de la misma.</p> <p>La bisagra crea una apertura entre la contratapa y la compuerta de 3 mm, dicho espacio está destinado para el empaque.</p>
	2		<p>Desarrollamos un croquis del Brazo mayor de la bisagra que va soldado al manto cilíndrico cuenta con la siguiente forma y su espesor es de 10 mm, una longitud máxima de 210 mm y una separación entre sus partes de 100mm</p>

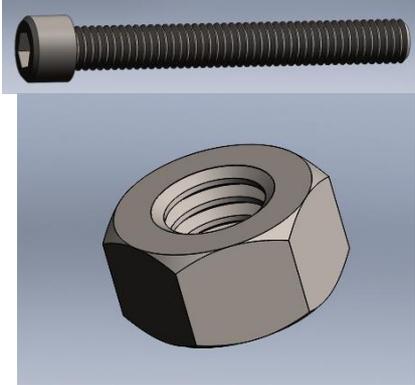
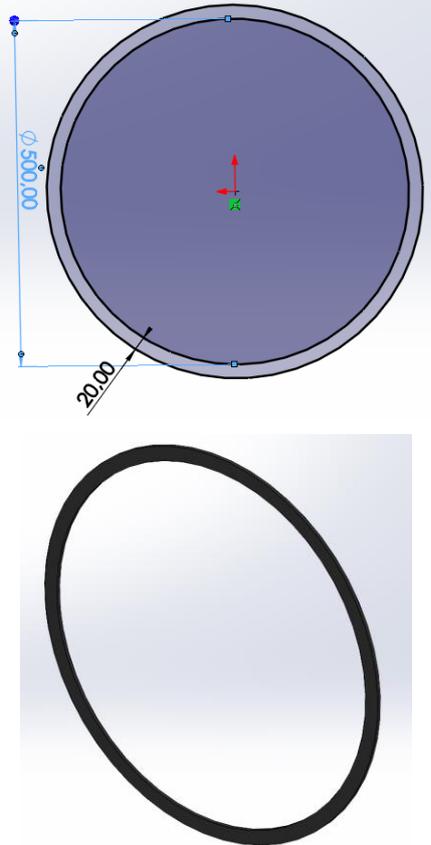
Elemento	#	Desarrollo de los elementos del prototipo	Descripción
			
	3		<p>Extruimos el brazo mayor de la bisagra.</p>
	4		<p>El brazo menor de la bisagra cuenta con un espesor de 10 mm y su separación es de 120 mm. Sus dimensiones se adecuan para dejar un espacio entre la compuerta y la contratapa de 3 mm.</p>
	5		<p>se extruye el brazo menor de la bisagra, estos brazos van soldados tanto a la parte plana de la compuerta, como a su</p>

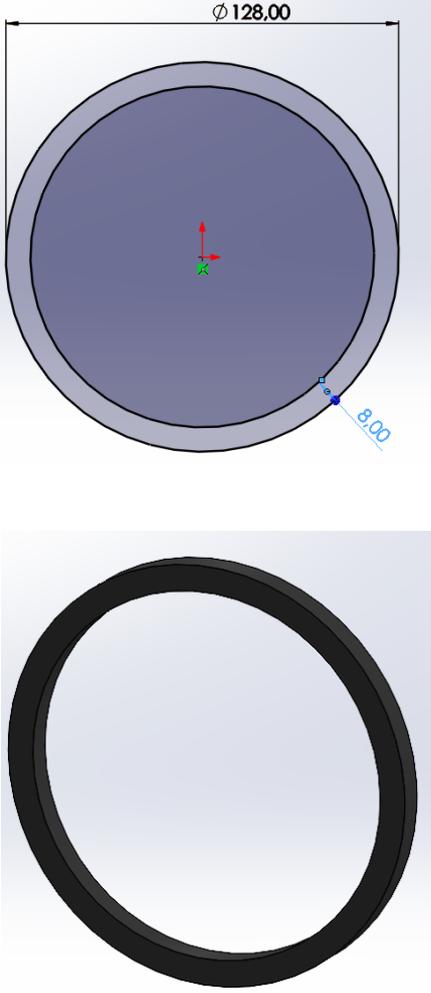
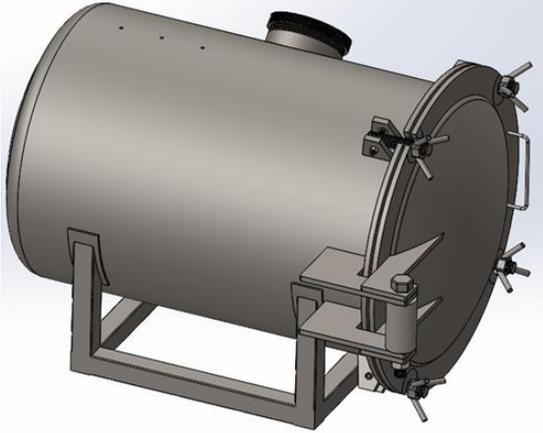
Elemento	#	Desarrollo de los elementos del prototipo	Descripción
			<p>parte toriesférica.</p>
	6		<p>El eje de la bisagra cuenta con un diámetro de <math>\frac{3}{4}</math> de pulgada, una rosca lo 50 mm de longitud y una longitud total de 200 mm, además de una cabeza hexagonal. La tuerca es adecuada ajustarse al roscado del eje.</p>
	7		<p>Cilindro separador, de 100 mm de altura, un diámetro interior de 20 mm y exterior de 60 mm.</p>
Tapa de ventana	1		<p>Dimensionamiento y desarrollo del cuerpo de la tapa.</p>

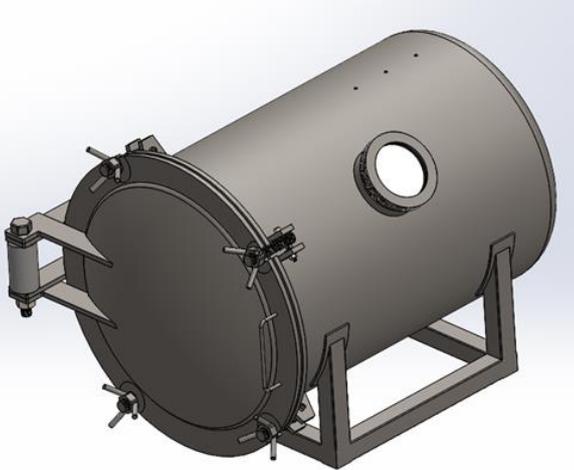
Elemento	#	Desarrollo de los elementos del prototipo	Descripción
	2		Extrusión del cuerpo sólido de la tapa de la ventana.
	3		Se realiza una rosca métrica interna de 14 hilos por pulgada, con una longitud total de 14 mm.
	4		Se realiza una operación de moleteado, de un corte triangular de 0.25 mm a 0.25 revoluciones por hilo y por toda la sección lateral de la tapa.
Compuerta	1		Dimensionamiento de la parte plana de la compuerta, que cuenta con 10 mm de espesor.

Elemento	#	Desarrollo de los elementos del prototipo	Descripción
	2		<p>Se realizan los cortes adecuados para el paso del perno bloqueante, además del corte circular para la parte toriesférica.</p>
	3		<p>Se realiza la parte toriesférica de la compuerta, dimensionándola adecuadamente y realizando una operación de revolución.</p>
	4		<p>Posteriormente se complementa con las piezas de la bisagra, que se mostró anteriormente y agregamos el tirador de la compuerta, que es una varilla lisa de 6 mm de diámetro.</p>
Cristal de la ventana	1		<p>Acrílico que cuenta con un espesor de 10 mm y las dimensiones mostradas.</p>

Elemento	#	Desarrollo de los elementos del prototipo	Descripción
			
Perno bloqueante	1		Eje roscado de 200 mm de largo y diámetro de 7/8 de pulgada, (22.22 mm) cuenta con una perforación cuyo centro está ubicado a 15 mm de uno de los extremos, su diámetro es de 8 mm y este será destinado al paso de un perno que servirá de punto de rotación para el movimiento del perno.
Tuerca bloqueante	1		Tuerca mariposa compuesta por una tuerca adecuada para el eje roscado del perno bloqueante
	2		Cuenta con tres patas destinadas a ejercer torsión, cuyo diámetro es de 1/2 pulgada (12.5mm) que están soldadas a 45° de inclinación de las caras planas de la

Elemento	#	Desarrollo de los elementos del prototipo	Descripción
			<p>tuerca.</p>
<p>Pasador de Perno bloqueante</p>	<p>1</p>		<p>Tornillo Allen de 5/16 y 2 ½ pulgadas de longitud y su respectiva tuerca.</p>
<p>Empaque de la compuerta</p>	<p>1</p>		<p>Dimensionamiento del empaque. Este cuenta con 5 mm de espesor.</p>

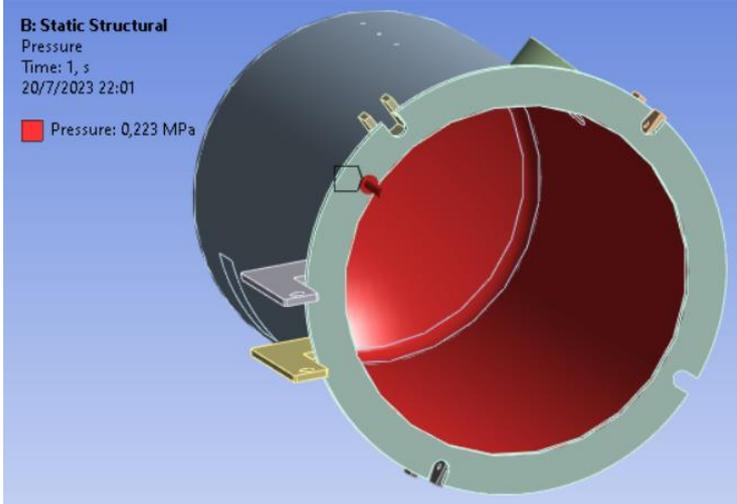
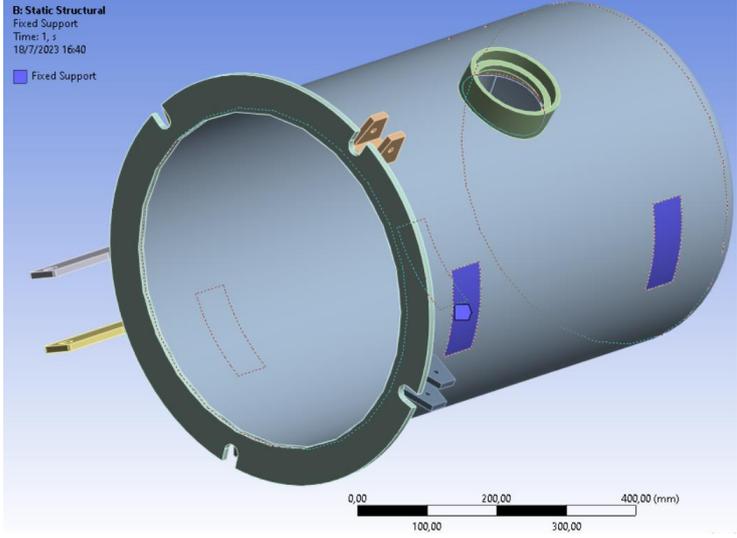
Elemento	#	Desarrollo de los elementos del prototipo	Descripción
Empaque de la ventana	1		<p>Dimensionamiento del empaque de la ventana. Este cuenta con 8 mm de espesor.</p>
Ensamblaje final	1		<p>El ensamblaje de la cámara hiperbárica cuenta con los elementos mostrados anteriormente.</p> <p>La bisagra brinda movilidad a la compuerta.</p>

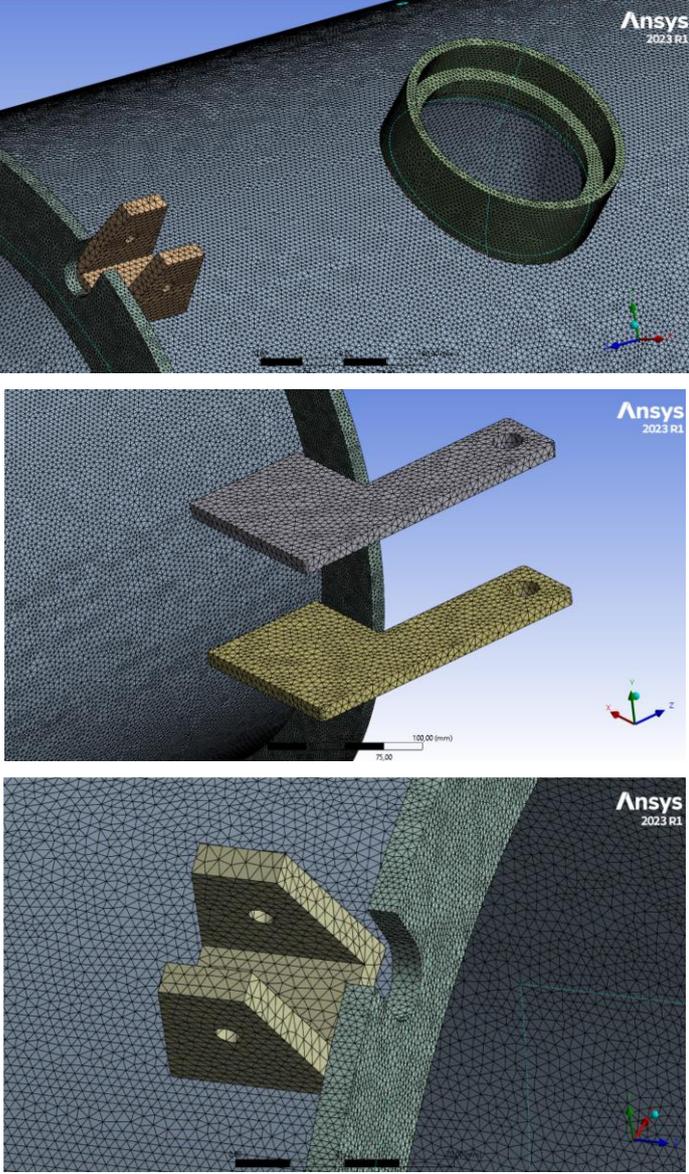
Elemento	#	Desarrollo de los elementos del prototipo	Descripción
	2		<p>La ventana cuenta con dos empaques, uno antes del cristal acrílico y otro sobre el mismo, antes de la colocación de la tapa, con el fin de evitar el contacto directo del acrílico con el acero y asegurar un adecuado sellado de dicha sección.</p>
	3		<p>Vista con la compuerta abierta.</p>

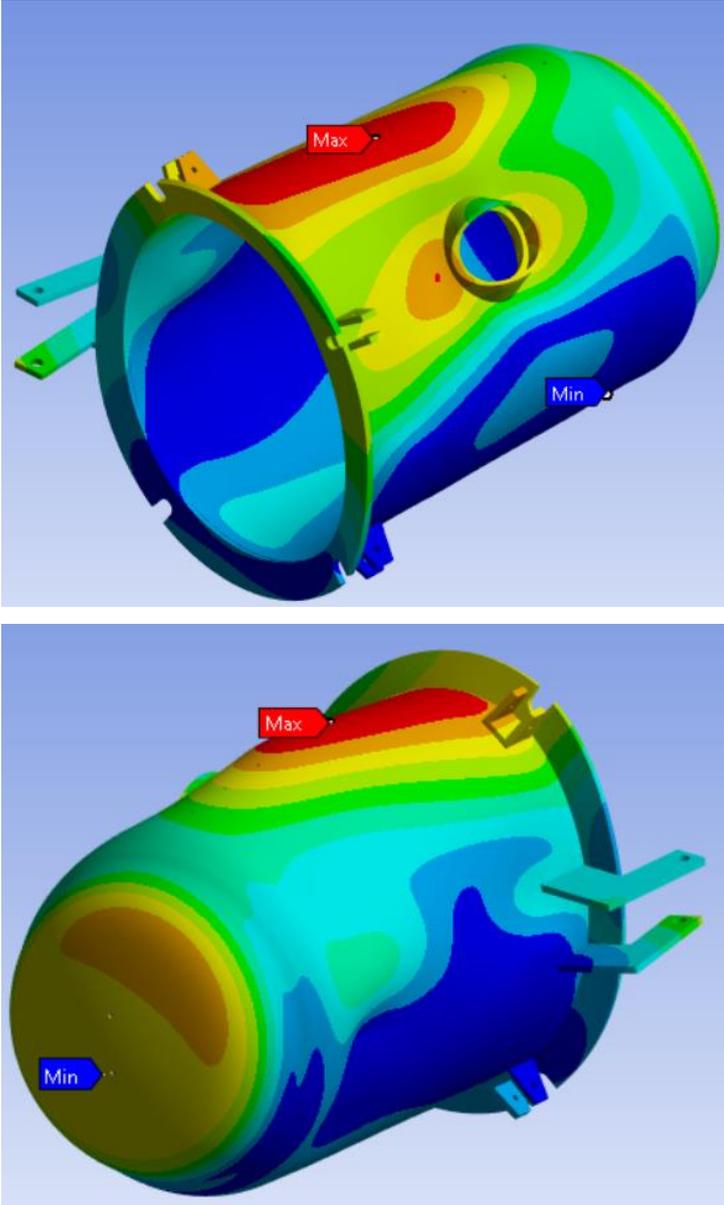
#### 2.4.14 Análisis y simulación de los componentes del prototipo de la cámara hiperbárica

Para el desarrollo de simulaciones se ocupa un programa CAD/CAE, en este caso tanto SolidWorks y ANSYS, que nos permitió simular diversas condiciones de funcionamiento al prototipo durante los análisis, con el fin de replicar lo mejor posible las condiciones de funcionamiento.

Tabla 23. Análisis estructural aplicado al manto cilíndrico y cabezal toriesférico en ANSYS

Proceso	Simulación en Software	Descripción
Presión interna	 <p>B: Static Structural Pressure Time: 1, s 20/7/2023 22:01 Pressure: 0,223 MPa</p>	<p>Se aplica a las caras internas del cuerpo, una presión interna de 2,2 ATA (0,223 MPa), que es la presión de prueba calculada previamente, según el código ASME sección VIII.</p>
Soportes	 <p>B: Static Structural Fixed Support Time: 1, s 18/7/2023 16:40 Fixed Support</p> <p>0,00 100,00 200,00 300,00 400,00 (mm)</p>	<p>Ubicación de los puntos de contacto del manto cilíndrico con el soporte de la cámara hiperbárica.</p>

Proceso	Simulación en Software	Descripción
Mallado		<p>Desarrollo del mallado del cuerpo.</p> <p>Para esto se realiza un método de tetraedros con un tamaño mínimo de elementos de 5 mm, obteniendo una malla de una calidad aceptable promedio de 0,795.</p>

Proceso	Simulación en Software	Descripción
Cálculo de desplazamientos	<div data-bbox="746 282 880 546" style="border: 1px solid black; padding: 2px; font-size: 8px;"> <b>B: Static Structural</b>            Total Deformation            Type: Total Deformation            Unit: mm            Time: 1 s            20/7/2023 23:22         </div> 	<p>El máximo desplazamiento que se produce en el manto cilíndrico es de 0,18321 mm ubicado en la parte superior del manto cilíndrico.</p> <p>El máximo desplazamiento que se presenta en el cabezal toriesférico es de aproximadamente 0,16285 mm.</p> <p>El máximo desplazamiento en la contratapa es de aproximadamente 0,14249 mm.</p>

Proceso	Simulación en Software	Descripción
Cálculo de tensión equivalente	<div data-bbox="667 282 967 712" style="background-color: #e0e0e0; padding: 5px; border: 1px solid #ccc;"> <p><b>B: Static Structural</b>            Equivalent Stress            Type: Equivalent (von-Mises) Stress            Unit: MPa            Time: 1 s            20/7/2023 23:21</p> <p><b>141,77 Max</b>            126,02            110,27            94,514            78,762            63,009            47,257            31,505            15,752  <b>2,9206e-7 Min</b></p> </div> <div data-bbox="453 730 1177 1279" style="text-align: center;"> </div> <div data-bbox="453 1301 1177 1850" style="text-align: center;"> </div>	<p>Con Von Mises se obtuvo un esfuerzo equivalente máximo de 141,77 MPa, que es mucho menor a la resistencia a la fluencia o límite elástico del acero ASTM A36 que se indica en la Tabla 6, que es de 250 MPa.</p>

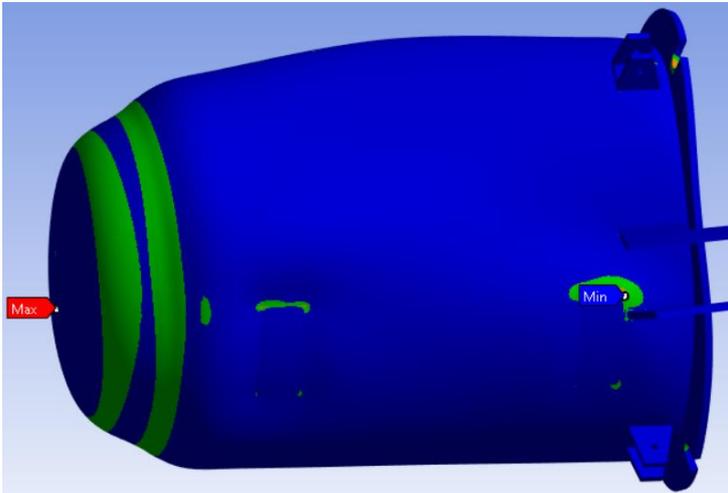
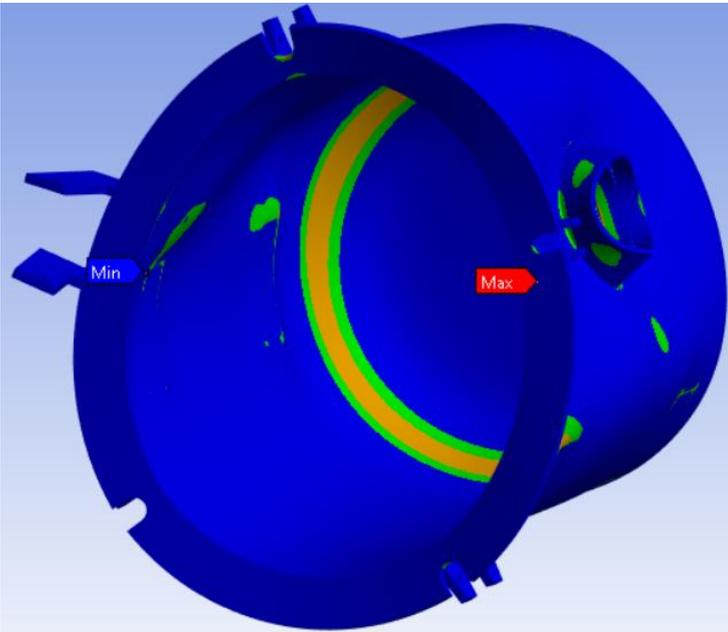
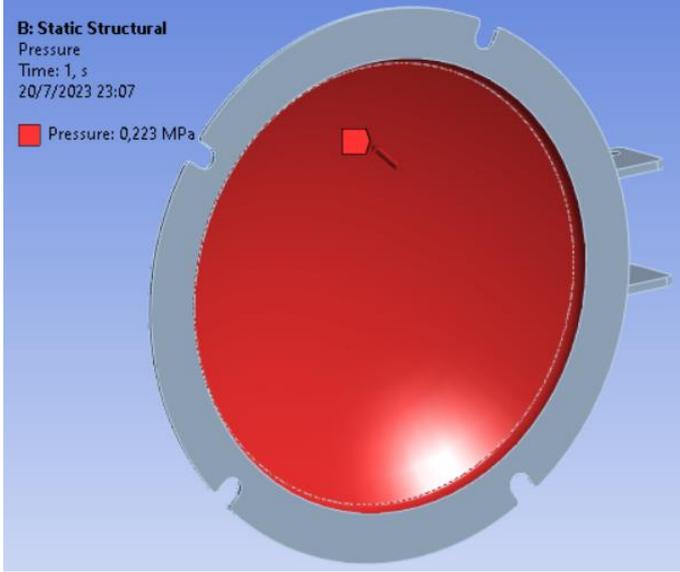
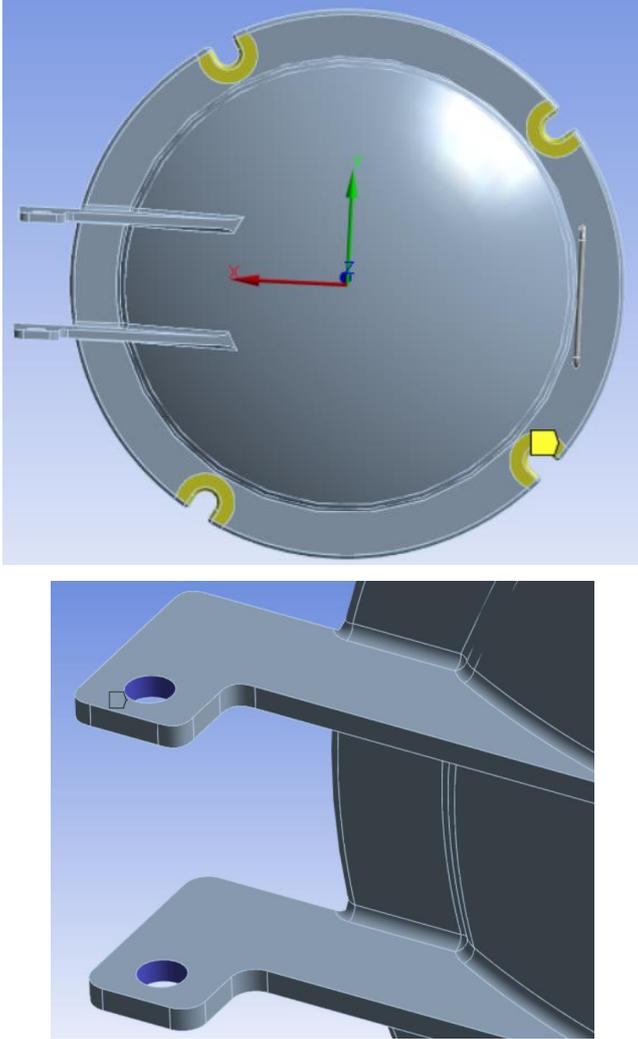
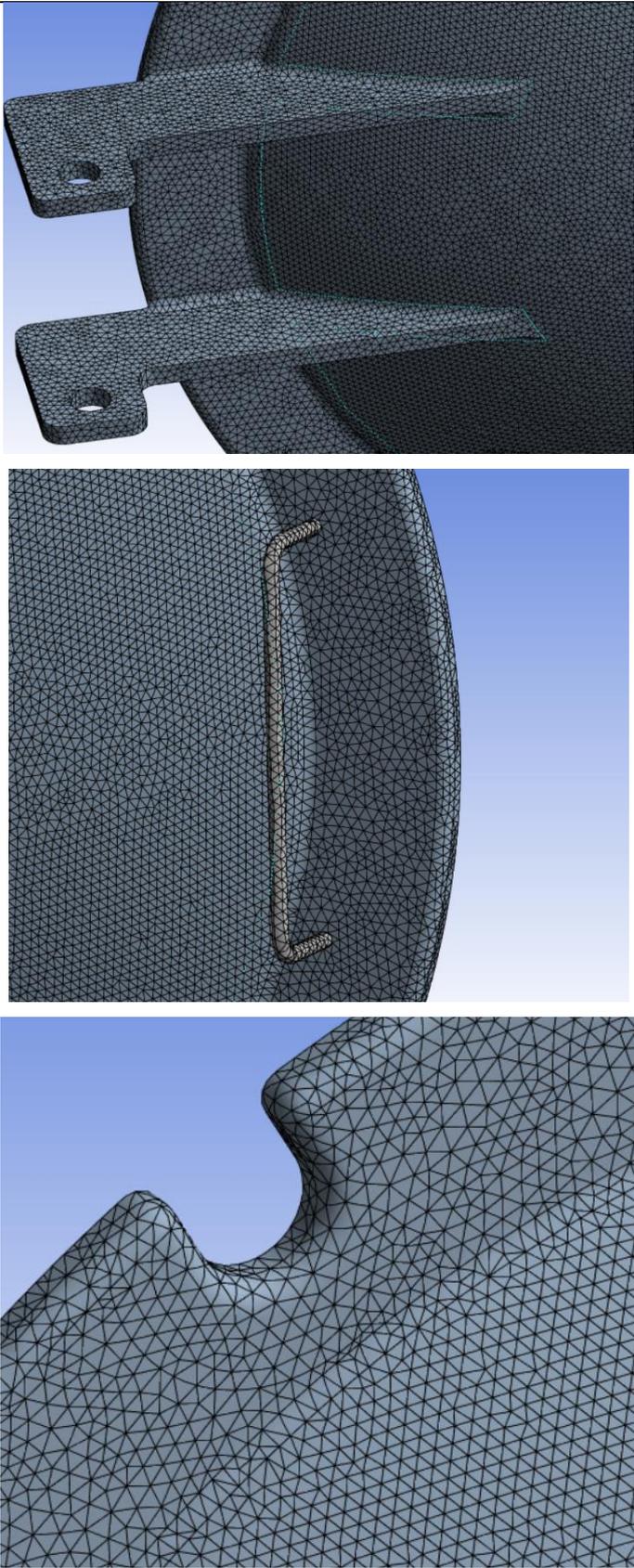
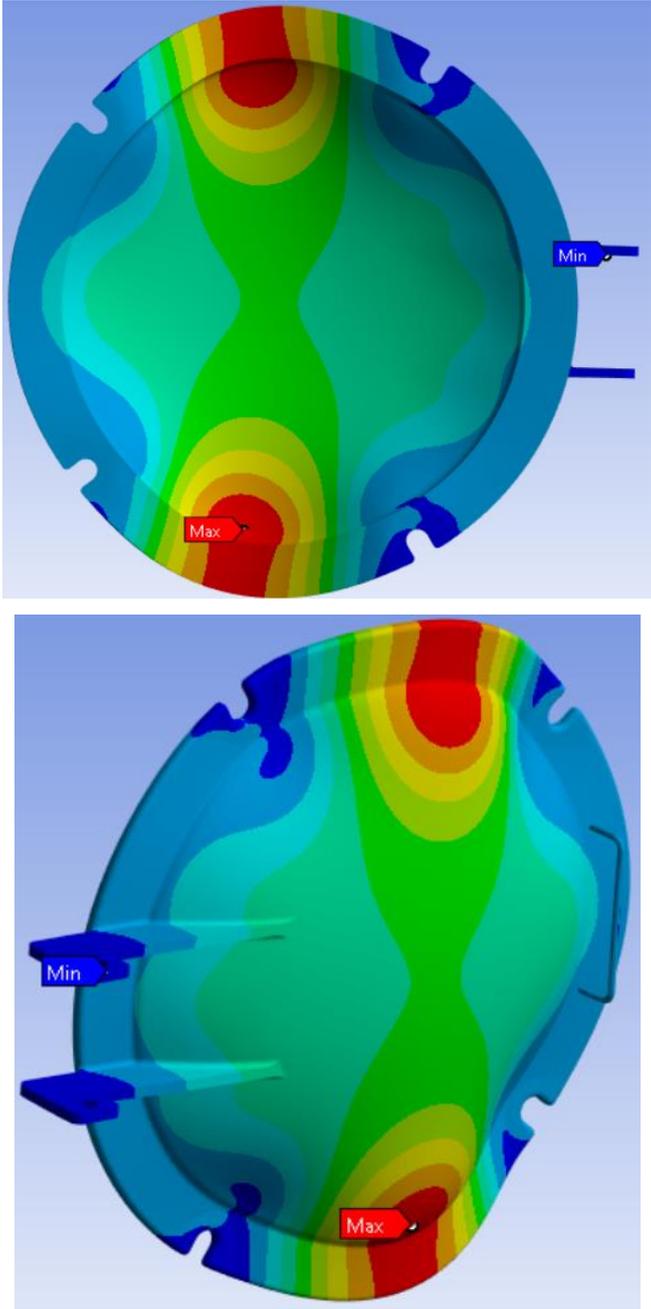
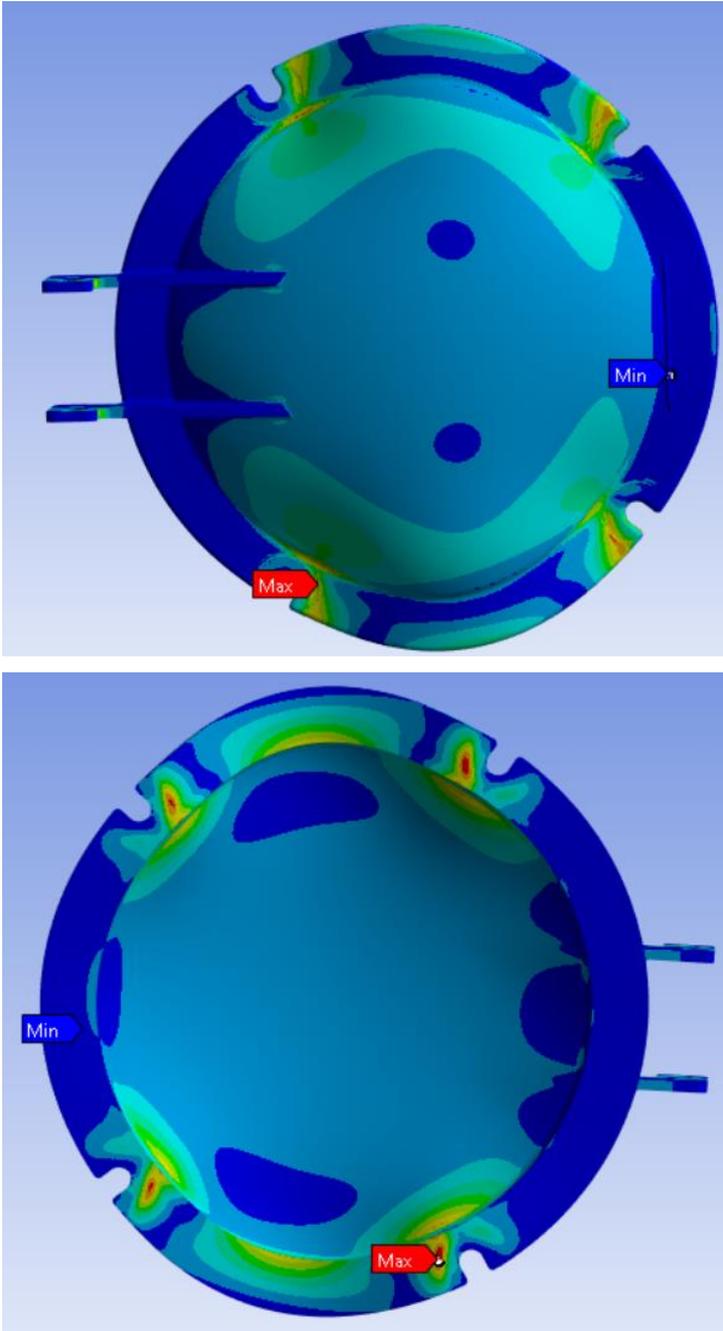
Proceso	Simulación en Software	Descripción
Factor de seguridad	<div data-bbox="687 286 946 692" style="border: 1px solid black; padding: 5px; background-color: #e0e0ff;"> <p><b>B: Static Structural</b>            Safety Factor            Type: Safety Factor            Time: 1            20/7/2023 22:46</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: blue; margin-right: 5px;"></div> 15 Max  <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: green; margin-right: 5px; margin-left: 10px;"></div> 10  <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: yellow; margin-right: 5px; margin-left: 10px;"></div> 5  <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: orange; margin-right: 5px; margin-left: 10px;"></div> 1,7634 Min  <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: red; margin-right: 5px; margin-left: 10px;"></div> 0         </div> </div> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;">   </div>	<p>Según el código ASME, sección VIII, el factor de seguridad mínimo para un recipiente a presión debe ser de 1,5.</p> <p>En nuestro caso, el factor de seguridad mínimo es de 1,7634; por lo tanto, el diseño cumple con lo establecido.</p>

