

E.T.S. de Ingeniería Industrial,
Informática y de Telecomunicación

Diseño estructural de una máquina rellenadora de botes



Grado en Ingeniería Mecánica

Trabajo Fin de Grado

Autor: Carlos Taberna Zaratiegui

Director: Daniel Salcedo Pérez

Pamplona, 7 de septiembre de 2023

upna
Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

ÍNDICE

1. Objeto	3
2. Contexto	4
3. Alcance	5
4. Normar y referencias	6
4.1. Programas y cálculos de diseño	6
4.2. Proyectos de diseño de máquinas	6
4.3. Normativa	6
5. Antecedentes	9
5.1. Modelos comerciales	9
5.1.1. Tapadora-enroscadora en línea VS 400	9
5.1.2. Tapadora-enroscadora automática VS 500	9
5.1.3. Tapadora-enroscadora semiautomática VS 100	11
5.1.4. Máquina de atornillado manual VS50	12
5.1.5. Desenroscadora Krones Rotomat	12
6. Estudio de la reología del producto a tratar	14
7. Exposición de ideas y bocetos	19
8. Diseño de piezas con el programa de diseño	27
8.1. Subconjunto estructura principal	28
8.1.1. Base inferior	29
8.1.2. Columna soporte inferior	30
8.1.3. Columna soporte unión	31
8.1.4. Columna soporte superior	31
8.1.5. Base superior estática	32
8.1.6. Jaula de rodamiento	32
8.1.7. Bola de rodamiento	33
8.1.8. Base superior móvil	33
8.2. Subconjunto de sujeción del recipiente	35
8.2.1. Soporte de recipiente	36
8.2.2. Mecanismo impulsor de agarrador	37
8.2.3. Brazo impulsor de agarrador	38
8.2.4. Tapa de mecanismo impulsor de agarrador	38
8.2.5. Agarrador de recipiente	39
8.2.6. Pieza de contacto con recipiente	40
8.3. Subconjunto enroscador/desenroscador del tapón	41
8.3.1. Adaptador de subsistema	43
8.3.2. Regulador altura de subsistema	44
8.3.3. Adaptador de subsistema tapa	44
8.3.4. Desenroscador interior	45
8.3.5. Agarrador del tapón	46
8.3.6. Desenroscador exterior	47
8.4. Subconjunto dispensador de producto	48
8.4.1. Tubo de llenado	48

8.5.	Juntas antivibraciones	49
9.	Selección del material	50
10.	Condiciones de funcionamiento	62
10.1.	Relativas al peso de las piezas	62
10.2.	Relativas a la fuerza de cierre	64
11.	Modelización por elementos finitos	66
11.1.	Ensayos donde actúan fuerzas hidráulicas	66
11.1.1.	Pieza de contacto con tapón	66
11.1.2.	Desenroscador interior	69
11.1.3.	Desenroscador exterior	71
11.1.4.	Pieza de contacto con recipiente	74
11.1.5.	Agarrador de recipiente	78
11.1.6.	Brazo impulsor de agarrador	81
11.1.7.	Mecanismo impulsor de agarrador	83
11.2.	Ensayos donde actúa el peso como esfuerzo	87
11.2.1.	Columna soporte superior	87
11.2.2.	Columna soporte unión	89
11.2.3.	Columna soporte inferior	91
11.2.4.	Base inferior	93
12.	Análisis de resultados	98
13.	Conclusiones	100
13.1.	Vías de desarrollo del proyecto	100
14.	Bibliografía	102
15.	Anexos	104
15.1.	Índice de figuras	104
15.2.	Índice de tablas	107
15.3.	Planos	107

1. Objeto

El presente proyecto tiene como objetivo la realización del diseño de una máquina automática que opere a baja escala y tenga un tamaño reducido, cuyas capacidades hagan que cumpla con las tareas de desenroscado, rellenado y enroscado de botes que contengan líquidos, más concretamente líquidos con altos valores de viscosidad como los geles hidroalcohólicos u otros productos sanitarios y cosméticos.

Es objeto del siguiente Trabajo de Fin de Grado:

- Estudio de los sistemas ya utilizados en la industria con funciones similares.
- Estudio de la reología de los geles y la manera en la que estos se pueden dosificar a través de una máquina de bombeo, teniendo en cuenta su naturaleza viscosa y las excepcionalidades de su comportamiento al fluir.
- Diseño de las diferentes piezas y el ensamblaje de estas mediante SolidWorks, obteniendo los planos de taller y conjunto.
- Comprobación estructural de las diferentes piezas diseñadas siendo sometidas a ensayos de esfuerzos con SolidWorks.
- Producción de vídeos del montaje, desmontaje y funcionamiento de la máquina con SolidWorks.

2. Contexto

Durante la pandemia por el Covid-19 han sido muchos los botes de gel hidroalcohólico que se han utilizado en los grandes centros que albergan a muchísimas personas, con especial mención a los hospitales. Al autor del presente proyecto, en una conversación con un allegado, le transmiten que los botes que contienen los geles deben ser rellenados a final del día por los propios trabajadores del hospital de manera manual. Aunque se trata de una labor sencilla, la desmesurada repetición de la tarea hace de ella que sea fatigante que llega a provocar pequeñas lesiones o perjuicios, como la aparición de ampollas y heridas en las manos.

Es entonces cuando surge la idea de diseñar un dispositivo que proporcione una solución a dicho problema. Dicho aparato debe cumplir con unos condicionantes en lo que a capacidad, tamaño y presupuesto se refiere. Como se suele decir, “matar moscas a cañonazos” no suele ser una buena opción, y menos en el mundo de la ingeniería donde la eficiencia es innegociable. Análogamente, carecería de sentido implementar, por ejemplo, una máquina industrial de rellenado de botellas en un hospital. Se va a tratar de ajustar la solución a la demanda, diseñar una pequeña máquina que evite los problemas de las lesiones en las manos y haga del proceso de rellenado de botes algo sencillo y rápido.

3. Alcance

El Trabajo de Fin de Grado, como ya se ha dicho, tiene como objetivo el diseño estructural de la máquina, obteniendo como producto final un prototipo virtual en SolidWorks, con sus respectivos planos y que además se dará una aproximación del comportamiento sometiéndolo a múltiples ensayos con diferentes esfuerzos actuando sobre las piezas diseñadas. Se le impondrán unas condiciones de trabajo que se asemejen a un funcionamiento real. Es evidente que no se va a desarrollar el diseño obtenido, ni siquiera a nivel de maqueta. Pues habrá apartados del diseño que ni siquiera se realicen en este trabajo, por ejemplo, todo lo relativo al apartado eléctrico y electrónico, el equipamiento de los equipos de potencia, ya sean los motores que movilen algunas de las partes móviles de la máquina y el equipamiento de los equipos hidráulicos que ayuden a ejercer fuerza.

4. Normar y referencias

4.1. Programas y cálculos de diseño

SolidWorks 2022. En el proyecto se va a utilizar el software de diseño SolidWorks para desempeñar las labores de diseño, ensayos sobre las piezas que componen las máquinas, elaboración de planos de construcción y grabación de videos de funcionamiento y montaje de la máquina.

4.2. Proyectos de diseño de máquinas

Antes de comenzar a trabajar sobre el diseño, va a haber una parte muy importante de documentación. En Internet se han encontrado algunos proyectos semejantes que, sin tener el mismo objetivo concreto, sí que se centran en las fases iniciales de diseño de máquinas.

Se ha considerado que los siguientes proyectos merecen ser mencionados de manera especial y no ser incluidos simplemente en la bibliografía, pues ha resultado ser información muy valiosa en la fase inicial del Trabajo de Fin de Grado.

Introducción al proyecto y diseño de máquinas

<https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/02/03/introduccion-al-proyecto-y-diseno-de-maquinas/>

Ejemplo de Trabajo de Fin de Grado de un mecanismo andador asistido diseñado por el autor.

<https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/25477>

Ejemplo de Trabajo de Fin de Grado de un mecanismo diseñado para remover la cascarilla de granos de cacao.

<https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4574>

Ejemplo de Trabajo de Fin de Grado de un mecanismo automatizado diseñado para el sellado de dos tipos de cajas.

<http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/37485.pdf>

Ejemplo de Trabajo de Fin de Grado de una máquina fabricadora de conos filtradores de pintura.

<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/3260/46.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

4.3. Normativa

El diseño de maquinaria para el procesamiento de líquidos sanitarios o cosméticos, incluyendo la apertura, llenado y cierre de botes, está sujeto a rigurosas normativas y regulaciones para garantizar la seguridad, calidad y cumplimiento de los productos. Estas normativas, establecidas por autoridades sanitarias y organismos reguladores, son de crucial importancia en la industria de cuidado personal y sanitario, y deben ser cuidadosamente consideradas en el diseño de la maquinaria.

En este apartado, se abordarán las normativas relevantes aplicables al diseño de una máquina para abrir, rellenar y cerrar botes con líquidos sanitarios o cosméticos. Debido a la naturaleza sensible y regulada de estos productos, se hace énfasis en la importancia de cumplir

con las normativas establecidas, que incluyen requisitos de seguridad, higiene, buenas prácticas de manufactura y otros aspectos relevantes.

En aras de garantizar la confiabilidad y calidad de la maquinaria diseñada, se llevará a cabo un análisis de las normativas vigentes, que servirá como base para el desarrollo de un diseño que cumpla con todos los requisitos reglamentarios aplicables. Asimismo, se identificarán posibles desafíos y consideraciones técnicas asociadas con el cumplimiento de las normativas, y se propondrán estrategias y soluciones adecuadas para asegurar un diseño eficiente y seguro.

Dado que el cumplimiento de las normativas es un aspecto fundamental en el diseño de maquinaria para el procesamiento de líquidos sanitarios o cosméticos, se enfatiza la necesidad de considerar detalladamente estos requisitos en cada etapa del proceso de diseño. El conocimiento y comprensión profunda de las normativas aplicables son esenciales para garantizar la conformidad regulatoria y la seguridad del producto final, y serán abordados con el mayor rigor posible en este trabajo.

En España, el diseño de una máquina que manipula botes que contienen productos sanitarios como geles hidroalcohólicos y productos cosméticos está sujeto a varias normativas y legislaciones, entre las cuales se encuentran:

Directiva de Máquinas 2006/42/CE: Esta directiva establece los requisitos de seguridad y salud para las máquinas utilizadas en la Unión Europea, incluyendo España. Es necesario cumplir con los requisitos técnicos y de seguridad establecidos en esta directiva al diseñar la maquinaria.

Real Decreto 1644/2008, de 10 de octubre, por el que se establecen las normas para la fabricación, comercialización y control de los productos cosméticos: Este real decreto establece las normas para la fabricación, comercialización y control de los productos cosméticos en España, incluyendo los requisitos de etiquetado, envasado, y seguridad. Es importante asegurarse de que la maquinaria cumple con los requisitos establecidos en este real decreto para la manipulación de productos cosméticos.

Real Decreto 1054/2002, de 11 de octubre, por el que se regula el proceso de producción de los productos cosméticos: Este real decreto establece los requisitos técnicos y de calidad para la producción de productos cosméticos en España, incluyendo los requisitos de fabricación, envasado y etiquetado. Es necesario asegurarse de que la maquinaria cumple con los requisitos técnicos y de calidad establecidos en este real decreto.

Real Decreto 1599/1997, de 17 de octubre, por el que se regulan los productos cosméticos de protección solar: Este real decreto establece los requisitos específicos para los productos cosméticos de protección solar, incluyendo los requisitos de etiquetado y envasado. Si la maquinaria está diseñada para manipular productos cosméticos de protección solar, es necesario cumplir con los requisitos establecidos en este real decreto.

Normas UNE EN aplicables: Las normas técnicas UNE EN (normas españolas armonizadas con las normas europeas) también son relevantes en el diseño de maquinaria para la manipulación de productos sanitarios y cosméticos en España. Algunas normas UNE EN que podrían ser aplicables incluyen: UNE EN ISO 13857:2019 (seguridad de las máquinas - distancias de seguridad para evitar el atrapamiento de partes del cuerpo), UNE EN ISO 12100:2012 (seguridad de las máquinas - conceptos generales, principios de diseño), y UNE EN ISO 374-

5:2017 (guantes de protección contra productos químicos y microorganismos - parte 5: terminología y requisitos de prestación para riesgos microbianos).

Estas son algunas de las normativas y legislaciones que podrían ser aplicables al diseño de la máquina en cuestión si este se da en España. Es importante consultar y cumplir con todas las normativas y regulaciones aplicables en la industria y región específica, y contar con el apoyo de expertos en normativas y regulaciones para asegurar el cumplimiento de todos los requisitos legales.

Es importante aclarar que, aunque el proyecto consista en el diseño de la máquina, se deberán tener en cuenta las normas relativas a los productos sanitarios y cosméticos, pues al ser la máquina la encargada de manipular estos productos tendrá el deber de cumplir con las normas de manufacturación de ellos.

5. Antecedentes

Hoy en día, es evidente que existen máquinas en la industria que son capaces de realizar las tareas, por separado, que se quiere que realice la de este trabajo. Ahora bien, es objetivo del proyecto tomar información de esos avances que proporciona la tecnología contemporánea para poder aplicar ciertas ideas a la máquina que se trata de diseñar. A partir de los principios de funcionamiento que gobiernan esos mecanismos se debe, en primer lugar, fusionar diferentes máquinas y después simplificar su funcionamiento para reducir en costes de fabricación y de potencia consumida. Pues como ya se ha dicho, se busca simplificar una tarea tediosa para los trabajadores, pero que no es ni mucho menos su tarea principal, por lo que los centros no estarían dispuestos a que la solución les conlleve un gasto exagerado.

La primera función que debe cumplir la máquina es la de desenroscar el tapón. Para ello existen diferentes soluciones. Se adjuntan algunas de ellas.

5.1. Modelos comerciales

5.1.1. Tapadora-enroscadora en línea VS 400

<https://www.directindustry.es/prod/cda/product-36180-2344856.html>

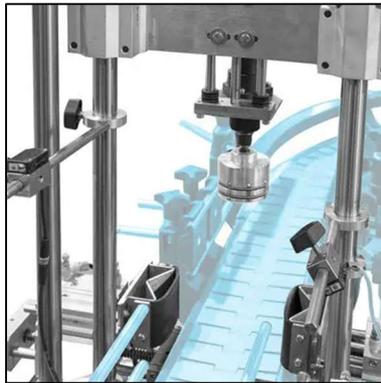


Figura 1. Tapadora-enroscadora en línea VS 400

“Gracias a sus diferentes cabezales de taponado, esta taponadora se adapta a muchos tapones cilíndricos (tapones de rayas verticales, tapones de pipeta, tapones de rosca pre-roscados, tapones de rosca y tapas con bisagras) lo que lo hace ideal para todas industrias (alimentación, cosmética, química, e-líquido, productos de limpieza, etc.). Además de ser versátil, la VS 400 es muy fácil de usar gracias al ajuste de altura por manivela.”

Se puede ver que esta máquina cumple con el proceso de enroscado dentro de una producción en línea. Por la información que ofrece el fabricante en la web no se puede deducir el principio de funcionamiento a la hora de enroscar los tapones. Sin embargo, se puede deducir que el módulo cilíndrico que se observa en la imagen descenderá hasta recubrir el tapón, lo “abrazará” con cierta presión y después girará, consiguiendo así el objetivo de enroscar o desenroscar.

Es interesante el mecanismo de agarre del bote que consiste en dos mallas elásticas, una a cada lado, que rodean y fijan una gran parte del contorno del bote.

5.1.2. Tapadora-enroscadora automática VS 500

<https://www.directindustry.es/prod/cda/product-36180-2241885.html>

“El enroscador eléctrico VS 500 es un módulo de atornillado automático con un atornillador integrado especialmente diseñado para todo tipo de tapones, incluidos los de

rociado o de bomba. La VS 500 puede soportar todo tipo de formatos y ofrece un ajuste de altura por manivela.”



Figura 2. Tapadora-enroscadora automática VS 500

De este modelo se pueden rescatar varias ideas muy válidas. La primera de ellas es el mecanismo de cierre de los tapones. Este consta de 4 ruedas de fricción que al entrar en contacto con el tapón y girar consiguen la rotación de la pieza cerrando así el bote. Se entiende que para labores de apertura también valdría.



Figura 3. Tapadora-enroscadora automática VS 500



Figura 4. Tapadora-enroscadora automática VS 500

En segundo lugar, La manera con la cual se regula la altura de la máquina haciendo que se adapte a cualquier tamaño de bote también resulta muy interesante. La parte superior de la máquina que contiene a las ruedas de fricción van unidas a unos cojinetes que deslizan sobre unos mástiles, pudiendo así ajustar la altura. Los cojinetes permanecerán fijos o móviles según esté apretada la llave que presiona los cojinetes de deslizamiento contra los mástiles.

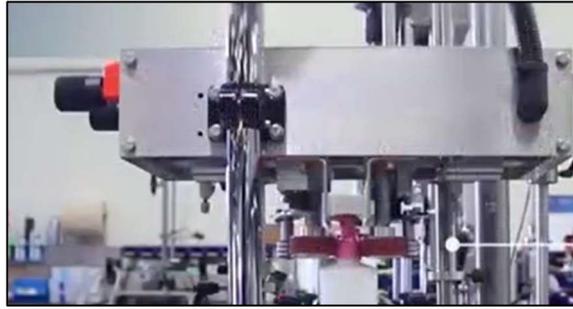


Figura 5. Tapadora-enroscadora automática VS 500

Por último, se utiliza el mismo mecanismo de sujeción del bote que en el modelo anterior.



Figura 6. Tapadora-enroscadora automática VS 500



Figura 7. Tapadora-enroscadora automática VS 500

5.1.3. Tapadora-enroscadora semiautomática VS 100

<https://www.directindustry.es/prod/cda/product-36180-2241841.html>

Nos encontramos ante un modelo semiautomático del mismo fabricante que las anteriores dos máquinas. El mecanismo de agarre del bote es para todos el mismo, y el mecanismo de enroscado es igual que el modelo VS400. Es interesante porque es el primer modelo que no opera a gran escala y que por lo tanto su precio será mucho más reducido.



Figura 8. Tapadora-enroscadora semiautomática VS 100

5.1.4. Máquina de atornillado manual VS50

<https://www.directindustry.es/prod/cda/product-36180-2573411.html>

Este modelo es muy similar al anterior, pero siendo prácticamente manual, donde no se tendría si quiera un mecanismo para agarrar el bote, lo haría el mismo operario. Da la opción de fijar la altura a partir del mástil que se ve en la imagen.



Figura 9. Máquina de atornillado manual VS50

Este modelo ofrece una máquina que opera en línea donde se pueden cumplir las tareas de llenado y enroscado.

El llenado es simple, a partir de una boquilla que tiene margen para ascender y descender, se dosifica el líquido cuando la boquilla ha descendido y se encuentra dentro del bote para garantizar que no se dan pérdidas ni se ensucia.

Respecto a la parte del enroscado, la máquina precisa de que el tapón ya esté colocado en el bote, y entonces es otra boquilla diferente que envuelve perfectamente el tapón la que ejerce el giro haciendo que el tapón gire con ella. Para cada tipo y tamaño de tapón, requiere una boquilla diferente.

5.1.5. Desenroscadora Krones Rotomat

<https://www.krones.com/es/productos/maquinas/desenroscadora-krones-rotomat.php>

Este modelo comercial de máquina desenroscadora está destinada a trabajar en el sector industrial y su principio de funcionamiento es descrito en la página web.

“El cabezal desenroscador está formado por tres elementos de agarre con dos puntos de contacto para el tapón cada uno. Esto permite sujetar el tapón por un total de seis puntos y a continuación desenroscarlo. Gracias a una espiga de palpado con dispositivo amortiguador resulta posible eliminar incluso tapones torcidos, flojos o muy apretados de forma protectora para la rosca.

Un mecanismo en el cabezal desenroscador compensa tolerancias de las alturas de las botellas y tapones. Se cierran y se abren de forma silenciosa y sin desgaste mediante rodillos.

Las botellas que llegan a la máquina sin tapón son detectadas por la espiga de palpado. En estos casos los elementos de agarre permanecen abiertos. De esta forma se evita que se dañe la boca de la botella.”

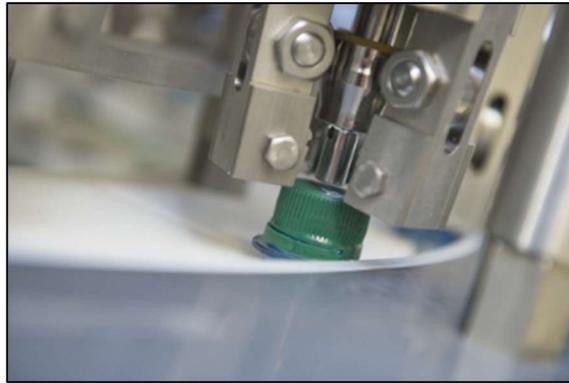


Figura 10. Desenroscadora Krones Rotomat

A continuación, se adjunta el *link* que dirige a la página web principal de *Direct Industry*, empresa dedicada a la manufacturación de recipientes en diferentes áreas como el embotellado, etiquetado, dosificado, etc.

<https://www.directindustry.es>

A continuación, se adjunta el *link* que dirige a la página web principal de *Krones*, empresa fabricante y vendedora de maquinaria relacionada con procesos de enroscado y recipientes.

<https://www.krones.com/es/productos/soluciones-integrales/lineas-de-llenado-y-embalado.php>

6. Estudio de la reología del producto a tratar

Los líquidos de alta viscosidad, como los geles y jabones utilizados en productos sanitario-cosméticos, poseen propiedades reológicas únicas que influyen en su comportamiento y aplicaciones. En este capítulo, se abordará la reología de estos líquidos, centrándose en sus características y su comportamiento en diferentes condiciones. Además, se analizará el comportamiento de los fluidos newtonianos, que son un tipo de líquidos con propiedades reológicas diferentes a los líquidos de alta viscosidad.

Propiedades Reológicas de Líquidos de Alta Viscosidad: Los líquidos de alta viscosidad, como los geles y jabones, se caracterizan por su resistencia al flujo y su capacidad de deformarse bajo la aplicación de fuerzas externas. Sus propiedades reológicas, o el estudio de su flujo y deformación, son de gran importancia en la formulación y fabricación de productos sanitario-cosméticos.

Viscosidad: La viscosidad es una medida de la resistencia de un líquido al flujo. En líquidos de alta viscosidad, como los geles y jabones, la viscosidad es generalmente alta, lo que significa que estos líquidos tienen una resistencia significativa al flujo. Esto puede afectar la aplicación y distribución del producto en la piel o en otras superficies. La viscosidad de estos líquidos puede variar con la temperatura, la concentración de los ingredientes y otros factores, lo que debe tenerse en cuenta en la formulación y fabricación de productos.

Esfuerzo de Corte: El esfuerzo de corte es la fuerza necesaria para deformar un líquido y hacerlo fluir. En líquidos de alta viscosidad, se requiere un mayor esfuerzo de corte para lograr su flujo. Esto puede afectar la facilidad con la que se aplica el producto en la piel o en otras áreas de aplicación. La relación entre el esfuerzo de corte y la velocidad de deformación puede ser no lineal, lo que implica que la viscosidad aparente del líquido puede cambiar con la velocidad de deformación. Este comportamiento debe ser considerado en la formulación y fabricación de productos sanitario-cosméticos.

Tixotropía: La tixotropía es la propiedad de ciertos líquidos de cambiar su viscosidad bajo estrés o agitación. Algunos geles y jabones pueden exhibir tixotropía, lo que significa que su viscosidad disminuye temporalmente cuando se aplican fuerzas externas, como la agitación durante la formulación o la aplicación del producto. Esto puede afectar la uniformidad de la aplicación y la estabilidad del producto. La reversibilidad de la tixotropía y la velocidad de recuperación del gel a su viscosidad original son importantes consideraciones en la formulación y fabricación de productos.

Comportamiento Bingham: Algunos líquidos de alta viscosidad, como ciertos geles y jabones, pueden exhibir un comportamiento Bingham, que se refiere a una relación lineal entre el esfuerzo de corte y la velocidad de deformación. Este comportamiento puede influir en la forma en que el producto se aplica y se comporta en diferentes situaciones. Por ejemplo, un producto con comportamiento Bingham puede fluir más fácilmente cuando se aplica una fuerza externa, pero puede mantener su viscosidad original una vez que se detiene la aplicación de fuerza. Esto puede ser relevante para la aplicación y distribución uniforme del producto en la piel o en otras superficies.

Comportamiento de Fluidos Newtonianos: Los fluidos newtonianos son un tipo de líquidos que exhiben un comportamiento reológico particular. Estos líquidos obedecen a la ley de Newton del flujo, que establece que la velocidad de deformación es directamente proporcional al esfuerzo de corte aplicado. Esto significa que la viscosidad de un fluido

newtoniano es constante y no depende de la velocidad de deformación. Los líquidos newtonianos son comunes en la vida cotidiana, como el agua y muchos aceites, y se comportan de manera predecible en términos de su flujo y deformación.

En resumen, los líquidos de alta viscosidad, como los geles y jabones utilizados en productos sanitario-cosméticos, poseen propiedades reológicas únicas que influyen en su comportamiento y aplicaciones. Su viscosidad, esfuerzo de corte, tixotropía y comportamiento Bingham son importantes consideraciones en la formulación y fabricación de estos productos. Por otro lado, los fluidos newtonianos tienen un comportamiento reológico constante y obedecen a la ley de Newton del flujo. Comprender el comportamiento de los líquidos de alta viscosidad y los fluidos newtonianos es esencial para desarrollar productos eficaces y de alta calidad en la industria sanitario-cosmética, así como para poder trabajar con ellos de forma controlada, entendiendo y dominando los diferentes parámetros que gobiernan su reología.

La viscosidad es una propiedad central en la caracterización de los fluidos y su fluidez. Sin embargo, cuando nos adentramos en el mundo de los líquidos altamente viscosos, como los geles hidroalcohólicos y los jabones similares, la comprensión de la viscosidad va más allá de la simple relación entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación que caracteriza a los fluidos newtonianos. Estos fluidos, en lugar de seguir una ley de viscosidad constante, exhiben un comportamiento reológico no newtoniano, que se manifiesta de manera prominente en su comportamiento pseudoplástico.

En un fluido newtoniano, como el agua, la viscosidad permanece constante sin importar la velocidad de deformación a la que se somete el fluido. Sin embargo, los geles hidroalcohólicos y jabones similares son ejemplos clásicos de fluidos no newtonianos, donde la viscosidad varía de manera significativa con la velocidad de corte. Esto significa que la forma en que responden a la fuerza de corte no es lineal, y su viscosidad puede aumentar o disminuir según la tasa de deformación.

Un comportamiento pseudoplástico es una característica común en muchos líquidos altamente viscosos. En este tipo de comportamiento, la viscosidad disminuye a medida que la velocidad de corte aumenta. Imagina un gel hidroalcohólico en reposo en un envase: su viscosidad inicial es alta, y es difícil que fluya fácilmente. Sin embargo, cuando aplicamos una fuerza cortante al intentar agitarlo o bombearlo, el gel muestra una reducción en su viscosidad, permitiendo que fluya más fácilmente.

Este fenómeno se debe a la reorganización de las microestructuras internas del gel a medida que se aplica la fuerza de corte. En los geles hidroalcohólicos, por ejemplo, las moléculas de polímero o las partículas suspendidas están entrelazadas en una estructura tridimensional. Bajo esfuerzo cortante, estas estructuras se deshacen parcialmente, lo que conduce a una disminución aparente en la viscosidad. Esta propiedad es extremadamente valiosa en aplicaciones como la aplicación tópica o la dispensación de geles, ya que permite una distribución más uniforme y controlada del producto.

En resumen, la viscosidad y el comportamiento reológico de los geles hidroalcohólicos y jabones similares están lejos de ser simples. Su naturaleza no newtoniana y el comportamiento pseudoplástico agregan una dimensión adicional a su manipulación y procesamiento. Comprender cómo estos fluidos cambian su viscosidad en función de la tasa de corte es esencial para prever cómo se comportarán en situaciones de flujo, como el llenado de envases o el paso a través de sistemas de tuberías y bombas.

Los sistemas de bombeo son esenciales para el procesamiento de geles hidroalcohólicos y jabones. La capacidad de estos líquidos para fluir a través de bombas depende de su viscosidad y comportamiento reológico. Se debe analizar cómo la viscosidad afecta la eficiencia de bombeo y si es necesario realizar ajustes en los sistemas de bombeo para evitar cavitación y pérdida de rendimiento. Es importante considerar las características del flujo, como la caída de presión y la tasa de corte, al seleccionar una bomba adecuada.

La selección de una bomba adecuada para dispensar geles hidroalcohólicos en botes cilíndricos, junto con el cálculo preciso de los tiempos de llenado, es crucial para optimizar el proceso de producción. Considerando un escenario hipotético donde se trabajará con botes cilíndricos de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura, se debe realizar una cuidadosa elección del sistema de bombeo.

La elección de la bomba adecuada depende de varios factores, incluida la viscosidad del gel, el caudal requerido y las características del conducto. Dado que estamos tratando con un gel altamente viscoso y que muestra un comportamiento pseudoplástico, es fundamental seleccionar una bomba que pueda manejar líquidos no newtonianos y garantice un flujo uniforme.

Las bombas de desplazamiento positivo, como las bombas de lóbulos o las bombas peristálticas, son opciones a considerar. Estas bombas son capaces de manejar viscosidades variables y proporcionan un flujo constante incluso con cambios en la presión y la viscosidad. Además, permiten un control más preciso del caudal, lo que es esencial para garantizar tiempos de llenado consistentes en la producción.

Para calcular los tiempos de llenado, primero debemos determinar el caudal requerido para llenar un bote. Dado que el bote es cilíndrico, podemos calcular su volumen utilizando la fórmula del volumen de un cilindro:

$$V = \pi \times r^2 \times h$$

Si tomamos un bote con 10 cm de diámetro y 20 cm de altura:

$$V = \pi \times (5 \text{ cm})^2 \times 20 \text{ cm} = 1570,8 \text{ cm}^3$$

Supongamos que deseamos llenar el bote en un tiempo t . Entonces, el caudal (Q) necesario sería:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Supongamos que el tiempo máximo de dosificación aceptado es de 2 segundos.

$$Q \geq \frac{1570,8 \text{ cm}^3}{2 \text{ s}} = 785,4 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} = 0,785 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Con estos valores calculados, se pueden evaluar diferentes bombas y ajustar el caudal según las especificaciones del fabricante para determinar el tiempo de llenado óptimo.

Tras hacer un estudio de mercado valorando las opciones que se ofrecen, la mejor opción se expone a continuación. Antes que nada, hay que mencionar que la web que de búsqueda que se ha utilizado es McMASTERR-CARR. Se adjunta el enlace de la página.

<https://www.mcmaster.com/>



Figura 11. Bomba seleccionada para el proyecto

“Resistentes a productos químicos como amoníaco, detergentes y líquidos de limpieza, estas bombas tienen un diafragma de Santoprene y una carcasa de polipropileno. Se pueden utilizar para mover lodos y lodos espesos. Las bombas son autocebantes, lo que significa que crean una fuerza de succión para extraer líquido hacia arriba para llenar la cámara de la bomba. Todos son sumergibles y pueden funcionar en seco.”

\$1,254.23 cada uno Cada
Se envía en 1-3 semanas
4157K833 [AÑADIR AL PEDIDO](#)
Para una entrega más rápida, sugerimos 4157K134.

Tipo de bomba	Doble diafragma, desplazamiento positivo
Estilo de bomba	Transferencia
Fuente de alimentación	Aire
Para usar con	Hidróxido de amonio, etilenglicol, ácido clorhídrico, pintura, aguas residuales, lodo, hidróxido de sodio, ácido sulfúrico
Caudal máximo	23 gpm
Caudal máximo, gpm	
@ 40 pies de cabeza	19
@ 120 pies de cabeza	13
@ 160 pies de cabeza	8
Pies máximos de cabeza	231 pies
Presión de descarga máxima	100 psi
Diámetro máximo de sólidos	5/32"
Viscosidad máxima	10.000 cp

Figura 12. Características de la bomba seleccionada para el proyecto

Resistencia química	
Excelente	Hidróxido de amonio (100%), etilenglicol, ácido clorhídrico (20%), pintura, agua salada, hidróxido de sodio (20%), ácido sulfúrico (<10%), ácido sulfúrico (10-75%)
Moderado	Ácido nítrico (20%), Ácido fosfórico (<40%), Agua
Pobre	Acetona, Agua desionizada, Combustible diesel, Etanol, Gasolina, Aceite hidráulico, Ácido clorhídrico (100%), Alcohol isopropílico (100%), Queroseno, diluyente de laca, Metanol, Cloruro de metilo, Metil etil cetona (MEK), Alcoholes minerales, Aceite de motor, Ácido nítrico (50%), Ácido nítrico (100%), Hipoclorito de sodio (lejía), Ácido sulfúrico (>75%), Xileno

Figura 13. Características de la bomba seleccionada para el proyecto

En general	
Largura	7"
Ancho	12"
Altura	13"

Figura 14. Características de la bomba seleccionada para el proyecto

<https://www.mcmaster.com/4157K833/>

7. Exposición de ideas y bocetos

El contenido de este capítulo va a estar altamente influenciado por lo visto en el apartado 5 (Antecedentes) donde se han visto y analizado los modelos comerciales que ofrece el mercado para labores parecidas a las que se le exige a la máquina. Si bien la originalidad va a ser fundamental para desarrollar el diseño final, cada pieza y cada subsistema no serán totalmente novedosos, habrá conceptos muy similares a los que se han visto. También es importante aclarar que va a haber una parte del funcionamiento de la máquina que se va a obviar, a pesar de ser una parte esencial. Se trata de lo relativo a los dispositivos y circuitos eléctrico-electrónico, los sensores y los mandos. El trabajo se centra en el diseño mecánico y estructural de la máquina. Tras estas aclaraciones, se exponen las explicaciones.

Hasta el momento, se tiene una idea muy clara de que la máquina debe cumplir con 3 funciones diferentes: Desenroscado del tapón, dosificación del producto y de nuevo, enroscado del tapón. Si se consiguen completar los 3 pasos, se habrá conseguido el objetivo del proyecto.

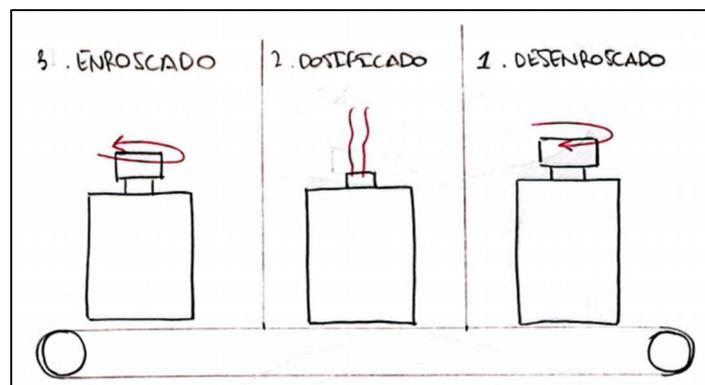


Figura 15. Funciones que se deben cumplir

Estas 3 tareas se harán en momentos diferentes, en ese orden.

- Desenroscado.
- Dosificado.
- Enroscado.

Y por ello la máquina va a tener que desplazar el bote bajo las 3 submáquinas encargadas de las labores o que los 3 subsistemas se vayan desplazando encima del bote que se mantendrá estático durante todo el proceso. Y para ello aparecen dos ideas diferentes.

- A través de una cinta transportadora donde es el bote el que se desplaza.
- Una máquina circular rotativa donde son los subsistemas los que se van desplazando por encima del bote.

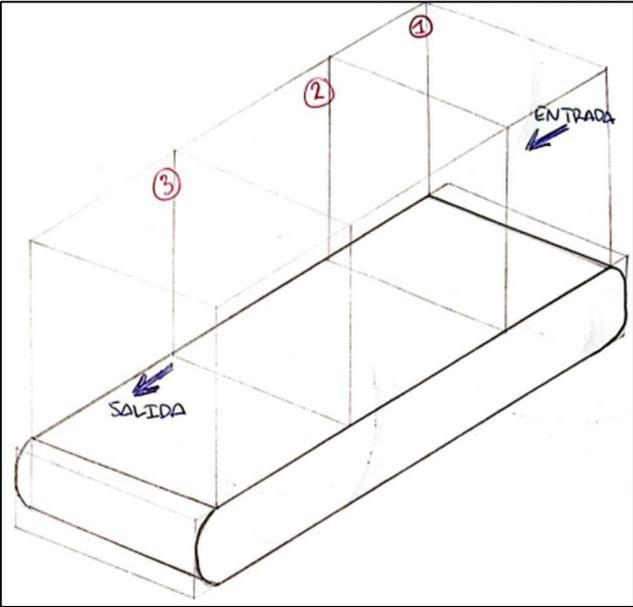


Figura 16. Máquina con cinta transportadora

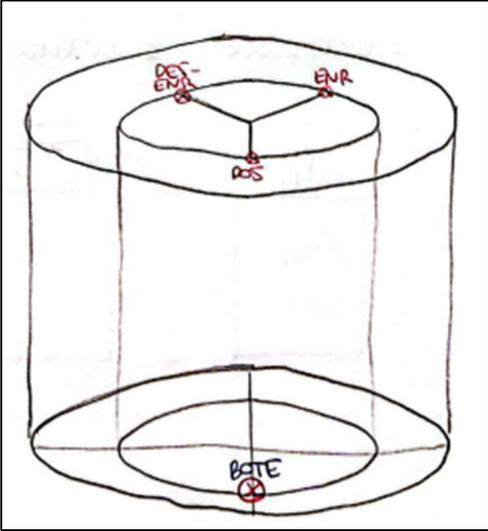


Figura 17. Máquina rotativa circular

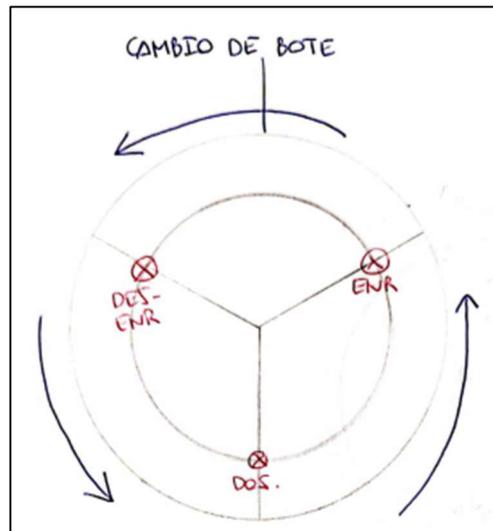


Figura 18. Disposición de las submáquinas en la máquina rotativa circular

En la primera imagen se expone el primer concepto. Se tendrían 3 estaciones linealmente dispuestas y la cinta transportaría el bote bajo ellas. Le entrada correspondería con sistema de desenroscado, después avanzaría al sistema de dosificado y volvería a avanzar para llegar al sistema de enroscado. Algo positivo que tiene este concepto es que se podría trabajar con hasta 3 botes al mismo tiempo, uno en cada estación. Por otro lado, un punto negativo es que el operario además de retirar el tapón, lo tendría que mover desde la primera estación a la tercera. Para solventarlo uno puede pensar en la idea de que la cinta movilice las submáquinas en vez del bote, pero sería mucho más complicado por el tema del cableado y porque son dispositivos delicados. De ahí nace la segunda de las ideas.

En las dos imágenes siguientes se expone la segunda idea. En ellas se ve un nivel superior de la máquina y otro inferior. En el inferior se colocaría el bote y en el superior las submáquinas. Primero la máquina desenroscaría el tapón, el operario lo retiraría, la máquina rotaría 120° hacia adelante, se dosificaría el producto con el sistema de dosificado, volvería a moverse otros 120°, el operario colocaría el tapón y la máquina lo enroscaría. Las circunferencias concéntricas se deben a que las submáquinas deberán operar en el mismo punto espacial exactamente, que es donde estará el tapón. Por eso están colocadas las tres sobre la misma circunferencia y desfasadas 120° entre sí. Si bien con esta idea no se podría trabajar con más de un bote a la vez, la labor del operario es más simple porque no transporte el tapón, solo lo retira y lo coloca, sin más, en el mismo sitio. Por la sencillez en general se decide que esta es la idea que va a prosperar en el proyecto.

Una vez visto el funcionamiento general de alimentación, se debe abordar el funcionamiento de las submáquinas. Empezando por el de desenroscado, que realmente será igual al de enroscado invirtiendo el giro y por lo tanto el sentido de la fuerza.

Las ruedas de fricción vistas en el apartado 5 son muy atractivas por su sencillez y por su eficacia. Una idea que se debe valorar. Una duda que surge es cuántas habría que implementar. Se adjuntan dos imágenes, una con dos ruedas y otra con tres.

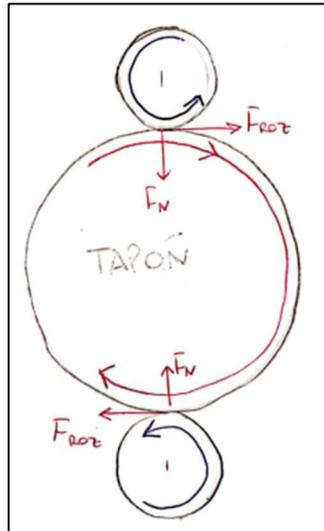


Figura 19. Sistema de 2 ruedas

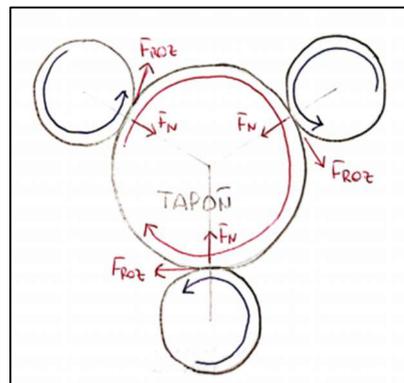


Figura 20. Sistema de 3 ruedas

La ventaja de las 3 ruedas es que es un sistema capaz de contrarrestar desalineamientos de las fuerzas normales de presión de las ruedas sobre el tapón mientras que el sistema de 2 ruedas sería ineficiente porque no los contrarrestaría. Ahora bien, por esta misma razón cuantas más ruedas se utilicen, menos riesgo de desequilibrios e incluso más superficie y puntos de contacto. Un sistema de 4 ruedas resultaría muy interesante teniendo muy buen balance entre sencillez y eficacia.

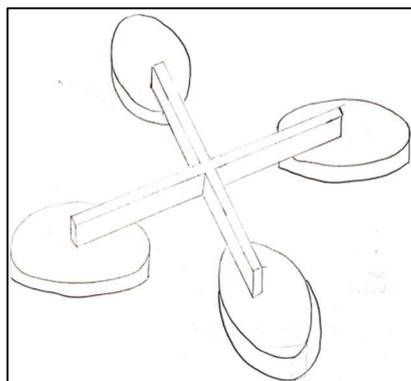


Figura 21. Sistema de 4 ruedas

La alternativa a las ruedas de fricción son las piezas de contacto que trabajen a modo de pinza, teniendo una ventaja muy importante que es que solo necesitaría un motor que alimente el giro, mientras que las ruedas necesitarían un motor por cada rueda equipada. Razón suficiente para escoger esta idea.

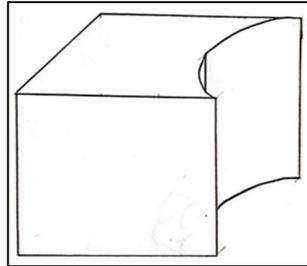


Figura 22. Pinza de agarre de tapón

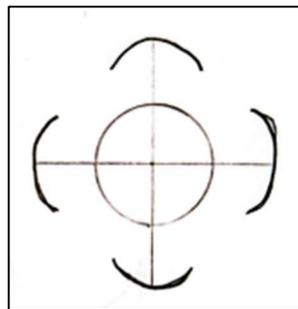


Figura 23. Disposición de 4 pinzas de agarre alrededor del tapón

Para el sistema de dosificado se tiene muy claro que se tendrá un tubo de llenado. Este deberá tener la capacidad de subir y bajar para poder introducirse en el bote, pero es algo que se trata a continuación ya que las ruedas de fricción también lo necesitan.

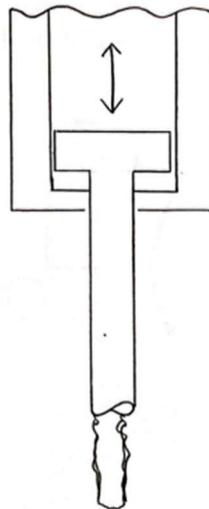


Figura 24. Tubo de llenado

La idea para conseguir ese juego con la altura de los subsistemas es a través de un sistema hidráulico con el siguiente concepto.

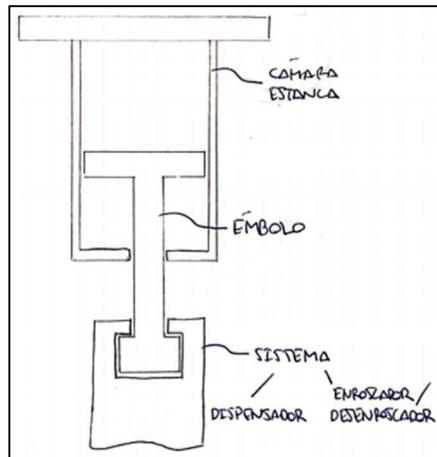


Figura 25. Sistema para regular la altura de las submáquinas

El diseño va cogiendo un rumbo claro, es evidente que le faltan muchos matices, pero las ideas generales van aclarándose. Ahora se expone la idea que se tiene con las columnas para que estas se puedan adaptar a diferentes tamaños de botes de manera rápida y sencilla.

La columna tendrá 3 partes diferentes, una inferior, otra intermedia y otra superior. La segunda será la que se pueda manipular y con la que se consiga el ajuste requerido. La parte superior y la intermedia estarán unidas por medio de una rosca, por lo que al girar la pieza intermedia, la parte superior descenderá en altura.

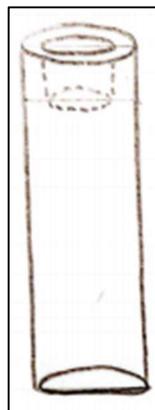


Figura 26. Parte inferior de la columna

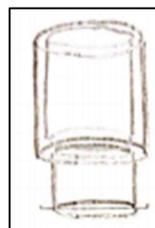


Figura 27. Parte intermedia de la columna

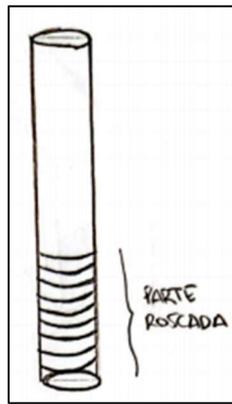


Figura 28. Parte superior de la columna

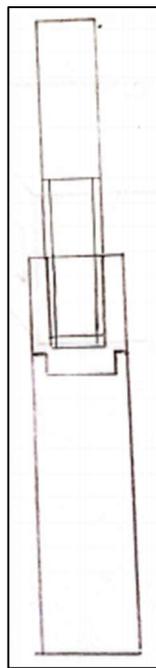


Figura 29. Columna completa

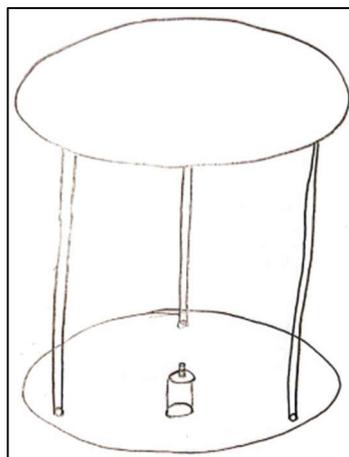


Figura 30. Esquema desproporcionado de la máquina

En esta imagen se pueden ver la parte superior de la máquina, la inferior que haría de soporte y entre medio estarían las columnas.

