

Proyecto Fin de Carrera

Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Desarrollo de un protocolo de mantenimiento y generación de listado de partes de un sistema mecánico rotativo

Autor: Pablo Espinós Martínez

Tutor: Ranier Enrique Sepúlveda Ferrer

Dpto. Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019



Proyecto Fin de Carrera
Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Desarrollo de un protocolo de mantenimiento y generación de listado de partes de un sistema mecánico rotativo

Autor:

Pablo Espinós Martínez

Tutor:

Ranier Enrique Sepúlveda Ferrer

Profesor titular

Dpto. de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019

Proyecto Fin de Carrera: Desarrollo de un protocolo de mantenimiento y generación de listado de partes de un sistema mecánico rotativo

Autor: Pablo Espinós Martínez

Tutor: Ranier Enrique Sepúlveda Ferrer

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis maestros

Agradecimientos

Durante todos estos años no siempre he sido consciente del esfuerzo y tiempo invertido por las personas que me han rodeado y acompañado en el transcurso de mi vida y han hecho que me convierta en la persona que soy hoy en día. Es por ello por lo que en este momento hago una pausa en el camino para agradecerlos a todos y cada uno de ellos.

A mis padres por haberme educado y haberme enseñado la importancia de tener una visión crítica de mí mismo y el entorno que me rodea.

A mis abuelos por haber estado siempre pendientes, de manera incondicional, de que no me faltara de nada.

A mis hermanos por todos los momentos de risas y alegrías que hemos compartido y espero seguir compartiendo con ellos.

A mis amigos y compañeros por aguantar todas mis tonterías incluso cuando yo mismo sé que no tengo razón.

A todos los profesores que se han cruzado en mi vida durante estos años y me han enseñado desde lo más básico hasta lo más complejo.

Gracias a todos, sin vosotros, jamás habría sido posible llegar hasta aquí.

Resumen

El laboratorio del departamento de ingeniería de materiales de la escuela está equipado con diferentes molinos para pulvimetalurgia susceptibles de averías como consecuencia de su uso. Estas averías suponen una gran pérdida de tiempo a los investigadores que trabajan en dicho departamento, al no tener los equipos ningún manual de instrucciones para su desmontaje.

El objetivo de este trabajo es facilitar un protocolo de mantenimiento en el que vengan detallados los pasos a seguir para acceder al interior de los mecanismos del molino de bolas modelo PM100 y además generar un listado con las piezas normalizadas del equipo para poder identificarlas y sustituirlas de forma rápida.

Por último, en la memoria también se incluirán los planos y los archivos CAD de accesorios tales como vasos de molienda y tapas y cierres de los mismos, realizados en *Solidworks* y basados en los accesorios originales. De esta manera se podrá encargar su fabricación a un taller de mecanizado.

Abstract

On the material engineering department laboratory of the school many different powder mills can be found. These mills frequently fail as a result of their normal use. These failures provoke an enormous waste of time for the researchers, as they do not have the necessary information to repair them.

The objective of this document is to provide a maintenance protocol with the procedure to follow to access to the mechanisms of the PM100 ball mill, as well as, to generate a part list with the standardized pieces of the machine so they could be easily identified and replaced.

Furthermore, the plans and the CAD files of the accessories as grinding shells and their covers and lockers, will be included at the end of this memory. These plans have been made with *Solidworks* and are based on the original designs. This will allow to order their manufacturing to a machine shop.

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
Índice	xv
Índice de Tablas	xvii
Índice de Figuras	xix
1 Introducción	1
2 Molinos de laboratorio	3
2.1 <i>Evolución de los molinos de laboratorio</i>	3
2.2 <i>Actualidad y futuro de los molinos de laboratorio</i>	6
3 Molino planetario PM 100	7
3.1 <i>Descripción del equipo</i>	7
3.2 <i>Aplicaciones del equipo</i>	9
3.2.1 <i>Pulvimetalurgia</i>	9
3.3 <i>Principio de funcionamiento</i>	10
4 Listado de piezas	13
4.1 <i>Tornillos</i>	13
4.2 <i>Arandelas</i>	13
4.3 <i>Circlips</i>	14
4.4 <i>Rodamientos</i>	14
4.5 <i>Poleas</i>	14
4.6 <i>Correas</i>	15
4.7 <i>Motor</i>	15
4.8 <i>Información de proveedores</i>	15
5 Protocolo de mantenimiento	17
5.1 <i>Importancia del mantenimiento</i>	17
5.2 <i>Acceso al interior del molino</i>	18
5.3 <i>Acceso a las correas</i>	19
5.3.1 <i>Acceso a la correa trapezoidal</i>	19
5.3.2 <i>Acceso a la correa dentada</i>	19
5.4 <i>Reensamblaje</i>	20
6 Diseño de accesorios	21
6.1 <i>Vasija 500 ml</i>	21
6.2 <i>Tapa vasija 500 ml</i>	23
6.3 <i>Cierres vasija 500 ml</i>	24
6.4 <i>Vasija 250 ml</i>	26
6.5 <i>Tapa 250 ml</i>	28
6.6 <i>Cierres vasija 250 ml</i>	28
6.7 <i>Vasija 50 ml</i>	31
6.8 <i>Tapa 50 ml</i>	32

6.9	<i>Adaptador vasija 50 ml</i>	33
6.10	<i>Cierres vasija 50 ml</i>	34
6.11	<i>Juntas tóricas</i>	35
7	Conclusión	37
	Anexo de planos	39
	<i>Vasija 500 ml</i>	41
	<i>Tapa vasija 500 ml</i>	43
	<i>Cierre superior vasija 500 ml</i>	45
	<i>Cierre inferior vasija 500 ml</i>	47
	<i>Vasija 250 ml</i>	49
	<i>Tapa vasija 250 ml</i>	51
	<i>Cierre superior vasija 250 ml</i>	53
	<i>Cierres inferiores vasija 250 ml</i>	55
	<i>Vasija 50 ml</i>	57
	<i>Tapa vasija 50 ml</i>	59
	<i>Cierre superior vasija 50 ml</i>	61
	<i>Cierre inferior vasija 50 ml</i>	63
	<i>Adaptador vasija 50 ml</i>	65
	Referencias	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1 Características eléctricas del equipo	7
Tabla 3-2 - Dimensiones de las poleas	10
Tabla 3-3 - Relaciones de giro de las poleas	11
Tabla 4-1 - Tornillos	13
Tabla 4-2 - Arandelas	13
Tabla 4-3 - Circlips	14
Tabla 4-4 - Rodamientos	14
Tabla 4-5 - Rodamientos	14
Tabla 4-6 - Correa trapezoidal	15
Tabla 4-7 - Correa dentada	15
Tabla 4-8 - Motor	15
Tabla 4-9 - Información de proveedores	15
Tabla 6-1 - Capacidad de carga de las vasijas	21
Tabla 6-2 Juntas tóricas para las tapas	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 2-1 - Molino de pisón.	3
Ilustración 2-2 - Molino de rodillos vertical.	4
Ilustración 2-3 - Molino de chorro.	5
Ilustración 2-4 - Mezclador Turbula.	5
Ilustración 3-1 - Molino de bolas planetario PM 100.	7
Ilustración 3-2 - Molino PM 100 abierto.	8
Ilustración 3-3 - Esquema del mecanismo del molino	10
Ilustración 3-4 - Movimiento del contenido del vaso de molienda	11
Ilustración 5-1 - Restos de viruta en el interior de la carcasa	17
Ilustración 5-2 - Antes (izquierda) y después (derecha) de una limpieza	17
Ilustración 5-3 - Regulador de potencia	18
Ilustración 5-4 – Huella de la pletina y posición de extracción	18
Ilustración 5-5 - Interior del molino	18
Ilustración 5-6 - Tornillos del eje principal	19
Ilustración 5-7 - Vista inferior del eje central	19
Ilustración 5-8 - Pletina del eje central	20
Ilustración 6-1 - Vasija de 500 ml	21
Ilustración 6-2 - <i>Esquisse1</i> (gris) y <i>Esquisse2</i> (naranja) de la vasija de 500 ml	22
Ilustración 6-3 - Árbol de trabajo y resultado final de la vasija de 500ml	22
Ilustración 6-4 - Tapa de la vasija de 500 ml	23
Ilustración 6-5 - <i>Esquisse1</i> de la tapa de 500 ml	23
Ilustración 6-6 - Árbol de trabajo y resultado final de la tapa de 500 ml	23
Ilustración 6-7 - Cierres para vasija de 500 ml	24
Ilustración 6-8 - <i>Esquisse1</i> (gris) y <i>Esquisse2</i> (naranja) del cierre superior de 500 ml	24
Ilustración 6-9 - Árbol de trabajo y resultado final del cierre superior de 500 ml	25
Ilustración 6-10 - <i>Esquisse1</i> del cierre inferior de 500 ml	25
Ilustración 6-11 - Árbol de trabajo y resultado final del cierre inferior de 500 ml	26
Ilustración 6-12 - Vasija de 250 ml	26
Ilustración 6-13 - <i>Esquisse1</i> (gris) y <i>Esquisse6</i> (naranja) de la vasija de 250 ml	27
Ilustración 6-14 - Árbol de trabajo y resultado final de la vasija de 250 ml	27
Ilustración 6-15 - Tapa de la vasija de 250 ml	28
Ilustración 6-16 - Cierres para vasija de 250 ml	28

Ilustración 6-17 - <i>Esquisse1</i> (gris) y <i>Esquisse2</i> (naranja) del cierre superior de 250 ml	29
Ilustración 6-18 - Árbol de trabajo y resultado final del cierre superior de 250 ml	29
Ilustración 6-19 - <i>Esquisse1</i> del cierre inferior de 250 ml	30
Ilustración 6-20 - Árbol de trabajo y resultado final del cierre inferior de 250 ml	30
Ilustración 6-21 - Vasija de 50 ml	31
Ilustración 6-22 - <i>Esquisse1</i> (gris) y <i>Esquisse2</i> (naranja) de la vasija de 50 ml	31
Ilustración 6-23 - Árbol de trabajo y resultado final de la vasija de 50 ml	32
Ilustración 6-24 - Tapa de la vasija de 50 ml	32
Ilustración 6-25 - Adaptador para la vasija de 50 ml	33
Ilustración 6-26 - <i>Esquisse1</i> (gris) y <i>Esquisse2</i> (naranja) del adaptador de 50 ml	33
Ilustración 6-27 - Árbol de trabajo y resultado final del adaptador de 50 ml	34
Ilustración 6-28 - Cierres para la vasija de 50 ml	34

1 INTRODUCCIÓN

Tras la última crisis económica en nuestro país, España, el sector de la investigación científica ha sufrido grandes recortes, de los cuales aún no se ha recuperado, en cuanto a financiación se refiere. Si bien es cierto que cada vez surgen más vías de financiación y subvenciones para proyectos de investigación, como pueden ser inversiones de empresas privadas o fondos europeos, la burocracia a cumplimentar para la consecución de los mismos y la gran competencia existente, hace que conseguir los recursos económicos necesarios para desarrollar dichos proyectos, sea cada vez más difícil y requiera de la inversión de un valioso tiempo que se podría estar empleando en labores de investigación propiamente dichas.

Esto ha provocado que los profesionales del sector sean cada vez más polivalentes y se haya optimizado el aprovechamiento de los recursos, haciendo que a la hora de gastar dinero se invierta en adaptar los equipos ya disponibles en los laboratorios a nuevos procesos antes que adquirir nuevas máquinas especializadas en ellos y que ante la avería de los mismos sean los propios investigadores los que realicen las labores de reparación y mantenimiento en vez de los técnicos oficiales de los suministradores de los equipos.

Lo que se pretende con este trabajo es precisamente facilitar esas labores de mantenimiento a los investigadores que trabajan en el departamento de ingeniería y ciencia de los materiales de la escuela, creando un protocolo de desmontaje que permita a cualquiera de ellos, sin la necesidad de que sean especialistas en mecánica, acceder al interior de los mecanismos del molino de bolas planetario PM 100 y sustituir, en caso de rotura, cualquiera de sus piezas.

Para ello, además de las instrucciones a seguir, se ha generado un listado de piezas que permita identificarlas correctamente para adquirirlas en un proveedor local.

Por último, se han realizado los planos de los vasos de molienda de 500, 250 y 50 ml de capacidad con sus respectivas tapas y cierres permitiendo así la fabricación de los mismos en un taller de mecanizado convencional. Esto provocará un gran ahorro económico, ya que cada uno de estos elementos puede costar más de varios miles de euros en el suministrador oficial. Estos planos están incluidos en el apartado *Anexo de planos* al final de esta memoria. Junto con la memoria también se incluirán los archivos CAD.

En este trabajo no se incluirán las instrucciones de servicio del equipo, las cuales están disponibles para su descarga de forma gratuita en la página web del fabricante.¹

¹https://www.retsch.com/dltmp/www/5579c7fe-9548-4a5f-8968-24cabc282b87-ea7d8967f810/manual_pm100_cm_pm200_20.xxx.xxx.es.pdf

https://www.retsch.com/dltmp/www/53e4b560-c610-441e-9220-636500000000-cb8bdc5bb864/manual_pm100_pm200_pm100cm.es.pdf

2 MOLINOS DE LABORATORIO

En la actualidad, los molinos de laboratorio son útiles en diversas tareas de investigación; desde reacciones químicas para las cuales es necesario la molienda de los reactivos en un recipiente que garantice el contacto entre las partículas de los mismos, hasta la preparación de muestras para su posterior análisis, en las cuales es necesario garantizar un cierto grado de homogeneidad. Es por ello que la mayoría de los laboratorios tienen entre sus equipos algún dispositivo de este tipo.

Desde hace tiempo, las herramientas utilizadas en estos procesos de mezcla y molienda se han ido desarrollando, permitiendo reducir el tamaño mínimo final de las partículas y los tiempos de operación. En el siguiente apartado se hará un barrido de las evoluciones que ha sufrido este tipo de tecnología.

2.1 Evolución de los molinos de laboratorio

La primera herramienta que fue diseñada por el ser humano para moler fue el mortero. Su primera aparición data de Edad de Piedra y se utilizaba para romper la cáscara de algunas semillas para poder acceder a su fruto. Al mortero le precedieron los molinos de mano lineales y giratorios.

Sin embargo, no fue hasta el siglo XVI cuando estas herramientas sufrieron una gran revolución promovida por el auge de la demanda de metales y minerales que condujo al desarrollo del molino de pisón accionado por la fuerza del agua. Este tipo de molinos permitía la extracción de minerales de grandes rocas, al golpearlas con un pisón metálico vertical.



Ilustración 2-1 - Molino de pisón. Fuente: Wikipedia, Stamp mill

1850-1900

En este periodo comenzaron a desarrollarse las primeras trituradoras, molinos de bolas y clasificadores de aire, conduciendo a máquinas más precisas que permitían un mayor control del tamaño final de las partículas procesadas.

1900-1920

En el comienzo del siglo XIX, la implantación de la electricidad permitió la reducción del tamaño de estos equipos. Además, durante estas dos décadas se inventaron los molinos verticales de rodillo, y los molinos de piedras autógenos en los que las mismas rocas al chocar entre sí en un cilindro rotatorio causaban la rotura de las partículas más grandes.



Ilustración 2-2 - Molino de rodillos vertical.
Fuente: Wikipedia, Vertical roller mill

En 1909, Gaston Galy registró la primera patente de molienda criogénica, en la que, al aplicarle un flujo de líquido a baja temperatura a la muestra, se conseguía aumentar la fragilidad de la misma aumentando así la eficiencia del proceso.

Años 1920

En 1923, Retsch desarrolló el primer equipo de molienda para laboratorios. Conocido como Retsch Mill, este equipo se sigue utilizando en la actualidad para la preparación de muestras para su posterior análisis.

En 1928, Loesche GmbH registró una patente de molino de rodillos en Berlín. En este mismo año se registró la patente del molino de bolas vertical, utilizado normalmente para aplicaciones de baja capacidad.

1930-1950

Durante este periodo, el desarrollo de los molinos se vio lastrado por el surgimiento de la II Guerra Mundial. Aun así, se desarrolló el primer molino vibratorio, en el que, gracias a la generación de vibraciones circulares de alta velocidad y reducido radio, se conseguía la reducción de las partículas tratadas hasta tamaños nunca antes conseguidos.

Años 1950

En esta década el molino de chorro fue inventado y registrado como patente por la compañía Jet Pulverizer Company, Inc. En este tipo de molinos el material procesado es acelerado hasta velocidades cercanas a la velocidad del sonido en el perímetro del recipiente de molienda, gracias a chorros de aire comprimido. En la actualidad, esta tecnología se encuentra presente tanto en equipos de laboratorios como industriales.

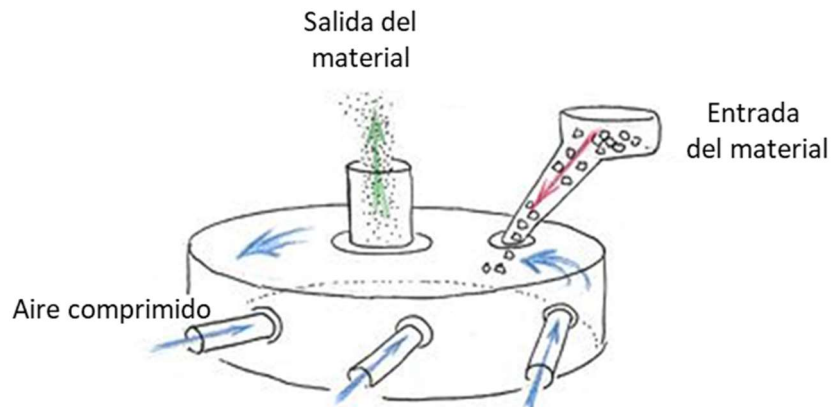


Ilustración 2-3 - Molino de chorro. Fuente: Wikipedia, Jet mill

Años 1960

A comienzos de esta década, se inventó el mezclador Turbula. Este equipo consigue una gran eficacia de mezcla gracias a una combinación de movimientos de traslación y rotación. Este dispositivo también se sigue utilizando en la actualidad.

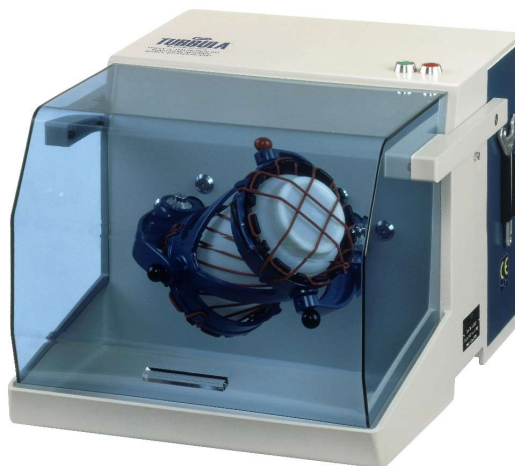


Ilustración 2-4 - Mezclador Turbula. Fuente: Eskens, TURBULA shaker mixer

En 1961, Fritsch GmbH registró la primera patente de un molino de bolas planetario para uso en laboratorios. Este tipo de molinos es el más utilizado en los laboratorios en la actualidad debido a su gran versatilidad.

Años 1970

En 1975 aparecieron los primeros molinos centrífugos aplicados en el procesamiento de partículas ultrafinas, en los que se hacía uso de las altas fuerzas generadas por el giro del eje del recipiente de molienda.

Además, se comenzaron a aplicar técnicas computacionales que permitieron un mayor control en los procesos de mezcla y molienda.

Años 1980

En 1982, la compañía Daesung Chemical Machinery Ind, Co. desarrolló el conocido como DynaMill, un molino de laboratorio utilizado para el procesamiento de partículas ultrafinas en molienda coloidal (molienda en medio húmedo).

En 1984, se registró en Estados Unidos la primera patente de molino horizontal, el cual supuso un gran avance con respecto a los molinos verticales existentes hasta el momento.

Años 1990

En 1993, se desarrollaron los molinos horizontales de discos de alta velocidad, que reducían considerablemente los tiempos de producción.

En 1995, Fritsch GmbH inventó y patentó el molino de bolas planetario de un solo puesto de molienda.

2.2 Actualidad y futuro de los molinos de laboratorio

En la actualidad, con el creciente interés en la nanotecnología, se trata cada vez más de desarrollar partículas en escalas más pequeñas. Los nuevos diseños de molinos, cada vez más seguros, aparte de los ya existentes, sobre todo los molinos de bolas planetarios están ayudando a los científicos e ingenieros a producir polvos de partículas nanométricas.

Además, estos nuevos modelos permiten procesar las partículas en atmósferas en las que se controla la composición, la humedad y la temperatura de la misma.

Sin duda alguna, este tipo de equipos se seguirán desarrollando con el transcurso de los años permitiendo a los investigadores del sector producir partículas aún más pequeñas y con geometrías y composiciones más uniformes.

3 MOLINO PLANETARIO PM 100

3.1 Descripción del equipo

El equipo que se trata en este trabajo es el molino de bolas planetario PM 100 del fabricante alemán *Retsch GmbH*, producido en 2010. Las dimensiones aproximadas del mismo son 468 mm de altura, 630 mm de anchura y 415 mm de profundidad. Su peso neto aproximado es de 86 kg, lo cual permite deducir que no es un dispositivo portátil y deberá estar instalado en una ubicación estable. La superficie de apoyo necesaria es de 630 mm x 505 mm. Esta sobremedida en profundidad se debe al espacio ocupado por la tapadera cuando se encuentra en la posición de apertura. Además, es necesaria una distancia de seguridad de 200 mm en el lado posterior para permitir a los ventiladores del equipo evacuar el aire del interior del mismo.



Ilustración 3-1 - Molino de bolas planetario PM 100. Fuente: Retsch, Instrucciones de servicio para molino de bolas modelo PM100

Los datos relativos a la instalación eléctrica quedan recogidos en la *Tabla 3-1*.

Tensión (V)	Frecuencia (Hz)	Potencia (W)	Intensidad (A)	Fusible externo mínimo (A)
220 - 230	50 - 60	1250	12	16

Tabla 3-1 Características eléctricas del equipo

Este modelo, a diferencia del PM 200 que permite hasta dos moliendas simultáneas, solo tiene un puesto de molienda. En este puesto deberá ir colocado un vaso de molienda correctamente cerrado con su tapa y asegurado con el dispositivo de fijación, que contendrá el polvo a moler y las bolas metálicas que realizarán la función de machaqueo.

Al solo disponer de un puesto de molienda es necesario equilibrar el rotor con el contrapeso móvil con el que viene equipado el dispositivo. Para ello se pesará el recipiente de molienda ya cargado con el producto a moler, las bolas, la tapadera y el cierre en caso de utilizarse, y se desplazará el contrapeso móvil hasta la posición de la escala que coincida con el pesaje anteriormente realizado.



Ilustración 3-2 - Molino PM 100 abierto. Fuente: Retsch, Instrucciones de servicio para molino de bolas modelo PM100

3.2 Aplicaciones del equipo

Este equipo está diseñado para ser un equipo utilizado en laboratorios en un solo turno de ocho horas diarias, y nunca como una máquina de producción continua. Aparte de por motivos mecánicos, el reducido volumen de carga lo hace inviable para ser utilizado de manera industrial.

En cuanto a sus aplicaciones, este equipo permite la obtención de granulometrías extremadamente finas ($< 0,1 \mu m$), además de la realización de procesos de trituración o mezcla, molienda coloidal (en ambiente húmedo) y aleaciones mecánicas.