Tabla 24. Análisis estructural a la compuerta en ANSYS

Proceso	Simulación en Software	Descripción
Presión interna		<p>Se aplica a las caras internas de la compuerta, una presión de 2,2 ATA (0,223 MPa), que es la presión de prueba calculada previamente, según el código ASME sección VIII.</p>
Soportes		<p>Ubicación de los puntos de en los que se sostiene la compuerta, tanto en donde esta pivota (bisagra) como en las caras en donde se ajustan los pernos bloqueantes.</p>

Proceso	Simulación en Software	Descripción
Mallado		<p>Desarrollo del mallado del cuerpo.</p> <p>Para esto se realiza un método de tetraedros con un tamaño mínimo de elementos de 5 mm, obteniendo una malla de una calidad aceptable promedio de 0,803.</p>

Proceso	Simulación en Software	Descripción																				
Cálculo de desplazamientos	<div data-bbox="703 282 898 667" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p><b>B: Static Structural</b>            Total Deformation            Type: Total Deformation            Unit: mm            Time: 1 s            20/7/2023 23:10</p> <table border="1" style="font-size: small; width: 100%;"> <tr><td style="background-color: red;">0,27827</td><td>Max</td></tr> <tr><td style="background-color: orange;">0,24735</td><td></td></tr> <tr><td style="background-color: yellow;">0,21643</td><td></td></tr> <tr><td style="background-color: lightgreen;">0,18551</td><td></td></tr> <tr><td style="background-color: green;">0,15459</td><td></td></tr> <tr><td style="background-color: cyan;">0,12368</td><td></td></tr> <tr><td style="background-color: lightblue;">0,092757</td><td></td></tr> <tr><td style="background-color: blue;">0,061838</td><td></td></tr> <tr><td style="background-color: darkblue;">0,030919</td><td></td></tr> <tr><td style="background-color: black;">1,1459e-7</td><td>Min</td></tr> </table> </div> 	0,27827	Max	0,24735		0,21643		0,18551		0,15459		0,12368		0,092757		0,061838		0,030919		1,1459e-7	Min	<p>El máximo desplazamiento que se produce en la compuerta es de 0,27827 mm, ubicado en la parte superior e inferior de la sección media de la compuerta, específicamente en la sección plana que entra en contacto con el empaque.</p> <p>El mínimo desplazamiento es de 1,1459e-7 mm, que se produce en la bisagra.</p>
0,27827	Max																					
0,24735																						
0,21643																						
0,18551																						
0,15459																						
0,12368																						
0,092757																						
0,061838																						
0,030919																						
1,1459e-7	Min																					

Proceso	Simulación en Software	Descripción
Cálculo de tensiones equivalente	<div data-bbox="662 282 940 674" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p><b>B: Static Structural</b>            Equivalent Stress            Type: Equivalent (von-Mises) Stress            Unit: MPa            Time: 1 s            20/7/2023 23:12</p> <p><b>125,71 Max</b></p> <p>111,75            97,779            83,812            69,845            55,878            41,911            27,944            13,978</p> <p><b>0,010644 Min</b></p> </div> 	<p>Con Von Mises se obtuvo un esfuerzo equivalente máximo de 125,71 MPa, que es mucho menor a la resistencia a la fluencia o límite elástico del acero ASTM A36 que se indica en la Tabla 6, que es de 250 MPa.</p>

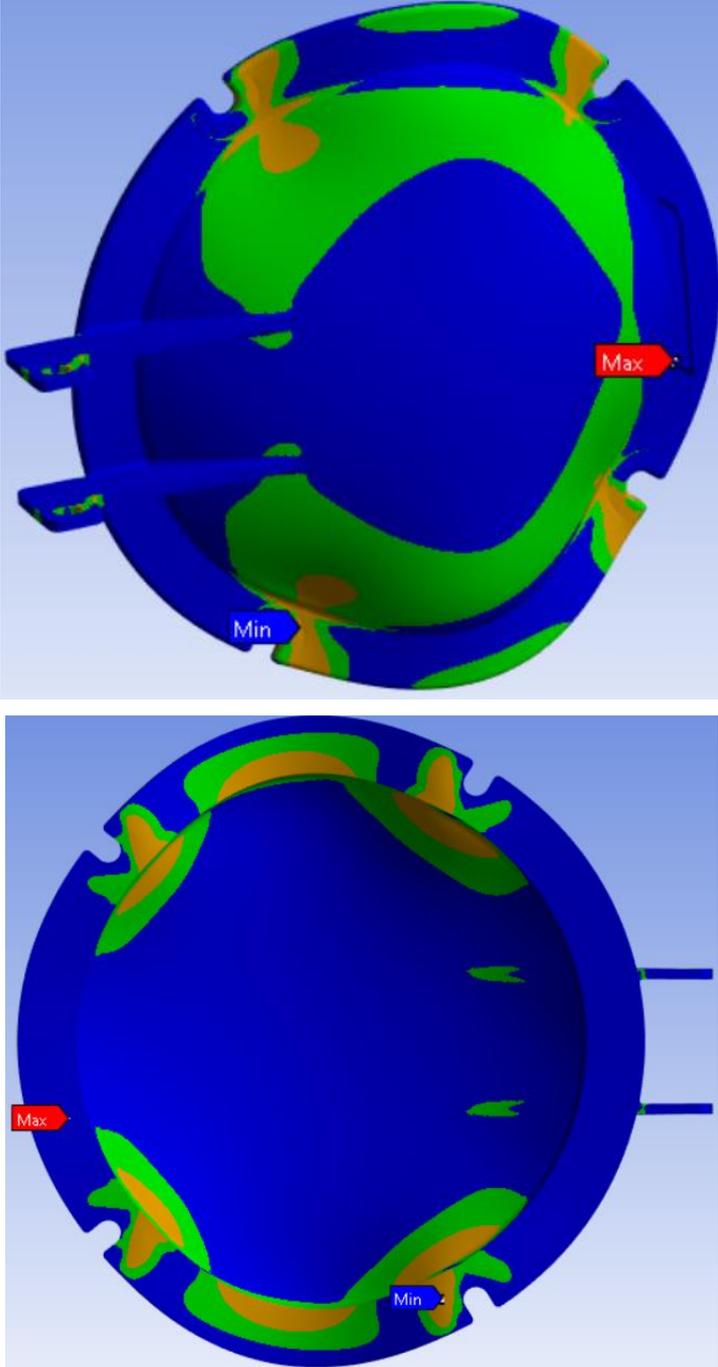
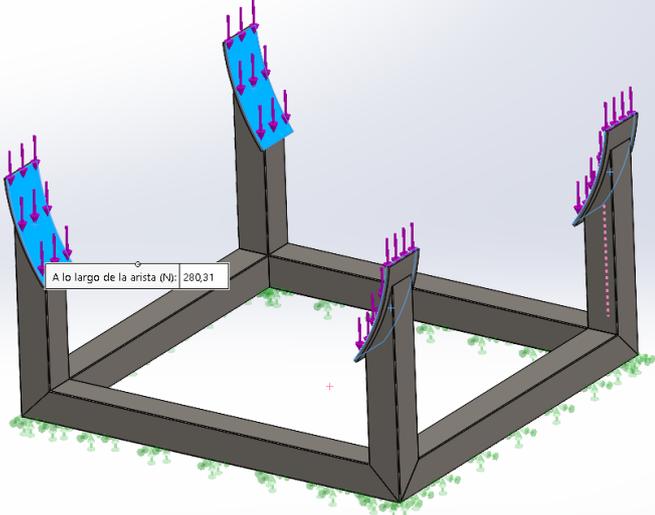
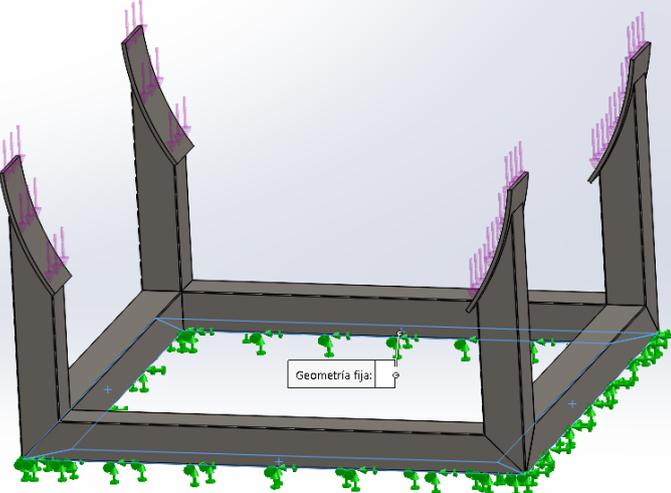
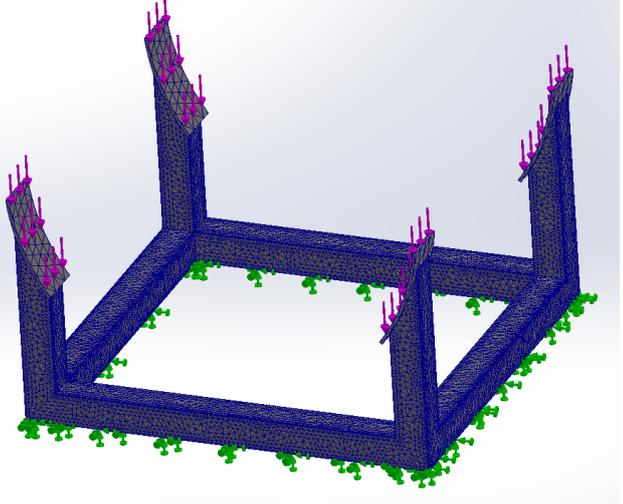
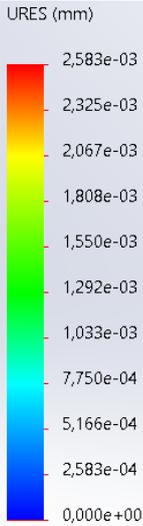
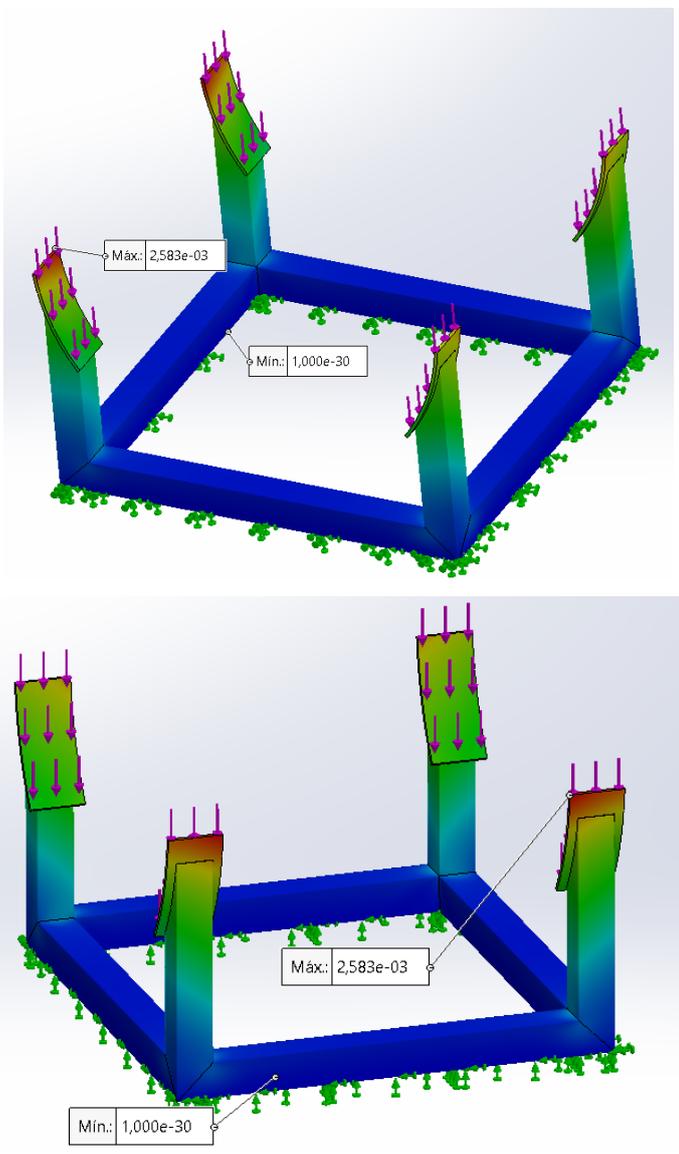
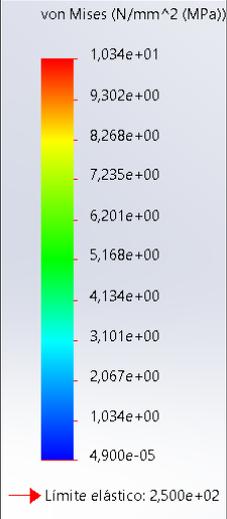
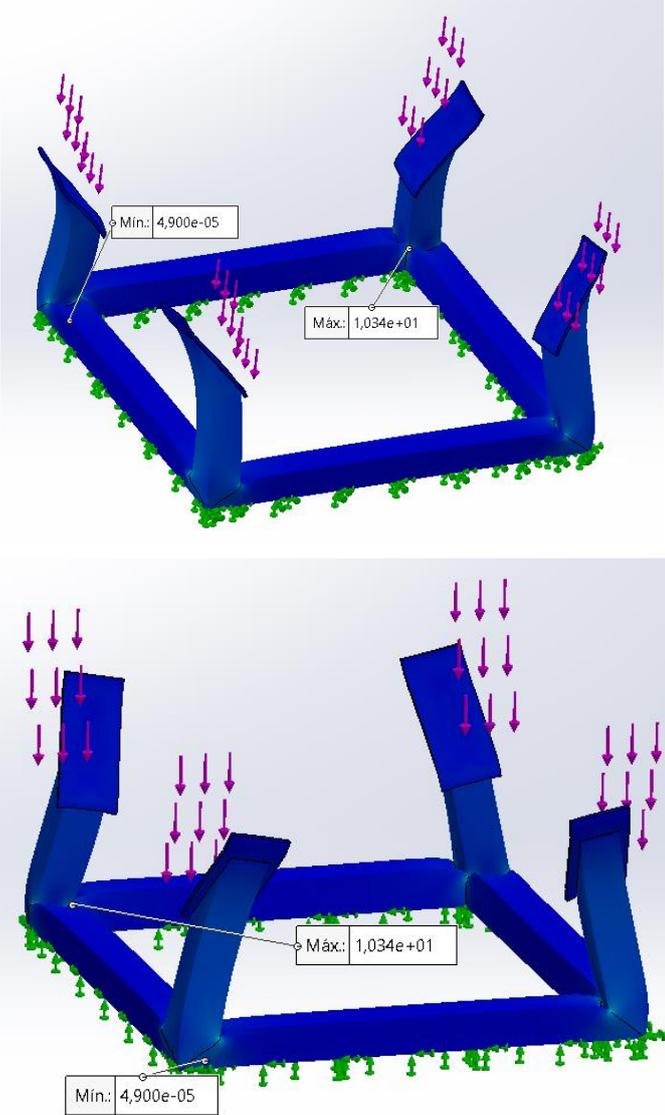
Proceso	Simulación en Software	Descripción
Factor de seguridad	<div data-bbox="699 282 900 595" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p><b>B: Static Structural</b>            Safety Factor            Type: Safety Factor            Time: 1            20/7/2023 23:14</p> <p><b>15 Max</b>            10  <b>1,9887 Min</b>            0</p> </div> 	<p>Según el código ASME, sección VIII, el factor de seguridad mínimo para un recipiente a presión debe ser de 1,5.</p> <p>En nuestro caso, el factor de seguridad mínimo es de 1,9887; por lo tanto, el diseño cumple con lo establecido.</p>

Tabla 25. Análisis estructural del Soporte del prototipo en SolidWorks.

Proceso	Simulación en Software	Descripción
Establecer cargas		<p>Se aplica a las placas de apoyo una carga de 280,31 N, que es la carga calculada en 2.4.12.9. que corresponde a la carga total en funcionamiento.</p>
Soportes		<p>Ubicación de los puntos de contacto del soporte de la cámara hiperbólica y el piso.</p>
Mallado		<p>Desarrollo del mallado del cuerpo. Se realiza un mallado fino.</p>

Proceso	Simulación en Software	Descripción
Cálculo de desplazamientos	<div style="text-align: center;"> <p>URES (mm)</p>  </div> <div style="text-align: center;">  </div>	<p>El máximo desplazamiento que se produce en la estructura del soporte es de <math>2,583e-3</math> mm ubicado en la parte superior de la placa de apoyo del soporte.</p>

Proceso	Simulación en Software	Descripción
Cálculo de tensión equivalente	<div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div>	<p>Con Von Mises se obtuvo un esfuerzo equivalente máximo de 1,034 MPa, que es mucho menor a la resistencia a la fluencia o límite elástico del acero ASTM A36 que se indica en la Tabla 6, que es de 250 MPa.</p>

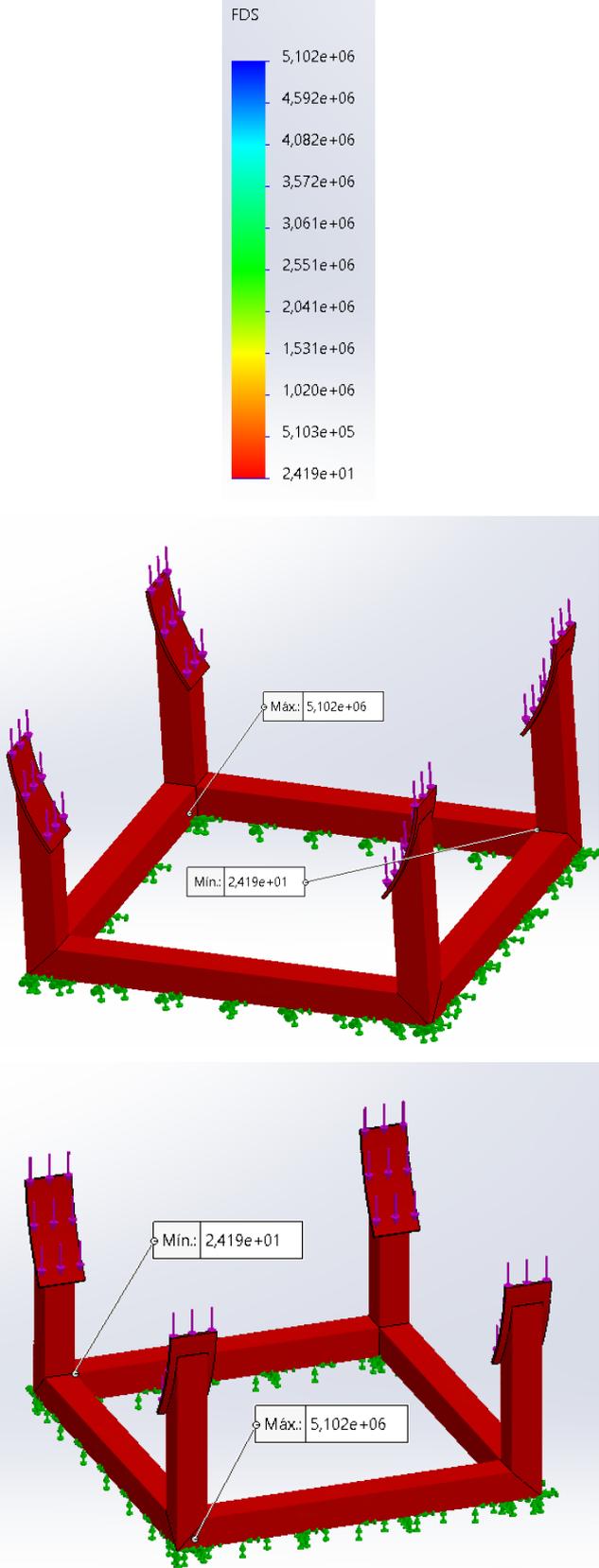
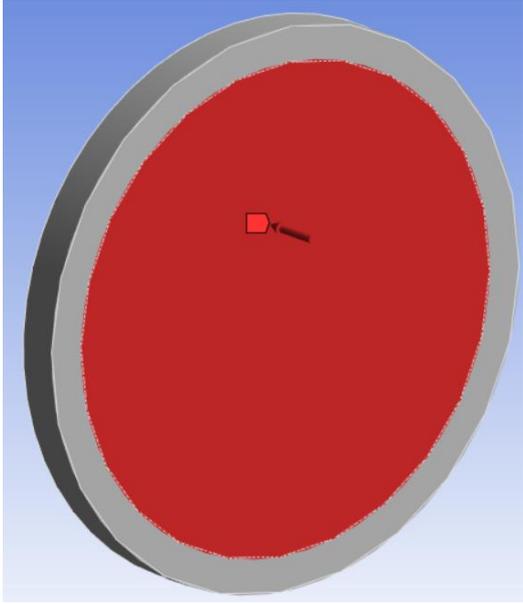
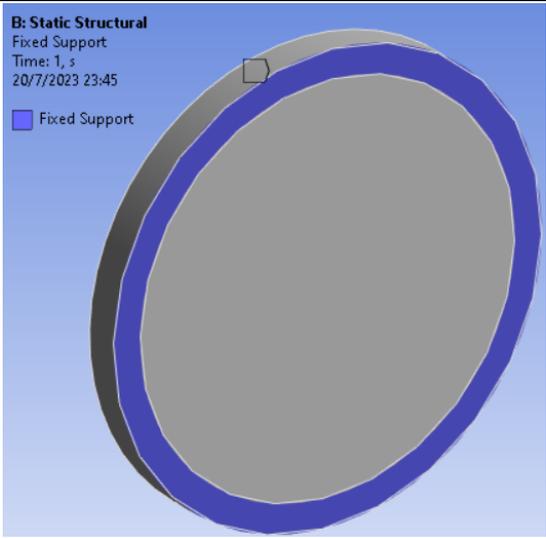
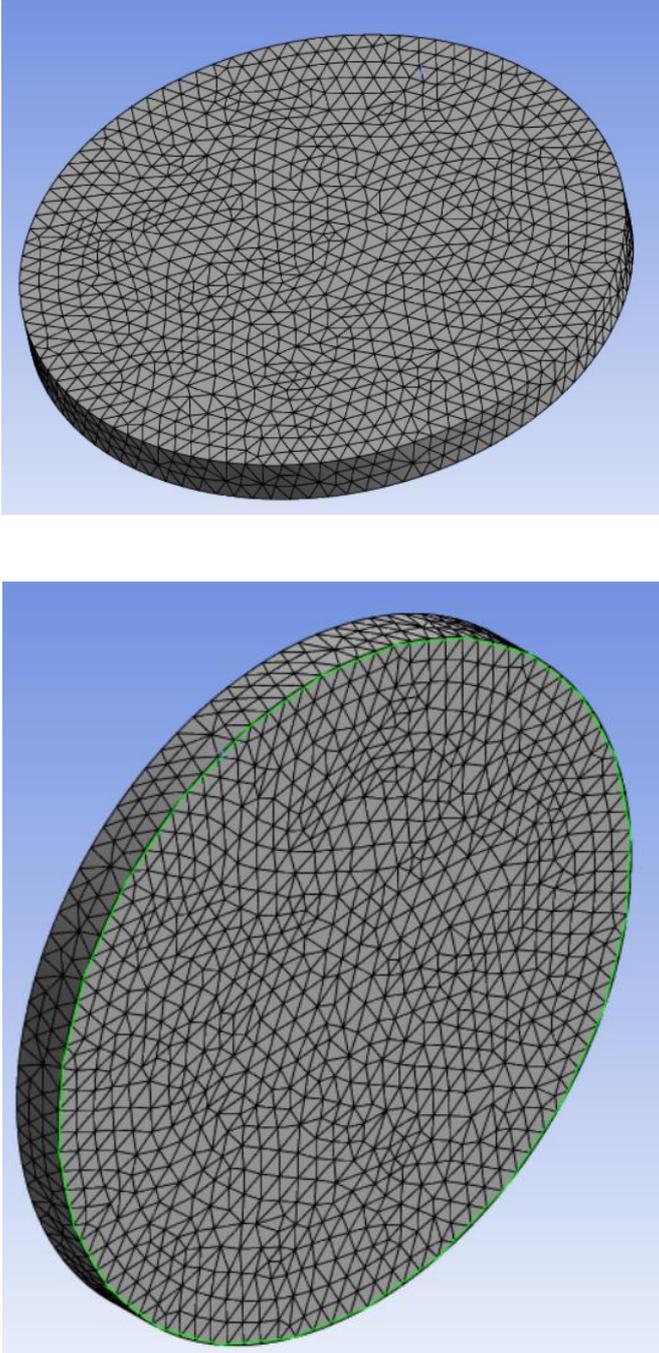
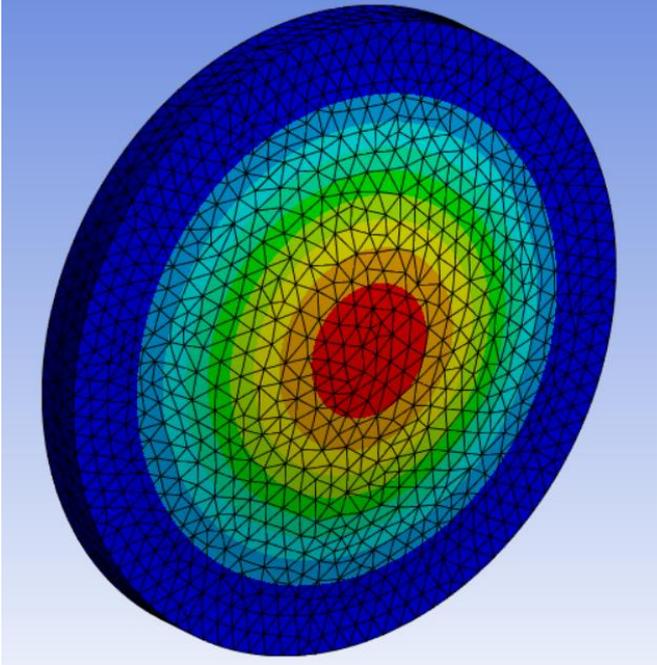
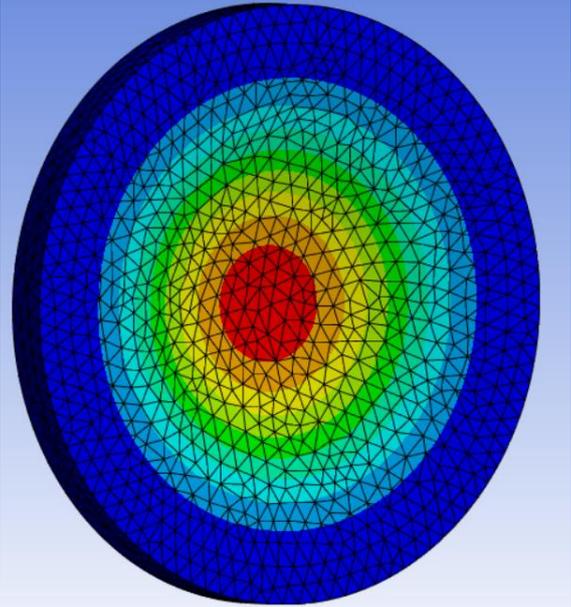
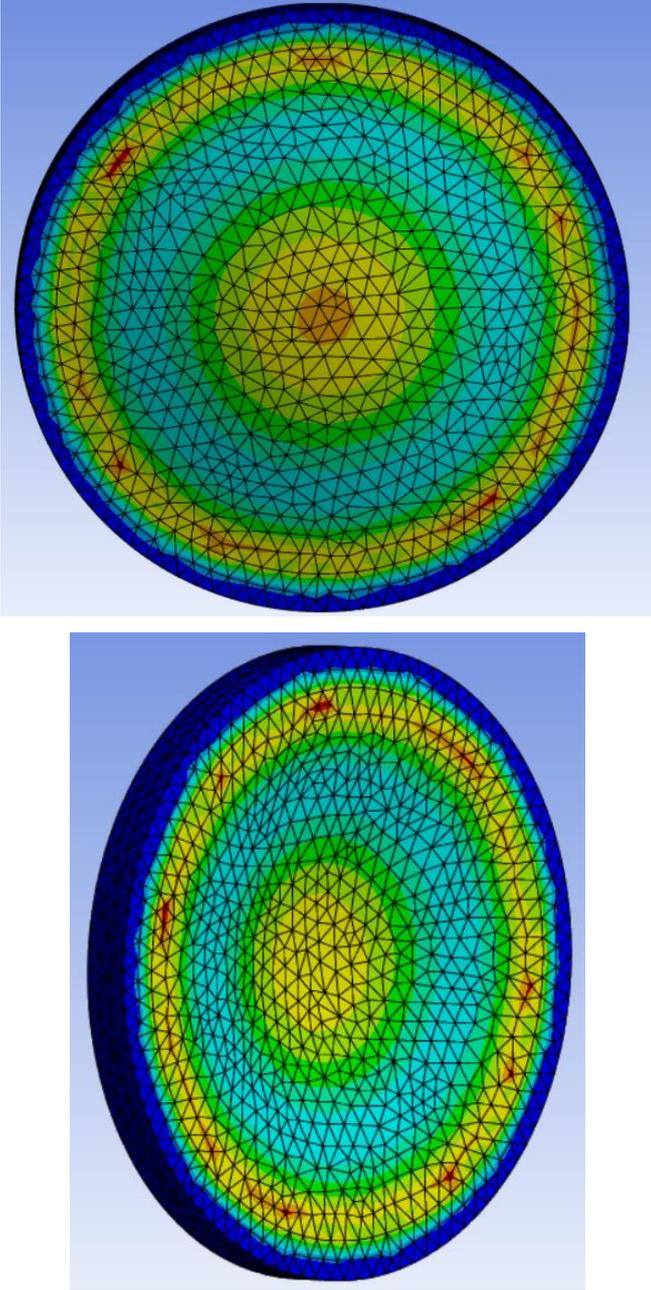
Proceso	Simulación en Software	Descripción
Factor de seguridad	 <p>The figure displays the results of a Finite Difference Simulation (FDS) for a square frame structure. A color scale legend indicates the range of values from <math>2,419 \times 10^1</math> (red) to <math>5,102 \times 10^6</math> (blue). Two 3D renderings of the structure show the stress distribution, with callouts indicating the maximum and minimum values.</p>	<p>Según el código ASME, sección VIII, el factor de seguridad mínimo para un recipiente a presión debe ser de 1,5.</p> <p>En nuestro caso, el factor de seguridad mínimo es de 2,419; por lo tanto, el diseño cumple con lo establecido.</p>

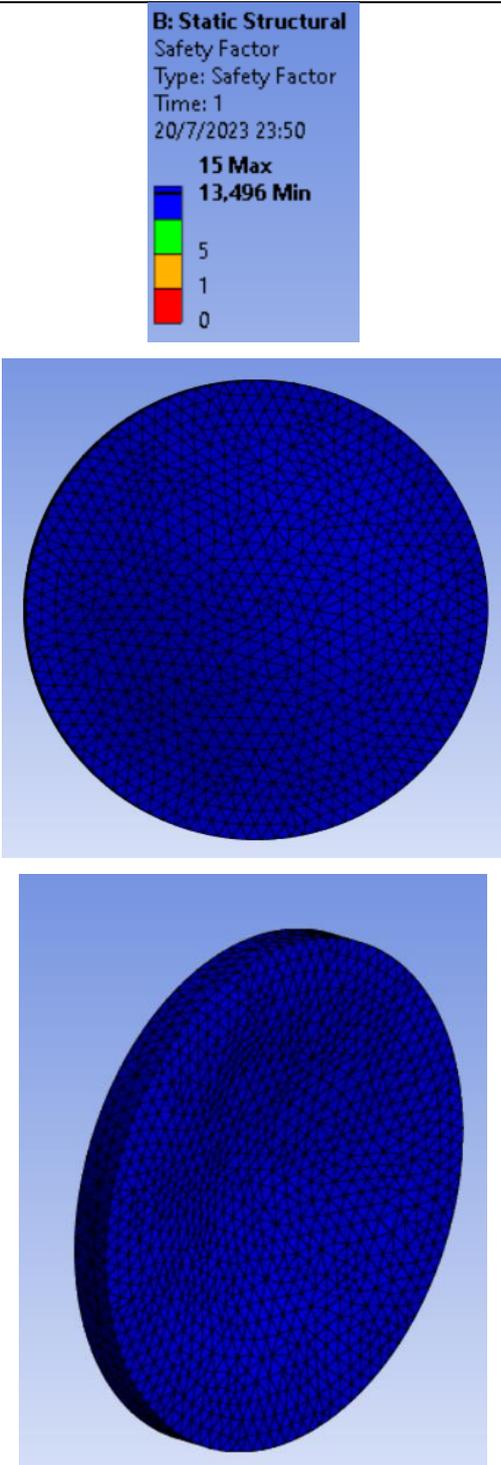
Tabla 26. Análisis estructural de cristal de ventana

Proceso	Simulación en Software	Descripción
Presión interna		<p>Se aplica a la cara interna del cristal, una presión interna de 2,2 ATA (0,223 MPa), que es la presión de prueba calculada previamente, según el código ASME sección VIII.</p>
Soportes		<p>Ubicación de los puntos de contacto del cristal con las superficies en donde se contacta con los empaques de la ventana y el cuerpo de la ventana.</p>

Proceso	Simulación en Software	Descripción
Mallado		<p>Desarrollo del mallado del cuerpo.</p> <p>Para esto se realiza un método de tetraedros con un tamaño mínimo de elementos de 5 mm, obteniendo una malla de una calidad aceptable promedio de 0,763.</p>

Proceso	Simulación en Software	Descripción																				
Cálculo de desplazamientos	<div data-bbox="699 286 903 689" style="background-color: #d9e1f2; padding: 5px; border: 1px solid #000; margin-bottom: 10px;"> <p><b>B: Static Structural</b>            Total Deformation            Type: Total Deformation            Unit: mm            Time: 1 s            20/7/2023 23:48</p> <table border="0" style="font-size: small;"> <tr><td style="width: 10px; height: 10px; background-color: red;"></td><td>0,12397 Max</td></tr> <tr><td style="width: 10px; height: 10px; background-color: orange;"></td><td>0,1102</td></tr> <tr><td style="width: 10px; height: 10px; background-color: yellow;"></td><td>0,096422</td></tr> <tr><td style="width: 10px; height: 10px; background-color: lightgreen;"></td><td>0,082647</td></tr> <tr><td style="width: 10px; height: 10px; background-color: green;"></td><td>0,068873</td></tr> <tr><td style="width: 10px; height: 10px; background-color: cyan;"></td><td>0,055098</td></tr> <tr><td style="width: 10px; height: 10px; background-color: lightblue;"></td><td>0,041324</td></tr> <tr><td style="width: 10px; height: 10px; background-color: blue;"></td><td>0,027549</td></tr> <tr><td style="width: 10px; height: 10px; background-color: darkblue;"></td><td>0,013775</td></tr> <tr><td style="width: 10px; height: 10px; background-color: black;"></td><td>0 Min</td></tr> </table> </div> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;">   </div>		0,12397 Max		0,1102		0,096422		0,082647		0,068873		0,055098		0,041324		0,027549		0,013775		0 Min	<p>El máximo desplazamiento que se produce en el manto cilíndrico es de 0,18321 mm ubicado en la parte superior del manto cilíndrico.</p> <p>El máximo desplazamiento que se presenta en el cabezal toriesférico es de aproximadamente 0,16285 mm.</p> <p>El máximo desplazamiento en la contratapa es de aproximadamente 0,14249 mm.</p>
	0,12397 Max																					
	0,1102																					
	0,096422																					
	0,082647																					
	0,068873																					
	0,055098																					
	0,041324																					
	0,027549																					
	0,013775																					
	0 Min																					

Proceso	Simulación en Software	Descripción
Cálculo de tensión equivalente	<div data-bbox="651 286 951 712" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p><b>B: Static Structural</b>            Equivalent Stress            Type: Equivalent (von-Mises) Stress            Unit: MPa            Time: 1 s            20/7/2023 23:49</p> <p><b>4,6199 Max</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>4,1102</li> <li>3,6005</li> <li>3,0908</li> <li>2,5811</li> <li>2,0715</li> <li>1,5618</li> <li>1,0521</li> <li>0,54236</li> <li><b>0,032666 Min</b></li> </ul> </div> 	<p>Con Von Mises se obtuvo un esfuerzo equivalente máximo de 4,6199 MPa, que es mucho menor a la resistencia a la tracción del Acrílico que se indica en la Tabla 7, que es de 72 MPa.</p>

Proceso	Simulación en Software	Descripción
Factor de seguridad		<p>Según el código ASME, sección VIII, el factor de seguridad mínimo para cualquier elemento mecánico debe ser mayor a 1,5. En nuestro caso, el factor de seguridad mínimo es de 13,496; por lo tanto, el elemento cumple con lo establecido.</p>

#### 2.4.15 Construcción del prototipo de la cámara hiperbólica

En base a los cálculos, al modelado y la simulación realizado en un software especializado, se empezó el proceso de construcción del prototipo, a continuación, se

presenta una breve descripción de cada uno de los procesos, acompañado de fotografías.