Por último, se explica la idea que se tiene sobre la manera con la que se va a sujetar el bote. Muy similar al sistema de enroscado del tapón en lo que a estabilización se refiere, aunque como no van a tener que girar las piezas va a ser más sencillo.

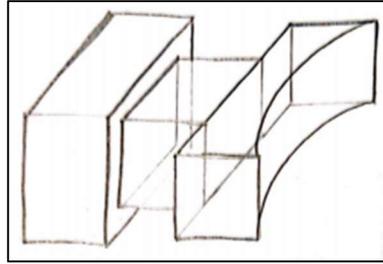


Figura 31. Pinza hidráulica

La parte intermedia de esta pinza se podrá diseñar tan larga como se necesite para que cumpla correctamente con sus funciones.

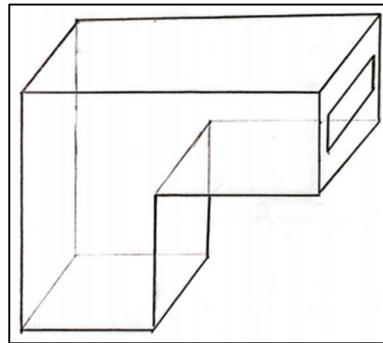


Figura 32. Cámara estanca para el brazo hidráulico

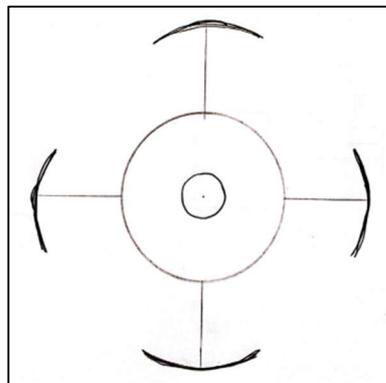


Figura 33. Disposición de las 4 pinzas

Trata de 4 dispositivos correctamente separados y alineados entre si con 4 brazos/pinzas hidráulicas que le darán la sujeción que necesita el bote.

Aquí concluye la información de este capítulo. Todo lo expuesto son ideas muy “crudas” que deben desarrollarse mucho más. Pero eso se hará en el próximo capítulo, ya que el trabajo con el programa de diseño permite visualizar de manera más nítida todas las ideas.

8. Diseño de piezas con el programa de diseño

Para que sea más sencillo el entendimiento y la visualización de las diferentes piezas, así como el papel que desempeñan en la máquina, primero se van a adjuntar algunas imágenes del ensamblaje completo desde diferentes ángulos. A partir de ahí, sí que se explicarán de manera individualizada cada pieza e incluso algunos subensamblajes que tienen cierto interés. Se darán explicaciones de las labores que desempeñan y la razón de ser y contribuir en este proyecto. Además, se explican cuáles han sido las decisiones tomadas en el camino hasta llegar al diseño final. Aunque en el apartado anterior (diseño previo con croquis) quedan bastante definidas las ideas, al ver el diseño más desarrollado en SolidWorks, se van realizando ciertos cambios con el fin de mejorar el resultado.

Antes de explicar el porqué del diseño de cada pieza es importante tener en cuenta que en el diseño de la máquina no solo se tiene en cuenta la funcionalidad, también el proceso de montaje y desmontaje es fundamental. Uno puede pensar que en el diseño de esta máquina sobran muchas de las piezas, y si solo se piensa en el movimiento y en la funcionalidad cuando la máquina opere en sus tareas, sería cierto. Pero el montaje complica el diseño, pues hay piezas que deben ser divididas en dos partes diferentes por el simple hecho de que dentro de ellas va acoplada otra pieza diferente. Y para acoplarla correctamente hay que diseñarla en diferentes partes. Ahora, con el ejemplo concreto de las piezas se entiende mejor el concepto.

Se va a obviar en esta explicación la presencia de la tornillería y los elementos de unión. Se hace referencia al lugar donde se colocan, pero no se explican. Para ver de manera más clara su presencia, se recomienda ver los vídeos de funcionamiento y de desmontaje que se añaden en la entrega y que se proyectarán en la presentación del proyecto.

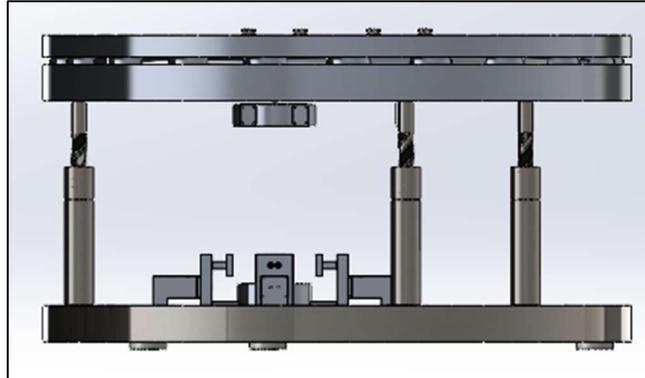


Figura 34. Ensamblaje completo de la máquina

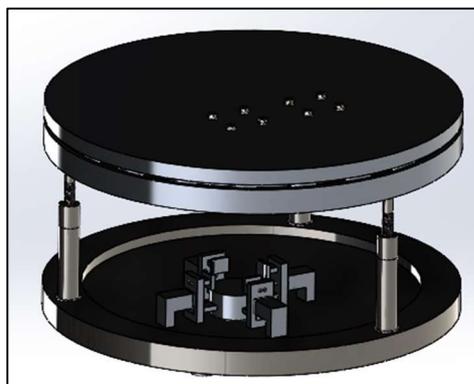


Figura 35. Ensamblaje completo de la máquina

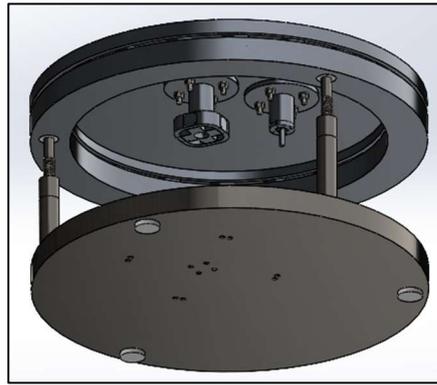


Figura 36. Ensamblaje completo de la máquina

8.1. Subconjunto estructura principal

Este subconjunto conformará la estructura sobre la que se cimienta la máquina y que aloja a los otros subconjuntos más específicos. Respecto a las columnas, en las imágenes del ensamblaje completo de la máquina se pueden diferenciar de manera clara dos partes de la máquina. La parte baja, relacionada con la sujeción del bote, y la parte alta, relacionada con las labores de enroscado/desenroscado y llenado del bote. Entre medio se encuentran las columnas soporte que además de dotar de una estructura firme a la máquina, también va a permitir a la máquina adaptarse a diferentes tamaños de recipiente gracias a la rosca que une la columna soporte superior y el elemento de unión de la columna soporte superior e inferior.

En la parte alta de la máquina se tienen dos partes bien diferenciadas y separadas entre sí por un “rodamiento”. Lo cual quiere decir que habrá movimiento relativo entre ellas, es más, una tendrá permitido el movimiento y la otra no.

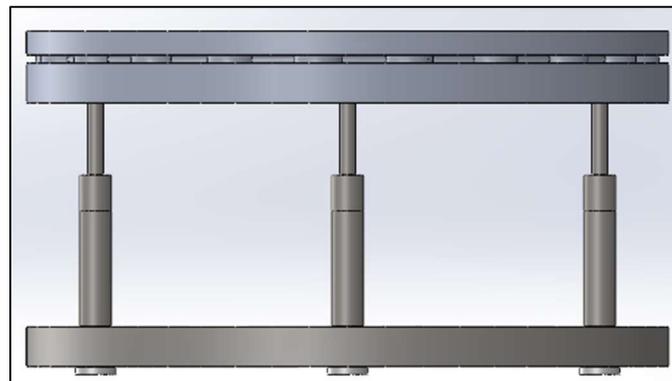


Figura 37. Subconjunto estructura principal

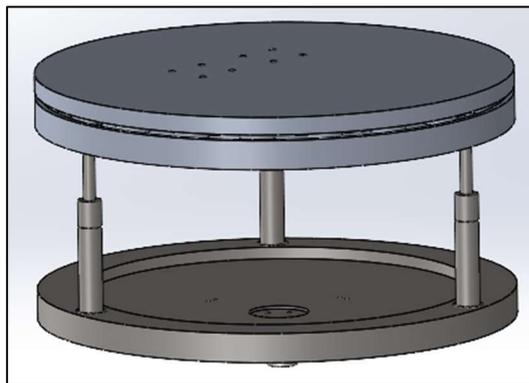


Figura 38. Subconjunto estructura principal

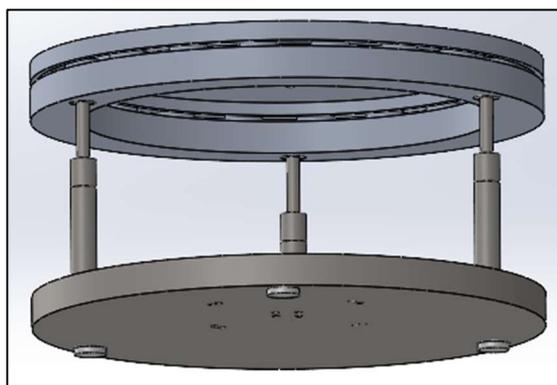


Figura 39. Subconjunto estructura principal

8.1.1. Base inferior

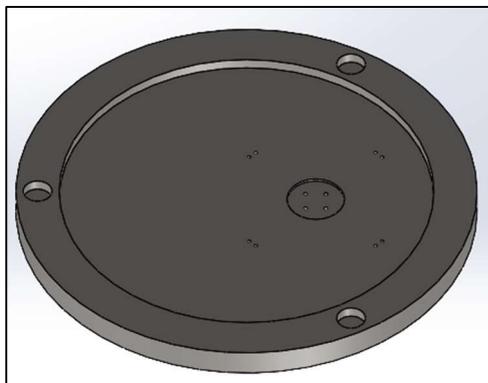


Figura 40. Base inferior

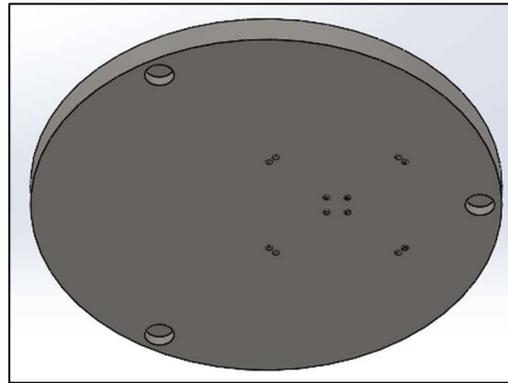


Figura 41. Base inferior

Esta pieza va a conformar la base de toda la máquina. Se puede apreciar una vista de la cara superior en la primera imagen. Cuenta con 3 alojamientos en el exterior para que apoyen las columnas, o mejor dicho las juntas que hacen de intermediarias entre la base y las columnas. También cuenta con 4 parejas de agujeros pasantes que son atravesados por los pernos que unen las piezas del sistema de sujeción del bote con la base. Además, se tienen otros 4 agujeros pasantes que son atravesados por los pernos que unen la pieza donde se apoya el bote con la base inferior. Por último, en la vista de la cara inferior de la segunda imagen se pueden ver otros tres agujeros no pasantes cuya función es alojar los soportes de la máquina con el objetivo de eliminar las vibraciones generadas por las partes móviles de la máquina.

8.1.2. Columna soporte inferior

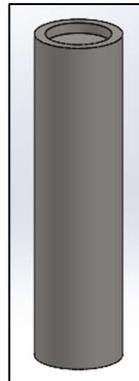


Figura 42. Columna soporte inferior

Geoméricamente es un cilindro con una pequeña cavidad en la parte superior para poder acoplar la pieza de unión con la parte superior. La manera de unir las no es más que fabricarlas con unas tolerancias que proporcionen un ligero apriete. Esta pieza, que en su parte inferior conecta con la base inferior, se acopla a una junta que será fabricada en un material que sea capaz de absorber vibraciones con el fin de minimizarlas al máximo, al igual que la base inferior, que como se ha explicado previamente, también es soportada mediante unas piezas de goma/caucho de estas características.

8.1.3. Columna soporte unión

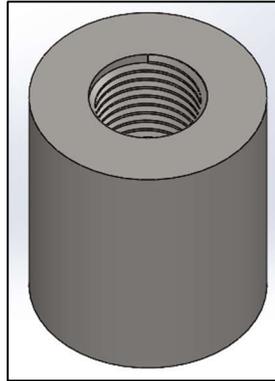


Figura 43. Columna soporte unión

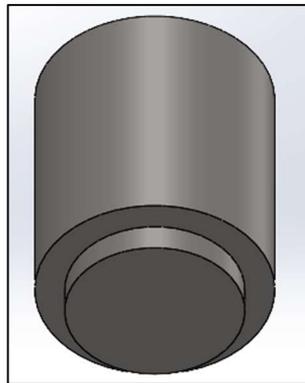


Figura 44. Columna soporte unión

Como ya se ha mencionado, esta pieza conecta la parte inferior de la columna con la superior. Y si la columna se ha decidido construir en dos partes diferentes es porque el diseño permite regular la altura total de la columna y por lo tanto de la máquina con el fin de amoldarse a los diferentes tamaños de botes posibles. Como se puede observar, la parte roscada de la pieza permitirá a la columna superior subir o bajar, sin más complicación. La parte inferior es la que se introduce en la columna inferior con una tolerancia de apriete.

8.1.4. Columna soporte superior

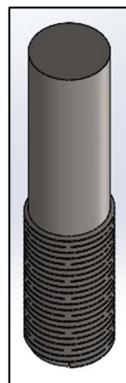


Figura 45. Columna soporte superior

Y, por último, en cuanto al subensamblaje de las columnas soporte, se tiene la parte superior de la columna, son la parte roscada en la parte inferior de la pieza, y la parte superior lisa que se acoplará a la base superior estática a través de una junta anti-vibraciones.

8.1.5. Base superior estática



Figura 46. Base superior estática

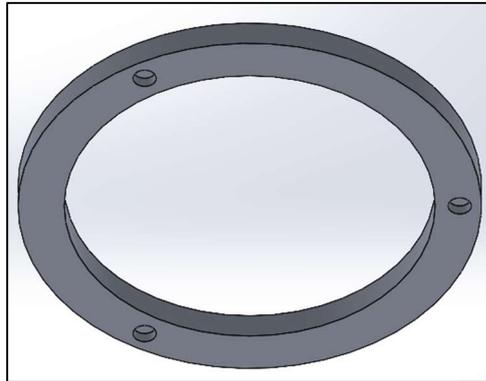


Figura 47. Base superior estática

Esta pieza va a ir unida a las columnas soporte por las cavidades circulares de la parte inferior de la pieza. Como en los casos anteriores, a través de unas juntas anti-vibraciones. En la parte superior de la pieza se ven dos bordes que delimitan un espacio interior entre ellos. En este espacio se alojará la jaula del rodamiento, con sus respectivas bolas en los huecos.

8.1.6. Jaula de rodamiento

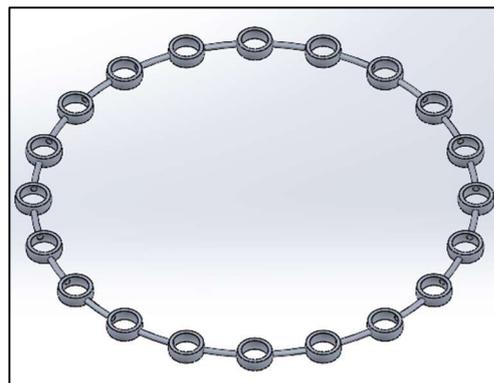


Figura 48. Jaula de rodamiento

Esta pieza no necesita apenas explicación. Como ya se ha explicado, se alojará entre la base superior estática y la base superior móvil y por medio del principio de rodadura permitirá el movimiento relativo entre ambas piezas sin que estas sufran apenas desgaste por fricción.

Cuenta con 20 cavidades para 20 bolas. La razón de escoger un número elevado de bolas es que se quiere repartir bien el peso sobre toda la base inferior para que no se generen

desigualdades en las diferentes zonas, pues a mayor número de bolas, mayor número de apoyos y con ello un reparto más equitativo de las fuerzas. Aproximadamente la mitad del perímetro del aro de la jaula está ocupado por cavidades para las bolas, encontrando así un equilibrio razonable entre coste y reparto de fuerzas.

8.1.7. Bola de rodamiento

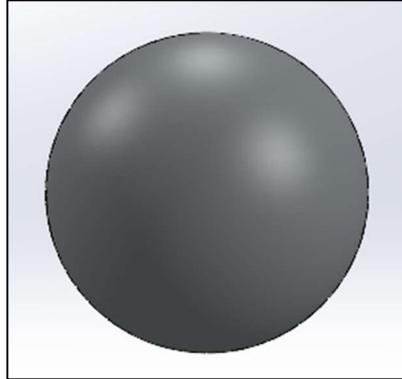


Figura 49. Bola de rodamiento

Simplemente es una esfera de rodamiento.

8.1.8. Base superior móvil

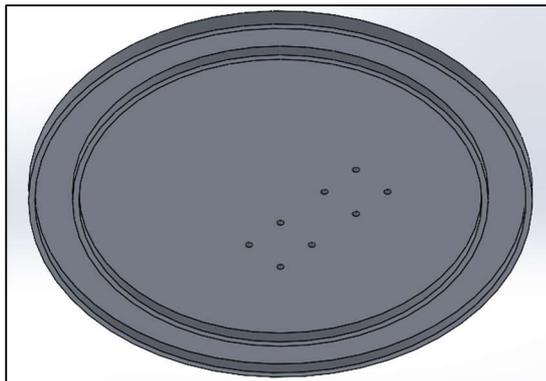


Figura 50. Base superior móvil

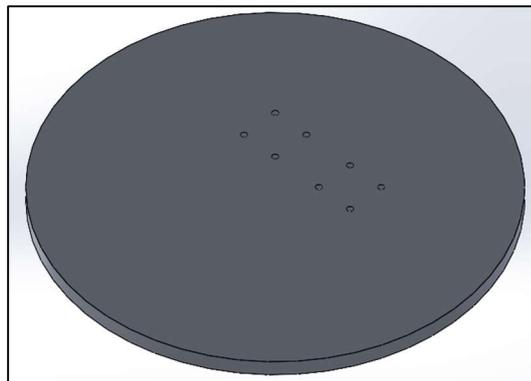


Figura 51. Base superior móvil

Es el turno de explicar una pieza bastante relevante de la máquina. Esta pieza va a ser la encargada de albergar los mecanismos de enroscado/desenroscado y de dosificado del producto. Hay dos grupos de 4 agujeros pasantes en su superficie, un grupo por cada mecanismo. Pero la realidad es que hasta un punto muy avanzado del proyecto se iban a tener

3 subsistemas diferentes: Uno para el desenroscado del tapón; Otro para el dosificado del producto; Y el último para el enroscado del tapón. La máquina, por consiguiente, estaba destinada a ser una máquina semiautomática, iba a necesitar un operario que recogiese el tapón una vez se hubiese desenroscado y lo volviese a colocar entre el proceso de dosificado y enroscado, pues no nos olvidemos de que el problema base por el cual se inicia el proyecto es que los trabajadores del hospital terminaban con heridas en las manos al repetir numerosas veces el proceso de apertura y cerrado de los botes. El aspecto que tenía la máquina en ese momento era la siguiente.

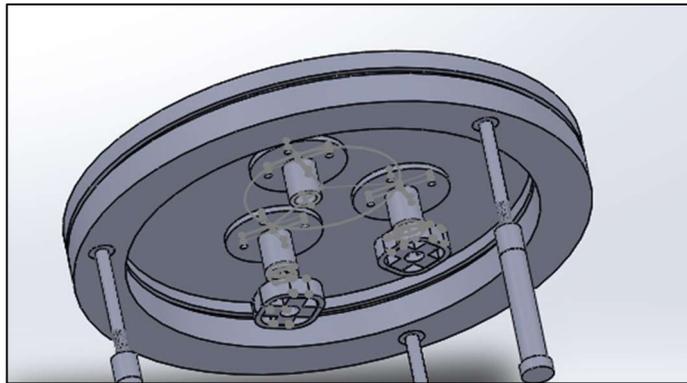


Figura 52. Diseño inicial base superior móvil

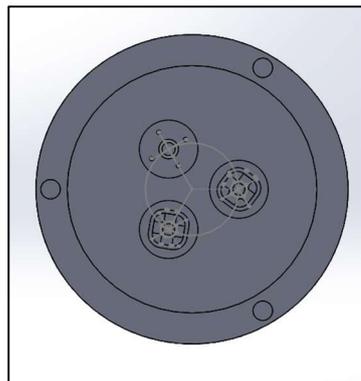


Figura 53. Diseño inicial base superior móvil

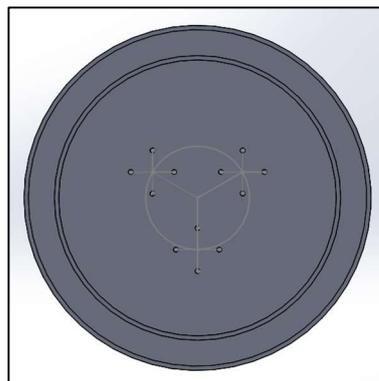


Figura 54. Diseño inicial base superior móvil

La razón de este diseño es que en un principio el sistema de enroscado/desenroscado iba a funcionar por medio de ruedas de fricción, tal y como funcionan algunas máquinas expuestas en el capítulo 5.1. (modelos comerciales). Y por lo tanto ese sistema no era capaz de

sostener el tapón, solamente de enroscarlo o desenroscarlo, por eso era necesario un operario retirando y colocando los tapones. Una vez se cambia el sistema que trata los tapones, mientras se intercambian ideas entre los diseñadores del proyecto, aparecerá la idea de que, si el subsistema es capaz no solo de enroscar/desenroscar el tapón, sino además de sostenerlo o moverlo consigo, solamente se necesitaría un subsistema con una capacidad del motor de girar en ambos sentidos para desempeñar ambas tareas, de igual principio de funcionamiento pero en sentido contrario.

Este cambio ofrece múltiples ventajas:

- La máquina pasa de ser semiautomática a ser automática.
- Se reduce en un tercio el número de piezas en esta zona de la máquina.
- La parte superior móvil no rota 360° por cada bote con el que trabaja (3 ciclos de 180°). Hace dos recorridos de 90°, desenroscado a dosificado y de dosificado a enroscado. Este concepto se ve claramente en el vídeo de funcionamiento.
- Al no dar vueltas completas, el sistema para que los cables no se enreden se simplifica en gran medida.

Para terminar de explicar esta pieza, los salientes que tiene en la parte inferior son simétricos y a los de la base superior estática y también tienen la función de albergar la jaula del rodamiento.

8.2. Subconjunto de sujeción del recipiente

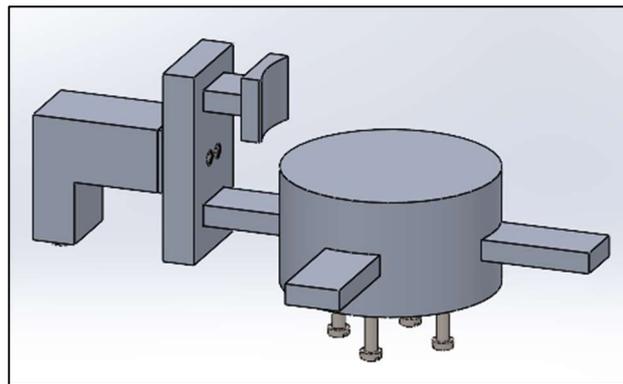


Figura 55. Subconjunto de sujeción del recipiente

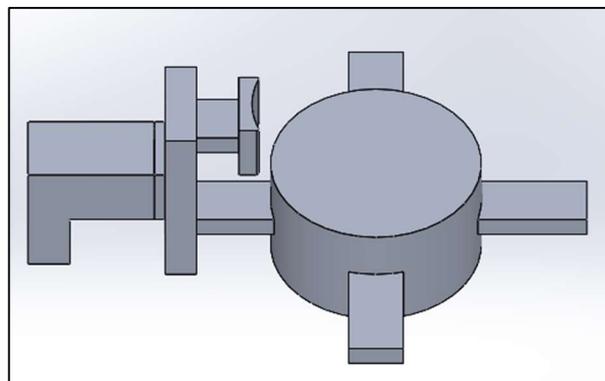


Figura 56. Subconjunto de sujeción del recipiente

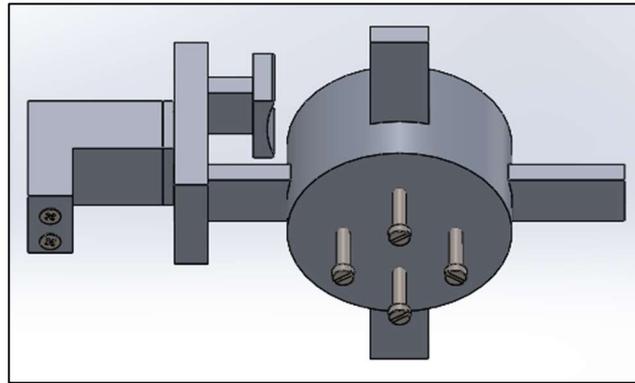


Figura 57. Subconjunto de sujeción del recipiente

Se puede apreciar la composición del conjunto de piezas que trabajando entre sí se encargan de proporcionar una buena sujeción del bote. A cada saliente del soporte del recipiente le corresponde un juego completo de mecanismo hidráulico y agarrador de recipiente, aunque en las imágenes, con objeto de que se aprecien mejor los detalles solamente se ha ensamblado uno de los cuatro. La sujeción se dará en 4 puntos diferentes y simétricos entre sí, y consiguiendo que el bote se encuentre en un estado de equilibrio estable durante el proceso. Los 4 pernos que se ven en la última imagen corresponden a los pernos de unión con la base inferior. A continuación, se detalla de manera el diseño de cada pieza.

8.2.1. Soporte de recipiente

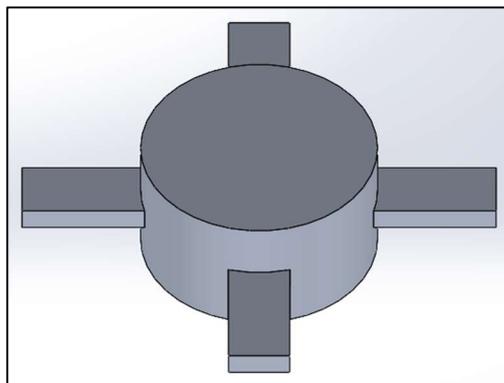


Figura 58. Soporte de recipiente

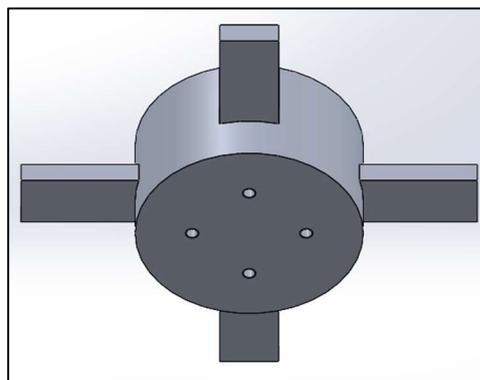


Figura 59. Soporte de recipiente

En estas imágenes se puede ver la pieza donde se apoyará en bote que manipulará la máquina. Cuenta con una amplia base circular y 4 salientes a 90º de separación entre sí. La función de estos salientes es corregir la trayectoria del agarrador de recipiente. Además, en la parte inferior de la pieza se encuentran los 4 agujeros roscados donde los pernos actuarán y conseguirán unirlo a la base inferior.

8.2.2. Mecanismo impulsor de agarrador

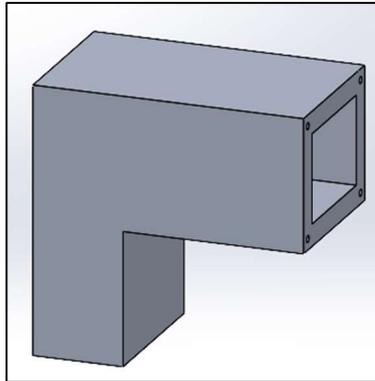


Figura 60. Mecanismo impulsor de agarrador

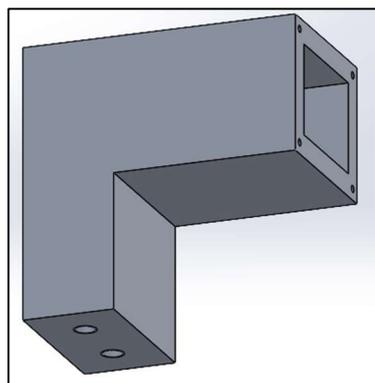


Figura 61. Mecanismo impulsor de agarrador

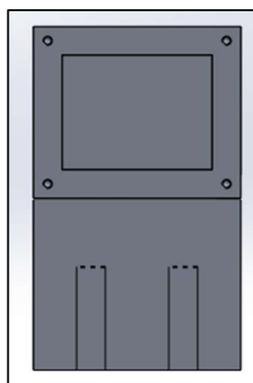


Figura 62. Mecanismo impulsor de agarrador

Para poder conseguir una buena sujeción del recipiente, es necesario un mecanismo que ejerza fuerza sobre él desde varios puntos para estabilizarlo. Dicha se fuerza se conseguirá a través de un sistema hidráulico, y es en el espacio hueco de esta pieza donde se inyectará el líquido a presión. El brazo impulsor del agarrador que se muestra a continuación se moverá por dicho hueco.

8.2.3. Brazo impulsor de agarrador

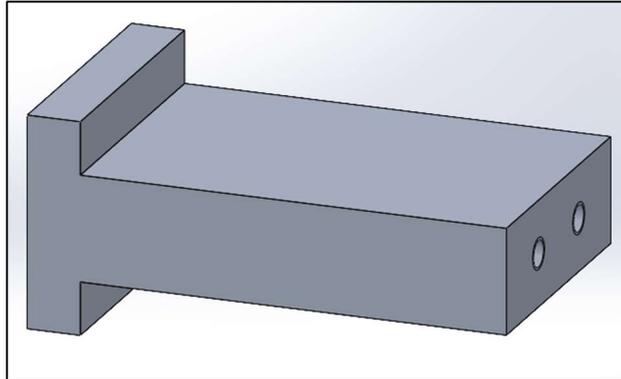


Figura 63. Brazo impulsor de agarrador

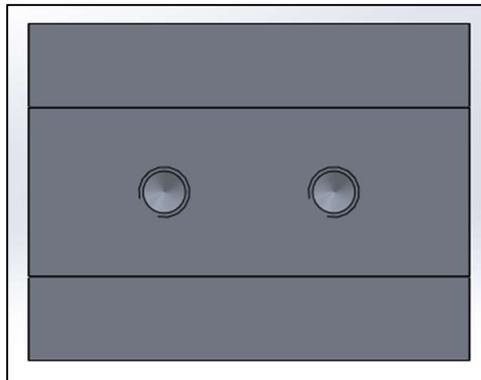


Figura 64. Brazo impulsor de agarrador

Como se ha adelantado antes, este brazo impulsor recibirá la fuerza de presión del líquido hidráulico en la cara de mayor sección, haciendo que este avance o retroceda según el sistema de inyección de líquido.

Contiene dos agujeros roscados que permite la unión con el agarrador de recipiente.

8.2.4. Tapa de mecanismo impulsor de agarrador

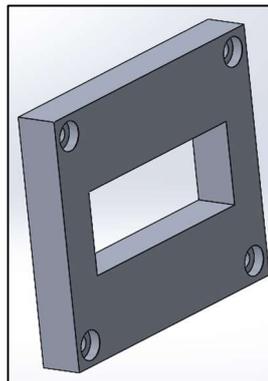


Figura 65. Tapa de mecanismo impulsor de agarrador

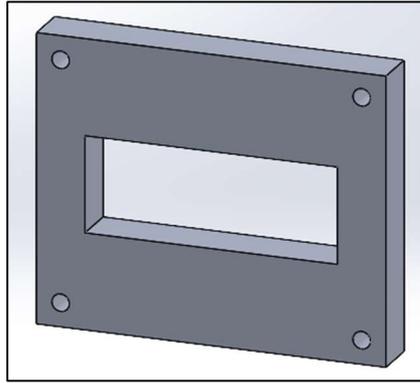


Figura 66. Tapa de mecanismo impulsor de agarrador

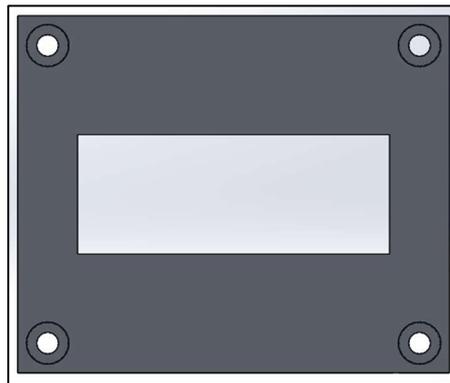


Figura 67. Tapa de mecanismo impulsor de agarrador

Esta pieza no requiere demasiada explicación. El sistema hidráulico necesita ser totalmente estanco para que el líquido no pueda salir y el sistema de presión funcione correctamente. Esto se consigue con unas finas tolerancias en la fabricación de las últimas dos piezas. Pues es esta tapa la que completará el sistema hidráulico, con sus dos respectivos agujeros pasantes para acomodar los pernos al mecanismo impulsor de agarrador.

8.2.5. Agarrador de recipiente

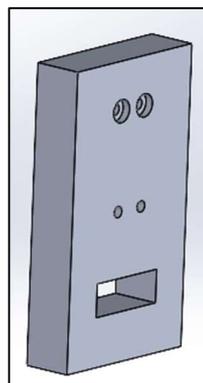


Figura 68. Agarrador de recipiente

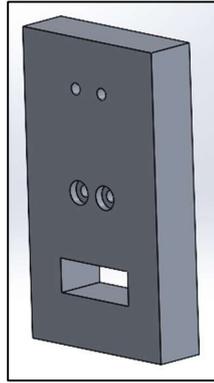


Figura 69. Agarrador de recipiente

Esta pieza va a tener dos funciones muy importantes en el proceso de sujeción del bote. La primera de ellas es que va a ser la pieza intermedia entre el mecanismo hidráulico y la pieza que finalmente entra en contacto con el recipiente para agarrarlo. Por ello se pueden ver dos parejas de agujeros pasantes, cada una de las parejas alberga los pernos de unión con una de las partes. La pareja de media altura se une al brazo impulsor del agarrador, por eso está exactamente a media altura de la pieza, colocándose a la altura del centro de gravedad de la pieza para que no se generen momentos de fuerza en el empuje y no rote la pieza, solo haya traslación. La pareja de agujeros de más altura se unirán a los de la pieza de contacto con recipiente, que se explica a continuación.

La segunda función se consigue a través del hueco que tiene en la parte baja. Dicho hueco, al insertarse en los salientes del soporte del recipiente, hará que la pieza se mueva de manera lineal siguiendo exactamente la trayectoria que debe seguir para que el agarre del bote sea simétrico y equilibrado.

8.2.6. Pieza de contacto con recipiente

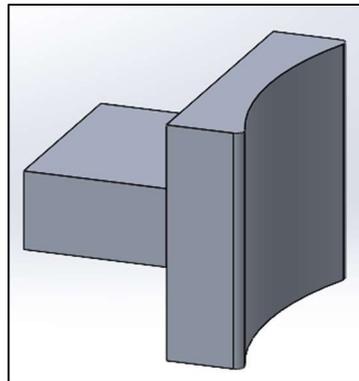


Figura 70. Pieza de contacto con recipiente

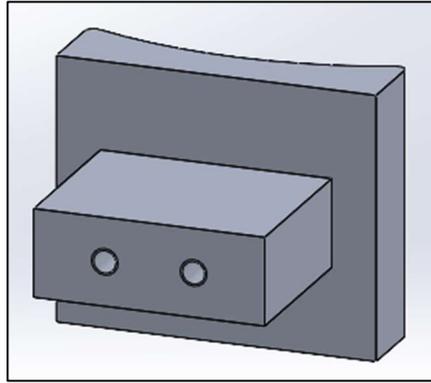


Figura 71. 8.2.6. Pieza de contacto con recipiente

La última de las piezas de este primer subensamblaje encargado de sujetar el bote es precisamente la que entrará en contacto con el recipiente. Como se puede observar tiene dos agujeros roscados que permiten la unión con el agarrador de recipiente. La parte que contacta con el bote tiene una curvatura de 45 mm de radio, lo cual equivale a un bote mediano-pequeño. Pero la idea de diseño es que tengo un acabado en un material flexible, como la goma o el caucho, que permite la adaptación a la forma propia del bote al aplicar la fuerza de sujeción entre ellos y que además proporcione un buen coeficiente de fricción. Aunque la selección del material es un apartado que se estudia más adelante.

8.3. Subconjunto enroscador/desenroscador del tapón

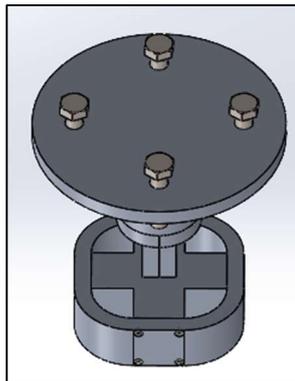


Figura 72. Subconjunto enroscador/desenroscador del tapón

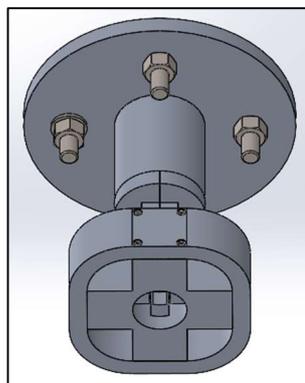


Figura 73. Subconjunto enroscador/desenroscador del tapón

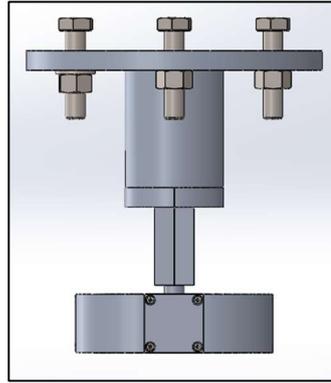


Figura 74. Subconjunto enroscador/desenroscador del tapón

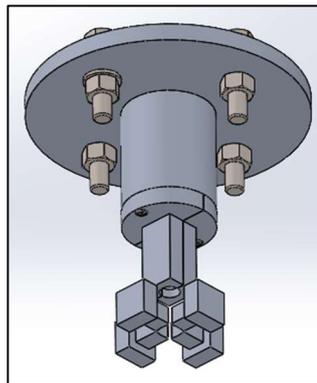


Figura 75. Subconjunto enroscador/desenroscador del tapón

Este subensamblaje va a ser el encargado de trabajar con el tapón. Cuenta con algunas piezas que le permiten regular la altura para que una vez el tapón haya sido agarrado y desenroscado, este sea retirado sin interferir con el bote, y viceversa. Otras piezas, incluido un sistema hidráulico se encarga del sujetar bien el tapón para que el proceso no muestre problemas. Y también, para el proceso de enroscado y desenroscado, se necesitará un motor eléctrico que proporcione el giro de las piezas. Más adelante se explica pieza por pieza el diseño escogido.

El proceso de funcionamiento de este subensamblaje es el siguiente. El sistema parte de una posición de partida por encima del bote. El primer paso es descender y colocar las piezas que entran en contacto con el tapón a la misma altura de este. A continuación, se activa el sistema hidráulico y las piezas presionan el tapón. Después el motor eléctrico comienza a girar y desenrosca completamente el tapón. Una vez terminado el desenroscado, las piezas vuelven a ascender hasta la posición de partida, la base superior rota 90° para que se de el proceso de dosificado. Inmediatamente después, se vuelve a retornar los 90° y las piezas que aún sujetan el tapón vuelven a descender hasta el extremo superior del recipiente, colocan el tapón y giran en sentido de enroscado para completar el proceso y poder volver a la posición de partida.

8.3.1. Adaptador de subsistema

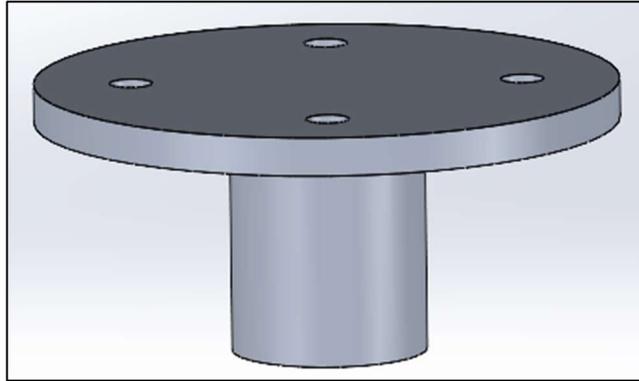


Figura 76. Adaptador de subsistema

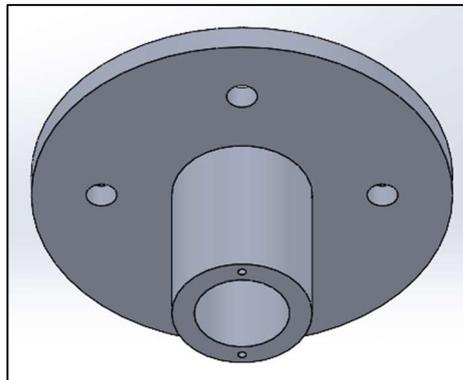


Figura 77. Adaptador de subsistema

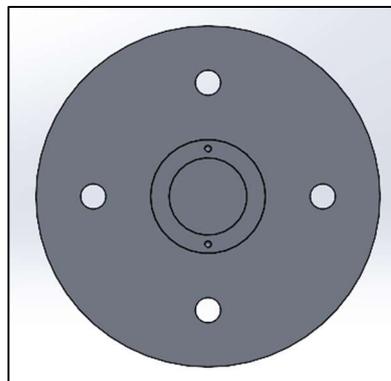


Figura 78. Adaptador de subsistema

Este adaptador del subsistema recibe dicho nombre debido a que una de sus dos funciones principales es unir el sistema de enroscado y desenroscado y el sistema de dosificado a la base superior móvil. Esto se da a través de 4 pernos en los agujeros pasantes que contiene en la periferia de la superficie circular de mayor tamaño.

La segunda de las funciones que tiene esta pieza es proporcionar la cavidad estanca necesaria para conformar un sistema hidráulico que permita a las piezas unidas a esta poder ascender y descender de acuerdo con la demanda de las condiciones de funcionamiento.

Los dos agujeros roscados del extremo inferior permiten colocar la tapa del sistema hidráulico una vez el émbolo ha sido introducido.

8.3.2. Regulador altura de subsistema

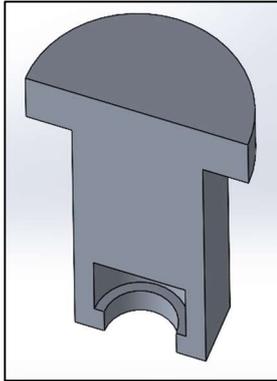


Figura 79. Regulador altura de subsistema

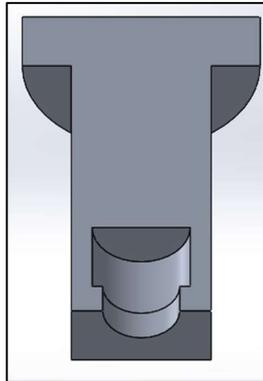


Figura 80. Regulador altura de subsistema

Lo primero que destaca de esta pieza es que “está partida por la mitad”. Este regulador de altura ha sido diseñado para trabajar junto a una pieza exactamente igual unidas entre si por la parte plana. Su finalidad es recibir en la cara circular la presión del líquido del sistema hidráulico y albergar al motor eléctrico que proporcionará la rotación necesaria para el enroscado y el desenroscado en el hueco cilíndrico de la parte inferior.

8.3.3. Adaptador de subsistema tapa

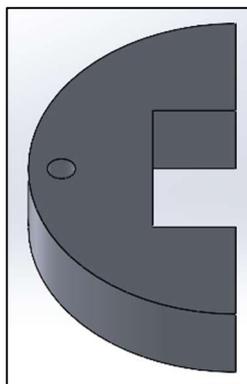


Figura 81. Adaptador de subsistema tapa

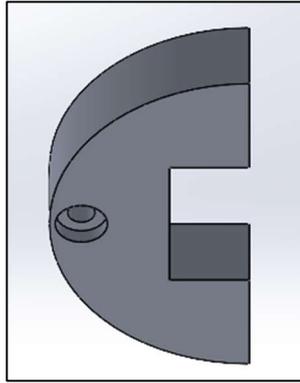


Figura 82. Adaptador de subsistema tapa

Una vez hayan sido introducidas y colocadas correctamente las dos semipartes del regulador de altura del subsistema, se coloca la tapa, que también está dividida en dos partes. La manera de colocarlas es a través de dos pequeños tornillos uniéndola a la parte principal del adaptador del subsistema.