Además, permite trabajar con todo tipo de materiales siempre y cuando se escojan de manera adecuada las vasijas y bolas que se emplearán en el proceso.

En lo que a este dispositivo en particular se refiere, como equipo del departamento de ingeniería y ciencia de los materiales, su uso se centra en el campo de la pulvimetalurgia.

3.2.1 Pulvimetalurgia

Por pulvimetalurgia se entiende a la rama de la metalurgia que estudia el procesado de polvos para la fabricación de piezas metálicas a partir de los mismos, tras pasar por una etapa de compactación y de sinterización en una atmósfera controlada.

Este proceso es un proceso de fabricación por adición de material, apropiado para la obtención de grandes lotes de piezas pequeñas, con geometrías complejas, en las que se requiere un alto grado de precisión o materiales de fabricación poco comunes con un control de su porosidad o permeabilidad.

Las etapas fundamentales del proceso son las siguientes:

- **Generación de polvos:** si bien el principal proceso para obtener los polvos metálicos es la atomización, este trabajo se centrará en la aleación metálica, proceso en el cual entra en juego el molino estudiado.

En él la mezcla de polvo, introducida en el molino de bolas, es sometida a colisiones de alta energía. La interacción entre las bolas molidoras y las partículas de polvo puede caracterizarse por procesos como la soldadura en frío o la deformación plástica y posterior fragmentación de las partículas, produciéndose así un polvo en el que cada partícula está constituida por la composición porcentual de la mezcla de polvo inicial. [1]

- **Mezclado de polvos:** se obtiene una mezcla homogénea del metal, los materiales aleantes y el lubricante. La función del lubricante es incrementar la fluidez para mejorar la moldeabilidad de los polvos. Los más utilizados son el grafito, el litio o el esterato de zinc.
- **Compactación o prensado:** la mezcla de polvos es sometida al prensado en el interior de un molde. En esta etapa se consigue una cierta adhesión de los polvos que permite moldear la forma de la pieza y se aumenta la densidad de la misma. Al resultado de este proceso se le conoce como pieza en verde.
- **Sinterización:** las partículas que forman la pieza en verde se sueldan entre sí a una temperatura por debajo de la temperatura de fusión del material. Esto ocurre en un horno con atmósfera controlada, normalmente neutras o reductoras para evitar así la oxidación de las pequeñas partículas de la pieza en verde. Estos hornos suelen estar divididos en tres etapas: deslubricación, sinterización y enfriamiento de las piezas.

3.3 Principio de funcionamiento

En este equipo la molienda del material se produce como consecuencia de la interacción de las fuerzas de fricción e impacto entre bolas metálicas y material a moler en el interior de un recipiente que se hace girar a altas revoluciones, generando así grandes fuerzas de inercia.

Para ello el molino PM 100 está equipado de un mecanismo de poleas y correas accionado por un motor eléctrico, esquematizado en la *Ilustración 3-3*.

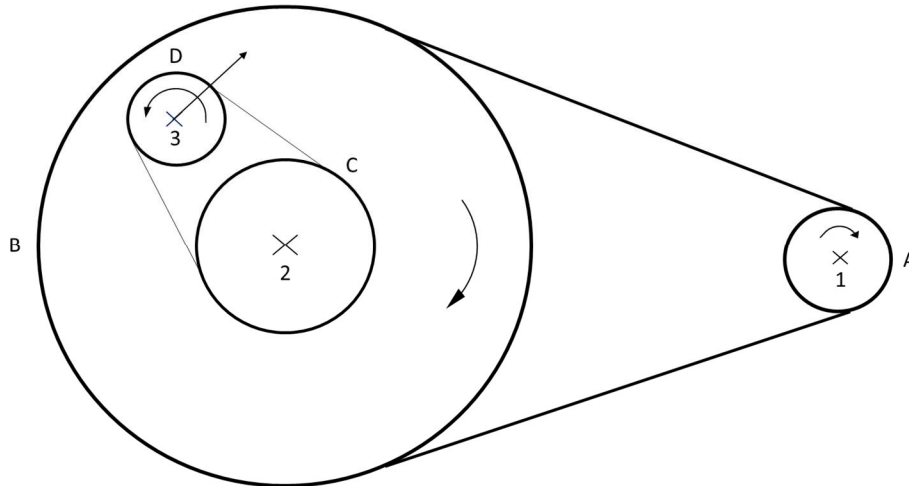


Ilustración 3-3 - Esquema del mecanismo del molino

Como se puede apreciar el mecanismo es relativamente simple; está formado por cuatro poleas y dos correas. La polea A gira en torno al punto 1 accionada por un motor eléctrico, y transmite su giro mediante una correa trapezoidal a la polea B en torno al punto 2. Esta última pasará a llamarse “plato” al ser la polea de mayor tamaño del mecanismo.

A este plato está anclado el eje 3 de la polea D que girará solidariamente con la polea B en torno al punto 2. A su vez, la polea D está unida mediante una correa dentada a la polea C, la cual está fijada a la base del equipo y tiene impedida el giro. Este impedimento del giro de la polea C provoca que al girar el punto 3 en torno al 2 como consecuencia del movimiento del plato, la polea D comience a girar en el sentido opuesto al plato en torno al punto 3.

De esta manera, el recipiente contenedor de la molienda y las bolas, que irá fijado a la polea D tendrá un movimiento de giro en torno a 2 y otro de sentido opuesto en torno a 3.

Conociendo las dimensiones de las poleas, que están reflejadas en la *Tabla 3-2* se pueden calcular las relaciones de giro de las mismas.

Polea	Diámetro efectivo (mm)
A	55
B	275
C	89
D	44,5

Tabla 3-2 - Dimensiones de las poleas

Para calcular las diferentes relaciones de giro entre las distintas poleas se utilizará la siguiente expresión:

$$\frac{\omega_x}{\omega_y} = \frac{v_x R_y}{V_y R_x}$$

Teniendo en cuenta que el mecanismo impone las siguientes condiciones:

- $V_A = V_B$ (Transmisión mediante correas)
- $V_C = V_D$ (Transmisión mediante correas)
- $\omega_C = -\omega_B$ (Giro de D en torno a 2 con la misma velocidad angular que B)

Se obtienen las relaciones de giro recogidas en la *Tabla 3-3*.

Relación A:B	5:1
Relación C:D	1:2
Relación A:D	-2,5:1

Tabla 3-3 - Relaciones de giro de las poleas

El movimiento del contenido del vaso de molineta queda representado en la *Ilustración 3-4*.

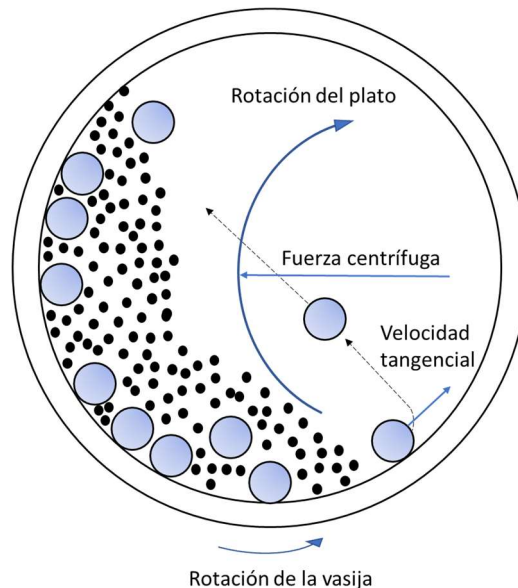


Ilustración 3-4 - Movimiento del contenido del vaso de molineta

Como consecuencia del giro de la vasija alrededor de su propio eje, las bolas sufrirán una fuerza centrífuga que hará que estas contacten con la pared del cilindro, adquiriendo así una velocidad tangencial a ella. Además, el giro del plato proporcionará a las bolas otra fuerza centrífuga extra. La combinación de la velocidad tangencial y esta última fuerza provocarán, que, en cierto punto de la vasija, las bolas se separen de la pared hasta chocar con el punto opuesto del recipiente, impactando así con el material que ahí se encuentre.

4 LISTADO DE PIEZAS

En este apartado se recogerán todos los elementos del molino susceptibles de ser reemplazados debido a un deterioro por su uso, así como sus características principales y un posible proveedor local para la adquisición de cada uno de ellos. Además, cada tipo de elemento irá referenciado con un número el cual permitirá una correcta identificación en los apartados siguientes.

4.1 Tornillos

Designación	Métrica	Paso (mm)	Longitud [Ranurada] (mm)	Huella	Unidades	Referencia
DIN 7991	M3	0,5	6 [4,3]	Allen 2	2	[1]
DIN 7991-10.9	M4	0,7	10 [7,7]	Allen 2,5	4	[2]
DIN 7991	M4	0,7	8 [5,7]	Allen 2,5	2	[3]
DIN 912-8.8	M5	1	12 [12]	Allen 5	6	[4]
DIN 912-8.8	M10	1,5	20 [20]	Allen 8	4	[5]
DIN 912-10.9	M10	1,5	35 [32]	Allen 8	4	[6]
DIN 912-8.8	M8	1,25	80 [28]	Allen 6	4	[7]
DIN 912-8.8	M8	1,25	25 [25]	Allen 6	1	[8]

Tabla 4-1 - Tornillos

Proveedor preferente: Torsesa.

4.2 Arandelas

Designación	Diámetro int. (mm)	Diámetro ext. (mm)	Espesor (mm)	Unidades	Referencia
DIN 125A	10.5	20	2	4	[9]

Tabla 4-2 - Arandelas

Proveedor preferente: Torsesa.

4.3 Circlips

Designación	Diámetro de ajuste (mm)	Espesor (mm)	Unidades	Referencia
DIN 471	24	1.2	1	[10]
DIN 471	12	1	1	[11]
DIN 472	28	1.2	1	[12]

Tabla 4-3 - Circlips

Proveedor preferente: Torsesa.

4.4 Rodamientos

Designación	Diámetro int. (mm)	Diámetro ext. (mm)	Fabricante	Unidades	Referencia
6305 LU	25	62	NTN	2	[13]
6001 LU	12	28	NTN	1	[14]
6810 LU	50	65	NTN	1	[15]
3207 B	35	72	SNR	1	[16]

Tabla 4-4 - Rodamientos

Proveedor preferente: Rodamientos Andalucía.

4.5 Poleas

Designación	Número de dientes	Paso	Ancho (mm)	Unidades	Referencia
28-5M-25	28	HTD 5M	25	1	[17]
56-5M-25	56	HTD 5M	25	1	[18]

Tabla 4-5 - Rodamientos

Proveedor preferente: Suintra.

4.6 Correas

Designación	Tipo	Longitud (mm)	Unidades	Referencia
XPZ 1162	Trapezoidal XPZ	1162	1	[19]

Tabla 4-6 - Correa trapezoidal

Designación	Tipo	Número de dientes	Ancho (mm)	Paso	Unidades	Referencia
360 5M	Dentada	72	25	HTD 5M	1	[20]

Tabla 4-7 - Correa dentada

Proveedor preferente: ROYSE.

4.7 Motor

Tipo	Brida	Diámetro brida (mm)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Potencia (kW)	Revoluciones (rpm)
Trifásico	B14	105	230/400	3,5/2	0,75	3000

Tabla 4-8 - Motor

Proveedor preferente: Suintra.

4.8 Información de proveedores

Proveedor	Teléfono de contacto	Ubicación	Web
Rodamientos Andalucía	954 35 51 19	Polígono Store Calle Terbio, 12, 41007 Sevilla	http://www.rodamientosandalucia.com/
ROYSE	954 67 10 50	Polígono el Pino Calle Parsi 3, 22, 41016 Sevilla	https://www.rodamientos.net/es/
Suintra	954 36 00 27	Polígono Store Calle Metalurgia, 27, 41007 Sevilla	https://suintra.es/
Torsesa	954 67 03 00	Polígono Carretera Amarilla, Av. de Montes Sierra, 5, 41007 Sevilla	https://www.torsesa.com/
EPIDOR	955 25 02 93	Polígono Industrial Alcalá X, Naves 12-13, 41500 Alcalá de Guadaíra, Sevilla	https://epidor.com/

Tabla 4-9 - Información de proveedores

5 PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO

5.1 Importancia del mantenimiento

El mantenimiento en este tipo de equipos, en el que la transmisión de potencia se lleva a cabo mediante correas, resulta esencial para el correcto funcionamiento del mismo. Es por ello, que, a este equipo habrá que realizarle revisiones de forma periódica en las que se compruebe el estado de las correas y se sustituyan por unas nuevas en caso de desgaste excesivo o rotura, y de los rodamientos, engrasándolos o remplazándolos si así se considerase necesario.

Además, será conveniente realizar una limpieza de la suciedad acumulada en el interior del equipo, proveniente no solo del ambiente en el que suele trabajar esta máquina, sino también de las virutas de goma que se desprenden de las correas como consecuencia del desgaste de las mismas, ya que esto podría provocar un deterioro prematuro de los rodamientos.



Ilustración 5-1 - Restos de viruta en el interior de la carcasa

La limpieza se realizará primero mediante papel absorbente sin humedecer y con aire comprimido posteriormente. En la *Ilustración 5-2* se puede apreciar el estado del interior del molino antes y después de dicha limpieza:



Ilustración 5-2 - Antes (izquierda) y después (derecha) de una limpieza

5.2 Acceso al interior del molino

Para retirar la carcasa y poder acceder al interior de los mecanismos del molino se seguirán las siguientes instrucciones:

- Desconectar el equipo de la corriente eléctrica.
- Desenchufar del equipo el cable de la parte trasera.
- Colocar el equipo en una posición elevada que permita tanto la apertura de la tapadera como el acceso a los tornillos de la base inferior del mismo.
- Retirar el embellecedor del regulador de revoluciones tirando de él.
- Abrir la tapadera y desatornillar los dos tornillos [1] que sujetan la pletina situada debajo del plato principal.
- Retirar la pletina.
- Colocar el eje-plato en la posición adecuada, con la masa equilibradora lo más próxima al centro del eje.
- Desatornillar los seis tornillos [4] situados en el contorno de la base que anclan la misma con la carcasa.
- No es necesario desatornillar los tornillos situados en las esquinas de la base, que anclan los embellecedores de plástico negro a la misma.
- Retirar la carcasa del molino haciendo uso del juego entre el eje y la misma.



Ilustración 5-3 - Regulador de potencia



Ilustración 5-4 – Huella de la pletina y posición de extracción

Una vez retirada la carcasa se tendrá acceso al motor, electrónica y mecanismos del equipo como se aprecia en la *Ilustración 5-5*.

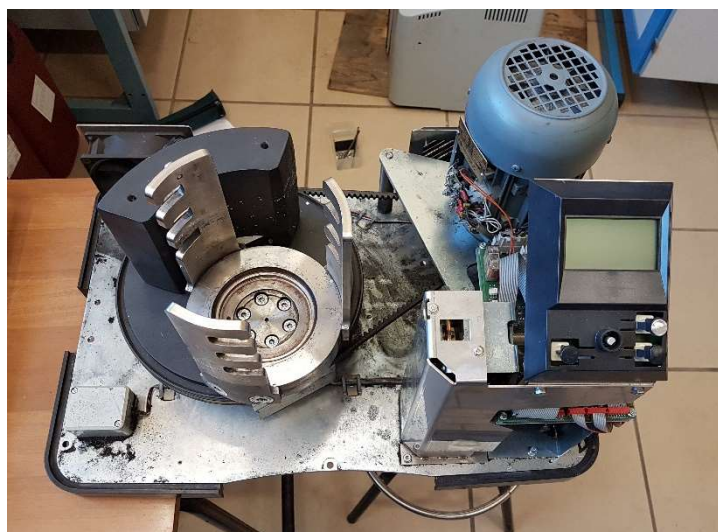


Ilustración 5-5 - Interior del molino

5.3 Acceso a las correas

5.3.1 Acceso a la correa trapezoidal

Partiendo de la carcasa ya retirada, para sustituir la correa trapezoidal que transmite el movimiento del motor al plato central, se seguirán las siguientes instrucciones:

- Retirar los cuatro tornillos [5] con sus correspondientes arandelas [9] situados bajo la base del molino.
- Acercar el eje central al motor.
- Retirar la correa trapezoidal [19].



Ilustración 5-6 - Tornillos del eje principal

5.3.2 Acceso a la correa dentada

Partiendo del eje principal ya desanclado de la base, para sustituir la correa dentada que transmite el movimiento al eje excéntrico del plato, se seguirán las siguientes instrucciones:

- Extraer el conjunto de eje-plato y colocarlo en una ubicación que permita operar en él con comodidad.
- Desatornillar los cuatro tornillos [7] que sujetan la masa centradora al plato y extraer la misma. Esto facilitará la manipulación del eje al reducir así considerablemente su peso.
- Desatornillar los cuatro tornillos [6] que anclan el bloque rectangular al plato. Aun habiendo retirado estos tornillos el bloque no se separará del plato, puesto que los rodamientos están montados por interferencia con el bloque metálico.

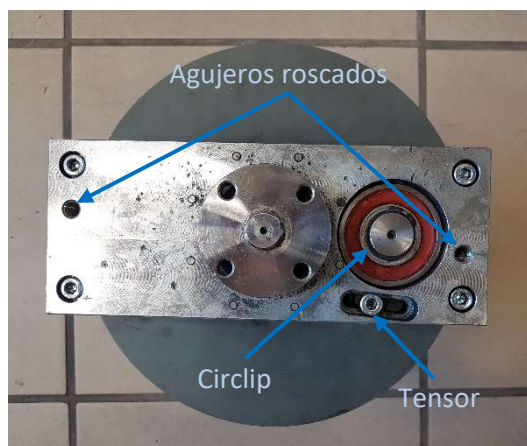


Ilustración 5-7 - Vista inferior del eje central

- Aflojar el tornillo [8] del tensor y destensar la correa dentada [20].
- Retirar el circlip [10] del rodamiento [13] del eje excéntrico con la ayuda de unas pinzas.
- Introducir dos varillas roscadas de métrica M10 con dos tuercas en cada una de ellas por los dos agujeros roscados del bloque rectangular.
- Con una llave inglesa atornillar de forma sincronizada las dos varillas haciendo que el bloque se separe del plato.
- Desatornillar los cuatro tornillos [2] de la pletina circular del engranaje central.
- Extraer la correa dentada [20].

Llegados a este punto se tiene acceso a los dos rodamientos [13] y [16] que ajustan con los ejes y el bloque metálico y al rodamiento [15] que ajusta con el eje excéntrico y el plato. Para acceder al segundo rodamiento [13] que ajusta con el eje central y el plato:

- Desatornillar los dos tornillos [3] de la pletina circular del eje central.
- Extraer la pletina circular.



Ilustración 5-8 - Pletina del eje central

5.4 Reensamblaje

Para volver a montar el equipo basta con seguir las instrucciones anteriores en el orden inverso, salvo para el ensamblaje del bloque metálico con el plato. Para esta acción se seguirán las siguientes instrucciones:

- Superponer el bloque con los dos ejes del plato con el tensor desmontado.
- Impregnar con líquido fijador de roscas la corona exterior del rodamiento [16] para garantizar que no habrá movimiento relativo entre el bloque metálico y la misma.
- Con la ayuda de un martillo de nylon y un taco de madera aproximar el bloque al plato lo suficiente para que los cuatro tornillos [7] permitan continuar apretando.
- Montar el tensor.
- Apretar de forma sincronizada los cuatro tornillos [7] hasta que el bloque quede en la posición adecuada.
- Al mismo tiempo que se aprietan los cuatro tornillos [7] habrá que golpear el rodamiento [13] que está montado en el bloque metálico, para que este se introduzca en el eje excéntrico. Para evitar golpear el rodamiento en la zona central, se ha utilizado una llave fija estriada con el mismo diámetro que la corona interior del rodamiento [13]. De esta manera se golpeará directamente en la corona interior sin dañar el rodamiento.
- Tensar la correa dentada [20] y apretar el tornillo [8] del tensor.
- Colocar circlip [10] en el eje excéntrico.

6 DISEÑO DE ACCESORIOS

El equipo en el que se basa esta memoria requiere de ciertos accesorios para poder hacer un uso productivo del mismo, entre los que se encuentran las vasijas contenedoras del polvo y las bolas, y las tapas y cierres de estas. Debido al alto coste que supondría la adquisición de los mismos al proveedor oficial, se ha decidido diseñarlos en un programa de CAD y aportar los planos y los archivos para que puedan ser encargados a un taller de mecanizado, reduciendo así considerablemente su coste. Los planos realizados se corresponden con las vasijas de 500, 250 y 50 ml y sus respectivos complementos. Estos accesorios se mecanizarán en el mismo material que los oficiales: un acero 1.4034.

Las capacidades de carga de las vasijas se han extraído del catálogo proporcionado por el fabricante *Retsch* y quedan recogidas en la *Tabla 6-1*:

Capacidad nominal (ml)	Tamaño de grano máximo de carga (mm)	Carga de bolas recomendada (uds.)			
		Ø10 mm	Ø20 mm	Ø30 mm	Ø40 mm
50	3	10	3	-	-
250	6	50	15	10	-
500	10	100	25	8	4

Tabla 6-1 - Capacidad de carga de las vasijas

6.1 Vasija 500 ml

Las dimensiones de esta vasija se han obtenido midiéndolas directamente de una vasija real. Como detalles relevantes se pueden destacar la forma de la base, la cual deberá encajar perfectamente en el molino y los cuatro agujeros de la misma los cuales impedirán la rotación relativa entre la base de apoyo del molino y la vasija, al introducirse por uno de los cuatro agujeros un pequeño resorte cilíndrico.



Ilustración 6-1 - Vasija de 500 ml

Para diseñar este elemento en *Solidworks* se ha partido de la *Esquisse1* representada en la *Ilustración 6-2* en gris y se ha generado un volumen de revolución haciéndola girar en torno al eje vertical derecho. Para hacer el interior del recipiente se ha realizado un vaciado por revolución a partir de la *Esquisse2*, representada en naranja en la *Ilustración 6-2*. Esta misma *Esquisse2* se ha utilizado para generar un volumen por revolución que permite medir el volumen del interior de la vasija. Por último, se han realizado los cuatro agujeros de ajuste de la base a partir de la *Esquisse3*.