#### **2.4.15.1 Adquisición de la materia prima**

Una plancha de 4 mm de espesor y dos tubos cuadrados de 40x40x2 mm de ASTM A36, además, dos planchas cuadradas de 1x1 m del mismo material.



Figura 24. Materia prima

#### **2.4.15.2 Corte de la plancha para el manto cilíndrico**

Se realiza el corte de la plancha de 4 mm, con 157 cm de largo por 70 cm de ancho para el manto cilíndrico, en la Figura 25 se muestra la plancha cortada.



Figura 25. Plancha para el manto cilíndrico

### 2.4.15.3 Corte del cabezal y de la compuerta

Se realiza el corte a plasma de la plancha de 4 mm de espesor ASTM A36 tanto para el cabezal como para la compuerta de 53 mm de diámetro, en la Figura 26 se muestra la pieza final cortada del cabezal y en la Figura 27 se observa la pieza cortada de la compuerta.



Figura 26. Pieza cortada para el cabezal



Figura 27. Pieza cortada para la compuerta

### 2.4.15.4 Corte de los anillos y agujeros del manto cilíndrico y de la compuerta

Para los anillos del manto cilíndrico y la compuerta se hizo uso de dos planchas cuadradas de 60x60 cm de 10 mm de espesor de acero ASTM A36. Ambas piezas

fueron cortadas por plasma, en la Figura 28 se observa una circunferencia de 60 cm de diámetro listo para ser cortado y conjuntamente se muestra el anillo final cortado.



Figura 28. Anillos de la compuerta y el mando cilíndrico

#### **2.4.15.5 Corte de los soportes y el apoyo**

Para los soportes del prototipo se utilizó un tubo cuadrado de 40x40x2 mm de acero ASTM A36. En la Figura 29 se observa los tubos cortados de acuerdo a las dimensiones especificadas en los planos.



Figura 29. Tubos cortados para el soporte

Además, se realiza el corte de las placas de 6x12 cm de la plancha de 4 mm de espesor, estos servirán de apoyo para una mejor unión con el manto cilíndrico, en la Figura 30 se observa las placas cortadas.



Figura 30. Placa cortada

#### **2.4.15.6 Rolado del manto cilíndrico**

Con el corte ya realizado de acuerdo con las dimensiones especificadas, se empieza el proceso de rolado para dar forma al manto cilíndrico, en la Figura 31 se observa el proceso de rolado.



Figura 31. Rolado del manto cilíndrico

#### **2.4.15.7 Ensamble del manto cilíndrico**

Se realiza la unión de los extremos del manto cilíndrico a través del proceso de soldadura SMAW, en la Figura 32 se observa el proceso de soldadura y en la Figura 33 se muestra el manto cilíndrico soldado.



Figura 32. Unión de extremos del manto cilíndrico



Figura 33. Manto cilíndrico soldado

#### **2.4.15.8 Prensado del cabezal y la compuerta**

Se realiza la parte cóncava tanto del cabezal como de la compuerta con la ayuda de una prensa, en la Figura 34 se observa el proceso del prensado.



Figura 34. Prensado del cabezal y la compuerta

#### 2.4.15.9 Rebordeado del cabezal y la compuerta

Se realiza el proceso de rebordeado de ambas piezas dejando con un diámetro interior de 50 mm, en la Figura 35 se observa el proceso de rebordeado y en la Figura 36 se muestra las piezas finales rebordeadas.



Figura 35. Proceso de rebordeado



Figura 36. Pieza del cabezal y la compuerta rebordeadas

#### 2.4.15.10      **Ensamble de los soportes**

Se realiza el ensamble de los soportes mediante el proceso de soldadura SMAW, en la Figura 37 se indica el proceso del ensamble y en el Figura 38 se observa el ensamble de los soportes con el manto cilíndrico, mientras que en la Figura 39 se muestra el ensamble final de los soportes con el manto cilíndrico.



Figura 37. Ensamble del soporte



Figura 38. Ensamble del soporte con el manto cilíndrico



Figura 39. Ensamble final del soporte con el manto cilíndrico

#### **2.4.15.11 Ensamble de las guías para la camilla**

Para las guías de la camilla se hizo uso del mismo material utilizado para el manto cilíndrico. En la Figura 40 se observa las guías soldadas para la camilla.



Figura 40. Guías para la camilla

#### **2.4.15.12 Corte de los agujero para los accesorios y la ventana**

Se realiza el corte del agujero para la carcasa de la ventana de 140 mm de diámetro, además de los 5 agujeros de  $\frac{1}{4}$  in para los accesorios. En la Figura 41 se observa el corte final tanto de la ventana como de los accesorios.



Figura 41. Agujeros para los accesorios y la ventana

#### **2.4.15.13 Torneado del cuerpo y tapa de la ventana**

Se realiza el torneado del cuerpo de la ventana con una rosca métrica externa de 14 hilos por pulgada y la tapa de la ventana con una rosca métrica interna de 14 hilos

por pulgada, en la Figura 42 se observa el proceso de roscado y en la Figura 43 se muestra la pieza final.



Figura 42. Torneado del cuerpo y la tapa de la ventana



Figura 43. Torneado de la pieza de la ventana

#### **2.4.15.14 Ensamble del cabezal y el cuerpo de la ventana**

Se realiza el ensamble del cabezal y el cuerpo de la ventana mediante el proceso de soldadura SMAW, en la Figura 44 se indica el ensamble final del cabezal, mientras que en la Figura 45 se muestra el ensamble final del cuerpo de la ventana.



Figura 44. Ensamble del cabezal con el manto cilíndrico



Figura 45. Ensamble de la carcasa de la ventana con el manto cilíndrico

#### **2.4.15.15 Ensamble de los anillos con el manto cilíndrico y la compuerta**

Se realiza el ensamble de los anillos tanto del manto cilíndrico como de la compuerta mediante el proceso de soldadura SMAW, en la Figura 46 se observa el anillo junto con el manto cilíndrico previamente ensamblado, mientras que en la Figura 47, se muestra el ensamble del anillo con la compuerta.



Figura 46. Ensamble del anillo con el manto cilíndrico



Figura 47. Ensamble del anillo con la compuerta

#### **2.4.15.16 Enderezado del anillo de la compuerta**

Debido a la soldadura ejercida durante la unión del anillo con la compuerta se presenta una deformación, por ello se realiza el enderezamiento correspondiente, en la Figura 48 se observa la compuerta con el anillo enderezado y comprobado su planitud.



Figura 48. Enderezado y comprobación del anillo de la compuerta

#### **2.4.15.17 Mecanizado del separador de la bisagra**

Para la fabricación del eje de la bisagra se hizo uso del acero AISI SAE 1018, en la Figura 49 se observa el eje mecanizado.



Figura 49. Separador de la bisagra mecanizado

#### **2.4.15.18 Corte de los componentes de la bisagra**

Se realiza el corte de la bisagra del mismo material utilizado para los anillos del manto cilíndrico y la compuerta, en la Figura 50 se muestra el corte de las partes de la bisagra.



Figura 50. Componentes de la bisagra

#### **2.4.15.19 Corte de las bases de los pernos bloqueantes**

Para los soportes de los pernos bloqueantes se hizo uso del mismo material utilizado para los anillos del manto cilíndrico y la compuerta, el corte se realiza en forma de un trapecio isósceles con una altura de 50 mm y un corte de 20 mm de diámetro que será el espacio en el que rotará el perno bloqueante. En la Figura 51 se observa los soportes de los pernos bloqueantes cortadas.



Figura 51. Bases de los pernos bloqueantes

#### **2.4.15.20 Corte y taladrado de los orificios del eje roscado**

Se realiza el corte del eje roscado de 7/8 in de una longitud de 10.5 cm y posteriormente se realiza un orificio de 5/16 in de diámetro a una distancia de 2 cm

mediante un taladro pedestal. En la Figura 52 se muestra el eje cortado y en la Figura 53 se observa el proceso de taladrado para el orificio.

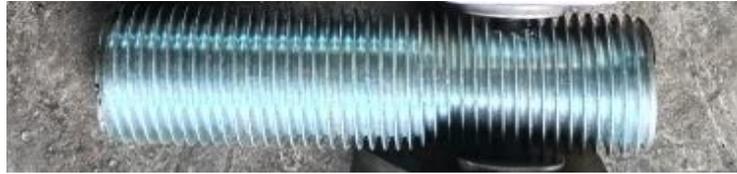


Figura 52. Eje cortado de longitud 10.5 cm



Figura 53. Orificio en el eje roscado

#### **2.4.15.21 Corte del acrílico para la ventana**

Se realiza el corte a láser del acrílico de 10 mm de espesor con un diámetro 127 mm, en la Figura 54 se indica el proceso de corte a láser y en la Figura 55 se muestra el acrílico cortado.



Figura 54. Corte del acrílico a láser

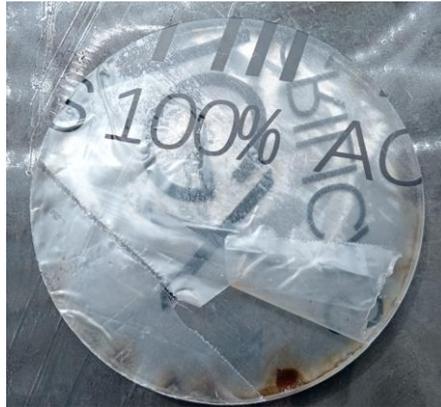


Figura 55. Acrílico cortado de 127 mm de diámetro

#### 2.4.15.22 Armado y ensamble de las bases de los pernos bloqueantes

Se realiza el armado correspondiente con las piezas de los soportes, perno Allen de 5/16 in, arandelas galvanizadas de 5/16 in y el eje roscado de 7/8, para posteriormente ensamblar mediante el proceso de soldadura SMAW con el manto cilíndrico de acuerdo a las distancias mencionadas en el plano. En la Figura 56 se observa el armado de los pernos bloqueantes y en la Figura 57 se indica la alineación previa que se debe realizar antes de empezar el ensamble, mientras que en la Figura 58 se muestra el proceso de ensamble del mismo.



Figura 56. Armado de los pernos bloqueantes



Figura 57. Alineación de la compuerta con el manto cilíndrico



Figura 58. Ensamble de los soportes de pernos bloqueantes con el manto cilíndrico

#### **2.4.15.23 Armado y ensamble de la bisagra**

Se realiza el armado de la bisagra para posteriormente ensamblar con la compuerta y el manto cilíndrico a través del proceso de soldadura SMAW. En la Figura 59 se muestra el armado de la bisagra y en la Figura 60 se indica el ensamble final.



Figura 59. Armado de la bisagra



Figura 60. Ensamble de la bisagra

Además, por último, se debe ajustar la bisagra adecuadamente, en la Figura 61 se muestra el proceso realizado.



Figura 61. Ajuste de la bisagra

#### 2.4.15.24 Ensamble del tirador en la compuerta

Se realiza el ensamble del tirador en la compuerta mediante el proceso de soldadura SMAW y posteriormente se realiza un lijado para dejar la superficie libre de escorias producidas por la soldadura, en la Figura 62 se muestra el tirador soldado y lijado.



Figura 62. Tirador de la compuerta

#### 2.4.15.25 Inspección visual general

Se realiza una inspección visual en las partes soldadas del prototipo antes de empezar con la prueba de funcionamiento, con el fin de detectar posibles discontinuidades. En la Figura 63 muestra la inspección visual realizada con la ayuda de una lupa.



Figura 63. Inspección visual de las partes soldadas

#### **2.4.15.26 Colocación del acrílico en la carcasa de la ventana**

Primero se pega el empaque EPDM cuadrado de 8x8 mm en el alojamiento del cuerpo de la ventana, luego se coloca el acrílico y posteriormente se agrega el mismo empaque utilizado en la primera capa, todo esto se pega con la ayuda del adhesivo ABRO Grey 999, para finalmente cubrir con la tapa de la ventana. En la Figura 64 se observa la ventana del prototipo.



Figura 64. Ventana del prototipo

#### **2.4.15.26.1 Colocación del empaque en la compuerta**

Se coloca el empaque de 20x5 mm en el anillo del manto cilíndrico, para ello se hace uso del pegamento ABRO Grey 999, en la Figura 65 se observa la colocación del empaque.



Figura 65. El empaque en la contratapa del manto cilíndrico

#### 2.4.15.27 Instalación de los accesorios

Se realiza la instalación de los accesorios: un manómetro de 0-60 psi, dos válvulas de paso de ¼ in, una válvula de seguridad y un tapón de ¼ in. En la Figura 66 se observa los accesorios instalados en el prototipo.



Figura 66. Accesorios instalados en el prototipo

#### 2.4.15.28 Pintado del prototipo

Finalmente, se realiza el proceso de pintado al horno, para ello se hizo uso de la pintura en polvo epoxi seleccionada en el inciso 1.4.15.3, en la Figura 67 se observa el prototipo final pintado de blanco, mientras que en la Figura 68 y Figura 69 se muestra el prototipo con los autores.



Figura 67. Prototipo pintado



Figura 68. Prototipo final Autor 1



Figura 69. Prototipo final Autor 2

#### **2.4.15.29 Luminaria**

Según la Tabla 9 y Tabla 10 del inciso 1.4.14.3, la luz que debe ser instalado en un medio donde se puede producir chispazos debe ser de un IP68, para este caso se hace uso de una luz LED sumergible del IP requerido, además es recargable, encapsulada y sellada con ABRO GREY 999 para evitar un posible ingreso de oxígeno, en el Anexo 26 se puede observar dicha luz. En la Figura 70 se observa la iluminación instalada en el prototipo, vista desde el exterior y en la Figura 71 se muestra la iluminación, vista internamente.

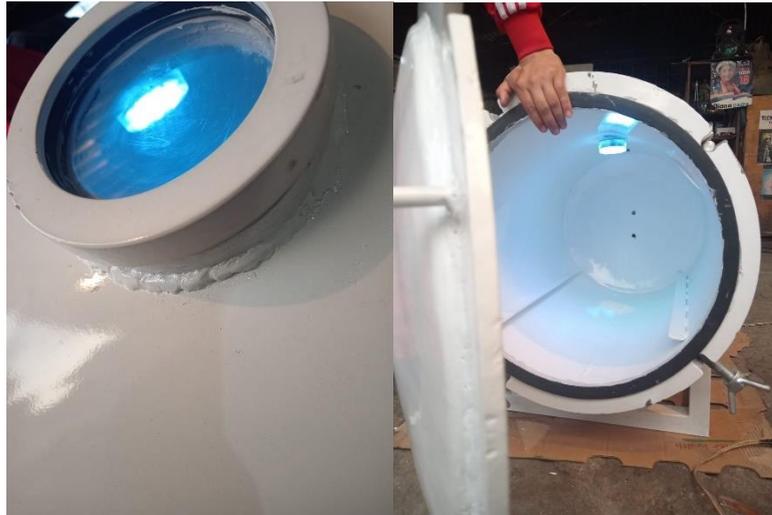


Figura 70. Iluminación del prototipo, vista desde el exterior



Figura 71. Iluminación del prototipo, vista desde el interior.

#### **2.4.16 Proceso de prueba neumática**

Según se indica en el Apéndice 8 del código ASME Sección VIII, División 1, que, al realizarse la inspección visual, se deberán considerar relevantes para realizar ensayos por tintas penetrantes, imperfecciones mayores a 1,5 mm.

En nuestro caso no se encontraron dichas imperfecciones en la soldadura, por lo que se procedió a realizar directamente las pruebas neumáticas.

### **Indicaciones previas a la prueba neumática.**

- Verificar que todos los orificios se encuentren taponados, a excepción de los orificios que se ocupan para la válvula de ingreso de oxígeno, válvula de despresurización y el manómetro.
- Verificar el cumplimiento de los tiempos y presiones establecidos para la prueba.
- Inspección constante y continua en caso de fugas, aplicando líquido jabonoso en los lugares en donde se pueden presentar fugas de aire.
- El ingreso y salida del fluido de prueba deben realizarse gradualmente, manteniendo caudales del fluido bajos.

El proceso de prueba será el siguiente:

#### **Paso 1:**

Apertura de la válvula de ingreso del fluido de prueba.

- La presión del recipiente se incrementa gradualmente hasta no más de la mitad de la presión de prueba.

#### **Paso 2:**

Cierre de la válvula de ingreso del fluido al llegar hasta la mitad de la presión de prueba.

- Mantener la presión constante durante un tiempo prolongado, inspeccionando constantemente en caso de fugas.

#### **Paso 3:**

Apertura de la válvula de ingreso del fluido de prueba.

- Mantenerla abierta hasta que se incremente una décima parte de la presión de prueba.

#### **Paso 4:**

Cerrar la válvula de ingreso del fluido de prueba y

- Mantener la presión durante un tiempo prolongado.

**Paso 5:**

Repetir los pasos 3 y 4, hasta llegar a la presión de prueba requerida.

- Mantener la presión durante un tiempo prolongado.

**Paso 6:**

Apertura de la válvula de despresurización.

- La presión se reduce a un valor igual a la presión de prueba, dividida para 1,1.

**Paso 7:**

Cierre de la válvula de despresurización.

- La presión se mantendrá durante un tiempo prolongado.

**Paso 8:**

Inspección visual y usando líquido jabonoso, con el fin de identificar fugas.

- Revisión constante del manómetro, con el fin de identificar posibles bajas en la presión.

**Paso 9:**

Apertura de la válvula de despresurización.

- Una vez cumplido el tiempo establecido, el vaciado del fluido debe realizarse a un caudal bajo y de forma gradual [26].

## CAPÍTULO III

### 3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 3.1 Análisis

##### 3.1.1 Manto cilíndrico y cabezal toriesférico

###### a. Desplazamientos

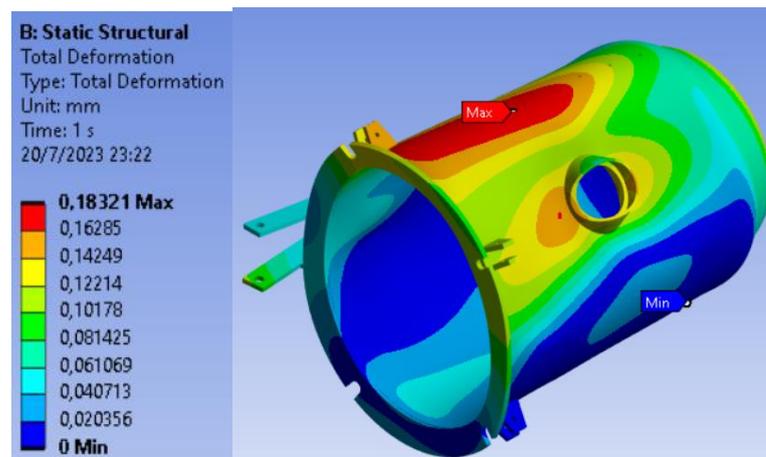


Figura 72. Desplazamientos del manto cilíndrico, compuerta toriesférica y contratapa del prototipo en ANSYS

Teniendo en cuenta los resultados que el software nos brinda, podemos decir que:

- El desplazamiento máximo del manto cilíndrico es de 0,18321 mm.
- El desplazamiento máximo del cabezal toriesférico es de 0,16285 mm.
- El desplazamiento máximo de la contratapa es 0,14249 mm.
- Los lugares en donde más desplazamientos se presentan en este sólido son la parte superior del manto cilíndrico y un punto cercano a la ventana.
- Los lugares en donde menos desplazamientos se presentan en este sólido son la parte inferior del manto cilíndrico.

Los desplazamientos presentados en este sólido son muy pequeños, por lo que podemos asegurar que el Acero ASTM A36 cumple con lo esperado, además, la geometría es adecuada para funcionar a 2,2 ATA.

## b. Tensión equivalente de Von-Mises

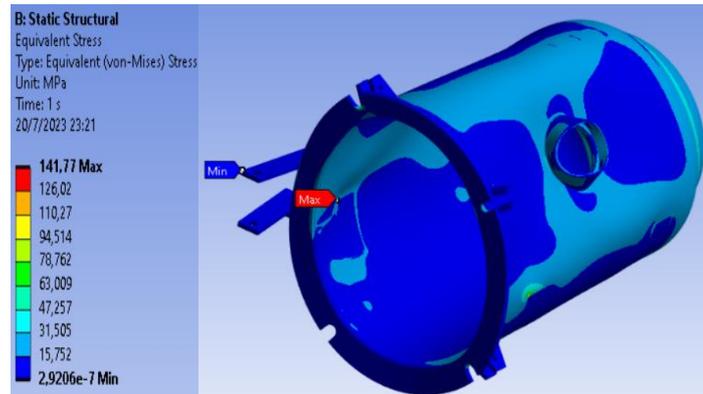


Figura 73. Tensión equivalente del manto cilíndrico, compuerta toriesférica y contratapa del prototipo en ANSYS

- El esfuerzo equivalente máximo que se presenta en el sólido es de 141,77 MPa y se presenta en una sección cercana a donde están soldados los brazos de la bisagra.
- Las mayores tensiones se presentan en las juntas soldadas.

Comparando el esfuerzo equivalente máximo obtenido en el software de 141,77 MPa y el límite elástico del acero ASTM A36 de 250 MPa, podemos aseverar que el material y espesor escogido, cumplen con creces con las condiciones de prueba establecidas.

## c. Factor de seguridad

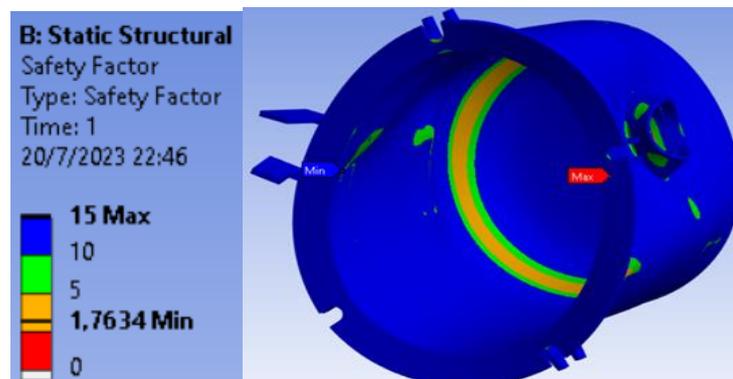


Figura 74. Factor de seguridad del manto cilíndrico, compuerta toriesférica y contratapa del prototipo en ANSYS

- El factor de seguridad mínimo que obtenemos con el software es de 1,7634.
- El lugar en donde menor factor de seguridad se presenta en el sólido es en la unión soldada del manto cilíndrico y el cabezal toriesférico.

El factor de seguridad mínimo para este tipo de recipientes sometidos a presión según ASME es de 1,5; por lo que la geometría cumple con su objetivo, con una diferencia no tan pronunciada.

La sección del sólido en donde se presenta el menor factor de seguridad es una unión soldada, en la que tenemos un cambio brusco de geometría, por lo que es comprensible que se reduzca el factor de seguridad.

### 3.1.2 Compuerta

#### a. Desplazamientos

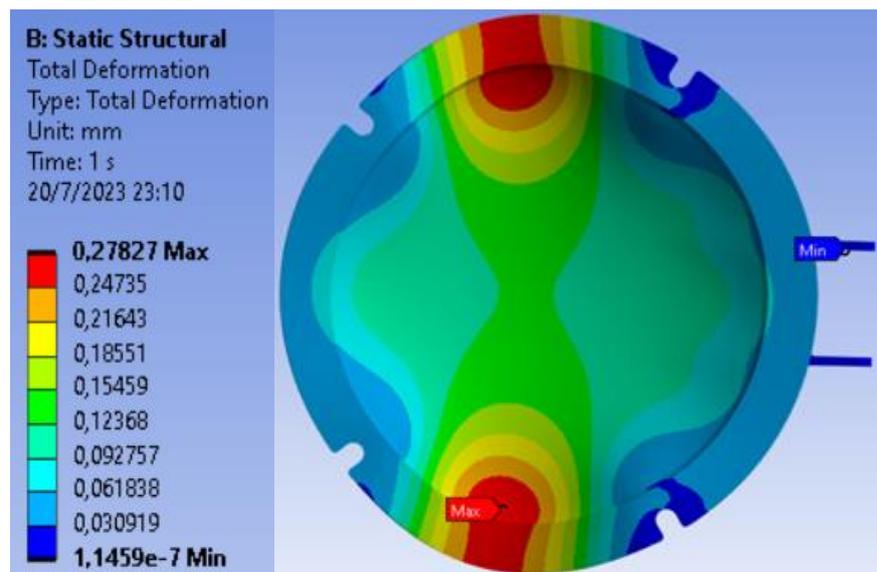


Figura 75. Desplazamientos de la compuerta del prototipo en ANSYS

Teniendo en cuenta los resultados que el software nos brinda, podemos decir que:

- El desplazamiento máximo de la compuerta es de 0,27827 mm.
- Los lugares en donde más desplazamientos se presentan en este sólido son la parte superior e inferior centrales, precisamente en el anillo plano de la compuerta.

- Los lugares en donde menos desplazamientos se presentan en este sólido son los brazos de la bisagra.

Los desplazamientos presentados en este sólido son muy pequeños, por lo que podemos asegurar que el Acero ASTM A36 cumple con lo esperado, además, la geometría es adecuada para funcionar a 2,2 ATA.

#### b. Tensión equivalente de Von-Mises

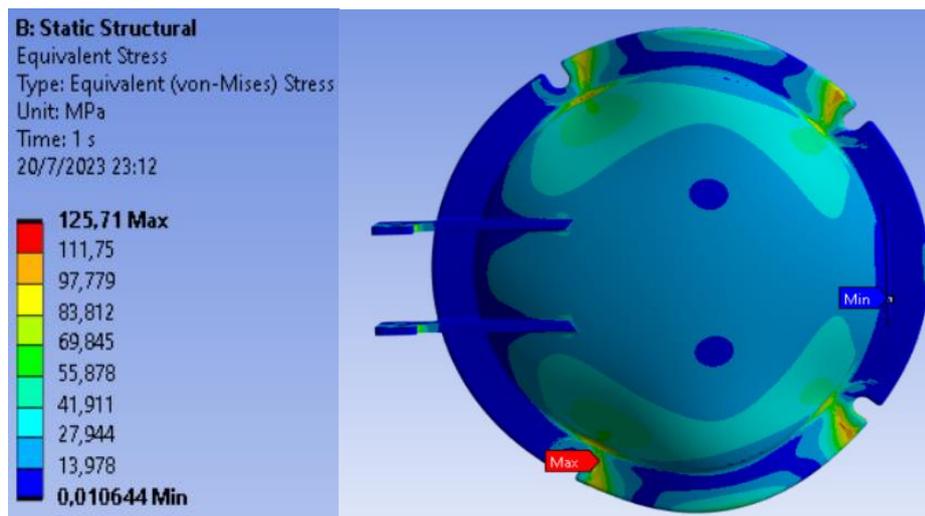


Figura 76. Tensión equivalente de la compuerta del prototipo en ANSYS

- El esfuerzo equivalente máximo que se presenta en el sólido es de 125,71 MPa y se presenta en las secciones cercanas a los puntos en donde se ajustan los pernos bloqueantes.
- Los sectores que menores tensiones equivalentes presentan son los laterales de la compuerta, en donde no se encuentran puntos de ajuste.

Comparando el esfuerzo equivalente máximo obtenido en el software de 125,71 MPa y el límite elástico del acero ASTM A36 de 250 MPa, podemos aseverar que el material y espesor escogido, cumplen con creces con las condiciones de prueba establecidas.

### c. Factor de seguridad

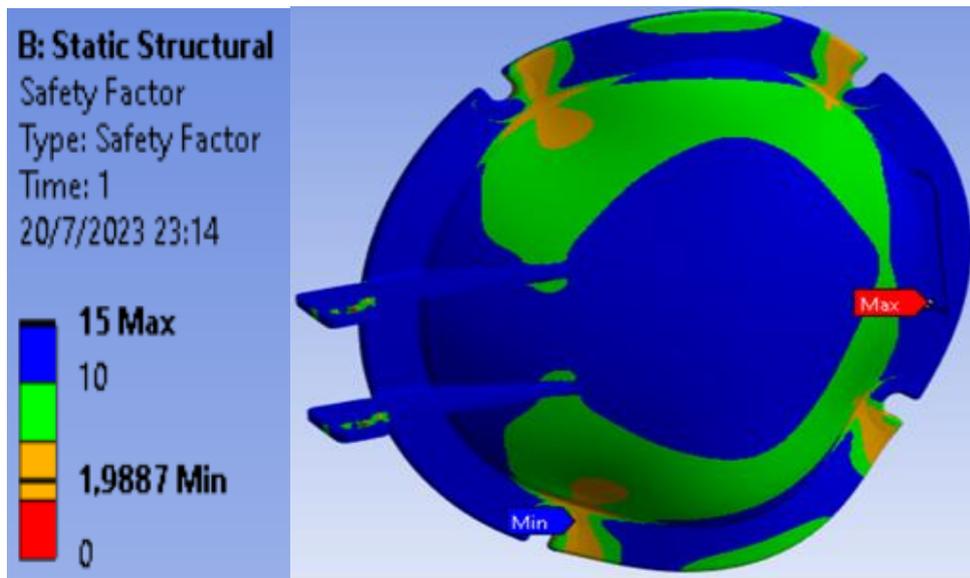


Figura 77. Factor de seguridad del manto cilíndrico, compuerta toriesférica y contratapa del prototipo en ANSYS

- El factor de seguridad mínimo que obtenemos con el software es de 1,9887.
- El lugar en donde menor factor de seguridad se presenta en el sólido está cercano a los puntos de ajuste del perno bloqueante.

El factor de seguridad mínimo para este tipo de compuertas toriesféricas sometidas a presión según ASME es de 1,5; por lo que la geometría cumple con su objetivo, con una diferencia de casi 0,5.

La sección del sólido en donde se presenta el menor factor de seguridad es una unión soldada, en la que tenemos un cambio brusco de geometría, además de que cercano a este punto se presenta una acción de ajuste, por lo que es comprensible que se reduzca el factor de seguridad.

### 3.1.3 Empaque

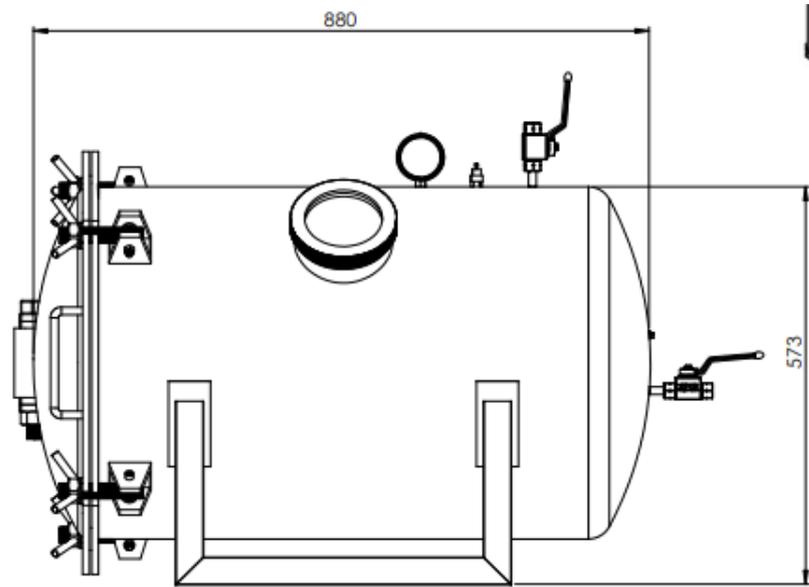


Figura 78. Vista lateral del prototipo de cámara hiperbárica desarrollado

La bisagra del prototipo deja una apertura de 3 mm entre la sección plana de la compuerta y la sección plana de la contratapa, este espacio está destinado al empaque.

Los desplazamientos máximos que se presentan en estas secciones planas son:

- Sección plana de la contratapa: 0,14249 mm
- Sección plana de la compuerta: 0,27827 mm

Ambos desplazamientos se presentan en la sección superior e inferior de los respectivos sólidos, por lo que podemos realizar una suma para obtener el desplazamiento máximo que se presenta entre la unión de los cuerpos mencionados, obteniendo 0.42076 mm.

El espesor del empaque es de 5 mm, es decir, tenemos 2 mm excedentes para compensar las deformaciones, teniendo en cuenta la separación de los elementos unidos por la bisagra.

Por lo tanto, los desplazamientos de la contratapa y la compuerta no afectarán el sellado del prototipo, asegurando así el correcto sellado del dispositivo.

### 3.1.4 Estructura de soporte del prototipo

#### a. Desplazamientos

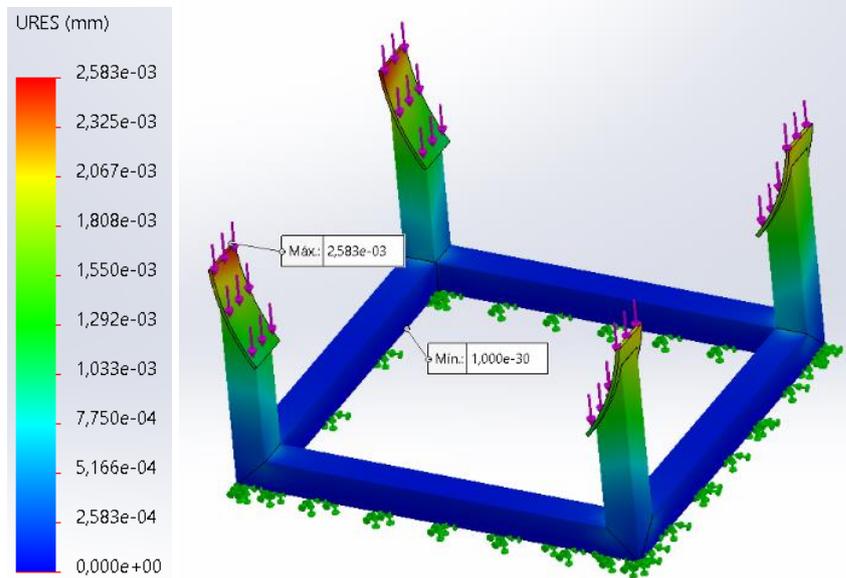


Figura 79. Desplazamientos de la estructura del soporte del prototipo en SolidWorks

Teniendo en cuenta los resultados que el software nos brinda, podemos decir que:

- El desplazamiento máximo de la estructura es de  $2,583e-3$  mm.
- Los lugares en donde más desplazamientos se presentan en este sólido son las placas de apoyo de la estructura, que están en contacto directo con el manto cilíndrico.
- Los lugares en donde menos desplazamientos se presentan en esta estructura son los tubos de la estructura cuadrada inferior.

Los desplazamientos presentados en este sólido son muy pequeños, por lo que podemos asegurar que el Acero ASTM A36 soporta adecuadamente la carga del propio dispositivo, además de la carga de operación (paciente y oxígeno).