8.3.4. Desenroscador interior

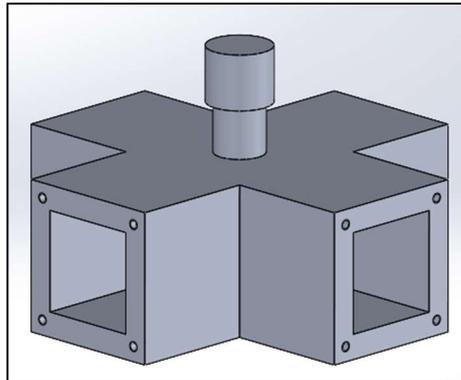


Figura 83. Desenroscador interior

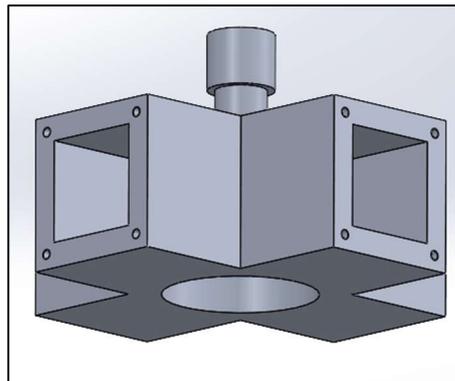


Figura 84. Desenroscador interior

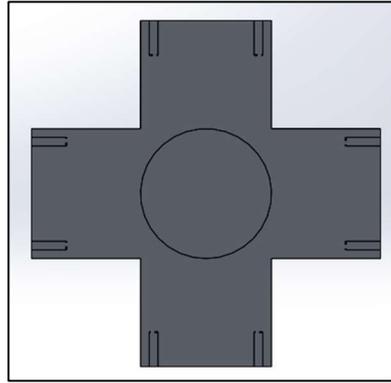


Figura 85. Desenroscador interior

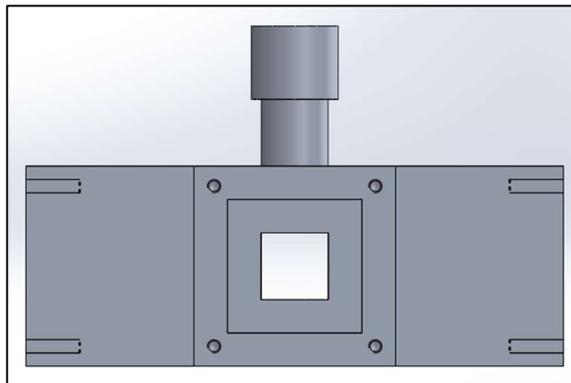


Figura 86. Desenroscador interior

Es el turno de tratar la pieza que va a proporcionar, junto a la pieza exterior que la complementa, la cavidad necesaria para poder impulsar a las piezas de contacto con el tapón por medio del sistema hidráulico.

La parte cilíndrica superior representa el motor eléctrico que habrá que equipar en un proceso posterior del diseño. Pues es esta pieza la que proporciona el giro del enroscado y el desenroscado. En las cavidades de los extremos de la pieza se introducirán los agarradores del tapón y posteriormente se cerrará con la pieza exterior. Cuando la pieza descienda en altura gracias al regulador de altura de este subconjunto, el hueco inferior de la pieza se quedará rodeando el tapón y será ahí donde se dé el desenrochado/enroscado.

8.3.5. Agarrador del tapón

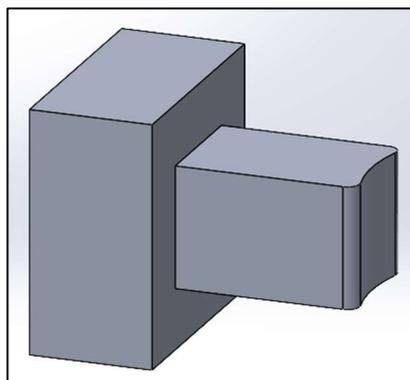


Figura 87. Agarrador del tapón

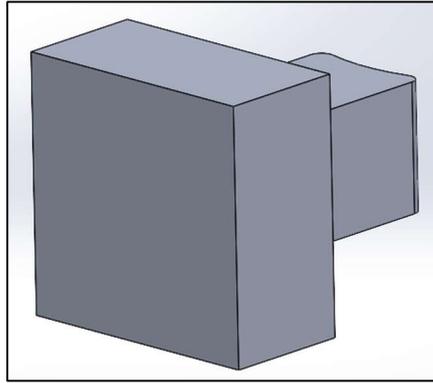


Figura 88. Agarrador del tapón

Será la parte curvada de la pieza la que entre en contacto con el tapón y ejerza la fuerza suficiente para que no haya deslizamiento entre ambos. Al igual que a la pieza de contacto con el recipiente, a este agarrador del tapón se le pegará una lámina de goma/caucho para conseguir por un lado la elasticidad necesaria para que se adapte bien a la forma del tapón y por otro lado para que la fricción sea mayor.

La cara cuadrada de la pieza recibirá la presión del sistema hidráulico y así se deslizará a gusto de las condiciones de funcionamiento entre las cavidades del desenroscador interior.

8.3.6. Desenroscador exterior

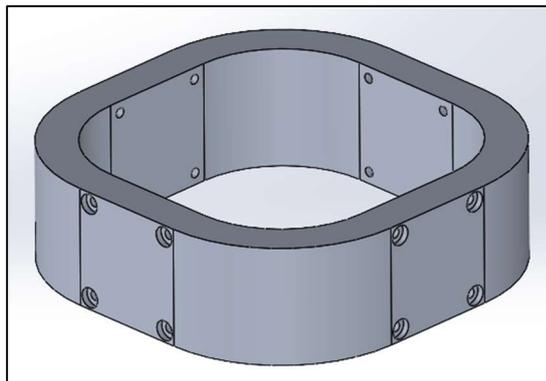


Figura 89. Desenroscador exterior

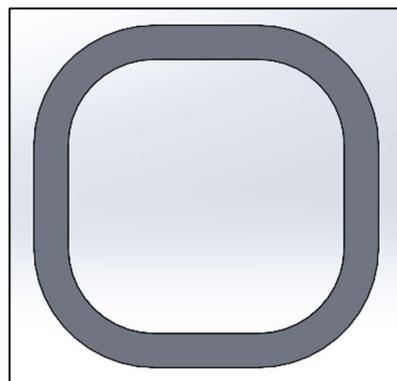


Figura 90. Desenroscador exterior

Por último, el último elemento que se explica de este subconjunto es este desenroscador exterior. Encargado de sellar el sistema hidráulico acoplándose a la parte interior

a través de 16 tornillos, 4 tornillos por cara, en las caras planas de la pieza. Será en la parte interior de estas superficies donde reciba la presión del sistema hidráulico.

8.4. Subconjunto dispensador de producto

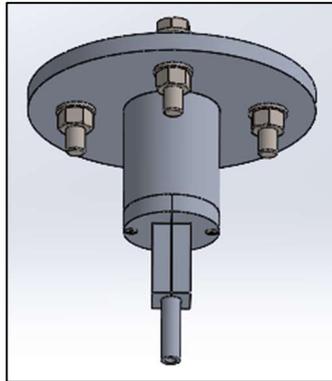


Figura 91. Subconjunto dispensador de producto

Una vez terminada la explicación del anterior subconjunto, sería el turno de introducir un nuevo subsistema, el de dosificado del producto. Pero la realidad es que no se va a explicar el subconjunto al completo puesto que es exactamente igual que el anterior respecto al adaptador del subsistema y al regulador de altura del subsistema. Junto al regulador de altura, se ensamblará este tubo de llenado.

Su función es evidente, a través de la bomba ya seleccionada en el capítulo 6 (Estudio de la reología del producto a tratar) dosificar el líquido y llenar el recipiente.

8.4.1. Tubo de llenado

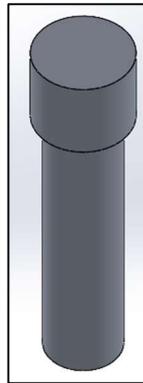


Figura 92. Tubo de llenado

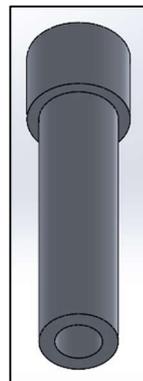


Figura 93. Tubo de llenado

8.5. Juntas antivibraciones

Antes de dar por concluido este capítulo, se van a adjuntar las imágenes de las juntas antivibraciones que hay en la máquina. Las hay de 3 tipos, la del soporte de la base inferior, la de la columna soporte inferior y la de la columna soporte superior. Son diseños muy sencillos, no requieren explicación.

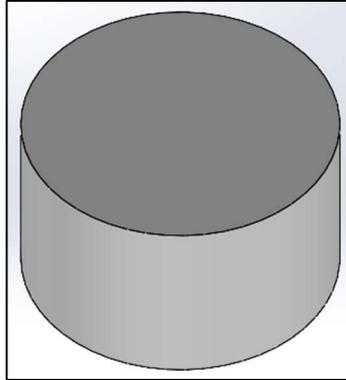


Figura 94. Soporte base inferior

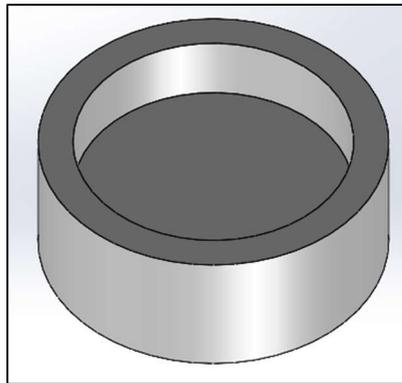


Figura 95. Junta columna soporte inferior

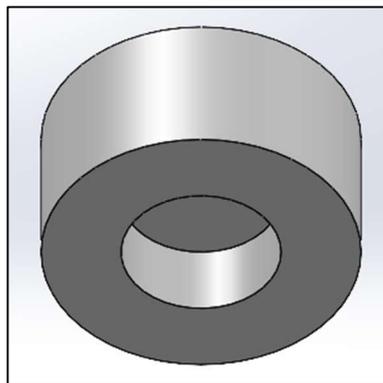


Figura 96. Junta columna soporte superior

9. Selección del material

En el ámbito del diseño y la ingeniería, el desarrollo de máquinas eficientes y seguras juega un papel fundamental en el progreso tecnológico y la innovación industrial. En este contexto, el presente capítulo aborda un aspecto crucial del proceso de diseño: la selección de material para lograr un óptimo desempeño estructural y funcional en una máquina específica.

El objetivo principal de este capítulo es analizar y evaluar las diferentes opciones de material disponibles, considerando las propiedades físicas y mecánicas requeridas para el diseño de la máquina. La selección de material adecuado no solo garantizará la integridad estructural de la máquina, sino que también influirá en su rendimiento, durabilidad y eficiencia operativa.

En este capítulo, se examinarán los factores clave que deben tenerse en cuenta al elegir el material para el diseño de la máquina, tales como la resistencia mecánica, la resistencia a la corrosión, la conductividad térmica y eléctrica, la densidad y la tenacidad. Además, se analizarán las propiedades de los diferentes materiales disponibles, como metales, polímeros, cerámicas y compuestos, y se evaluará su idoneidad para la aplicación específica a la máquina en cuestión.

Asimismo, se abordarán los métodos y criterios utilizados para la selección de material, incluyendo el análisis de los requerimientos funcionales y estructurales, así como la consideración de los costos, la disponibilidad y la complejidad del tratamiento de estos. La importancia de la compatibilidad entre los materiales seleccionados y los procesos de fabricación también será discutida, con el fin de garantizar una producción eficiente y una calidad óptima en el producto final.

En resumen, este capítulo proporcionará una base sólida para comprender y llevar a cabo la selección de material adecuada en el diseño estructural y funcional de la máquina. Al considerar los aspectos técnicos, económicos y de rendimiento, se podrán tomar decisiones firmes sustentadas en una base científica y lógica que optimicen la eficiencia y confianza de la máquina, contribuyendo así al éxito del proyecto en su conjunto.

Se podrían enumerar los parámetros o las características que definen los materiales y que se deben tener en cuenta para tomar la decisión de la siguiente manera:

- Resistencia mecánica:
 - Dureza: La capacidad del material para resistir la penetración o abrasión.
 - Elasticidad: La capacidad del material para deformarse bajo carga y recuperar su forma original al retirar la carga.
 - Plasticidad: La capacidad del material para deformarse permanentemente sin fracturarse.
 - Rigidez: La resistencia de un material a la deformación elástica bajo carga.
 - Maleabilidad: La capacidad del material para ser deformado y comprimido sin romperse.
 - Ductilidad: La capacidad del material para deformarse plásticamente sin llegar a romperse.
 - Tenacidad: La capacidad del material para resistir la propagación de grietas o fracturas.

- Resistencia a la fatiga: La capacidad del material para resistir la repetición de una misma carga, generalmente de baja intensidad, de manera cíclica a lo largo del tiempo. Ya sea una carga de tipo fluctuante o alternante.
- Resistencia a la corrosión: La capacidad del material para resistir el deterioro y la oxidación causados por agentes químicos o condiciones ambientales adversas.
- Conductividad térmica y eléctrica: La capacidad del material para transferir calor o electricidad de manera eficiente.
- Densidad: La relación entre la masa y el volumen de un material, que afecta el peso y la movilidad de la máquina.
- Facilidad para tratarlos: La facilidad con la que el material se puede trabajar, cortar, moldear y unir durante el proceso de fabricación. A partir de este momento se le denominará trabajabilidad. No es un término demasiado académico, pero facilitará la explicación.
- Costo: El costo del material, que debe ser considerado en relación con su rendimiento y disponibilidad.

A partir de estas características se elaboran dos tablas diferentes, para que más tarde sean relacionadas entre sí con el objetivo de tomar la decisión final. Ambas relacionan dichas características con otro parámetro. La primera, proporciona información sobre las prestaciones que ofrecen los materiales, califica los diferentes materiales disponibles en la industria para la fabricación de piezas de maquinaria según cumplan con la cualidad de la característica. La segunda, define las exigencias de la máquina y del diseñador, valora la demanda de cada pieza concreta en función de la característica en cuestión.

En la primera tabla las calificaciones estarán comprendidas entre el 1, nota mínima posible, y el 10, nota máxima posible, mientras que en la segunda solamente se asignará el valor de 0 (no demanda para nada esa característica), 1 y 2 (la pieza exige al máxima esa característica).

Es importante tener en cuenta que dentro de las características que valoramos, la gran mayoría son intrínsecas (aquellas que dependen de la naturaleza y comportamiento del material) pero hay una en concreto que es aplicada, el coste del material. En la primera tabla que informa sobre las prestaciones de los diferentes materiales, el coste será fruto del precio que impone el mercado, en lo que respecta al diseñador actuará como una característica intrínseca más. En la segunda tabla, la que respecta a las exigencias del diseño, sí que se debe tratar como una característica aplicada. Y como a todas las piezas se les va a exigir el mínimo coste posible, puesto que es una exigencia de la máquina en su conjunto, no se va a valorar.

Tabla 1. Características de los materiales

	Acero	Acero inoxidable	Hierro fundido	Aluminio	Cobre	Titanio	Plásticos (polietileno o polipropileno)	Gomas	Materiales compuestos (fibras de carbono o de vidrio)	Aleaciones de níquel	Bronce	Latón
Dureza	8	8	7	6	5	9	4	2	7	7	6	5
Elasticidad	7	7	6	9	9	6	8	9	7	7	6	7
Plasticidad	6	6	7	7	6	7	9	9	6	7	7	7
Rigidez	9	9	8	7	6	9	3	2	7	7	6	5
Maleabilidad	7	7	6	8	6	5	9	9	7	7	7	7
Ductilidad	7	7	5	7	5	6	9	9	7	7	7	7
Tenacidad	8	8	6	7	7	8	6	6	7	7	7	6
Resistencia a la fatiga	9	9	7	6	5	9	5	4	7	7	6	5
Resistencia a la corrosión	3	8	5	6	8	9	7	7	7	8	7	7
Conductividad térmica y eléctrica	6	5	7	7	8	4	3	2	7	6	6	6
Densidad	2	2	3	5	1	6	8	8	4	3	2	2
Trabajabilidad	8	7	7	9	8	7	9	8	7	7	7	8
Costo	3	4	3	4	2	0	6	6	3	4	4	4

La densidad ha recibido mayor puntuación cuanto menor es la densidad. La puntuación y la densidad son inversamente proporcionales dado que lo que se va a buscar en algunas piezas será la ligereza, en ninguna será la pesadez. Sí es cierto que algunas piezas, como la base inferior, van a requerir robustez, pero por el momento sólo se valorará la ligereza.

La valoración del coste, al igual que la densidad, recibe un valor inversamente proporcional al coste de mercado, puesto que lo que se busca no son costes elevados de material a implementar sino lo contrario.

Ahora se adjunta la segunda tabla, la que define las demandas de las piezas.

Tabla 2. Demandas de las piezas

	Dureza	Elasticidad	Plasticidad	Rigidez	Maleabilidad	Ductilidad	Tenacidad	Resistencia a la fatiga	Resistencia a la corrosión	Conductividad térmica y eléctrica	Densidad	Trabajabilidad	Costo
Base inferior	2	1	1	2	0	1	1	1	2	1	0	2	1
Soporte de recipiente	1	1	1	2	0	1	1	1	2	1	0	2	1
Agarrador de recipiente	1	1	1	2	0	1	1	1	2	1	0	2	1
Brazo impulsor de agarrador	2	2	1	2	0	1	1	1	2	1	0	2	1
Tapa de mecanismo impulsor de agarrador	1	1	1	2	0	1	1	1	2	1	0	2	1
Mecanismo impulsor de agarrador	2	2	1	2	0	1	1	1	2	1	0	2	1
Pieza de contacto con recipiente	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	1
Columna soporte inferior	2	1	1	2	0	1	1	1	2	1	0	2	1
Columna soporte superior	2	1	1	2	0	1	1	1	2	1	0	2	1
Columna soporte unión	2	1	1	2	0	1	1	1	2	1	0	2	1
Base superior estática	1	1	1	2	0	1	1	1	2	1	2	2	1

Jaula de rodamiento	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	2	1
Esfera de rodamiento	1	1	1	2	0	1	1	1	2	1	2	1	1
Bola de rodamiento	1	1	1	2	0	1	1	1	2	1	2	2	1
Adaptador del subsistema	1	1	1	2	0	1	1	1	2	1	1	2	1
Regulador altura de subsistema	1	1	1	2	0	1	1	1	2	1	2	2	1
Desenrocador interior	2	2	1	2	0	1	1	1	2	1	1	2	1
Adaptador del subsistema tapa	1	1	1	2	0	1	1	1	2	1	1	2	1
Agarrador de tapón	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	1
Desenroscador exterior	2	2	1	2	0	1	1	1	2	1	1	2	1

Se dan algunas explicaciones sobre por qué se han asignado estas valoraciones en la tabla relacionada con las demandas de las piezas.

La base inferior y las piezas que componen las columnas soporte reciben las mismas valoraciones. Esto se debe a su función es similar, dar estabilidad a la estructura, se les requiere cierta resistencia a los esfuerzos, que sean rígidas.

La mayoría de las piezas reciben una valoración de 1 en los campos de elasticidad, plasticidad, tenacidad y ductilidad. Esto se debe a que lo que se les demanda es que sean duras y rígidas, que no ceden respecto a las sollicitaciones. Pero en caso de ceder, cuanto más aguanten en alcanzar la rotura mejor, aunque probablemente con una ligera deformación algunas de ellas ya se convertirán en inútiles.

Respecto a la conductividad, seguramente no se genere calor y seguro que no habrá electricidad circulando, por ello se le asigna un valor de 1, por si fuese necesario disipar calor generado.

La “trabajabilidad” recibe un valor de 2 en todas las piezas puesto que son piezas con algunos detalles de pequeño tamaño y se necesitará que los materiales sean fáciles de tratar en detalle.

La resistencia a la corrosión que se le pide a la mayoría de las piezas es de 2. Básicamente porque la máquina tendrá que ser lavada con frecuencia ya que trabajará con productos que demandan altos niveles de higiene.

Las piezas que van a sufrir las fuerzas del sistema hidráulico sí van a recibir un 2 en elasticidad puesto que sí que van a ser más propensas a la deformación.

Como se puede apreciar, en la valoración de las piezas que están en la parte superior de la máquina se le da importancia a la ligereza puesto que las columnas soporte no deben sufrir en exceso, y para ello, cuanto menos peso tengan que soportar mejor.

Las valoraciones de las piezas que van a estar en contacto con el bote y con el tapón han sido “trampeadas”. Ya que lo que se busca de estos materiales es que no sean duros, que sí sean flexibles y muestren una alta fricción. Y como es evidente, se ha escogido la goma para ellos.

El coste recibe una valoración de 1 en todas las piezas porque por un lado se quiere que todas tengan la misma valoración, ya que lo que se busca es un precio bajo de fabricación de la máquina en su conjunto y por otro lado no se le da una valoración porque no se quiere que tenga un peso especialmente alto en la decisión.

Una vez recogidos todos los datos de entrada, se multiplicará la demanda de la pieza por la oferta del material y el material que recibe la puntuación más alta será el más apto para la pieza del proyecto, con algunos matices que se comentan más adelante.

Tabla 3. Resultados numéricos de la valoración

	Acero	Acero inoxidable	Hierro fundido	Aluminio	Cobre	Titanio	Plásticos (polietileno o polipropileno)	Gomas	Materiales compuestos (fibras de carbono o de vidrio)	Aleaciones de níquel	Bronce	Latón
Base inferior	102	110	95	103	96	108	92	83	100	103	95	92
Soporte de recipiente	94	102	88	97	91	99	88	81	93	96	89	87
Agarrador de recipiente	94	102	88	97	91	99	88	81	93	96	89	87
Brazo impulsor de agarrador	109	117	101	112	105	114	100	92	107	110	101	99
Tapa de mecanismo impulsor de agarrador	94	102	88	97	91	99	88	81	93	96	89	87
Mecanismo impulsor de agarrador	109	117	101	112	105	114	100	92	107	110	101	99
Pieza de contacto con recipiente	47	46	39	54	46	38	58	58	45	46	44	48
Columna soporte inferior	102	110	95	103	96	108	92	83	100	103	95	92
Columna soporte superior	102	110	95	103	96	108	92	83	100	103	95	92

Columna soporte unión	102	110	95	103	96	108	92	83	100	103	95	92
Base superior estática	98	106	94	107	93	111	104	97	101	102	93	91
Jaula de rodamiento	81	84	74	86	78	77	83	79	79	81	77	77
Esfera de rodamiento	90	99	87	98	85	104	95	89	94	95	86	83
Bola de rodamiento	98	106	94	107	93	111	104	97	101	102	93	91
Adaptador del subsistema	98	106	94	107	93	111	104	97	101	102	93	91
Regulador altura de subsistema	98	106	94	107	93	111	104	97	101	102	93	91
Desenrocador interior	113	121	107	122	107	126	116	108	115	116	105	103
Adaptador del subsistema tapa	98	106	94	107	93	111	104	97	101	102	93	91
Agarrador de tapón	47	46	39	54	46	38	58	58	45	46	44	48
Desenroscador exterior	113	121	107	122	107	126	116	108	115	116	105	103

Tabla 4. Resumen de resultados

	1ª VALORACIÓN		2ª VALORACIÓN	
	PUNTUACIÓN	MATERIAL	PUNTUACIÓN	MATERIAL
Base inferior	110	Acero inoxidable		
Soporte de recipiente	102	Acero inoxidable		
Agarrador de recipiente	102	Acero inoxidable		
Brazo impulsor de agarrador	117	Acero inoxidable		
Tapa de mecanismo impulsor de agarrador	102	Acero inoxidable		
Mecanismo impulsor de agarrador	117	Acero inoxidable		
Pieza de contacto con recipiente	58	Plásticos y gomas	58	Gomas
Columna soporte inferior	110	Acero inoxidable		
Columna soporte superior	110	Acero inoxidable		
Columna soporte unión	110	Acero inoxidable		
Base superior estática	111	Titanio	107	Aluminio
Jaula de rodamiento	86	Aluminio		
Esfera de rodamiento	104	Titanio	99	Acero inoxidable
Bola de rodamiento	111	Titanio	107	Aluminio
Adaptador del subsistema	111	Titanio	107	Aluminio
Regulador altura de subsistema	111	Titanio	107	Aluminio
Desenrocador interior	126	Titanio	122	Aluminio
Adaptador del subsistema tapa	111	Titanio	107	Aluminio
Agarrador de tapón	58	Gomas y plásticos	58	Gomas
Desenrocador exterior	126	Titanio	122	Aluminio

Como se puede apreciar en la tabla, un resultado común ha sido que el titanio es el material más apropiado para ciertas piezas de la máquina, a pesar de que se ha tenido en cuenta el alto coste del material en la decisión. Pues la realidad es que no se van a realizar los ensayos con titanio porque se espera que otros materiales también puedan cumplir con los requisitos.

En los materiales donde el resultado es igualado en puntos de valoración, se ha elegido el más ligero. Concretamente el aluminio frente al acero inoxidable. Y en una segunda decisión, se han elegido las gomas frente a los materiales plásticos para las piezas de contacto debido a que se va a necesitar fricción al ser piezas de contacto con tapón y bote, y las gomas ejercerán mejor esta labor.

Por lo tanto, los materiales que se van a emplear son: Acero inoxidable, aluminio y gomas. Ahora, más concretamente, las elecciones son las siguientes:

El acero inoxidable AISI 304 es versátil y se utiliza en una variedad de componentes de maquinaria de envasado. Su composición química típica incluye aproximadamente un 18% de cromo y un 8% de níquel, lo que le confiere una resistencia a la corrosión en ambientes oxidantes. Además de su resistencia a la corrosión, el AISI 304 también tiene una buena resistencia mecánica, facilidad de limpieza y capacidad para soportar temperaturas moderadas. Estas características lo convierten en un acero inoxidable ampliamente utilizado en la industria de envasado y en otras aplicaciones relacionadas con alimentos, bebidas, productos farmacéuticos y cosméticos.

En cuanto al aluminio, el de la serie 3000 puede ser muy apropiado para las piezas de la máquina, ya que incluye aleaciones como el aluminio 3003 y 3105, que son resistentes a la corrosión y tienen buenas propiedades de conformabilidad. Se utilizan en aplicaciones que requieren resistencia a la corrosión, como componentes para carrocerías de vehículos, conductos de aire acondicionado y utensilios de cocina. La elección final es el aluminio 3003.

Por último, se ha de mencionar que las piezas en las que ha resultado la goma como mejor opción no van a estar fabricadas completamente en goma, serán fabricadas en acero inoxidable AISI 304, ya que requieren rigidez porque van a soportar esfuerzos, y se les colocará una lámina de goma de pequeño espesor en la superficie que entre en contacto con el bote o tapón, aportándole así buena capacidad de fricción y agarre. La goma que se le implementará será el caucho vulcanizado, el mismo elastómero que se equipa en la mayoría de las ruedas de los vehículos.

Sobre las bolas de los rodamientos, atendiendo al “por qué” de su uso, se recuerda que son elementos rodantes que permiten la transmisión de cargas y reducen la fricción en los rodamientos. Están diseñadas para girar suavemente entre los anillos interiores y exteriores del rodamiento. Y para la elección del material en el que se fabrique, en este caso ya está todo inventado, las bolas de acero suelen estar hechas de acero al cromo, acero al carbono o acero inoxidable, dependiendo de la aplicación y los requisitos específicos. El acero al cromo es uno de los más comunes debido a su combinación de dureza y resistencia al desgaste.

A pesar de que este capítulo debía haber terminado, el presente párrafo se redacta tras haber realizado los ensayos con elementos finitos y haber analizado los resultados. El caso es que la mayor parte de las piezas, por no decir todas, cumplen con creces con las demandas de manera exagerada. Es por eso por lo que una gran parte de las piezas que iban a ser fabricadas en acero inoxidable se ha decidido que se fabriquen en aluminio. La razón es que la ventaja del acero sobre el aluminio es la resistencia a los esfuerzos, pero el aluminio también lo resiste, por lo que cumple con las demandas. Y a su vez el aluminio es más ligero y barato, por lo que es un *win-win* escoger el aluminio.

Las únicas piezas que sí se van a mantener asociadas al acero son la base inferior, la columna soporte inferior, la columna soporte superior, y la unión de ambas partes de la columna soporte. Al ser la parte fundamental de la estructura de la máquina es más interesante que sean piezas fuertes y robustas, aunque la realidad es que probablemente aguantarían las demandas incluso si se fabricasen en aluminio. También las bolas de rodamiento, pero como ya se ha explicado, es debido a que responden muy bien a sus condiciones de trabajo bajo este material.

Tabla 5. Asignación final de materiales

PIEZA	MATERIAL APLICADO
Base inferior	AISI 304
Soporte de recipiente	Aluminio 3003
Agarrador de recipiente	Aluminio 3003
Brazo impulsor de agarrador	Aluminio 3003
Tapa de mecanismo impulsor de agarrador	Aluminio 3003
Mecanismo impulsor de agarrador	Aluminio 3003
Pieza de contacto con recipiente	Aluminio 3003
Columna soporte inferior	AISI 304
Columna soporte superior	AISI 304
Columna soporte unión	AISI 304
Base superior estática	Aluminio 3003
Jaula de rodamiento	Aluminio 3003
Esfera de rodamiento	Acero al cromo
Bola de rodamiento	Aluminio 3003
Adaptador del subsistema	Aluminio 3003
Regulador altura de subsistema	Aluminio 3003
Desenrocador interior	Aluminio 3003
Adaptador del subsistema tapa	Aluminio 3003
Agarrador de tapón	Aluminio 3003
Desenroscador exterior	Aluminio 3003

10. Condiciones de funcionamiento

Los requisitos de funcionamiento de la máquina en este momento del diseño van a estar condicionados por 2 factores:

- El peso de la máquina y cómo al apoyarse unas piezas sobre otras son capaces de resistir esa carga desde un punto de vista estático y estructural. En este caso no habrá más que calcular el peso del conjunto de las piezas y ensayar con esa fuerza en los distintos apoyos.
- Las fuerzas que se van a aplicar sobre ciertas piezas que participan en la fijación del bote y del tapón. En este caso sí que se va a requerir algunos cálculos para valorar las fuerzas que actúan, que serán función de la fuerza de cierre del bote.

10.1. Relativas al peso de las piezas

Tal y como ha sido diseñada la máquina hay un grupo de piezas que van a sufrir especialmente el efecto que ejerce el peso. Son piezas que tienen un papel fundamental en el apartado estructural. Si atendemos al diseño, se puede observar que toda la parte superior de la máquina se apoya sobre las 3 columnas, y estas a su vez se apoyan sobre una reducida superficie de la base inferior. Son precisamente estas piezas las que van a ser estudiadas en ensayos de fuerza. Las 3 partes de la columna soporte (superior, unión e inferior) y la base inferior de la máquina. Se plantea que la distribución de las fuerzas es equitativa entre las 3 columnas.

Las juntas y los apoyos de goma no se van a estudiar, ya que se puede dar por hecho que aguantarán los esfuerzos.



Figura 97. Diseño de la máquina

Es necesario conocer los pesos de las piezas que componen la máquina y por ello se recogen en la siguiente tabla. Se adjuntan algunos datos más que pueden ser de interés, como el volumen de cada pieza y el número de piezas, aunque lo realmente importante es el peso acumulado.

Tabla 6. Parámetros físicos de las piezas

Pieza	Volumen (mm ³)	Masa unidad (g)	Nº de unidades	Peso conjunto (g)	Peso conjunto (kg)
Base superior estática	6258052.57	16896.74	1	16896.74	
Jaula de rodamiento	491468.84	1326.97	1	1326.97	
Bola de rodamiento	65449.85	510.51	20	10210.2	

Base superior móvil	5923724.28	15994.06	1	15994.06	
Adaptador del subsistema	245147.80	661.90	2	1323.8	
Adaptador del subsistema tapa	7678.47	20.73	4	82.92	
Regulador altura de subsistema	13378.39	36.12	4	144.48	
Desenroscador interior	67037.59	181.00	1	181	
Desenroscador exterior	91438.00	246.88	1	246.88	
Agarrador de tapón	5434.40	14.67	4	58.68	
Tubo de llenado	3470.67	9.37	1	9.37	
ISO 7046-1 M2 x 20 - Z	67.37	0.53	16	8.46	
ISO 1207 - M3 x 25 - 25N	217.7	1.71	4	6.84	
ISO 4016 - M10 x 45 x 45 - WN	5025.95	39.45	8	315.63	
ISO 10673 - 11 - S	438.25	3.44	16	55.04	
ISO 4034 - M10 - N	1546.51	12.14	8	97.12	
TOTAL			92	46958.19	46.96
Columna soporte superior	62559.51	500.48	3	1501.44	1.50
Columna soporte unión	46188.43	369.51	3	1108.53	1.11
Columna soporte inferior	254076.31	2032.61	3	6097.83	6.10
TOTAL			101	55665.99	55.67
Junta columna soporte superior	21991.15	21.11	3	63.33	
Junta columna soporte inferior	26703.54	25.64	3	76.92	
Base inferior	1198528.03	145672.45	1	145672.45	
Soporte de recipiente	483186.44	1304.60	1	1304.6	
Mecanismo impulsor de agarrador	64881.71	175.18	4	700.72	
Tapa de mecanismo impulsor de agarrador	4012.29	10.83	4	43.32	
Brazo impulsor de agarrador	12869.91	34.75	4	139	
Agarrador de recipiente	62772.94	169.49	4	677.96	
Pieza de contacto con recipiente	13110.91	35.40	4	141.6	
Soporte base inferior	58904.86	56.55	3	169.65	
ISO 7046-1 M3 x 25 - Z	187.93	1.48	16	23.60	
ISO 7046-1 M1'6 x 16 - Z	34.46	0.27	16	4.33	
ISO 7046-1 M5 x 50 - Z	1036.76	8.14	8	65.11	
ISO 1207 - M6 x 40 - 40N	1392.47	10.93	4	43.72	
TOTAL			176	204792.31	204.79

	AISI 304	Aluminio 3003	Acero inoxidable al cromo	Caucho natural	Acero de tornillería
Densidad (kg/ m ³)	8000	2700	7800	960	7850

Se resaltan en amarillo los datos de las fuerzas que se van a utilizar para calcular las condiciones de ensayo. De esta manera se ven claramente los esfuerzos a los que van a estar sometidas las piezas:

- Columna soporte superior:

$$P = \frac{46,96 \text{ kg}}{3 \text{ columnas}} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 153,53 \text{ N}$$

- Columna soporte unión:

$$P = (15,65 \text{ kg} + 0,50 \text{ kg}) \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 158,43 \text{ N}$$

- Columna soporte inferior:

$$P = (16,15 \text{ kg} + 0,37 \text{ kg}) \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 162,06 \text{ N}$$

- Base inferior (punto de apoyo de la columna soporte inferior):

$$P = (16,52 \text{ kg} + 2,03 \text{ kg}) \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 181,98 \text{ N}$$

- Base inferior (punto de apoyo con el soporte de la base inferior):

$$P = \frac{204,79 \text{ kg}}{3 \text{ apoyos}} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 669,66 \text{ N}$$

Tal vez no sea necesario enfatizarlo, pero la razón por la que hay que realizar el ensayo con esta última fuerza, que en teoría recae sobre los soportes de la base inferior, es porque la base inferior recibe la misma fuerza en sentido contrario, debido al fenómeno de acción-reacción.

10.2. Relativas a la fuerza de cierre

Existen normativas y estándares que regulan la fuerza de cierre de los tapones de las botellas, especialmente en industrias como la alimentaria, farmacéutica y de bebidas. Estas normativas se implementan para garantizar la seguridad y la integridad del producto envasado, así como para cumplir con los requisitos de calidad y evitar posibles fugas o contaminaciones.

Algunas de las normativas y estándares más comunes relacionados con la fuerza de cierre de los tapones de botellas son:

- Norma ISO 8317: Especifica los requisitos para los sistemas de cierre a prueba de niños utilizados en envases de productos químicos y farmacéuticos. Esta norma define las características de apertura y cierre seguros de los envases y los requisitos de fuerza necesarios para garantizar su funcionalidad.
- Norma ISO 15378: Establece los requisitos específicos para los sistemas de gestión de calidad de envases primarios farmacéuticos. Esta norma incluye aspectos relacionados con el cierre adecuado de los envases, incluyendo los tapones, para garantizar la integridad y la protección de los productos farmacéuticos.
- Normas de la FDA (Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos): La FDA establece requisitos y regulaciones para los envases utilizados en la industria alimentaria y farmacéutica. Estos incluyen criterios de cierre y

sellado, así como pruebas de fuerza y hermeticidad de los tapones de las botellas.

Sin embargo, las normativas y estándares mencionados anteriormente no especifican una fuerza de cierre específica para los tapones de las botellas, ya que los requisitos pueden variar dependiendo del tipo de producto, el tamaño del envase y otros factores relacionados con la aplicación específica. Por ello, se va a tomar una referencia de una botella que exista en la industria ya que la fuerza de cierre y apertura no va a ser algo crítico en el producto final. No es algo que condicione los estándares de calidad del producto planteado. En términos generales, para abrir una botella de Coca-Cola con tapón roscado, se debe aplicar un momento de fuerza manual que varía aproximadamente entre 1 y 5 N·m. Se tomará esta referencia para iniciar los cálculos.

$$M_{Froz} = Froz \times r_{tapón}$$

$$M_{Froz,total} = 2,5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$Froz = \mu_{roz} \times F_N$$

Por lo tanto, relacionando el momento que produce la fuerza de rozamiento con la fuerza normal que hay que aplicar al tapón:

$$M_{Fr} = \mu_{roz} \times F_N \times r_{tapón}$$

También hay que tener en cuenta que la fuerza que recibe el tapón, a la que se está denominando fuerza normal, y el momento va a ser ejercida en 4 puntos de apoyos al mismo tiempo, por lo que en los cálculos se divide entre esas 4 piezas que trabajan al mismo tiempo.

$$M_{Froz} = \frac{2,5 \text{ N} \cdot \text{m}}{4 \text{ puntos de contacto}} = 0,625 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Por lo que queda:

$$F_N = M_{Fro} \times \frac{1}{\mu_{roz} \times r_{tapón}}$$

Pero el tapón no es el único que se ve afectado por esta fuerza en el proceso de enroscado y desenroscado, también el bote va a sufrir el mismo momento de fuerza (aunque en sentido contrario) para que se mantenga estable y se puede abrir y cerrar sin problemas. Así que se realiza el cálculo con los dos datos del radio, el del tapón ($r_{tapón} = 11'5 \text{ mm}$) y el del bote ($r_{bote} = 50 \text{ mm}$).

$$F_N(\text{tapón}) = 0,625 \text{ N} \cdot \text{m} \times \frac{1}{1 \times 0,0115 \text{ m}} = 54,35 \text{ N}$$

$$F_N(\text{bote}) = 0,625 \text{ N} \cdot \text{m} \times \frac{1}{1 \times 0,05 \text{ m}} = 12,5 \text{ N}$$

De este modo las piezas que estén en contacto con tapón y bote respectivamente recibirán estos esfuerzos de compresión normales a las superficies de contacto.

11. Modelización por elementos finitos

Una vez estudiadas las condiciones de funcionamiento con las que va a trabajar la máquina y seleccionados los diferentes materiales que conformarán las piezas, se pueden realizar los ensayos pertinentes. Se va a seguir trabajando con SolidWorks ya que ofrece un complemento para ensayar con elementos finitos de manera sencilla y eficaz.

Serán ensayos estáticos, que, aunque no simulen exactamente el modo de trabajar real sobre todo en los ensayos de fuerzas hidráulicas, los resultados se asemejan mucho. El programa pide 3 datos más además del material y la fuerza a la que está sometida la pieza, que son los puntos de sujeción, las zonas de presión directa y el tipo de mallado con el que se quiere simular. Es mucho más interesante una descripción visual que una escrita de cada pieza de los ensayos, por ello se adjuntan varias capturas de pantalla por cada pieza ensayada.

Y por último los resultados se dan de 3 maneras diferentes. Las cuales también se adjuntan en forma de gráficos de colores por zonas de intensidad. Los análisis de resultados se centrarán en las tensiones von Mises

- Tensiones von Mises.
- Desplazamientos.
- Deformaciones unitarias.

11.1. Ensayos donde actúan fuerzas hidráulicas

11.1.1. Pieza de contacto con tapón

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	6.9e+10	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.33	N/D
Módulo cortante	2.7e+10	N/m ²
Densidad de masa	2700	kg/m ³
Límite de tracción	110297000	N/m ²
Límite de compresión		N/m ²
Límite elástico	41361300	N/m ²
Coefficiente de expansión térmica	2.3e-05	/K

Figura 98. Datos de SolidWorks sobre el aluminio 3003

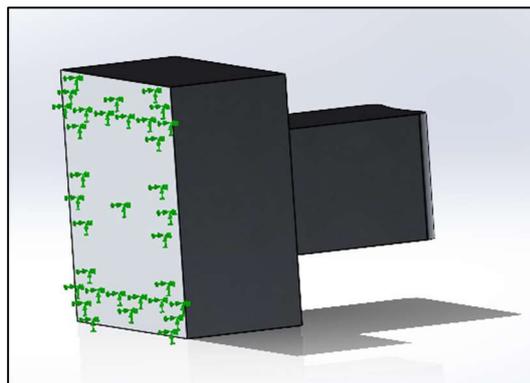


Figura 99. Ensayo de la pieza de contacto con tapón

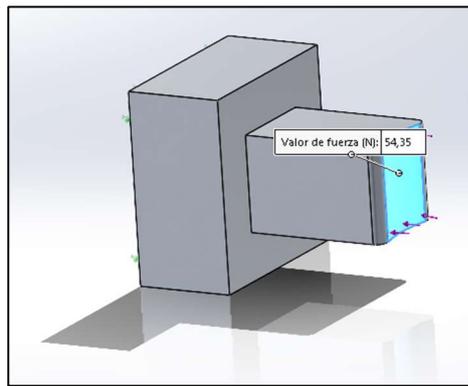


Figura 100. Ensayo de la pieza de contacto con tapón

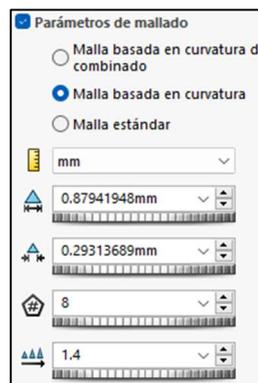


Figura 101. Parámetros de mallado

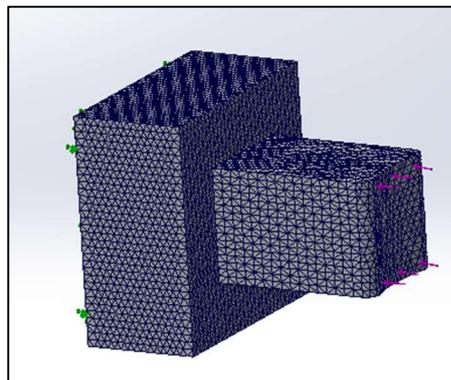


Figura 102. Mallado del ensayo de la pieza de contacto con tapón

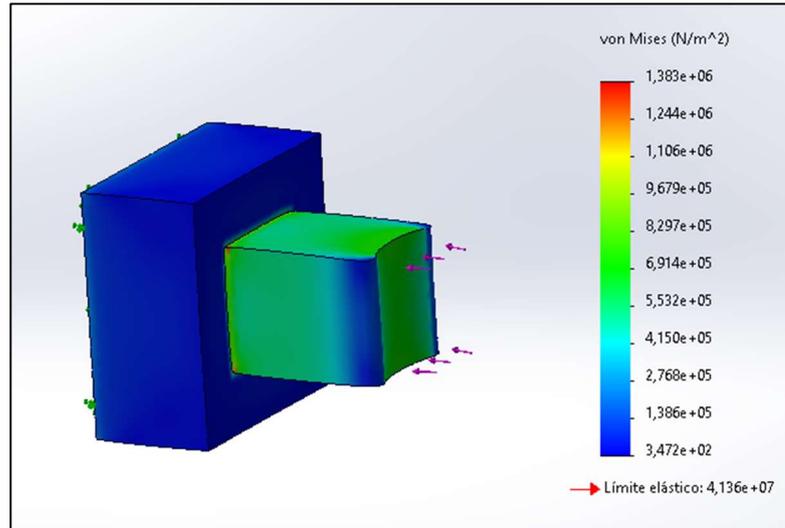


Figura 103. Tensión de von Mises de la pieza de contacto con tapón

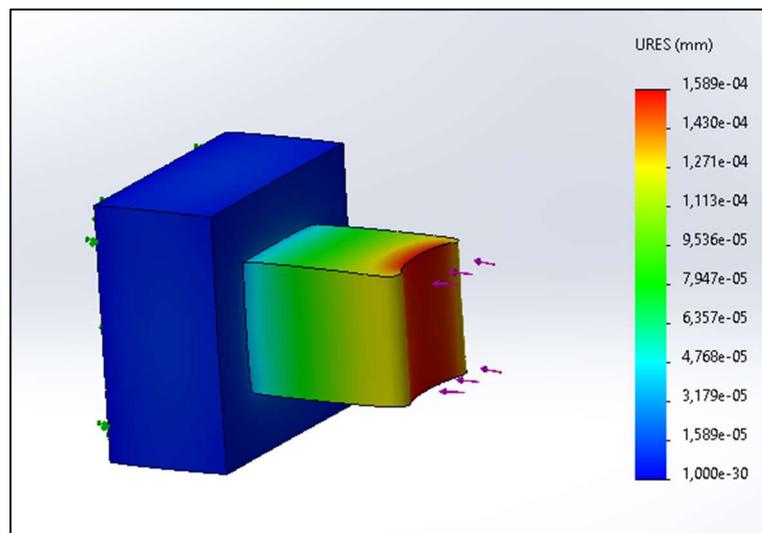


Figura 104. Desplazamientos de la pieza de contacto con tapón

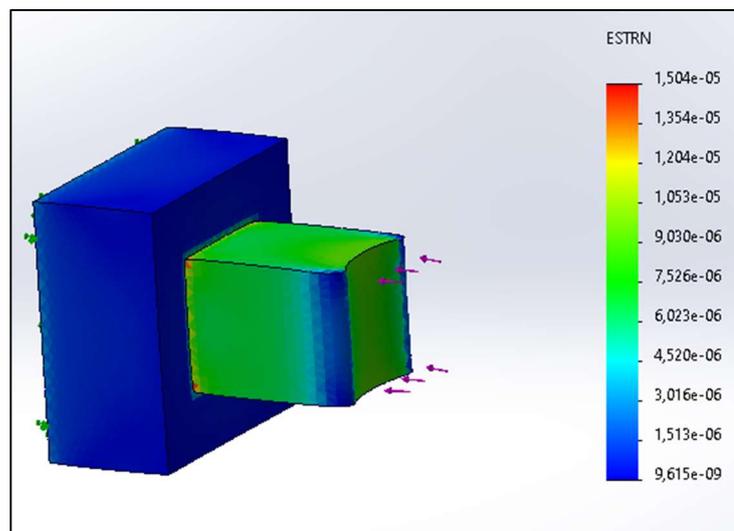


Figura 105. Deformaciones de la pieza de contacto con tapón

Las mayores tensiones no aparecen en este caso en el punto de aplicación directo del esfuerzo, sino en las zonas donde hay un cambio de sección ya que actúan como concentradores de tensión. De todas formas, la diferencia entre la tensión en estos puntos de mayor y el límite elástico es tan grande que se puede confirmar sin ningún tipo de duda que la pieza no fallará.

11.1.2. Desenroscador interior

Cuando se tratan fuerzas hidráulicas, la fuerza proviene de la presión que genera el líquido hidráulico. Así que, para traducir la fuerza de la anterior pieza a esta, sería necesario estudiar la presión dentro de la cavidad hidráulica a través de la fuerza y la superficie de la primera pieza y volver a multiplicar dicha presión por la superficie de la nueva pieza. En este caso no será necesaria porque ambas superficies son de igual magnitud.