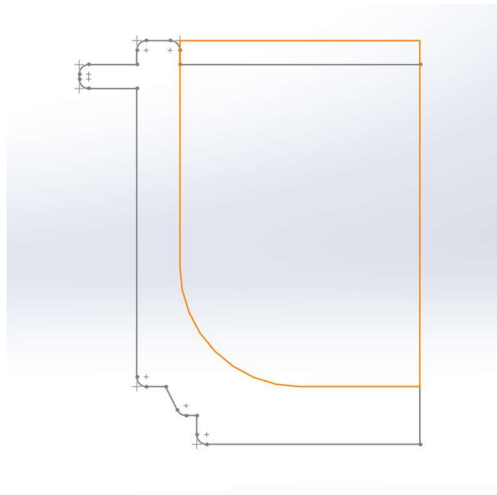


Ilustración 6-2 - *Esquisse1* (gris) y *Esquisse2* (naranja) de la vasija de 500 ml

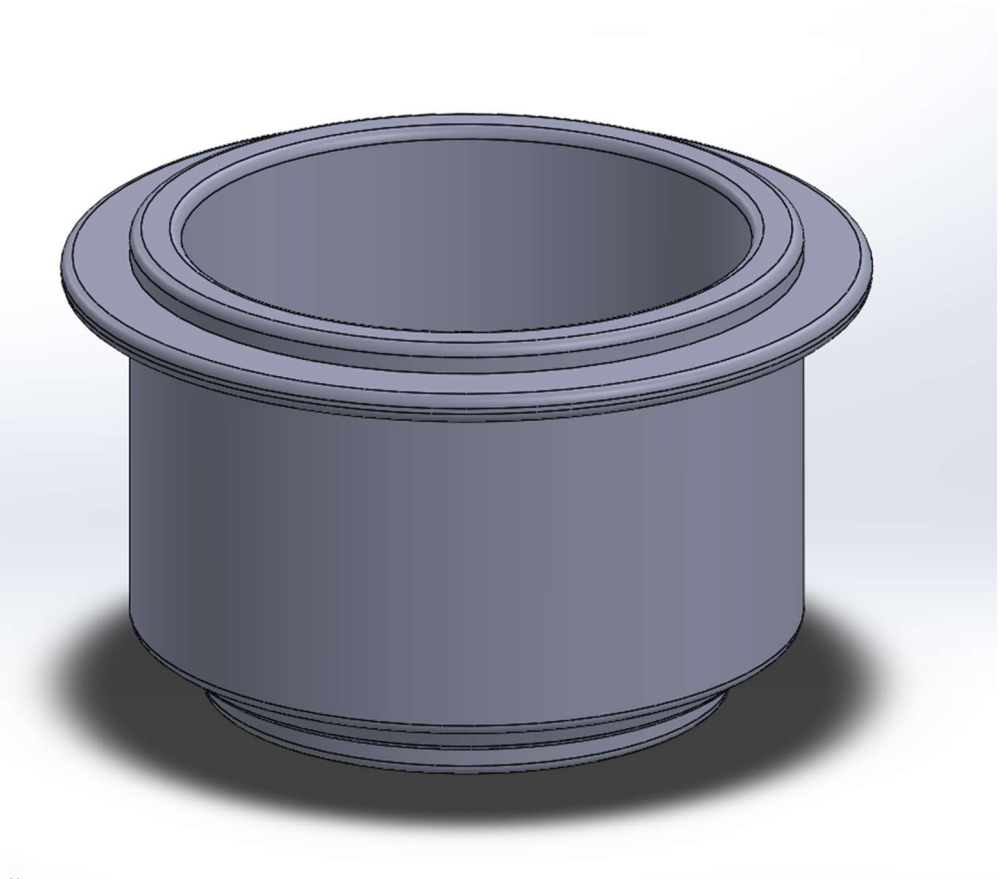
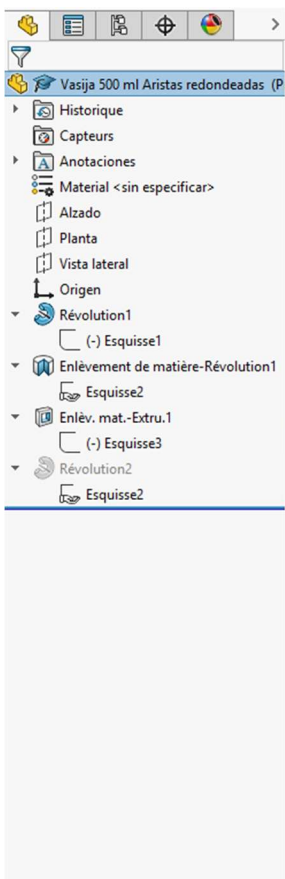


Ilustración 6-3 - Árbol de trabajo y resultado final de la vasija de 500ml

6.2 Tapa vasija 500 ml

Al igual que con la vasija, las dimensiones de la tapa también se han extraído del modelo real. Cabe destacar la pequeña hendidura que presenta alrededor de la parte que se introduciría en la vasija, en la cual irá situada una junta tórica que garantizará el buen ajuste entre tapa y vasija.



Ilustración 6-4 - Tapa de la vasija de 500 ml

Las tolerancias entre las partes de la vasija y la tapa que ajustan entre sí se han dimensionado de manera que siempre exista juego entre las dos, siendo el juego máximo $J_{m\acute{a}x} = 1,84 \text{ mm}$ y el juego mínimo $J_{m\acute{i}n} = 0,76 \text{ mm}$.

Para su diseño en el programa de CAD se ha realizado un volumen de revolución a partir de la *Esquisse1* representada en la *Ilustración 6-5*. Posteriormente se ha realizado una retirada de materia a partir de la *Esquisse2* para alojar la junta tórica.

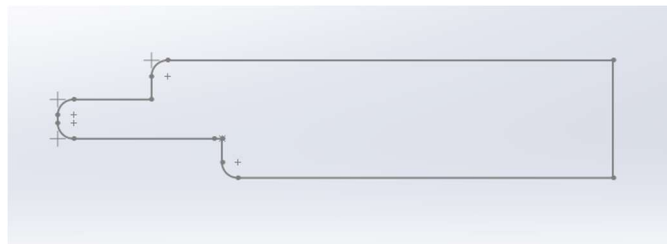


Ilustración 6-5 - *Esquisse1* de la tapa de 500 ml

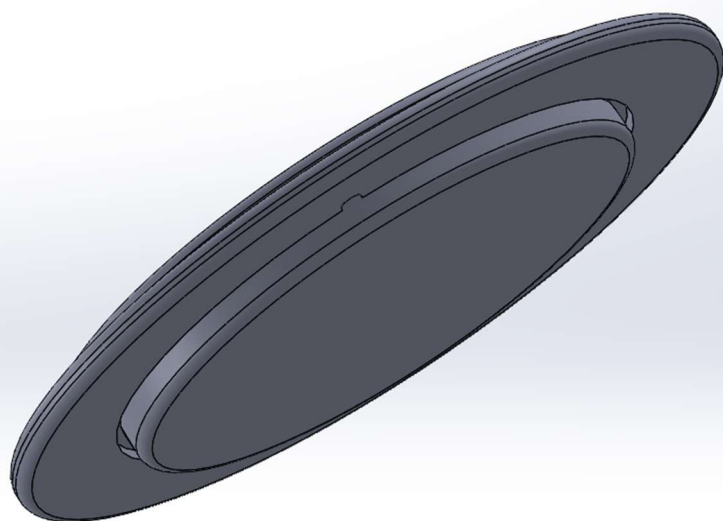
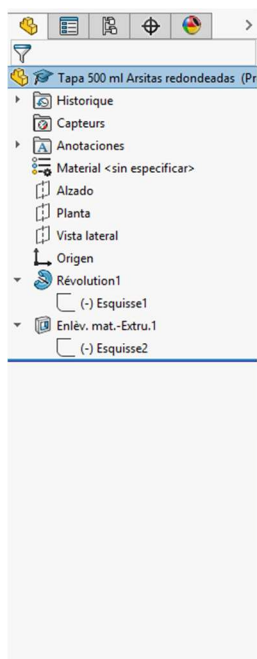


Ilustración 6-6 - Árbol de trabajo y resultado final de la tapa de 500 ml

6.3 Cierres vasija 500 ml

Con el objetivo de garantizar la estanqueidad dentro de la vasija en el caso de que se introdujese algún líquido o gas en el interior de la misma, se ha diseñado un cierre formado por dos piezas, que, gracias a tres tornillos y tres tuercas, apretaría la tapa contra la vasija.

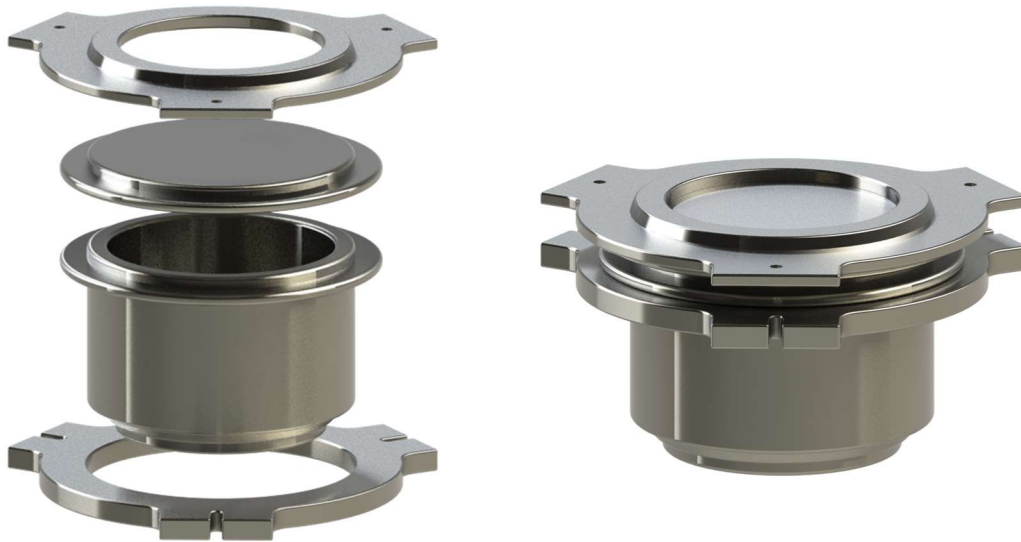


Ilustración 6-7 - Cierres para vasija de 500 ml

Para la materialización en *Solidworks* del cierre superior se ha realizado la *Esquisse1* representada en la *Ilustración 6-8* y se ha extruido en la dirección normal a la misma. Posteriormente, sobre la cara superior del volumen generado anteriormente, se ha realizado una nueva extrusión en forma de disco a partir de la *Esquisse2*, representada en naranja, y se le ha añadido la despulla a la misma. Por último, se ha realizado el redondeo de las aristas exteriores.

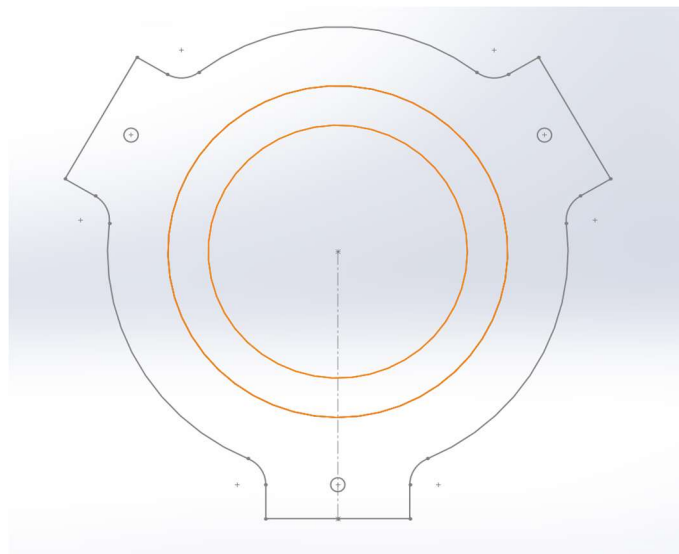


Ilustración 6-8 - *Esquisse1* (gris) y *Esquisse2* (naranja) del cierre superior de 500

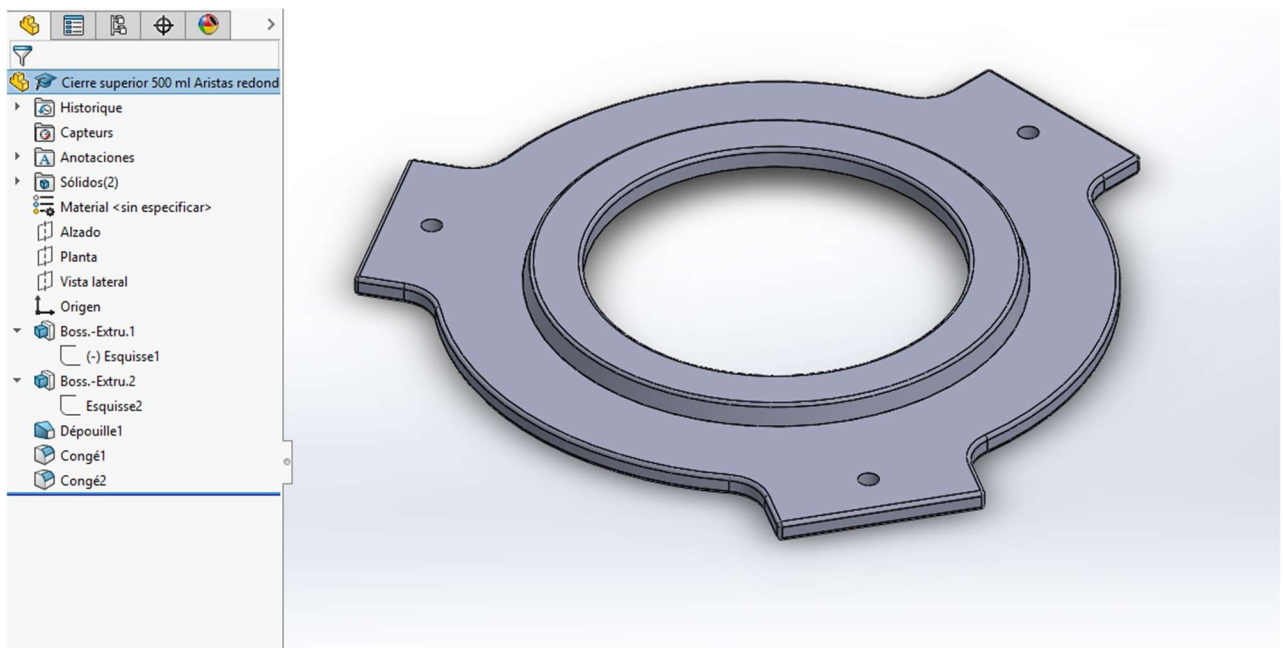


Ilustración 6-9 - Árbol de trabajo y resultado final del cierre superior de 500 ml

En el caso del cierre inferior se ha realizado la *Esquisse1* representada en la *Ilustración 6-10* y se ha extruido en la dirección normal a la misma. Después, se ha realizado el redondeo de las aristas exteriores.

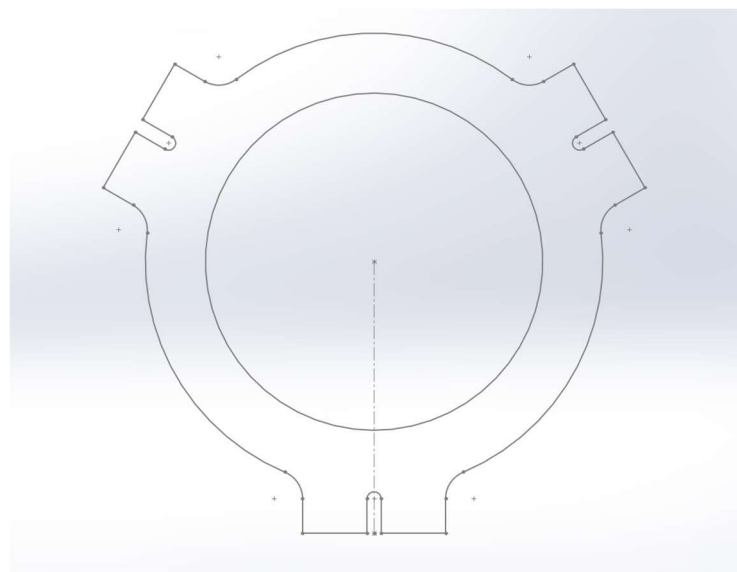


Ilustración 6-10 - *Esquisse1* del cierre inferior de 500 ml

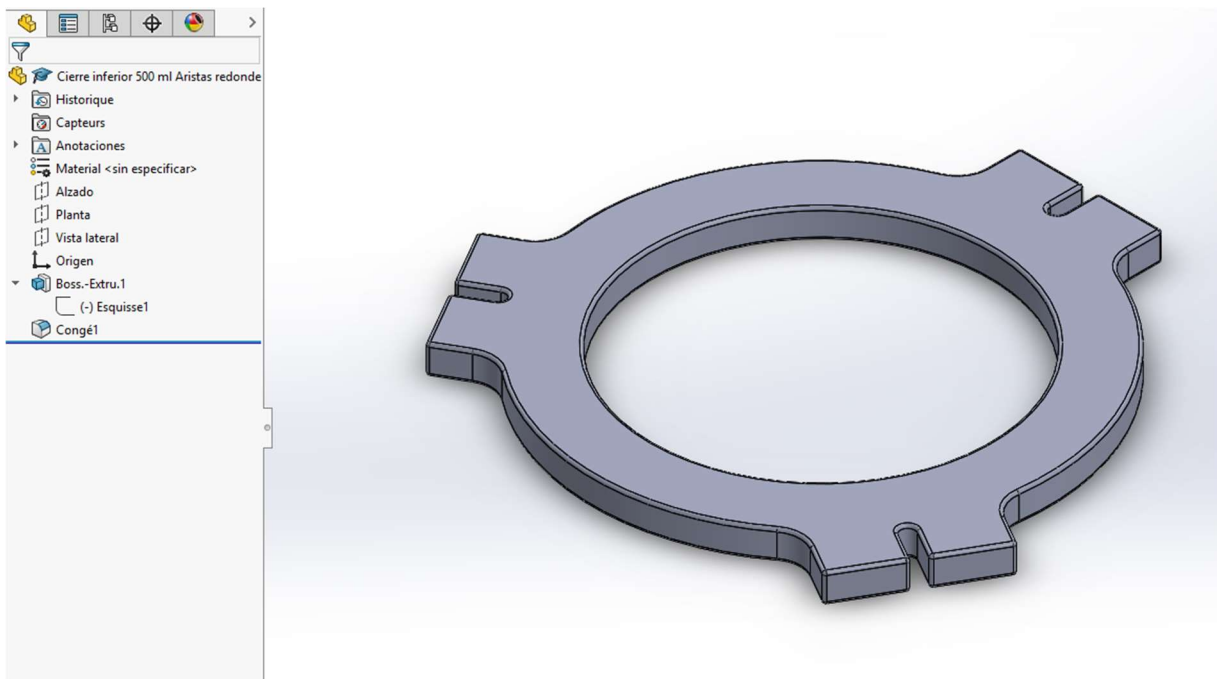


Ilustración 6-11 - Árbol de trabajo y resultado final del cierre inferior de 500 ml

6.4 Vasija 250 ml

Al no disponer de un modelo físico del cual extraer las dimensiones de esta vasija, se ha optado por otorgarle un diámetro interior y una profundidad de la parte hueca que cumpla con la misma relación de aspecto que en el caso de la vasija de 500 ml. Al reducirse el diámetro interior y mantenerse el espesor de las paredes, el diámetro exterior también quedará reducido, por lo que la base tendrá que ser más ancha para que siga encajando en el molino. El radio de acuerdo del interior del recipiente se ha reducido en la misma proporción que se ha reducido el radio máximo de las bolas que se pueden utilizar en esta vasija. Este dato lo proporciona el fabricante, y está reflejado en la *Tabla 6-1*.



Ilustración 6-12 - Vasija de 250 ml

El proceso para generar este accesorio es idéntico al de la vasija de 500 ml, pero partiendo de la *Esquisse1* representada en gris en la *Ilustración 6-13* y realizando el vaciado a partir de la *Esquisse6* representada en naranja en la misma ilustración.

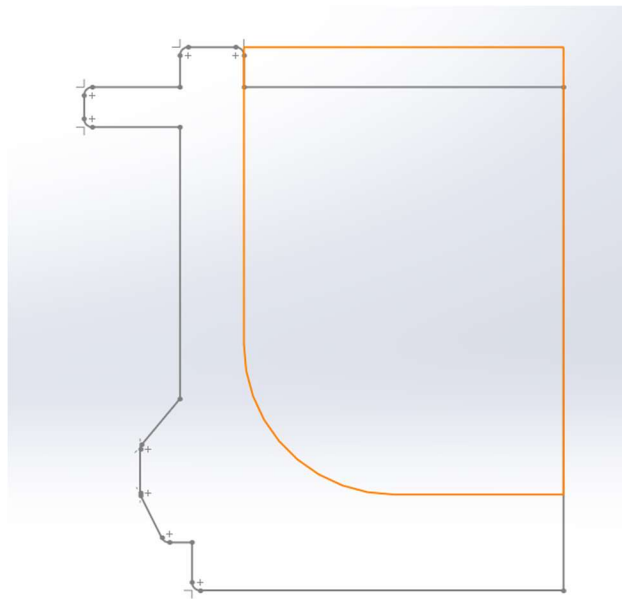


Ilustración 6-13 - *Esquisse1* (gris) y *Esquisse6* (naranja) de la vasija de 250 ml

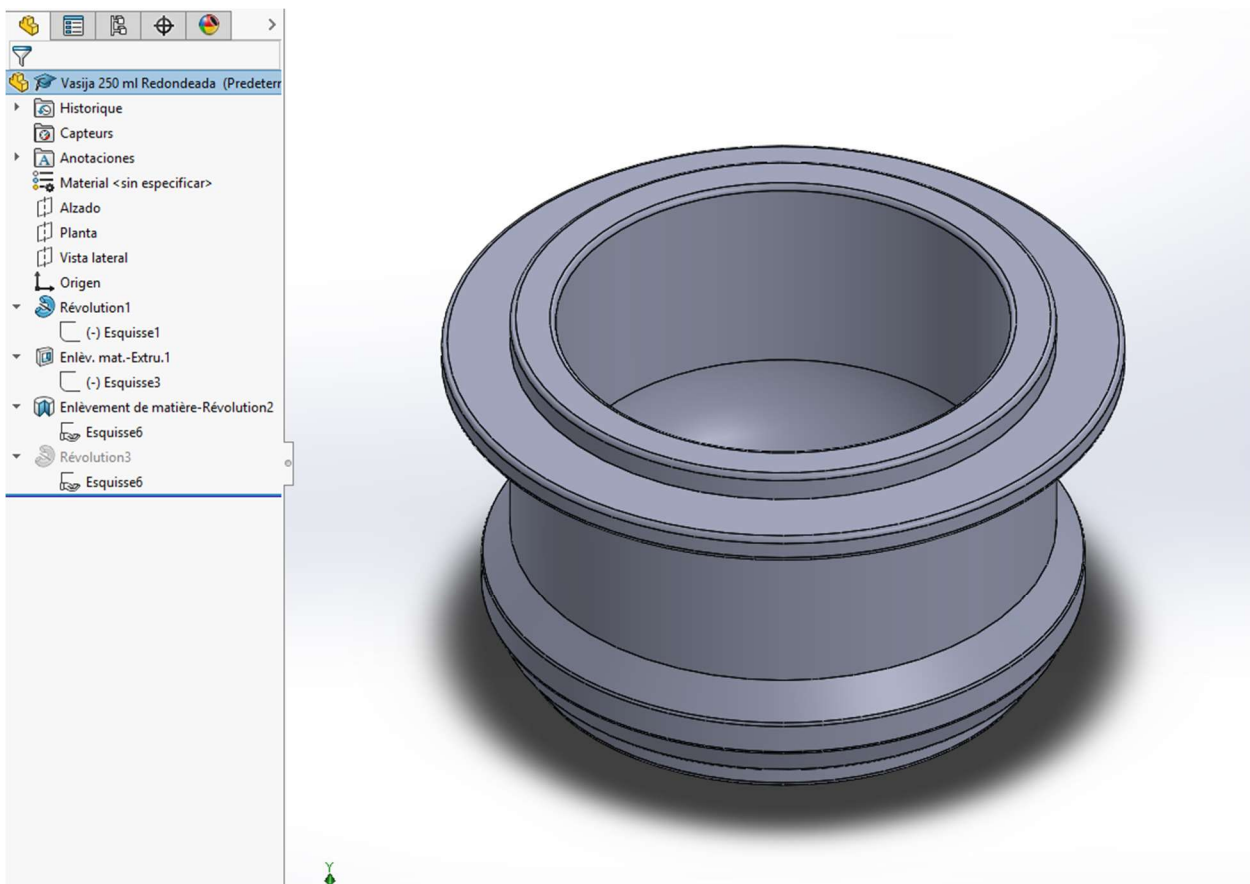


Ilustración 6-14 - Árbol de trabajo y resultado final de la vasija de 250 ml

6.5 Tapa 250 ml

Al igual que en la tapa de la vasija de 500 ml, esta presenta una hendidura para colocar la junta tórica.