## b. Tensión equivalente de Von-Mises

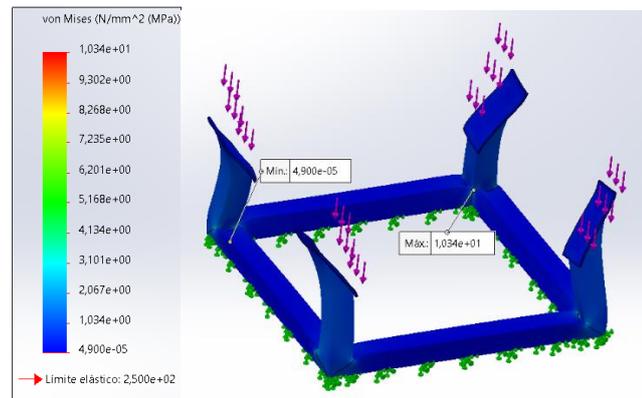


Figura 80. Tensión equivalente de la estructura de soporte del prototipo en Solidworks

- El esfuerzo equivalente máximo que se presenta en el sólido es de 1,034 MPa y se presenta en una de las uniones soldadas entre tubos.
- El sólido presenta en general valores de tensión bastante bajas, exceptuando los lugares en donde se presentan soldaduras.

Comparando el esfuerzo equivalente máximo obtenido en el software de 1,034 MPa y el límite elástico del acero ASTM A36 de 250 MPa, podemos aseverar que el material y espesor escogido, cumplen con creces con las condiciones de prueba establecidas.

## c. Factor de seguridad

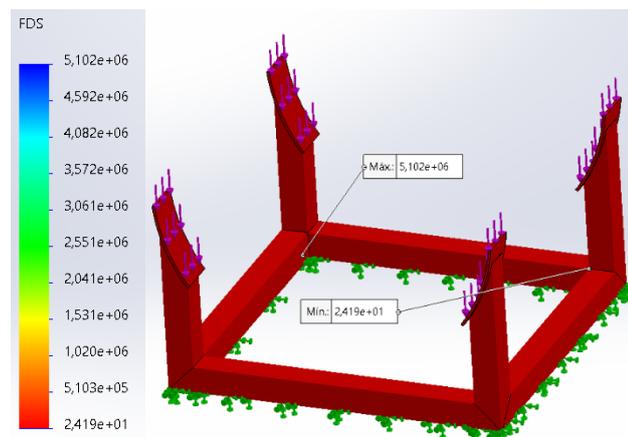


Figura 81. Factor de seguridad de la estructura de soporte del prototipo en SolidWorks

- El factor de seguridad mínimo que obtenemos con el software es de 2,419.

- Los lugares en donde menor factor de seguridad se presenta en la estructura son las uniones soldadas entre los tubos.

El factor de seguridad mínimo para elementos mecánicos según ASME es de 1,5; por lo que la geometría cumple con su objetivo, con una diferencia pronunciada.

La sección del sólido en donde se presenta el menor factor de seguridad es una unión soldada, en la que tenemos un cambio brusco de geometría, por lo que es comprensible que se reduzca el factor de seguridad.

### 3.1.5 Cristal de ventana

#### a. Desplazamientos

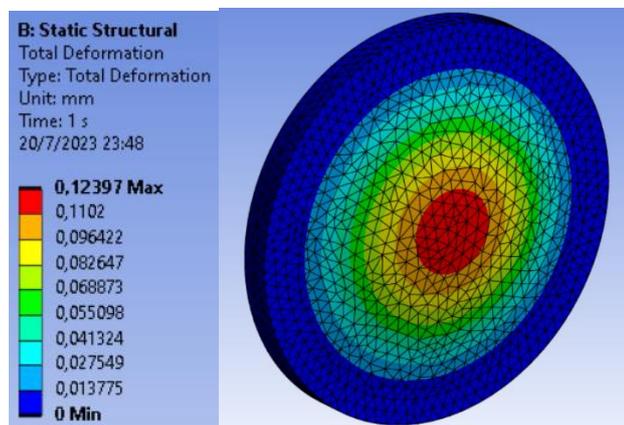


Figura 82. Desplazamientos del cristal de la ventana del prototipo en ANSYS

Teniendo en cuenta los resultados que el software nos brinda, podemos decir que:

- El desplazamiento máximo del cristal de la ventana es de 0,18321 mm.
- El lugar en el que se presenta el mayor desplazamiento es el centro del cristal.
- Los lugares en donde menos desplazamientos se presentan son en los bordes del cristal.

Los desplazamientos presentados en este sólido son muy pequeños, por lo que podemos asegurar que el Acrílico de 10 mm cumple con las expectativas de funcionamiento adecuadamente.

## b. Tensión equivalente de Von-Mises

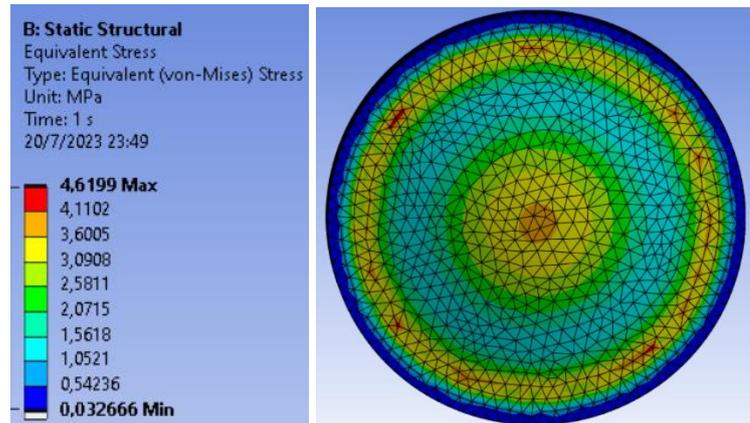


Figura 83. Tensión equivalente del cristal de la ventana del prototipo en Ansys

- El esfuerzo equivalente máximo que se presenta en el sólido es de 4,6199 MPa y se presenta en las secciones en donde se ajusta el cristal de la ventana a la carcasa.

Comparando el esfuerzo equivalente máximo obtenido en el software de 4,6199 MPa y la resistencia a la tracción del acrílico que ocupamos y que se indica en la Tabla 7 de 72 MPa, podemos aseverar que el material y espesor escogido, cumplen con creces con las condiciones de prueba establecidas.

## c. Factor de seguridad

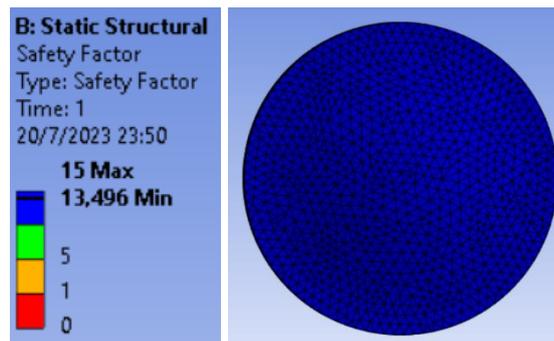


Figura 84. Factor de seguridad del cristal de la ventana del prototipo en ANSYS

- El factor de seguridad mínimo que obtenemos con el software es de 13,496.
- Todo el sólido cuenta con un factor de seguridad alto.

El factor de seguridad mínimo para elementos mecánicos según ASME es de 1,5; por lo que la geometría cumple con su objetivo, con una diferencia bastante pronunciada.

### 3.2 Pruebas de funcionamiento

En la Tabla 27 se muestra los resultados obtenidos de las pruebas de funcionamiento del prototipo, para ello se hizo uso de una presión de prueba calculado en el inciso 2.4.12.10, siendo  $P_p = 2,2 \text{ atm}$  (32.33 psi).

Tabla 27. Pruebas de funcionamiento del prototipo

N°	Tiempo (min)	Presión alcanzada (psi)	Falla	Corrección	Fotografías
1	2	14	Fuga en la soldadura de la contratapa y el manto cilíndrico	Pulir el lugar afectado y volver a soldar	Anexo 13
2	7	26	Fuga en el empaque de la compuerta	Cambio de empaque de 25x5 mm	Anexo 14
3	5	20	Fuga en el tapón de acero inoxidable de ¼	Cambio de tapón por uno de acero galvanizado de ¼	Anexo 15
4	3	14	Fuga en la soldadura del borde de la ventana	Pulir y soldar la parte afectada	Anexo 16
	4	15	Fuga en el empaque de la ventana	Cambio de empaque de 8x8 mm EPDM	Anexo 17
5	1	15	Fuga en el empaque de la compuerta	Cambio de empaque de 20x5 mm y para el sellado se usa	Anexo 18

N°	Tiempo (min)	Presión alcanzada (psi)	Falla	Corrección	Fotografías
				el pegamento ABRO GREY 999	
6	5	15	Ninguno	Ninguno	Anexo 19
	10	18	Ninguno	Ninguno	Anexo 12
	15	21	Ninguno	Ninguno	Anexo 21
	20	24	Ninguno	Ninguno	Anexo 22
	25	27	Ninguno	Ninguno	Anexo 23
	30	30	Ninguno	Ninguno	Anexo 24
	60	32	Ninguno	Ninguno	Anexo 25

### 3.3 Manual de uso

El prototipo de cámara hiperbárica desarrollado cuenta con un control manual, por lo que el operario deberá estar siempre presente, tanto para la inspección de la terapia y estado del paciente, como para controlar los procesos básicos en el funcionamiento del prototipo.

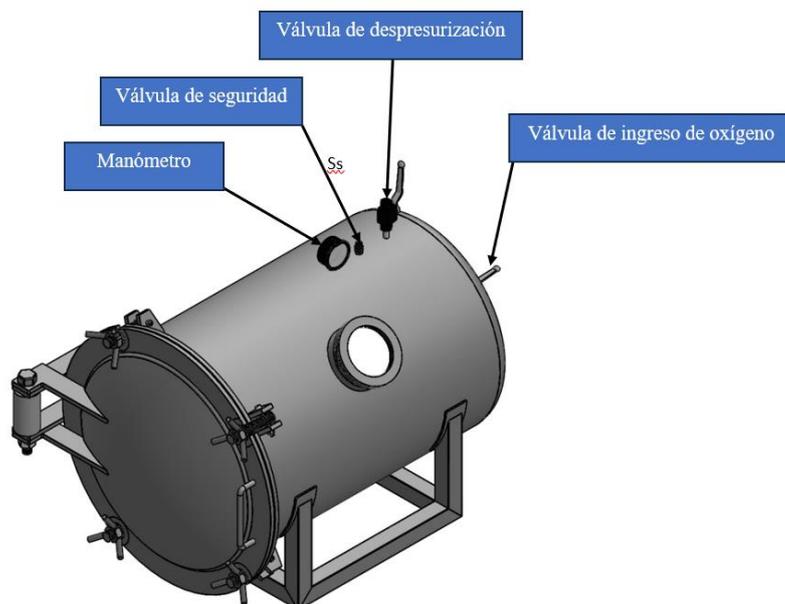


Figura 85. Esquema del prototipo de la cámara hiperbárica

### **Preparación del paciente:**

- Evitar la presencia de productos derivados del petróleo.
- No usar productos cosméticos y de limpieza derivados del petróleo en el paciente, antes de recibir tratamiento.
- Prohibido la presencia de aceites, lubricantes, combustibles dentro de la cámara.
- Limpiar adecuadamente el interior de la cámara hiperbárica luego de cada tratamiento.
- Evitar la generación de electricidad estática.
- Mantener alejados dispositivos electrónicos en el área de tratamiento.
- Usar mantas o ropa de algodón.
- Quitar los collares metálicos.
- Envolver objetos metálicos con telas de algodón que no se puedan retirar.
- Asegurar equipo médico que deba ingresar con el paciente.
- Envolver equipo que deba ir adherido al paciente, para evitar desprendimiento.
- Usar collar isabelino de ser necesario.
- Evaluar si el paciente requiere ansiolíticos.
- Luego de cumplir con los requerimientos de preparación del paciente, se ingresa al paciente al interior de la cámara y se cierra la compuerta adecuadamente.

### **Iluminación**

- En caso de ser requerida la iluminación inalámbrica, esta debe encenderse y apagarse siempre que la cámara se encuentre abierta o despresurizada por completo.

### **Presurización de la cámara**

- Abrir la válvula de ingreso de oxígeno, manteniendo abierta la válvula de despresurización, para llenar el prototipo de oxígeno mientras se evacúa el aire del interior de la cámara.
- Para comenzar la presurización, se debe cerrar la válvula de despresurización.

- La presurización debe hacerse de forma lenta y gradual.
- Durante la presurización de la cámara, se debe controlar diligentemente el estado del paciente, con el fin de evitar posibles reacciones adversas.

### **Tratamiento**

- Al alcanzar la presión de operación establecida, se comienza el tratamiento.
- La válvula de despresurización debe abrirse periódicamente en lapsos cortos o largos dependiendo del tamaño del paciente, con el fin de eliminar los gases residuales de la respiración y en el caso de que exista un aumento excesivo de presión.
- La válvula de ingreso de oxígeno se abrirá en el caso de que, al usar la válvula de despresurización, la presión baje excesivamente.
- La válvula de seguridad se encuentra regulada a la presión máxima de operación del prototipo, en caso de que se llegue a dicha presión, esta se activará inmediatamente, disminuyendo la presión automáticamente hasta una presión segura para el paciente.

### **Descompresión de la cámara**

- Apertura de la válvula de despresurización.
- Supervisar cuidadosamente la presión de la cámara, para asegurar que la descompresión se realiza de forma lenta y en un tiempo prolongado.
- El tiempo de descompresión debe ser directamente proporcional a la presión del tratamiento.
- Se debe mantener una constante vigilancia al estado del paciente y de presentarse molestias, se debe reducir aún más la velocidad de despresurización.

### **3.4 Recursos Económicos**

Al ser un proyecto técnico en donde se realizó el diseño y construcción de la máquina, el costo estimado se presenta a continuación:

Tabla 28. Recursos económicos

<b>Descripción</b>	<b>Costo (\$)</b>
Recursos de oficina	100
Materiales para la construcción del prototipo	500
Trabajos de mecanizado	200
Construcción	400
Accesorios	150
<b>Total</b>	<b>1350</b>

Según la Tabla 28 el presupuesto ocupado en la construcción del prototipo de la cámara hiperbárica fue de 1350.

## CAPÍTULO IV

### 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

- El conocer las partes que conforman una cámara hiperbárica y su funcionamiento es fundamental para diseñar un prototipo funcional, para ello se ocuparon las secciones VIII, II, y IX del código ASME, tanto para el diseño de recipientes sometidos a presión, pruebas de funcionamiento como para la selección de materiales.
- De acuerdo a la investigación realizada, la presión mínima que se requiere en una terapia de oxigenación hiperbárica (TOHB) destinada para mascotas es de 1,4 ATA, esto nos permitió determinar que la presión de diseño adecuada para el prototipo es de 3,5 ATA. Además, se estableció que la temperatura de operación es similar a la temperatura ambiente debido a que la presión utilizada en la TOHB es baja.
- Las dimensiones del prototipo se establecieron en base al tamaño del paciente, ya que de acuerdo a lo investigado se consideran mascotas medianas, cuando rondan entre 30 y 45 cm de altura y su ancho es menor de 7 in (17,78 cm), tomando de referencia lo descrito, se determinó que el diámetro de la cámara hiperbárica adecuada es de 50 cm, con una longitud de 70 cm del manto cilíndrico a la que se agregan 18 cm entre el cabezal y la compuerta.
- Para el diseño geométrico del prototipo se utilizó SolidWorks, un software CAD/CAE que permitió el modelado fácil y rápido con los parámetros y dimensiones previamente establecidas, obteniendo un modelo muy cercano a la realidad y de fácil exportación para el uso en programas complementarios.
- Las simulaciones del prototipo se realizaron en ANSYS y SolidWorks (Software CAD/CAE), programas que permiten aplicar condiciones de análisis similares a la realidad, para tener una idea clara del comportamiento del prototipo al ser sometido a las condiciones reales de funcionamiento. Los resultados obtenidos en este software nos permitieron identificar puntos críticos en el diseño y mejorarlos

hasta obtener resultados favorables, que garanticen el correcto funcionamiento del prototipo al ser trasladada a la realidad.

- El acero ASTM A36 es el material que mejor se ajusta a nuestro diseño, presupuesto y facilidad de adquisición en el mercado local. Además, el espesor del manto cilíndrico y los cabezales se calculó en base a las recomendaciones del Código ASME Sección VIII División 1 y tomando en cuenta factores como la corrosión se obtuvo un espesor de 4 mm para el prototipo.
- La compuerta toriesférica con pernos bloqueantes es la opción más adecuada para el mecanismo de cierre del prototipo, debido a que soporta mayor presión con un espesor menor. Además, la apertura y cierre de la compuerta es fácil, con un costo de construcción considerable, teniendo en cuenta que el material ASTM A36 es económico.
- En base a las sugerencias del Código ASME Sección VIII División 1, se establece la presión adecuada propuesta por el diseñador y el proceso para la realización de las pruebas en el prototipo. Las pruebas realizadas indicaron que este soporta las condiciones de prueba de 2.2 ATA, durante un tiempo prolongado, manteniendo una presión estable y sin fugas.

#### **4.2 Recomendaciones**

- Es necesario preparar al paciente adecuadamente, siguiendo las condiciones establecidas en el manual, con el fin de evitar posibles accidentes.
- El encendido y apagado de la luz se debe realizar cuando el prototipo se encuentre abierto, con el fin de evitar posibles accidentes.
- Durante la construcción es importante realizar una inspección visual de las partes soldadas del prototipo, con el fin de identificar posibles fisuras previo a las pruebas de funcionamiento.
- La instalación del prototipo se debe realizar en un espacio adecuado y bien ventilado, que cuente con conexiones de alimentación y desfogue hacia el exterior, con el fin de presurizar el prototipo y eliminar los gases de desechos producidos durante el tratamiento, además, debe estar ubicada sobre una superficie nivelada.

- Este proyecto técnico puede abrir las puertas a la realización de nuevos proyectos de titulación, centrados en automatización y control, además puede ser escalado del uso veterinario al desarrollo de prototipos enfocados en el uso de personas.
- Se recomienda fomentar la investigación y desarrollo de este tema, ya que la terapia de oxigenación hiperbárica (TOHB), tiene muchos beneficios, pero no ha sido desarrollada adecuadamente en nuestro país.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Inicio», *SNAP*. <https://snap.ec/> (accedido 17 de noviembre de 2022).
- [2] «Nueva unidad hiperbárica en Ecuador». <https://www.biobarica.com/es/noticias/nueva-unidad-hiperbarica-en-ecuador-boNoWVUuklXk9FpNKLAX/> (accedido 1 de mayo de 2023).
- [3] C. L. L. Rodríguez, «Fundamento científico de la oxigenoterapia hiperbárica en el tratamiento del pie diabético infectado grave en medicina basada en evidencias», p. 9, 2010.
- [4] C. K. López Robles y G. P. Moreira Ponce, «Estudio de factibilidad para la implementación de un Spa con cámara hiperbárica que acelere el proceso de recuperación post - operatoria y metabólica en la ciudad de Guayaquil», Thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Administrativas. Ingeniería en Gestión Empresarial, 2015. Accedido: 13 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/11128>
- [5] O. Huchim-Lara, F. Rivas, N. Mendez, y N. Canul, «350 años de la medicina hiperbárica: aspectos históricos, fisiopatogénicos y terapéuticos», *Gaceta medica de Mexico*, vol. 153, pp. 1-8, feb. 2018, doi: 10.24875/GMM.17002950.
- [6] D. M. Levitan, M. Hitt, D. R. Geiser, y R. Lyman, «Rationale for hyperbaric oxygen therapy in traumatic injury and wound care in small animal veterinary practice», *Journal of Small Animal Practice*, vol. 62, n.º 9, pp. 719-729, 2021, doi: 10.1111/jsap.13356.
- [7] C. Braswell y D. T. Crowe, «Hyperbaric Oxygen Therapy», 2012.
- [8] A. J. L. Echegaray, E. J. J. Rojas, D. A. E. Carrasco, y C. G. Alfaro, «DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE EXPANSIÓN DE LA EMPRESA AVENTURA ACUÁTICA EN ECUADOR PARA LOS PRÓXIMOS 5 AÑOS».
- [9] A. C. De La Cruz Ajoy y . José Jairo Zúñiga Lino, «“PET-CARE” Asistencia médica integral para mascotas», ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL, Guayaquil-Ecuador, 2016.
- [10] E. Telégrafo, «3 de cada 5 familias tienen una mascota», *El Telégrafo*, 30 de agosto de 2015. <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/quito/1/3-de-cada-5-familias-tienen-una-mascota> (accedido 13 de mayo de 2022).

- [11] F. V. Rech, D. J. Fagundes, R. Hermanson, H. C. Rivoire, y A. L. N. Fagundes, «A proposal of multiplace hyperbaric chamber for animal experimentation and veterinary use», *Acta Cir. Bras.*, vol. 23, pp. 384-390, ago. 2008, doi: 10.1590/S0102-86502008000400014.
- [12] D. M. Cannellotto, D. Romero-Feris, M. Mercedes, y L. Jordá-Vargas, «Aplicaciones médicas de las cámaras de oxigenación hiperbárica de nueva generación», p. 9.
- [13] S. W. CVPM RVT, «Diving In: Hyperbaric Oxygen Therapy in Veterinary Medicine», *Today's Veterinary Practice*, 19 de diciembre de 2019. <https://todaysveterinarypractice.com/integrative-alternative-medicine/hyperbaric-oxygen-therapy-in-veterinary-medicine/> (accedido 23 de mayo de 2023).
- [14] E. P. Abreus, «Empleo de la oxigenación hiperbárica en las reconstrucciones oncológicas de cabeza y cuello», Scielo Cuba, 2007. Accedido: 23 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/uta/805>
- [15] O. J. M. Hernández y E. S. González, «O Xigenoterapia Hiperbárica: otro modo de Respirar», vol. 5, p. 5, 1988.
- [16] D. Gouveia *et al.*, «Hyperbaric Oxygen Therapy in Systemic Inflammatory Response Syndrome», *Veterinary Sciences*, vol. 9, n.º 2, p. 33, ene. 2022, doi: 10.3390/vetsci9020033.
- [17] «Hyperbaric Oxygen Chamber» Small Animal Hospital» College of Veterinary Medicine» University of Florida». <https://smallanimal.vethospital.ufl.edu/clinical-services/integrative-medicine-services/hyperbaric-oxygen-chamber/> (accedido 23 de mayo de 2023).
- [18] D. J. Pastorini, A. Menchaca, y M. Alberti, «¿Qué es la oxigenoterapia hiperbárica?», p. 14.
- [19] N. A. Rosas Ríos y M. Fuentes Paredes, «Proyecto cámara hiperbárica multiplaza para tratamiento de enfermedad descompresiva en buzos profesionales», UACH, Valdivia, 2005.
- [20] J. Desola, «REVISTA VIRTUAL DE MEDICINA HIPERBARICA», vol. 1260, p. 6, sep. 2000.
- [21] H. de SECHRIST, «MODELO 4100H/HR de SECHRIST», p. 2.

- [22] «Cámara Hiperbárica OxyLife 90 L», *PRIM Physio*.  
<https://www.primphysio.es/productos/camara-hiperbarica-oxyLife-90-l/> (accedido 24 de noviembre de 2022).
- [23] «Cámara Hiperbárica Nautilus Plus - FABRICACIÓN Y VENTA DE CÁMARAS HIPERBÁRICAS BLUE OCEAN».  
<https://www.camarahiperbaricablueocean.com/camara-hiperbarica-nautilus-plus/> (accedido 24 de noviembre de 2022).
- [24] J. M.-J. G.-A. Giudici, «2 CÓDIGO ASME PARA CALDERAS Y RECIPIENTES DE PRESIÓN (BPVC)», p. 27, 2015.
- [25] «Inspección de tanques para gases a baja presión – I. T. P. Tecnipetróleos S.A.» <https://itpsa.com.ec/inspeccion-de-tanques-para-gases-a-baja-presion/> (accedido 24 de noviembre de 2022).
- [26] Y. A. Y. Londoño, «SECTION VIII R ules for Construction of Pressure Vessels 2019 ASME Boiler and Pressure Vessel Code An International Code», Accedido: 22 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://www.academia.edu/44511106/SECTION\\_VIII\\_R\\_ules\\_for\\_Construction\\_of\\_Pressure\\_Vessels\\_2019\\_ASME\\_Boiler\\_and\\_Pressure\\_Vessel\\_Code\\_An\\_International\\_Code](https://www.academia.edu/44511106/SECTION_VIII_R_ules_for_Construction_of_Pressure_Vessels_2019_ASME_Boiler_and_Pressure_Vessel_Code_An_International_Code)
- [27] L. P. Long, «Qualification Standard for Welding, Brazing, and Fusing Procedures; Welders; Brazers; and Welding, Brazing, and Fusing Operators SECTION IX Welding, Brazing, and Fusing Qualifications 2019 ASME Boiler and Pressure Vessel Code An International Code», Accedido: 22 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://www.academia.edu/39922785/Qualification\\_Standard\\_for\\_Welding\\_Brazing\\_and\\_Fusing\\_Procedures\\_Welders\\_Brazers\\_and\\_Welding\\_Brazing\\_and\\_Fusing\\_Operators\\_SECTION\\_IX\\_Welding\\_Brazing\\_and\\_Fusing\\_Qualifications\\_2019\\_ASME\\_Boiler\\_and\\_Pressure\\_Vessel\\_Code\\_An\\_International\\_Code](https://www.academia.edu/39922785/Qualification_Standard_for_Welding_Brazing_and_Fusing_Procedures_Welders_Brazers_and_Welding_Brazing_and_Fusing_Operators_SECTION_IX_Welding_Brazing_and_Fusing_Qualifications_2019_ASME_Boiler_and_Pressure_Vessel_Code_An_International_Code)
- [28] T. Millan, «LIBRO Diseño y Calculo de Recipientes a Presion», Accedido: 24 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: [https://www.academia.edu/41261057/LIBRO\\_Dise%C3%91o\\_y\\_Calculo\\_de\\_Recipientes\\_a\\_Presion](https://www.academia.edu/41261057/LIBRO_Dise%C3%91o_y_Calculo_de_Recipientes_a_Presion)
- [29] R. G. Budynas, «Diseno en ingenieria mecanica de Shigley».

- [30] F. D. del Castillo Rodriguez, «RECIPIENTES A PRESIÓN», 2018. [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:vH0AA838JPOJ:olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina\\_ingenieria/mecanica/mat/mat\\_mec/m5/Recipientes%2520a%2520presion.pdf&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ec](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:vH0AA838JPOJ:olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m5/Recipientes%2520a%2520presion.pdf&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ec) (accedido 24 de noviembre de 2022).
- [31] J. L. Otegui y E. Rubertis, *Cañerías y recipientes de presión. Tomo I: diseño de cañerías y recipientes (2a. ed.)*. Eudem, 2012. Accedido: 24 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/uta/76505>
- [32] J. C. Lippold y D. J. Kotecki, *Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2005. Accedido: 3 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: [http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EME733/Semin%C3%A1rios%20Inox/Stainless%20Steel%20Welding\\_Metallurgy.pdf](http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EME733/Semin%C3%A1rios%20Inox/Stainless%20Steel%20Welding_Metallurgy.pdf)
- [33] American Welding Society, «Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding», 12 de abril de 2012. [https://pubs.aws.org/download\\_pdfs/a5.1-a5.1m-2012pv.pdf](https://pubs.aws.org/download_pdfs/a5.1-a5.1m-2012pv.pdf) (accedido 3 de julio de 2023).
- [34] «Welding Handbook - 9 Edition, Volume 2: Welding Handbook: Publications: American Welding Society». <https://www.aws.org/publications/page/welding-handbook-9-edition-volume-2> (accedido 3 de julio de 2023).
- [35] «Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, for Moderate- and Lower-Temperature Service». [https://www.astm.org/a0516\\_a0516m-10r15.html](https://www.astm.org/a0516_a0516m-10r15.html) (accedido 27 de noviembre de 2022).
- [36] «Standard Specification for Carbon Structural Steel». [https://www.astm.org/a0036\\_a0036m-19.html](https://www.astm.org/a0036_a0036m-19.html) (accedido 30 de junio de 2023).
- [37] G. A. Moreno Zavala, «Estudio de la soldabilidad de la unión disimilar de un acero estructural ASTM A36 con una aleación de aluminio AA5052-H34», jul. 2015, Accedido: 10 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6157>

- [38] L. Corporación, «Hoja Acrílico». 27 de junio de 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.corporacionlimatambo.com/wp-content/uploads/2020/06/FICHA-TECNICA-DE-ACRILICO.pdf>
- [39] E. R. Lasso y R. F. S. Díaz, «CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS SEGÚN LA INFLUENCIA DE LOS ELEMENTOS EXTERNOS AL POLICARBONATO EN DISCOS COMPACTOS RECUPERADOS», 2009.
- [40] R. A. P. Jines, «DISEÑO DE UN PRODUCTO A PARTIR DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ DE POLICARBONATO REFORZADO CON EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE MEZCLILLA», dic. 2021.
- [41] C. Y. Colores, «NSERCIONES DEL ASIENTO Y PANELES DE SOMBRILLAS», 2011.
- [42] N. Garrido Abate, «MANUAL BÁSICO DEL USO DE AUTOCLAVES», 2015.  
<http://sb.uta.cl/libros/Apuntes%20ba%CC%81sico%20de%20uso%20de%20auto%20clave.pdf> (accedido 2 de julio de 2023).
- [43] E. R. Guachambala Reinoso y M. D. Lovato Chanchay, «Modernización del sistema de control y de fuerza para la brilladora de ollas de presión Sillem de la fábrica de aluminio Umco S.A.», bachelorThesis, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2017., 2017. Accedido: 13 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19037>
- [44] R. Zeindler, «Olla a presión», 2377606, 29 de marzo de 2012 Accedido: 26 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: [http://www.oepm.es/pdf/ES/0000/000/02/37/76/ES-2377606\\_T3.pdf](http://www.oepm.es/pdf/ES/0000/000/02/37/76/ES-2377606_T3.pdf)
- [45] «ARTÍCULOS DE USO DOMÉSTICO. OLLAS A PRESIÓN. REQUISITOS - PDF Free Download». <https://docplayer.es/226499470-Articulos-de-uso-domestico-ollas-a-presion-requisitos.html> (accedido 26 de junio de 2023).
- [46] J. Nu, «Mechanical Design Engineering Handbook Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier», Accedido: 28 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en:

[https://www.academia.edu/40290800/Mechanical\\_Design\\_Engineering\\_Handbook\\_Butterworth\\_Heinemann\\_is\\_an\\_imprint\\_of\\_Elsevier](https://www.academia.edu/40290800/Mechanical_Design_Engineering_Handbook_Butterworth_Heinemann_is_an_imprint_of_Elsevier)

- [47] B. Erman, J. E. Mark, y C. M. Roland, Eds., *The science and technology of rubber*, Fourth edition. Amsterdam ; Boston: Elsevier Academic Press, 2013.
- [48] J. A. Marín Meléndez, «Manual de requerimientos constructivos e instalación para el sistema de fachadas prefabricadas unitizadas de muro cortina Extralum», Universidad Latina de Costa Rica, Heredia, Costa Rica, 2020. Accedido: 29 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://repositorio.ulatina.ac.cr/bitstream/20.500.12411/234/1/TFG\\_Ulatina\\_Jose\\_Marin\\_Melendez.pdf](https://repositorio.ulatina.ac.cr/bitstream/20.500.12411/234/1/TFG_Ulatina_Jose_Marin_Melendez.pdf)
- [49] ABRO, «ABRO SILICONA GRIS 999 9-AB-CH». [http://www.shurtapeperu.com/uploads/shares/Recursos/ABRO\\_Fichas\\_Tecnicas/ABRO\\_SILICONA\\_GRIS\\_999\\_9-AB\\_9-AB-CH.pdf](http://www.shurtapeperu.com/uploads/shares/Recursos/ABRO_Fichas_Tecnicas/ABRO_SILICONA_GRIS_999_9-AB_9-AB-CH.pdf) (accedido 2 de julio de 2023).
- [50] D. Gónzales Mendizabal, L. Matamoros, y C. Oronel, «VÁLVULAS Y ACCESORIOS», p. 14, ago. 2005.
- [51] «Fire safety in hyperbaric oxygen therapy», *University of Iowa Hospitals & Clinics*, 1 de septiembre de 2017. <https://uihc.org/educational-resources/fire-safety-hyperbaric-oxygen-therapy> (accedido 23 de junio de 2023).
- [52] «Grados de Protección IP, IK y Clase Eléctrica», *EVOLUX Lighting Co. LED Made in Chile*. <https://evolux.cl/blog/2016/8/21/grados-proteccion-ip-ik> (accedido 10 de enero de 2023).
- [53] «Ensayos de Protección IP (Ingress Protection) en Productos de Iluminación: Norma IEC 60529». <https://www.intertek.es/iluminacion/ip-ingress-protection-iec-60529/> (accedido 27 de junio de 2023).
- [54] «Tipos y clases de protección | Blog EGLO». <https://www.eglo.com/es/tipos-y-clases-de-proteccion> (accedido 10 de enero de 2023).
- [55] «Luminarias para áreas peligrosas», *Revista Energy Management*. <https://e-management.mx/2014/08/21/luminarias-para-areas-peligrosas/> (accedido 10 de enero de 2023).
- [56] C. A. R. Méndez, S. Pedro, y G. García, «DISEÑO DE CABINA DE PINTURA ELECTROSTÁTICA».