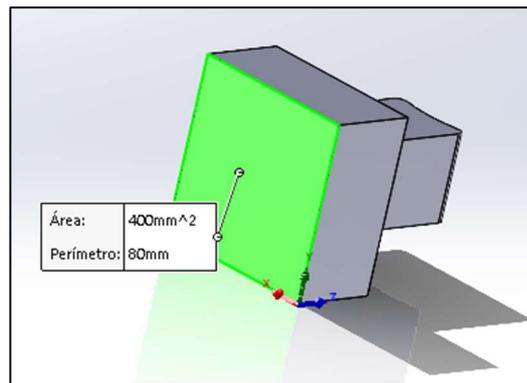


Figura 106. Ensayo del desenroscador interior

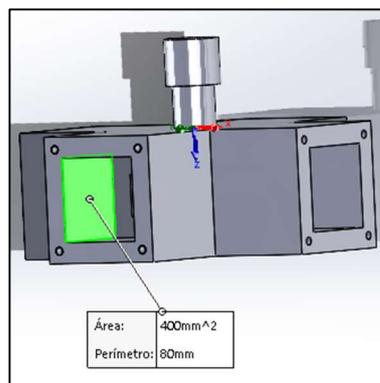


Figura 107. Ensayo del desenroscador interior

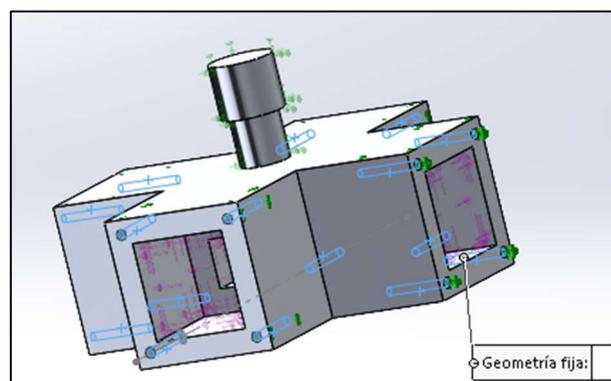


Figura 108. Ensayo del desenroscador interior

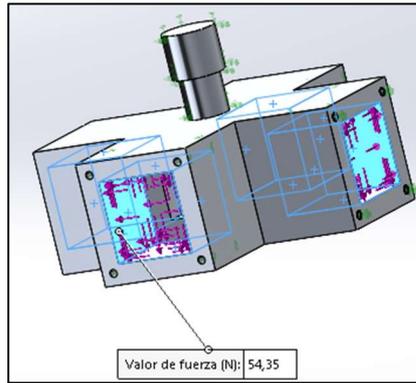


Figura 109. Ensayo del desenroscador interior

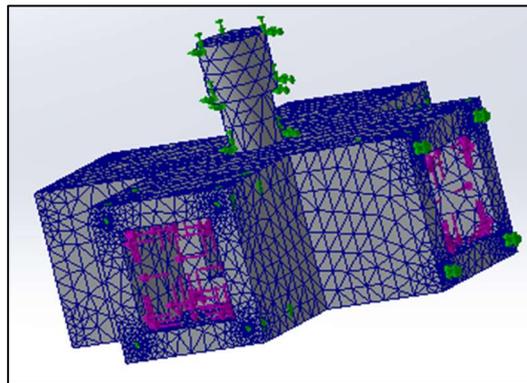


Figura 110. Mallado del desenroscador interior

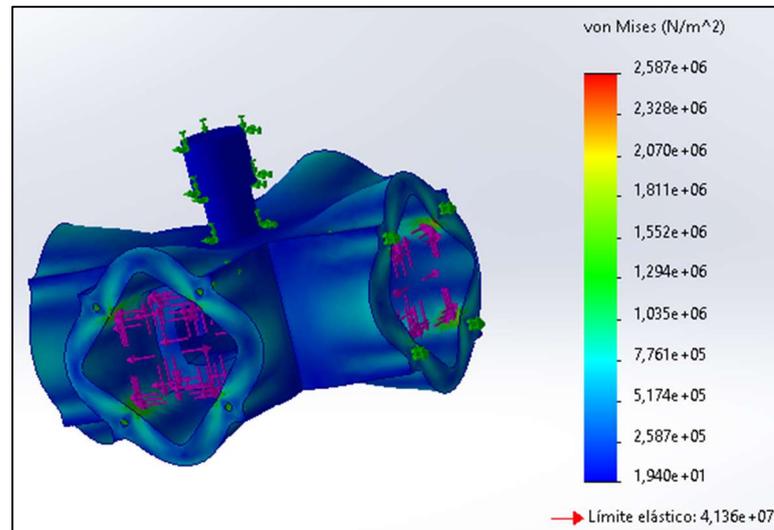


Figura 111. Tensión von Mises del desenroscador interior

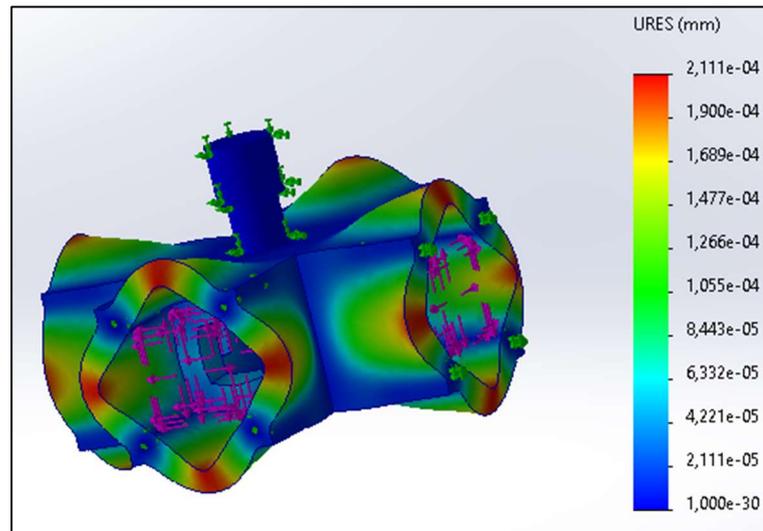


Figura 112. Desplazamientos del desenroscador interior

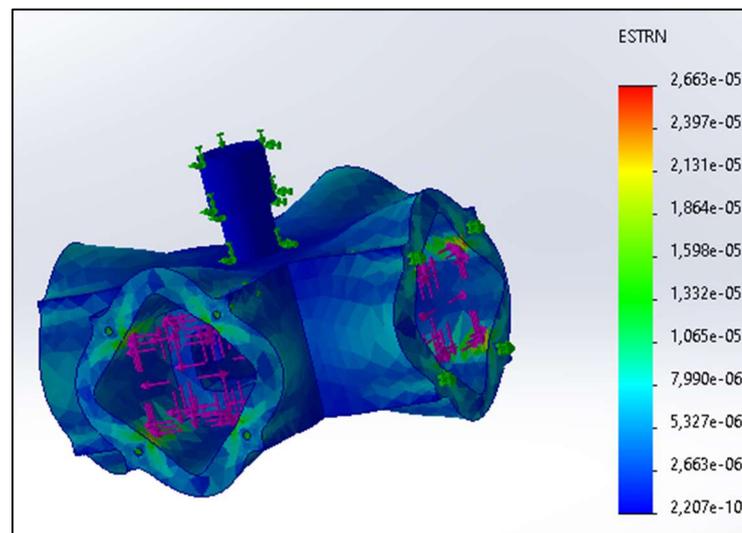


Figura 113. Deformaciones del desenroscador interior

Al igual que en la anterior pieza, cuando el líquido hidráulico ejerza presión sobre las paredes internas de la pieza, serán las esquinas las que más sufran. El límite elástico sigue superando con creces a los valores de máxima tensión.

11.1.3. Desenroscador exterior

En esta pieza, la presión que va a actuar es la misma que en las dos anteriores y al tener el mismo área que la pieza que contacta con el tapón, la fuerza que recibe del sistema hidráulico es la misma, es decir, 54'35 N. Sin embargo, aunque la teoría dicte esto en el programa no se permite que la parte afectada por la presión no sea la cara completa, así que en caso de que la presión afectase a toda la cara de la pieza, la fuerza correspondiente sería:

$$\frac{54,35 \text{ N}}{400 \text{ mm}^2} \approx 0,136 \text{ MPa}$$

$$0,136 \text{ MPa} \times 900 \text{ mm}^2 \approx 122,29 \text{ N}$$

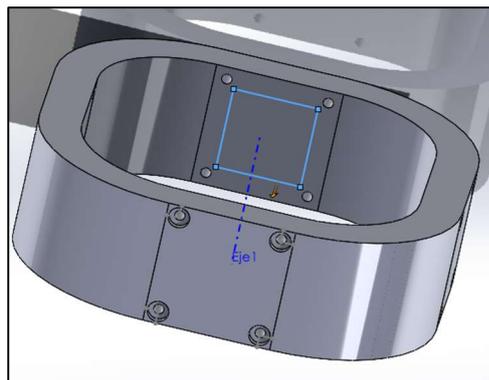


Figura 114. Desenroscador exterior

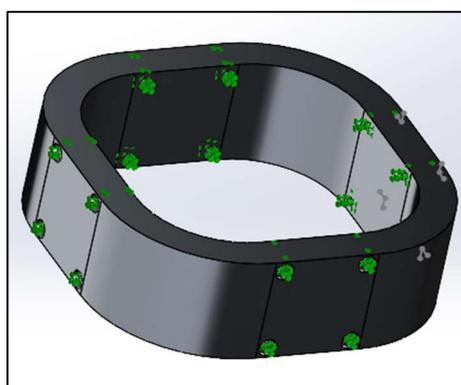


Figura 115. Ensayo del desenroscador exterior

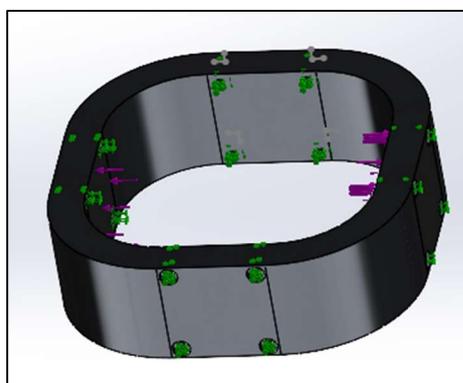


Figura 116. Ensayo del desenroscador exterior

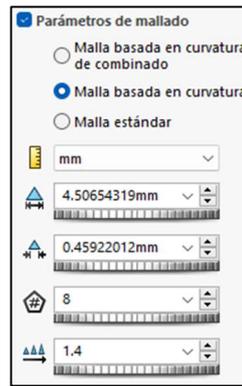


Figura 117. Parámetros de mallado del desenroscador exterior

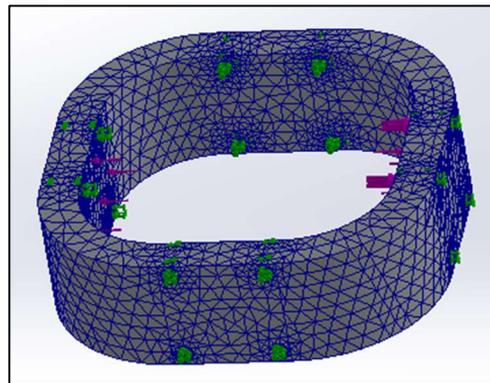


Figura 118. Mallado del desenroscador exterior

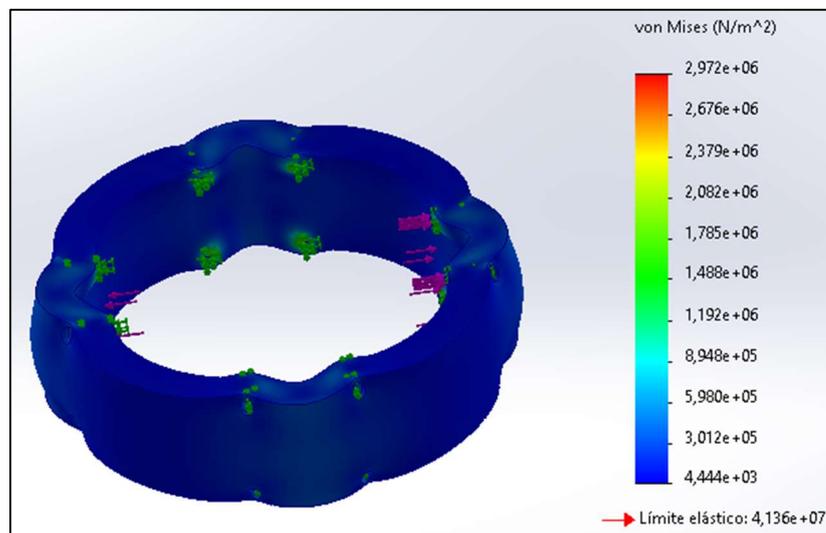


Figura 119. Tensión von Mises del desenroscador exterior

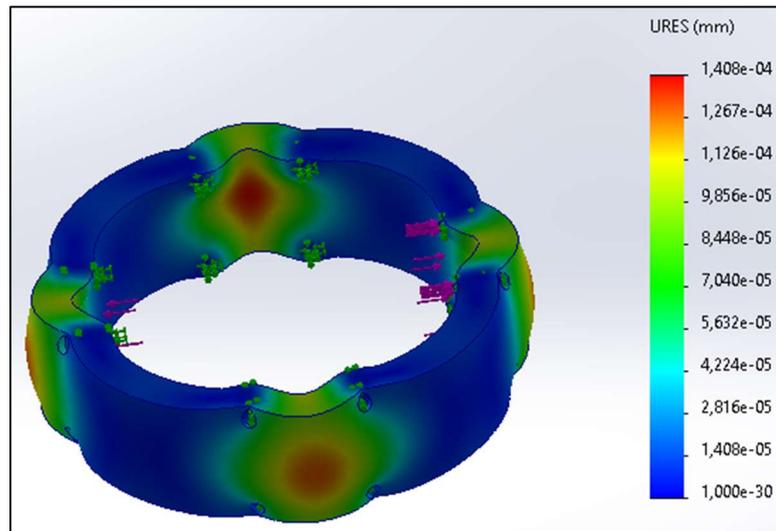


Figura 120. Desplazamientos del desenroscador exterior

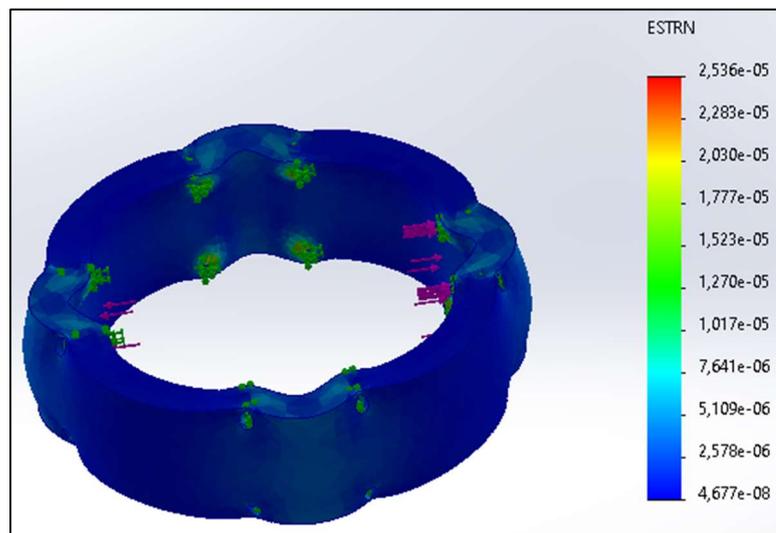


Figura 121. Deformaciones del desenroscador exterior

Esta pieza, al recibir presión muy cerca de los agujeros pasantes que son atravesados por los tornillos que la unen al resto de la máquina, son los propios agujeros los que más tensión van a sufrir. Es algo previsible, pues se trata de una pieza muy uniforme, sin aristas vivas, sin ángulos muy pronunciados, y estos agujeros son las únicas disconformidades que tiene.

11.1.4. Pieza de contacto con recipiente

Se realiza un primer ensayo con acero AISI 304.

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	1.9e+11	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.29	N/D
Módulo cortante	7.5e+10	N/m ²
Densidad de masa	8000	kg/m ³
Límite de tracción	517017000	N/m ²
Límite de compresión		N/m ²
Límite elástico	206807000	N/m ²
Coefficiente de expansión térmica	1.8e-05	/K
Conductividad térmica	16	W/(m·K)

Figura 122. Datos de SolidWorks sobre el acero AISI 304

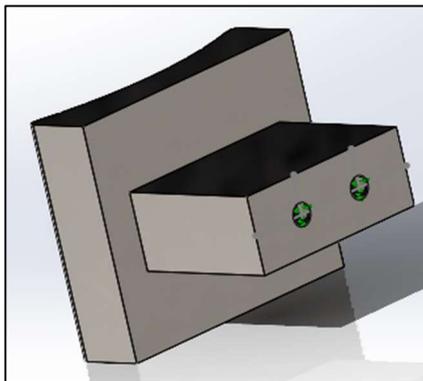


Figura 123. Ensayo de la pieza de contacto con recipiente

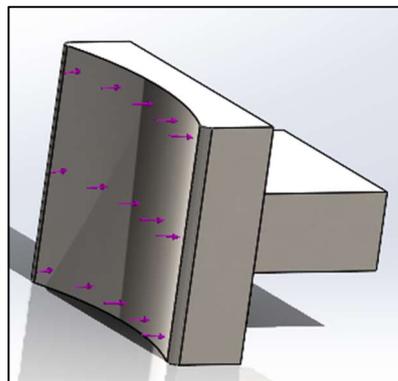


Figura 124. Ensayo de la pieza de contacto con recipiente

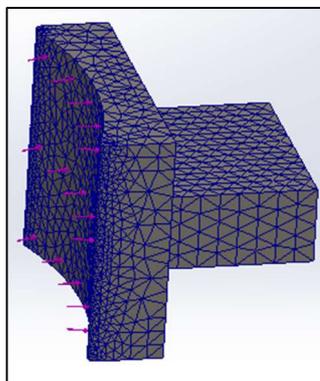


Figura 125. Mallado de la pieza de contacto con recipiente

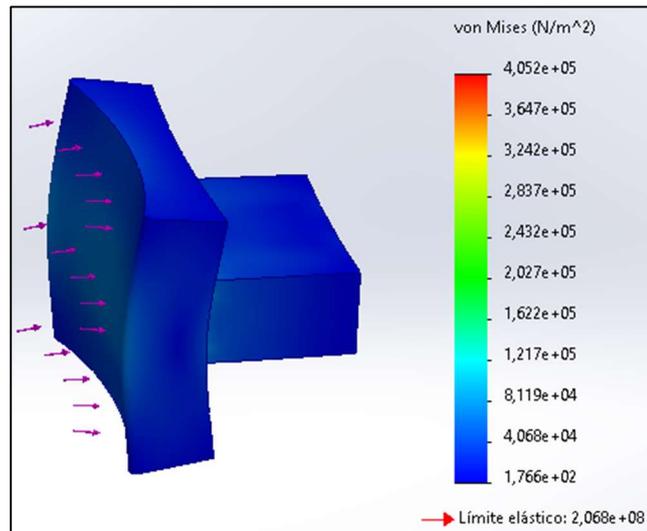


Figura 126. Tensión von Mises de la pieza de contacto con recipiente

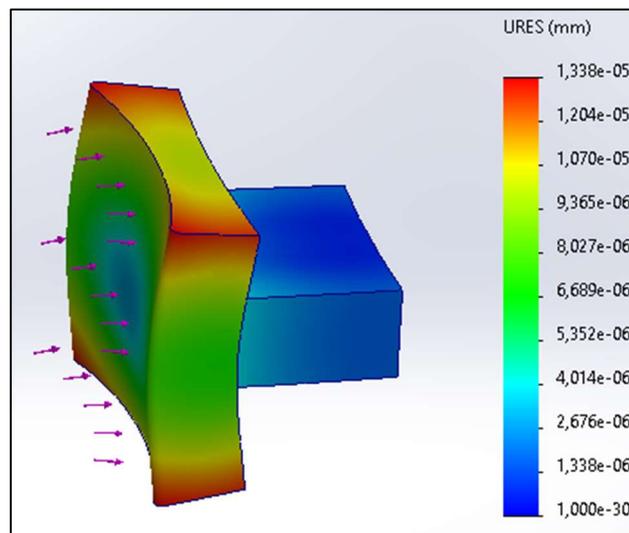


Figura 127. Desplazamientos de la pieza de contacto con recipiente

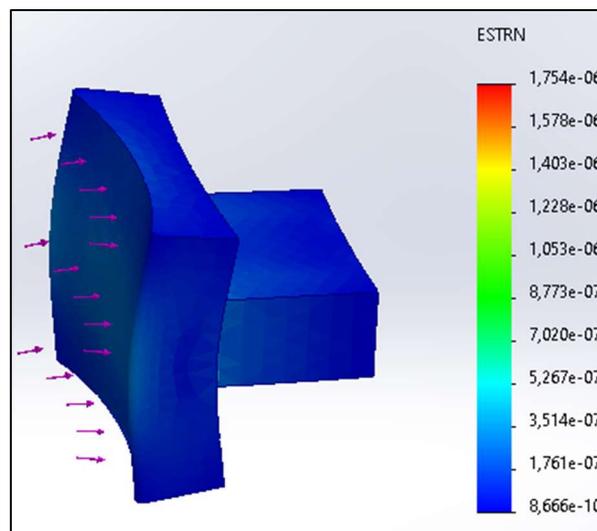


Figura 128. Deformaciones de la pieza de contacto con recipiente

A continuación, los resultados de un segundo ensayo con aluminio 3003.

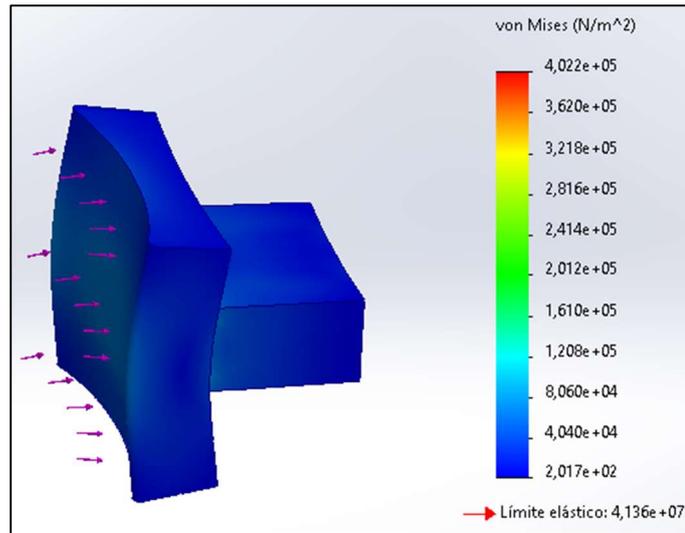


Figura 129. Tensión von Mises de la pieza de contacto con recipiente

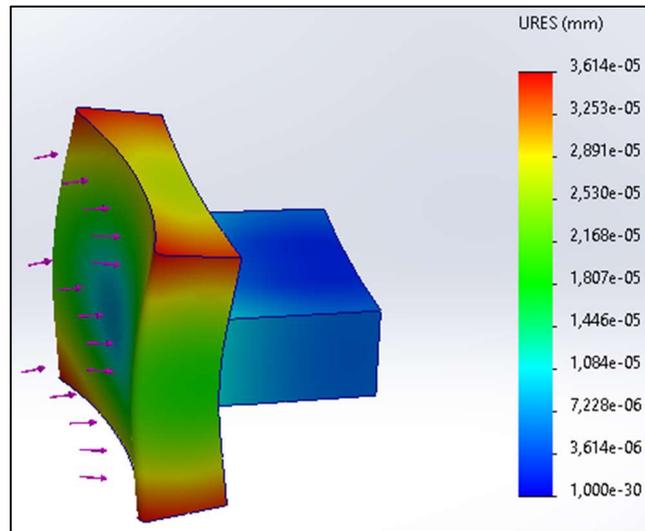


Figura 130. Desplazamientos de la pieza de contacto con recipiente

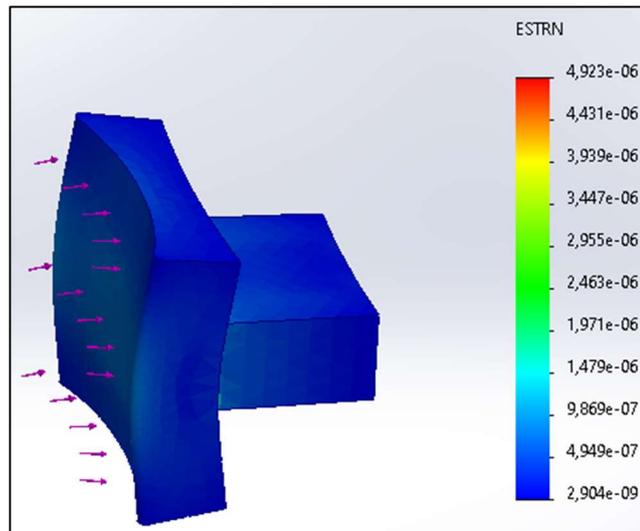


Figura 131. Deformaciones de la pieza de contacto con recipiente

De manera muy similar a la pieza de contacto con el tapón, la máxima presión no se localiza en la zona de contacto ya que la pieza está diseñada para que haya una gran superficie de contacto y hay un buen reparto de los esfuerzos por toda a cara. La máxima presión aparece en la parte intermedia, en el cambio de sección, donde hay aristas vivas que de nuevo actúan como concentradores de esfuerzos.

Si los valores de tensión se acercasen al límite elástico se podría utilizar un redondeo para relajar dichas aristas, pero dado que supondría una complicación en la fabricación y que la pieza apenas sufre con el esfuerzo planteado, el diseño de la pieza se mantiene.

11.1.5. Agarrador de recipiente

La manera en la que se ejercen las fuerzas sobre esta pieza hace que aparezca un pequeño inconveniente. El programa no da la oportunidad de colocar una fuerza sobre una porción de la cara. Y en este caso, la pieza se ve afectada por dos fuerzas en dos caras diferentes que no actúan en toda la cara. Una de ellas es la fuerza que le traslada la pieza de contacto con el recipiente y la otra la fuerza que le transmite el brazo impulsor del agarrador. Así que para seguir adelante con la simulación se va a realizar una pequeña cavidad de 1 mm de profundidad en las áreas en las que actuarán las fuerzas, haciendo así que el programa permite colocar las fuerzas y los lugares correctos sin alterar de manera sustancial los resultados.

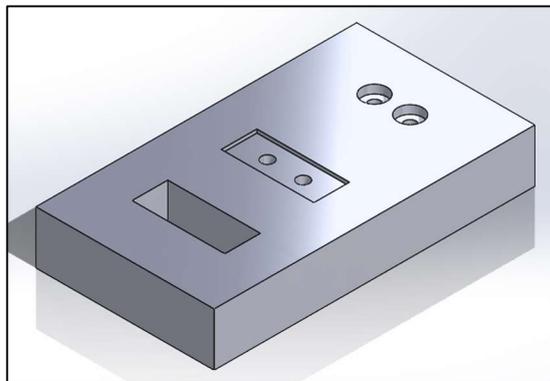


Figura 132. Corrección del agarrador de recipiente

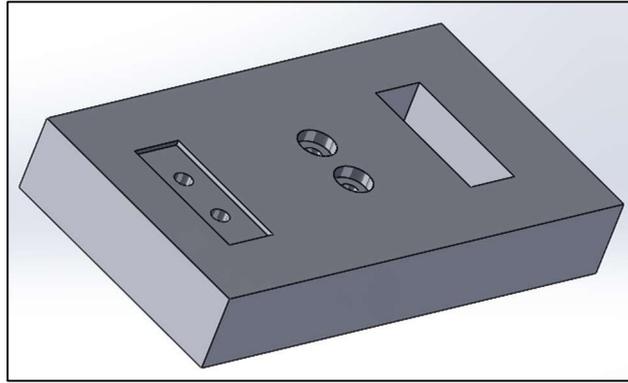


Figura 133. Corrección del agarrador de recipiente

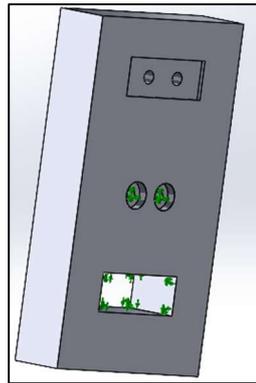


Figura 134. Ensayo del agarrador de recipiente

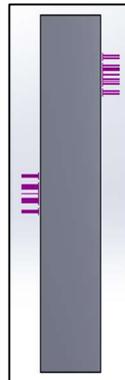


Figura 135. Ensayo del agarrador de recipiente

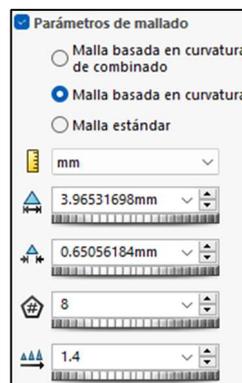


Figura 136. Parámetros de mallado del agarrador de recipiente

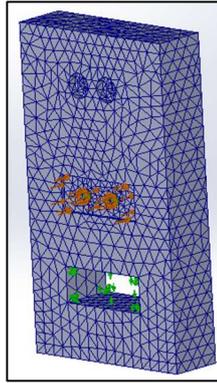


Figura 137. Mallado del agarrador de recipiente

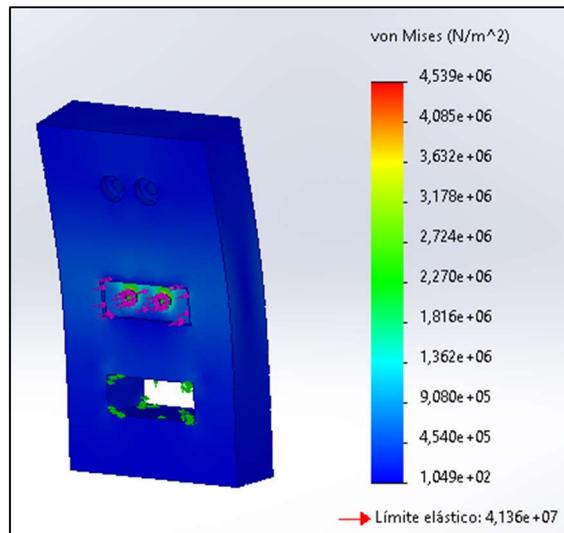


Figura 138. Tensión von Mises del agarrador de recipiente

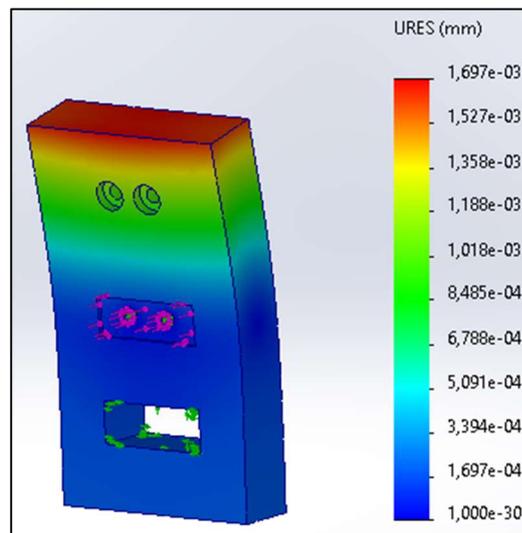


Figura 139. Desplazamientos del agarrador de recipiente

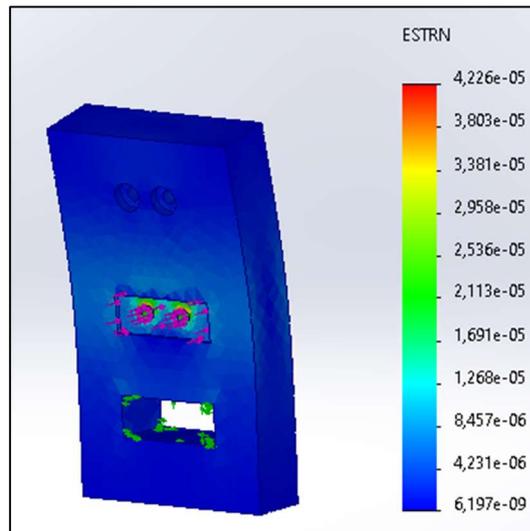


Figura 140. Deformaciones del agarrador de recipiente

Al ser una pieza muy llana y tener una zona relativamente amplia en la que recibe el esfuerzo, el reparto es muy suave y la pieza apenas nota los esfuerzos más allá de los agujeros de la unión con la anterior pieza. Como en la mayoría de las piezas hasta ahora, se tiene un factor de seguridad en torno a 10.

11.1.6. Brazo impulsor de agarrador

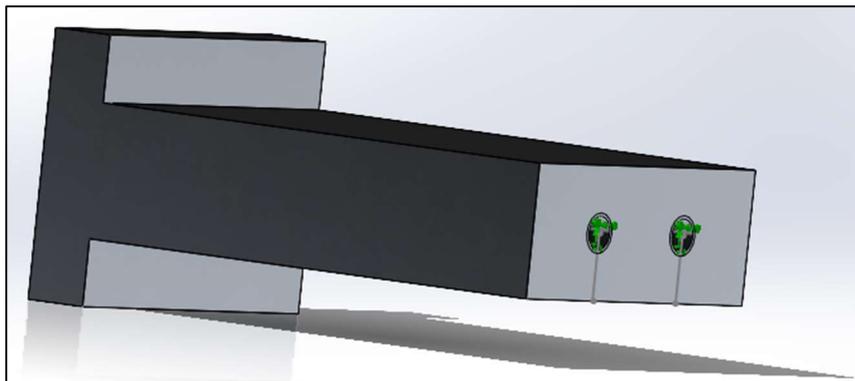


Figura 141. Ensayo del brazo impulsor de agarrador

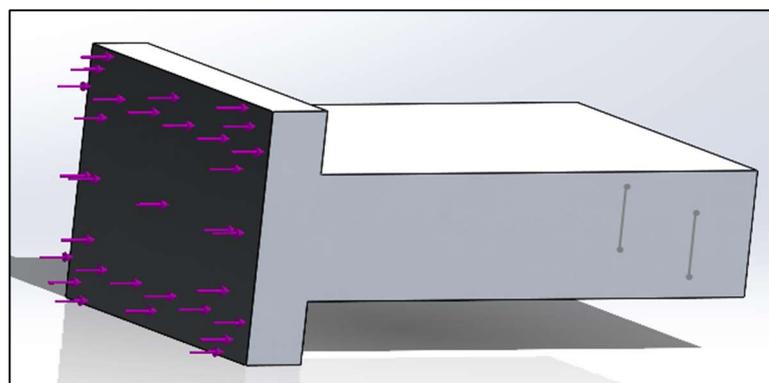


Figura 142. Ensayo del brazo impulsor de agarrador

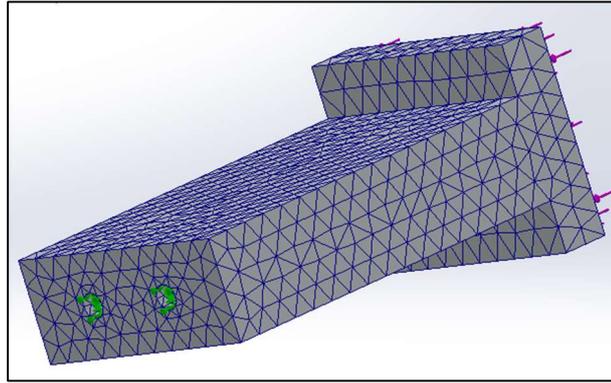


Figura 143. Ensayo del brazo impulsor de agarrador

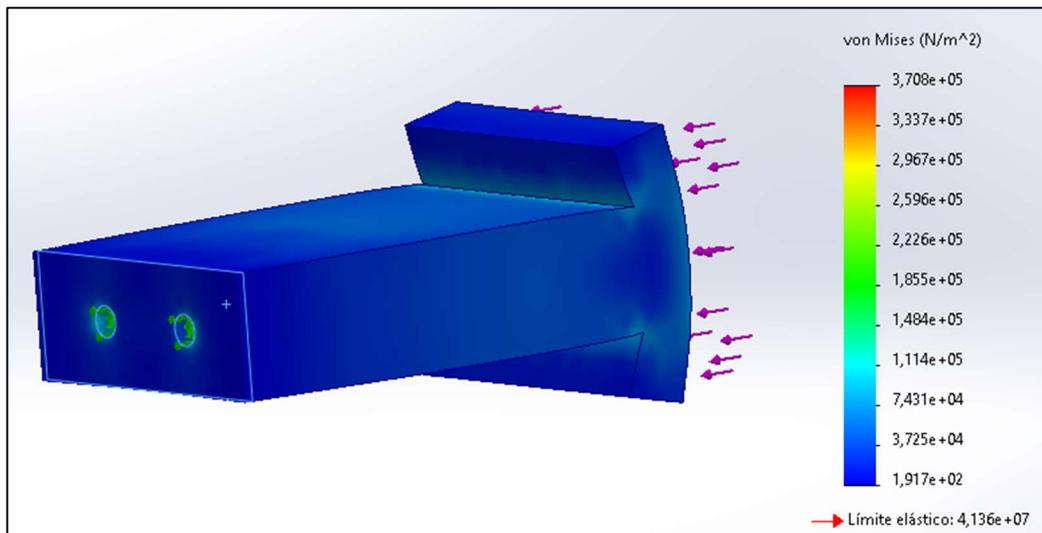


Figura 144. Tensión von Mises del brazo impulsor de agarrador

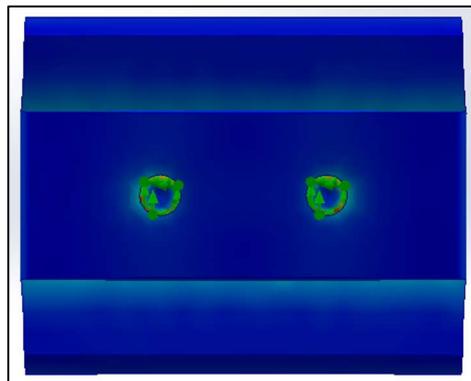


Figura 145. Tensión von Mises del brazo impulsor de agarrador

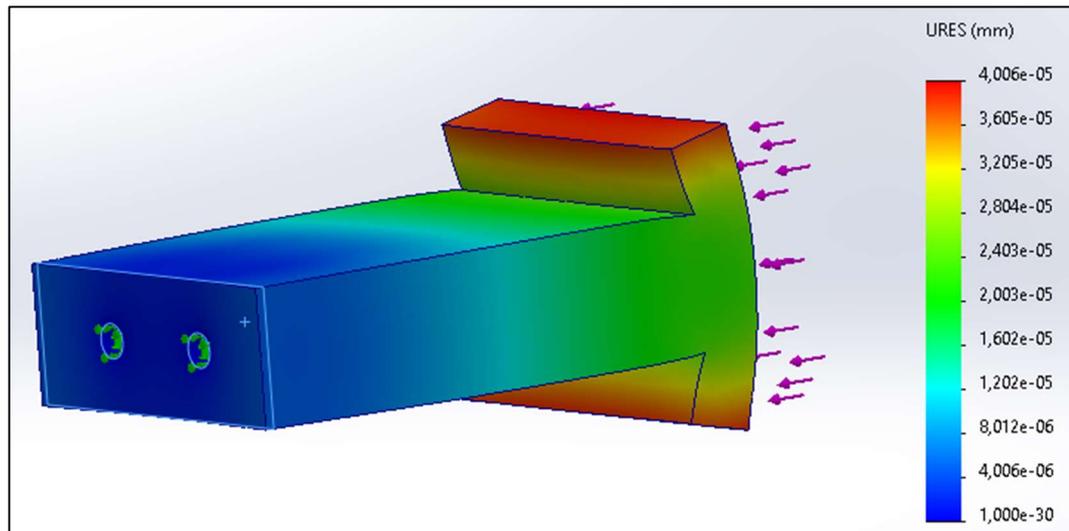


Figura 146. Desplazamientos del brazo impulsor de agarrador

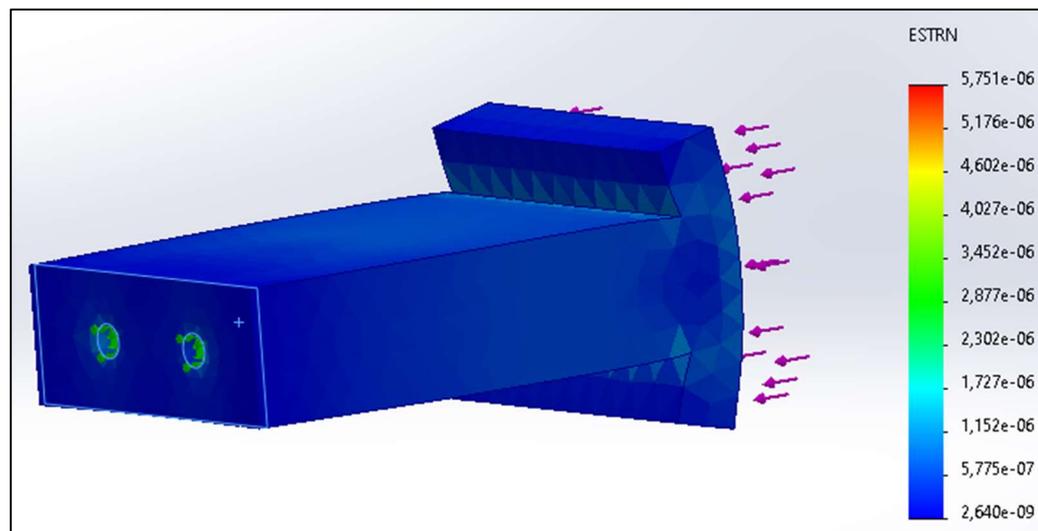


Figura 147. Deformaciones del brazo impulsor de agarrador

En las imágenes se puede apreciar que la parte que más deformación experimenta son los extremos más alejados del “corazón” de la pieza, tiene sentido si se tiene en cuenta que son las zonas que mayor momento de fuerza sufren. Sin embargo, de nuevo son las cavidades que alojan a los tornillos las que más tensión sufren. La razón es la misma, actúan como concentradores de tensión.

11.1.7. Mecanismo impulsor de agarrador

La presente pieza al formar parte del sistema hidráulico que permite sujetar el bote durante los procesos de apertura y cierre está sometida a una presión. Hay que deducir la presión a la que trabajan las paredes interiores a partir de la fuerza de agarre de 12,5 N que hemos establecido previamente.

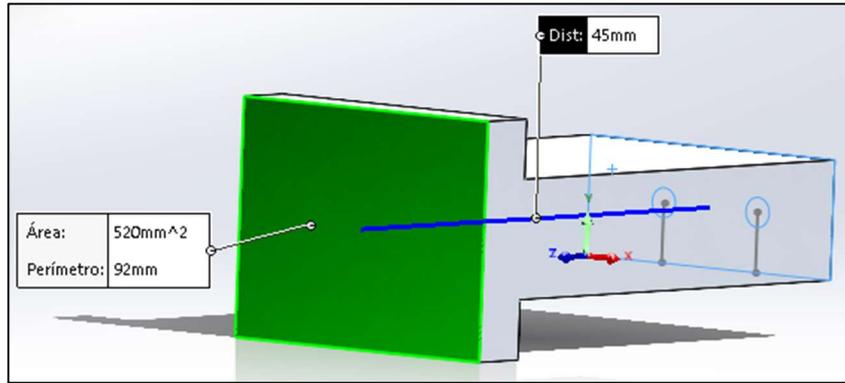


Figura 148. Ensayo del mecanismo impulsor de agarrador

$$P_{int} = \frac{F}{A} = \frac{12,5 N}{520 mm^2} \approx 0,024 MPa$$

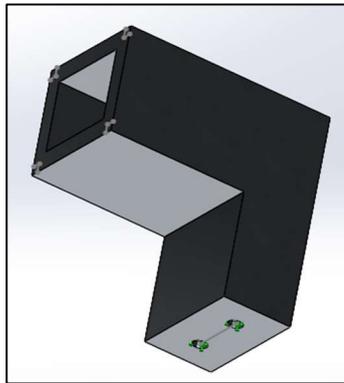


Figura 149. Ensayo del mecanismo impulsor de agarrador

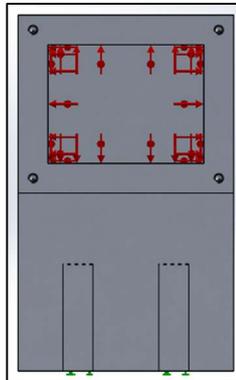


Figura 150. Ensayo del mecanismo impulsor de agarrador

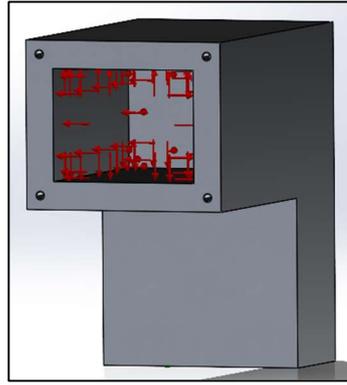


Figura 151. Ensayo del mecanismo impulsor de agarrador

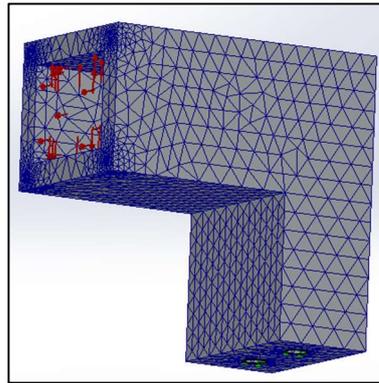


Figura 152. Ensayo del mecanismo impulsor de agarrador

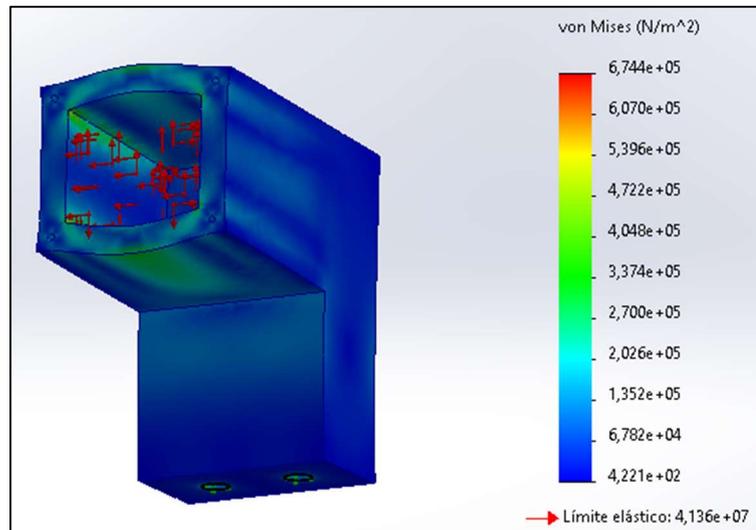


Figura 153. Tensión von Mises del mecanismo impulsor de agarrador

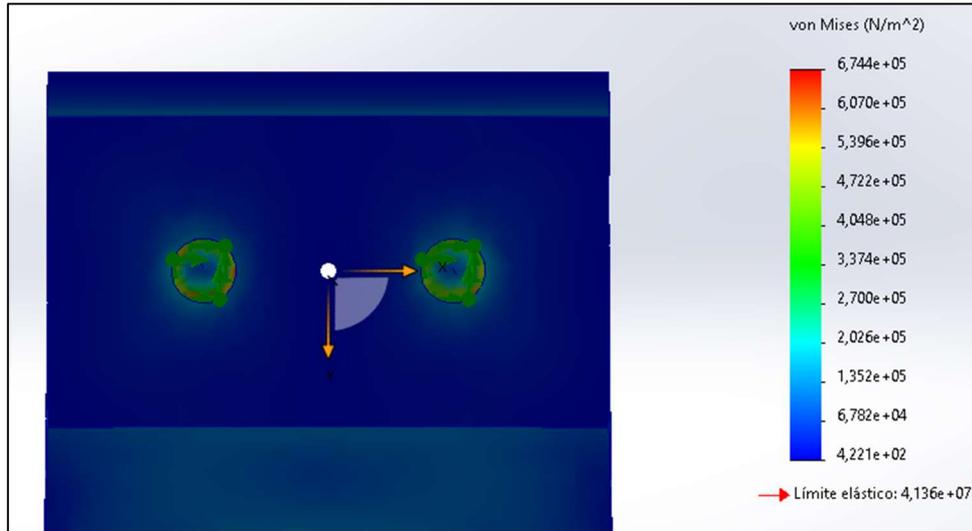


Figura 154. Tensión von Mises del mecanismo impulsor de agarrador

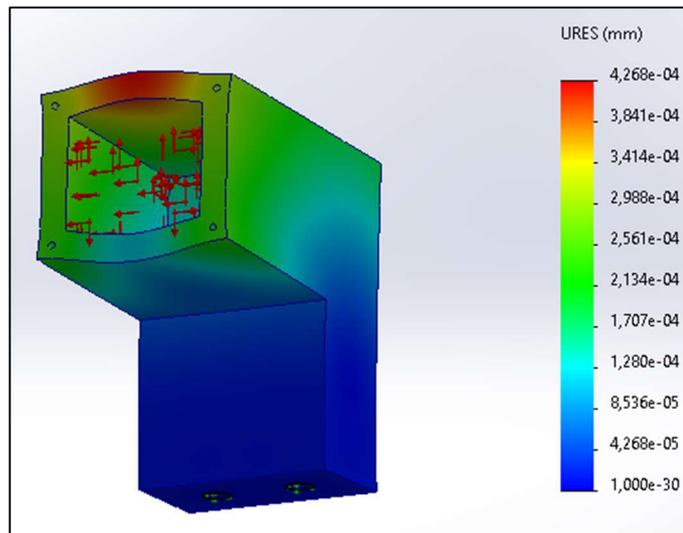


Figura 155. Desplazamientos del mecanismo impulsor de agarrador

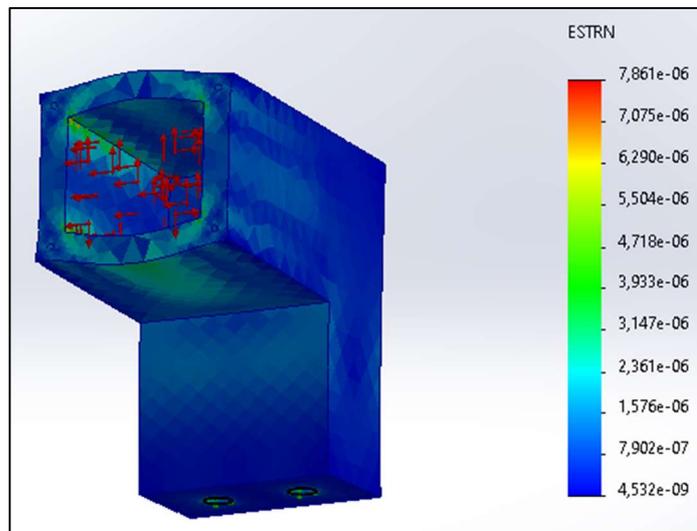


Figura 156. Deformaciones del mecanismo impulsor de agarrador

De nuevo se tienen en las aristas pronunciadas de la cavidad del mecanismo hidráulico y en las zonas de las uniones atornilladas los mayores valores de tensión. Pero la pieza sigue sin sufrir. Se puede afirmar por lo tanto que no hay problema alguno hasta ahora, las piezas han respondido como se esperaba y los materiales seleccionados son más que suficiente para construir las piezas ya estudiadas.