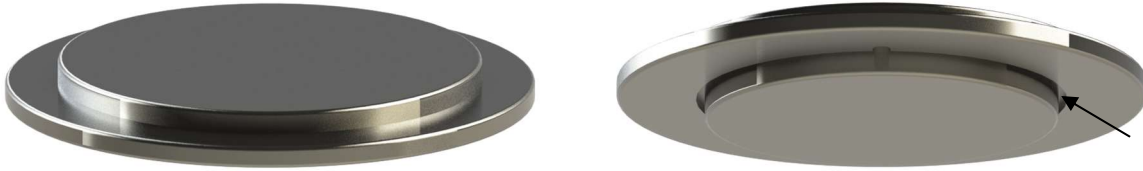


Ilustración 6-15 - Tapa de la vasija de 250 ml

Las tolerancias entre las partes de la vasija y la tapa que ajustan entre sí se han dimensionado de manera que siempre exista juego entre las dos, siendo el juego máximo $J_{m\acute{a}x} = 1,8 \text{ mm}$ y el juego mínimo $J_{m\acute{i}n} = 0,72 \text{ mm}$.

Para realizar esta pieza en *Solidworks* se ha realizado el mismo procedimiento que para la tapa de 500 ml partiendo de un croquis con las dimensiones correctas. Al tener la misma geometría y árbol de trabajo esta tapa y la de 500 ml, se ha decidido no incluir dichas ilustraciones en la memoria.

6.6 Cierres vasija 250 ml

En este caso la pieza inferior del cierre se ha tenido que dividir en dos partes ya que, de lo contrario, al ser la base del recipiente más ancha que la parte central, el cierre en una única pieza no se podría introducir. Al igual que en el caso anterior, el apriete se realizará gracias a seis tornillos y seis tuercas.



Ilustración 6-16 - Cierres para vasija de 250 ml

Para la generación en el programa del cierre superior se ha realizado la *Esquisse1* representada en la *Ilustración 6-17* y se ha extruido en la dirección normal a la misma. Posteriormente, sobre la cara superior del volumen generado anteriormente, se ha realizado una nueva extrusión en forma de disco a partir de la *Esquisse2* representada en naranja y se le ha añadido la despulla a la misma. Por último, se ha realizado el redondeo de las aristas exteriores.

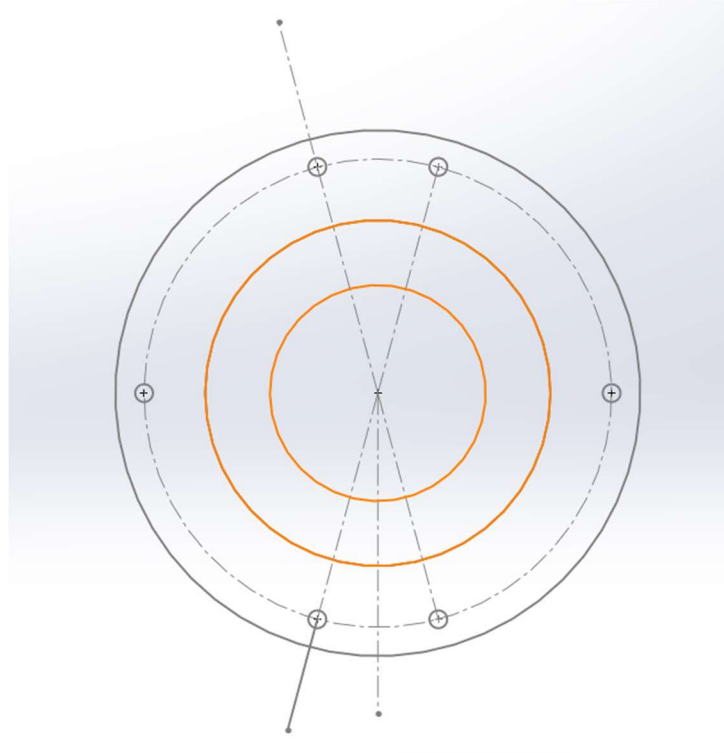


Ilustración 6-17 - *Esquisse1* (gris) y *Esquisse2* (naranja) del cierre superior de 250 ml

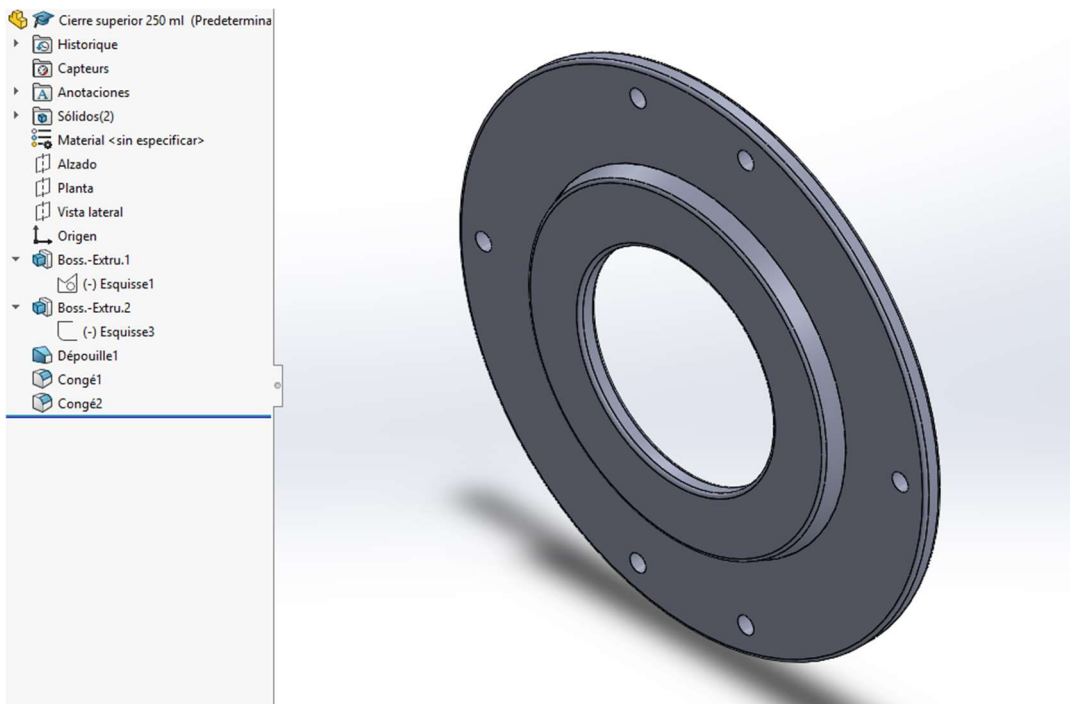


Ilustración 6-18 - Árbol de trabajo y resultado final del cierre superior de 250 ml

En el caso del cierre inferior se ha realizado la *Esquisse1* representada en la *Ilustración 6-19* y se ha extruido en la dirección normal a la misma. Después, se ha realizado el redondeo de las aristas exteriores.

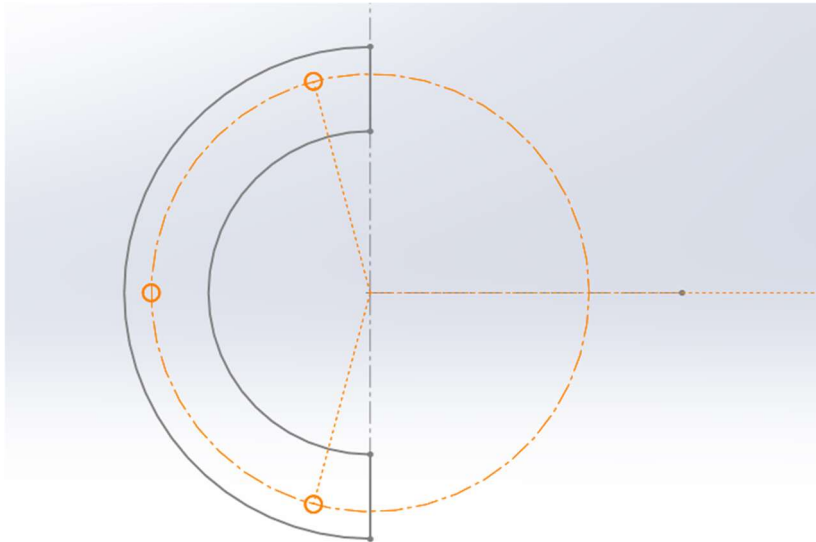


Ilustración 6-19 - *Esquisse1* del cierre inferior de 250 ml

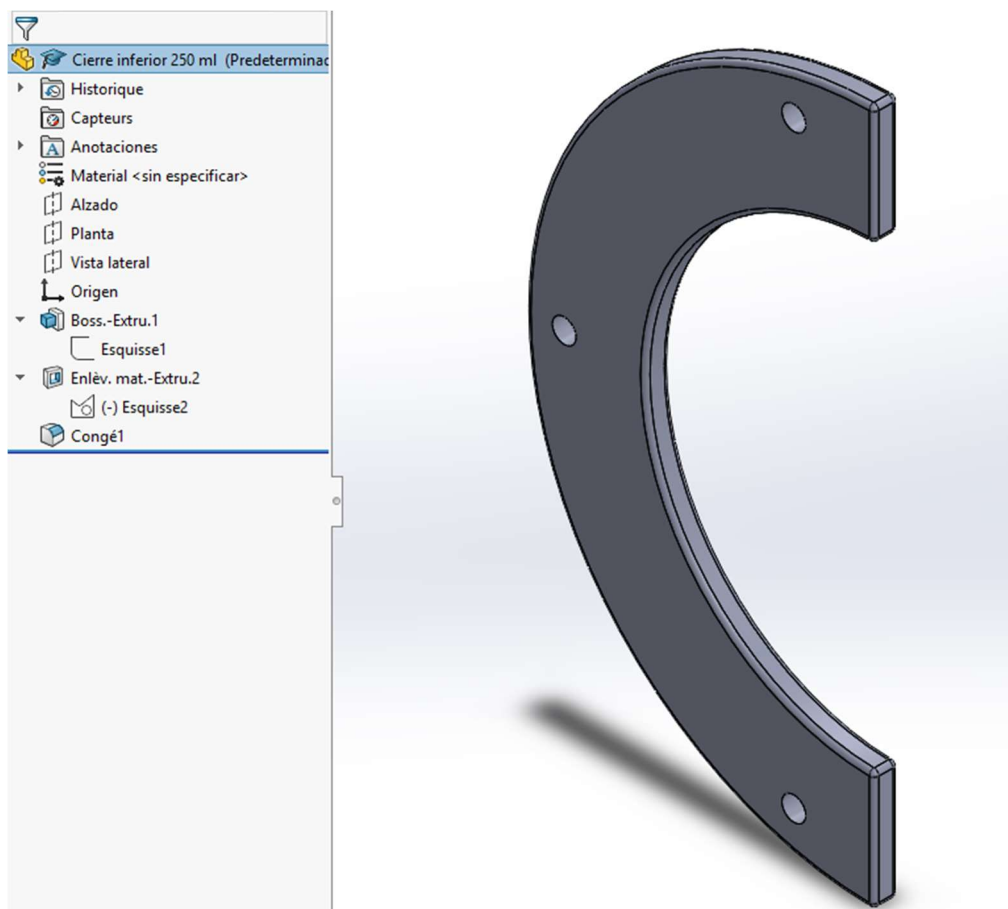


Ilustración 6-20 - Árbol de trabajo y resultado final del cierre inferior de 250 ml

6.7 Vasija 50 ml

Al igual que en el caso de la vasija de 250 ml, al no disponer de un modelo físico del recipiente, se ha optado por otorgarle unas dimensiones de diámetro interior y profundidad que mantuviesen la misma relación de aspecto que la vasija de 500 ml. Para el radio de acuerdo interior se ha utilizado el mismo criterio que en el caso anterior. En este caso la base no encajará directamente en el molino.



Ilustración 6-21 - Vasija de 50 ml

Al igual que con la vasija de 250 ml, el único cambio para el modelado de la misma con respecto a la vasija de 500 ml es que se ha partido de la *Esquisse1* representada en gris en la *Ilustración 6-22* para generar el volumen de revolución y de la *Esquisse2* representada en naranja en la misma ilustración para realizar el vaciado.

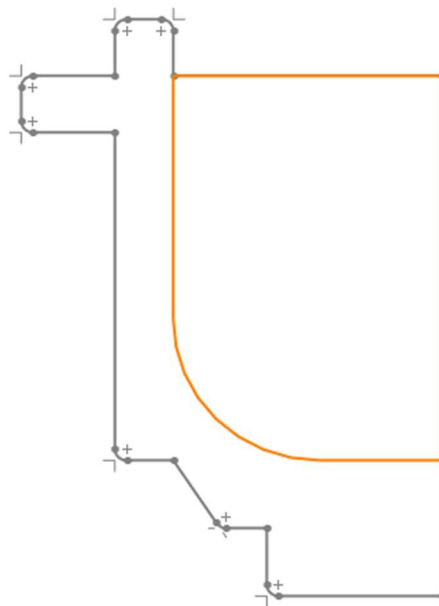


Ilustración 6-22 - *Esquisse1* (gris) y *Esquisse2* (naranja) de la vasija de 50 ml

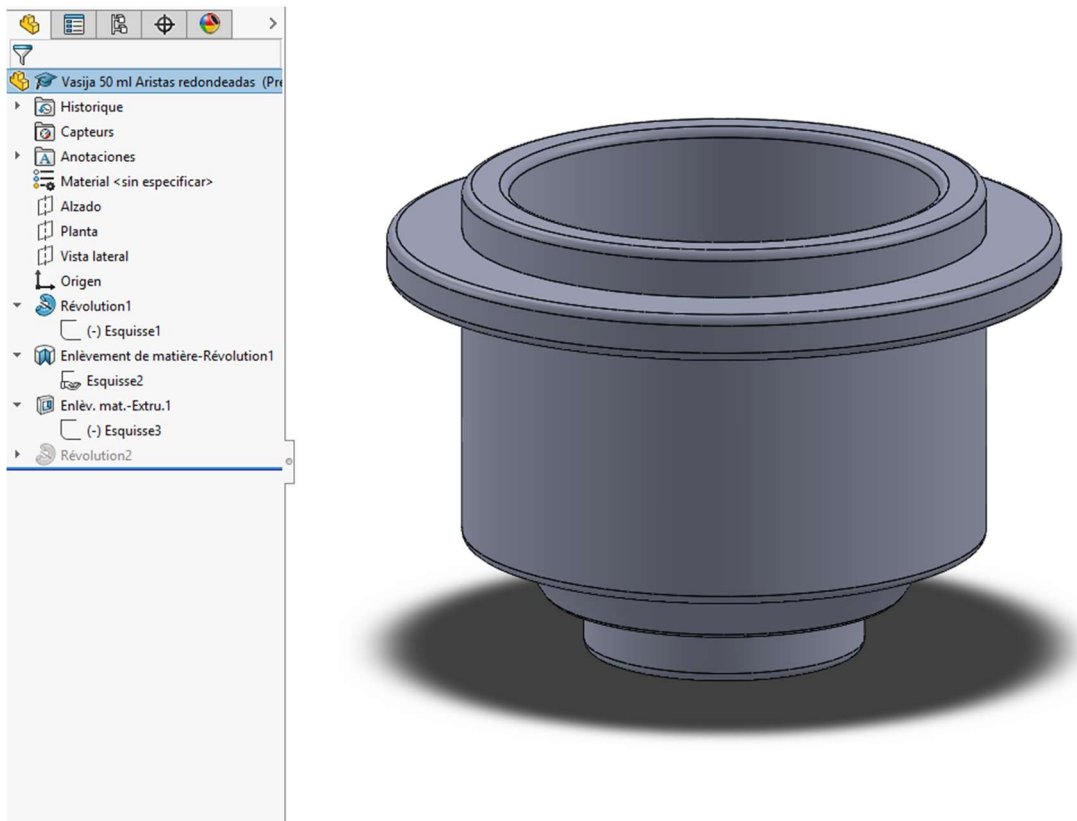


Ilustración 6-23 - Árbol de trabajo y resultado final de la vasija de 50 ml

6.8 Tapa 50 ml

Al igual que en la tapa de la vasija de 500 ml, esta presenta una hendidura para colocar la junta tórica.



Ilustración 6-24 - Tapa de la vasija de 50 ml

Las tolerancias entre las partes de la vasija y la tapa que ajustan entre sí se han dimensionado de manera que siempre exista juego entre las dos, siendo el juego máximo $J_{m\acute{a}x} = 1,42 \text{ mm}$ y el juego mínimo $J_{m\acute{i}n} = 0,64 \text{ mm}$.

El proceso para la generación de la pieza en *Solidworks* es el mismo que en las dos tapas anteriores pero partiendo de un croquis con las dimensiones apropiadas. Se ha tomado la misma decisión de no incluir las ilustraciones del croquis ni del árbol de trabajo.

6.9 Adaptador vasija 50 ml

Como ya se ha comentado anteriormente las dimensiones tan reducidas de esta vasija hacen imposible que esta encaje directamente en el molino. Por ello, se ha diseñado un adaptador con la geometría y dimensiones de la base de la vasija de 500 ml, que hará de intermediario entre la vasija de 50 ml y el molino.

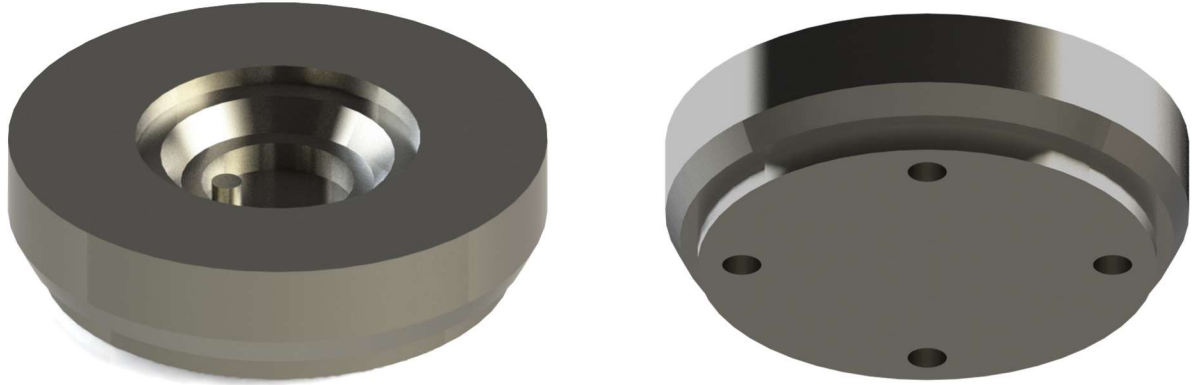


Ilustración 6-25 - Adaptador para la vasija de 50 ml

Para el modelado de esta pieza en *Solidworks*, se ha realizado un volumen de revolución a partir de la *Esquisse1* representada en gris en la *Ilustración 6-26* y posteriormente se le ha realizado un vaciado de revolución a partir de la *Esquisse2* representada en naranja en la misma ilustración. Por último, se ha añadido el pivote de sujeción de la vasija y se le han realizado los cuatro agujeros a la base.

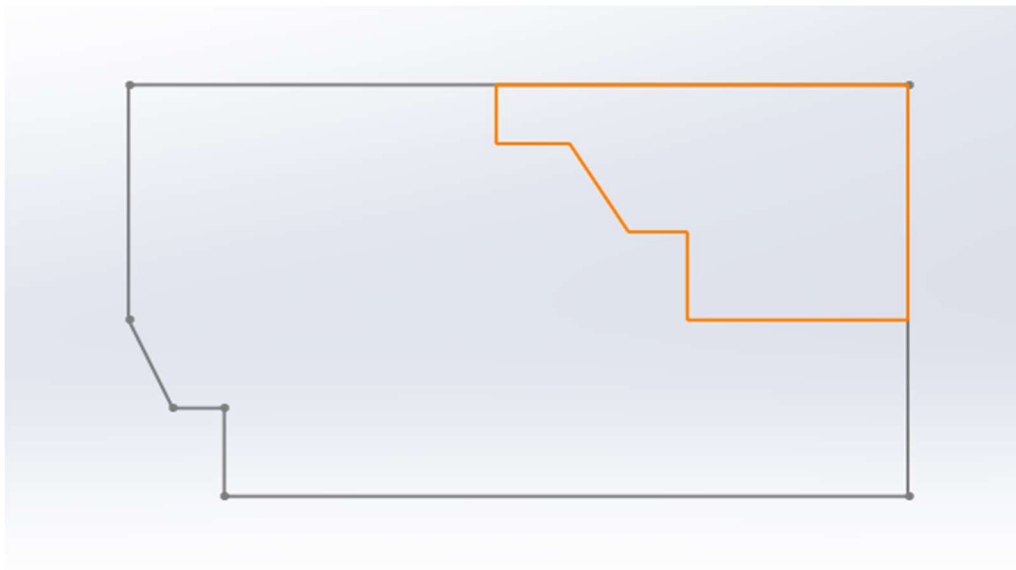


Ilustración 6-26 - *Esquisse1* (gris) y *Esquisse2* (naranja) del adaptador de 50 ml

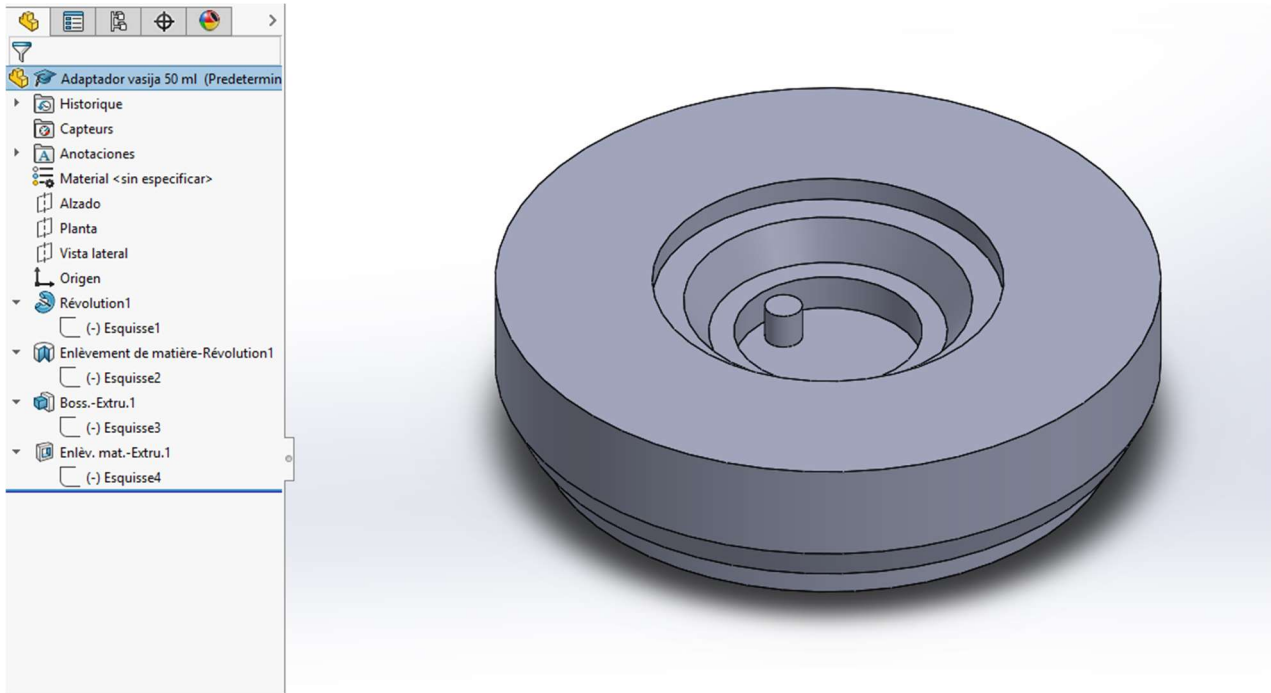


Ilustración 6-27 - Árbol de trabajo y resultado final del adaptador de 50 ml

6.10 Cierres vasija 50 ml

El cierre diseñado para la vasija de 50 ml tiene la misma geometría que el de la vasija de 500 ml, pero con las dimensiones adecuadas para ajustar con la vasija de 50 ml.