- [57] N. Malucín y J. Oswaldo, «Desarrollo óptimo de un dispensador automatizado de comida para mascotas domésticas».
- [58] «Pet Door Measurement Guide | Measure Your Dog for a Pet Door», *Dragon Pet Door*. <https://dragonpetdoor.com/pages/measure-your-dog> (accedido 29 de junio de 2023).
- [59] H. Beale y E. A. Ostrander, «Sizing up dogs», *Current Biology*, vol. 22, n.º 9, pp. R315-R316, may 2012, doi: 10.1016/j.cub.2012.02.013.
- [60] «Volumen de toriesferas - CAPACIDAD VOLUMÉTRICA DE TAPAS Y FONDOS TORIESFERICOS. Autores: DrC. - Studocu». <https://www.studocu.com/es-mx/document/instituto-tecnologico-de-toluca/administracion-de-operaciones-ii/volumen-de-toriesferas/14076796> (accedido 30 de junio de 2023).
- [61] V. eBooks, «The Merck Veterinary Manual 11th Edition PDF Free Download», *Vet eBooks*, 24 de julio de 2019. <https://www.vet-ebooks.com/the-merck-veterinary-manual-pdf/> (accedido 23 de agosto de 2023).
- [62] «Learn More with this Respiratory Article by Melissa Marshall». <https://www.vetfolio.com/learn/article/capnography-in-dogs> (accedido 24 de agosto de 2023).
- [63] T. F. D. S. Barros, R. G. Paulos, F. D. C. Iwase, G. B. D. Santos, M. R. D. Rezende, y R. Mattar Júnior, «EFFECT OF HYPERBARIC OXYGEN THERAPY ON NERVE REGENERATION IN RATS», *Acta ortop. bras.*, vol. 30, abr. 2022, doi: 10.1590/1413-785220223002191015.
- [64] K. A. Lema Aguaiza y C. E. Rea Gavilán, «Estudio del efecto de la protección catódica en la corrosión de placas y juntas soldadas a tope de aceros A-36 y SA-516 grado 70.», feb. 2020, Accedido: 13 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.esoch.edu.ec/handle/123456789/13931>
- [65] J. S. Beltran, «Página 11-2 CAPÍTULO 11 Manual de cálculos Planta de producción de ácido fórmico», Accedido: 4 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://www.academia.edu/34970965/P%C3%A1gina\\_11\\_2\\_CAP%C3%8DTULO\\_11\\_Manual\\_de\\_c%C3%A1lculos\\_Planta\\_de\\_producci%C3%B3n\\_de\\_%C3%A1cido\\_f%C3%B3rmico](https://www.academia.edu/34970965/P%C3%A1gina_11_2_CAP%C3%8DTULO_11_Manual_de_c%C3%A1lculos_Planta_de_producci%C3%B3n_de_%C3%A1cido_f%C3%B3rmico)

# ANEXOS

## Anexo 1. Eficiencia de la Soldadura Tabla UW-12, Código ASME, Sección VIII, Div. 1.

ASME BPVC.VIII.1-2019

UW-13

Table UW-12 Maximum Allowable Joint Efficiencies for Welded Joints		Extent of Radiographic or Ultrasonic Examination [Note (1), Note (2), Note (3)]			
Type No.	Joint Description	Joint Category	(a) Full [Note (4)]	(b) Spot [Note (5)]	(c) None
(1)	Butt joints as attained by double-welding or by other means that will obtain the same quality of deposited weld metal on the inside and outside weld surfaces to agree with the requirements of UW-35. Welds using metal backing strips that remain in place are excluded.	None	1.00	0.85	0.70
(2)	Single-welded butt joint with backing strip other than those included under (1)	A, B, C, and D	0.90	0.80	0.65
(3)	Single-welded butt joint without use of backing strip	A, B, C, and D	0.90	0.80	0.65
(4)	Double full fillet lap joint	A, B, and C	NA	NA	0.60
(5)	Single full fillet lap joints with plug welds conforming to UW-17	A, B, and C	NA	NA	0.55
(6)	Single full fillet lap joints without plug welds	A, B, and C [Note (6)]	NA	NA	0.50
(7)	Corner joints, full penetration, partial penetration, and/or fillet welded	C and D	NA	NA	NA
(8)	Angle joints	[Note (8)] B, C, and D	NA	NA	NA

(19)

121

## Anexo 2. Propiedades del Acero A516 Grado 70

### ASTM A516 Carbon Steel, Grade 70

**Categories:** [Metal](#); [Ferrous Metal](#); [Alloy Steel](#); [Low Alloy Steel](#); [ASTM Steel](#); [Carbon Steel](#); [Low Carbon Steel](#)

**Material Notes:** Carbon steel plate for moderate and lower temperature service.

Pressure vessel quality

**Key Words:** SA516, ASTM A285

**Vendors:** No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	<a href="#">7.80</a> g/cc	<a href="#">0.282</a> lb/in <sup>3</sup>	Typical of ASTM Steel
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Tensile Strength, Ultimate	<a href="#">485 - 620</a> MPa	<a href="#">70300 - 89900</a> psi	
Tensile Strength, Yield	<a href="#">260</a> MPa	<a href="#">37700</a> psi	
Elongation at Break	17 %	17 %	in 200mm
	21 %	21 %	in 50mm
Modulus of Elasticity	<a href="#">200</a> GPa	<a href="#">29000</a> ksi	Typical Carbon Steel
Bulk Modulus	<a href="#">160</a> GPa	<a href="#">23200</a> ksi	Typical for Steel
Poissons Ratio	0.29	0.29	Typical Carbon Steel
Shear Modulus	<a href="#">80.0</a> GPa	<a href="#">11600</a> ksi	Typical for Steel
Electrical Properties	Metric	English	Comments
Electrical Resistivity	<a href="#">0.0000170</a> ohm-cm	<a href="#">0.0000170</a> ohm-cm	Typical Carbon Steel
Thermal Properties	Metric	English	Comments
CTE, linear	<a href="#">12.0</a> µm/m-°C	<a href="#">6.67</a> µin/in-°F	Typical Carbon Steel
Specific Heat Capacity	<a href="#">0.470</a> J/g-°C	<a href="#">0.112</a> BTU/lb-°F	Typical Carbon Steel
Thermal Conductivity	<a href="#">52.0</a> W/m-K	<a href="#">361</a> BTU-in/hr-ft <sup>2</sup> -°F	Typical Carbon Steel
Component Elements Properties	Metric	English	Comments
Carbon, C	0.31 %	0.31 %	may vary with plate thickness
Iron, Fe	98.315 %	98.315 %	as balance
Manganese, Mn	0.85 - 1.2 %	0.85 - 1.2 %	
Phosphorus, P	0.035 %	0.035 %	
Silicon, Si	0.15 - 0.40 %	0.15 - 0.40 %	
Sulfur, S	0.040 %	0.040 %	

[References](#) for this datasheet.

Some of the values displayed above may have been converted from their original units and/or rounded in order to display the information in a consistent format. Users requiring more precise data for scientific or engineering calculations can click on the property value to see the original value as well as raw conversions to equivalent units. We advise that you only use the original value or one of its raw conversions in your calculations to minimize rounding error. We also ask that you refer to MarWeb's [terms of use](#) regarding this information. [Click here](#) to view all the property values for this datasheet as they were originally entered into MarWeb.

Anexo 3. Código ASME Sección II, Parte D. Tabla 1A pág. 20

**Table 1A (Cont'd)**  
**Section I; Section III, Division 1, Classes 2 and 3;\* Section VIII, Division 1; and Section XII**  
**Maximum Allowable Stress Values, S, for Ferrous Materials**  
 (\*See Maximum Temperature Limits for Restrictions on Class)

Line No.	Nominal Composition	Product Form	Spec. No.	Type/Grade	Alloy Desig./ UNS No.	Class/ Condition/ Temper	Size/Thickness, in.	P-No.	Group No.
1	Carbon steel	Castings	SA-352	LCB	J03003	...	...	1	1
2	Carbon steel	Plate	SA-515	65	K02800	...	...	1	1
3	Carbon steel	Plate	SA-516	65	K02403	...	...	1	1
4	Carbon steel	Wld. pipe	SA-671	CB65	K02800	...	...	1	1
5	Carbon steel	Wld. pipe	SA-671	CC65	K02403	...	...	1	1
6	Carbon steel	Wld. pipe	SA-672	B65	K02800	...	...	1	1
7	Carbon steel	Wld. pipe	SA-672	C65	K02403	...	...	1	1
8	Carbon steel	Sheet	SA-414	E	K02704	...	...	1	1
9	Carbon steel	Plate	SA-662	B	K02203	...	...	1	1
10	Carbon steel	Plate	SA-537	...	K12437	1	$2\frac{1}{2} < t \leq 4$	1	2
11	Carbon steel	Wld. pipe	SA-691	CMSH-70	K12437	...	$2\frac{1}{2} < t \leq 4$	1	2
(21) 12	Carbon steel	Plate, sheet, bar	SA-572	50	...	...	$t \leq 4$	...	...
(21) 13	Carbon steel	Round bar	SA-572	50	...	...	$t \leq 11$	...	...
(21) 14	Carbon steel	Sheet, strip	SA-1011	50	SS	...	$t \leq 0.23$	...	...
(21) 15	Carbon steel	Sheet, strip	SA-1011	50	HSLAS	1	...	...	...
(21) 16	Carbon steel	Sheet, strip	SA-1011	55	HSLAS	2	...	...	...
17	Carbon steel	Plate, bar	SA/CSA-G40.21	44W	...	...	$t \leq 8$	1	1
18	Carbon steel	Plate, bar	SA/CSA-G40.21	50W	...	...	$t \leq 6$	1	1
19	Carbon steel	Plate	SA/AS 1548	PT460N	...	Normalized	$\leq 6$	1	1
20	Carbon steel	Plate	SA/AS 1548	PT460NR	...	Norm. rid.	$\leq 6$	1	1
21	Carbon steel	Forgings	SA/EN 10222-2	P280GH	...	NT or QT	$1.4 < t \leq 6.3$	1	1
22	Carbon steel	Plate	SA/EN 10028-2	P295GH	...	...	$2\frac{1}{4} < t \leq 4$	1	1
23	Carbon steel	Plate	SA/EN 10028-2	P295GH	...	...	$\leq 2\frac{1}{4}$	1	1
24	Carbon steel	Forgings	SA/EN 10222-2	P280GH	...	Normalized	$t \leq 1.4$	1	1
(21) 25	Carbon steel	Plate	SA/GB 713	Q345R	...	...	$6 < t \leq 10$	1	2
26	Carbon steel	Plate	SA/EN 10028-2	P355GH	...	...	$6 < t \leq 10$	1	2
27	Carbon steel	Plate	SA/GB 713	Q345R	...	...	$4 < t \leq 6$	1	2
28	Carbon steel	Plate	SA/EN 10028-2	P355GH	...	...	$4 < t \leq 6$	1	2
29	Carbon steel	Plate	SA-455	...	K03300	...	$0.58 < t \leq \frac{3}{4}$	1	2
30	Carbon steel	Bar	SA-675	70	...	...	...	1	2
31	Carbon steel	Forgings	SA-105	...	K03504	...	...	1	2
32	Carbon steel	Forgings	SA-181	...	K03502	70	...	1	2
33	Carbon steel	Castings	SA-216	WCB	J03002	...	...	1	2
34	Carbon steel	Forgings	SA-266	2	K03506	...	...	1	2
35	Carbon steel	Forgings	SA-266	4	K03017	...	...	1	2
36	Carbon steel	Forgings	SA-350	LF2	K03011	1	...	1	2
37	Carbon steel	Forgings	SA-350	LF2	K03011	2	...	1	2
38	Carbon steel	Forgings	SA-508	1	K13502	...	...	1	2
39	Carbon steel	Forgings	SA-508	1A	K13502	...	...	1	2
40	Carbon steel	Forgings	SA-541	1	K03506	...	...	1	2
41	Carbon steel	Forgings	SA-541	1A	K03020	...	...	1	2
42	Carbon steel	Cast pipe	SA-660	WCB	J03003	...	...	1	2
43	Carbon steel	Forgings	SA-765	II	K03047	...	...	1	2
44	Carbon steel	Plate	SA-515	70	K03101	...	...	1	2
45	Carbon steel	Plate	SA-516	70	K02700	...	...	1	2

## Anexo 4. Propiedades del Acero Estructural ASTM A36

### ASTM A36 Steel, plate

**Categories:** [Metal](#); [Ferrous Metal](#); [ASTM Steel](#); [Carbon Steel](#); [Low Carbon Steel](#)

**Material Notes:** Steel for general structural purposes including bridges and buildings.

Minimum Cu content when copper steel is specified.

Tests performed in transverse direction for plates wider than 590 mm.

**Key Words:** UNS K02600

**Vendors:** No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	<a href="#">7.80</a> g/cc	<a href="#">0.282</a> lb/in <sup>3</sup>	Typical of ASTM Steel

Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Tensile Strength, Ultimate	<a href="#">400 - 550</a> MPa	<a href="#">58000 - 79800</a> psi	
Tensile Strength, Yield	<a href="#">250</a> MPa	<a href="#">36300</a> psi	
Elongation at Break	20 %	20 %	in 200 mm
	23 %	23 %	In 50 mm.
Modulus of Elasticity	<a href="#">200</a> GPa	<a href="#">29000</a> ksi	
Bulk Modulus	<a href="#">160</a> GPa	<a href="#">23200</a> ksi	Typical for steel
Poissons Ratio	0.26	0.26	
Shear Modulus	<a href="#">79.3</a> GPa	<a href="#">11500</a> ksi	

Component Elements Properties	Metric	English	Comments
Carbon, C	0.25 - 0.29 %	0.25 - 0.29 %	
Copper, Cu	0.20 %	0.20 %	
Iron, Fe	98 %	98 %	
Manganese, Mn	1.03 %	1.03 %	
Phosphorus, P	<= 0.040 %	<= 0.040 %	
Silicon, Si	0.28 %	0.28 %	
Sulfur, S	<= 0.050 %	<= 0.050 %	

[References](#) for this datasheet.

Some of the values displayed above may have been converted from their original units and/or rounded in order to display the information in a consistent format. Users requiring more precise data for scientific or engineering calculations can click on the property value to see the original value as well as raw conversions to equivalent units. We advise that you only use the original value or one of its raw conversions in your calculations to minimize rounding error. We also ask that you refer to MarWeb's [terms of use](#) regarding this information. [Click here](#) to view all the property values for this datasheet as they were originally entered into MarWeb.

**Anexo 5. Ficha Técnica de la plancha del Acero Estructural A36 de 4 mm de espesor según DIPAC**

## PLANCHAS

### LAMINADAS AL CALIENTE

**Especificaciones Generales:**

<b>Norma:</b>	NTE INEN 115
<b>Espesores:</b>	ASTM A36 - SAE J 403 1008
<b>Espesores:</b>	2mm a 12mm
<b>Rollos:</b>	Ancho 1000, 1220, 1500mm
<b>Planchas:</b>	4 x 8 pies y medidas especiales
<b>Acabado:</b>	Acero Negro



**Calidad Comercial**

Calidad	Composición Química							Propiedades Mecánicas			Norma Equivalente
	% C	%MN	%P	%S	%SI	%AL	%CU	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alargamiento %	Doblado 180°	
JIS G3131 SPHC	0,08 0,13	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,05 max	0,02 0,08	0,2 max	270 min	29 min	0= 0e	SAE 1010 ASTM A-569
SAE 1008	0,03 0,1	0,25 0,5	0,02 max	0,025 max	0,04 max	0,02 0,08	0,2 max				JIS G3132 SPHT1
SAE 1012	0,1 0,15	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,03 max	0,02 0,08	0,2 max				ASTM A-635 ASTM A-570 GRADO 33

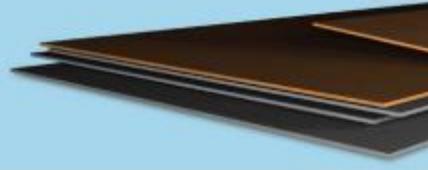
**Calidad Estructural**

Norma	Composición Química							Propiedades Mecánicas				Norma Equivalente
	% C	%MN	%P	%S	%SI	%CU	OTROS	Fluencia (Mpa)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alargamiento %	Doblado 180°	
ASTM A-588M Grado A	0,19 max	0,8 1,25	0,04 max	0,05 max	0,3 0,6	0,25 0,40	Ni 0,15-0,35 Cr 0,40-0,65 V 0,02-0,10	345 min	485 min	18 min		
ASTM A-283 Grado C	0,12 0,18	0,3 0,6	0,025 max	0,03 max	0,04 max	0,2 max		205 min	380 516 max	25 min	0=1,5e	SAE 1015
JIS G-3101 5541 M	0,17 0,23	0,3 0,6	0,025 max	0,025 max	0,04 max	0,25 max		250 min	400 min 550 max	21 min		SAE 1020 ASTM A-36 ASTM A-570 GRADO 36
A 36	0,25 0,29	0,80 1,2	0,04 max	0,05 max	0,4 max	0,20 max		250 min	400 min 550 max	20 min		
A570-GR50	0,25	1,35 max	0,035 max	0,04 max				340 min	450 min 550 max	17 min	1-1/2e	

## Anexo 6. Ficha técnica del acero A36 según IPAC

### Planchas

- Para tanques
- Para puentes



#### Plancha para tanques

Recubrimiento:  
Negro  
Espesores:  
Desde 4,00 a 42,00 mm  
Norma de Fabricación:  
ASTM A 6  
Calidad de Acero:  
ASTM A 36 / ASTM A516  
Observaciones:  
Dimensiones y largos especiales, previa consulta

Espesor	Ancho	Largo	Peso Aprox.
mm	mm	mm	kg
4,00 - 25,00	2440	6000	460 - 2873
	2440	12000	919 - 5746
6,35 - 42,00	2500	6000	748 - 4946
	2500	12000	748 - 9891



- › **Aplicaciones**
- Cuerpo de tanques.
  - Tapa y fondo de tanques.

#### Plancha para puentes

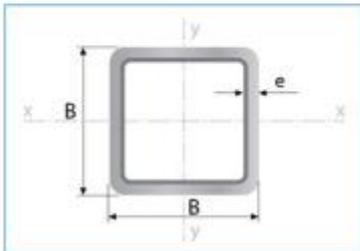
Recubrimiento:  
Negro  
Espesores:  
Desde 8,00 a 100,00 mm  
Calidad de Acero:  
ASTM A 588 Gr. A  
Observaciones:  
Dimensiones y largos especiales, previa consulta

Espesor	Ancho	Largo	Peso Aprox.
mm	mm	mm	kg
8,00 - 20,00	2500	12000	1884 - 4710
25,00	2500	9600	4710
30,00	2500	8000	4710
40,00	2500	7500	5887
50,00	2500	6000	5887
80,00	2500	4000	6280
100,00	2500	2520	4945



- › **Aplicaciones**
- Conformación de elementos de alma llena.
  - Conformación de cajetines para cerchas de puentes.
  - Conformación de viguetas de puentes.
  - Placas de apoyo.

Anexo 7. Ficha técnica de tubos cuadrados de 40x40x2 mm según IPAC



Largo Normal:  
6 metros  
Recubrimiento:  
Negro o Galvanizado  
Calidad de Acero:  
JIS G 3132, ASTM A 36 y ASTM  
A572 Gr 50  
Norma de Fabricación:  
ASTM A 500/ NTE INEN 2415  
Espesores:  
Desde 1,40 a 6,00 mm  
Observaciones:  
Otras dimensiones y largos,  
previa consulta

Aplicaciones

- Automotriz y de autopartes: carrocería y remolques.
- Agroganadera: maquinaria e implementos industriales, agrícolas, avícolas y ganaderos.
- Señalización y vialidad: soportes.
- Aparatos de gimnasia y fitness.
- Construcción: columnas.
- Estructuras: galpones y naves industriales, edificios, soporte de techos.



Designaciones	Área	Peso	Propiedades Estáticas			
			Eje x-x = y-y			
B	e	A	P	I	W	i
mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
20	1,40	0,99	0,78	0,56	0,56	0,75
	1,50	1,05	0,83	0,58	0,58	0,75
	1,80	1,23	0,96	0,66	0,66	0,73
	2,00	1,34	1,05	0,70	0,70	0,72
25	1,40	1,27	1,00	1,16	0,93	0,95
	1,50	1,35	1,06	1,22	0,97	0,95
	1,80	1,59	1,25	1,39	1,11	0,94
	2,00	1,74	1,36	1,49	1,19	0,93
30	1,40	1,55	1,22	2,08	1,39	1,16
	1,50	1,65	1,30	2,20	1,47	1,15
	1,80	1,95	1,53	2,53	1,68	1,14
	2,00	2,14	1,68	2,73	1,82	1,13
38	1,40	2,00	1,57	4,41	2,32	1,48
	1,50	2,13	1,67	4,67	2,46	1,48
	1,80	2,52	1,98	5,42	2,85	1,47
	2,00	2,78	2,18	5,89	3,10	1,46
40	1,40	2,11	1,66	5,18	2,59	1,57
	1,50	2,25	1,77	5,49	2,75	1,56
	1,80	2,67	2,09	6,39	3,19	1,55
	2,00	2,94	2,31	6,95	3,47	1,54
	2,50	3,59	2,82	8,23	4,12	1,51
	3,00	4,21	3,30	9,36	4,68	1,49
	4,00	5,35	4,20	11,18	5,59	1,45
50	1,40	2,67	2,10	10,42	4,17	1,97
	1,50	2,85	2,24	11,07	4,43	1,97
	1,80	3,39	2,66	12,95	5,18	1,96
	2,00	3,74	2,93	14,15	5,66	1,95
	2,50	4,59	3,60	16,98	6,78	1,92
	3,00	5,41	4,25	19,50	7,80	1,90
	4,00	6,95	5,45	23,84	9,54	1,85
60	1,50	3,45	2,71	19,52	6,51	2,38
	1,80	4,11	3,22	22,95	7,65	2,36
	2,00	4,54	3,56	25,15	8,38	2,35
	2,50	5,59	4,39	30,36	10,12	2,33
	3,00	6,61	5,19	35,17	11,72	2,31
	4,00	8,55	6,71	43,65	14,55	2,26
70	1,50	4,05	3,18	31,46	8,99	2,79
	1,80	4,83	3,79	37,09	10,60	2,77
	2,00	5,34	4,19	40,73	11,64	2,76
	2,50	6,59	5,17	49,43	14,12	2,74
	3,00	7,81	6,13	57,56	16,45	2,72
	4,00	10,15	7,97	72,22	20,64	2,67
75	1,50	4,35	3,42	38,92	10,38	2,99
	1,80	5,19	4,07	45,95	12,25	2,98
	2,00	5,74	4,50	50,50	13,47	2,97
	2,50	7,09	5,56	61,40	16,37	2,94
	3,00	8,41	6,60	71,65	19,11	2,92
	4,00	10,95	8,59	90,29	24,08	2,87
90	1,80	6,27	4,92	80,71	17,94	3,59
	2,00	6,94	5,45	88,87	19,75	3,58
	2,50	8,59	6,74	108,57	24,13	3,56
	3,00	10,21	8,01	127,32	28,29	3,53
	4,00	13,35	10,48	162,02	36,01	3,48
100	1,80	6,99	5,48	111,62	22,32	4,00
	2,00	7,74	6,07	123,01	24,60	3,99
	2,50	9,59	7,53	150,65	30,13	3,96
	3,00	11,41	8,96	177,08	35,42	3,94
	4,00	14,95	11,73	226,46	45,29	3,89
	5,00	18,36	14,41	271,36	54,27	3,84
	6,00	21,63	16,98	312,00	62,40	3,80
120	2,50	11,59	9,10	264,81	44,13	4,78
	3,00	13,81	10,84	312,38	52,06	4,76
	4,00	18,15	14,25	402,38	67,06	4,71
	4,50	20,27	15,91	444,87	74,14	4,68
	5,00	22,36	17,55	485,73	80,95	4,66
	6,00	26,43	20,75	582,68	93,78	4,61
125	3,00	14,41	11,31	354,53	56,73	4,96
	4,00	18,95	14,87	457,33	73,17	4,91
	5,00	23,36	18,33	552,87	88,46	4,87
	6,00	27,63	21,69	641,41	102,63	4,82
135	3,00	15,61	12,25	449,88	66,65	5,37
	4,00	20,55	16,13	581,80	86,19	5,32
	5,00	25,36	19,90	705,16	104,47	5,27
	6,00	30,03	23,58	820,25	121,52	5,23
150	3,00	17,41	13,67	622,76	83,03	5,98
	4,00	22,95	18,01	807,92	107,72	5,93
	5,00	28,36	22,26	982,37	130,98	5,89
	6,00	33,63	26,40	1146,43	152,86	5,84

## Anexo 8. Ficha técnica del Acrílico



### FICHA TECNICA – Acrílico Bold

El acrílico es sinónimo de innovación y versatilidad, ya que transmite una imagen contemporánea y tiene aplicación en varios segmentos de mercado. Es por eso que en BOLD nuestra preocupación comienza con las materias primas que son 100% vírgenes. Además, nuestras láminas acrílicas cumplen con los estándares Internacionales de variación de espesor, son translúcidas, fáciles de moldear y no se ponen amarillas. Para dar vida a los proyectos de los clientes, producimos y distribuimos láminas acrílicas en varios colores y tamaños, siempre entregando calidad de producto y agilidad en la entrega.



Propiedades físicas y ópticas	Valor requerido	Resultado	Unidad	Método de prueba
Densidad	1,19	1,19	g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183-1
Tasa de absorción de agua en 24 horas	0,5	0,4	%	ISO 62
Transmitancia de luz total (Cristal acrílico)	≥90	105	%	ASTM D-658

Propiedades Mecánicas				
Resistencia a la flexión	100 a 115	104	Mpa	ISO 178
Resistencia al impacto Charpy	≥13	15	KJ/M <sup>2</sup>	ISO 179/1fU
Módulo de elasticidad en tracción	≥3000	3210	Mpa	ISO 527-2
Resistencia a la tracción	≥70	72	Mpa	ISO 527-2
Dureza Rockwell	95-100	104	Escala	ASTM-D785
Deformación por tracción	≥1	4,4	%	ISO 527-2

Propiedades Térmicas				
Temperatura de distorsión térmica (HDT)	95 a 100	97	°C	ISO 75-2
Temperatura de reblandecimiento Vicat	≥105	105	°C	ISO 306-B50
Coefficiente de dilatación térmica lineal*	7X10 <sup>-5</sup>	6,1× 10 <sup>-5</sup>	K <sup>-1</sup>	ISO 11359-2
Variación dimensional a temperatura elevada	Max.2,5	0,11	%	ISO 7823

## Anexo 9. Ficha técnica del Policarbonato

000.021.2090.

### PROPIEDADES MECÁNICAS:

Propiedad	Método de prueba	Unidades	Valor
<b>FÍSICAS</b>			
Peso específico	ASTM D792		1,20
Índice de refracción a 77° F (25° C)	ASTM D542A		1,586
Transmisión de luz (promedio) disco de 1/8"	ASTM D1003	%	88
Dureza Rockwell	ASTM D785		M70
Resistencia a la abrasión, abrasión Taber, rueda CS-17	ASTM D1044	mg/1.000 ciclos	10
Absorción de agua, equilibrio, 24 horas	ASTM D570	%	0,15
a 73° F (22° C)			0,35
@ 212° F (100° C)			0,58
<b>MECÁNICAS</b>			
Resistencia a la rotura	ASTM D638	psi	
en estiramiento			9.000
Máxima			9.500
Módulo de tensión	ASTM D638	psi	345.000
Resistencia a la flexión	ASTM D790	psi	13.500
Módulo de flexión	ASTM D790	psi	345.000
Resistencia a la flexión a 1.800 ciclos/minuto, 73° F (22° C), 50% RH	ASTM D671	psi	1.000
Resistencia a la compresión	ASTM D695	psi	12.500
Módulo de compresión	ASTM D695	psi	345.000
Alargamiento	ASTM D638	%	110
Coefficiente de Poisson			0,37
Resistencia al impacto Izod	ASTM D256A	pieslibras/pulgada	
Con muesca a 1/8"			12 a 16
Sin muesca a 1/8"			60 (ninguna falla)
Resistencia a la rotura y al impacto, probeta tipo-S			225 a 300
Resistencia al corte			
En estiramiento			6.000
Máxima			10.000
Módulo de corte	ASTM D732	psi	114.000
Deformación bajo peso a 4.000 psi	ASTM D621	%	
a 73° F (22° C)			0,2
a 158° F (70° C)			0,3

## Anexo 10. Ficha técnica del empaque EPDM



**LORK  
INDUSTRIAS**



[www.lorkindustrias.com](http://www.lorkindustrias.com)

LORK INDUSTRIAS, S.L.  
CARACAS, 11  
08030—BARCELONA  
SPAIN  
Tel.: 0034 93 346 82 12  
Fax: 0034 93 311 30 60  
Email: [lork@lorkindustrias.com](mailto:lork@lorkindustrias.com)

### FICHA TÉCNICA

#### EPDM

#### Composición

Etileno Propileno

#### Características

El caucho EPDM posee excelente resistencia al agua, vapor, al ozono y a los rayos UV, a la vez que tiene muy buenas propiedades de flexibilidad a bajas temperaturas. Posee un inmejorable comportamiento frente al envejecimiento y a los agentes climáticos en su uso a la intemperie a largo plazo.

Propiedades	Unidades	Valores
Composición	Etileno Propileno	
Color	Negro	
Peso específico	1,3 ± 0,05	gr/cm <sup>3</sup>
Dureza	65 ± 5	SHORE A
Carga de rotura	≥ 5	Mpa
Alargamiento a la rotura	≥ 300	%
Resistencia al desgarro	20	N/ mm
Temperatura mínima de servicio	-30	°C
Temperatura máxima de servicio	120	°C
Envejecimiento por aire caliente	72 h x 70°C	
Inc. Dureza	5	SHORE A
Inc. Carga de rotura	-15	%
Inc. Alargamiento	-40	%
Resistencia Química		
Ozono	Excelente	
Ácidos y Alcalis diluidos	Muy Buena	
Ácidos y Alcalis concentrados	Buena	
Hidrocarburos, aceites y grasas	No recomendada	
Disolventes orgánicos	Moderada	

## Anexo 11. Ficha Técnica del Pegamento ABRO GREY 999 (Silicona Gris 999)

Ficha Técnica

# 9-AB-CH



## Silicona Gris 999

### Descripción:

La Silicona Automotriz Gris Alta Temperatura está diseñada especialmente para aplicaciones automotrices como sellado de colectores de escape, sensores de oxígeno, juntas en la caja de cambio, compresores y bomba, sellado de cabinas de camiones y remolques, y unión y sellado de autopartes.

### Indicaciones de Uso:

Uso Normal: Aplicar cordones de 1/8" - Dejar que cure mínimo por 15 min. Material cura por completo a las 24 horas.

### Presentaciones:

• Tubos de 3 oz. (9-AB)

### Almacenamiento:

• Mantener el contenedor cerrado y a temperaturas menores a 32°C  
• Almacenar lejos de agua o humedad

### Características / Beneficios:

• La consistencia se mantiene uniforme en diferentes rangos de temperatura  
• La silicona automotriz ABRO antiene sus propiedades elastoméricas a temperaturas desde -62° a 232°C. Puede usarse hasta 320°C  
• Baja volatilidad y bajo olor

### DATA DE TEST TÍPICO

#### Propiedades Físicas

Forma Física	Pasta Gris
Gravedad Específica	1.43
Dureza	26
Tiempo sin Tack a 25°C	50% RH < 1hr
Tiempo de Curado a 25°C	50% RH Cordón de 1/4" en 24 horas

\* Datos de test típico son solo valores promedio. Variaciones menores que no afectan el desempeño del producto son esperados durante una producción normal.



Importado por Shurtape Perú S.A. | Calle Minería 141 Santa Anita - Perú | Telf: 496-3400 | www.abro.pe

Encuentra más de nuestros productos escaneando el código QR



Anexo 12. Factor de pandeo K para columnas

Buckled shape of column shown by dashed line						
Theoretical K value	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Recommended design value K	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
End condition key		<p>Rotation fixed and translation fixed</p> <p>Rotation free and translation fixed</p> <p>Rotation fixed and translation free</p> <p>Rotation free and translation free</p>				

### Anexo 13. Fotografías de la prueba 1

-Presión alcanzada



-Fallo



-Corrección



## Anexo 14. Fotografías de la prueba 2

-Presión alcanzada



-Corrección



### Anexo 15. Fotografías de la prueba 3

-Presión alcanzada



-Fallo



-Corrección



**Anexo 16.** Fotografías de la prueba 4, borde de la ventana

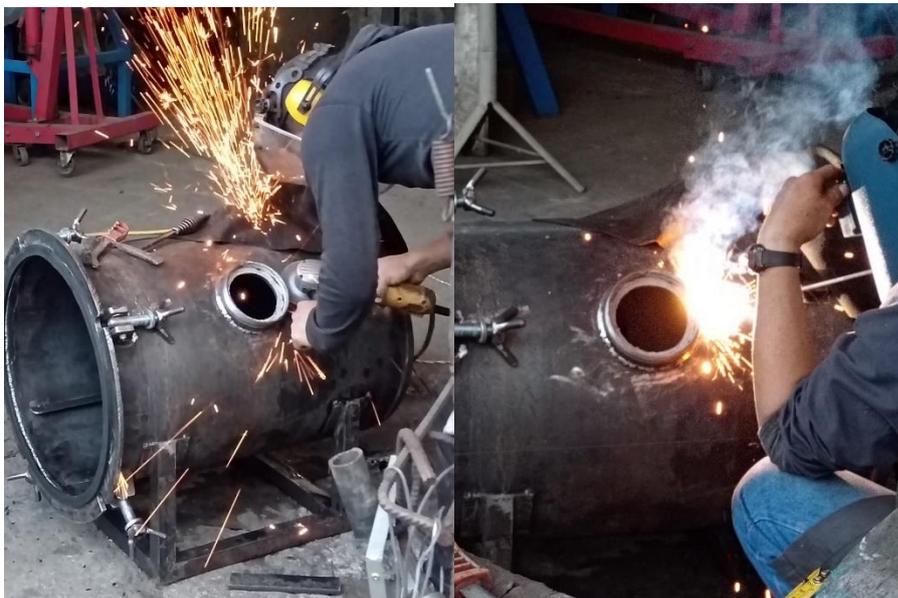
-Presión alcanzada



-Fallo



-Corrección



Anexo 17. Fotografías prueba 4, Empaque

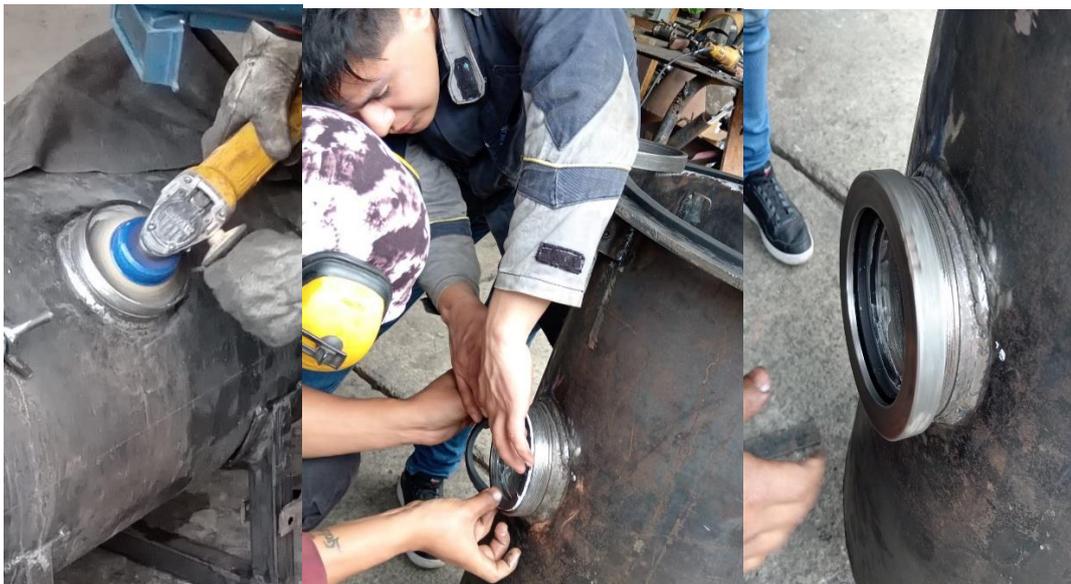
-Presión alcanzada



-Fallo



-Corrección



## Anexo 18. Fotografías de la prueba 5

-Presión alcanzada



-Fallo



-Corrección



**Anexo 19.** Fotografías de la prueba 6 durante 5 minutos

-Presión alcanzada



-Prototipo sin fallos



**Anexo 20.** Fotografías de la prueba 6 durante 10 minutos

-Presión alcanzada



-Prototipo sin fallos



**Anexo 21.** Fotografías de la prueba 6 durante 15 minutos

-Presión alcanzada



-Prototipo sin fallos



**Anexo 22. Fotografías de la prueba 6 durante 20 minutos**

-Presión alcanzada



-Presión sin fallos



**Anexo 23.** Fotografías de la prueba 6 durante 25 minutos

-Presión alcanzada



-Prototipo sin fallos



**Anexo 24.** Fotografías de la prueba 6 durante 30 minutos

-Presión alcanzada



-Prototipo sin fallos



Anexo 25. Fotografías de la prueba 6 durante 60 minutos

-Presión alcanzada



-Prototipo sin fallos



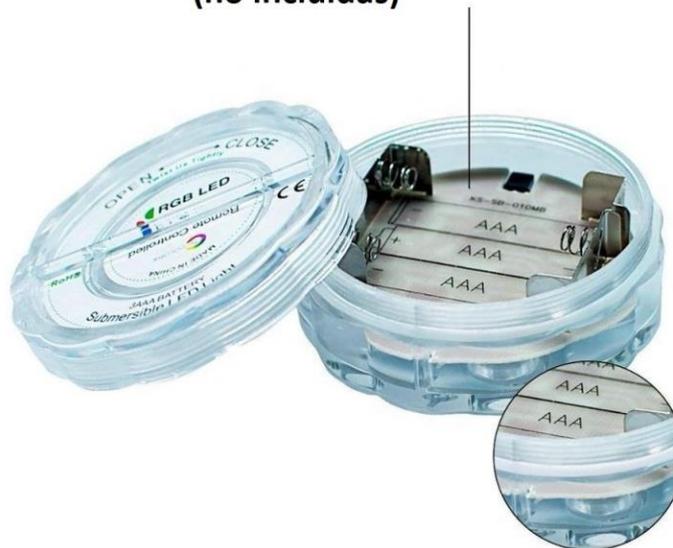
## Anexo 26. Luz LED sumergible de IP68



IP68  
Waterproof



**Potenciado por 3 baterías AAA  
(no incluidas)**



**Anillo de sellado - Protección  
a prueba de agua**

CÓDIGO: LAMP-LED-101668

**Anexo 27.** Prototipo de la cámara hiperbárica en la clínica SNAP



**Anexo 28.** Certificado de aprobación por parte de la Clínica Veterinaria SNAP

  
SPRV E NEUTER AMBATO PROGRAM

Ambato, 23 de agosto de 2023

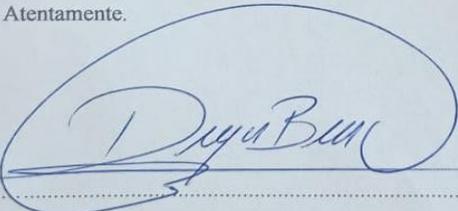
Señores:  
Edison Fernando Casa Molina  
Welington Wladimir Jati Chanchicocha  
ESTUDIANTES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

Presentes:

Yo, **DIEGO ALEJANDRO BARRERA VILLARROEL DMVZ**, con cedula de ciudadanía No. 1803045945 y registro SENESYT 100-09-698758, en calidad de GERENTE PROPIETARIO de la Clínica Veterinaria “SNAP”, referente al proyecto de grado presentado por **EDISON FERNANDO CASA MOLINA** y **WELINGTON WLADIMIR JATI CHANCHICOCHA**, portadores de las Cédulas de Ciudadanía No 0504604273 y No 0504063249 respectivamente, con el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA HIPERBÁRICA PARA MASCOTAS PEQUEÑAS Y MEDIANAS PARA LA CLÍNICA VETERINARIA SNAP DE LA CIUDAD DE AMBATO”**, me permito informar que se ha cumplido con los objetivos propuestos, además por medio del presente, esta Gerencia certifica la culminación y aceptación del contenido del documento que será publicado en el repositorio de la Universidad Técnica de Ambato, adicional se autoriza hacer público los datos que se utilizaron en el desarrollo de este proyecto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes.