Con estas simulaciones se puede dar por concluida la parte que respecta a las piezas involucradas en los sistemas hidráulicos de agarre del tapón y del bote. Así que se procede a realizar el segundo grupo de ensayos, los correspondientes a las piezas que sufren el efecto de la gravedad, el peso, la parte más estructural del capítulo.

11.2. Ensayos donde actúa el peso como esfuerzo

Una vez realizados los ensayos de las piezas expuestas a las fuerzas de presión de los sistemas hidráulicos, antes de proceder a realizar los ensayos en los que se ven afectadas las piezas debido al peso de otras piezas, se debe recordar que los datos de los esfuerzos que se utilizan son los obtenidos en el capítulo 10.1.

11.2.1. Columna soporte superior

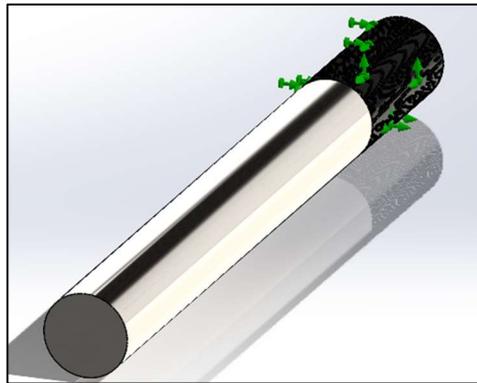


Figura 157. Ensayo de la columna soporte superior

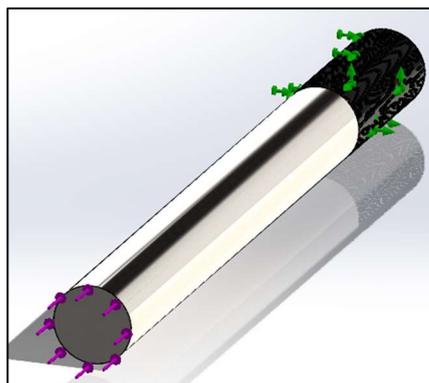


Figura 158. Ensayo de la columna soporte superior

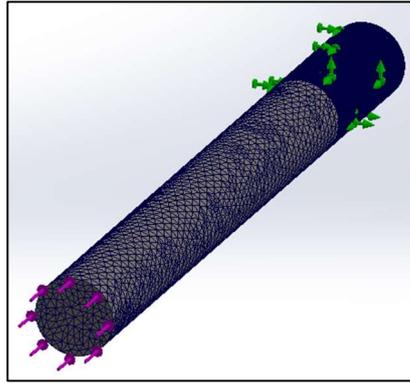


Figura 159. Mallado de la columna soporte superior

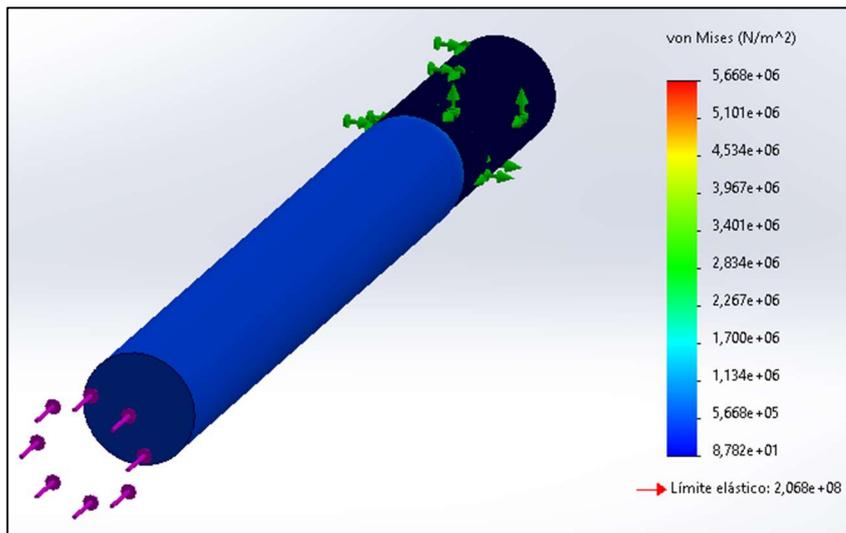


Figura 160. Tensión von Mises de la columna soporte superior

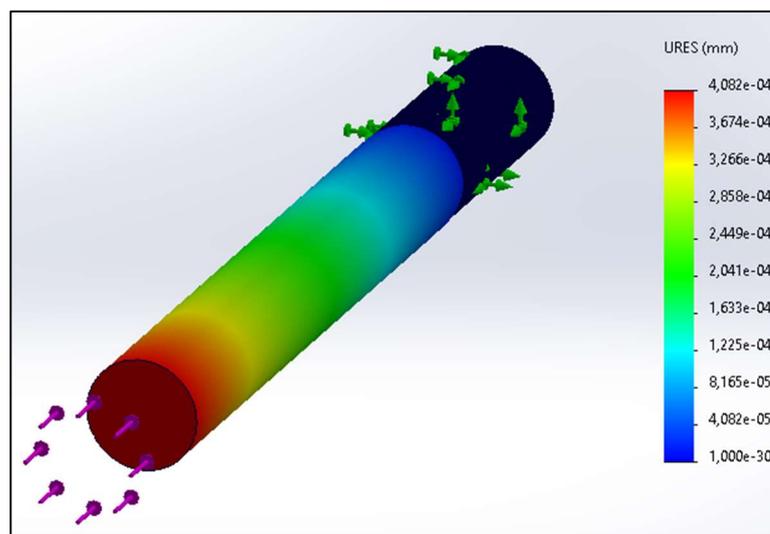


Figura 161. Desplazamientos de la columna soporte superior

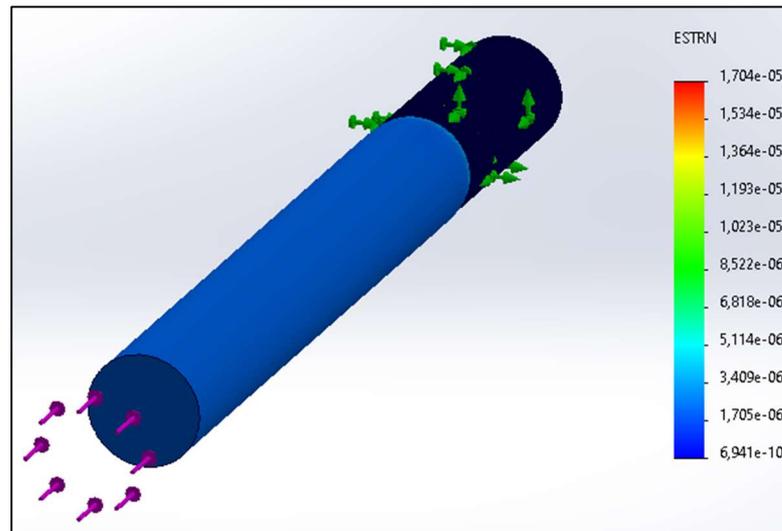


Figura 162. Deformaciones de la columna soporte superior

Los resultados de las tensiones indican que utilizar este tipo de acero puede ser hasta excesivo. El coeficiente de seguridad que ofrece es mayor que 30, lo cual permitiría reducir sustancialmente la sección. El resultado era muy fácil de prever puesto que con esta pieza se tiene el caso más sencillo de compresión que existe, un cilindro con una cara fija recibiendo una fuerza que lo comprime en la cara contraria. Si esta parte superior de la columna a respondido bien a la sollicitación, es más que probable que las otras dos piezas respondan aún mejor, ya que se superficie transversal es mayor.

11.2.2. Columna soporte unión

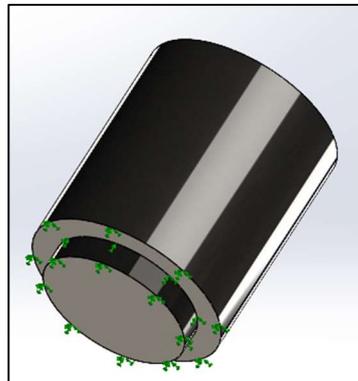


Figura 163. Ensayo de la columna soporte unión

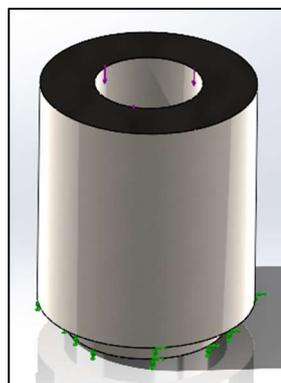


Figura 164. Ensayo de la columna soporte unión

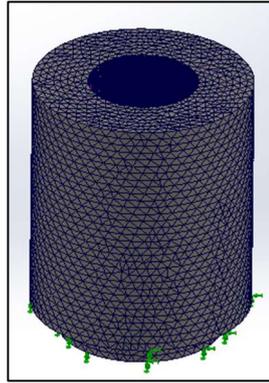


Figura 165. Mallado de la columna soporte unión

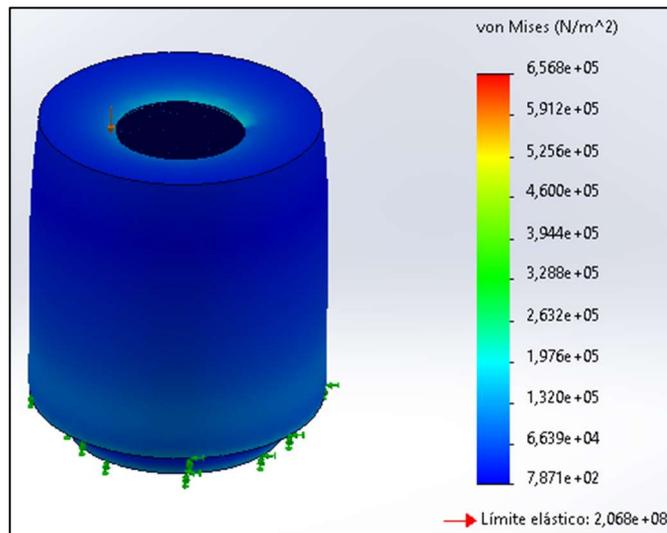


Figura 166. Tensión von Mises de la columna soporte unión

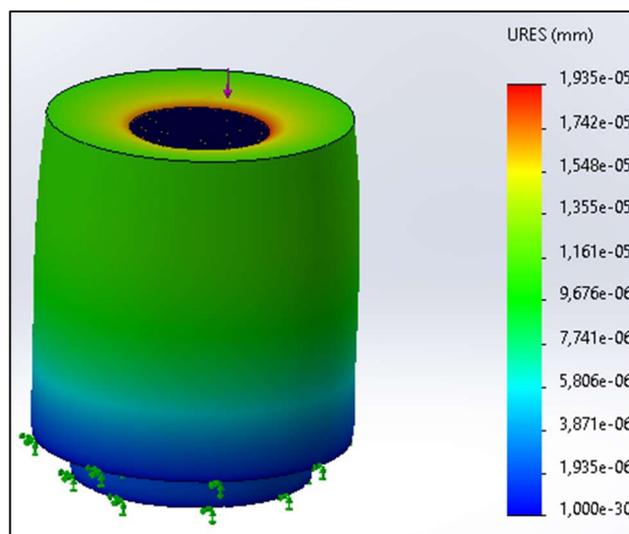


Figura 167. Desplazamientos de la columna soporte unión

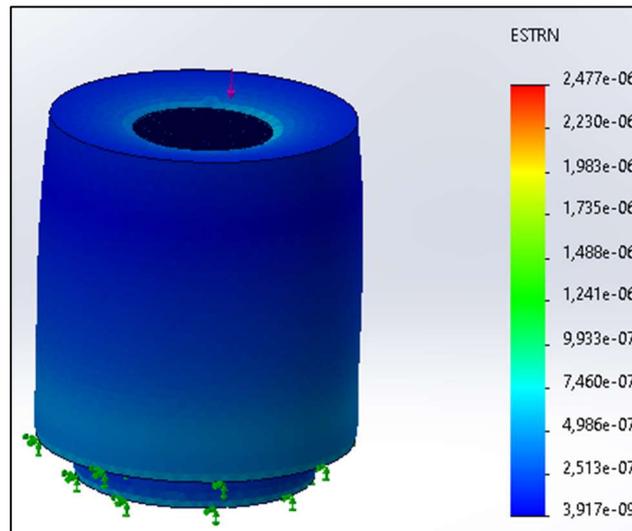


Figura 168. Deformaciones de la columna soporte unión

Como se ha comentado con la parte superior de la columna, ya se podía prever la buena respuesta de la pieza, ofreciendo un coeficiente de seguridad de orden 100. Las zonas que más sufren son las aristas pronunciadas, donde hay bruscos cambios de sección en la pieza.

11.2.3. Columna soporte inferior



Figura 169. Ensayo de la columna soporte inferior



Figura 170. Ensayo de la columna soporte inferior



Figura 171. Mallado de la columna soporte inferior

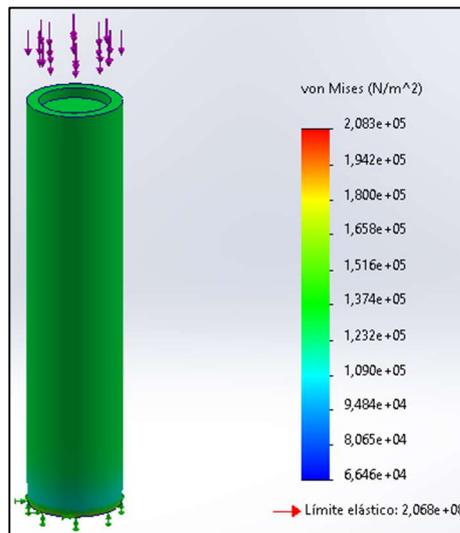


Figura 172. Tensión von Mises de la columna soporte inferior

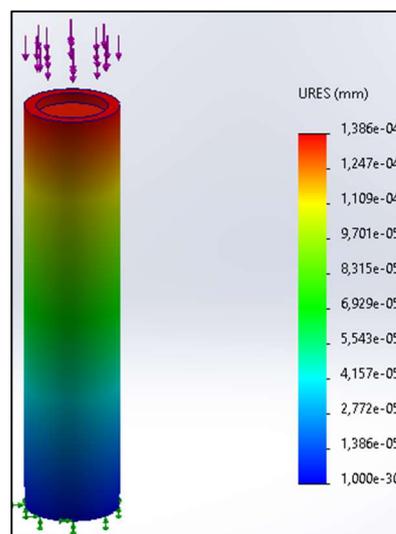


Figura 173. Desplazamientos de la columna soporte inferior

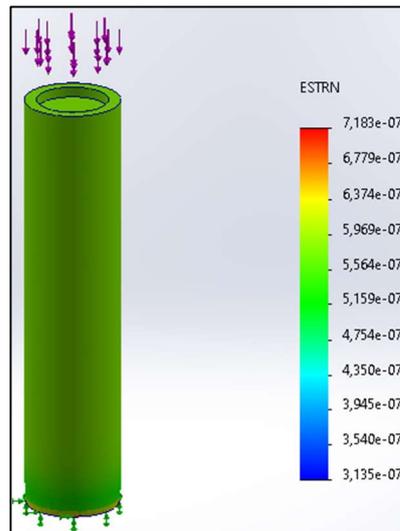


Figura 174. Deformaciones de la columna soporte inferior

Mismo resultado que las dos piezas anteriores. En este caso el coeficiente de seguridad aún es mayor, de un valor cercano a 1000. Lo más sensato sería reducir la sección o cambiar el material de construcción de la pieza a uno más económico y ligero. Y entre las dos opciones, la segunda da mejores sensaciones, porque en caso de que se reduzca mucho la sección, el efecto del pandeo podría amenazar la estructura.

11.2.4. Base inferior

Esta pieza va a ser estudiada con dos esfuerzos diferentes. El primero de ellos es que sufre en las cavidades donde aloja a la columna soporte inferior de valor 181'98 N en cada apoyo. El segundo ensayo corresponde al peso de la máquina al completo que recibe en cada apoyo del soporte base de la pieza, de valor 669'66 N.

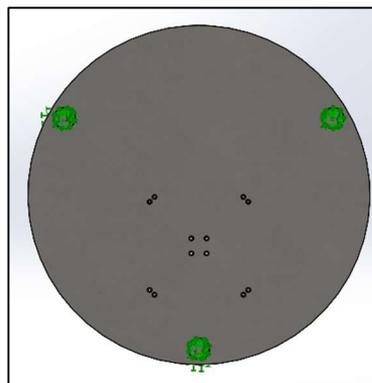


Figura 175. Ensayo de la base inferior

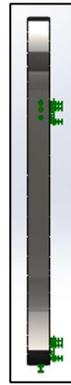


Figura 176. Ensayo de la base inferior

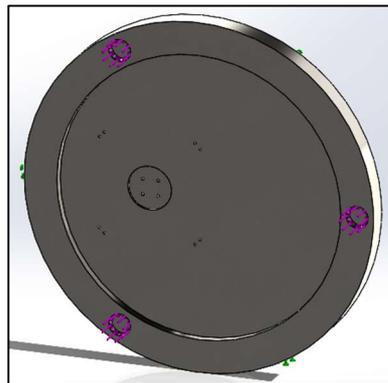


Figura 177. Ensayo de la base inferior

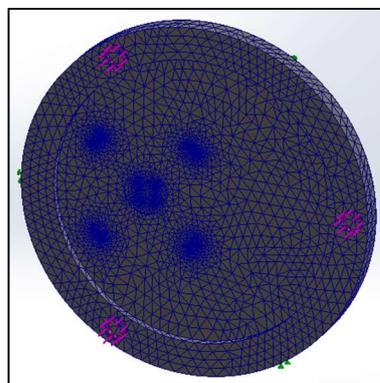


Figura 178. Mallado de la base inferior

Los resultados con la primera fuerza son los siguientes:

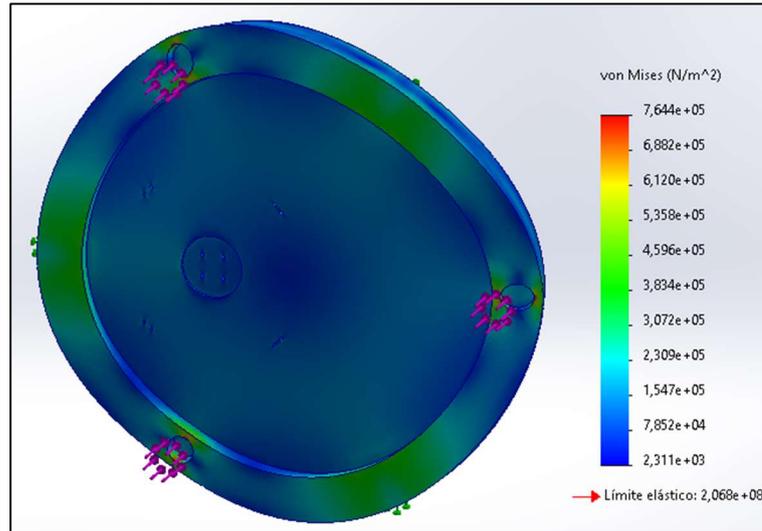


Figura 179. Tensión von Mises de la base inferior

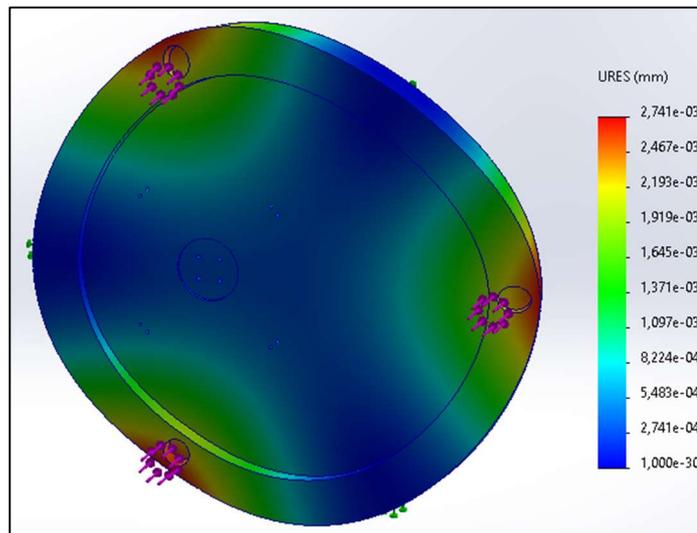


Figura 180. Desplazamientos de la base inferior

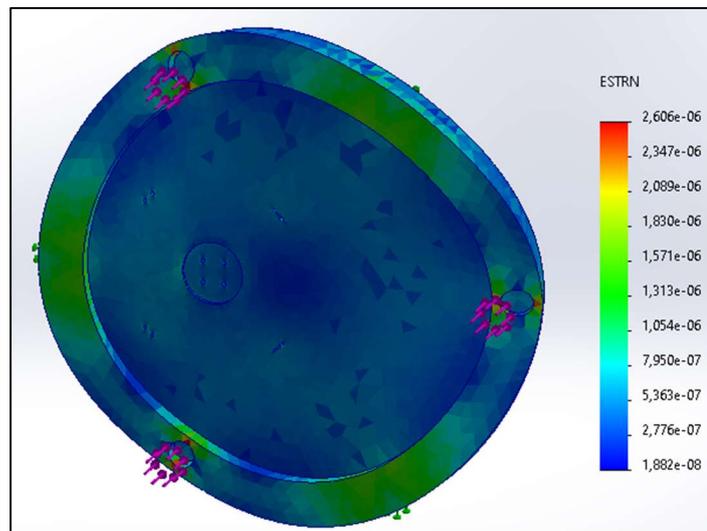


Figura 181. Deformaciones de la base inferior

A continuación, los resultados con los datos de mayor fuerza.

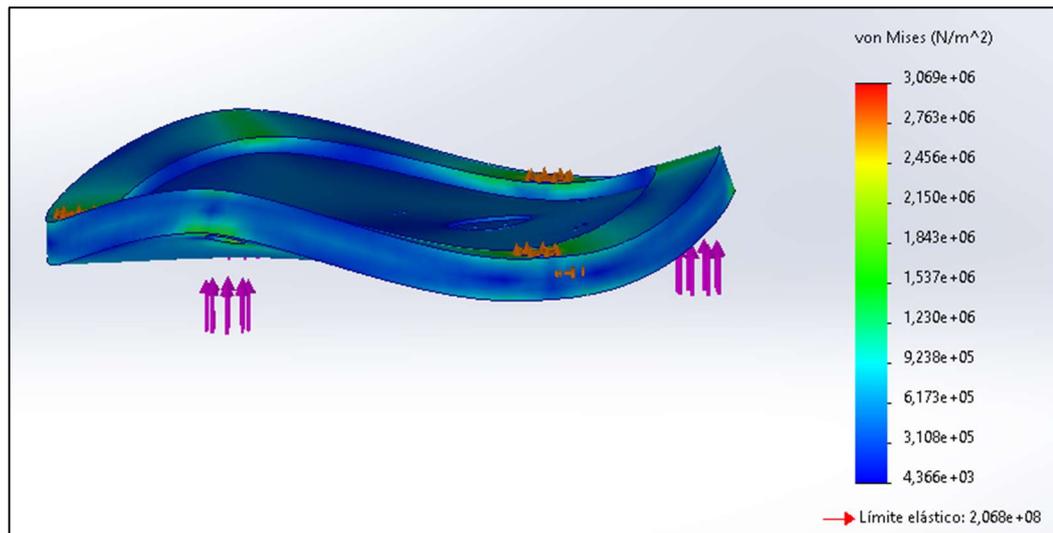


Figura 182. Tensión von Mises de la base inferior

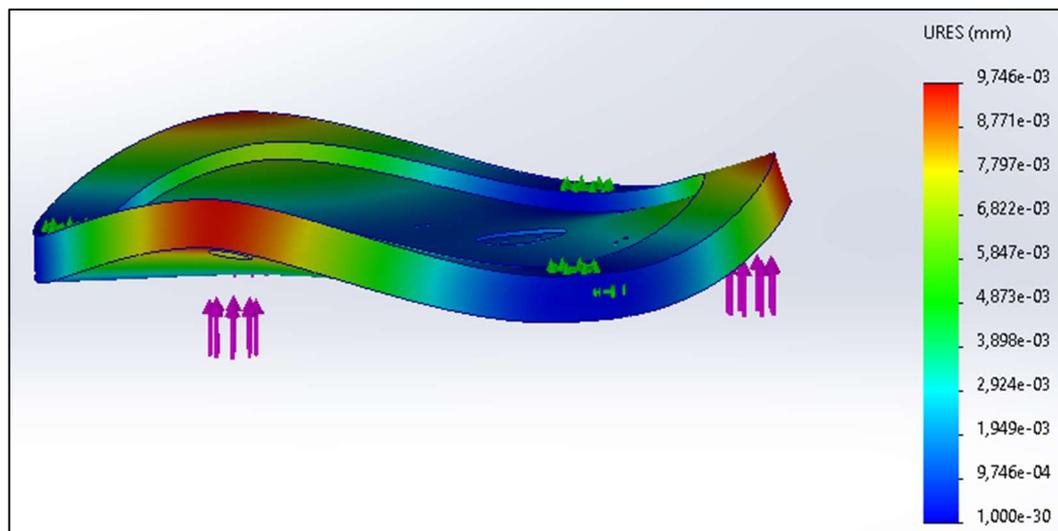


Figura 183. Desplazamientos de la base inferior

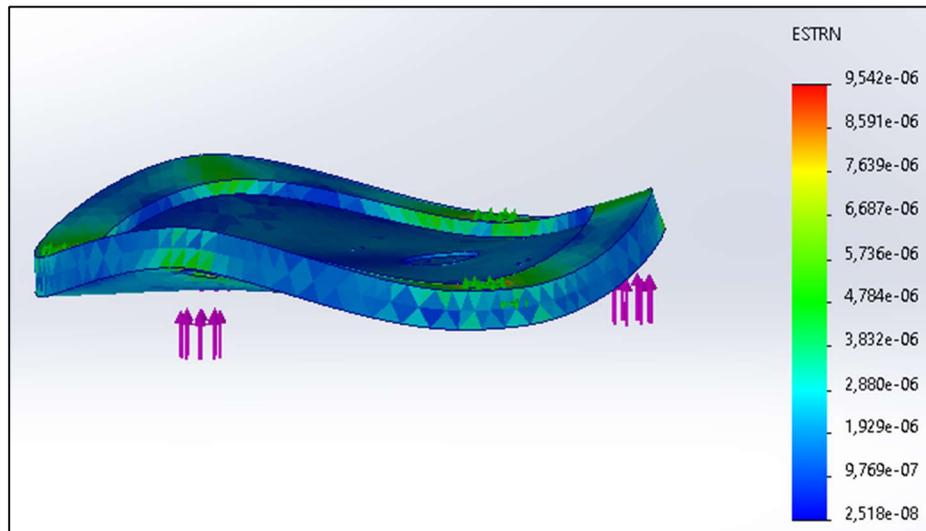


Figura 184. Deformaciones de la base inferior

Y, para terminar, se tienen los resultados de los últimos ensayos. Si nos centramos en el segundo, donde la fuerza es mayor, se aprecia que la pieza responde sin ningún tipo de problema, siendo las mayores tensiones bastante inferiores al límite de elasticidad del acero. Ahora bien, si se comparan esas tensiones máximas con el límite de elasticidad del aluminio, se concluye que la pieza no aguantaría los esfuerzos si se cambiase el material. Así que, mientras que las columnas fabricadas en acero pueden considerarse un exceso innecesario, la base inferior sí que necesita ser fabricada en un material resistente como es el acero AISI 304.

12. Análisis de resultados

Una vez realizados todos los ensayos, se va a realizar el análisis de resultados de acuerdo con los datos de tensión obtenidos, para compararlos con los límites de elasticidad de los materiales de cada pieza. Se realiza una tabla con ambos datos. El valor de la tensión máxima va a ser el valor inmediatamente superior al valor obtenido y de esta manera trabajar con números redondos, ya que hemos visto que los materiales no van a sufrir y resisten muy cómodamente los esfuerzos planteados.

Tabla 7. Resultados de los ensayos

Pieza	Material	Límite elástico	Tensión máxima	Coficiente de seguridad
Pieza de contacto con tapón	Aluminio 3003	41360000	1383000	29.9
Desenroscador interior	Aluminio 3003	41360000	2587000	16.0
Desenroscador exterior	Aluminio 3003	41360000	2972000	13.9
Pieza de contacto con recipiente	AISI 304	206800000	405200	510.4
	Aluminio 3003	41360000	402200	102.8
Agarrador de recipiente	Aluminio 3003	41360000	4539000	9.1
Brazo impulsor de agarrador	Aluminio 3003	41360000	370800	111.5
Mecanismo impulsor de agarrador	Aluminio 3003	41360000	674400	61.3
Columna soporte superior	AISI 304	206800000	5668000	36.5
Columna soporte unión	AISI 304	206800000	656800	314.9
Columna soporte inferior	AISI 304	206800000	208300	992.8
Base inferior (ensayo 1)	AISI 304	206800000	764400	270.5
Base inferior (ensayo 2)	AISI 304	206800000	3069000	67.4

El análisis resulta evidente, pues el menor coeficiente de seguridad de toda la máquina corresponde al agarrador del recipiente, con un valor aproximadamente de 9. De ello podemos extraer dos conclusiones. Que se podrían reducir costes reduciendo el tamaño de las piezas y que todas las piezas, según los ensayos realizados, podrían fabricarse en aluminio o incluso en otro tipo de material más barato con peores prestaciones a lo que la respuesta a esfuerzos se refiere.

Respecto a la primera de las conclusiones, se descarta porque no sería fácil fabricar la mayoría de las piezas con un tamaño menor, la precisión de fabricación necesaria sería extrema. Algunas piezas como las columnas y la base inferior sí que podría ser interesante estudiar el hecho de reducir sus espesores y secciones, puesto que son piezas más robustas.

En cuanto a la segunda conclusión, lo primero que se viene a la cabeza es la fabricación con materiales plásticos. Con el auge de las impresoras 3D y lo baratos que son los procesos de

fabricación debido a que no hay infraestructura detrás de ellas más que la propia impresora, resultaría muy interesante fabricar, al menos, muchas de las piezas y ver su respuesta ante las condiciones de funcionamiento.

13. Conclusiones

Las conclusiones generales del trabajo, al margen de los resultados más objetivos y concretos del proyecto obtenidos, dejan en el autor una sensación muy positiva. A lo largo del desarrollo de este Trabajo de Fin de Grado, se ha explorado minuciosamente el desafiante proceso de concebir, diseñar y analizar una máquina en general y una máquina rellenadora de botes en concreto, desde cero. Este viaje ha demostrado ser muy enriquecedor, no solo desde el punto de vista técnico, sino también en términos de pensamiento creativo, resolución de problemas y apreciación de la intersección entre la teoría y la práctica en la ingeniería.

El ejercicio de imaginar y dar forma a una máquina que aún no existe ha sido un ejercicio intelectualmente estimulante. Desde la concepción inicial hasta los últimos detalles de diseño, cada etapa ha requerido no solo conocimientos técnicos, sino también una habilidad para visualizar cómo cada componente interactuaría con los demás. Enfrentarse al reto de anticipar posibles problemas y limitaciones en un diseño hipotético requería un enfoque meticuloso y una consideración profunda de cada decisión tomada.

El análisis detallado de cada aspecto del diseño, desde la selección de materiales hasta las dimensiones de los componentes, nos ha permitido sumergirnos en las "tripas" de la máquina imaginada. Cada elección se convirtió en un puzzle que debía resolverse, considerando no solo la funcionalidad y la eficiencia, sino también la viabilidad manufacturera y los posibles desafíos de implementación. Este proceso refleja la naturaleza intrincada de la ingeniería, donde el éxito radica en la capacidad de integrar conceptos abstractos en soluciones tangibles.

A medida que cada componente del diseño encajaba en su lugar, se experimentaba una sensación de logro que solo puede derivar del compromiso con un proceso creativo. Sin embargo, también se hizo evidente que la persistencia y la adaptabilidad son esenciales en cualquier proceso de diseño. Los obstáculos encontrados a lo largo del camino, ya sean limitaciones técnicas o ideas que debían ser reconsideradas, sirvieron como recordatorios valiosos de que el diseño es un viaje evolutivo y a menudo impredecible.

El proceso de concebir una máquina rellenadora de botes inexistente ha reafirmado la importancia del diseño como pilar fundamental de la innovación. Cada dispositivo y sistema que utilizamos en nuestra vida diaria comenzó como un concepto en la mente de un diseñador. La capacidad de traducir ideas en realidades tangibles es la esencia misma de la ingeniería y el motor que impulsa el progreso tecnológico.

En resumen, este viaje desde la mera imaginación hasta el diseño concreto de una máquina rellenadora de botes ha sido un reto en términos creativos, el pensamiento crítico y por supuesto, técnico. La experiencia de enfrentar desafíos, tomar decisiones informadas y crear soluciones funcionales ha enriquecido la comprensión de lo que significa ser un diseñador y un ingeniero. Como continuadores de esta tradición de innovación, el autor se lleva consigo no solo las habilidades técnicas adquiridas, sino también la apreciación de que cada invención, sin importar cuán grande o pequeña sea, es el resultado del coraje de imaginar lo inexistente y convertirlo en realidad.

13.1. Vías de desarrollo del proyecto

Es evidente que el punto de diseño de la máquina en cuestión no es suficiente para su fabricación y puesta en marcha, aún tendría mucho trabajo detrás, parte del cual se escapa a las capacidades del autor ya sea por un aspecto técnico o por falta de experiencia. A continuación,

se mencionan 3 vías de desarrollo con las que podría continuar el proyecto del diseño de la máquina de cara a su poder trabajar.

- Equipamiento de sistemas de potencia para la movilización del sistema: Algunos aspectos del funcionamiento de la máquina se han obviado, pero está claro que necesitaría al menos un motor eléctrico que movilice la base superior móvil y el desenroscador, con su respectivo equipo eléctrico que maneje los tiempos de parada y la intensidad de trabajo. Además de seleccionar y equipar los sistemas de bombeo pertinentes para poner en marcha los sistemas hidráulicos planteados.
- Equipamiento de sensores y electrónica. Aunque sea una máquina sencilla, se ha imaginado su funcionamiento para que funcione con sensores, tanto de seguridad como de funcionalidad.
- Elaboración ETC. Para que una máquina pueda ser utilizada por un operario o para que pueda comercializarse en Europa de manera legal es necesario elaborar un Expediente Técnico de Construcción que acredite la correcta fabricación y funcionamiento de la máquina, y con ello obtener el certificado CE.

14. Bibliografía

Ingelibreblog. (2014, febrero 3). *Introducción al proyecto y diseño de máquinas*. Recuperado de <https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/02/03/introduccion-al-proyecto-y-diseno-de-maquinas/>

Universidad de La Laguna. (2021). *Diseño de mecanismo andador asistido*. Repositorio Institucional de la Universidad de La Laguna. <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/25477>

Escuela Politécnica Nacional. (2012). *Diseño y construcción de una máquina para remover la cascarilla de granos de cacao para una producción de 200 kg/h*. Repositorio Institucional de la Escuela Politécnica Nacional. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4574>

Universidad de San Buenaventura. (2005). *Diseño y simulación de una máquina automatizada para el sellado de dos tipos de caja para la industria cosmética*. <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/37485.pdf>

Instituto Politécnico Nacional. (2007). *Diseño de una máquina fabricadora de conos filtradores de pintura*.

<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/3260/46.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Normativa Internacional de Seguridad para Maquinaria (ISO 12100:2010). (2010). Organización Internacional de Normalización.

García, A. (2019). *Diseño y optimización de una máquina automática para el envasado de productos líquidos en botes*. Tesis de grado, Universidad Técnica de Madrid. <https://www.ejemplo.es/tesis-12345>

Pérez, R., & Sánchez, M. (2017). *Análisis de sistemas de automatización industrial para procesos de envasado*. Revista de Ingeniería Industrial, 35(2), 45-58. DOI: 10.1234/revii.2017.12345

González, L., & Fernández, E. (2018). *Diseño y control de sistemas de transporte de envases en líneas de producción*. Journal of Automation and Robotics, 20(3), 225-238. DOI: 10.5678/jar.2018.12345

Normativa de Seguridad para Máquinas (EN ISO 13849-1:2015). (2015). Comité Europeo de Normalización (CEN).

Rodríguez, P., & López, J. (2020). *Evaluación de riesgos en máquinas industriales: Un enfoque práctico*. Editorial Técnica.

Smith, J., & Johnson, T. (2016). *Automated Packaging Systems: Design and Implementation*. CRC Press.

Normativa de Seguridad para Máquinas (EN 60204-1:2018). (2018). Comité Europeo de Normalización Electrotécnica (CENELEC).

Méndez, F., & González, A. (2019). *Control de calidad en procesos de llenado de envases: Métodos y aplicaciones*. Revista de Calidad Industrial, 40(4), 315-328. DOI: 10.7890/rci.v40i4.12345

Normativa de Seguridad para Máquinas (EN 349:2016). (2016). Comité Europeo de Normalización.

Fernández, E., & López, M. (2017). *Automatización y control de procesos de envasado en la industria alimentaria*. Revista de Automatización Industrial, 29(1), 12-25. DOI: 10.2345/rai.2017.12345

González, L., & Rodríguez, P. (2018). *Diseño ergonómico de estaciones de trabajo en líneas de envasado*. Ergonomía y Diseño Industrial, 22(3), 145-160.

Normativa de Seguridad para Máquinas (EN ISO 13857:2019). (2019). Comité Europeo de Normalización (CEN).

García, A., & Pérez, R. (2015). *Análisis de la eficiencia energética en sistemas de envasado automático*. Energía y Sostenibilidad, 10(2), 75-88. DOI: 10.5678/eyss.2015.12345

Normativa de Seguridad para Máquinas (EN ISO 12100:2010). (2010). Comité Europeo de Normalización Electrotécnica (CENELEC).