Ilustración 6-28 - Cierres para la vasija de 50 ml

Para el diseño de estas piezas se ha utilizado el mismo procedimiento que para los cierres de la vasija de 500 ml pero adaptando las dimensiones del croquis inicial a las medidas de la vasija de 50 ml, por lo que se ha decidido no incluir las ilustraciones del mismo ni del árbol de trabajo.

6.11 Juntas tóricas

Las juntas tóricas escogidas para garantizar la estanqueidad entre las tapas y vasijas, así como sus características principales quedan recogidas en la *Tabla 6-2*.

Capacidad vasija (ml)	Designación junta	Diámetro interior (mm)	Espesor (mm)	Material
500	OR 100 x 3	100	3	FPM
250	OR 80 x 3	80	3	FPM
50	OR 46 x 3	46	3	FPM

Tabla 6-2 Juntas tóricas para las tapas

Proveedor preferente: EPIDOR

7 CONCLUSIÓN

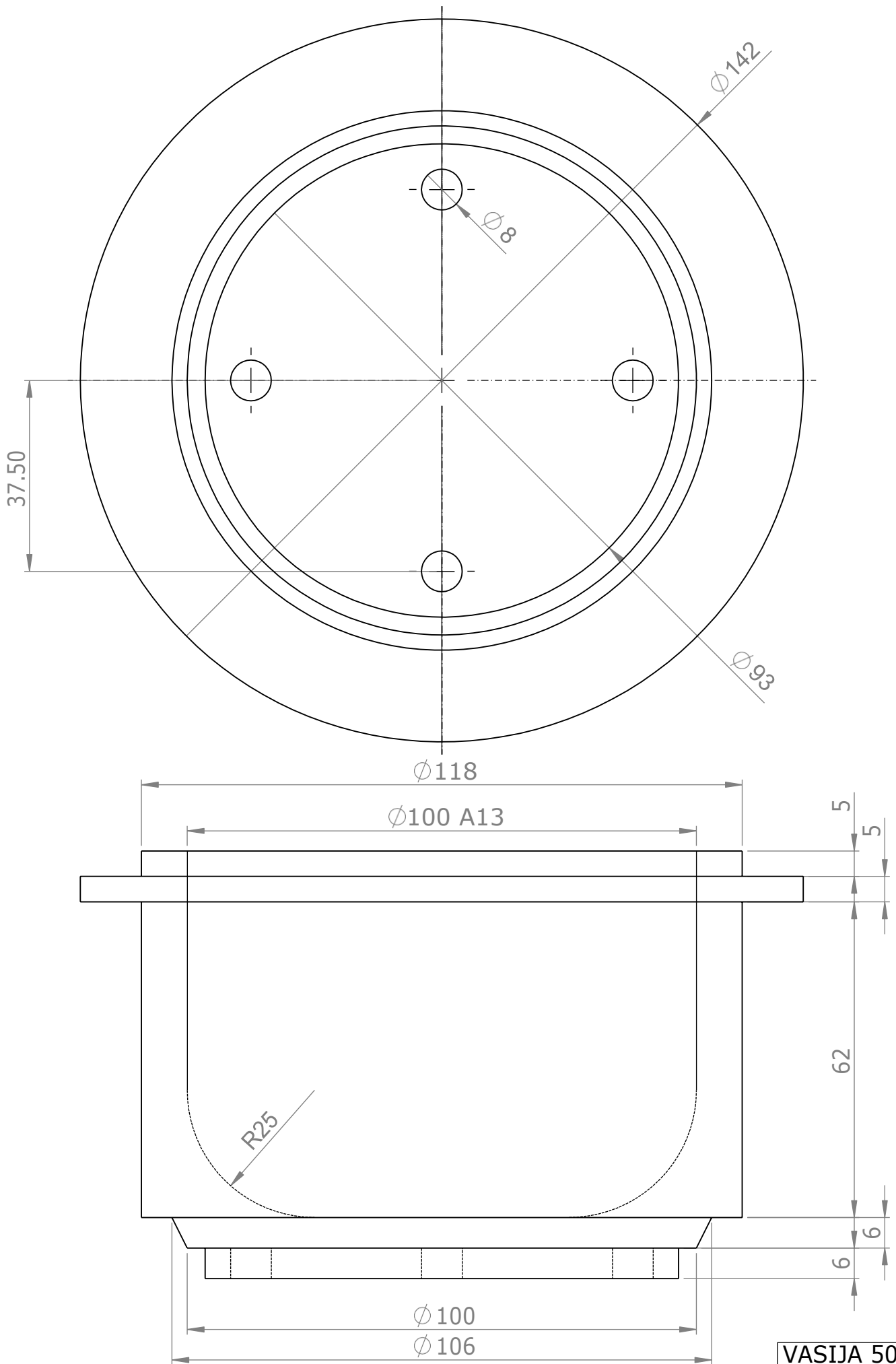
En el transcurso de este trabajo se ha desmontado y se ha vuelto a ensamblar el molino rotatorio PM 100 del laboratorio de ingeniería y ciencia de los materiales, generando un protocolo que permite a su lector conocer las instrucciones para acceder al interior del equipo y realizar las labores de mantenimiento de los rodamientos y de sustitución de las correas, no sin antes haberlo puesto en contexto de qué es lo que tiene delante, para qué se utiliza y cómo funciona.

Se han identificado y clasificado un total de veinte piezas y se les ha buscado un proveedor local que permita su adquisición inmediata en caso de así necesitarla.

Además, se han diseñado y aportado los planos de fabricación de trece piezas diferentes correspondientes a distintos accesorios compatibles con el equipo tratado.

Como mejora a este trabajo se podría haber realizado un estudio de la durabilidad de las correas, que permitiese al lector conocer una estimación de su vida útil y así poder sustituirlas antes de que se llegase al punto de rotura.

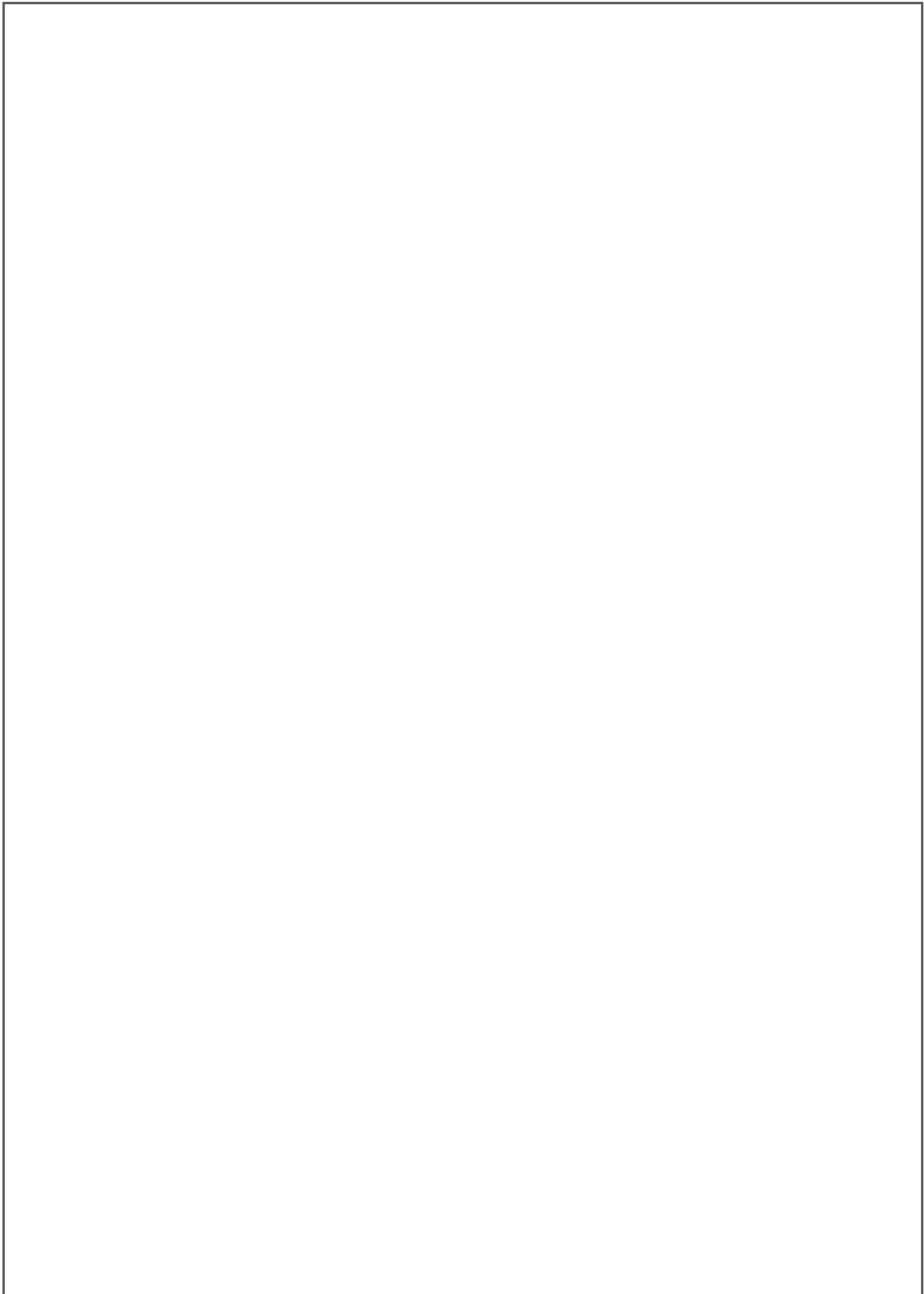
ANEXO DE PLANOS

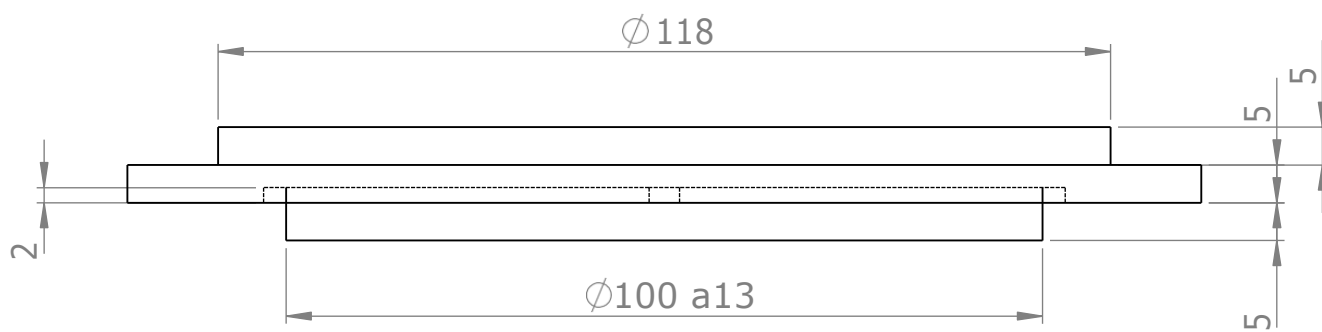
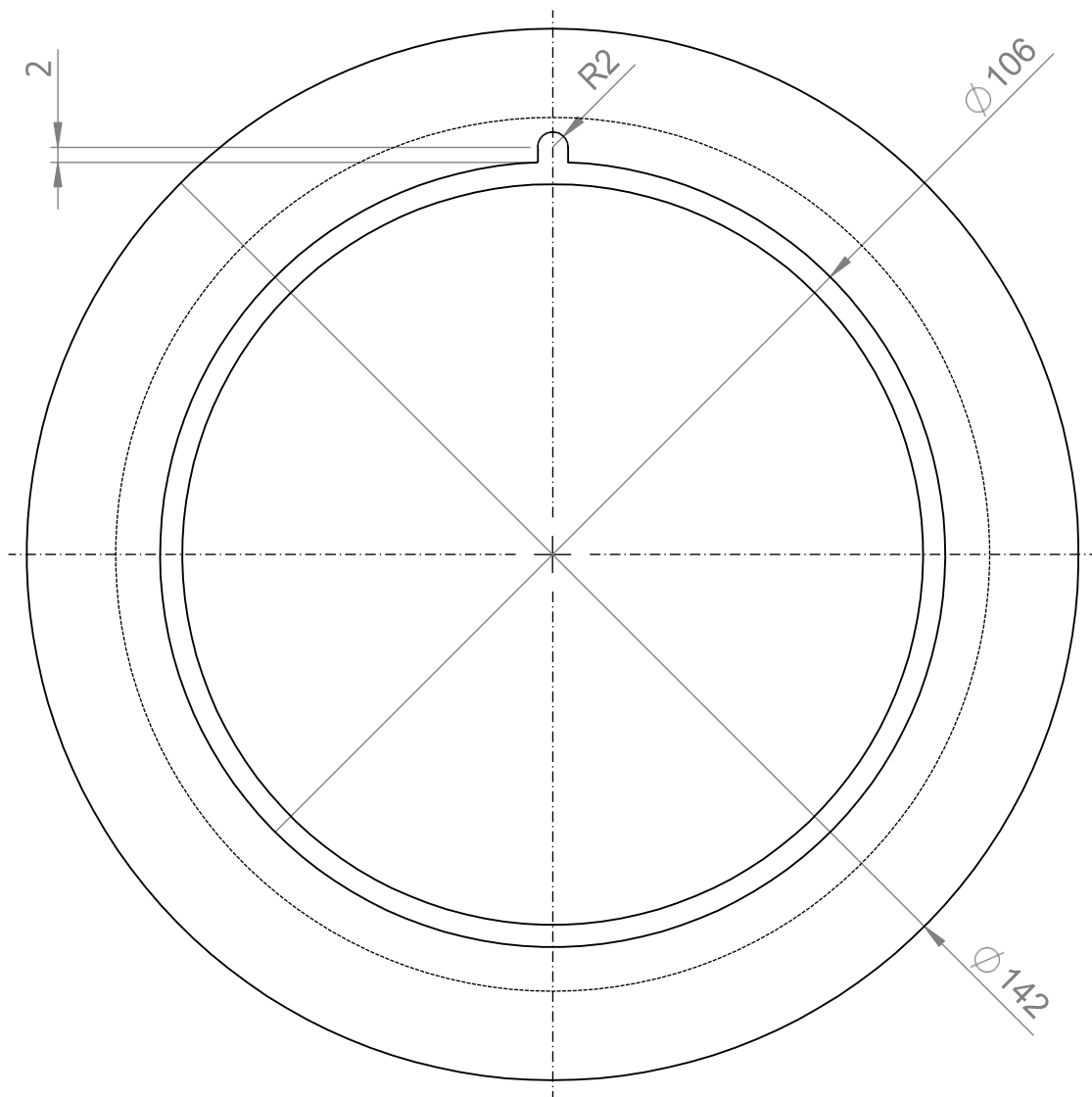


Aristas exteriores redondeadas a 1 mm

VASIJA 500ml

ESCALA 1:1

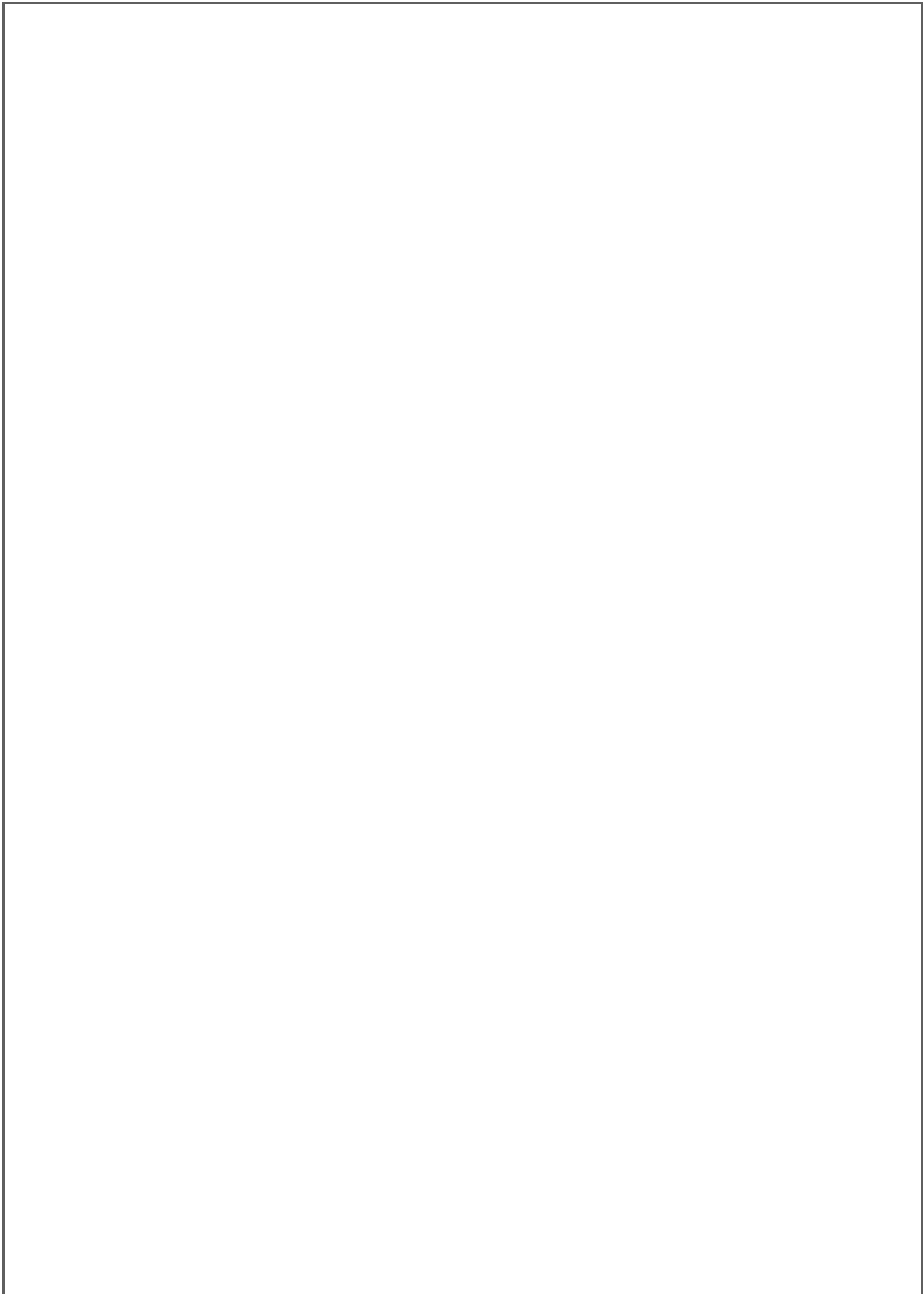


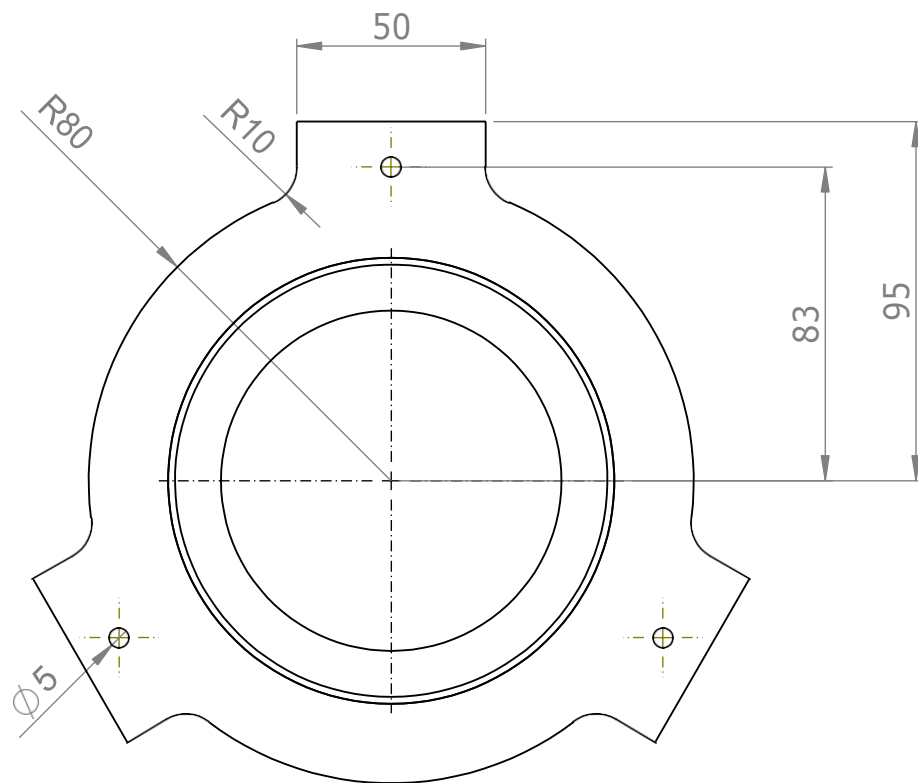
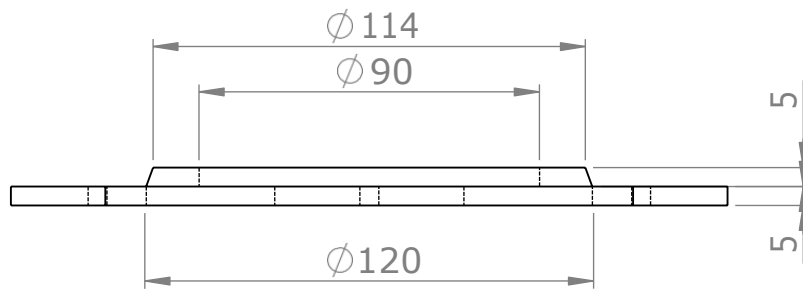