Atentamente.



  
SPRV E NEUTER AMBATO PROGRAM  
Clínica Veterinaria

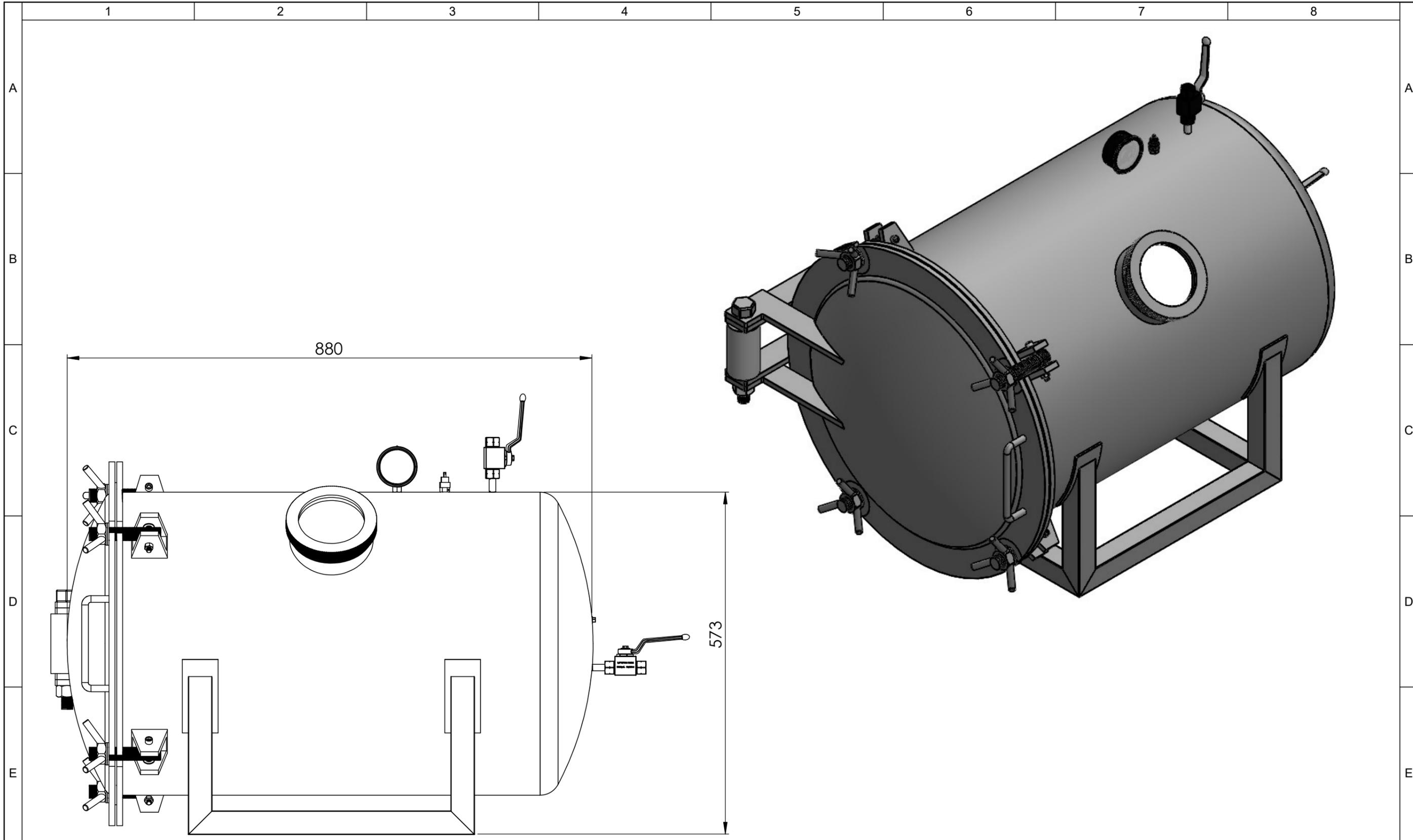
Dr. **DIEGO ALEJANDRO BARRERA VILLARROEL MVZ**,  
Gerente Propietario de la clínica Veterinaria “SNAP”  
CC: 1803045945  
(03)2845449  
0995002475  
[direccion@snap.ec](mailto:direccion@snap.ec)



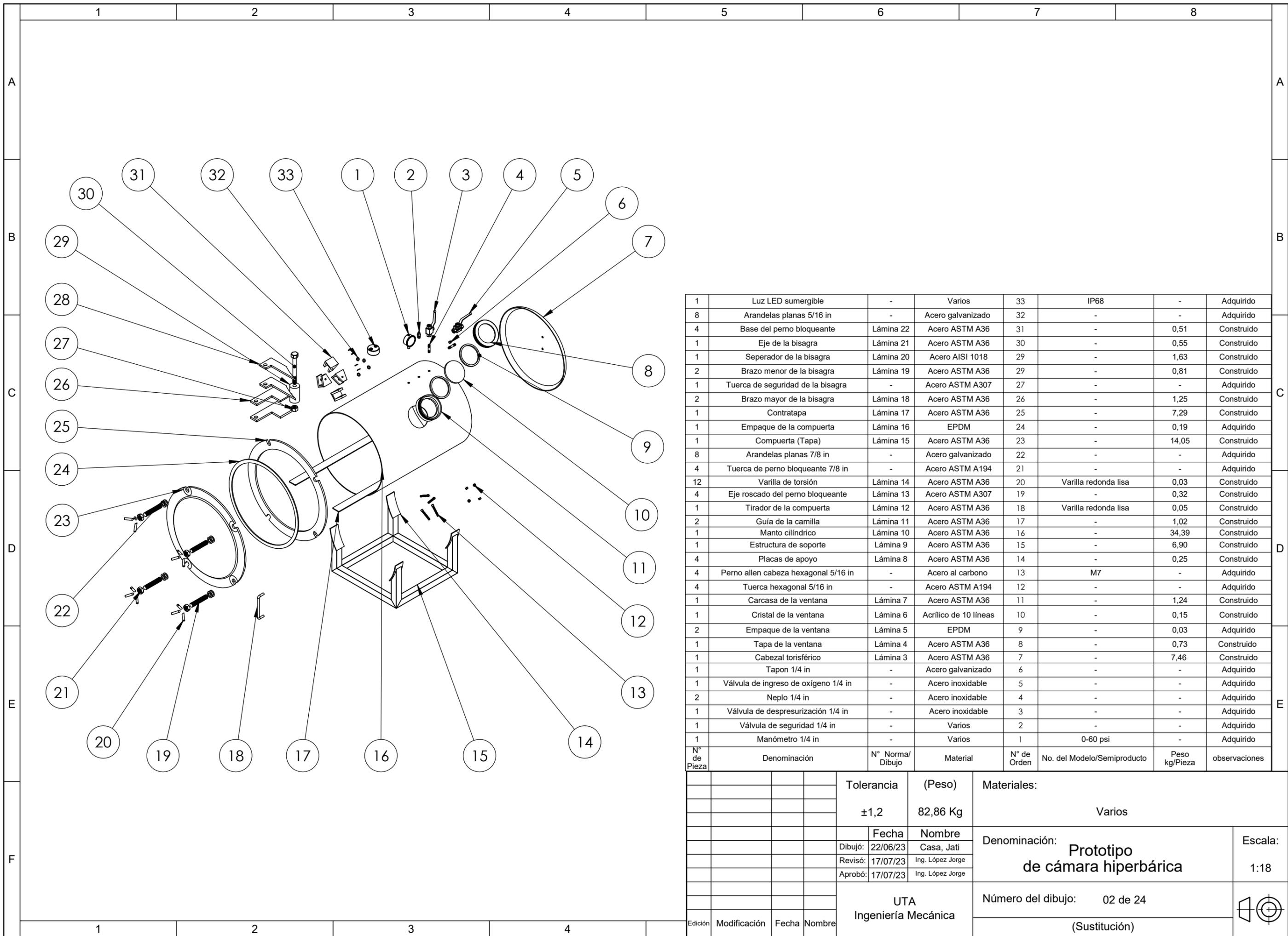
TELF : (03) 284 - 5449  
Av. Jacome Clavijo y Marcos Montalvo

[www.snap.ec](http://www.snap.ec)

**Anexo 29.** Planos técnicos del prototipo de la cámara hiperbárica

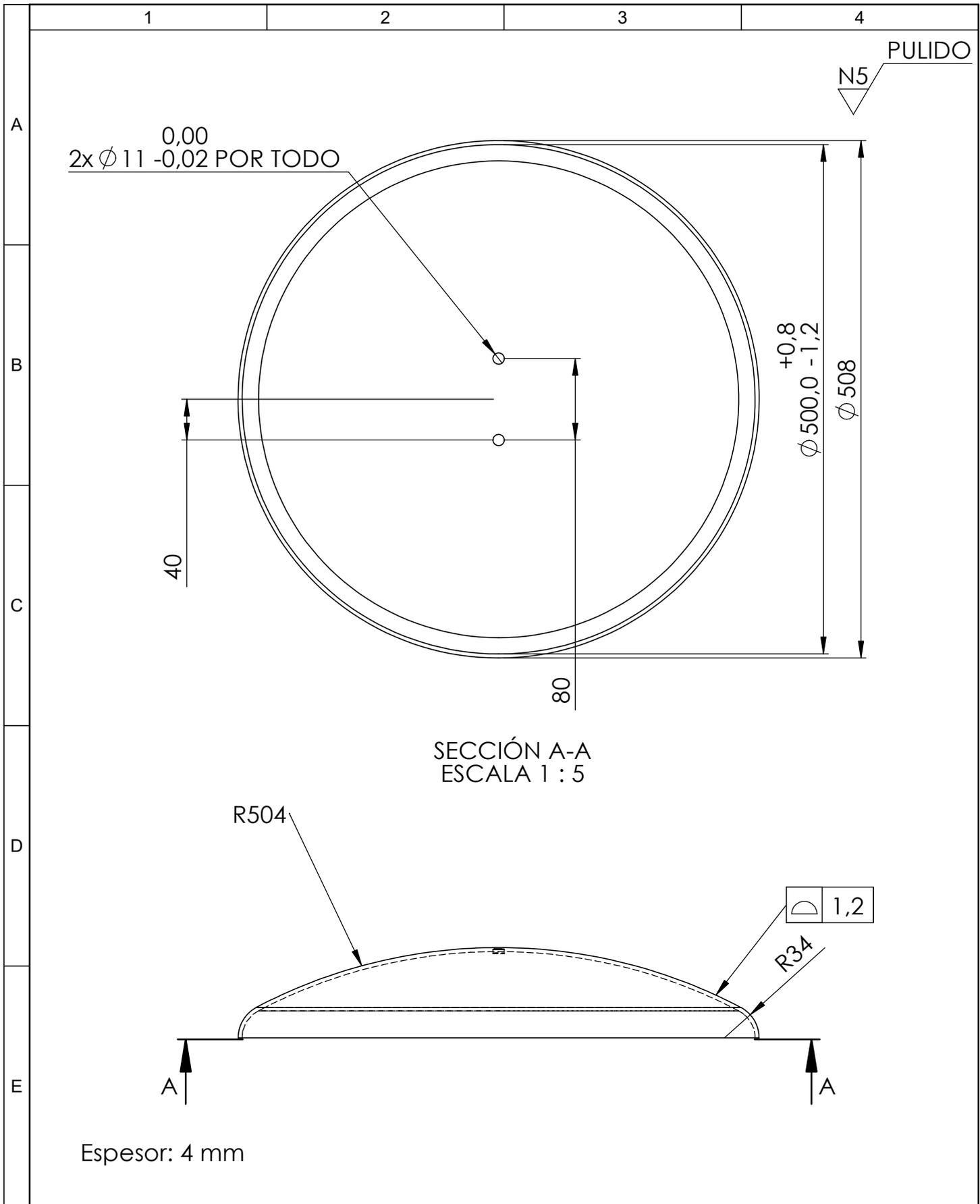


				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±1,2	85,95 Kg	Varios	
					Fecha	Nombre	Denominación: <b>Prototipo de cámara hiperbárica</b>
				Dibujó:	22/06/23	Casa, Jati	
				Revisó:	17/07/23	Ing. López Jorge	
				Aprobó:	17/07/23	Ing. López Jorge	Número del dibujo: 01 de 24
				UTA Ingeniería Mecánica			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				(Sustitución)
							Escala: 1:6



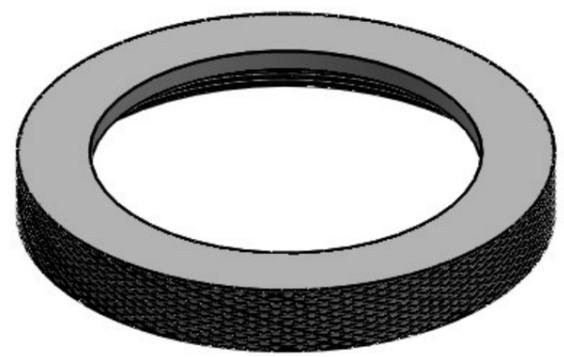
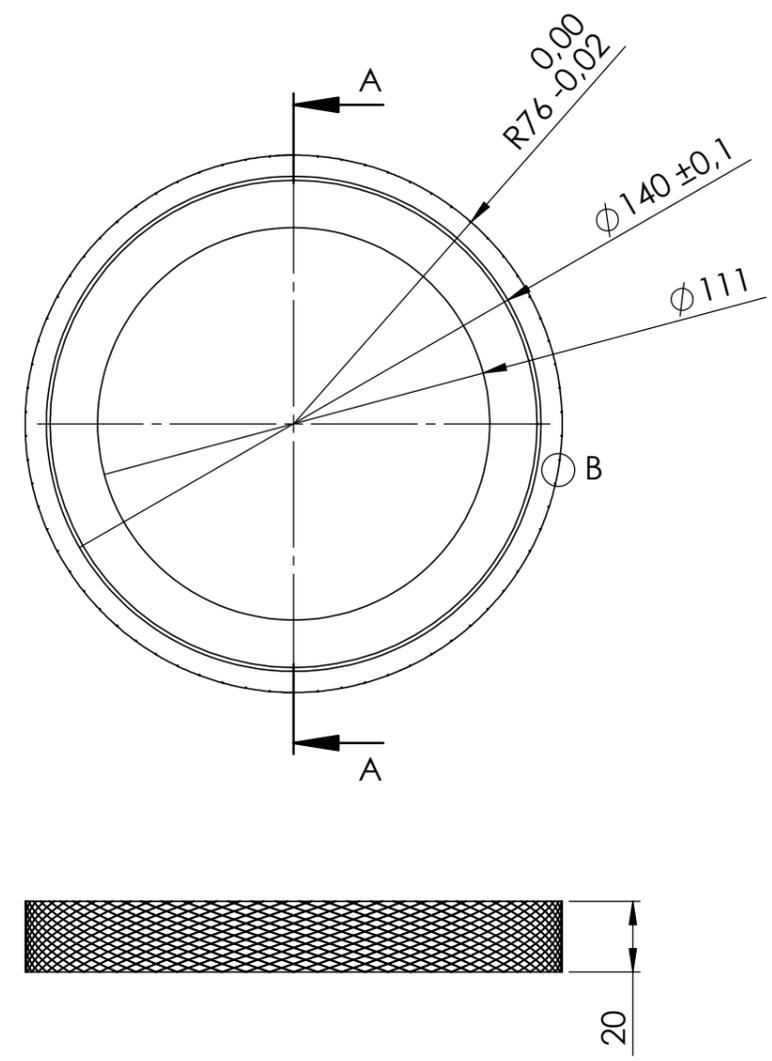
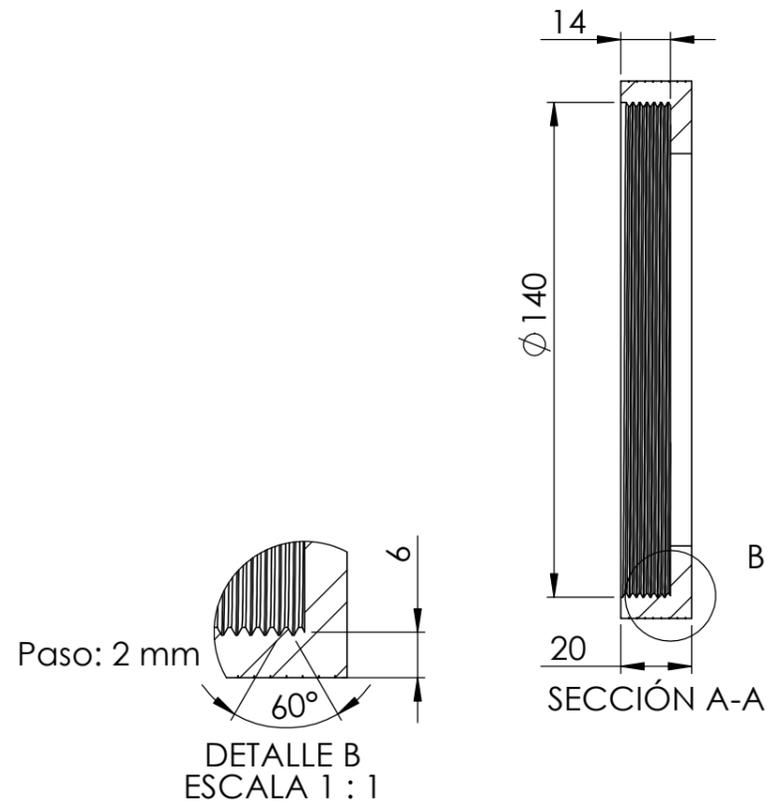
1	Luz LED sumergible	-	Varios	33	IP68	-	Adquirido
8	Arandelas planas 5/16 in	-	Acero galvanizado	32	-	-	Adquirido
4	Base del perno bloqueante	Lámina 22	Acero ASTM A36	31	-	0,51	Construido
1	Eje de la bisagra	Lámina 21	Acero ASTM A36	30	-	0,55	Construido
1	Seperador de la bisagra	Lámina 20	Acero AISI 1018	29	-	1,63	Construido
2	Brazo menor de la bisagra	Lámina 19	Acero ASTM A36	29	-	0,81	Construido
1	Tuerca de seguridad de la bisagra	-	Acero ASTM A307	27	-	-	Adquirido
2	Brazo mayor de la bisagra	Lámina 18	Acero ASTM A36	26	-	1,25	Construido
1	Contratapa	Lámina 17	Acero ASTM A36	25	-	7,29	Construido
1	Empaque de la compuerta	Lámina 16	EPDM	24	-	0,19	Adquirido
1	Compuerta (Tapa)	Lámina 15	Acero ASTM A36	23	-	14,05	Construido
8	Arandelas planas 7/8 in	-	Acero galvanizado	22	-	-	Adquirido
4	Tuerca de perno bloqueante 7/8 in	-	Acero ASTM A194	21	-	-	Adquirido
12	Varilla de torsión	Lámina 14	Acero ASTM A36	20	Varilla redonda lisa	0,03	Construido
4	Eje roscado del perno bloqueante	Lámina 13	Acero ASTM A307	19	-	0,32	Construido
1	Tirador de la compuerta	Lámina 12	Acero ASTM A36	18	Varilla redonda lisa	0,05	Construido
2	Guía de la camilla	Lámina 11	Acero ASTM A36	17	-	1,02	Construido
1	Manto cilíndrico	Lámina 10	Acero ASTM A36	16	-	34,39	Construido
1	Estructura de soporte	Lámina 9	Acero ASTM A36	15	-	6,90	Construido
4	Placas de apoyo	Lámina 8	Acero ASTM A36	14	-	0,25	Construido
4	Perno allen cabeza hexagonal 5/16 in	-	Acero al carbono	13	M7	-	Adquirido
4	Tuerca hexagonal 5/16 in	-	Acero ASTM A194	12	-	-	Adquirido
1	Carcasa de la ventana	Lámina 7	Acero ASTM A36	11	-	1,24	Construido
1	Cristal de la ventana	Lámina 6	Acrílico de 10 líneas	10	-	0,15	Construido
2	Empaque de la ventana	Lámina 5	EPDM	9	-	0,03	Adquirido
1	Tapa de la ventana	Lámina 4	Acero ASTM A36	8	-	0,73	Construido
1	Cabezal torisférico	Lámina 3	Acero ASTM A36	7	-	7,46	Construido
1	Tapon 1/4 in	-	Acero galvanizado	6	-	-	Adquirido
1	Válvula de ingreso de oxígeno 1/4 in	-	Acero inoxidable	5	-	-	Adquirido
2	Neplo 1/4 in	-	Acero inoxidable	4	-	-	Adquirido
1	Válvula de despresurización 1/4 in	-	Acero inoxidable	3	-	-	Adquirido
1	Válvula de seguridad 1/4 in	-	Varios	2	-	-	Adquirido
1	Manómetro 1/4 in	-	Varios	1	0-60 psi	-	Adquirido
N° de Pieza	Denominación	N° Norma/ Dibujo	Material	N° de Orden	No. del Modelo/Semiproducto	Peso kg/Pieza	observaciones

Tolerancia		(Peso)	Materiales:		
±1,2		82,86 Kg	Varios		
Fecha		Nombre	Denominación: <b>Prototipo de cámara hiperbárica</b>		
Dibujó:	22/06/23	Casa, Jati			Escala:
Revisó:	17/07/23	Ing. López Jorge			1:18
Aprobó:	17/07/23	Ing. López Jorge			
UTA Ingeniería Mecánica			Número del dibujo: 02 de 24		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre		(Sustitución)

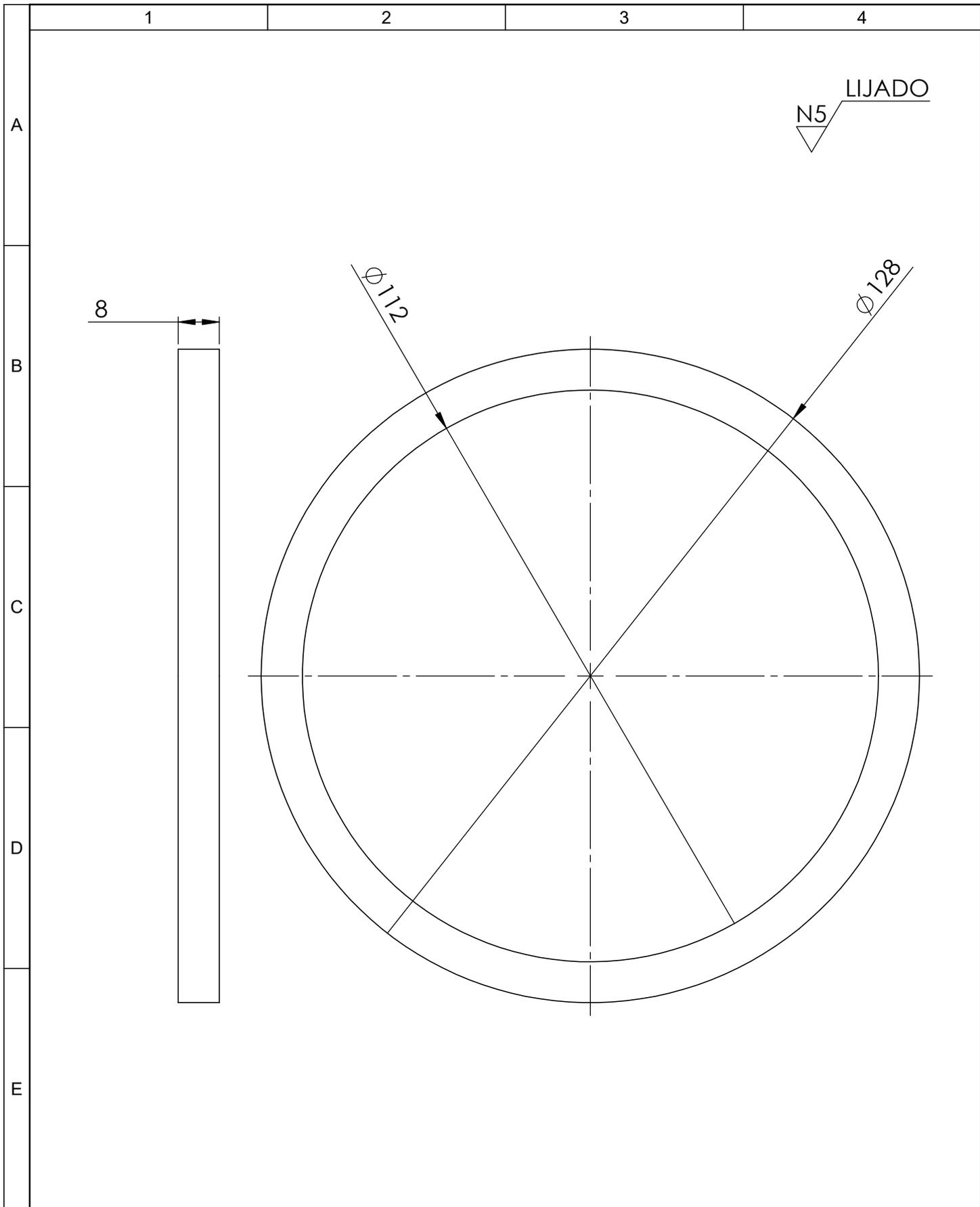


				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				$\pm 1,2$	7,46 Kg	Acero ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 22/06/23	Casa, Jati		
				Revisó: 17/07/23	Ing. López Jorge		
				Aprobó: 17/07/23	Ing. López Jorge	<b>Cabezal torisférico</b>	1:5
				UTA Ingeniería Mecánica			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

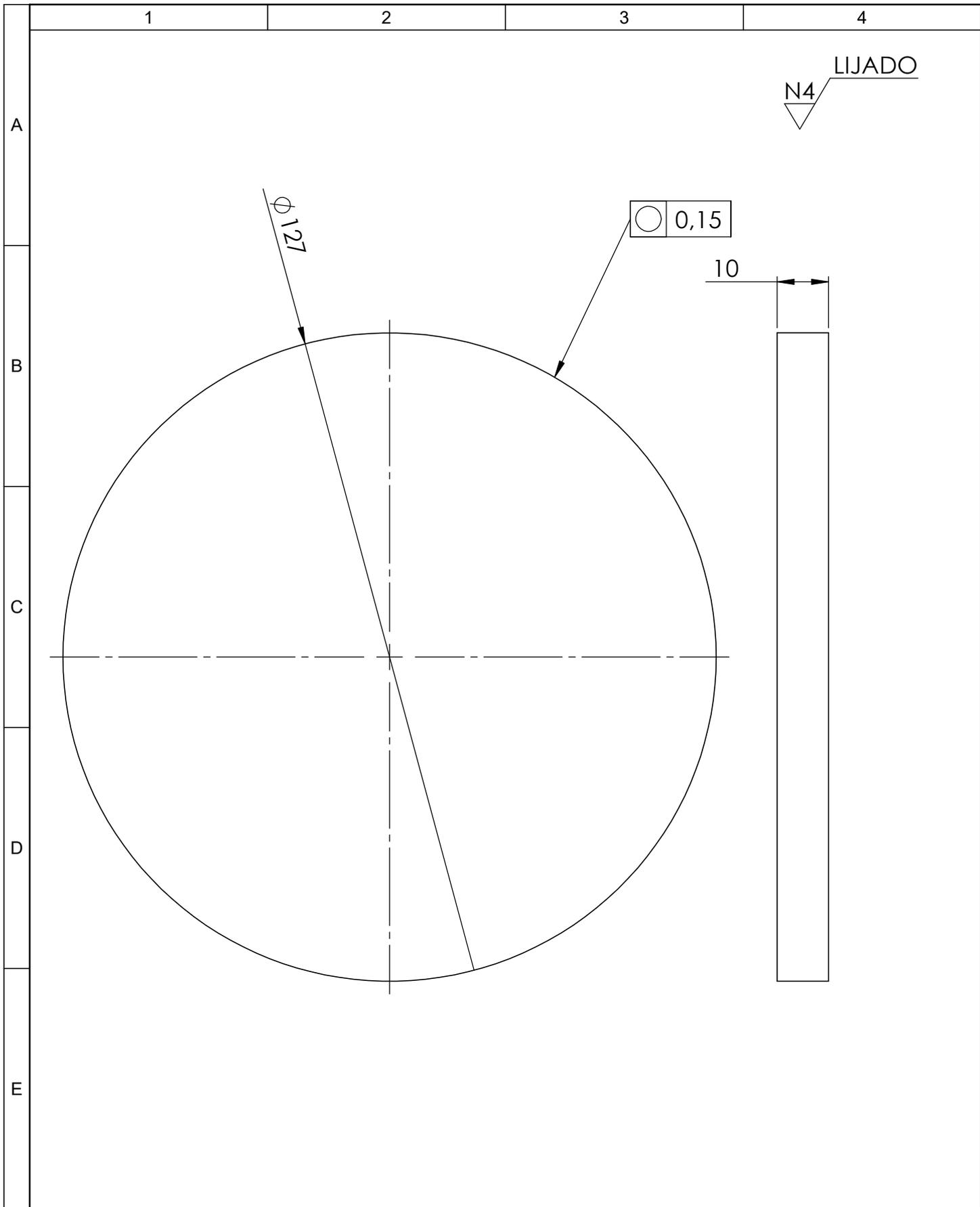
N4 TORNEADO



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±1	0,72 Kg	Acero ASTM A36	
					Fecha	Nombre	Denominación:
				Dibujó:	22/06/23	Casa, Jati	
				Revisó:	17/07/23	Ing. López Jorge	
				Aprobó:	17/07/23	Ing. López Jorge	Tapa de la ventana
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 04 de 24	
						(Sustitución)	Escala: 1:2
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

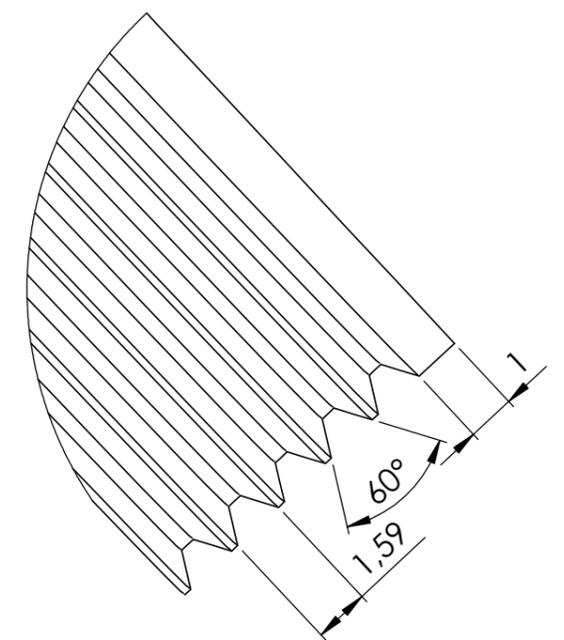
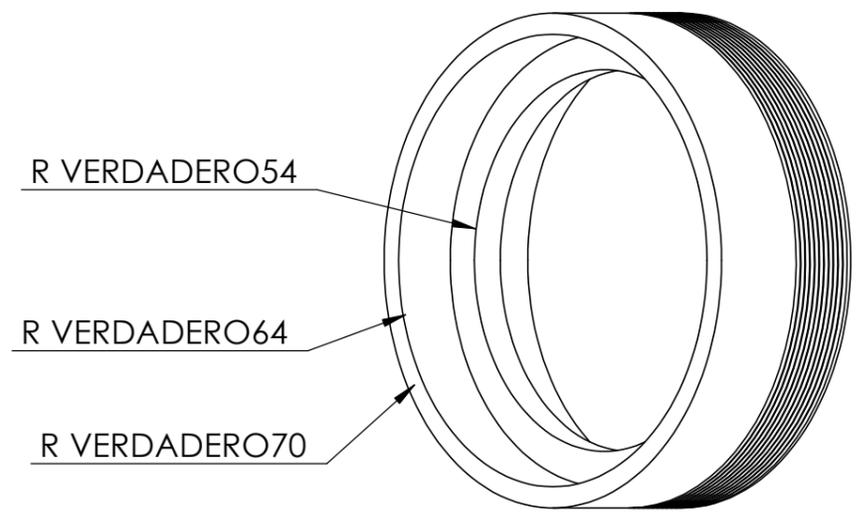


				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0,03 Kg	EPDM	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 22/06/23	Casa, Jati		
				Revisó: 17/07/23	Ing. López Jorge		
				Aprobó: 17/07/23	Ing. López Jorge	Empaque de la ventana	1:1
				UTA Ingeniería Mecánica			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



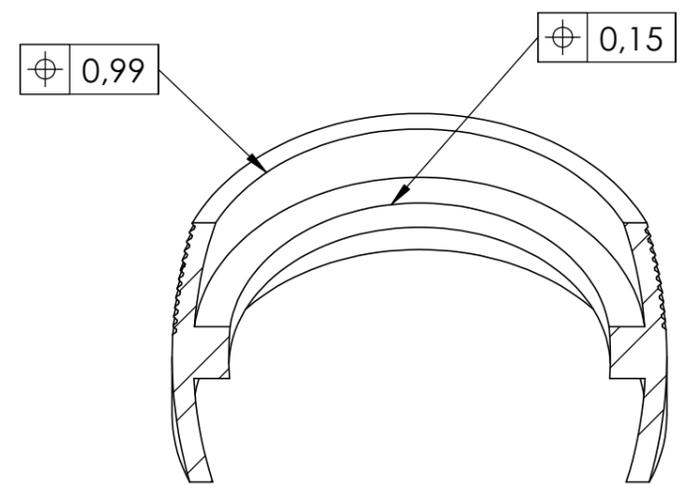
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±1	0,15 Kg	Acrílico	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 22/06/23	Casa, Jati		
				Revisó: 17/07/23	Ing. López Jorge		
				Aprobó: 17/07/23	Ing. López Jorge	<b>Cristal de la ventana</b>	1:1
				UTA Ingeniería Mecánica			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