15. Anexos

15.1. Índice de figuras

Figura 1. Tapadora-enroscadora en línea VS 400	9
Figura 2. Tapadora-enroscadora automática VS 500	10
Figura 3. Tapadora-enroscadora automática VS 500	10
Figura 4. Tapadora-enroscadora automática VS 500	10
Figura 5. Tapadora-enroscadora automática VS 500	11
Figura 6. Tapadora-enroscadora automática VS 500	11
Figura 7. Tapadora-enroscadora automática VS 500	11
Figura 8. Tapadora-enroscadora semiautomática VS 100	12
Figura 9. Máquina de atornillado manual VS50	12
Figura 10. Desenroscadora Kronos Rotomat	13
Figura 11. Bomba seleccionada para el proyecto	17
Figura 12. Características de la bomba seleccionada para el proyecto	17
Figura 13. Características de la bomba seleccionada para el proyecto	17
Figura 14. Características de la bomba seleccionada para el proyecto	18
Figura 15. Funciones que se deben cumplir	19
Figura 16. Máquina con cinta transportadora	20
Figura 17. Máquina rotativa circular	20
Figura 18. Disposición de las submáquinas en la máquina rotativa circular	21
Figura 19. Sistema de 2 ruedas	22
Figura 20. Sistema de 3 ruedas	22
Figura 21. Sistema de 4 ruedas	22
Figura 22. Pinza de agarre de tapón	23
Figura 23. Disposición de 4 pinzas de agarre alrededor del tapón	23
Figura 24. Tubo de llenado	23
Figura 25. Sistema para regular la altura de las submáquinas	24
Figura 26. Parte inferior de la columna	24
Figura 27. Parte intermedia de la columna	24
Figura 28. Parte superior de la columna	25
Figura 29. Columna completa	25
Figura 30. Esquema desproporcionado de la máquina	25
Figura 31. Pinza hidráulica	26
Figura 32. Cámara estanca para el brazo hidráulico	26
Figura 33. Disposición de las 4 pinzas	26
Figura 34. Ensamblaje completo de la máquina	27
Figura 35. Ensamblaje completo de la máquina	27
Figura 36. Ensamblaje completo de la máquina	28
Figura 37. Subconjunto estructura principal	28
Figura 38. Subconjunto estructura principal	29
Figura 39. Subconjunto estructura principal	29
Figura 40. Base inferior	29
Figura 41. Base inferior	30
Figura 42. Columna soporte inferior	30
Figura 43. Columna soporte unión	31
Figura 44. Columna soporte unión	31
Figura 45. Columna soporte superior	31
Figura 46. Base superior estática	32
Figura 47. Base superior estática	32
Figura 48. Jaula de rodamiento	32
Figura 49. Bola de rodamiento	33
Figura 50. Base superior móvil	33

Figura 51. Base superior móvil	33
Figura 52. Diseño inicial base superior móvil	34
Figura 53. Diseño inicial base superior móvil	34
Figura 54. Diseño inicial base superior móvil	34
Figura 55. Subconjunto de sujeción del recipiente	35
Figura 56. Subconjunto de sujeción del recipiente	35
Figura 57. Subconjunto de sujeción del recipiente	36
Figura 58. Soporte de recipiente	36
Figura 59. Soporte de recipiente	36
Figura 60. Mecanismo impulsor de agarrador	37
Figura 61. Mecanismo impulsor de agarrador	37
Figura 62. Mecanismo impulsor de agarrador	37
Figura 63. Brazo impulsor de agarrador	38
Figura 64. Brazo impulsor de agarrador	38
Figura 65. Tapa de mecanismo impulsor de agarrador	38
Figura 66. Tapa de mecanismo impulsor de agarrador	39
Figura 67. Tapa de mecanismo impulsor de agarrador	39
Figura 68. Agarrador de recipiente	39
Figura 69. Agarrador de recipiente	40
Figura 70. Pieza de contacto con recipiente	40
Figura 71. 8.2.6. Pieza de contacto con recipiente	41
Figura 72. Subconjunto enroscador/desenroscador del tapón	41
Figura 73. Subconjunto enroscador/desenroscador del tapón	41
Figura 74. Subconjunto enroscador/desenroscador del tapón	42
Figura 75. Subconjunto enroscador/desenroscador del tapón	42
Figura 76. Adaptador de subsistema	43
Figura 77. Adaptador de subsistema	43
Figura 78. Adaptador de subsistema	43
Figura 79. Regulador altura de subsistema	44
Figura 80. Regulador altura de subsistema	44
Figura 81. Adaptador de subsistema tapa	44
Figura 82. Adaptador de subsistema tapa	45
Figura 83. Desenroscador interior	45
Figura 84. Desenroscador interior	45
Figura 85. Desenroscador interior	46
Figura 86. Desenroscador interior	46
Figura 87. Agarrador del tapón	46
Figura 88. Agarrador del tapón	47
Figura 89. Desenroscador exterior	47
Figura 90. Desenroscador exterior	47
Figura 91. Subconjunto dispensador de producto	48
Figura 92. Tubo de llenado	48
Figura 93. Tubo de llenado	48
Figura 94. Soporte base inferior	49
Figura 95. Junta columna soporte inferior	49
Figura 96. Junta columna soporte superior	49
Figura 97. Diseño de la máquina	62
Figura 98. Datos de SolidWorks sobre el aluminio 3003	66
Figura 99. Ensayo de la pieza de contacto con tapón	66
Figura 100. Ensayo de la pieza de contacto con tapón	67
Figura 101. Parámetros de mallado	67
Figura 102. Mallado del ensayo de la pieza de contacto con tapón	67
Figura 103. Tensión de von Mises de la pieza de contacto con tapón	68

Figura 104. Desplazamientos de la pieza de contacto con tapón	68
Figura 105. Deformaciones de la pieza de contacto con tapón	68
Figura 106. Ensayo del desenroscador interior	69
Figura 107. Ensayo del desenroscador interior	69
Figura 108. Ensayo del desenroscador interior	69
Figura 109. Ensayo del desenroscador interior	70
Figura 110. Mallado del desenroscador interior	70
Figura 111. Tensión von Mises del desenroscador interior	70
Figura 112. Desplazamientos del desenroscador interior	71
Figura 113. Deformaciones del desenroscador interior	71
Figura 114. Desenroscador exterior	72
Figura 115. Ensayo del desenroscador exterior	72
Figura 116. Ensayo del desenroscador exterior	72
Figura 117. Parámetros de mallado del desenroscador exterior	73
Figura 118. Mallado del desenroscador exterior	73
Figura 119. Tensión von Mises del desenroscador exterior	73
Figura 120. Desplazamientos del desenroscador exterior	74
Figura 121. Deformaciones del desenroscador exterior	74
Figura 122. Datos de SolidWorks sobre el acero AISI 304	75
Figura 123. Ensayo de la pieza de contacto con recipiente	75
Figura 124. Ensayo de la pieza de contacto con recipiente	75
Figura 125. Mallado de la pieza de contacto con recipiente	75
Figura 126. Tensión von Mises de la pieza de contacto con recipiente	76
Figura 127. Desplazamientos de la pieza de contacto con recipiente	76
Figura 128. Deformaciones de la pieza de contacto con recipiente	76
Figura 129. Tensión von Mises de la pieza de contacto con recipiente	77
Figura 130. Desplazamientos de la pieza de contacto con recipiente	77
Figura 131. Deformaciones de la pieza de contacto con recipiente	78
Figura 132. Corrección del agarrador de recipiente	78
Figura 133. Corrección del agarrador de recipiente	79
Figura 134. Ensayo del agarrador de recipiente	79
Figura 135. Ensayo del agarrador de recipiente	79
Figura 136. Parámetros de mallado del agarrador de recipiente	79
Figura 137. Mallado del agarrador de recipiente	80
Figura 138. Tensión von Mises del agarrador de recipiente	80
Figura 139. Desplazamientos del agarrador de recipiente	80
Figura 140. Deformaciones del agarrador de recipiente	81
Figura 141. Ensayo del brazo impulsor de agarrador	81
Figura 142. Ensayo del brazo impulsor de agarrador	81
Figura 143. Ensayo del brazo impulsor de agarrador	82
Figura 144. Tensión von Mises del brazo impulsor de agarrador	82
Figura 145. Tensión von Mises del brazo impulsor de agarrador	82
Figura 146. Desplazamientos del brazo impulsor de agarrador	83
Figura 147. Deformaciones del brazo impulsor de agarrador	83
Figura 148. Ensayo del mecanismo impulsor de agarrador	84
Figura 149. Ensayo del mecanismo impulsor de agarrador	84
Figura 150. Ensayo del mecanismo impulsor de agarrador	84
Figura 151. Ensayo del mecanismo impulsor de agarrador	85
Figura 152. Ensayo del mecanismo impulsor de agarrador	85
Figura 153. Tensión von Mises del mecanismo impulsor de agarrador	85
Figura 154. Tensión von Mises del mecanismo impulsor de agarrador	86
Figura 155. Desplazamientos del mecanismo impulsor de agarrador	86
Figura 156. Deformaciones del mecanismo impulsor de agarrador	86

Figura 157. Ensayo de la columna soporte superior	87
Figura 158. Ensayo de la columna soporte superior	87
Figura 159. Mallado de la columna soporte superior	88
Figura 160. Tensión von Mises de la columna soporte superior	88
Figura 161. Desplazamientos de la columna soporte superior	88
Figura 162. Deformaciones de la columna soporte superior	89
Figura 163. Ensayo de la columna soporte unión	89
Figura 164. Ensayo de la columna soporte unión	89
Figura 165. Mallado de la columna soporte unión	90
Figura 166. Tensión von Mises de la columna soporte unión	90
Figura 167. Desplazamientos de la columna soporte unión	90
Figura 168. Deformaciones de la columna soporte unión	91
Figura 169. Ensayo de la columna soporte inferior	91
Figura 170. Ensayo de la columna soporte inferior	91
Figura 171. Mallado de la columna soporte inferior	92
Figura 172. Tensión von Mises de la columna soporte inferior	92
Figura 173. Desplazamientos de la columna soporte inferior	92
Figura 174. Deformaciones de la columna soporte inferior	93
Figura 175. Ensayo de la base inferior	93
Figura 176. Ensayo de la base inferior	94
Figura 177. Ensayo de la base inferior	94
Figura 178. Mallado de la base inferior	94
Figura 179. Tensión von Mises de la base inferior	95
Figura 180. Desplazamientos de la base inferior	95
Figura 181. Deformaciones de la base inferior	95
Figura 182. Tensión von Mises de la base inferior	96
Figura 183. Desplazamientos de la base inferior	96
Figura 184. Deformaciones de la base inferior	97

15.2. Índice de tablas

Tabla 1. Características de los materiales	52
Tabla 2. Demandas de las piezas	54
Tabla 3. Resultados numéricos de la valoración	57
Tabla 4. Resumen de resultados	59
Tabla 5. Asignación final de materiales	61
Tabla 6. Parámetros físicos de las piezas	62
Tabla 7. Resultados de los ensayos	98
Tabla 8. Referencia de los planos de construcción	107

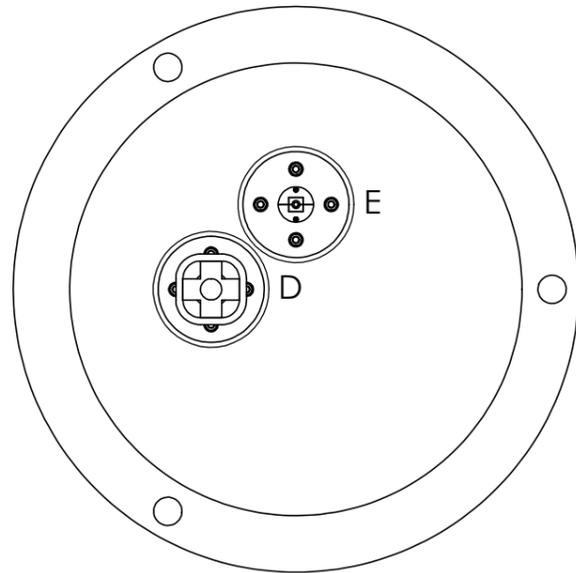
15.3. Planos

Se adjunta una tabla donde se relacionan el nombre de los conjuntos y las piezas con los números de referencia de sus planos de construcción.

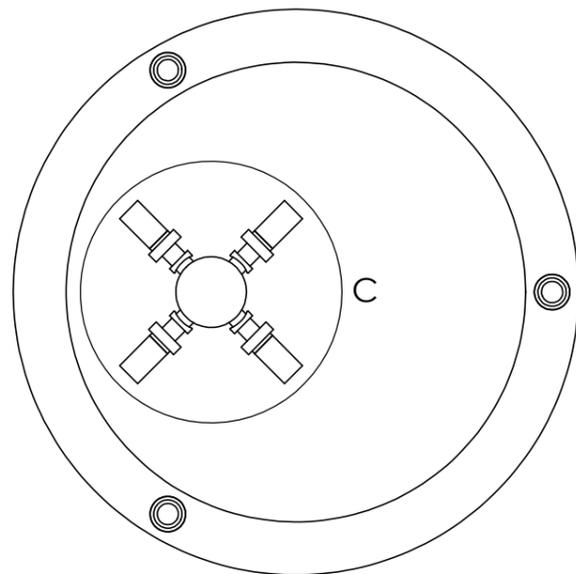
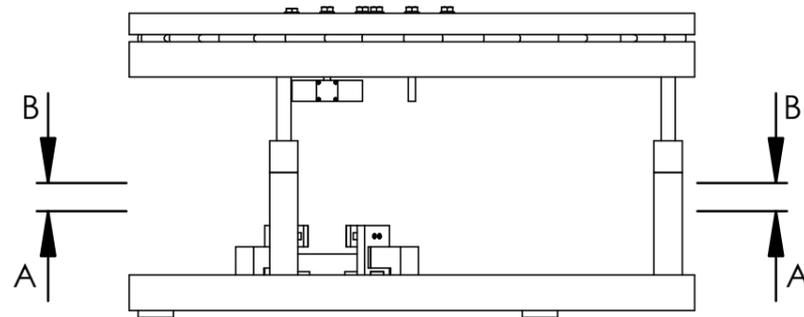
Tabla 8. Referencia de los planos de construcción

Maquina rellenadora de botes	001
Subconjunto estructura principal	002
Subconjunto sujeción del recipiente	003
Subconjunto enroscador de tapón	004
Subconjunto dispensador de producto	005

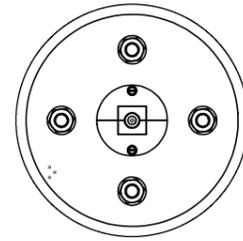
Base inferior	006
Soporte de recipiente	007
Agarrador de recipiente	008
Mecanismo impulsor de agarrador	009
Tapa de mecanismo impulsor de agarrador	010
Brazo impulsor de agarrador	011
Pieza de contacto con recipiente	012
Columna soporte inferior	013
Columna soporte unión	014
Columna soporte superior	015
Base superior estática	016
Base superior móvil	017
Jaula de rodamiento	018
Bola de rodamiento	019
Adaptador del subsistema	020
Regulador altura de subsistema	021
Adaptador del subsistema tapa	022
Desenroscador interior	023
Desenroscador exterior	024
Agarrador de tapón	025
Tubo de llenado	026
Soporte base inferior	027
Junta columna soporte inferior	028
Junta columna soporte superior	029



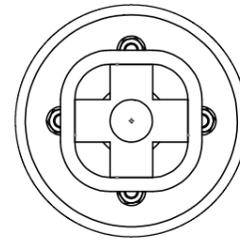
SECCIÓN A-A



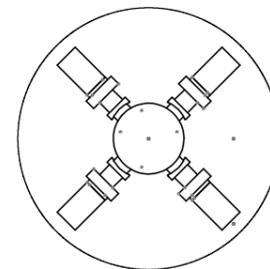
SECCIÓN B-B



DETALLE E
ESCALA 1 : 5
SUBCONJUNTO DISPENSADOR
DEL PRODUCTO

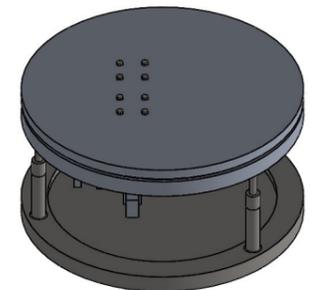


DETALLE D
ESCALA 1 : 5
SUBCONJUNTO ENROSCADOR
DEL TAPÓN

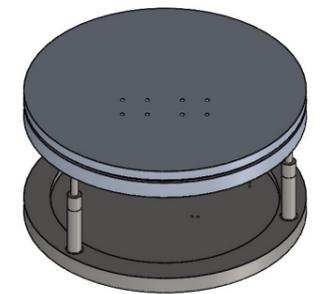
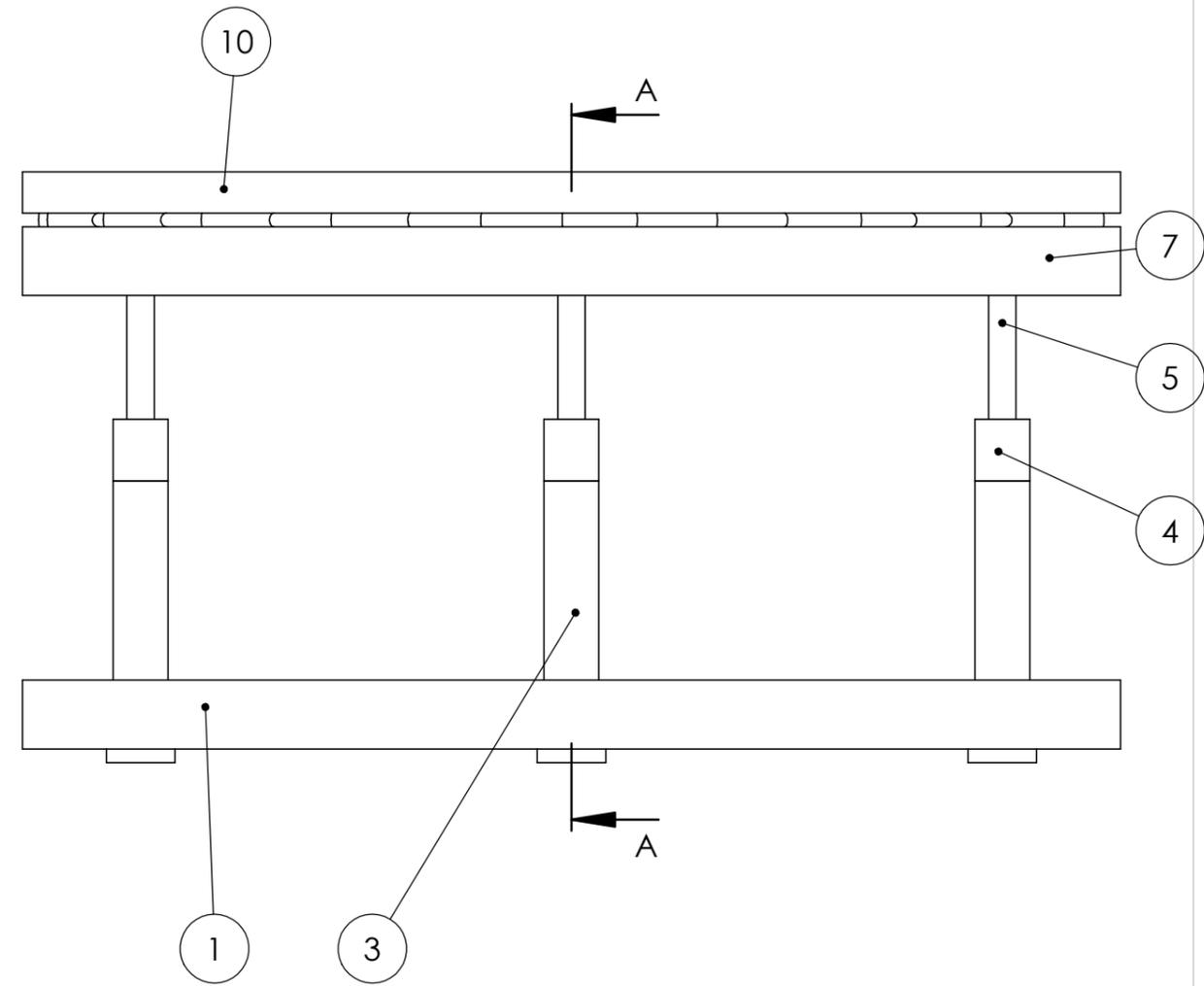
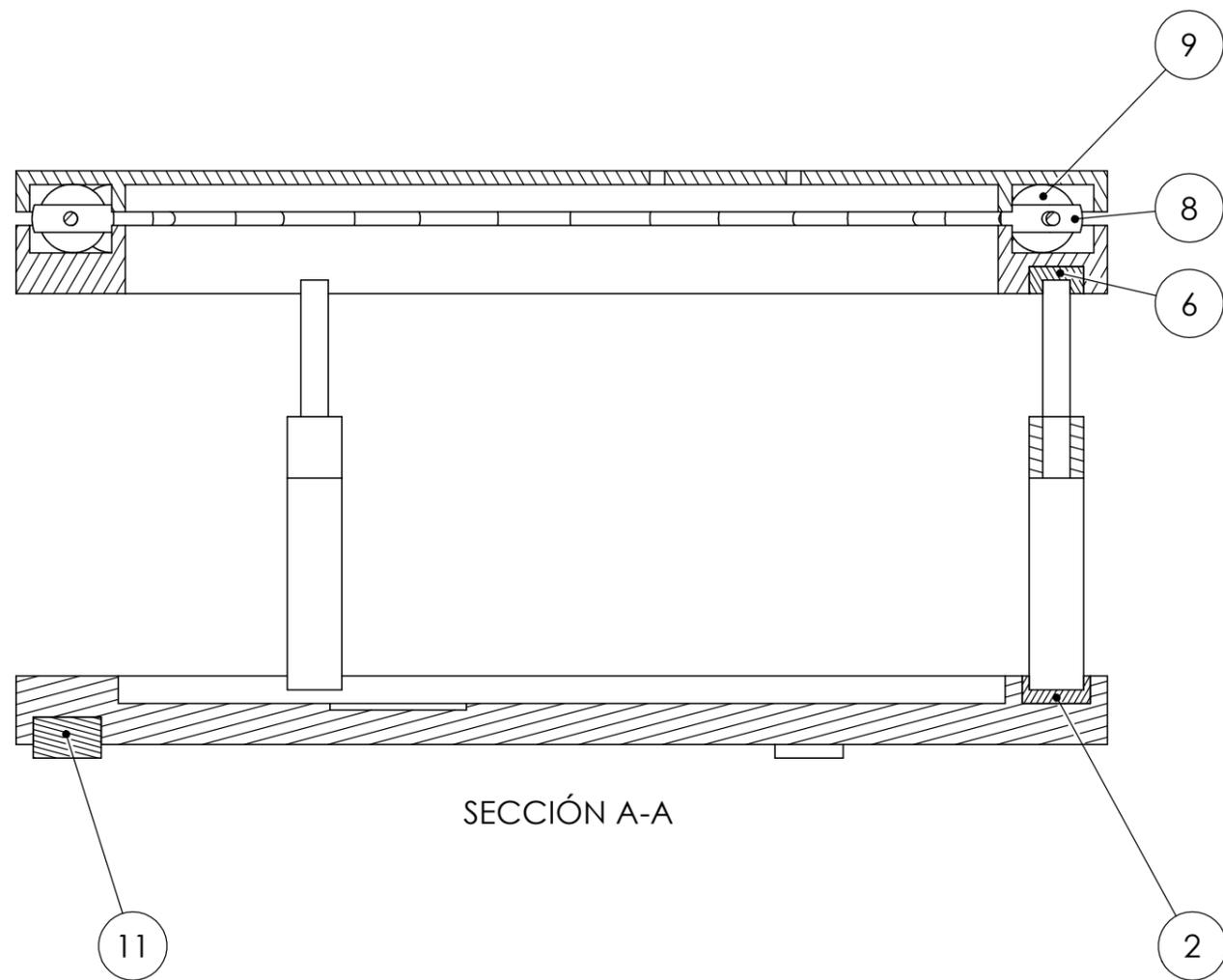


DETALLE C
ESCALA 1: 10
SUBCONJUNTO DE
SUJECIÓN DEL BOTE

EL RESTO DE PIEZAS QUE NO SE
ENCUENTRAN EN NINGUNO DE LOS
3 SUBCONJUNTO CONFORMARÍAN
EL CUARTO SUBCONJUNTO,
**SUBCONJUNTO ESTRUCTURA
PRINCIPAL**

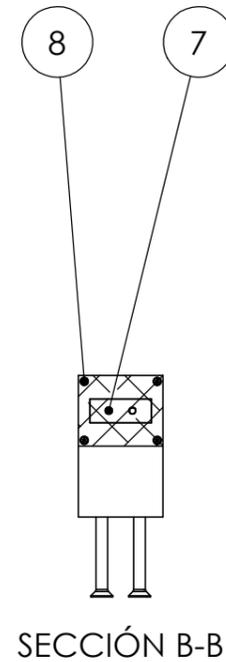
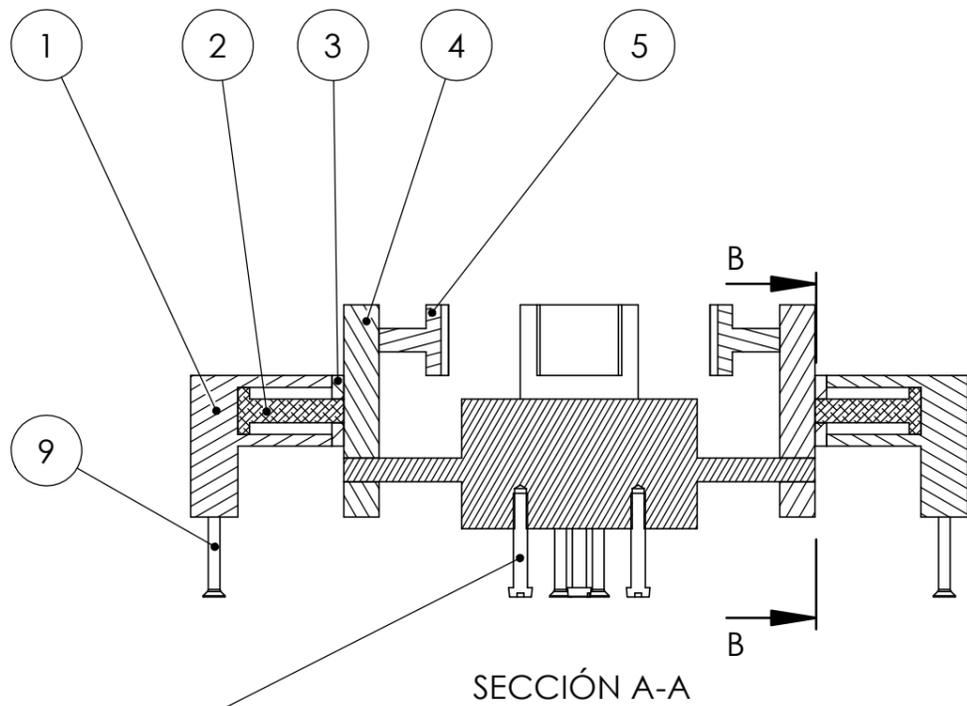
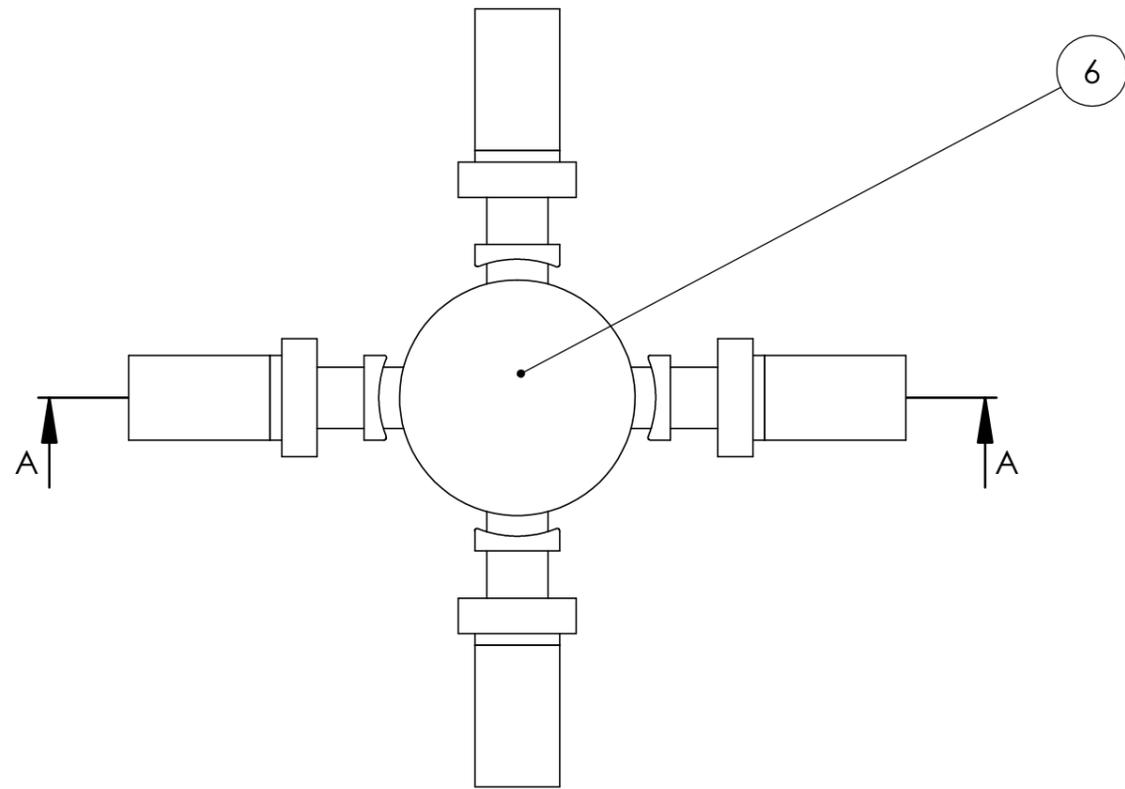


Autor: Carlos Taberna Zaratiegui	Escala: 1:10	Fecha: 07/9/2023
Tutor: Daniel Salcedo Pérez	Nombre pieza/conjunto: Máquina rellenaora de botes	Firma del autor:
Grado: Ingeniería Mecánica	Nº de referencia del plano: 001	
Centro: Universidad Pública de Navarra	Proyecto: Diseño de máquina rellenaora de botes	

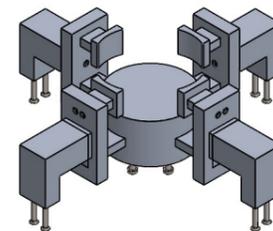


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATERIAL	REFERENCIA DEL PLANO	CANTIDAD
1	Base inferior	AISI 304	006	1
2	Junta columna soporte inferior	Caucho natural	028	3
3	Columna soporte inferior	AISI 304	013	3
4	Columna soporte unión	AISI 304	014	3
5	Columna soporte superior	AISI 304	015	3
6	Junta columna soporte superior	Caucho natural	029	3
7	Base superior estática	Aleación 3003	016	1
8	Jaula de rodamiento	Aleación 3003	018	1
9	Bola de rodamiento	Acero inoxidable al cromo	019	20
10	Base superior móvil	Aleación 3003	017	1
11	Soporte base inferior	Caucho natural	027	3

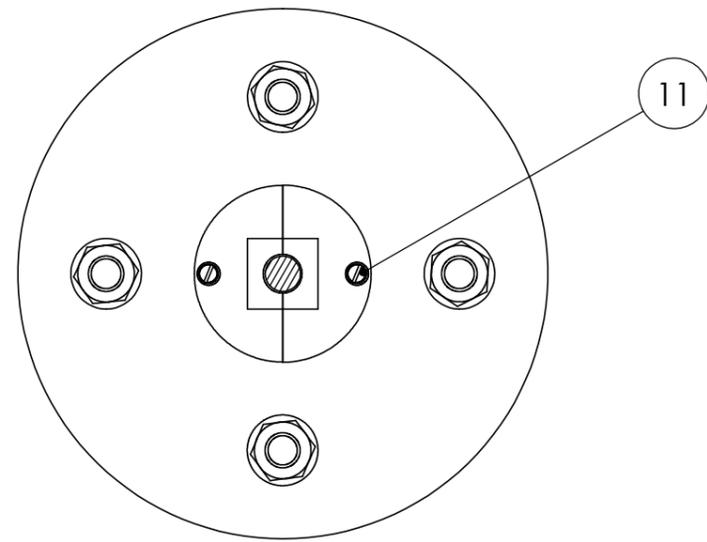
Autor: Carlos Taberna Zaratiegui	Escala: 1:5	Fecha: 07/9/2023
Tutor: Daniel Salcedo Pérez	Nombre pieza/conjunto: Subconjunto estructura principal	Firma del autor:
Grado: Ingeniería Mecánica	Nº de referencia del plano: 002	
Centro: Universidad Pública de Navarra	Proyecto: Diseño de máquina rellenadora de botes	



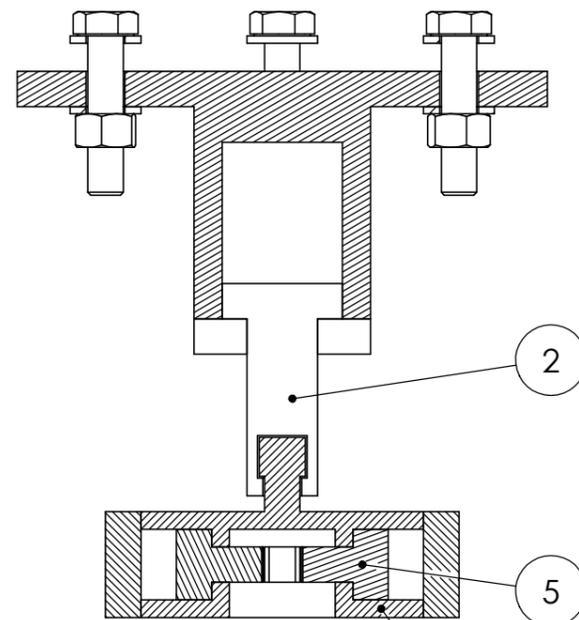
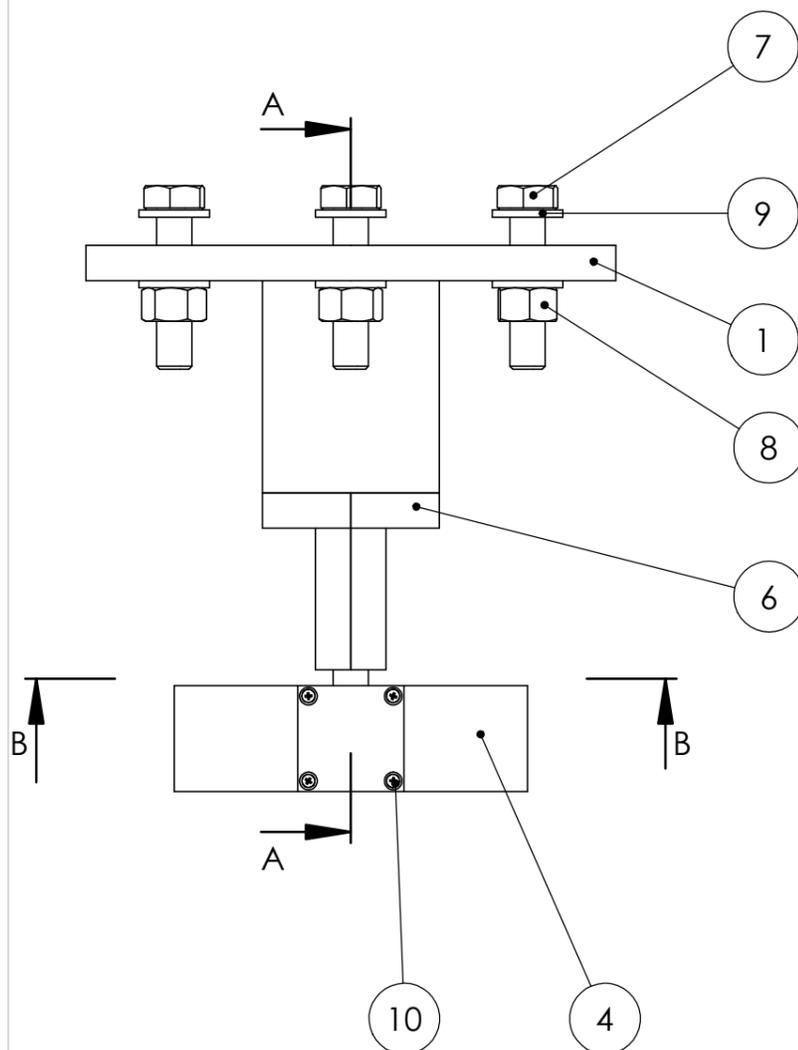
N.º DE ELEMENTO	NOMBRE DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	REFERENCIA DEL PLANO	CANTIDAD
1	Mecanismo impulsor de agarrador	Mecanismo impulsor de agarrador	Aleación 3003	009	4
2	Brazo impulsor de agarrador	Brazo impulsor de agarrador	Aleación 3003	011	4
3	Tapa de mecanismo impulsor de agarrador	Tapa de mecanismo impulsor de agarrador	Aleación 3003	010	4
4	Agarrador de recipiente	Agarrador de recipiente	Aleación 3003	008	4
5	Pieza de contacto con recipiente	Pieza de contacto con recipiente	Aleación 3003	012	4
6	Soporte de recipiente	Soporte de recipiente	Aleación 3003	007	1
7	ISO 7046-1 - M3 x 25 - Z - 25N	Tornillo hendidura cruz M3 x 25			8
8	ISO 7046-1 - M1.6 x 16 - Z - 16N	Tornillo hendidura cruz M1.6 - 16			16
9	ISO 7046-1 - M5 x 50 - Z - 50N	Tornillo hendidura cruz M5 x 50			8
10	ISO 1207 - M6 x 40 - 40N	Tornillo cabeza ranurada M6 x 40			4



Autor: Carlos Taberna Zaratiegui	Escala: 1:3	Fecha: 07/9/2023
Tutor: Daniel Salcedo Pérez	Nombre pieza/conjunto: Subconjunto sujeción del recipiente	Firma del autor:
Grado: Ingeniería Mecánica	Nº de referencia del plano: 003	
Centro: Universidad Pública de Navarra	Proyecto: Diseño de máquina rellenadora de botes	

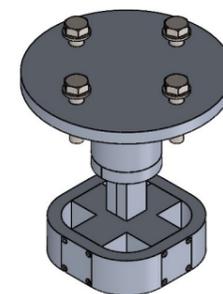


SECCIÓN B-B

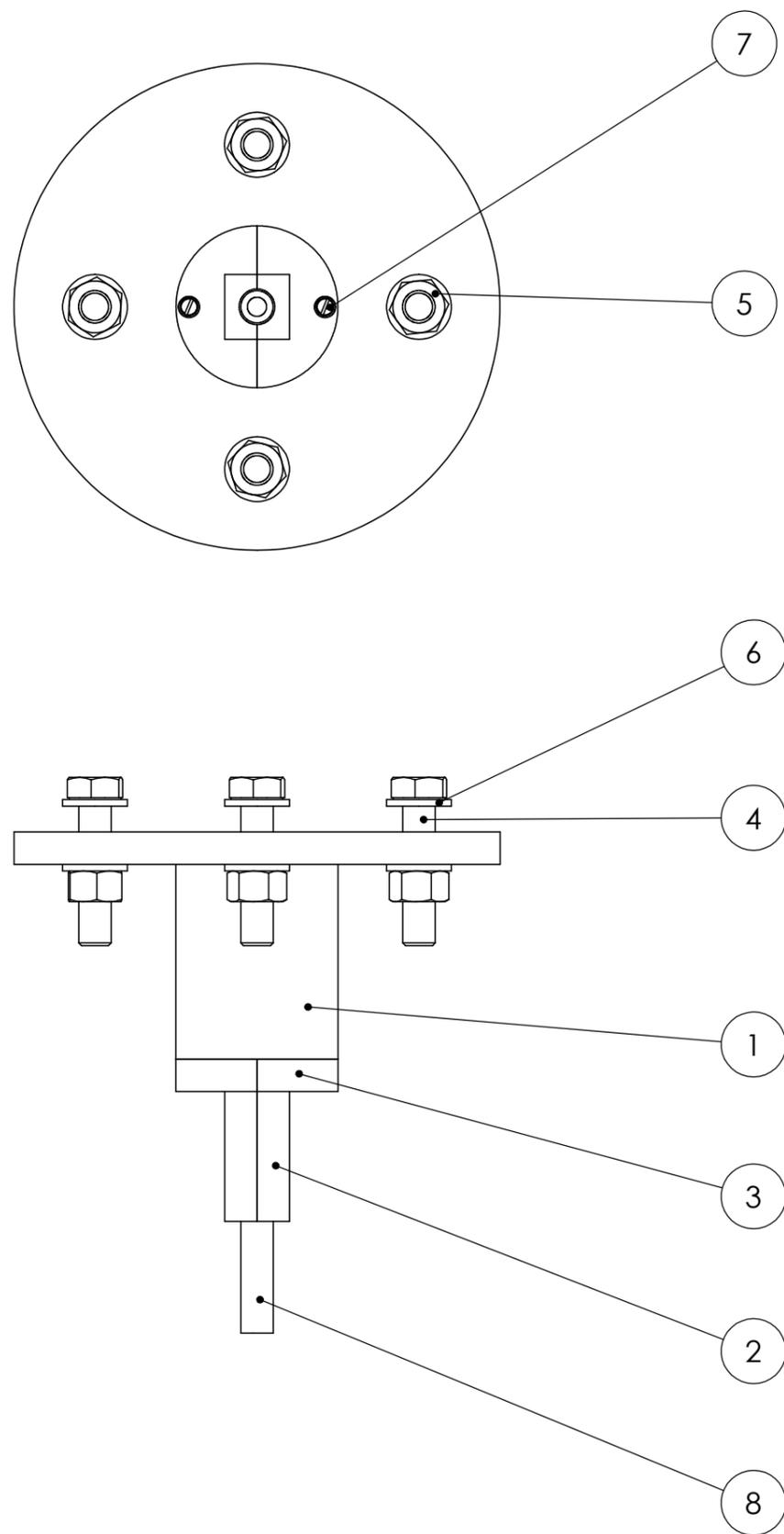


SECCIÓN A-A

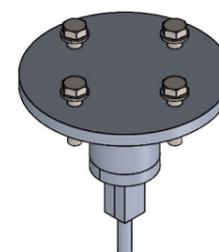
N.º DE ELEMENTO	NOMBRE DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	REFERENCIA DEL PLANO	CANTIDAD
1	Adaptador de subsistema	Adaptador de subsistema	Aleación 3003	015	1
2	Regulador altura de subsistema	Regulador altura de subsistema	Aleación 3003	021	2
3	Desenroscador interior	Desenroscador interior	Aleación 3003	023	1
4	Desenroscador exterior	Desenroscador exterior	Aleación 3003	024	1
5	Agarrador de tapón	Agarrador de tapón	Aleación 3003	025	4
6	Adaptador de subsistema tapa	Adaptador de subsistema tapa	Aleación 3003	022	2
7	ISO 4016 - M10 x 45 x 45-WN	Perno hexagonal M10 x 45			4
8	ISO - 4034 - M10 - N	Tuerca hexagonal M10			4
9	ISO 10673-11-S	Arandela D11			8
10	ISO 7046-1 - M2 x 20 - Z - 20N	Tornillo hendidura cruz M2 x 20			16
11	ISO 1207 - M3 x 25 - 25N	Tornillo cabeza raburada M2 x 25			2



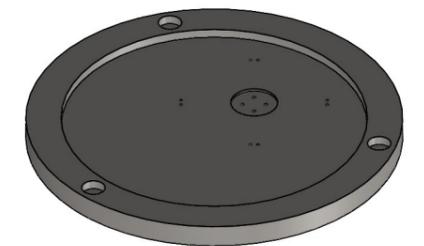
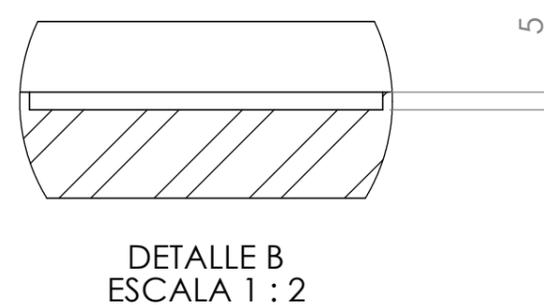
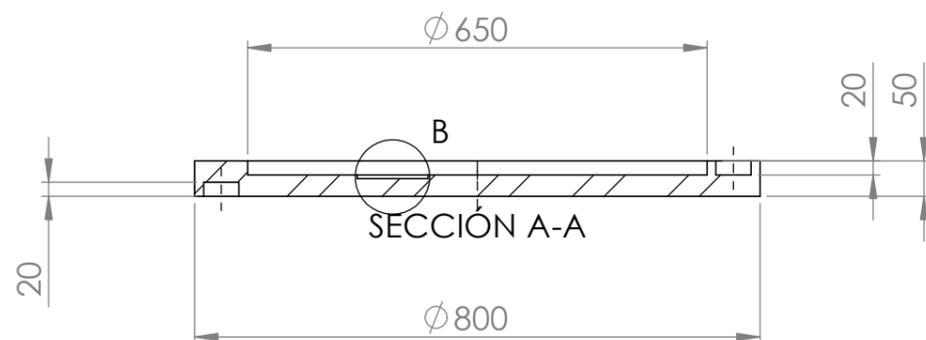
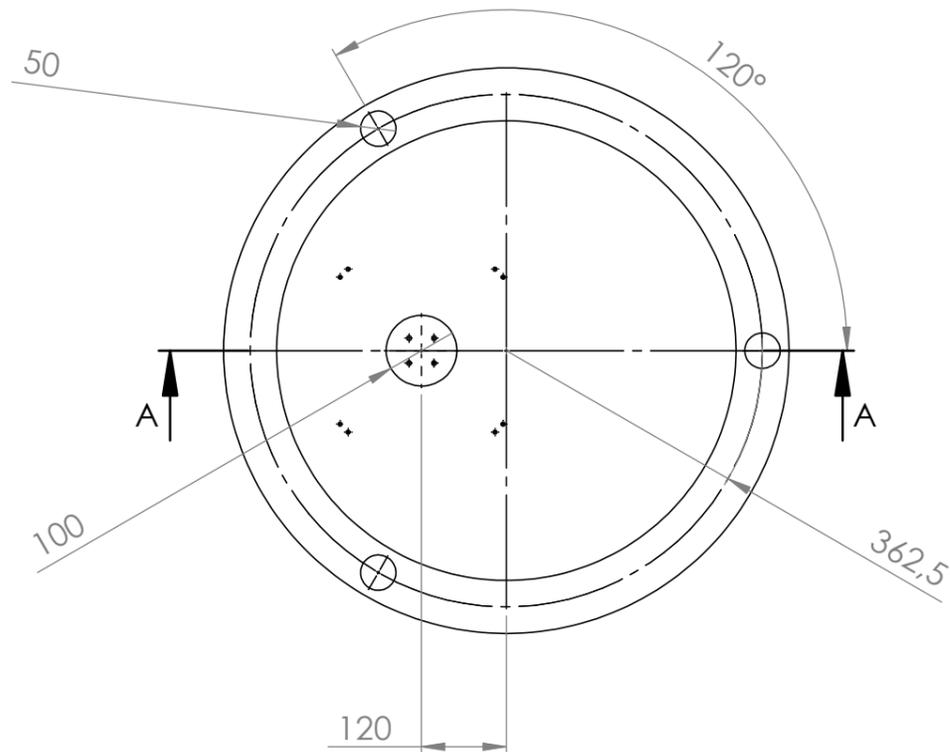
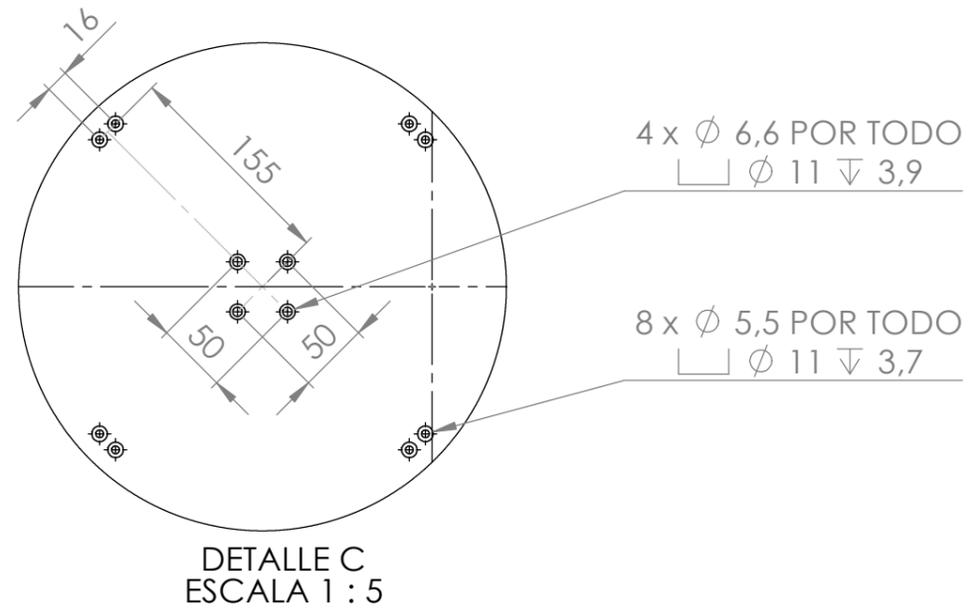
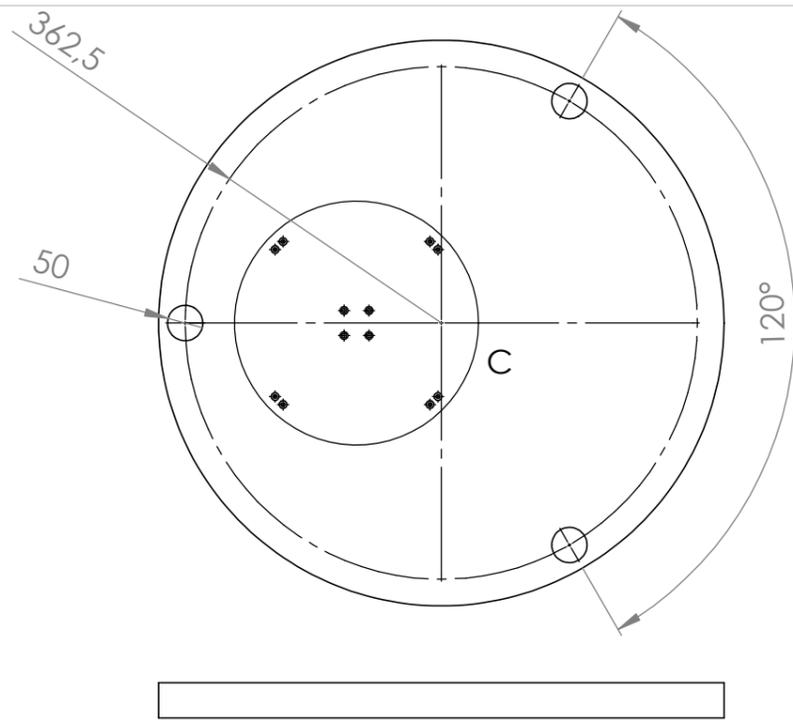
Autor: Carlos Taberna Zaratiegui	Escala: 1:2	Fecha: 07/9/2023
Tutor: Daniel Salcedo Pérez	Nombre pieza/conjunto: Subconjunto enroscador del tapón	Firma del autor:
Grado: Ingeniería Mecánica	Nº de referencia del plano: 004	
Centro: Universidad Pública de Navarra	Proyecto: Diseño de máquina rellenadora de botes	