TAPA VASIJA 500 ml

ESCALA 1:1

Aristas exteriores redondeadas a 1 mm

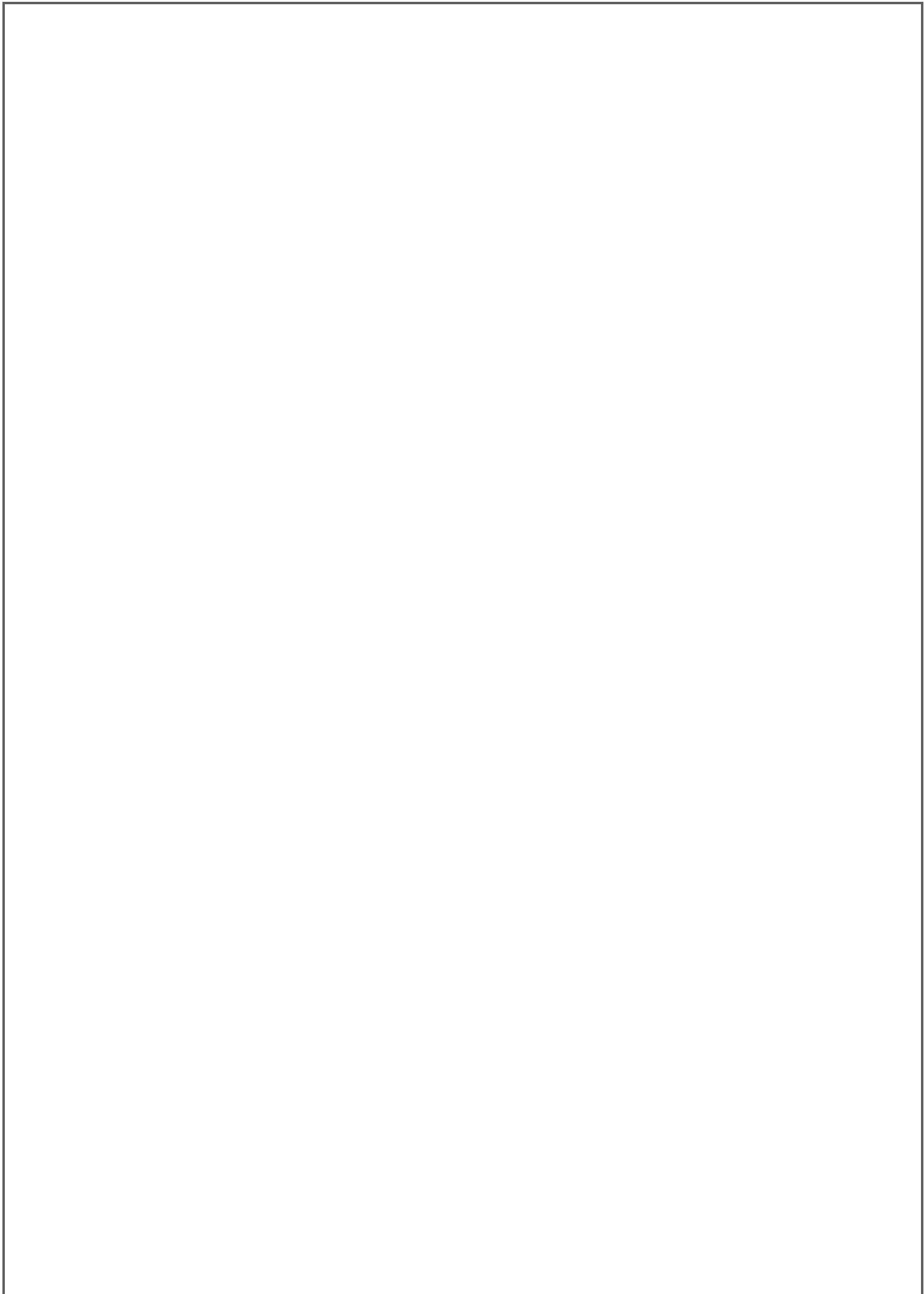


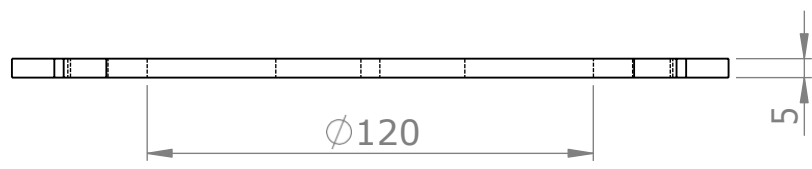
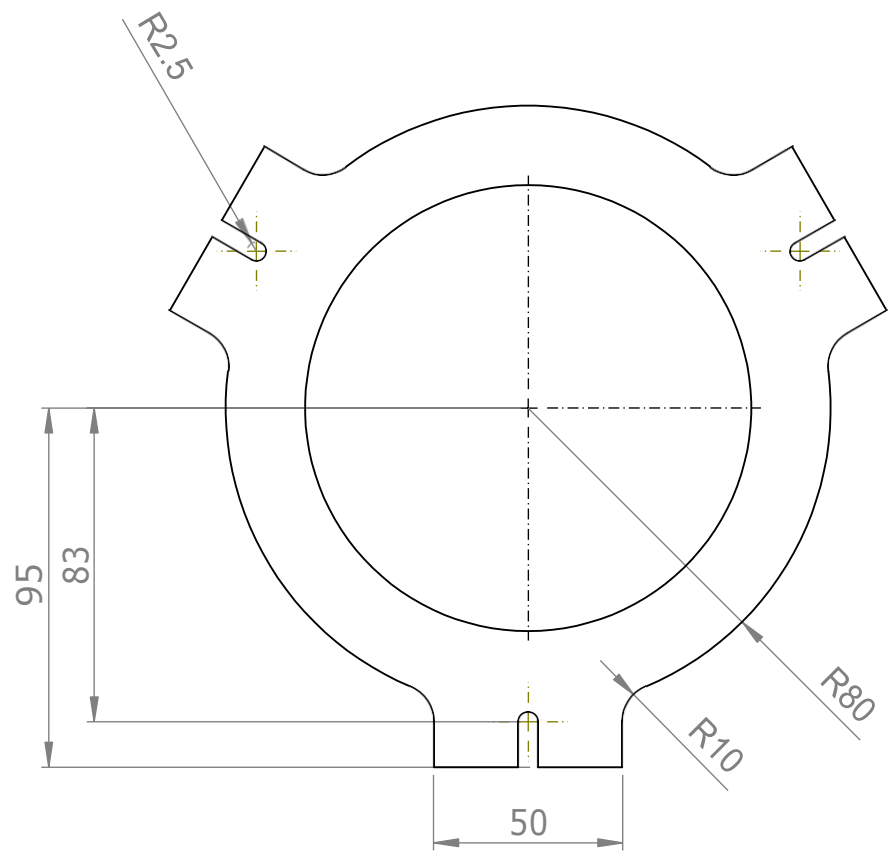


CIERRE SUPERIOR VASIJA 500 ml

Aristas exteriores redondeadas a 1 mm

ESCALA 1:2

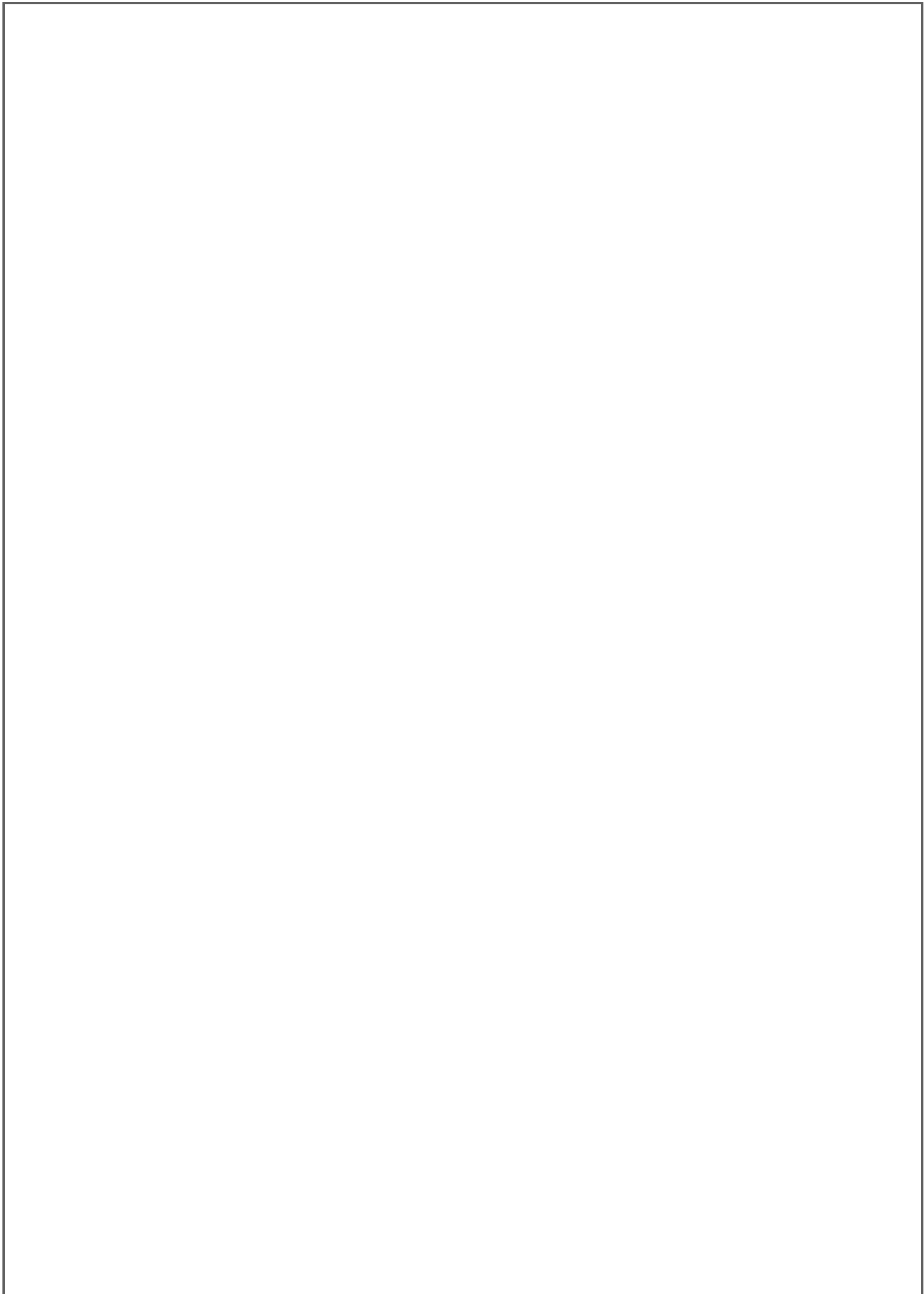


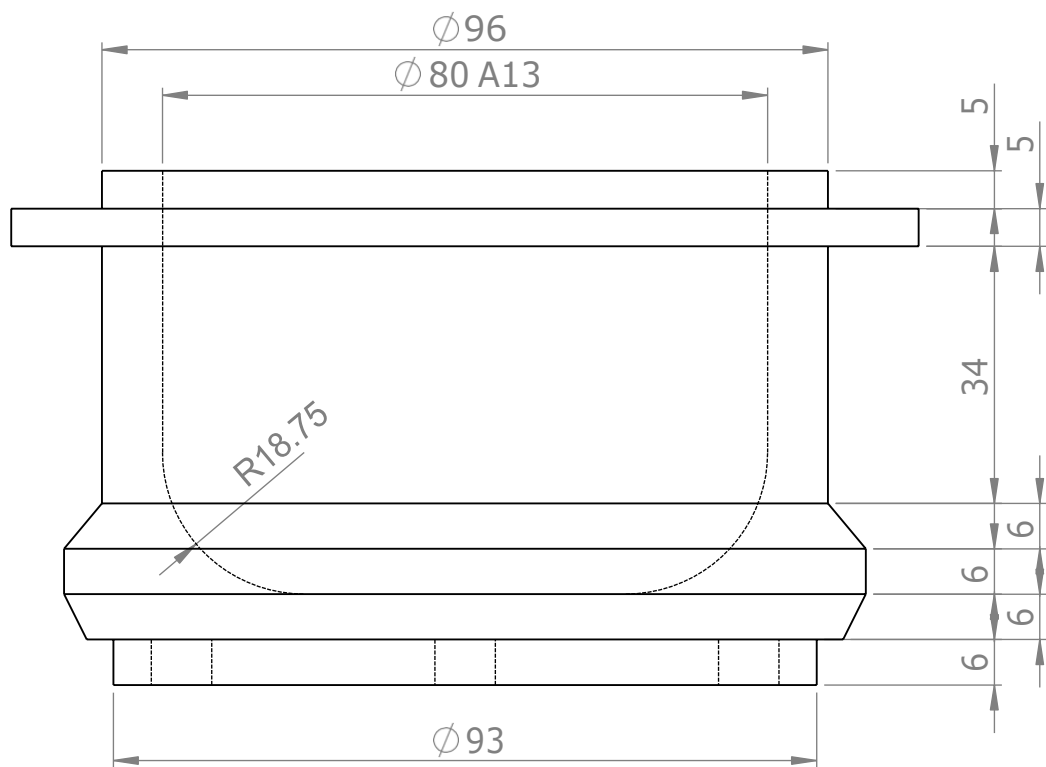
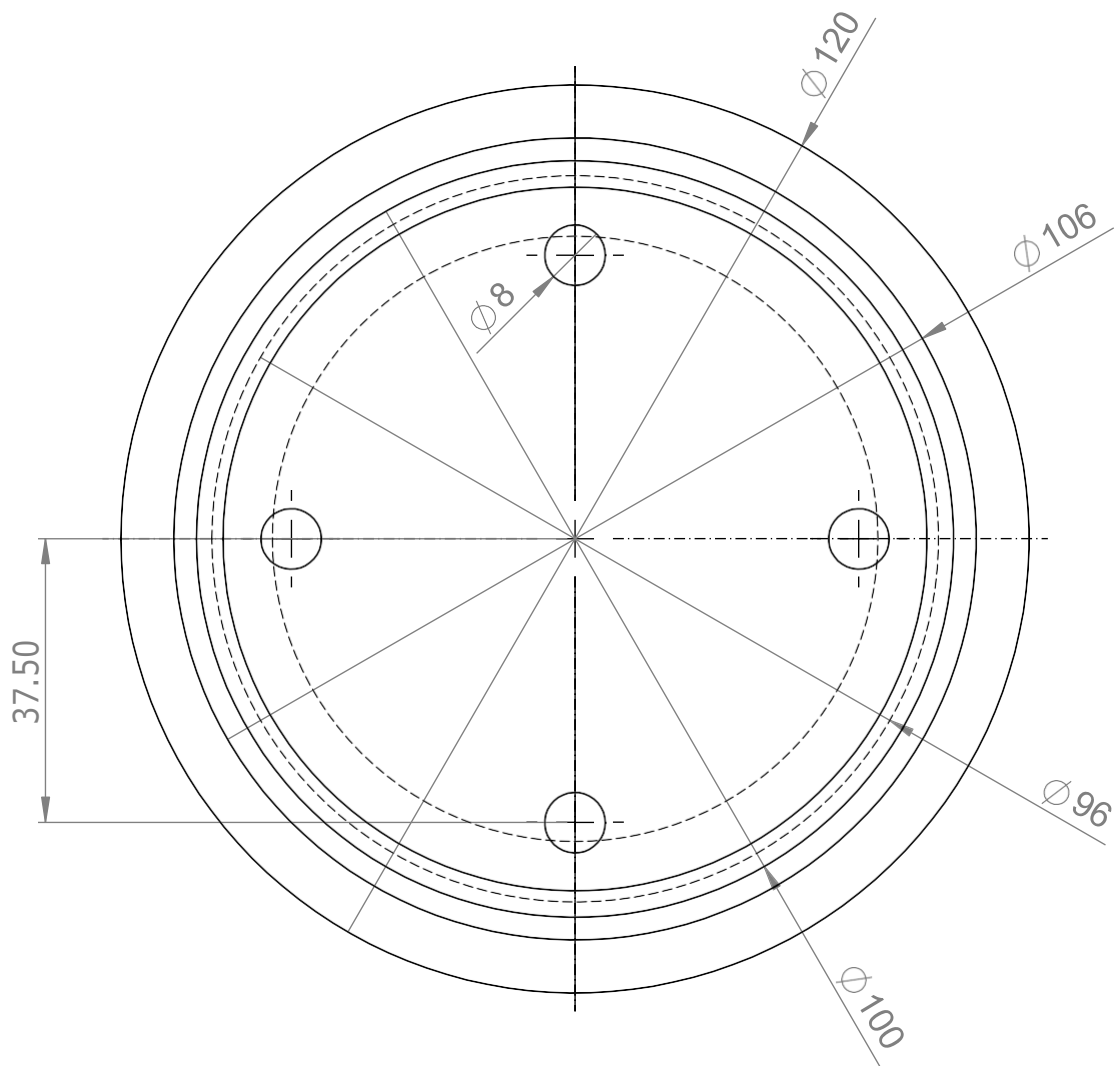


Aristas exteriores redondeadas a 1 mm

CIERRE INFERIOR VASIJA 500 ml

ESCALA 1:2

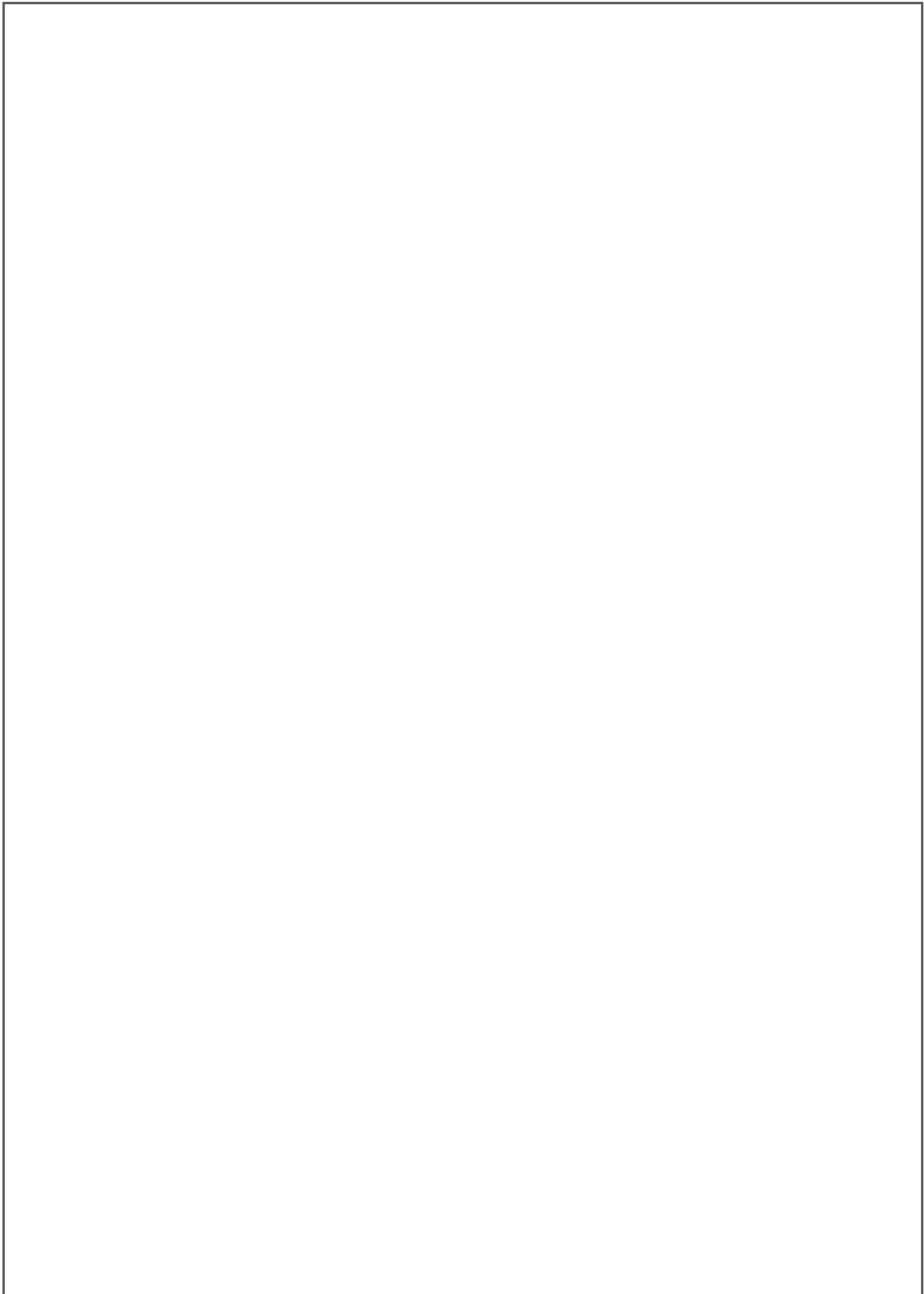


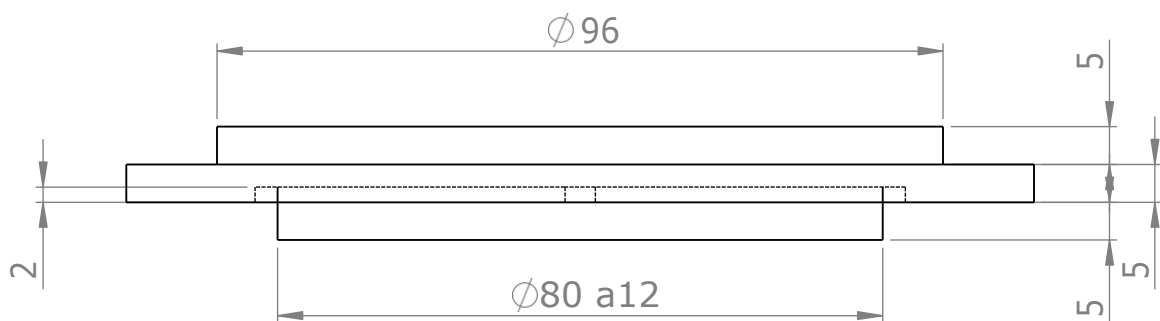
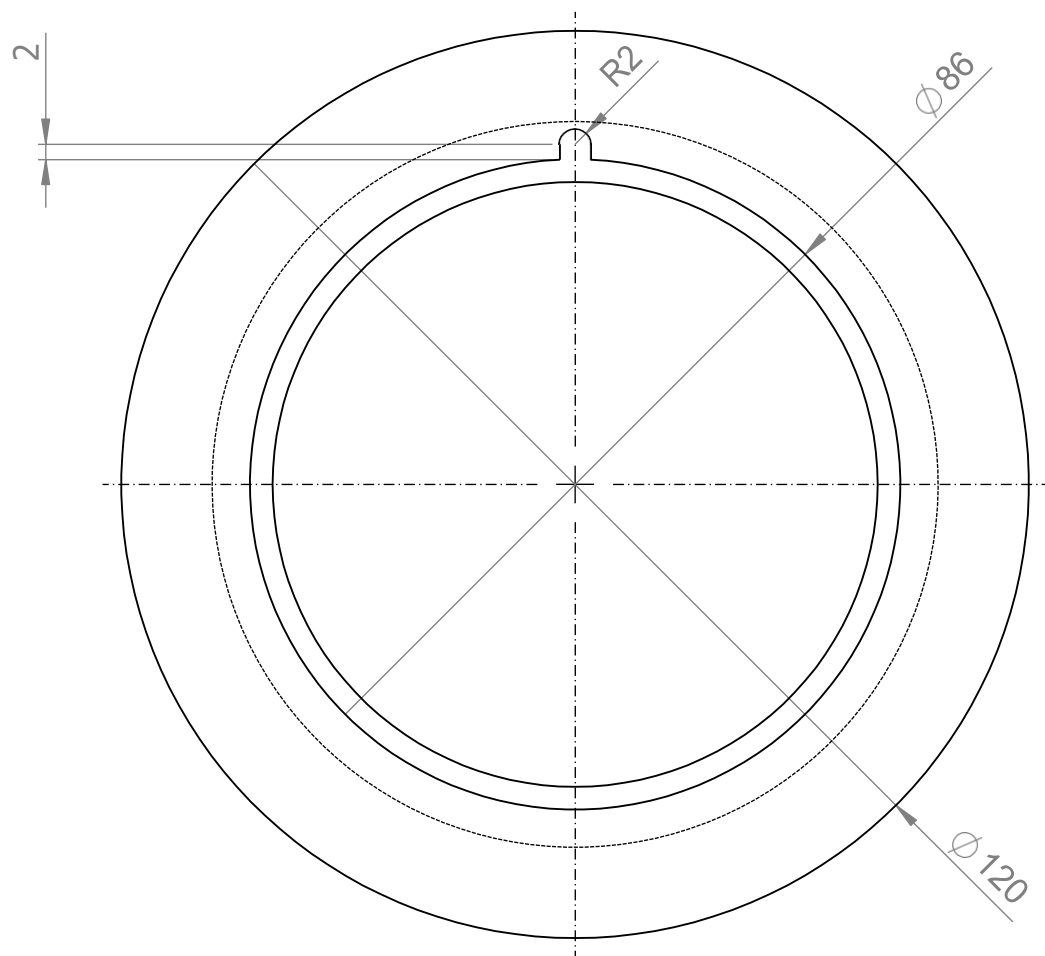