N6 TORNEADO

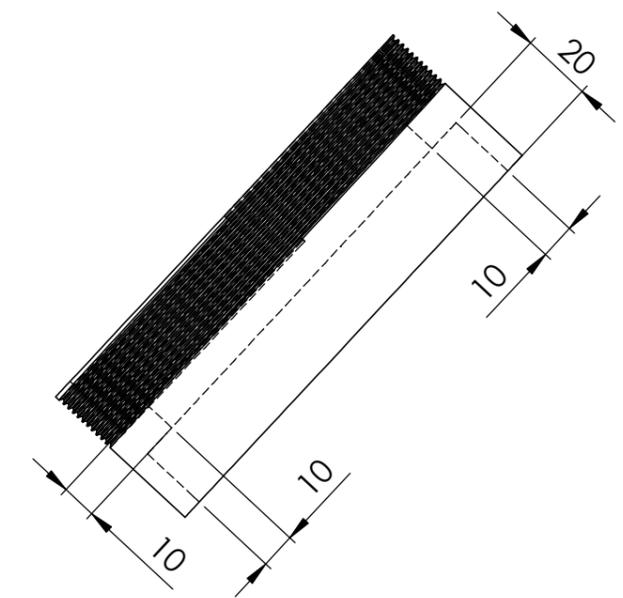
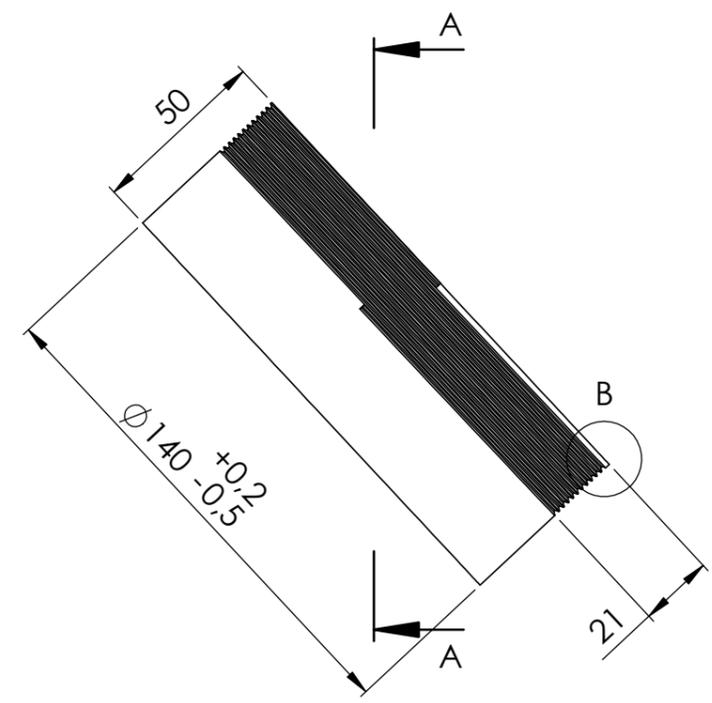


DETALLE B  
ESCALA 5 : 1

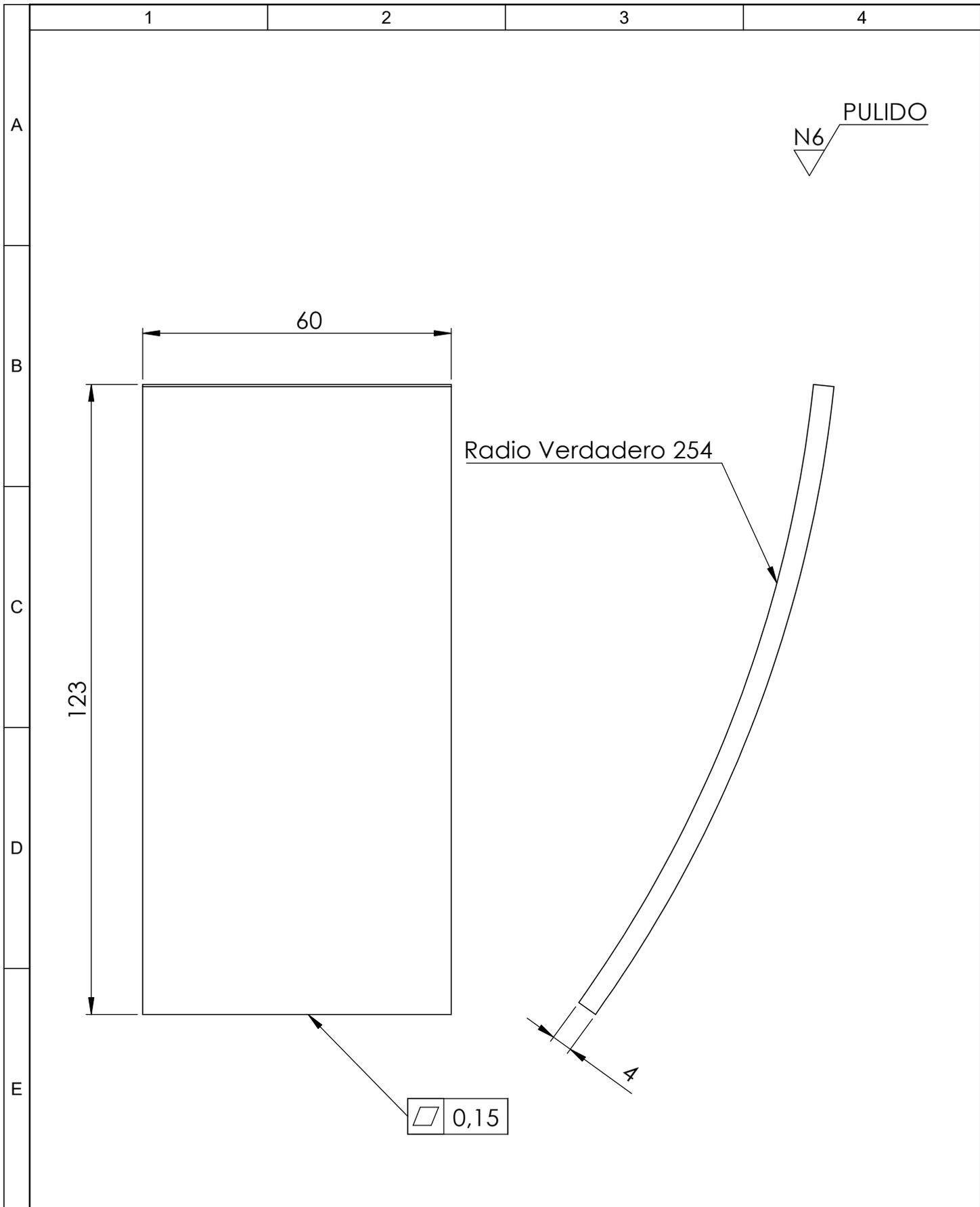
Nota: Rosca de 14 hilos por pulgada



SECCIÓN A-A



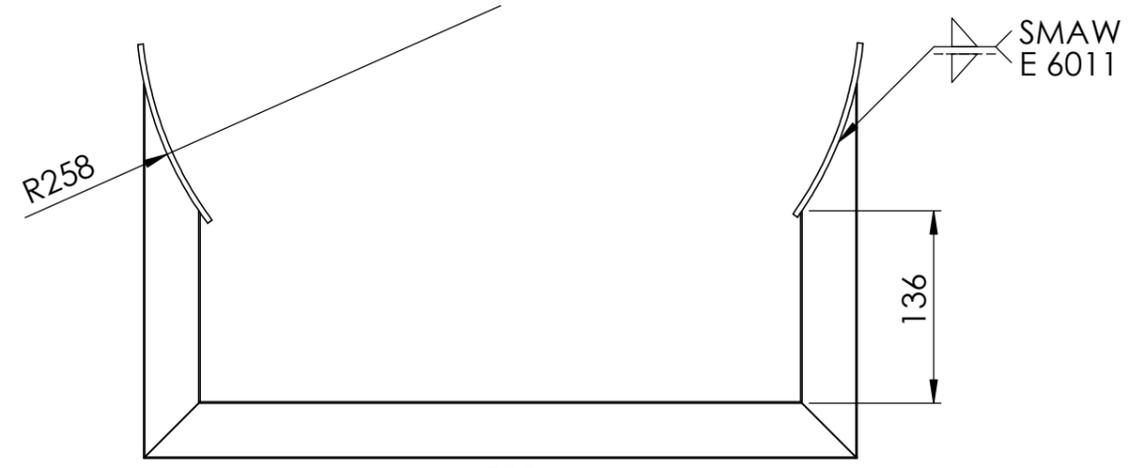
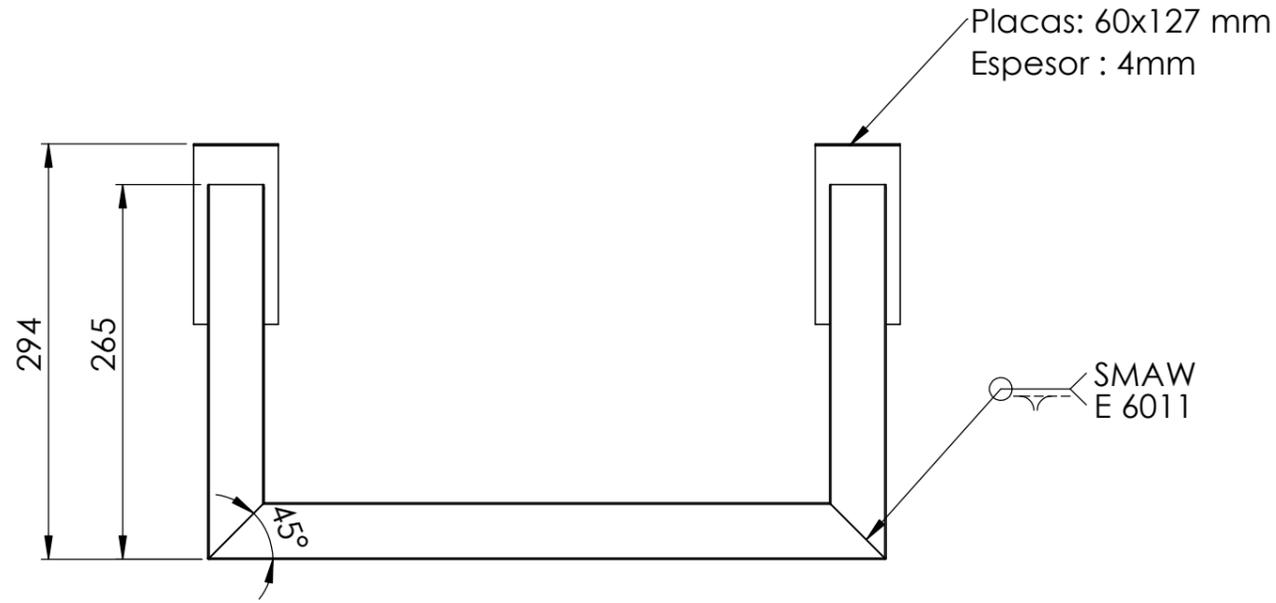
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±1,2	1,24 Kg	Acero ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 22/06/23	Casa, Jati		
				Revisó: 17/07/23	Ing. López Jorge		
				Aprobó: 17/07/23	Ing. López Jorge	Carcasa de la ventana	1:2
				UTA Ingeniería Mecánica			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



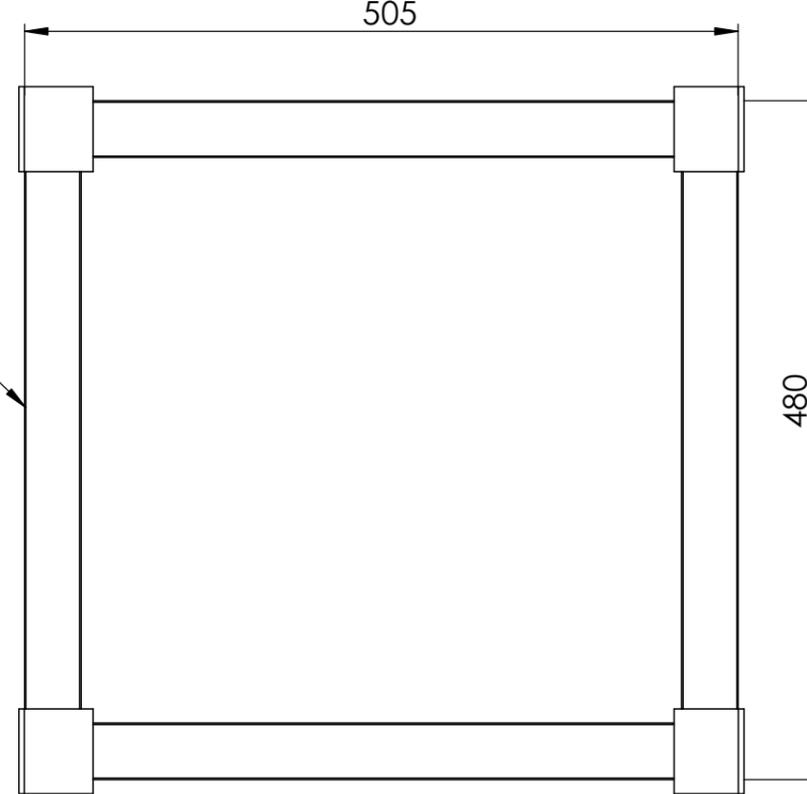
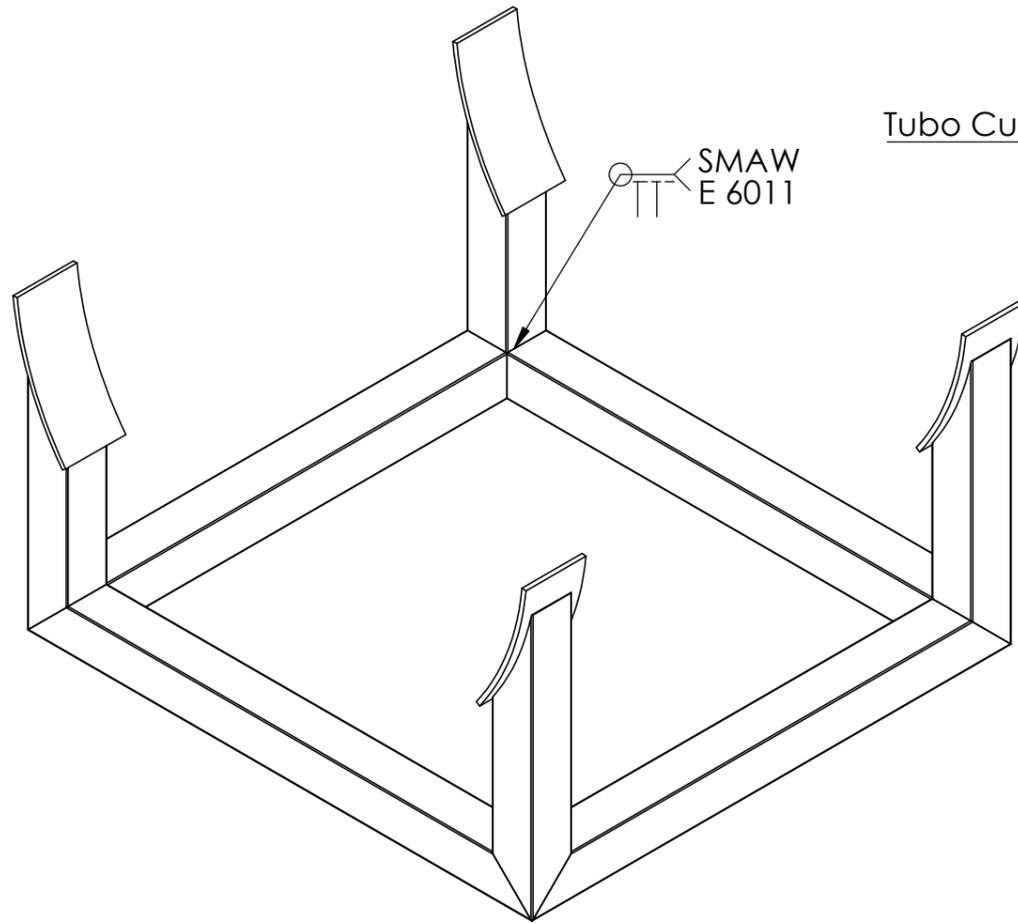
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±1	0,25 Kg	Acero ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 22/06/23	Casa, Jati		
				Revisó: 17/07/23	Ing. López Jorge		
				Aprobó: 17/07/23	Ing. López Jorge	<h1>Placas de apoyo</h1>	1:1
				UTA Ingeniería Mecánica			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

Nota: Toda la soldadura se realiza mediante el proceso SMAW con electrodo 6011

N7 AMOLADO



Tubo Cuadrado: 40x40x2 mm



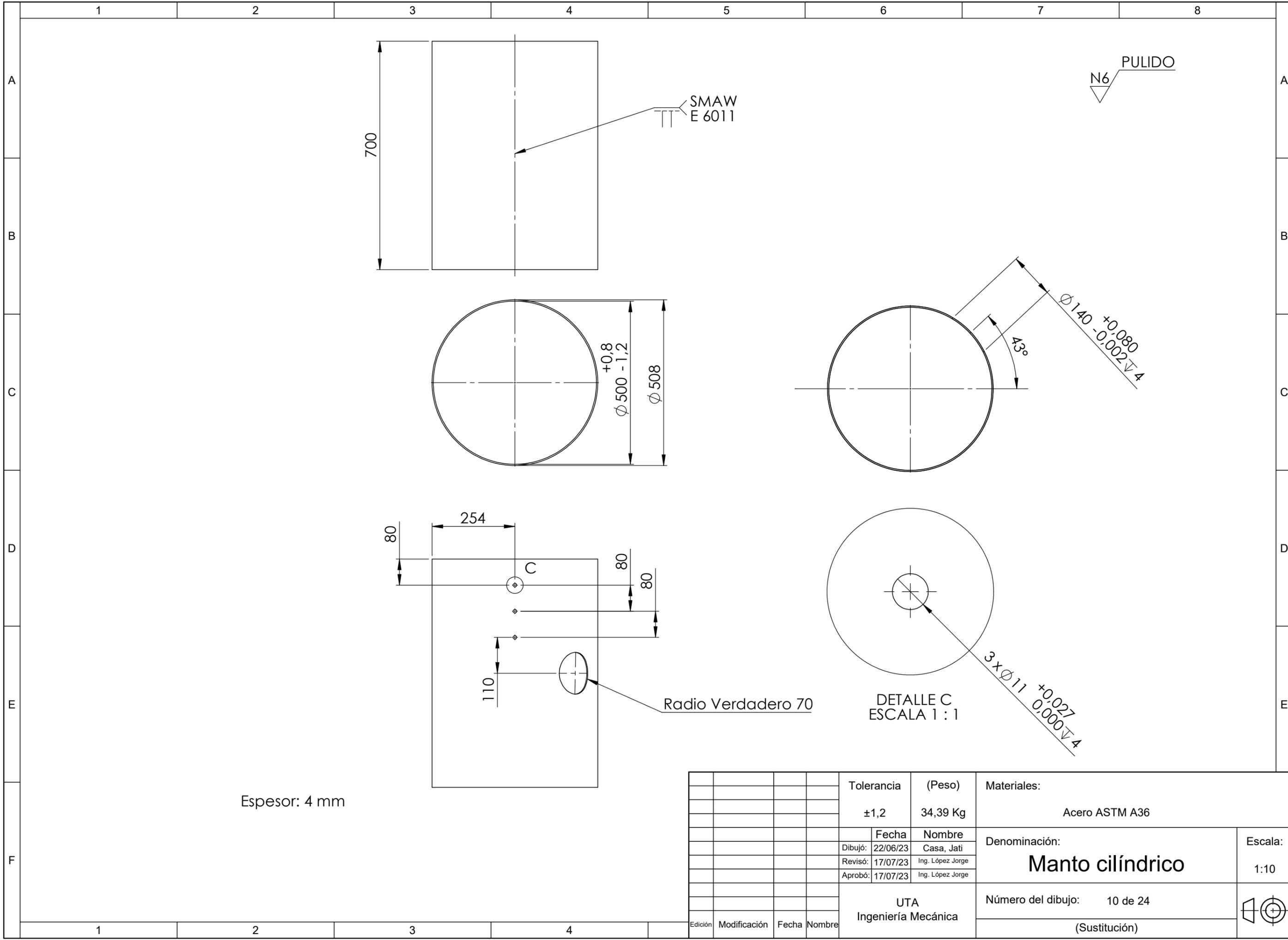
F

SMAW E 6011

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±1	6,90 Kg	Acero ASTM A36	
					Fecha	Nombre	Denominación:
				Dibujó:	22/06/23	Casa, Jati	
				Revisó:	17/07/23	Ing. López Jorge	
				Aprobó:	17/07/23	Ing. López Jorge	Escala:
				UTA Ingeniería Mecánica			
						Número del dibujo:	09 de 24
						(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

**Estructura del soporte**





N6 PULIDO

SMAW  
E 6011

700

+0,8  
-1,2  
Ø 500  
Ø 508

Ø 140 +0,080  
-0,002 √A

43°

80 254 80 80 110

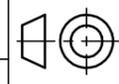
Radio Verdadero 70

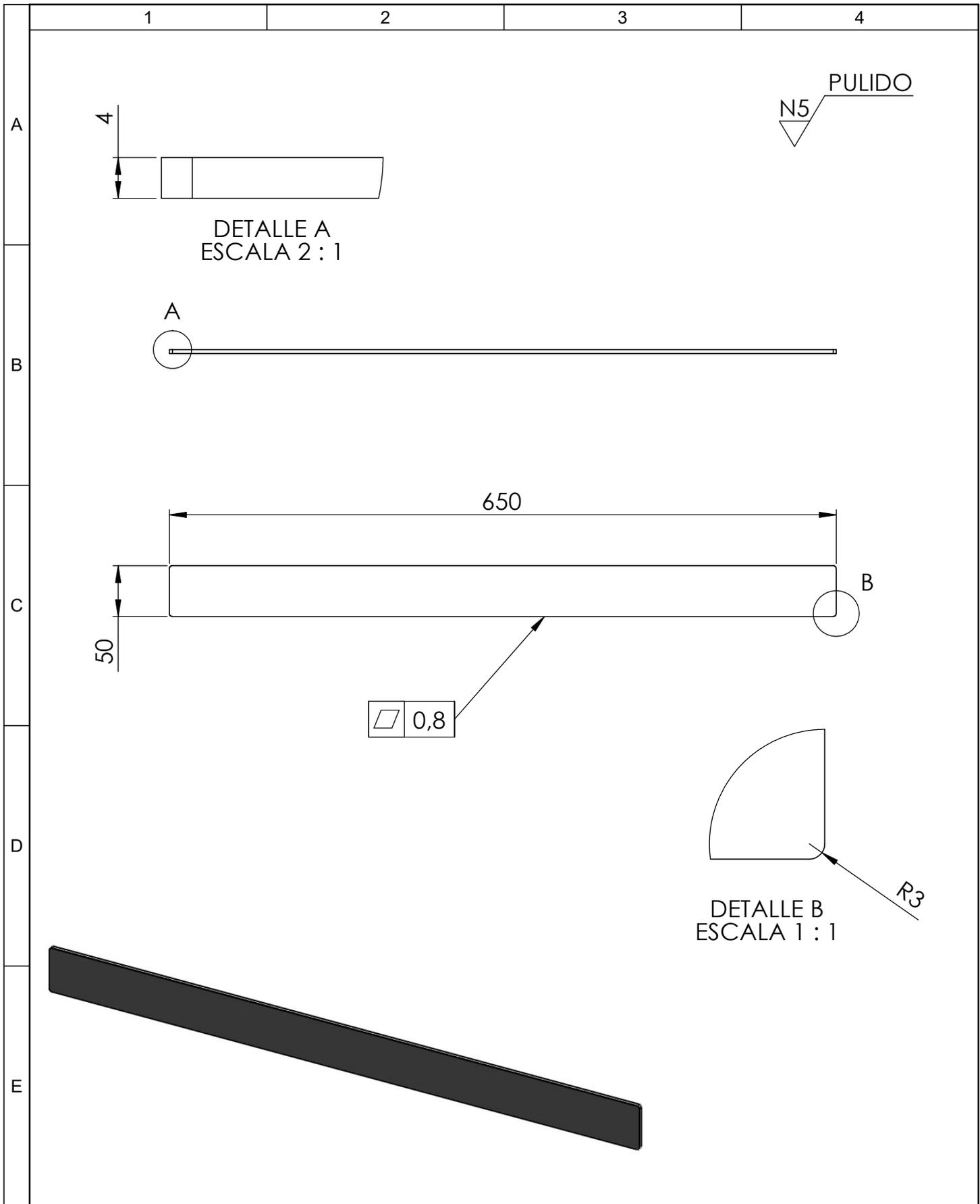
DETALLE C  
ESCALA 1 : 1

3 x Ø 11 +0,027  
0,000 √A

Espesor: 4 mm

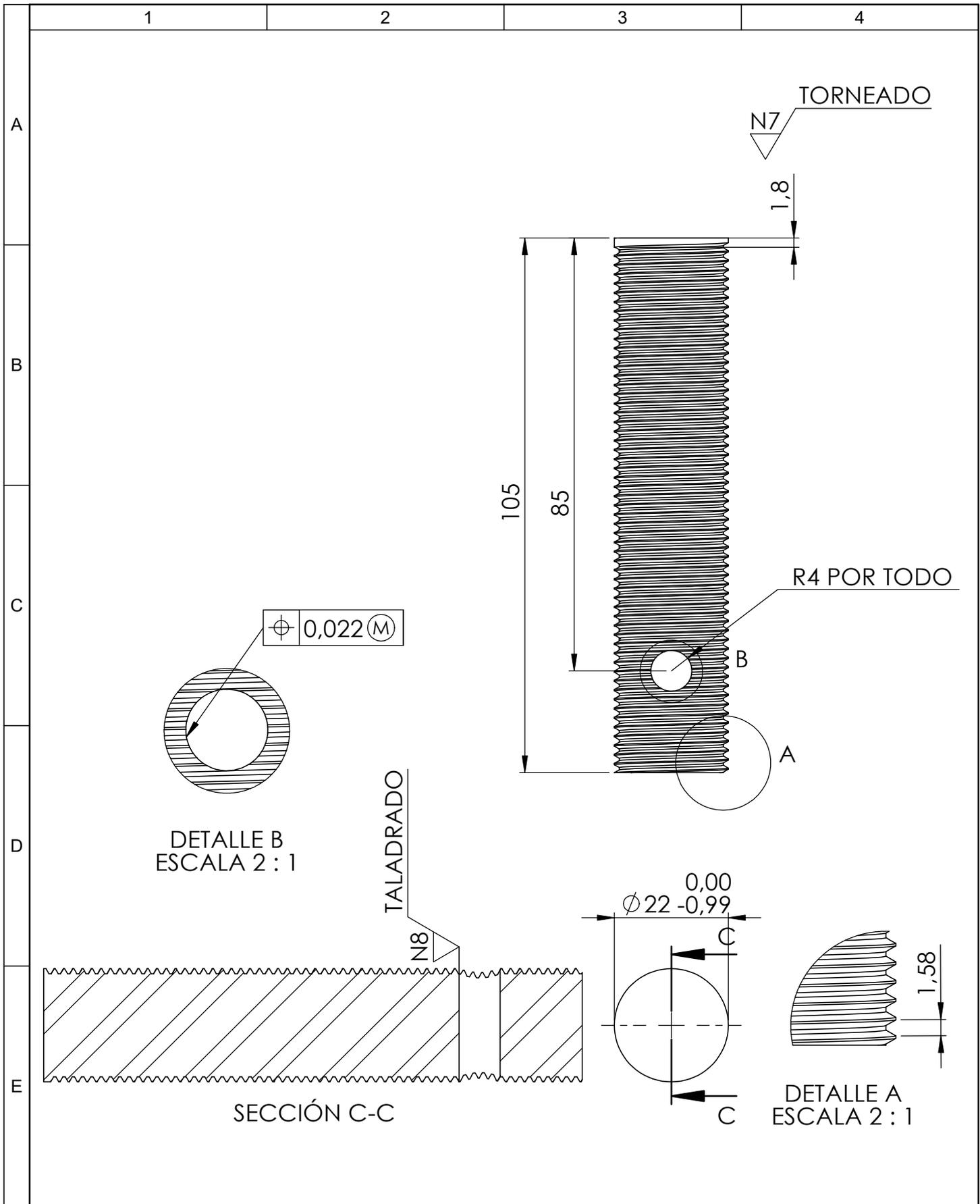
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±1,2	34,39 Kg	Acero ASTM A36	
					Fecha	Nombre	Denominación:
				Dibujó:	22/06/23	Casa, Jati	
				Revisó:	17/07/23	Ing. López Jorge	
				Aprobó:	17/07/23	Ing. López Jorge	Escala: 1:10
				UTA Ingeniería Mecánica			
				Número del dibujo:		10 de 24	
						(Sustitución)	



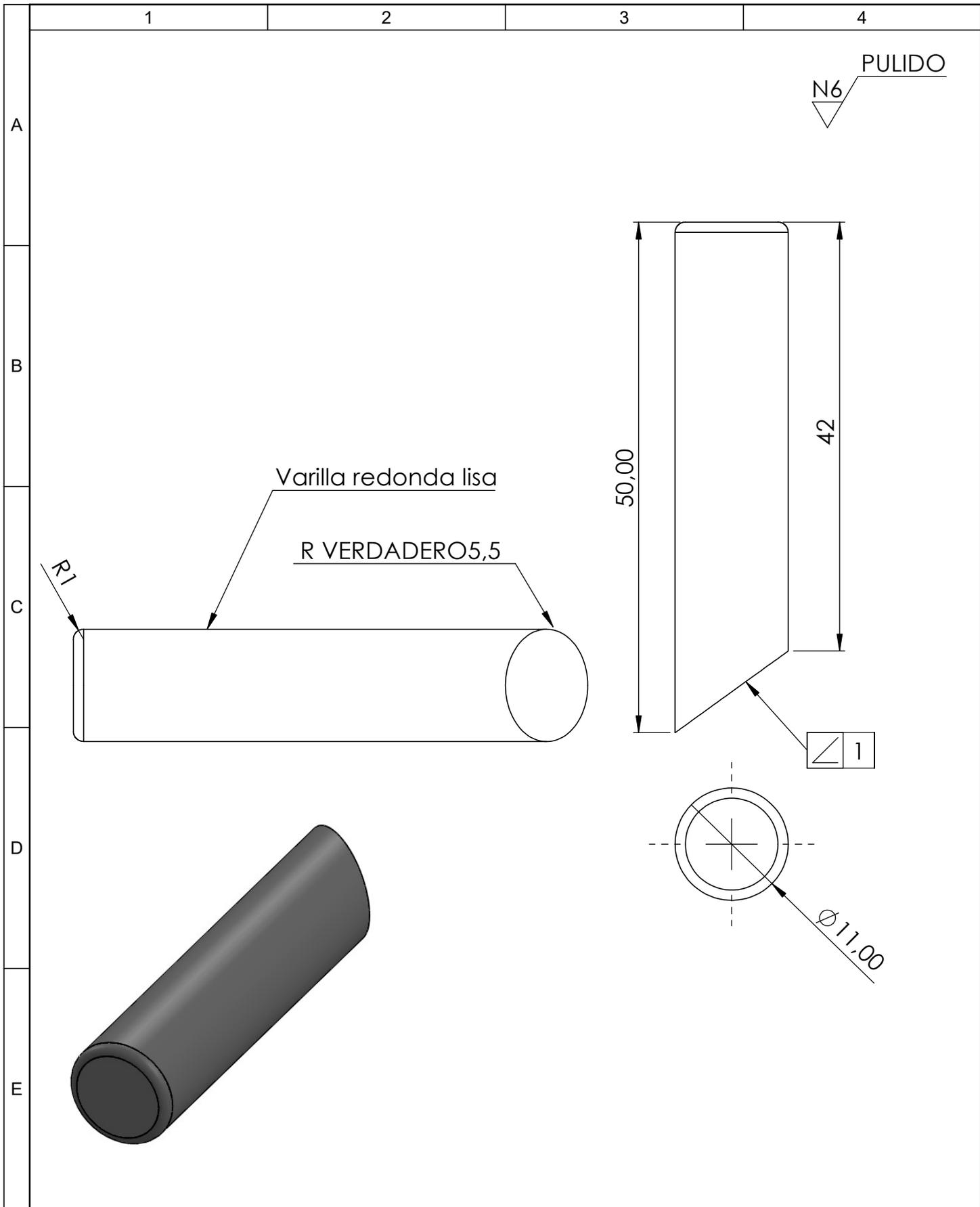


				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±1	1,02 Kg	Acero ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 22/06/23	Casa, Jati		
				Revisó: 17/07/23	Ing. López Jorge		
				Aprobó: 17/07/23	Ing. López Jorge	Guía de la camilla	1:5
				UTA Ingeniería Mecánica			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	





				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±1	0,32 Kg	Acero ASTM A307	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 22/06/23	Casa, Jati	Eje roscado del perno de apriete	1:1
				Revisó: 17/07/23	Ing. López Jorge		
				Aprobó: 17/07/23	Ing. López Jorge		
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 13 de 24	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



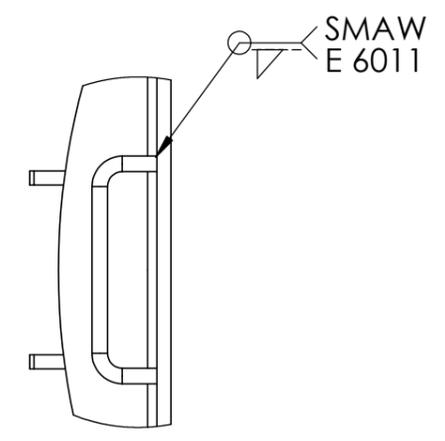
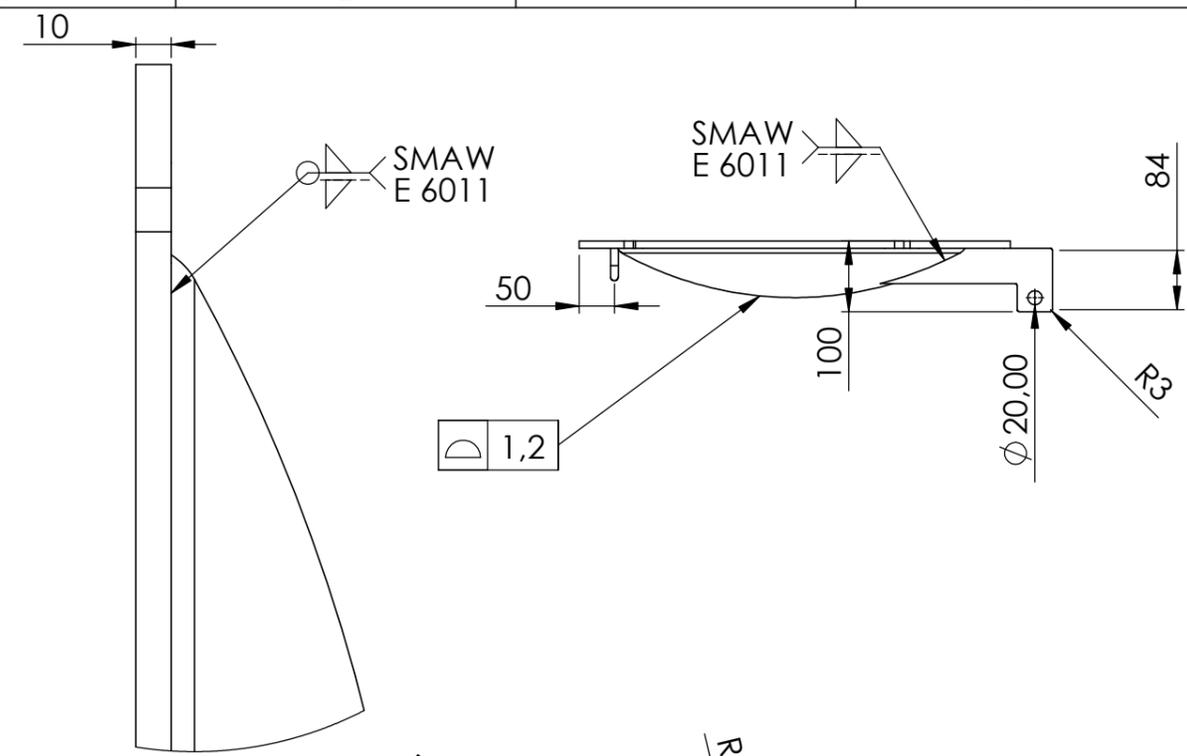
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±1	0,03 Kg	Varilla redonda lisa Acero ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
			Dibujó:	22/06/23	Casa, Jati		
			Revisó:	17/07/23	Ing. López Jorge		
				Aprobó:	17/07/23	Ing. López Jorge	2:1
				UTA		Número del dibujo: 14 de 24	
				Ingeniería Mecánica			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