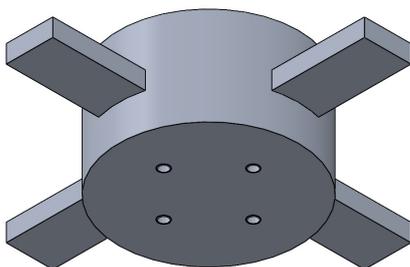
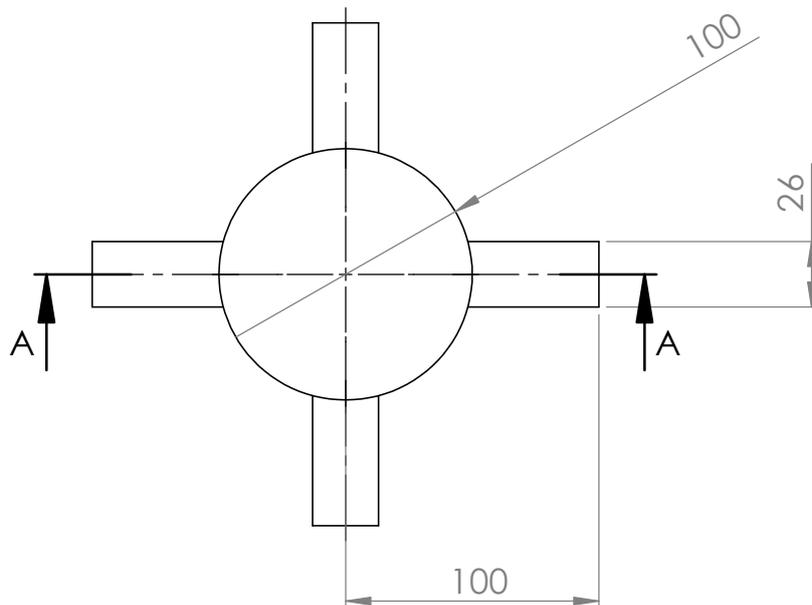
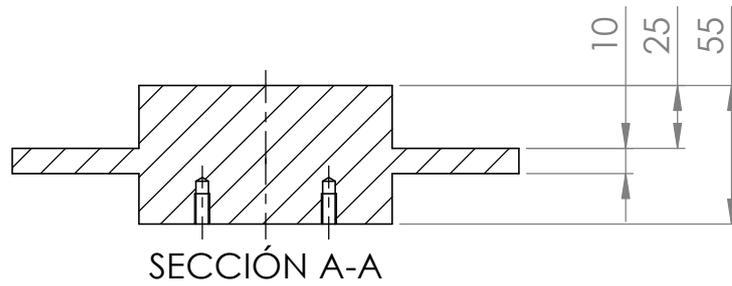
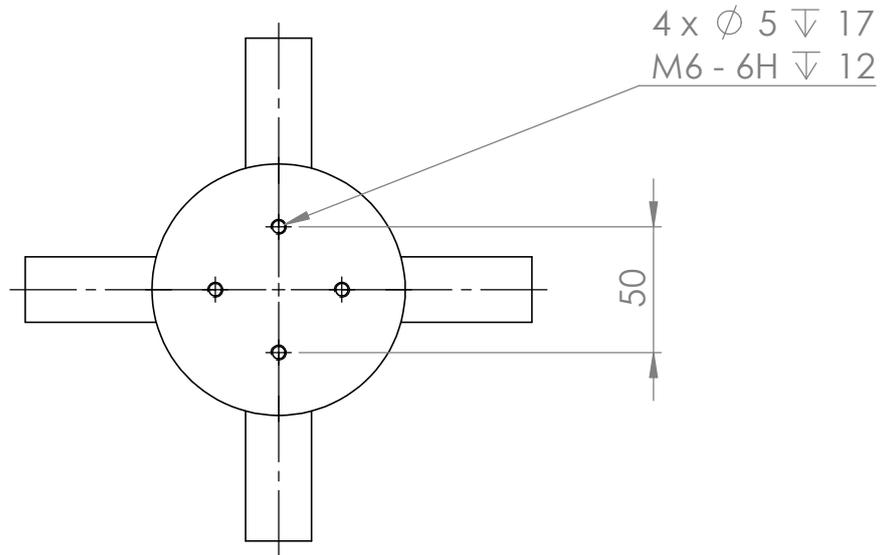
N.º DE ELEMENTO	NOMBRE DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	REFERENCIA DEL PLANO	CANTIDAD
1	Adaptador de subsistema	Adaptador de subsistema	Aleación 3003	020	1
2	Regulador altura de subsistema	Regulador altura de subsistema	Aleación 3003	021	2
3	Adaptador de subsistema tapa	Adaptador de subsistema tapa	Aleación 3003	022	2
4	ISO 4016 - M10 x 45 x 45-WN	Perno hexagonal M10 x 45			4
5	ISO - 4034 - M10 - N	Tuerca hexagonal M10			4
6	ISO 10673-11-S	Arandela D11			8
7	ISO 1207 - M3 x 25 - 25N	Tornillo cabeza raburada M2 x 25			2
8	Tubo de llenado	Tubo de llenado	Aleación 3003	026	1



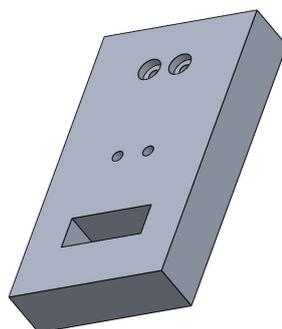
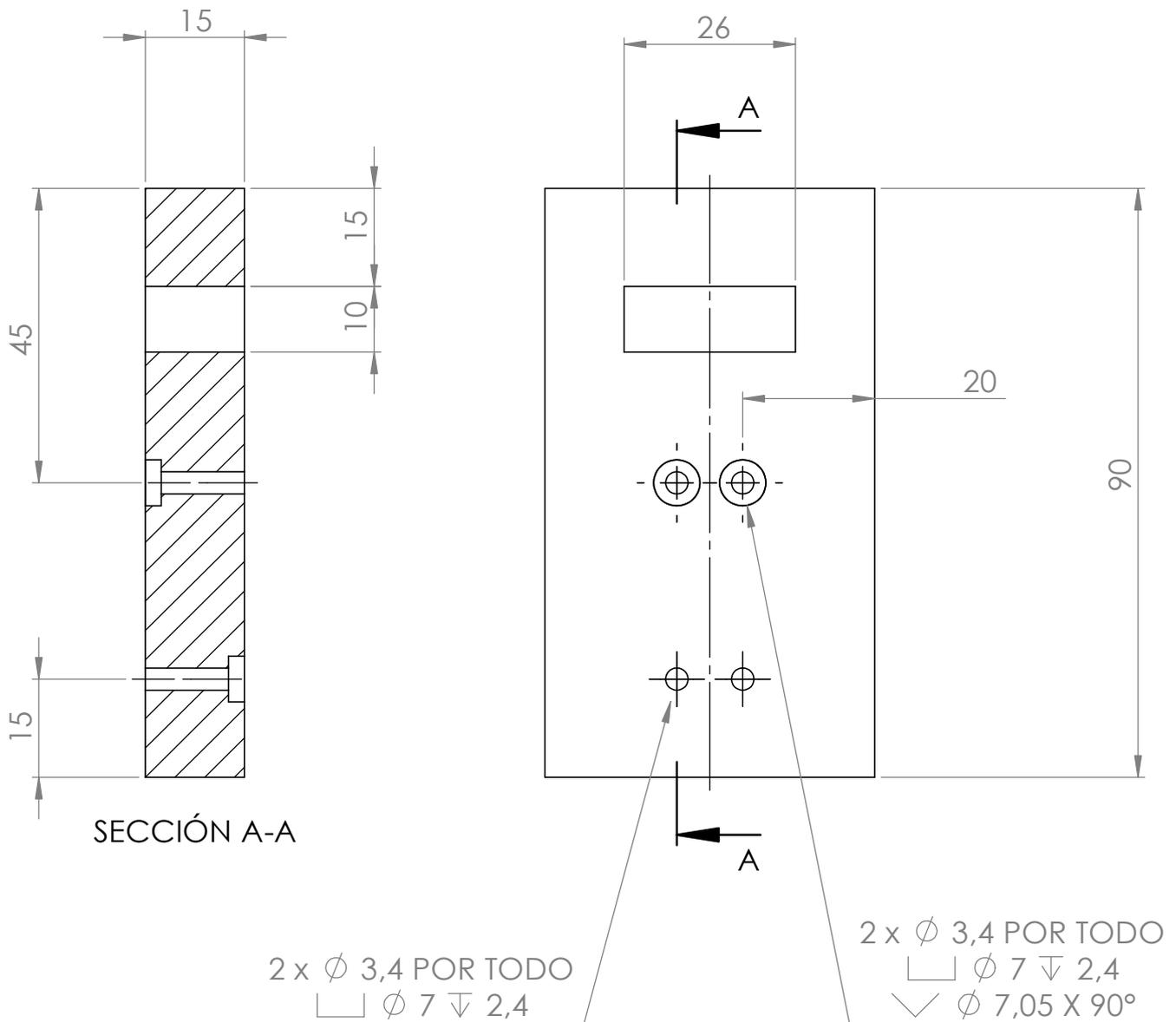
Autor: Carlos Taberna Zaratiegui	Escala: 1:2	Fecha: 07/9/2023
Tutor: Daniel Salcedo Pérez	Nombre pieza/conjunto: Subconjunto dispensador de producto	Firma del autor:
Grado: Ingeniería Mecánica	Nº de referencia del plano: 005	
Centro: Universidad Pública de Navarra	Proyecto: Diseño de máquina rellenadora de botes	



Autor: Carlos Taberna Zaratiegui	Escala: 1:10	Firma del autor:
Tutor: Daniel Salcedo Pérez	Nombre pieza/conjunto: Base inferior	Centro: Universidad Pública de Navarra
Grado: Ingeniería Mecánica	Nº de referencia del plano: 006	
Proyecto: Diseño de máquina rellenadora de botes	Material: AISI 304	

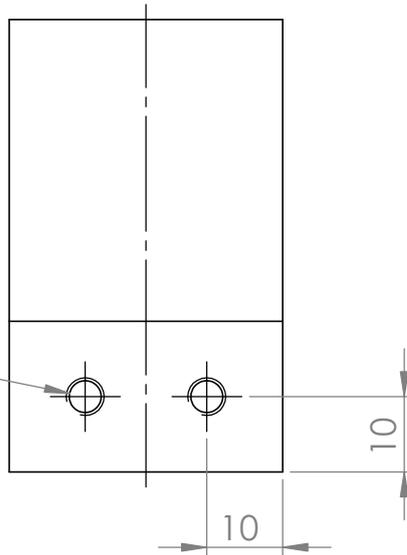


Autor: Carlos Taberna Zaratiegui	Escala: 1:3	Firma del autor:
Tutor: Daniel Salcedo Pérez	Nombre pieza/conjunto: Soporte de recipiente	Centro: Universidad Pública de Navarra
Grado: Ingeniería Mecánica	Nº de referencia del plano: 007	
Proyecto: Diseño de máquina rellenadora de botes	Material: Aleación 3003	

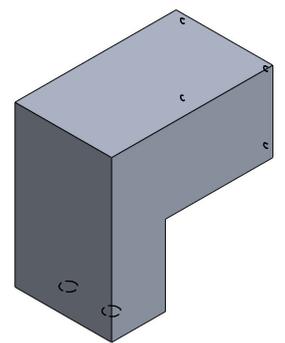
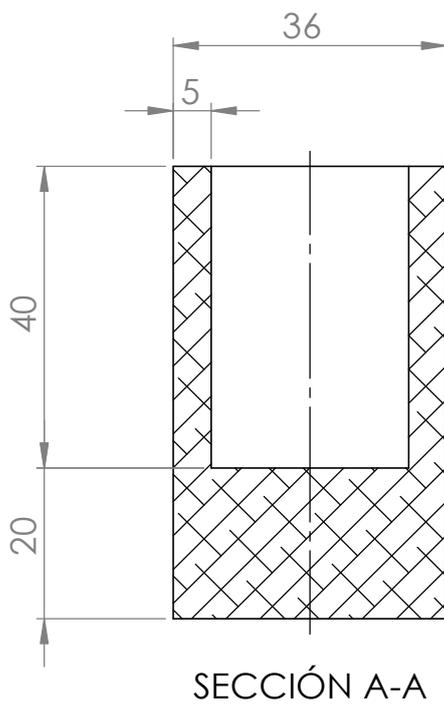
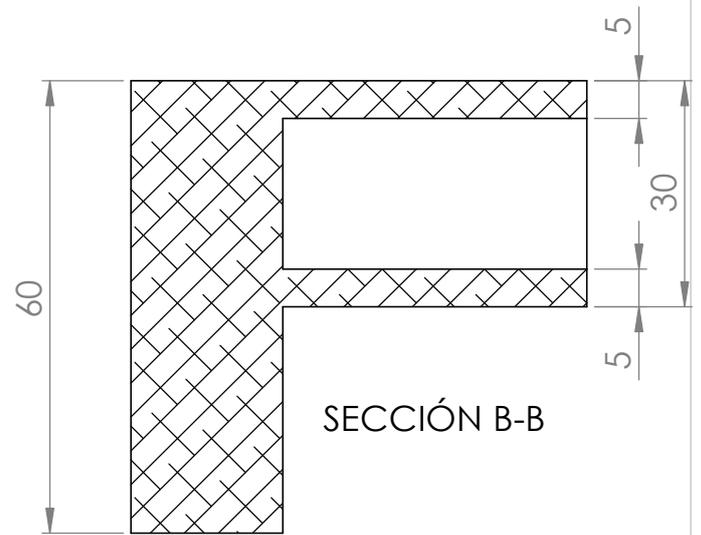
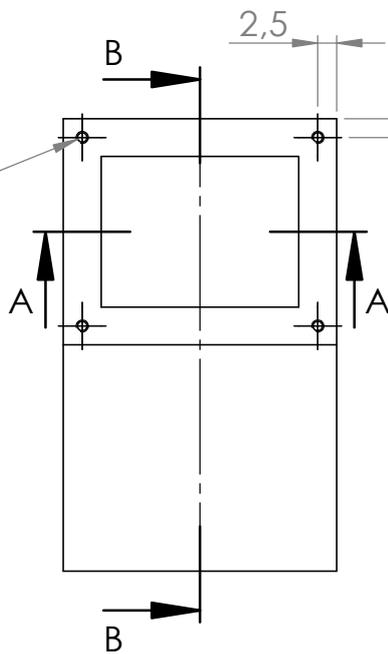


Autor: Carlos Taberna Zaratiegui	Escala: 1:1	Firma del autor:
Tutor: Daniel Salcedo Pérez	Nombre pieza/conjunto: Agarrador de recipiente	Centro: Universidad Pública de Navarra
Grado: Ingeniería Mecánica	Nº de referencia del plano: 008	
Proyecto: Diseño de máquina rellenadora de botes	Material: Aleación 3003	

2 x \varnothing 4,2 ∇ 23
M5 - 6H ∇ 18



4 x \varnothing 1,25 ∇ 14
M1.6 - 6H ∇ 9

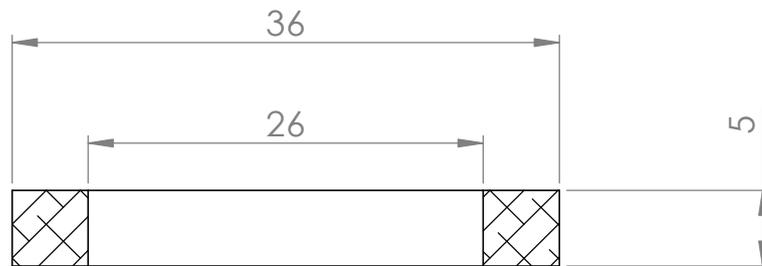
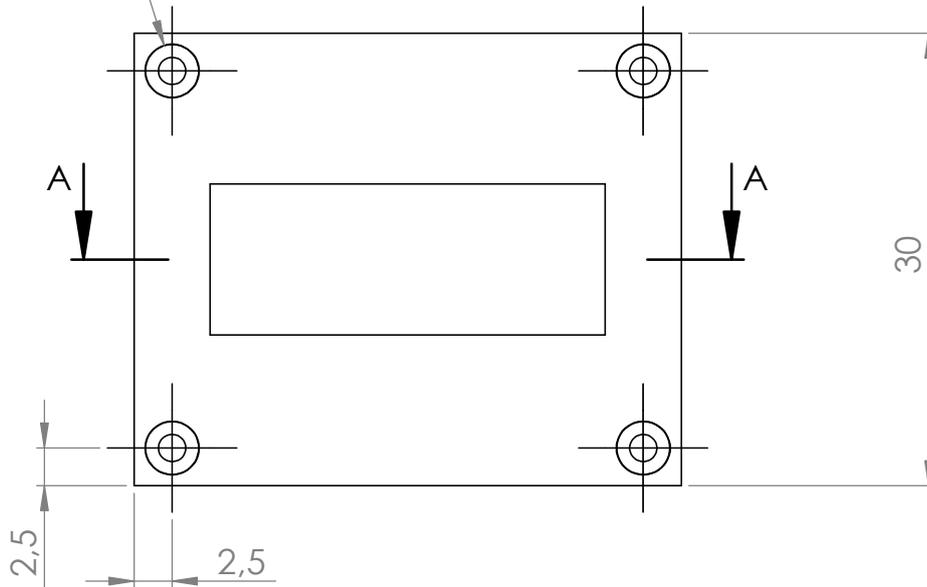


Autor: Carlos Taberna Zaratiegui	Escala: 1:1	Firma del autor:
Tutor: Daniel Salcedo Pérez	Nombre pieza/conjunto: Mecanismo impulsor de agarrador	Centro: Universidad Pública de Navarra
Grado: Ingeniería Mecánica	Nº de referencia del plano: 009	 <small>Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa</small>
Proyecto: Diseño de máquina rellenadora de botes	Material: Aleación 3003	

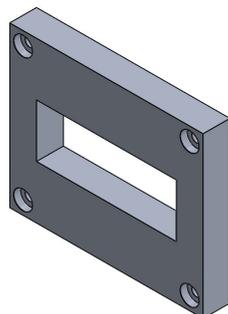
4 x ϕ 1,8 POR TODO

\square ϕ 3,5 ∇ 1,3

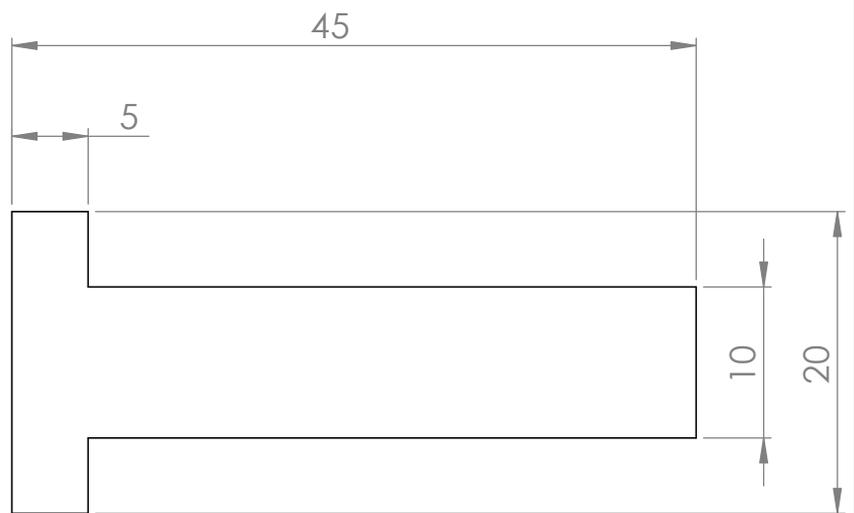
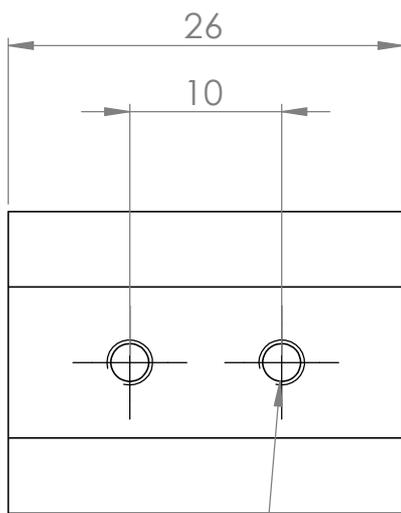
\sphericalangle ϕ 3,55 X 90°



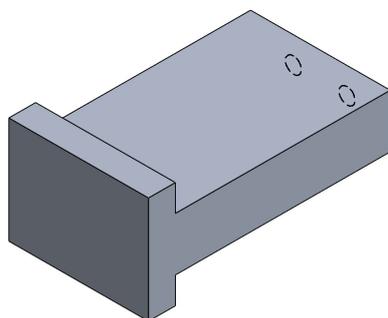
SECCIÓN A-A



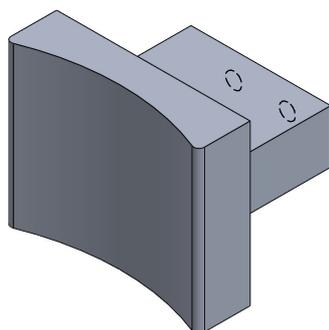
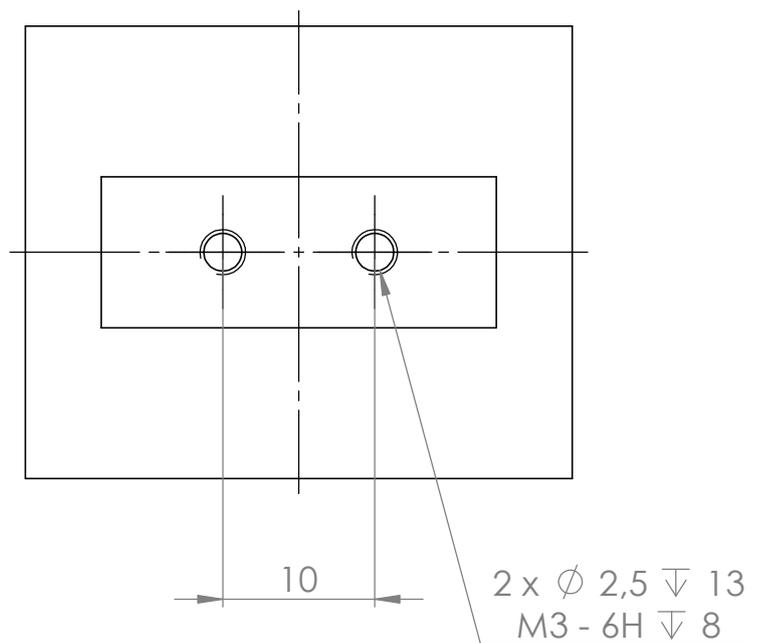
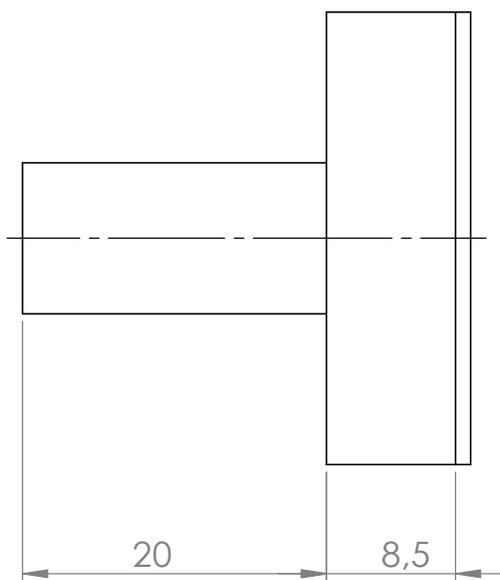
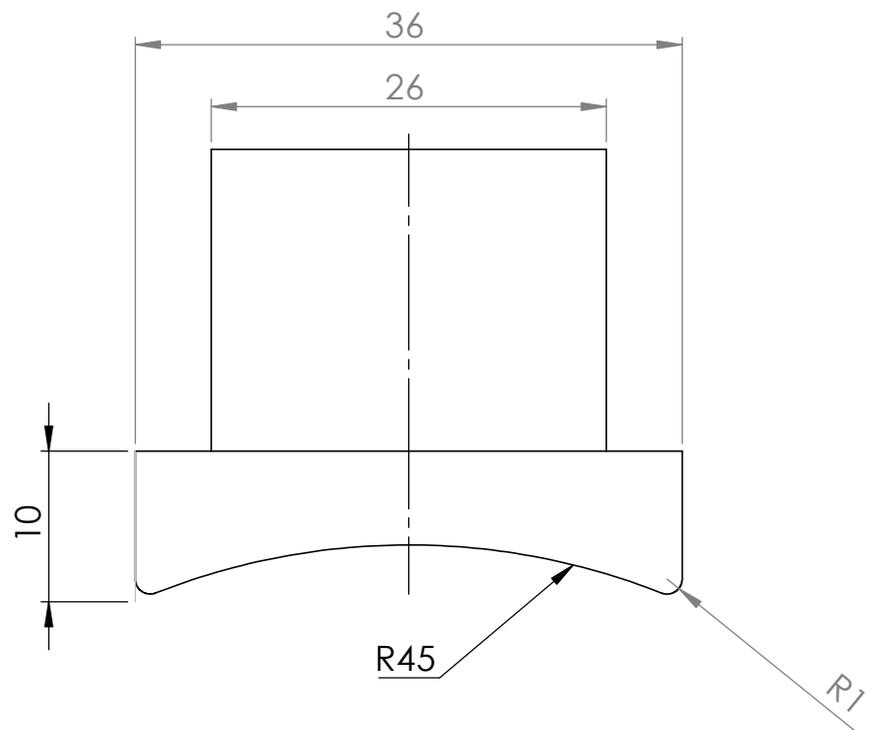
Autor: Carlos Taberna Zaratiegui	Escala: 2:1	Firma del autor:
Tutor: Daniel Salcedo Pérez	Nombre pieza/conjunto: Tapa de mecanismo impulsor de agarrador	Centro: Universidad Pública de Navarra
Grado: Ingeniería Mecánica	Nº de referencia del plano: 010	 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Proyecto: Diseño de máquina rellenadora de botes	Material: Aleación 3003	



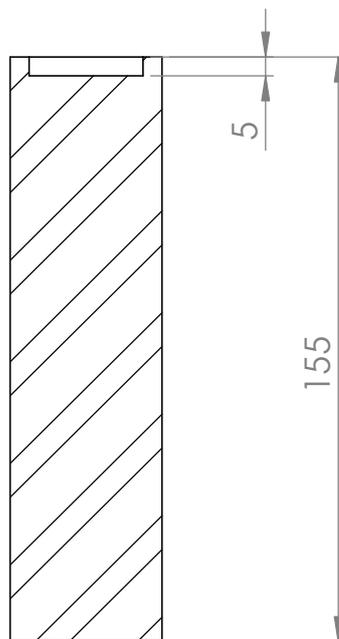
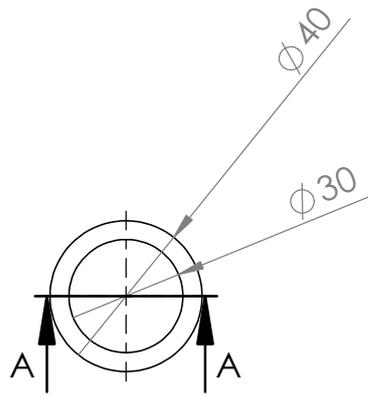
2 x \varnothing 2,5 ∇ 13
M3 - 6H ∇ 8



Autor: Carlos Taberna Zaratiegui	Escala: 2:1	Firma del autor:
Tutor: Daniel Salcedo Pérez	Nombre pieza/conjunto: Brazo impulsor de agarrador	Centro: Universidad Pública de Navarra
Grado: Ingeniería Mecánica	Nº de referencia del plano: 011	
Proyecto: Diseño de máquina rellenadora de botes	Material: Aleación 3003	



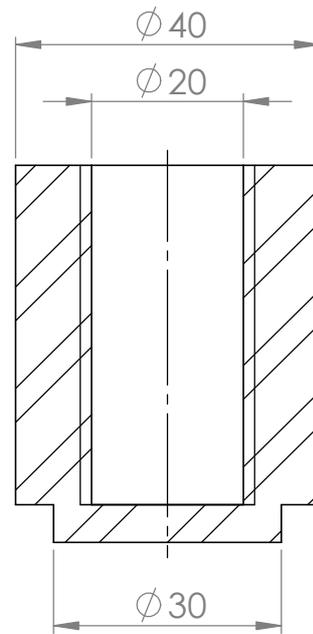
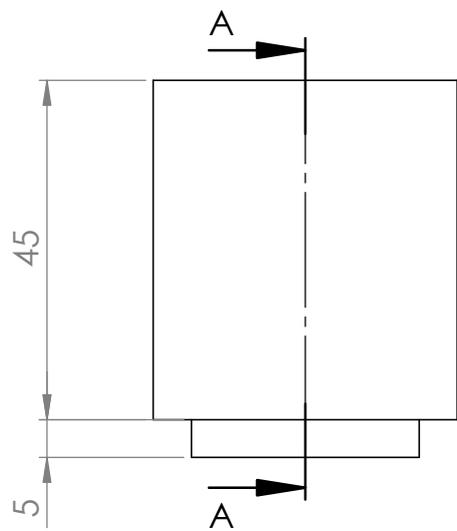
Autor: Carlos Taberna Zaratiegui	Escala: 2:1	Firma del autor:
Tutor: Daniel Salcedo Pérez	Nombre pieza/conjunto: Pieza de contacto con recipiente	Centro: Universidad Pública de Navarra
Grado: Ingeniería Mecánica	Nº de referencia del plano: 012	
Proyecto: Diseño de máquina rellenadora de botes	Material: Aleación 3003	



SECCIÓN A-A



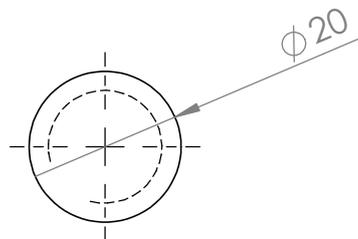
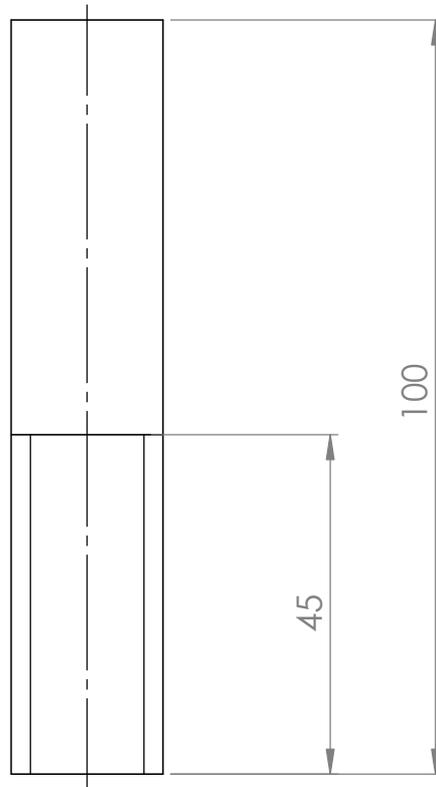
Autor: Carlos Taberna Zaratiegui	Escala: 1:2	Firma del autor:
Tutor: Daniel Salcedo Pérez	Nombre pieza/conjunto: Columna soporte inferior	Centro: Universidad Pública de Navarra
Grado: Ingeniería Mecánica	Nº de referencia del plano: 013	
Proyecto: Diseño de máquina rellenadora de botes	Material: AISI 304	



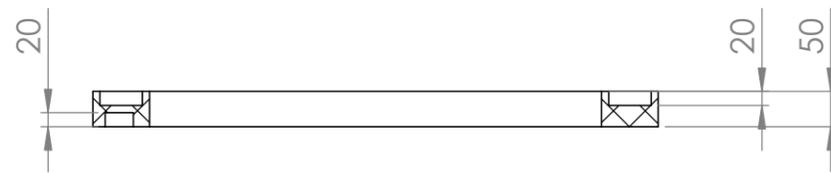
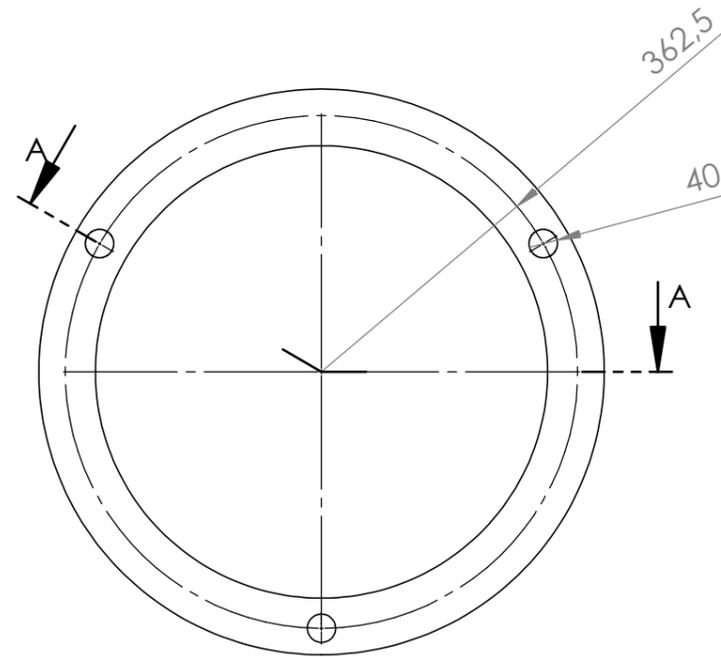
SECCIÓN A-A



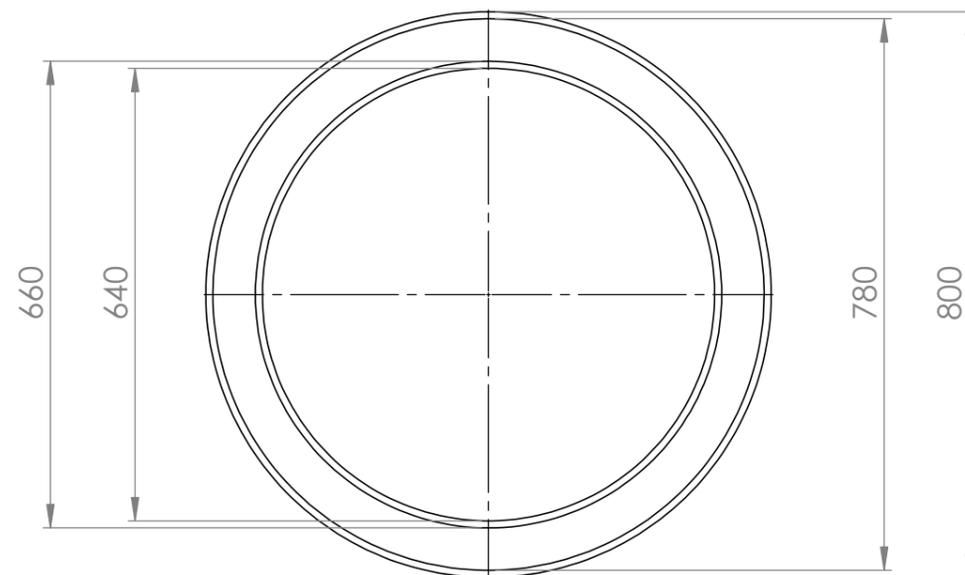
Autor: Carlos Taberna Zaratiegui	Escala: 1:1	Firma del autor:
Tutor: Daniel Salcedo Pérez	Nombre pieza/conjunto: Columna soporte unión	Centro: Universidad Pública de Navarra
Grado: Ingeniería Mecánica	Nº de referencia del plano: 014	
Proyecto: Diseño de máquina rellenadora de botes	Material: AISI 304	



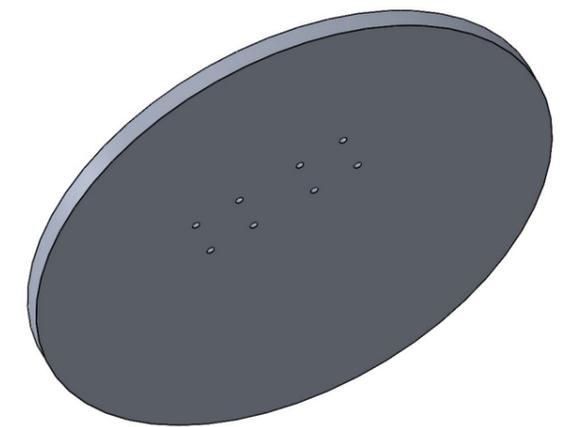
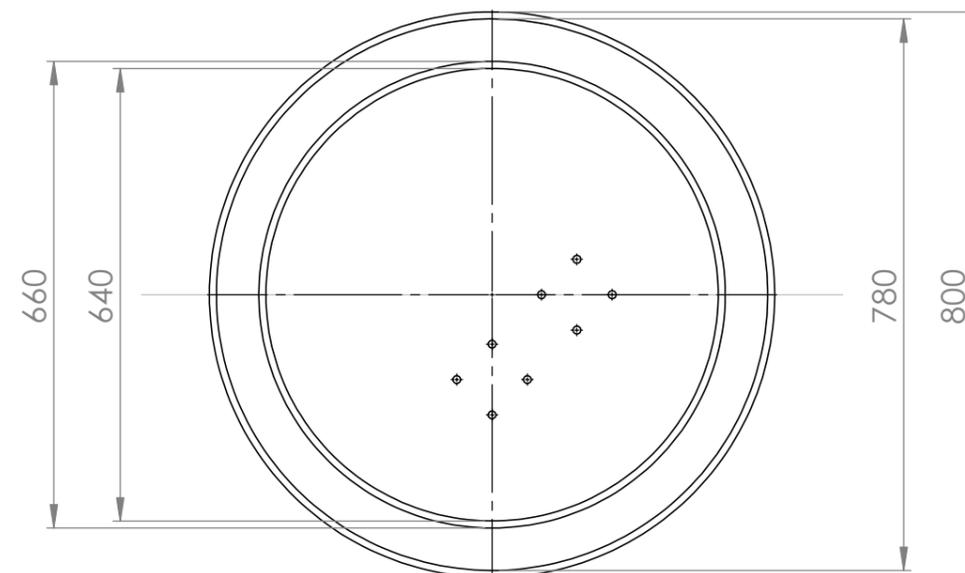
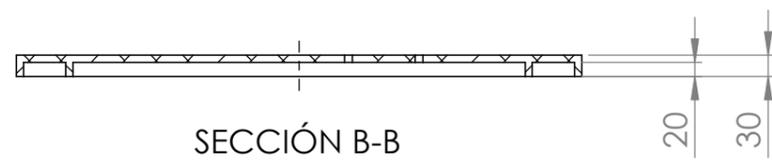
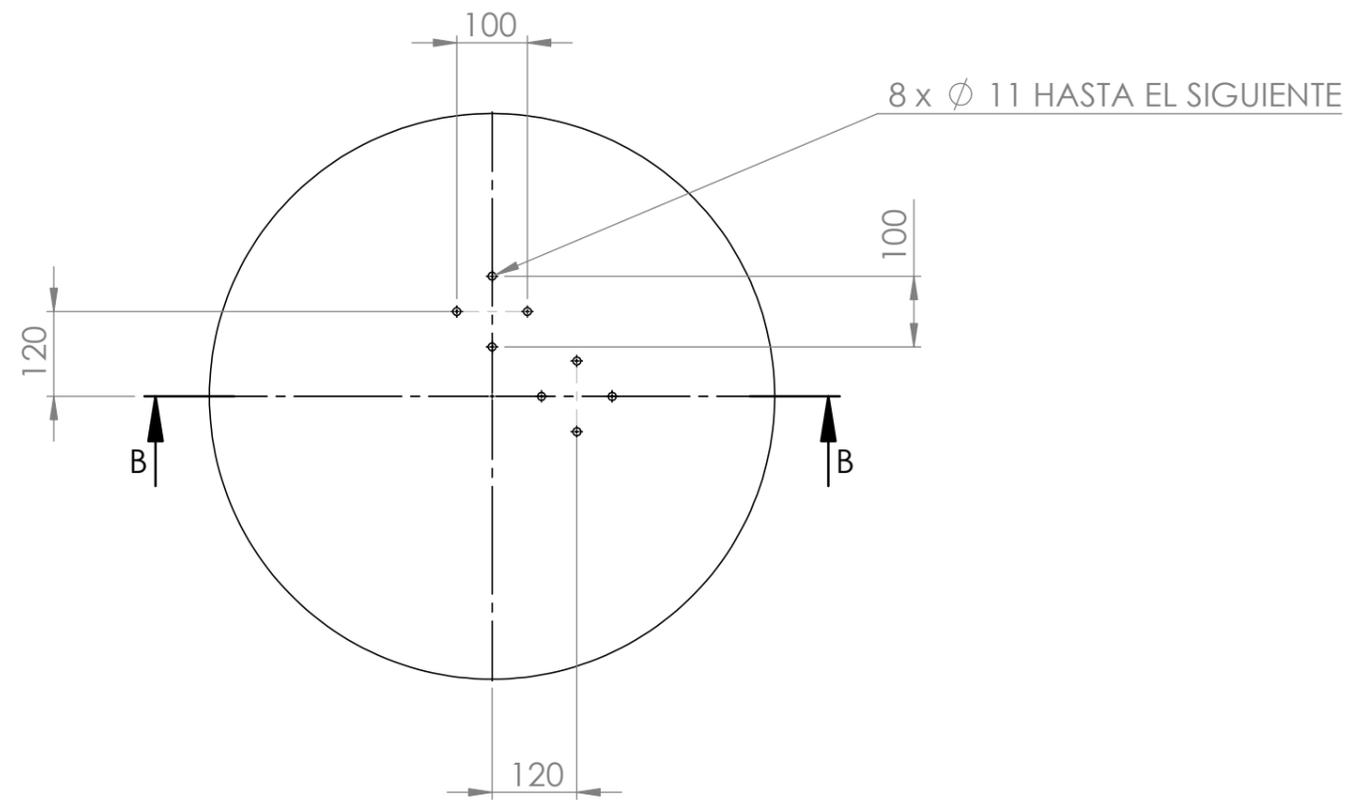
Autor: Carlos Taberna Zaratiegui	Escala: 1:1	Firma del autor:
Tutor: Daniel Salcedo Pérez	Nombre pieza/conjunto: Columna soporte superior	Centro: Universidad Pública de Navarra
Grado: Ingeniería Mecánica	Nº de referencia del plano: 015	
Proyecto: Diseño de máquina rellenadora de botes	Material: AISI 304	



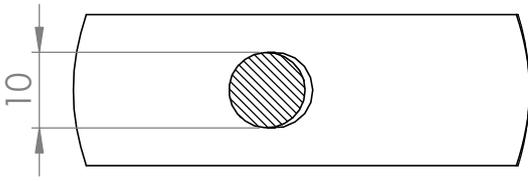
SECCIÓN A-A



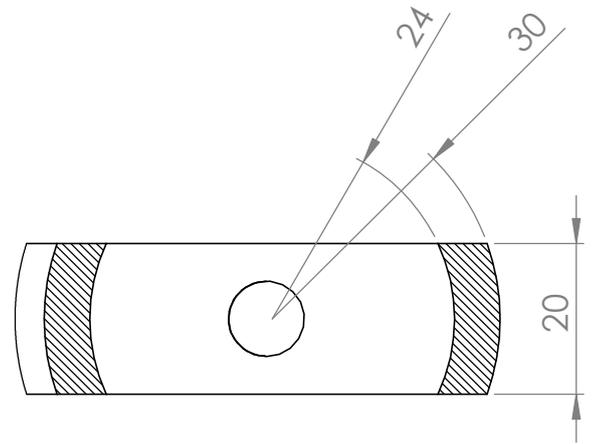
Autor: Carlos Taberna Zaratiegui	Escala: 1:10	Firma del autor:
Tutor: Daniel Salcedo Pérez	Nombre pieza/conjunto: Base superior estática	Centro: Universidad Pública de Navarra
Grado: Ingeniería Mecánica	Nº de referencia del plano: 016	
Proyecto: Diseño de máquina rellenadora de botes	Material: Aleación 3003	



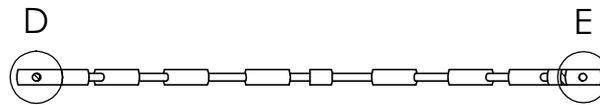
Autor: Carlos Taberna Zaratiegui	Escala: 1:10	Firma del autor:
Tutor: Daniel Salcedo Pérez	Nombre pieza/conjunto: Base superior móvil	Centro: Universidad Pública de Navarra
Grado: Ingeniería Mecánica	Nº de referencia del plano: 017	 <small>Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa</small>
Proyecto: Diseño de máquina rellenadora de botes	Material: Aleación 3003	



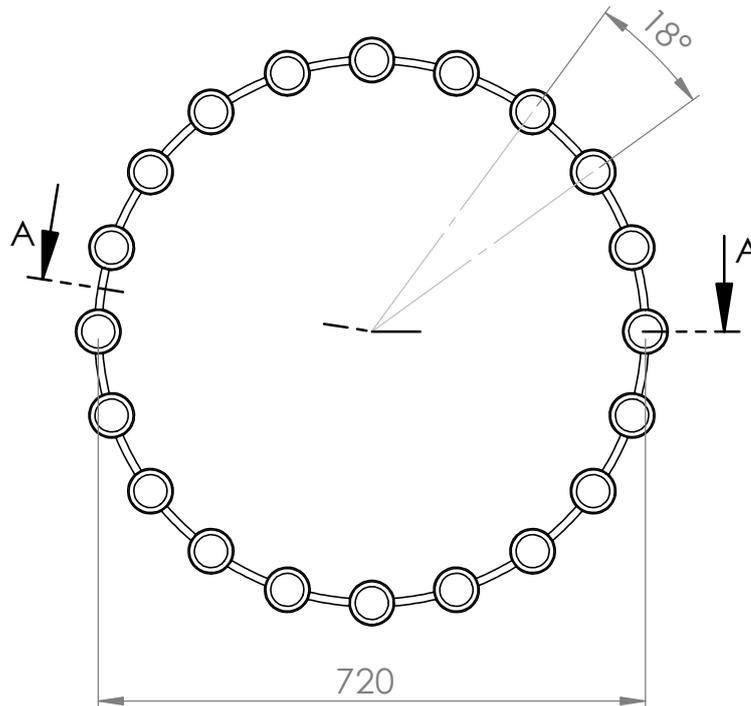
DETALLE D
ESCALA 1 : 1



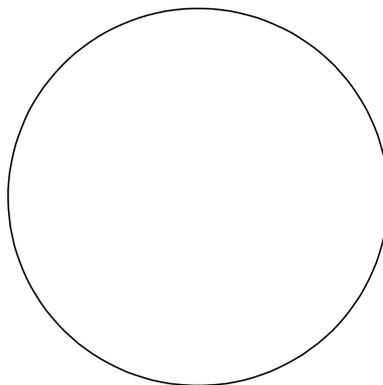
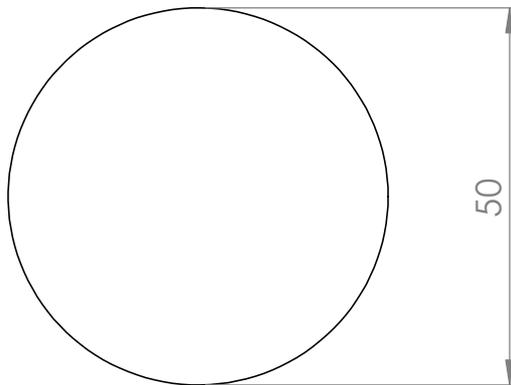
DETALLE E
ESCALA 1 : 1