Aristas exteriores redondeadas a 1 mm

VASIJA 250 ml

ESCALA 1:1

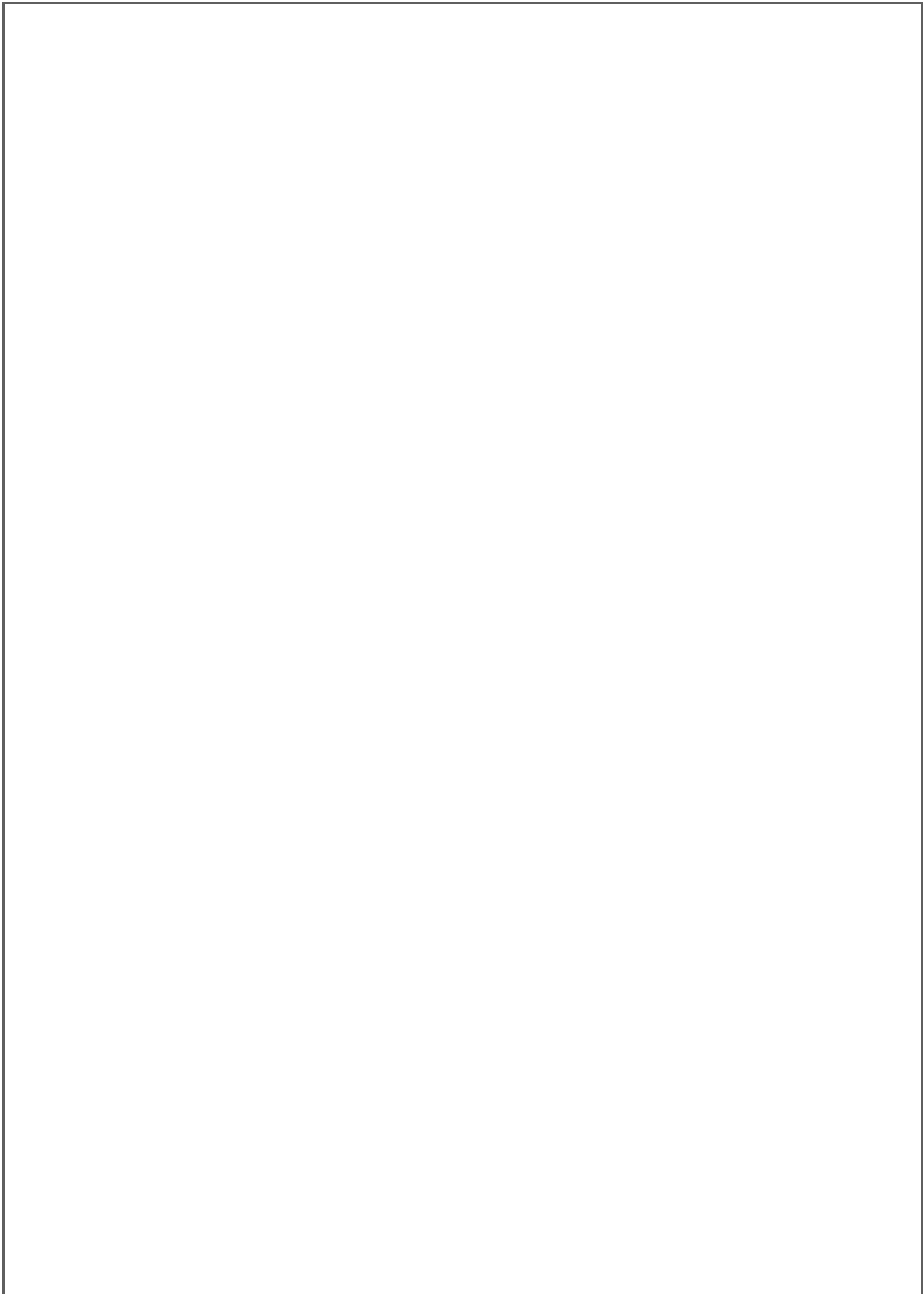


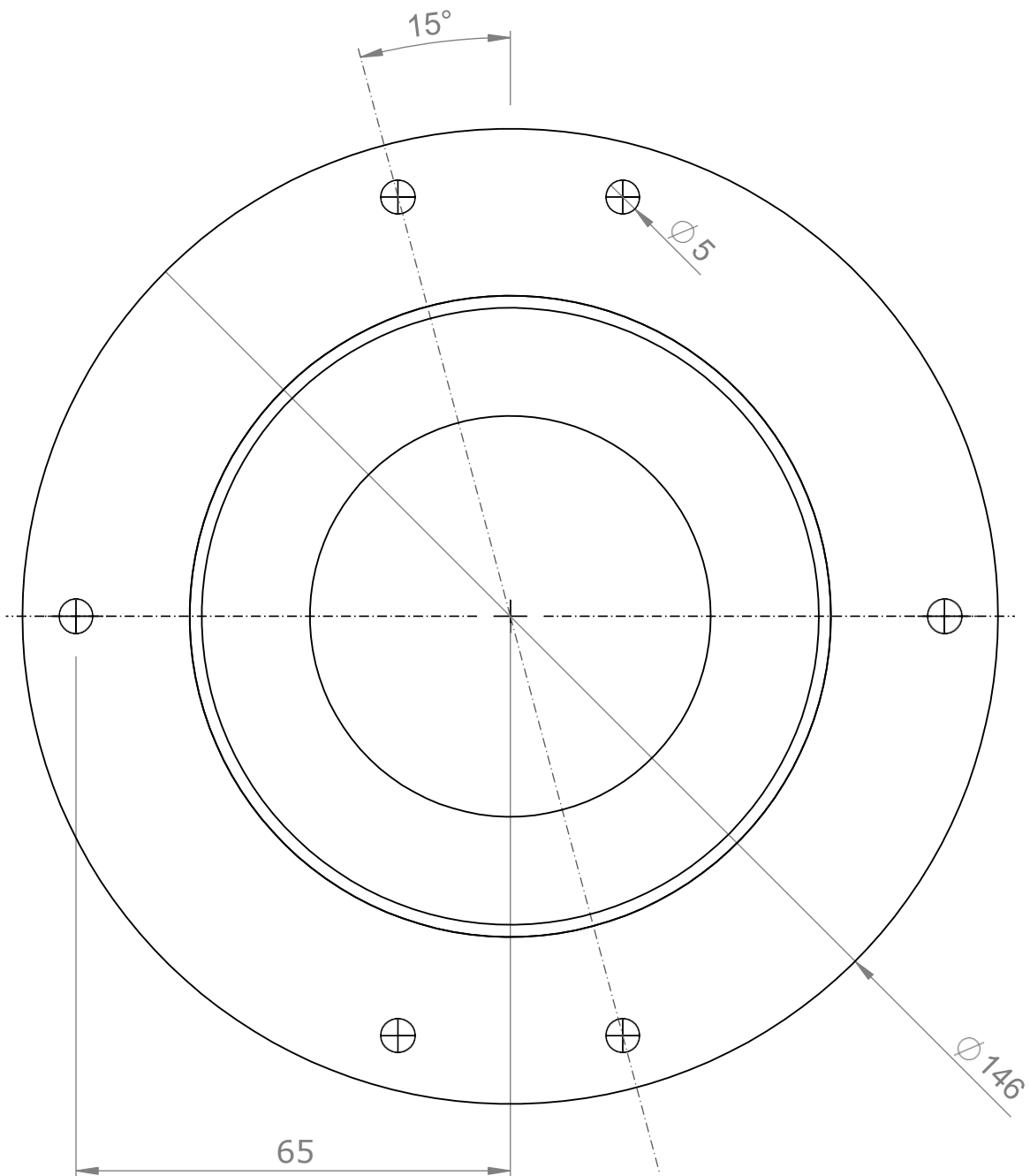
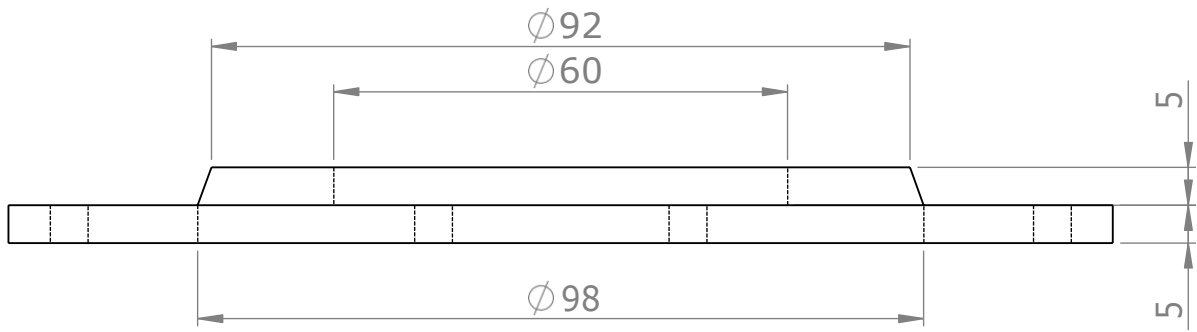


Aristas exteriores redondeadas a 1 mm

TAPAVASIJA 250 ml

ESCALA 1:1

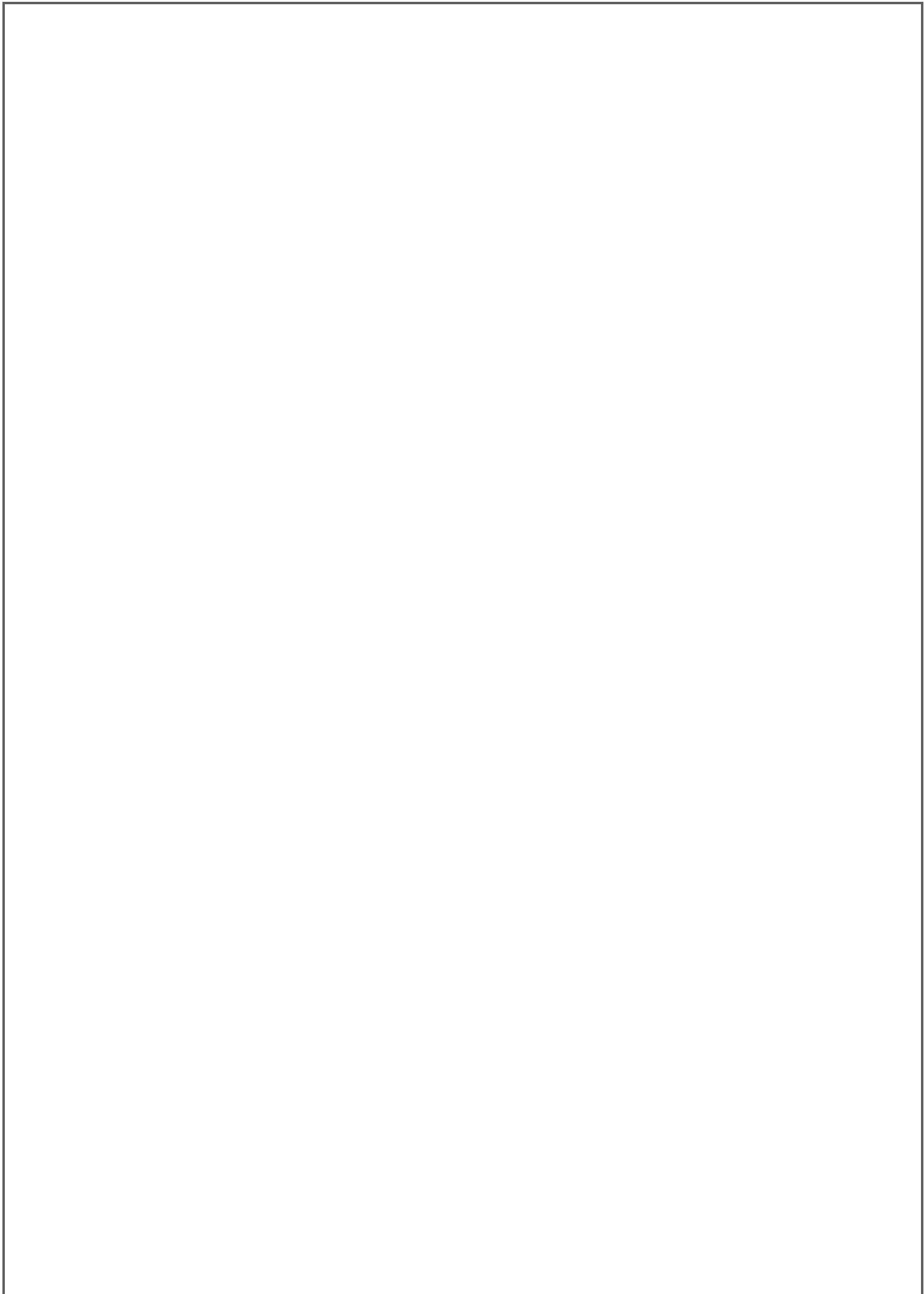


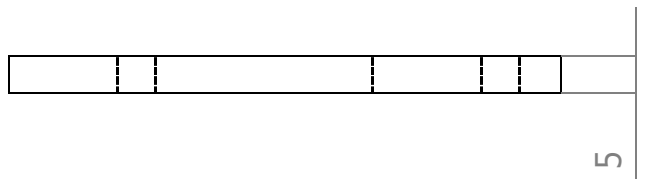
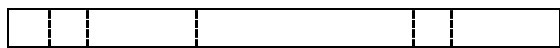
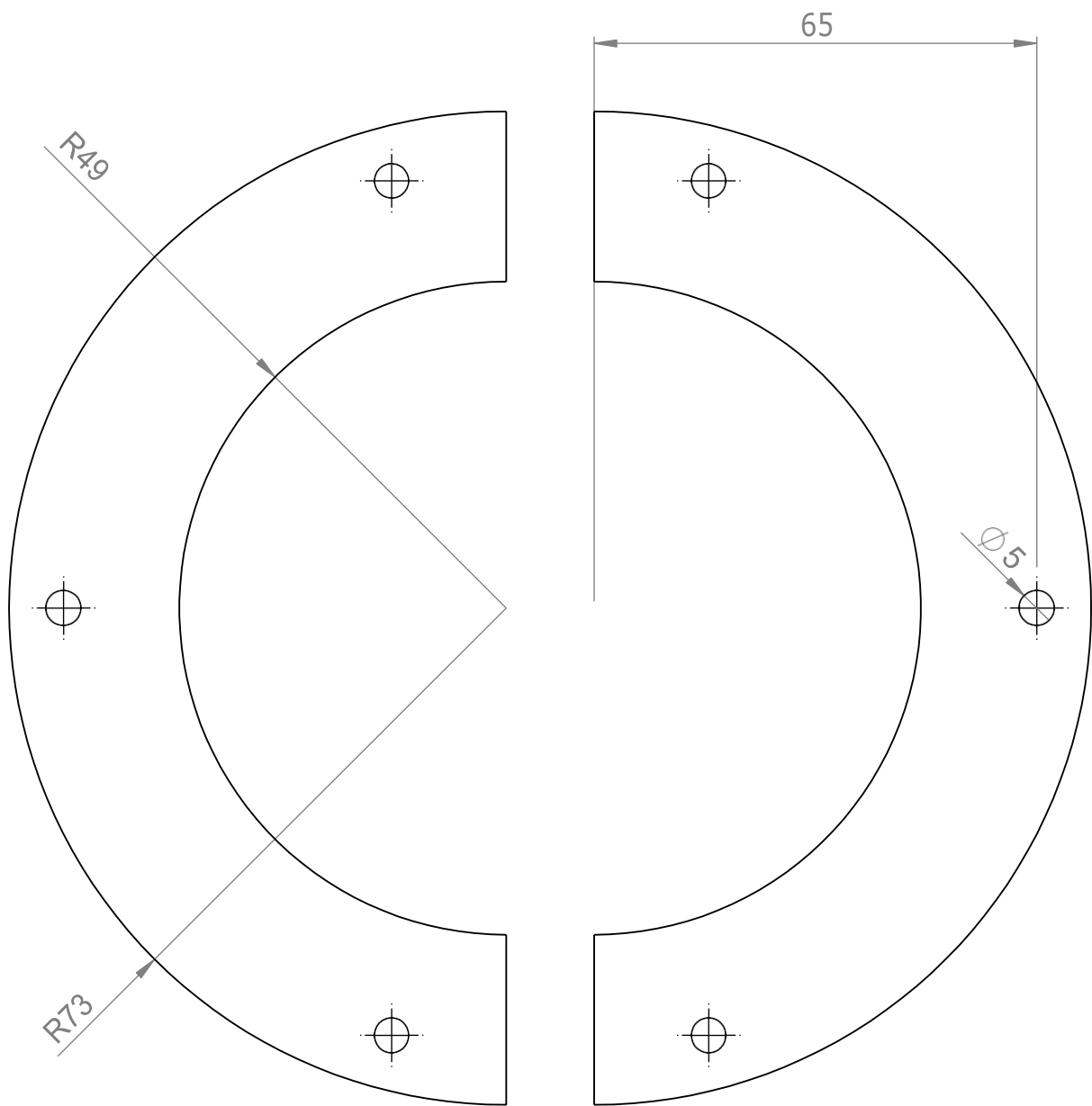