# Varilla de torsión

1 2 3 4 5 6 7 8

A  
B  
C  
D  
E  
F

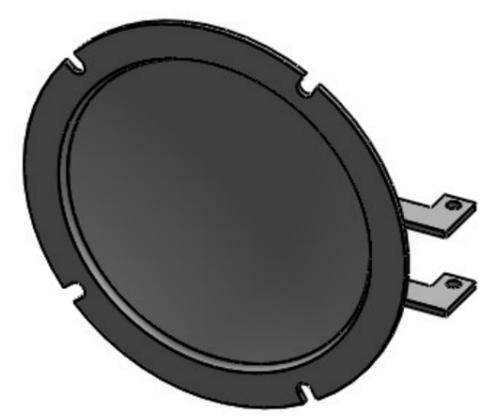
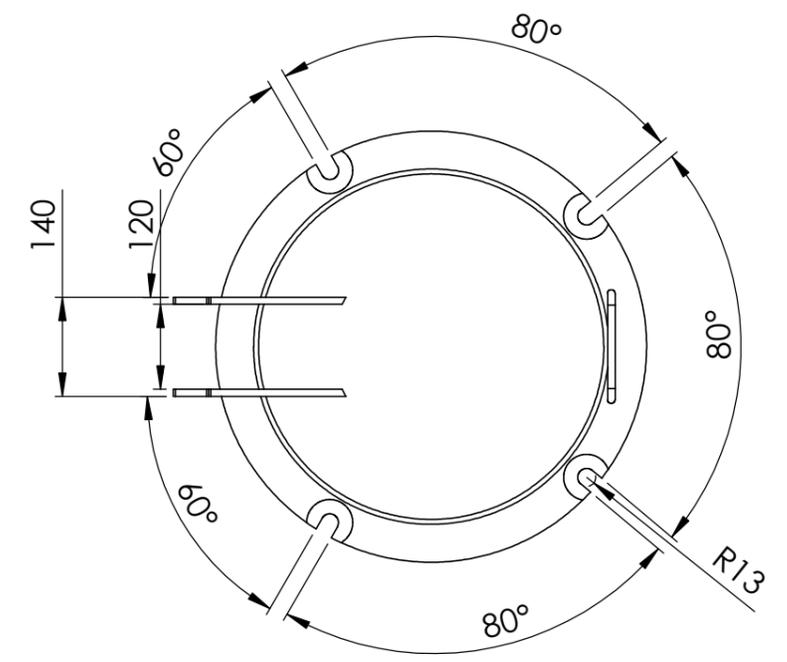
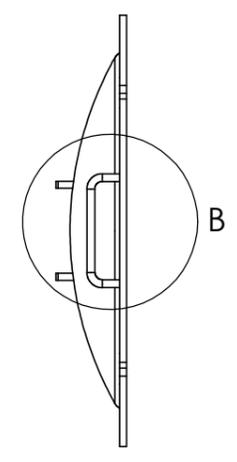
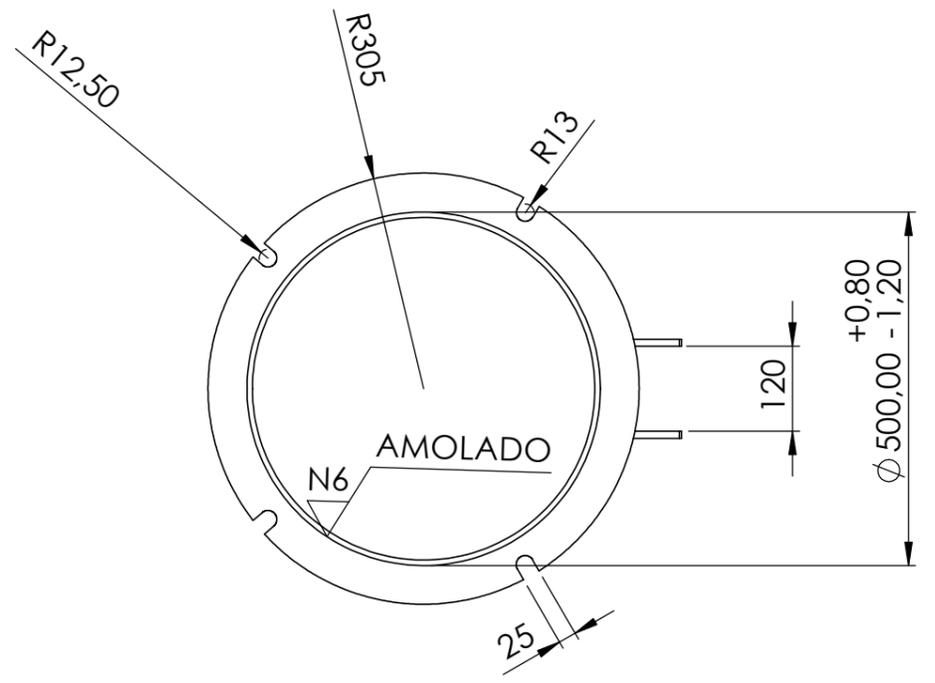
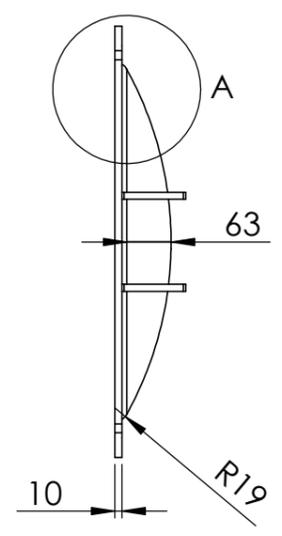
A  
B  
C  
D  
E  
F



N5 PULIDO

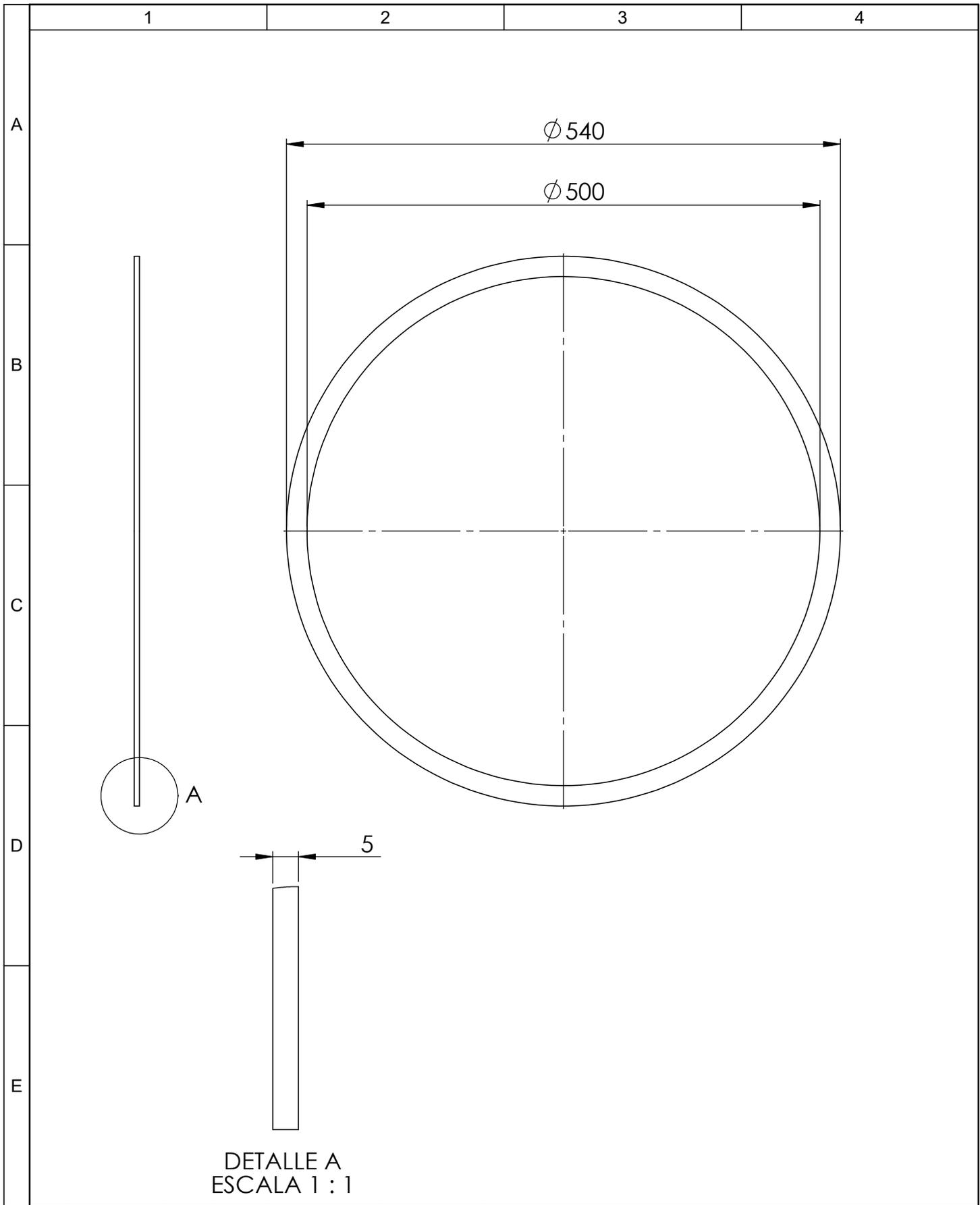
DETALLE A  
ESCALA 1 : 2

DETALLE B



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±1	14,05 Kg	Acero ASTM A36	
					Fecha	Nombre	Denominación:
				Dibujó:	22/06/23	Casa, Jati	
				Revisó:	17/07/23	Ing. López Jorge	
				Aprobó:	17/07/23	Ing. López Jorge	Escala: 1:10
				UTA Ingeniería Mecánica			
				Número del dibujo: 15 de 24			
				(Sustitución)			

1 2 3 4 5 6 7 8



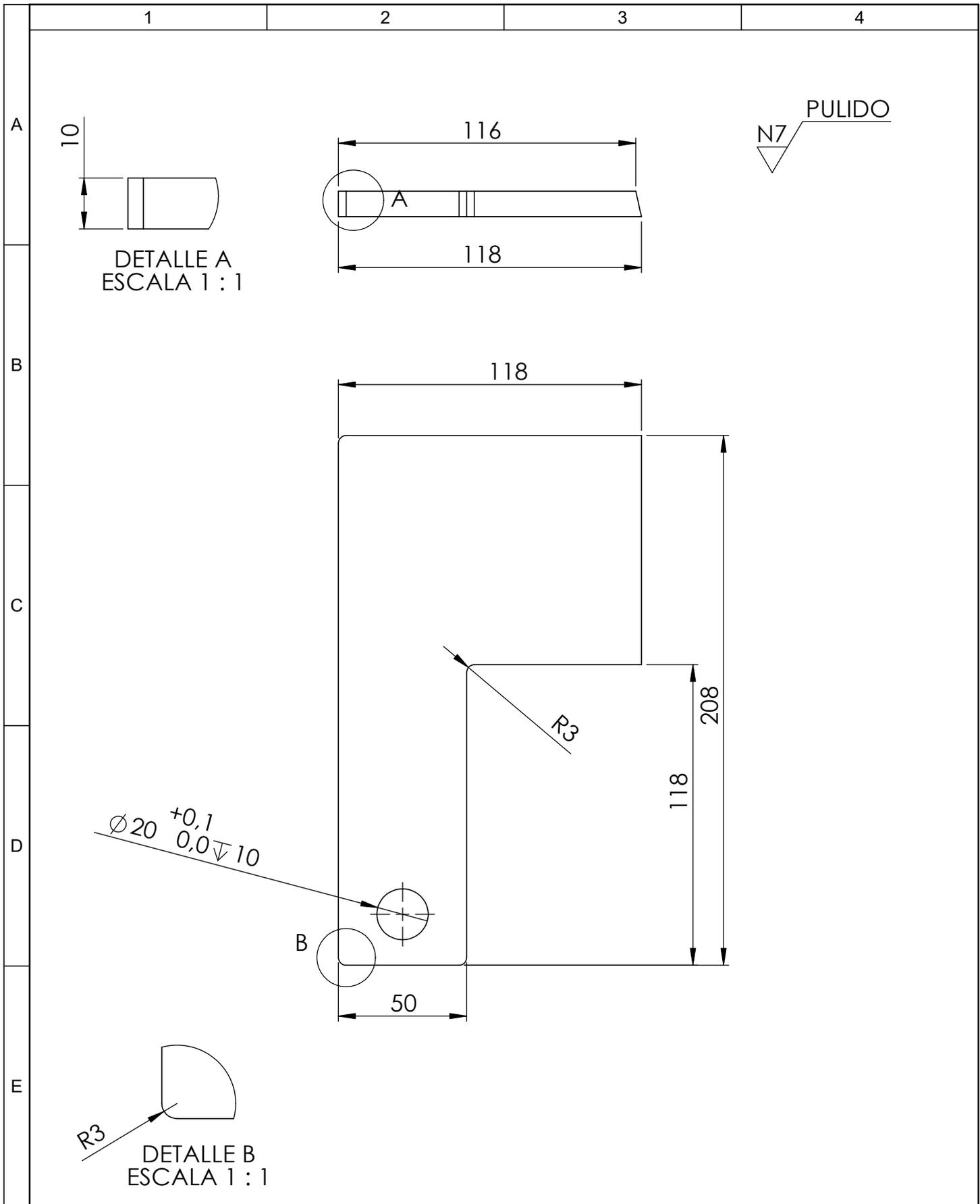
DETALLE A  
ESCALA 1 : 1

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				$\pm 0,1$	0,19 Kg	EPDM	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 22/06/23	Casa, Jati		
				Revisó: 17/07/23	Ing. López Jorge		
				Aprobó: 17/07/23	Ing. López Jorge		
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 16 de 24	Escala: 1:5
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

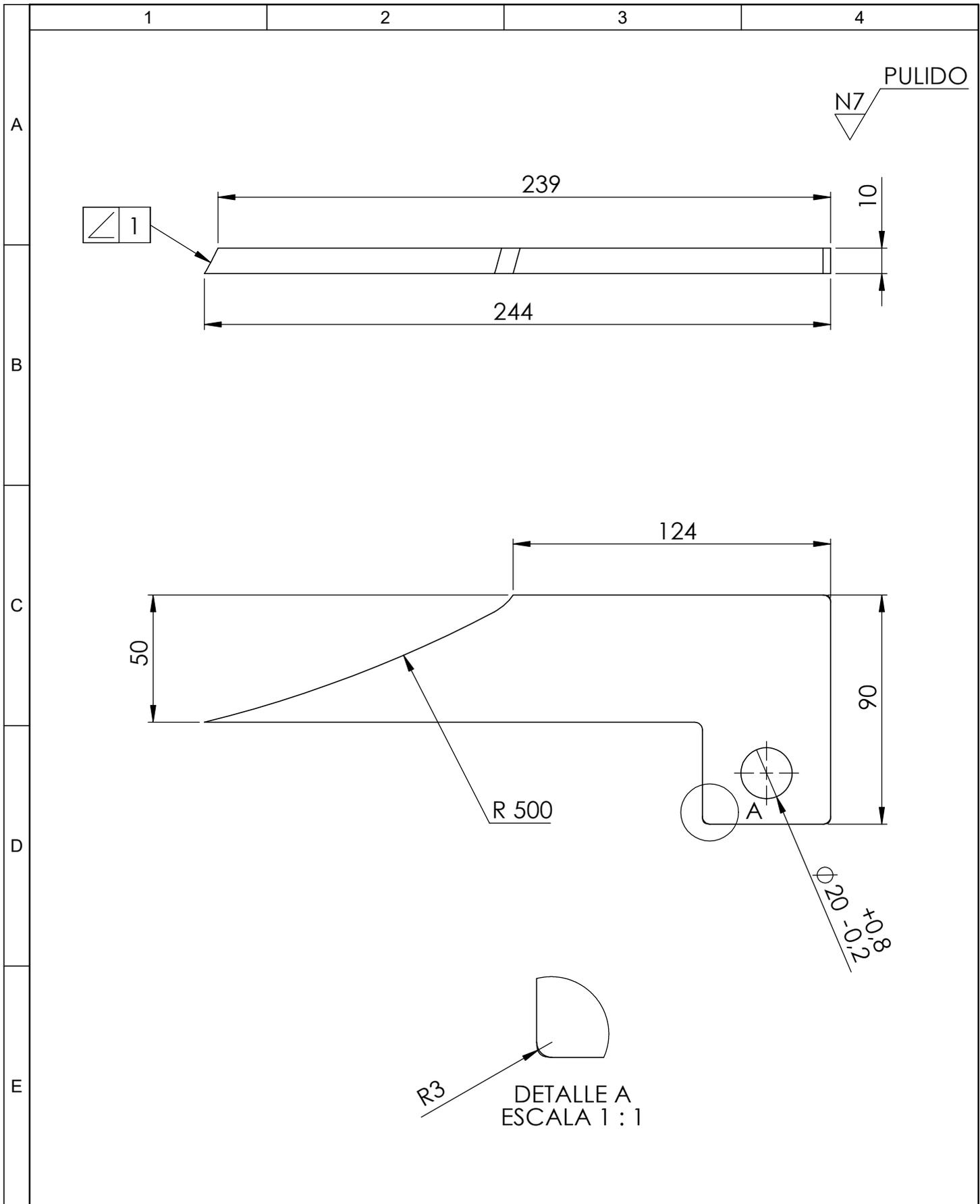
**Empaque de la Compurta**



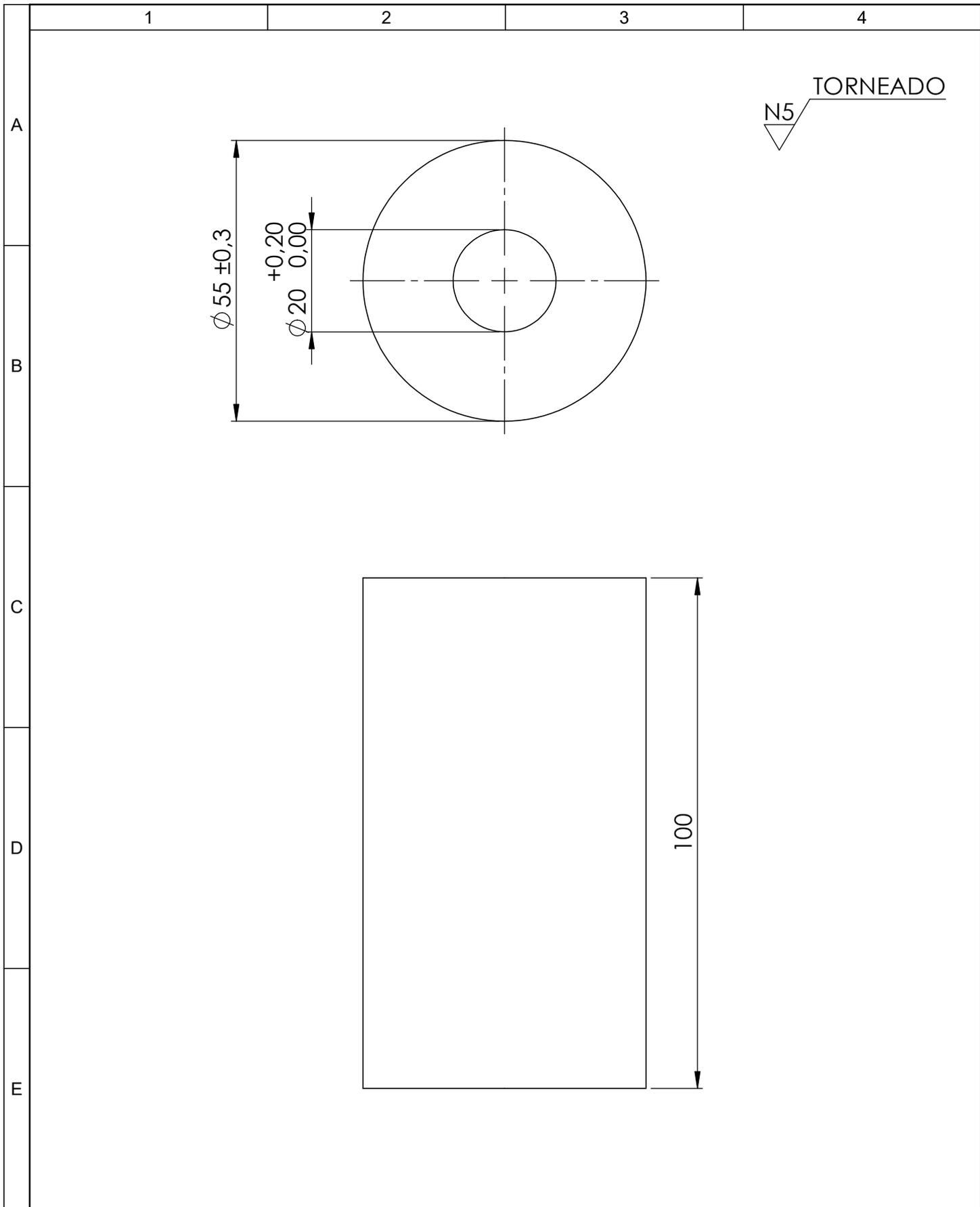




				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±1	1,25 Kg	Acero ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
			Dibujó:	22/06/23	Casa, Jati		
			Revisó:	17/07/23	Ing. López Jorge		
				Aprobó:	17/07/23	Ing. López Jorge	1:2
				UTA		Número del dibujo: 18 de 24	
				Ingeniería Mecánica			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±1,2	0,81 Kg	Acero ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 22/06/23	Casa, Jati	<b>Brazo menor de la bisagra</b>	1:2
				Revisó: 17/07/23	Ing. López Jorge		
				Aprobó: 17/07/23	Ing. López Jorge		
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 19 de 24	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±1	1,6 Kg	Acero AISI 1018	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 22/06/23	Casa, Jati		
				Revisó: 17/07/23	Ing. López Jorge		
				Aprobó: 17/07/23	Ing. López Jorge	Seperador de la bisagra	1:1
				UTA Ingeniería Mecánica			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

1

2

3

4

A

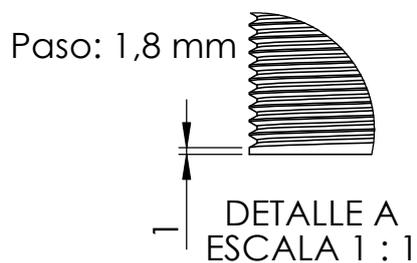
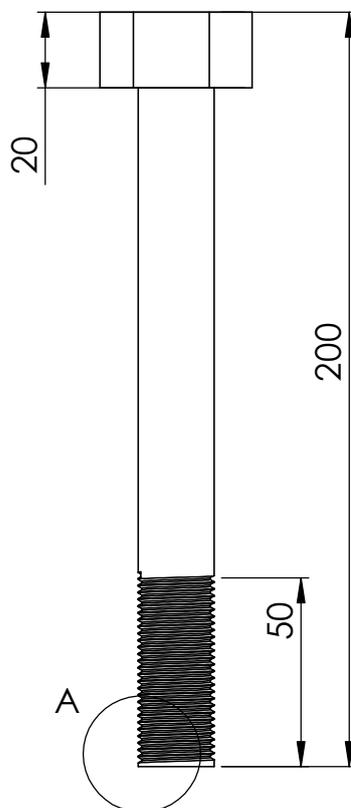
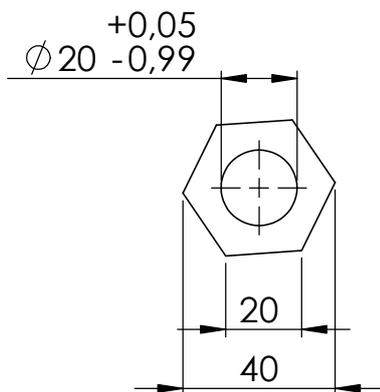
B

C

D

E

N6 TORNEADO



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				$\pm 1$	0,51 Kg	Acero ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 22/06/23	Casa, Jati		
				Revisó: 17/07/23	Ing. López Jorge		
				Aprobó: 17/07/23	Ing. López Jorge		
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 21 de 24	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

Eje de la bisagra

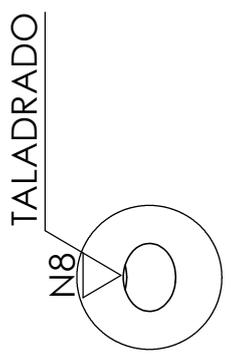
1:2

(Sustitución)

1 2 3 4

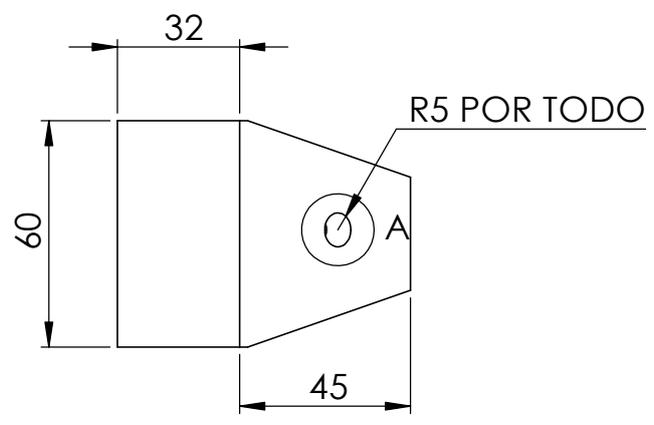
N5 PULIDO

A

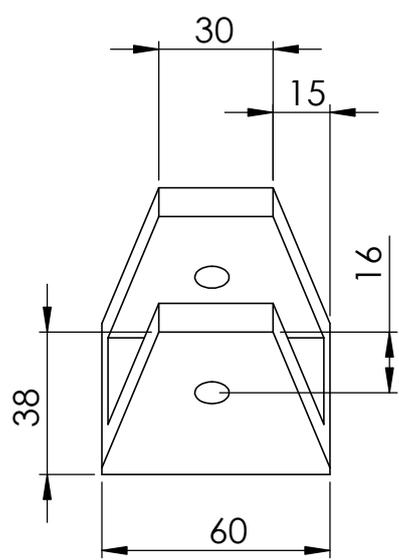


DETALLE A  
ESCALA 1 : 1

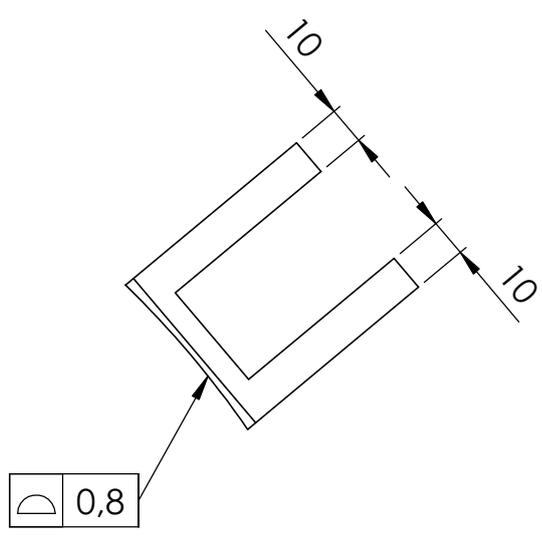
B



C

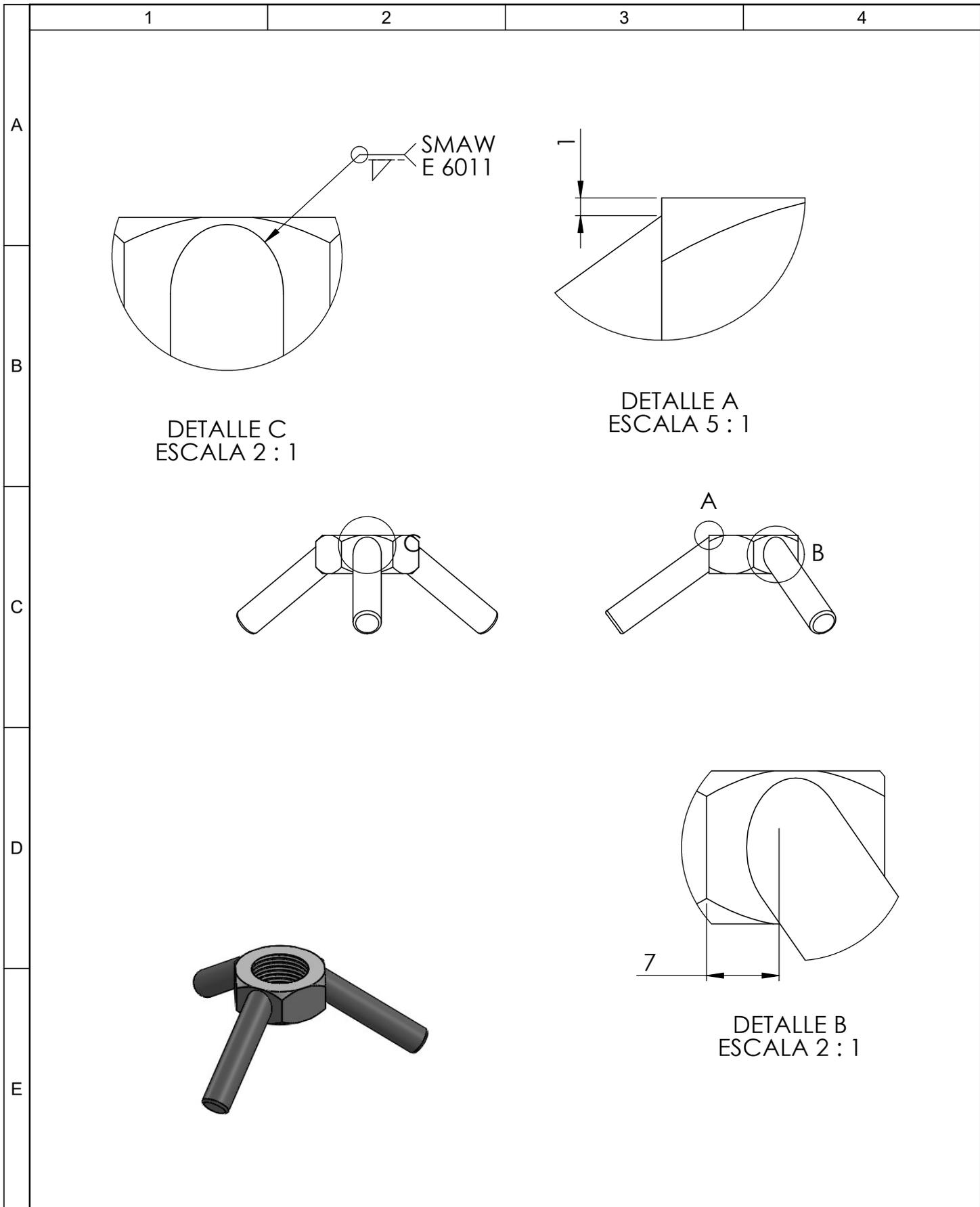


D



E

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±1	0,51 Kg	Acero ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 22/06/23	Casa, Jati		
				Revisó: 17/07/23	Ing. López Jorge		
				Aprobó: 17/07/23	Ing. López Jorge	Base del perno bloqueante	1:2
				UTA Ingeniería Mecánica			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



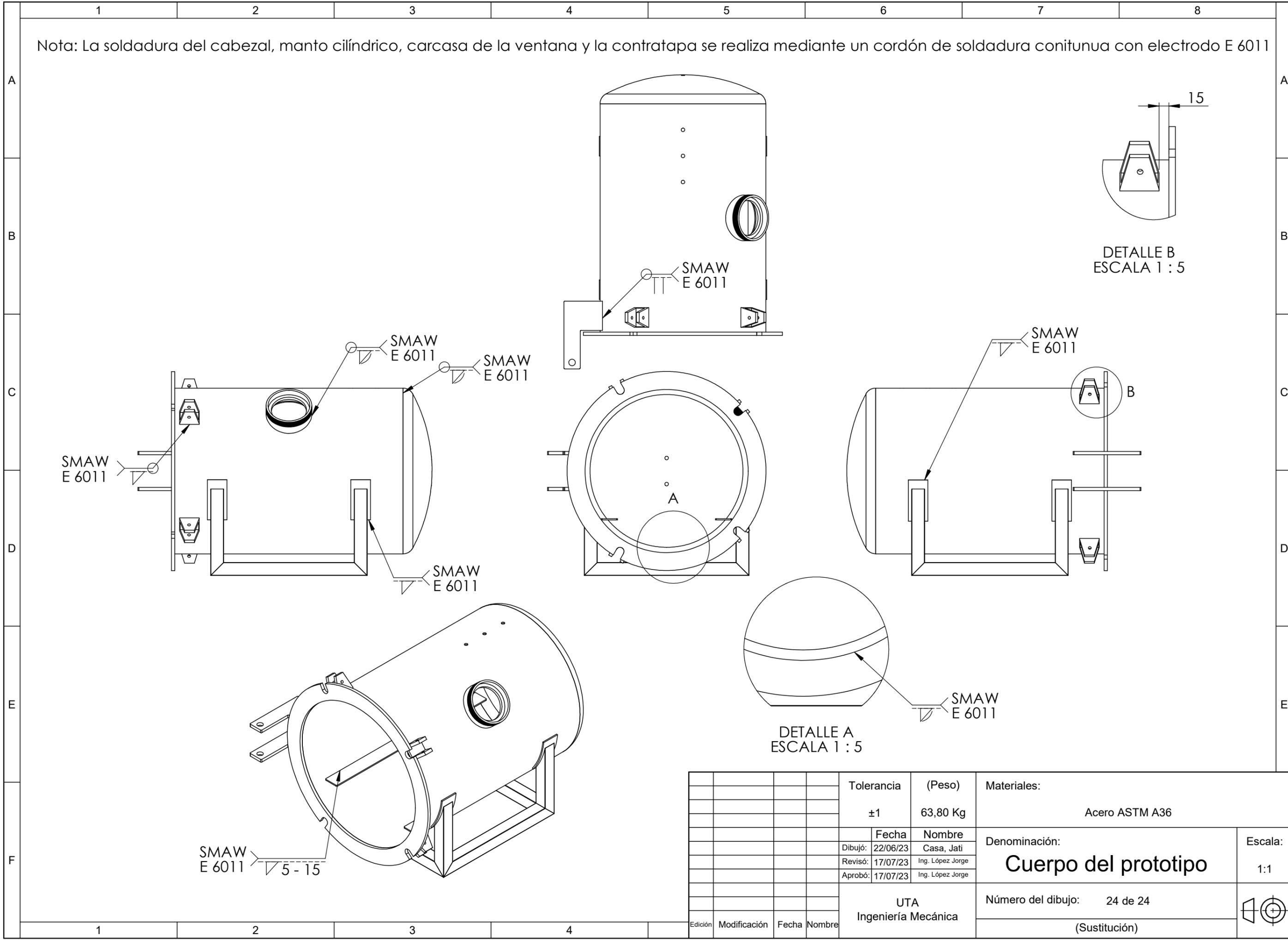
DETALLE C  
ESCALA 2 : 1

DETALLE A  
ESCALA 5 : 1

DETALLE B  
ESCALA 2 : 1

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±1	0,24 Kg	Varios	
				Fecha	Nombre	Denominación: <b>Tuerca de apriete tipo mariposa</b>	Escala: 1:2
			Dibujó:	22/06/23	Casa, Jati		
			Revisó:	17/07/23	Ing. López Jorge		
				Aprobó:	17/07/23	Ing. López Jorge	
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo:	23 de 24
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

Nota: La soldadura del cabezal, manto cilíndrico, carcasa de la ventana y la contratapa se realiza mediante un cordón de soldadura conitunua con electrodo E 6011



DETALLE A  
ESCALA 1 : 5

DETALLE B  
ESCALA 1 : 5

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±1	63,80 Kg	Acero ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 22/06/23	Casa, Jati		
				Revisó: 17/07/23	Ing. López Jorge		
				Aprobó: 17/07/23	Ing. López Jorge	Cuerpo del prototipo	1:1
				UTA Ingeniería Mecánica			
						(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

SMAW E 6011 5-15