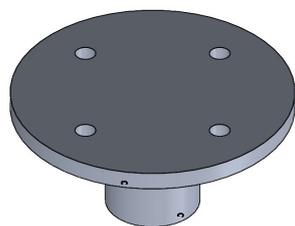
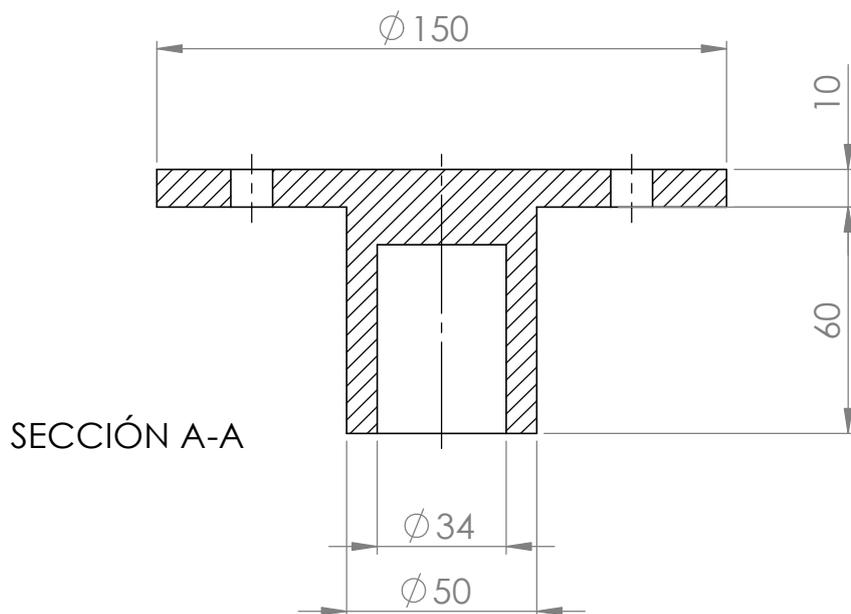
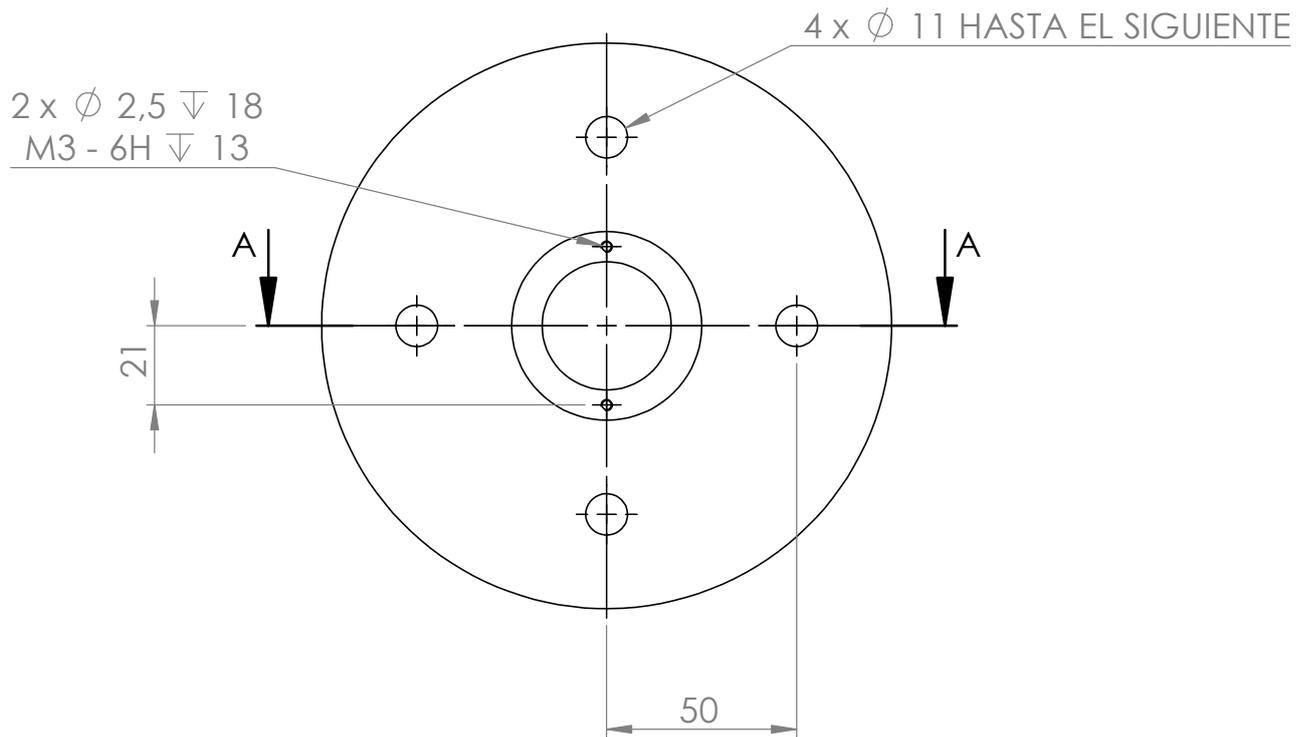
SECCIÓN A-A



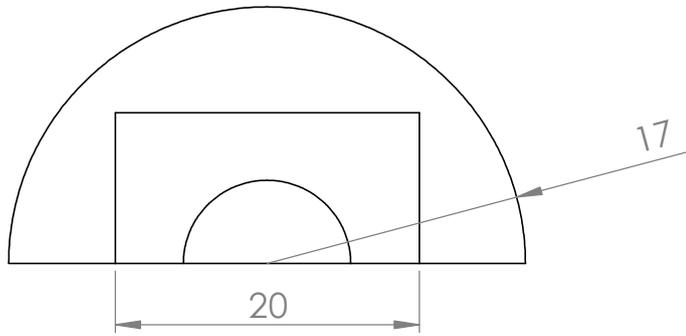
Autor: Carlos Taberna Zaratiegui	Escala: 1:10	Firma del autor:
Tutor: Daniel Salcedo Pérez	Nombre pieza/conjunto: Jaula de rodamiento	Centro: Universidad Pública de Navarra
Grado: Ingeniería Mecánica	Nº de referencia del plano: 018	
Proyecto: Diseño de máquina rellenadora de botes	Material: Aleación 3003	



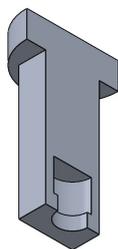
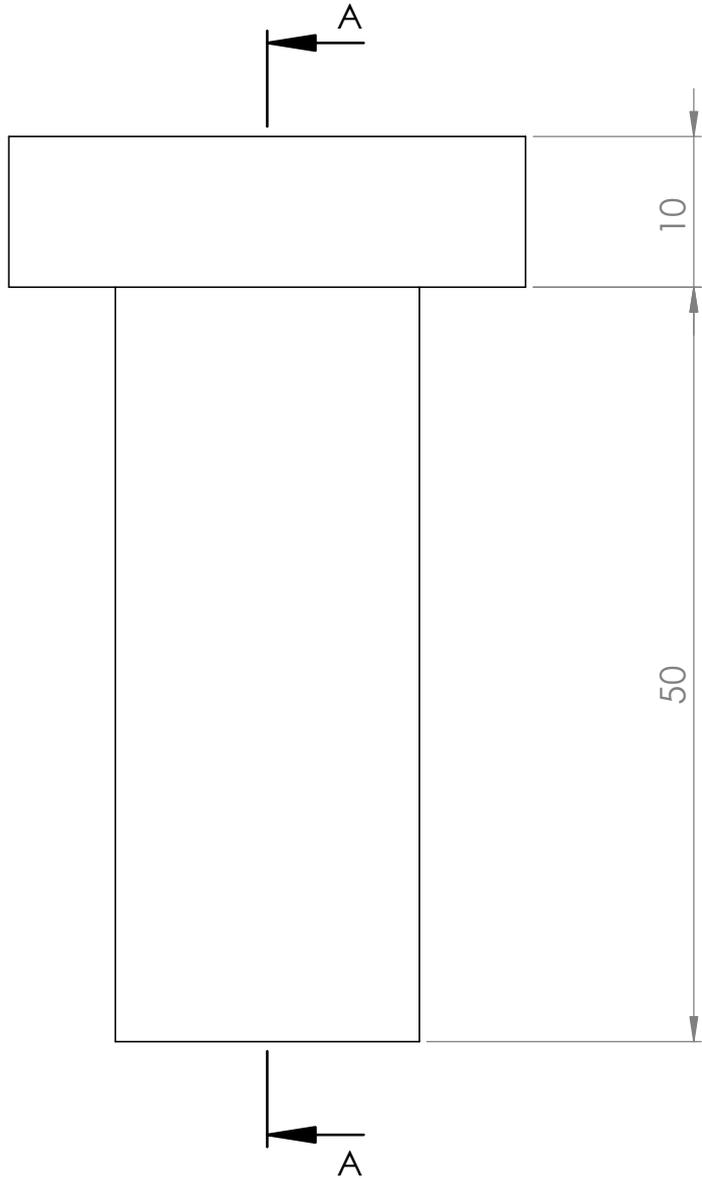
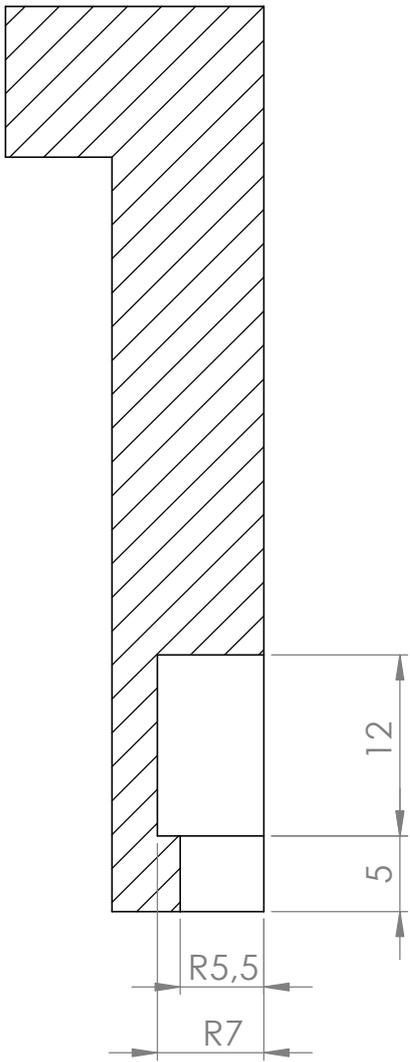
Autor: Carlos Taberna Zaratiegui	Escala: 1:1	Firma del autor:
Tutor: Daniel Salcedo Pérez	Nombre pieza/conjunto: Bola de rodamiento	Centro: Universidad Pública de Navarra
Grado: Ingeniería Mecánica	Nº de referencia del plano: 019	 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Proyecto: Diseño de máquina rellenadora de botes	Material: Acero inoxidable al cromo	



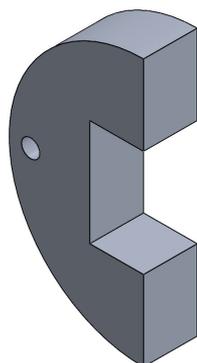
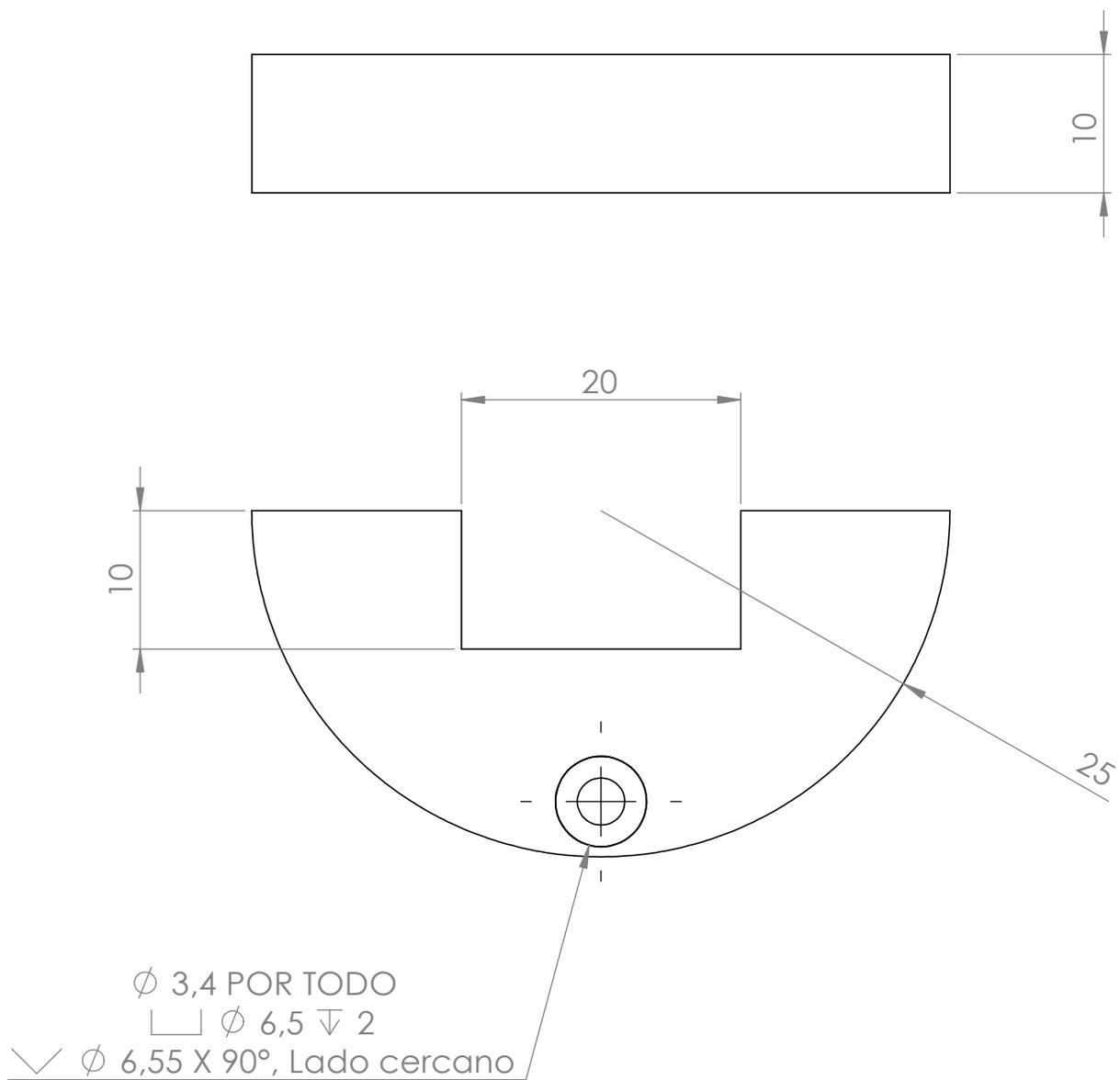
Autor: Carlos Taberna Zaratiegui	Escala: 1:2	Firma del autor:
Tutor: Daniel Salcedo Pérez	Nombre pieza/conjunto: Adaptador de subsistema	Centro: Universidad Pública de Navarra
Grado: Ingeniería Mecánica	Nº de referencia del plano: 020	
Proyecto: Diseño de máquina rellenadora de botes	Material: Aleación 3003	



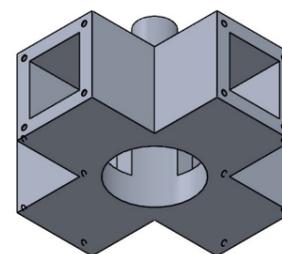
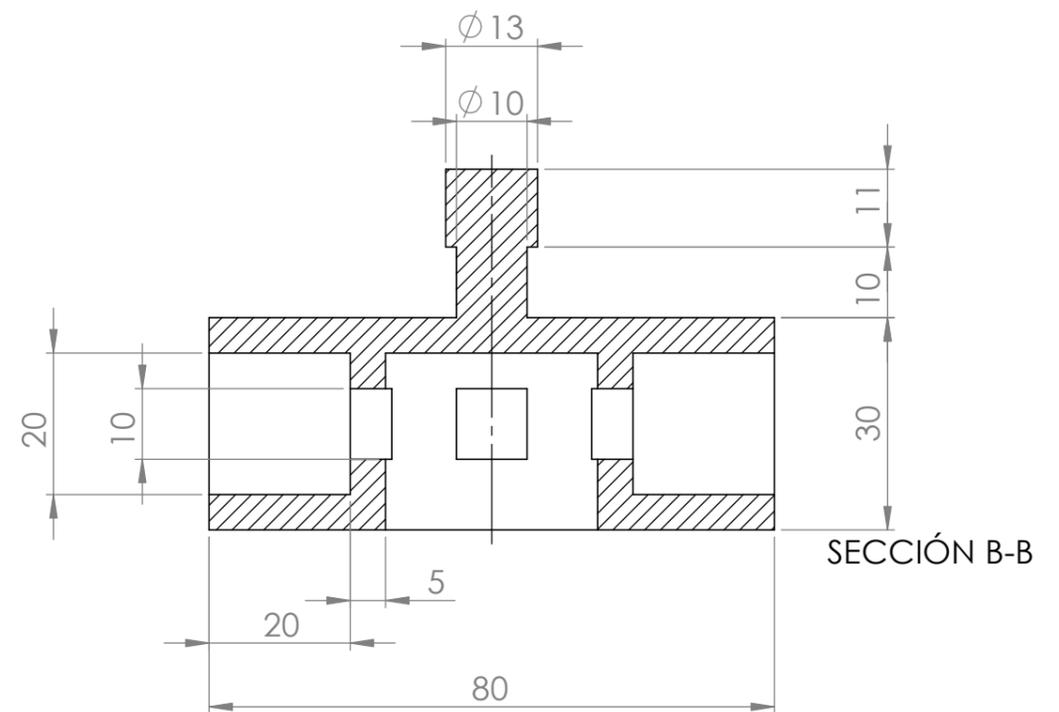
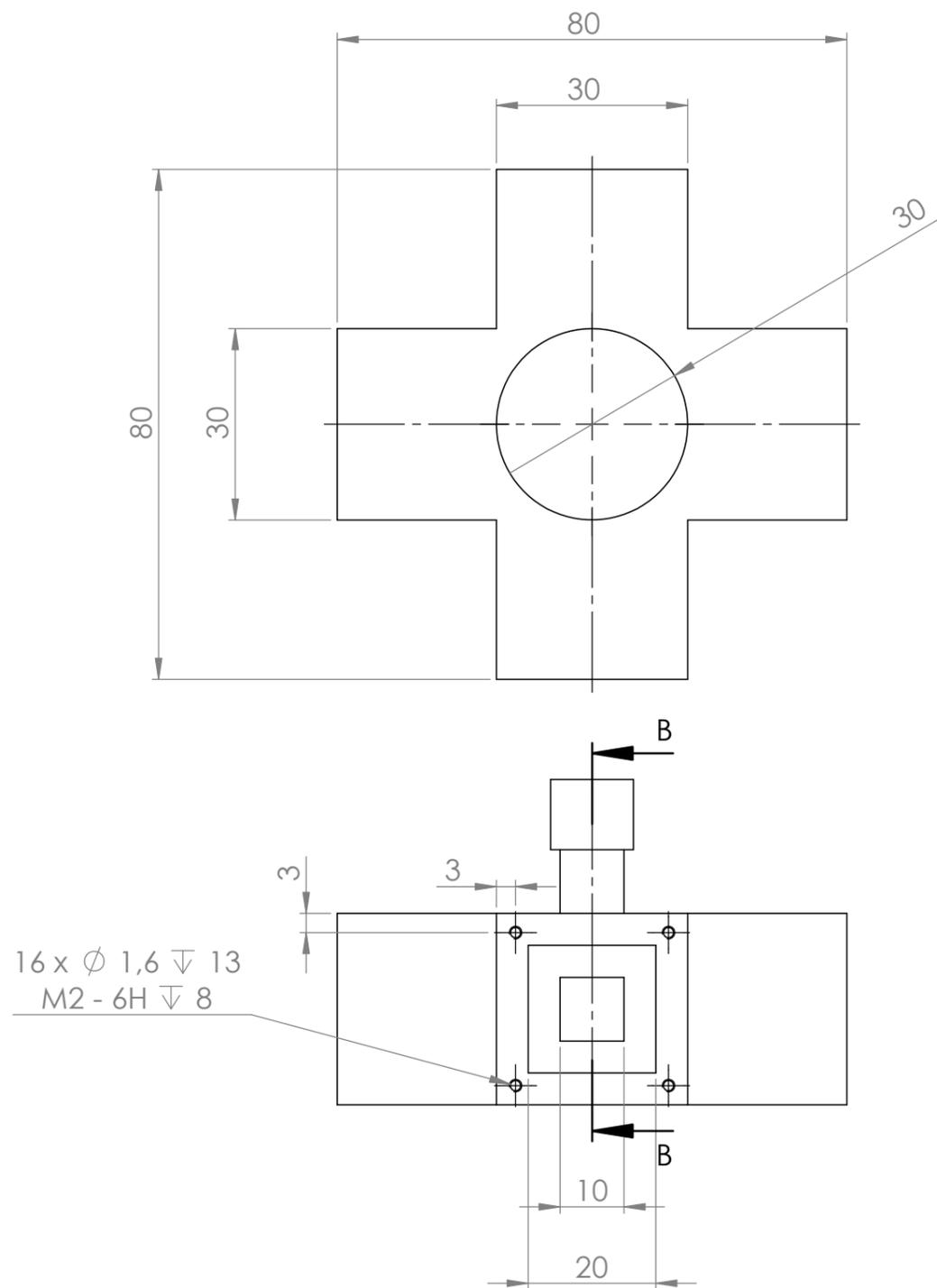
SECCIÓN A-A



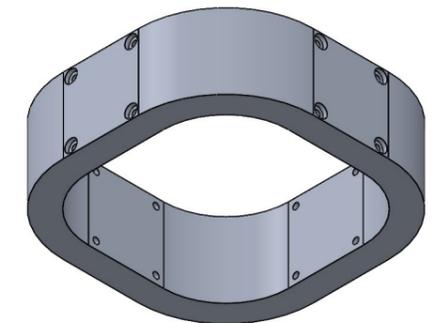
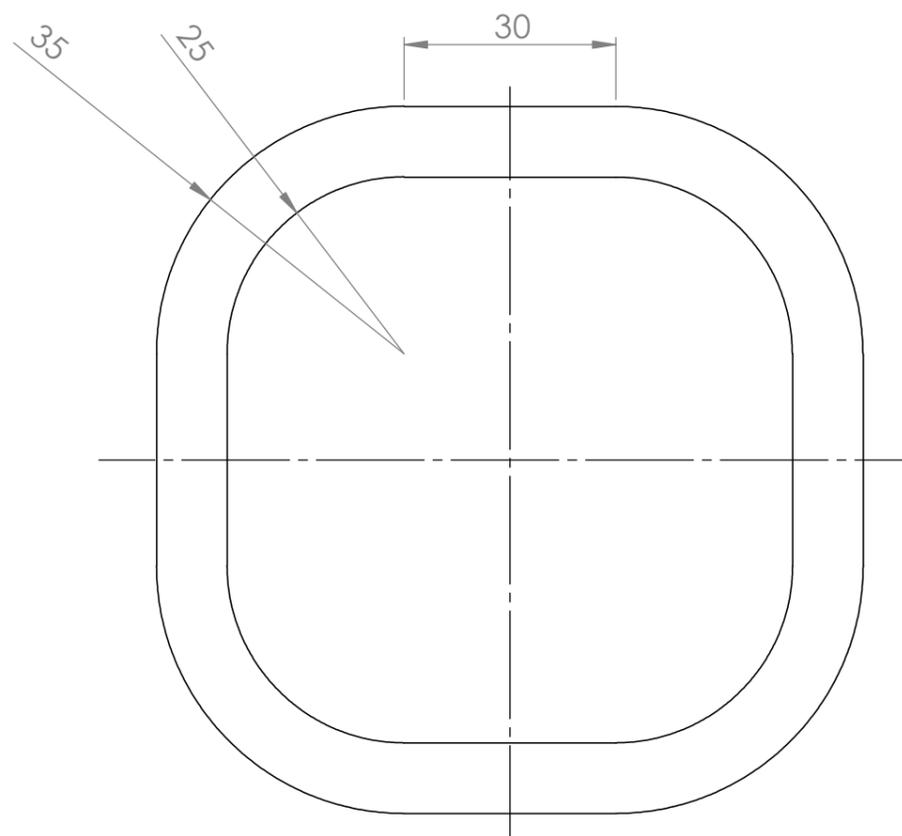
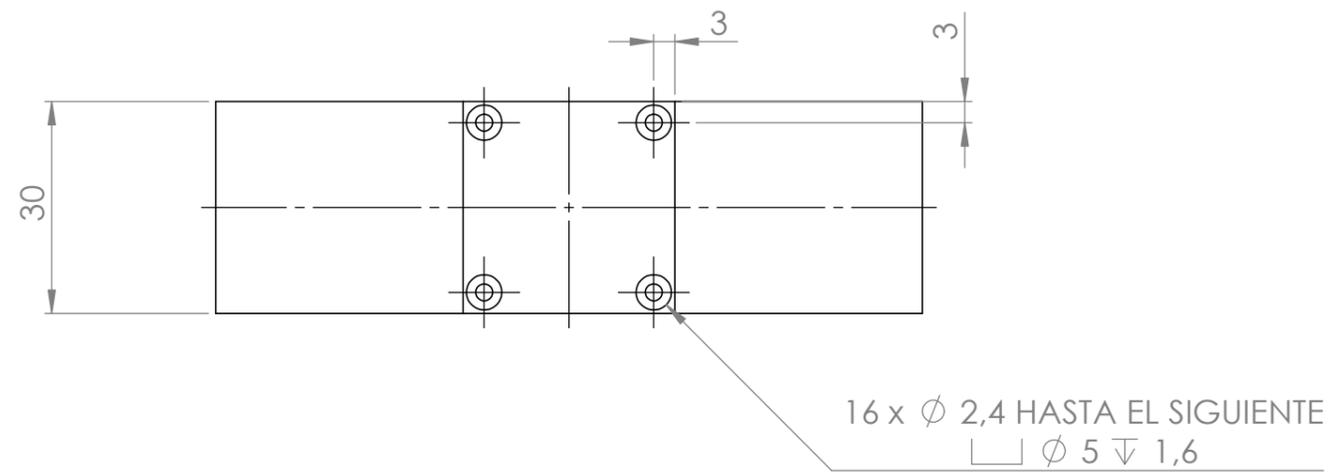
Autor: Carlos Taberna Zaratiegui	Escala: 2:1	Firma del autor:
Tutor: Daniel Salcedo Pérez	Nombre pieza/conjunto: Regulador altura de subsistema	Centro: Universidad Pública de Navarra
Grado: Ingeniería Mecánica	Nº de referencia del plano: 021	
Proyecto: Diseño de máquina rellenadora de botes	Material: Aleación 3003	



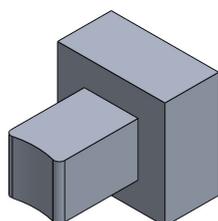
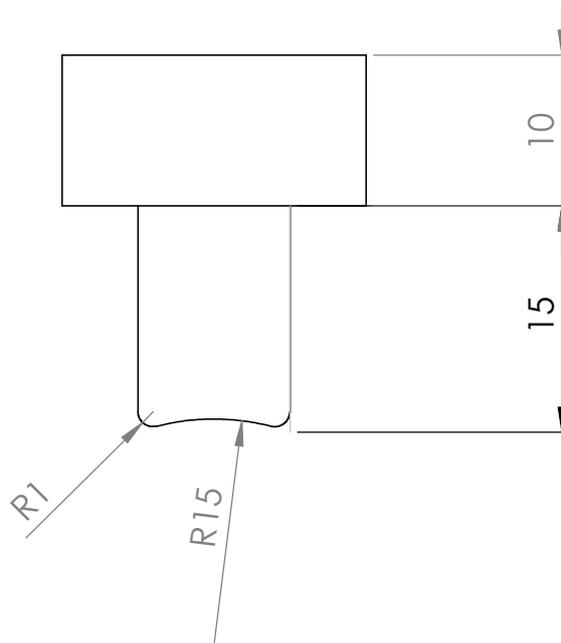
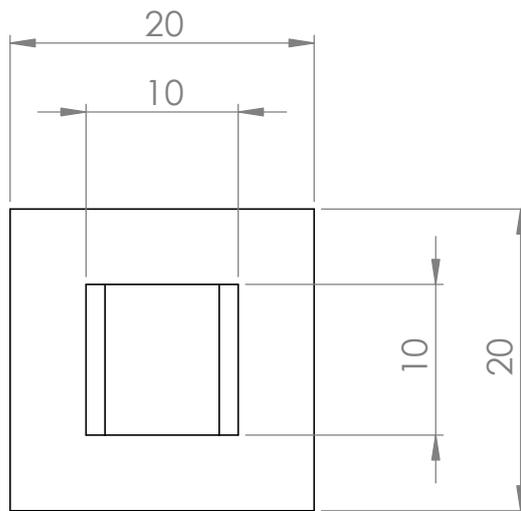
Autor: Carlos Taberna Zaratiegui	Escala: 2:1	Firma del autor:
Tutor: Daniel Salcedo Pérez	Nombre pieza/conjunto: Adaptador de subsistema tapa	Centro: Universidad Pública de Navarra
Grado: Ingeniería Mecánica	Nº de referencia del plano: 022	
Proyecto: Diseño de máquina rellenadora de botes	Material: Aleación 3003	



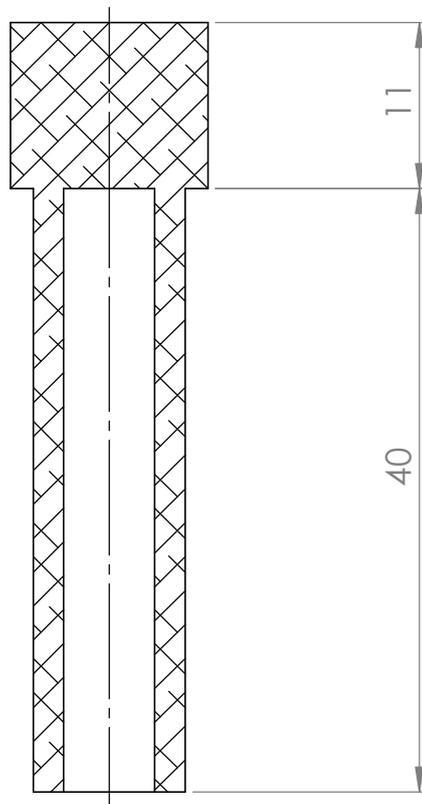
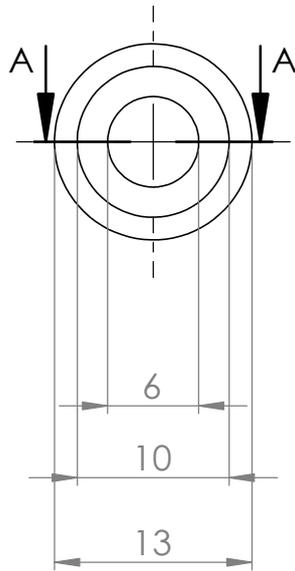
Autor: Carlos Taberna Zaratiegui	Escala: 1:1	Firma del autor:
Tutor: Daniel Salcedo Pérez	Nombre pieza/conjunto: Desenroscador interior	Centro: Universidad Pública de Navarra
Grado: Ingeniería Mecánica	Nº de referencia del plano: 023	
Proyecto: Diseño de máquina rellenadora de botes	Material: Aleación 3003	



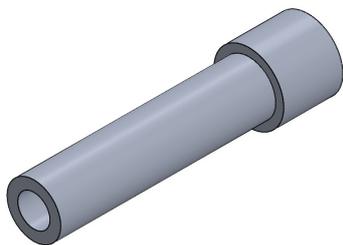
Autor: Carlos Taberna Zaratiegui	Escala: 1:1	Firma del autor:
Tutor: Daniel Salcedo Pérez	Nombre pieza/conjunto: Desenroscador exterior	Centro: Universidad Pública de Navarra
Grado: Ingeniería Mecánica	Nº de referencia del plano: 024	
Proyecto: Diseño de máquina rellenadora de botes	Material: Aleación 3003	



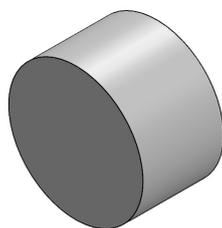
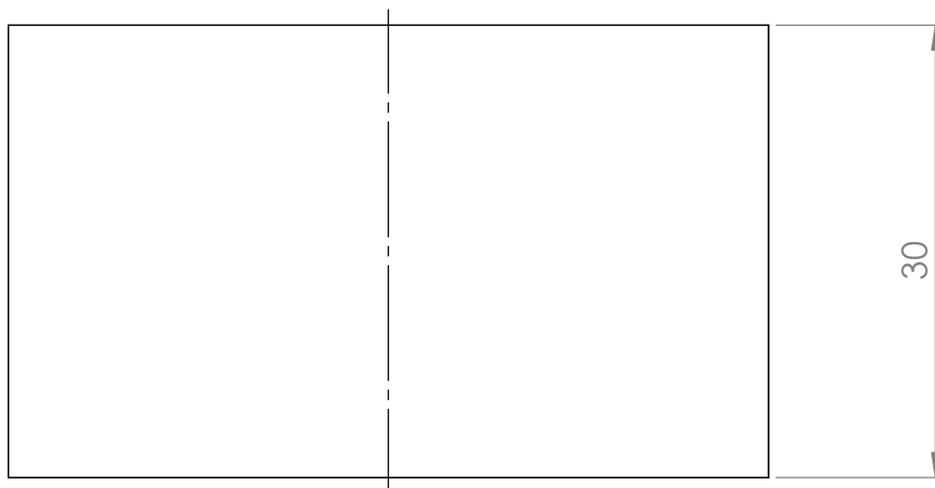
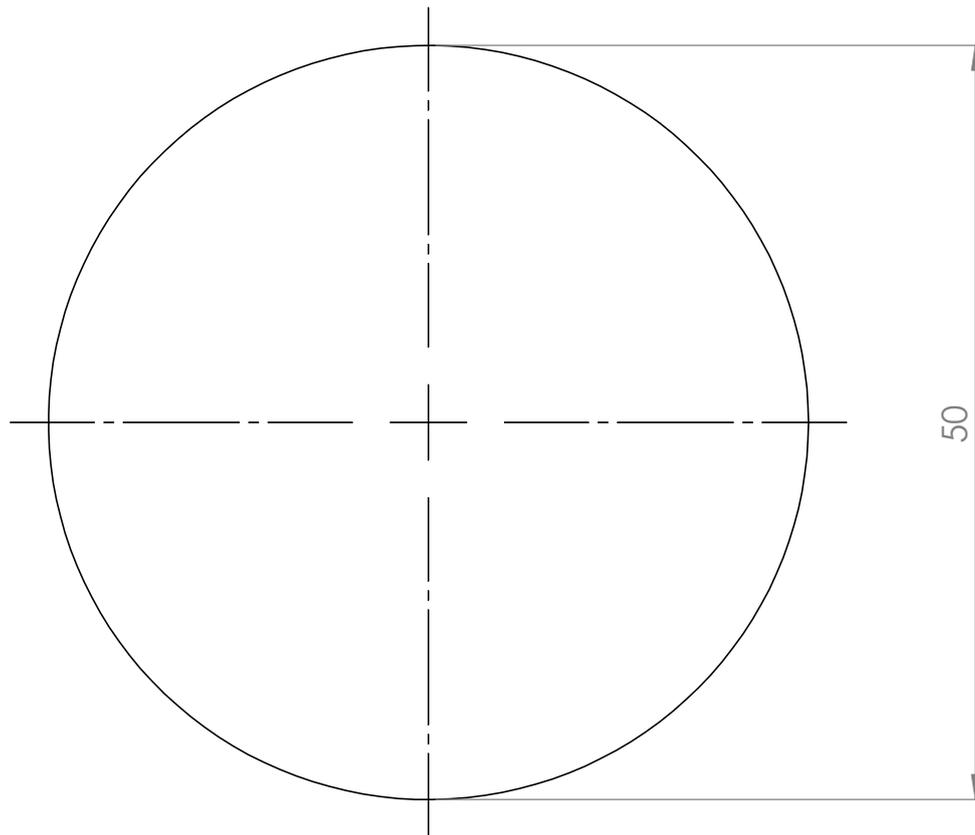
Autor: Carlos Taberna Zaratiegui	Escala: 2:1	Firma del autor:
Tutor: Daniel Salcedo Pérez	Nombre pieza/conjunto: Agarrador de tapón	Centro: Universidad Pública de Navarra
Grado: Ingeniería Mecánica	Nº de referencia del plano: 025	
Proyecto: Diseño de máquina rellenadora de botes	Material: Aleación 3003	



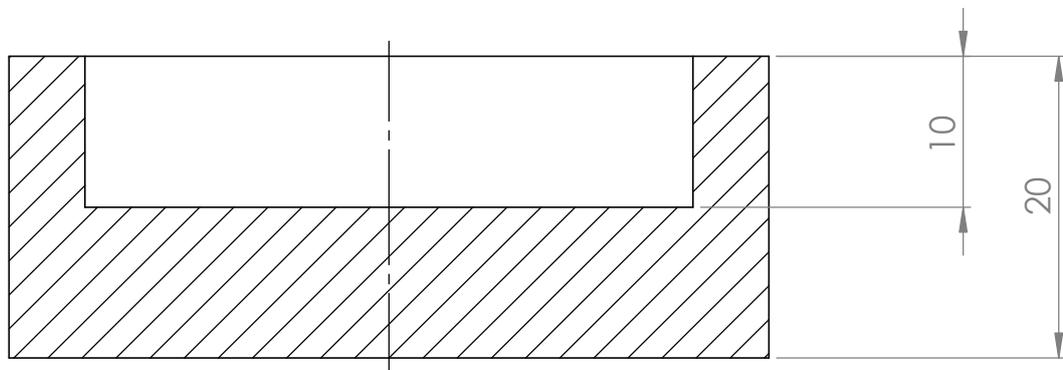
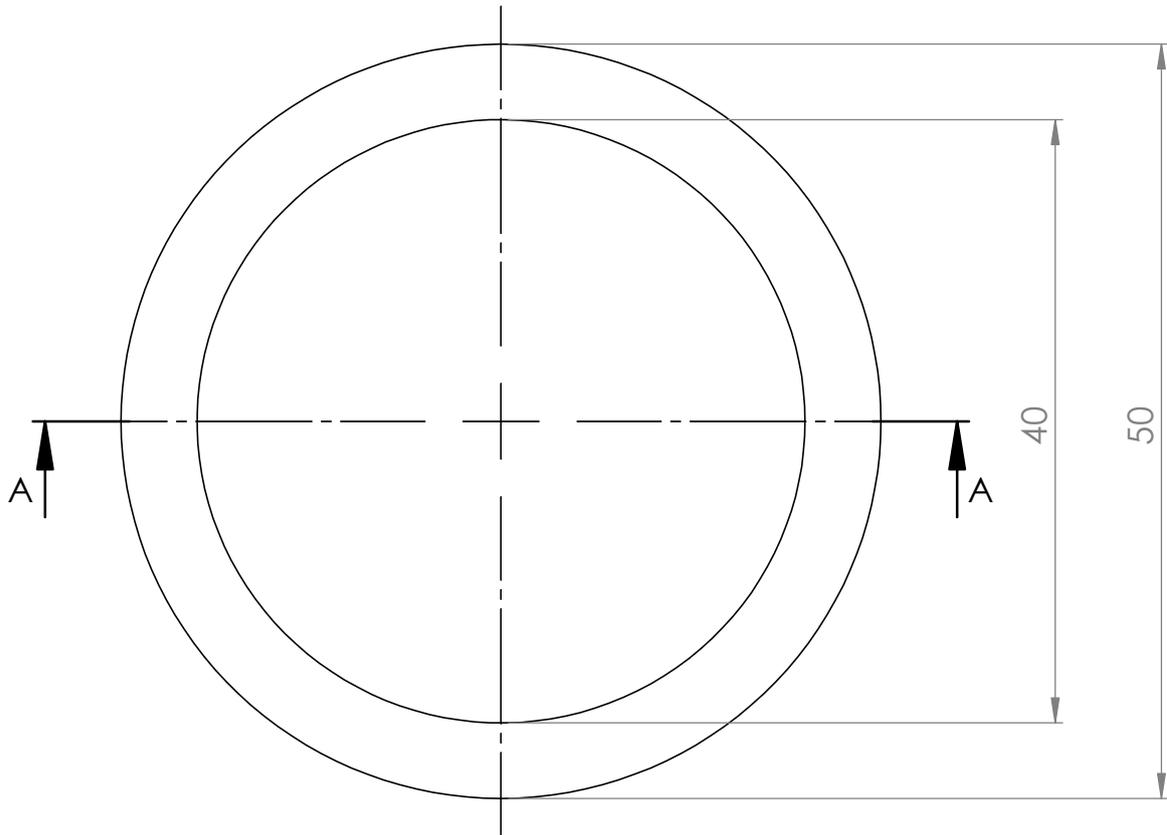
SECCIÓN A-A



Autor: Carlos Taberna Zaratiegui	Escala: 2:1	Firma del autor:
Tutor: Daniel Salcedo Pérez	Nombre pieza/conjunto: Tubo de llenado	Centro: Universidad Pública de Navarra
Grado: Ingeniería Mecánica	Nº de referencia del plano: 026	
Proyecto: Diseño de máquina rellenadora de botes	Material: Aleación 3003	



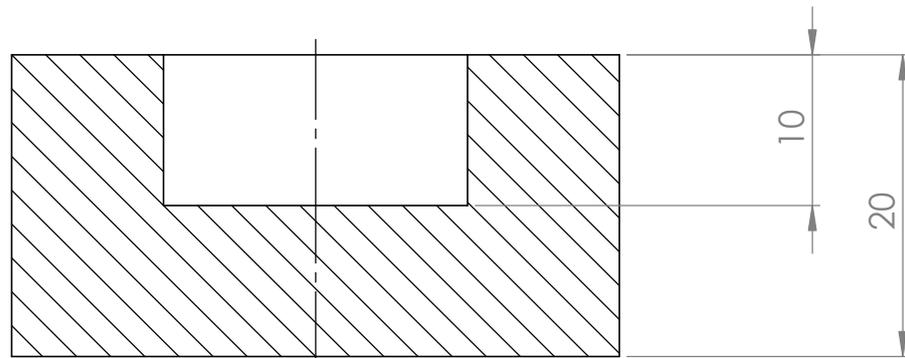
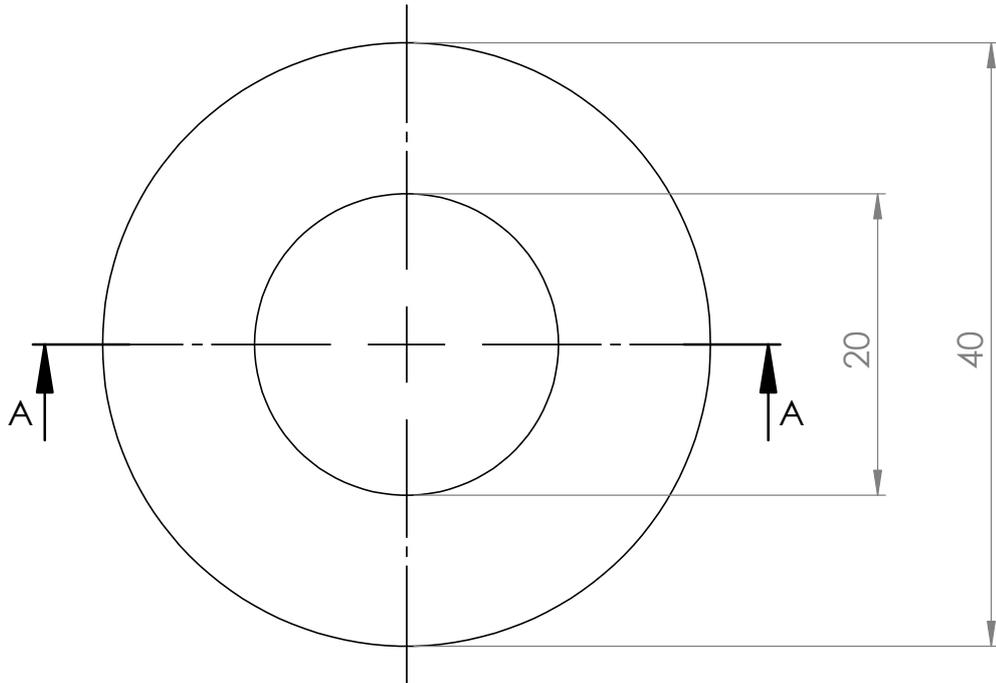
Autor: Carlos Taberna Zaratiegui	Escala: 2:1	Firma del autor:
Tutor: Daniel Salcedo Pérez	Nombre pieza/conjunto: Soporte base inferior	Centro: Universidad Pública de Navarra
Grado: Ingeniería Mecánica	Nº de referencia del plano: 027	
Proyecto: Diseño de máquina rellenadora de botes	Material: Caucho natural	



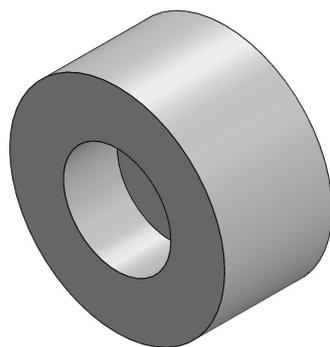
SECCIÓN A-A



Autor: Carlos Taberna Zaratiegui	Escala: 2:1	Firma del autor:
Tutor: Daniel Salcedo Pérez	Nombre pieza/conjunto: Junta columna soporte inferior	Centro: Universidad Pública de Navarra
Grado: Ingeniería Mecánica	Nº de referencia del plano: 028	
Proyecto: Diseño de máquina rellenadora de botes	Material: Caucho natural	



SECCIÓN A-A



Autor: Carlos Taberna Zaratiegui	Escala: 2:1	Firma del autor:
Tutor: Daniel Salcedo Pérez	Nombre pieza/conjunto: Junta columna soporte superior	Centro: Universidad Pública de Navarra
Grado: Ingeniería Mecánica	Nº de referencia del plano: 029	
Proyecto: Diseño de máquina rellenadora de botes	Material: Caucho natural	