Aristas exteriores redondeadas a 1 mm

CIERRE SUPERIOR VASIJA 250 ml

ESCALA 1:1

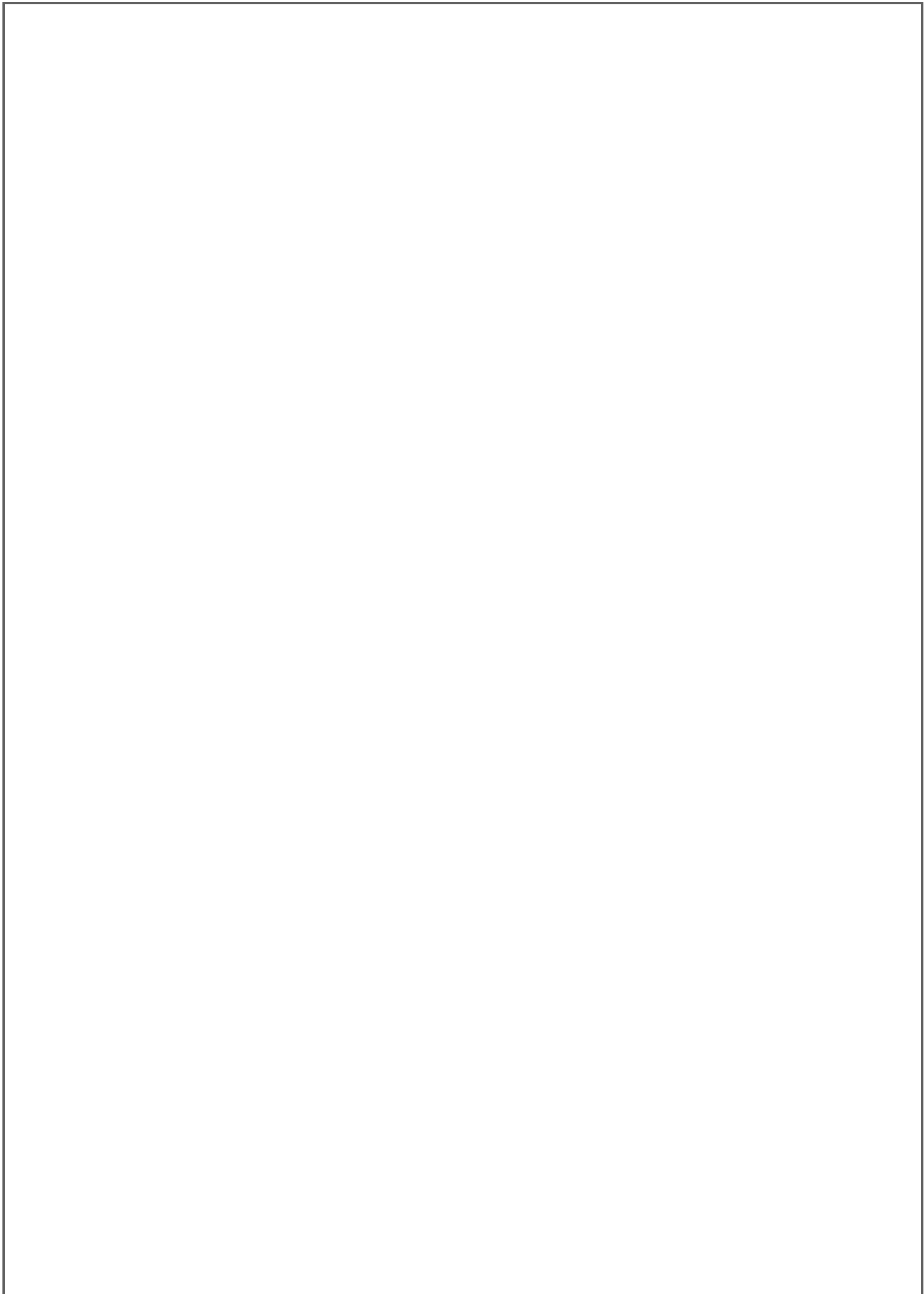


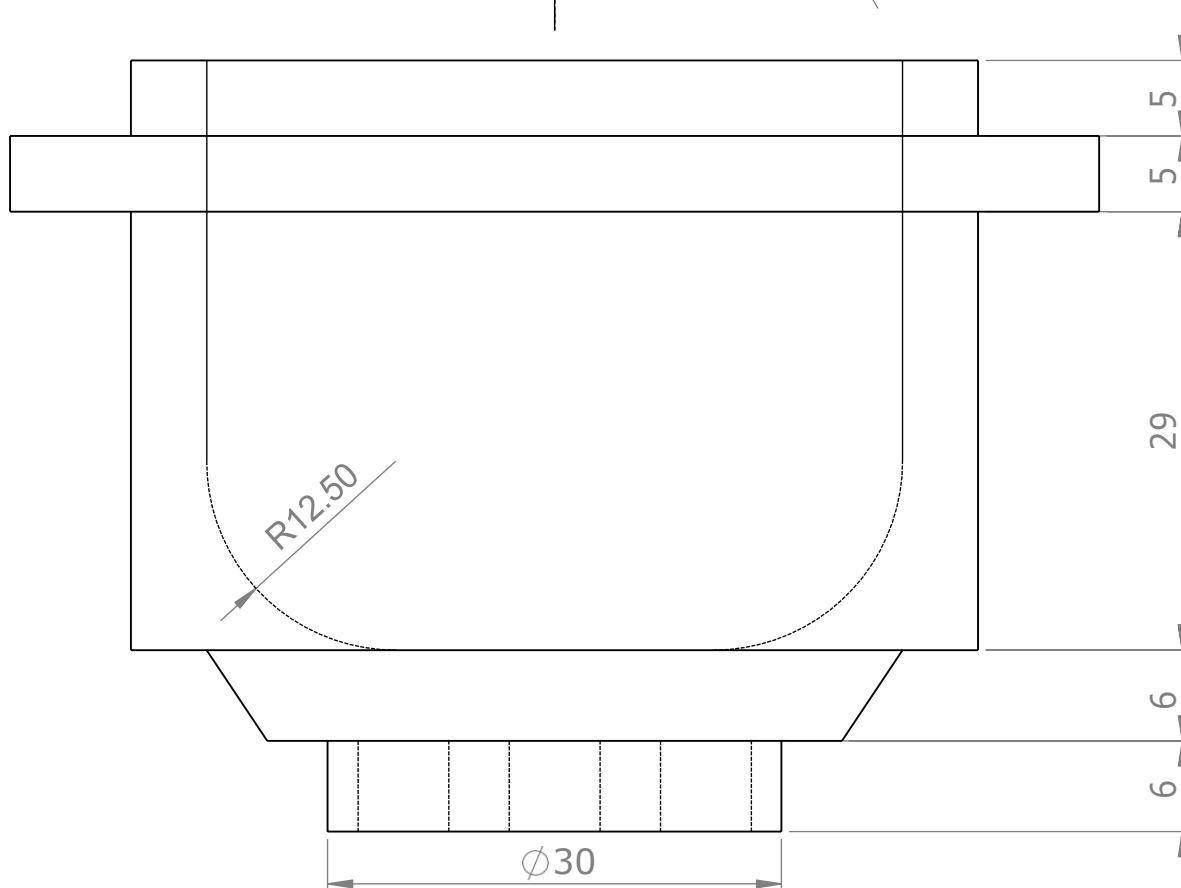
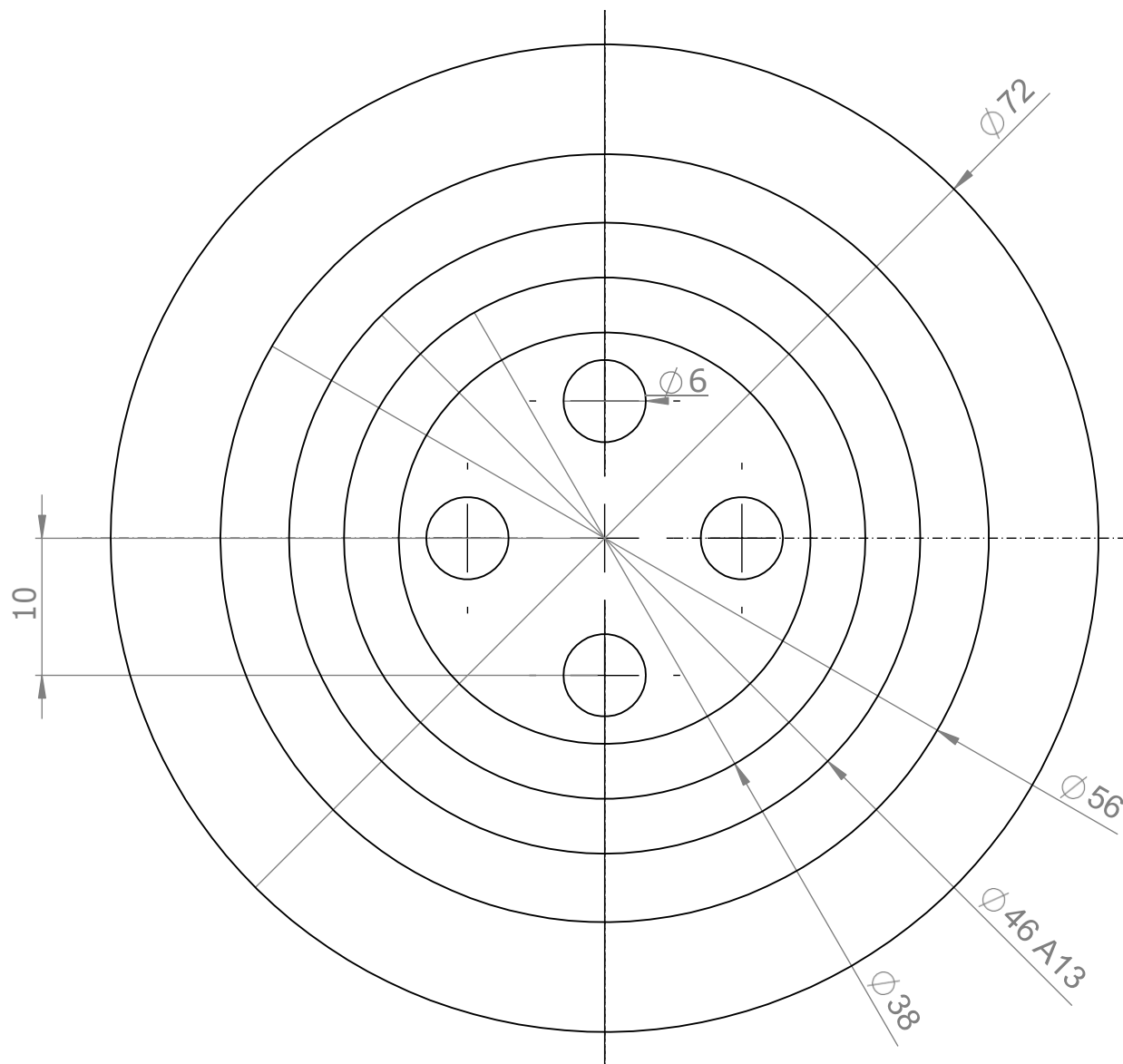


Aristas exteriores redondeadas a 1 mm

CIERRES INFERIORES VASIJA 250 ml

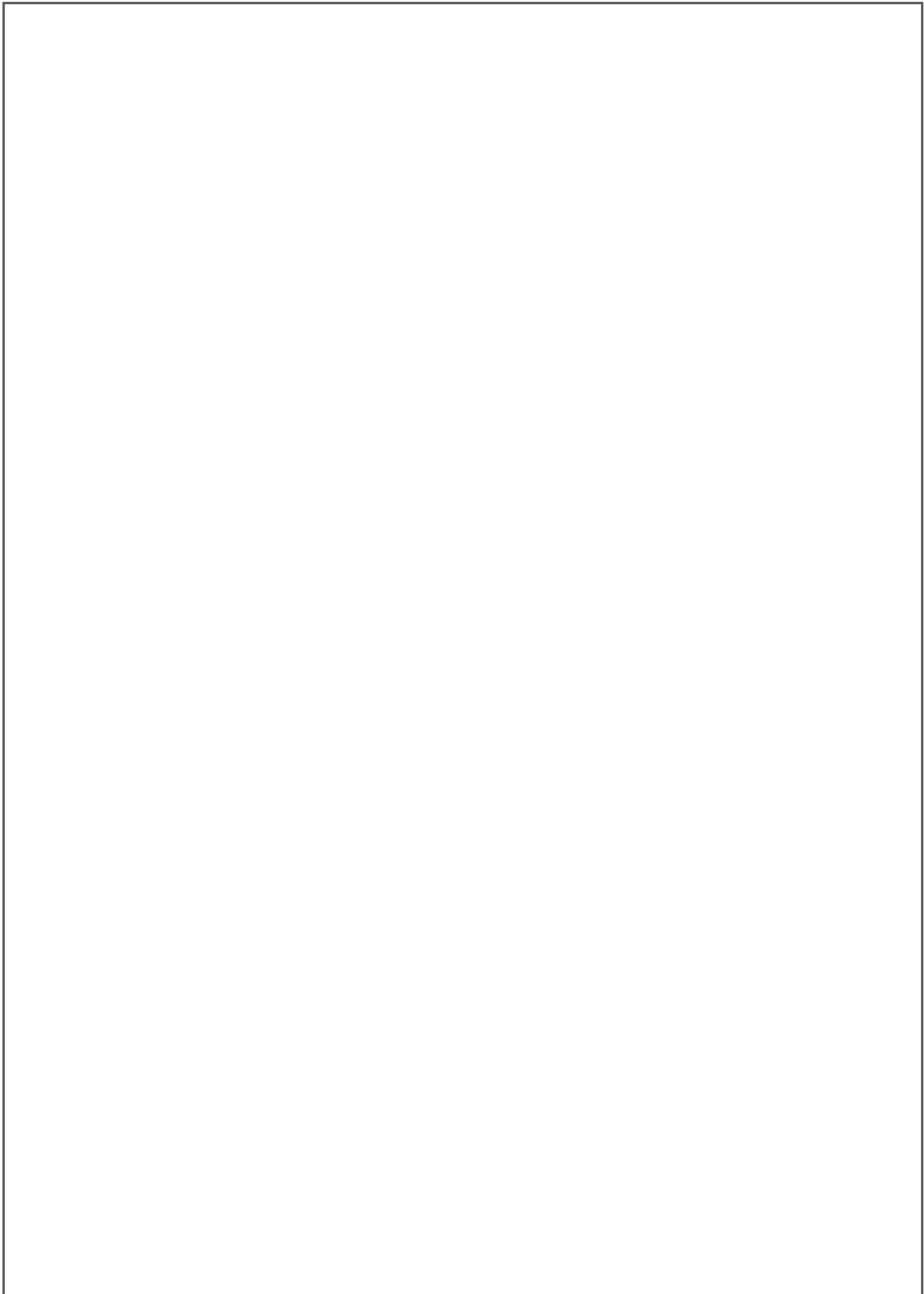
ESCALA 1:1

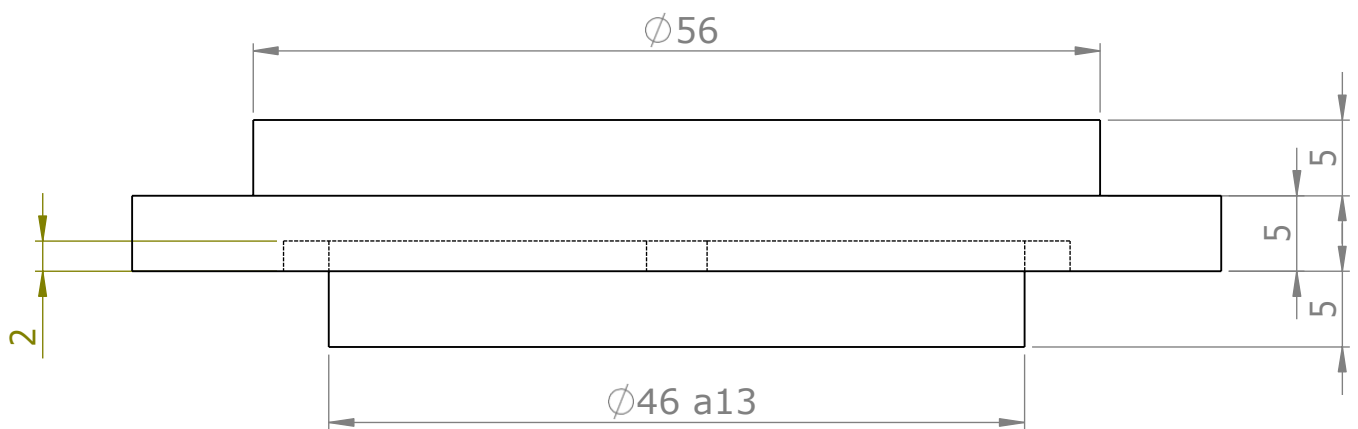
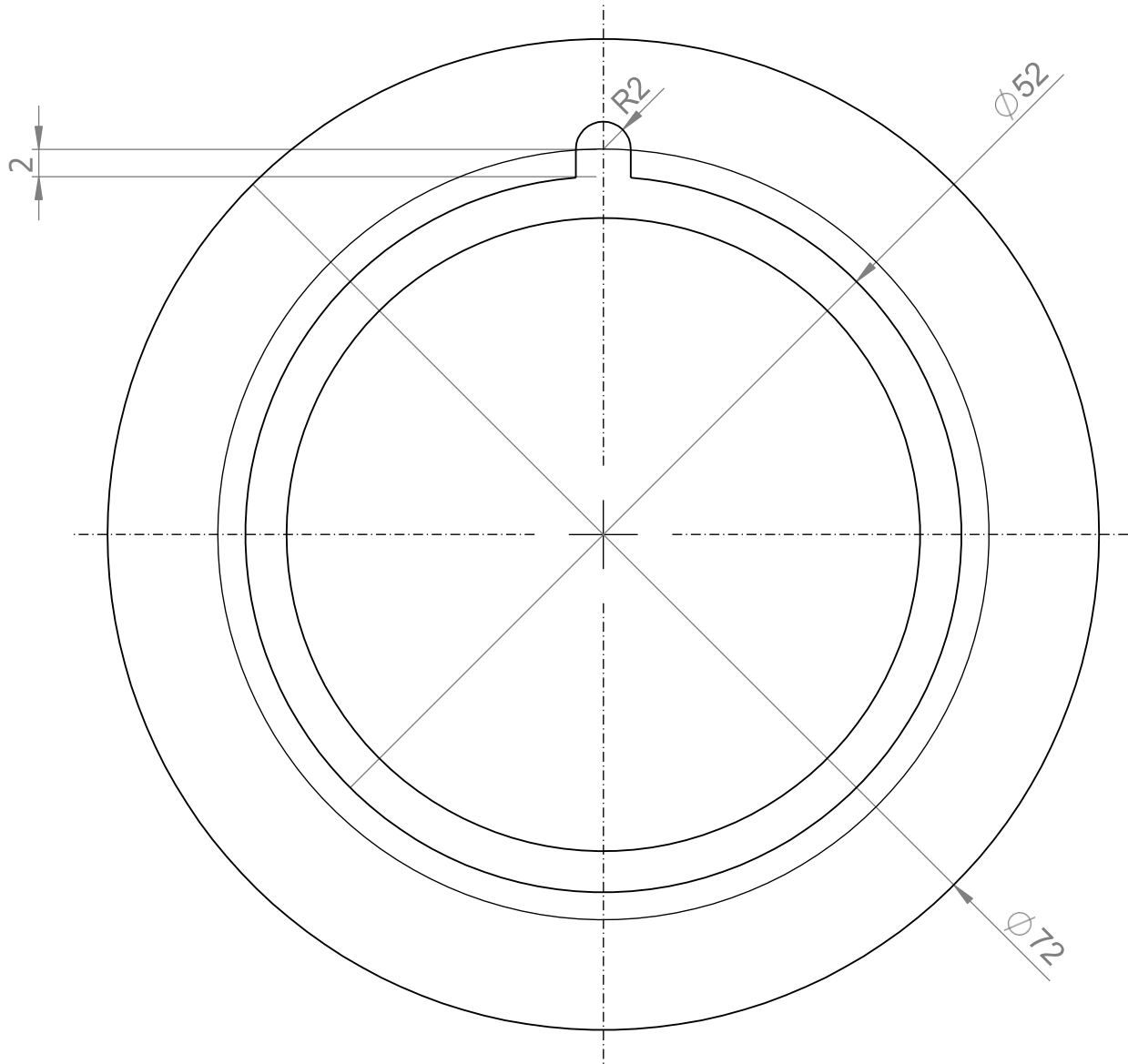




Aristas exteriores redondeadas a 1 mm

VASIJA 50 ml ESCALA 2:1

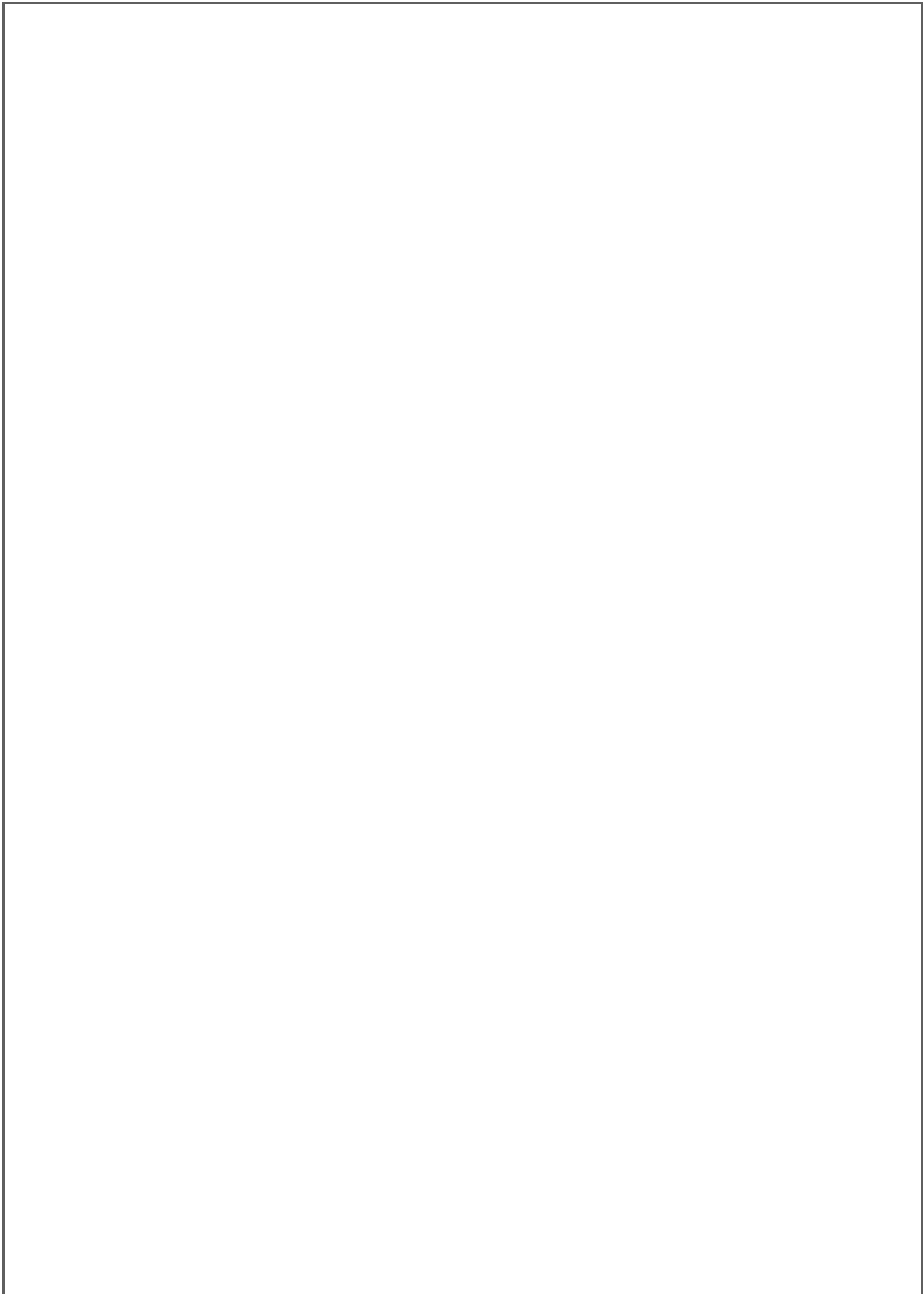


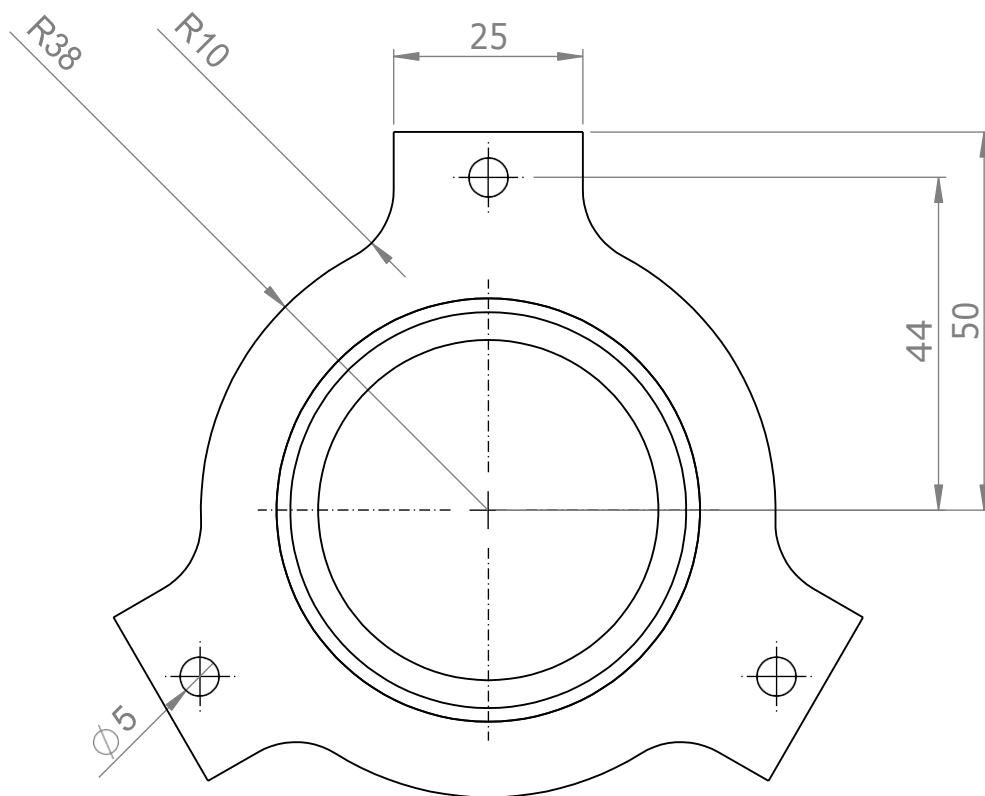
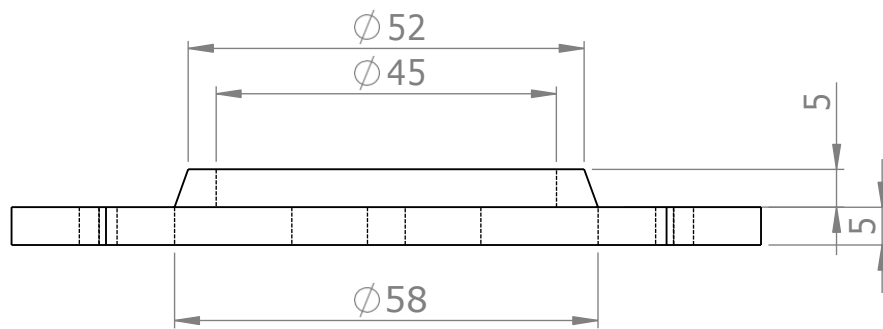


Aristas exteriores redondeadas a 1 mm

TAPAVASIJA 50 ml

ESCALA 2:1

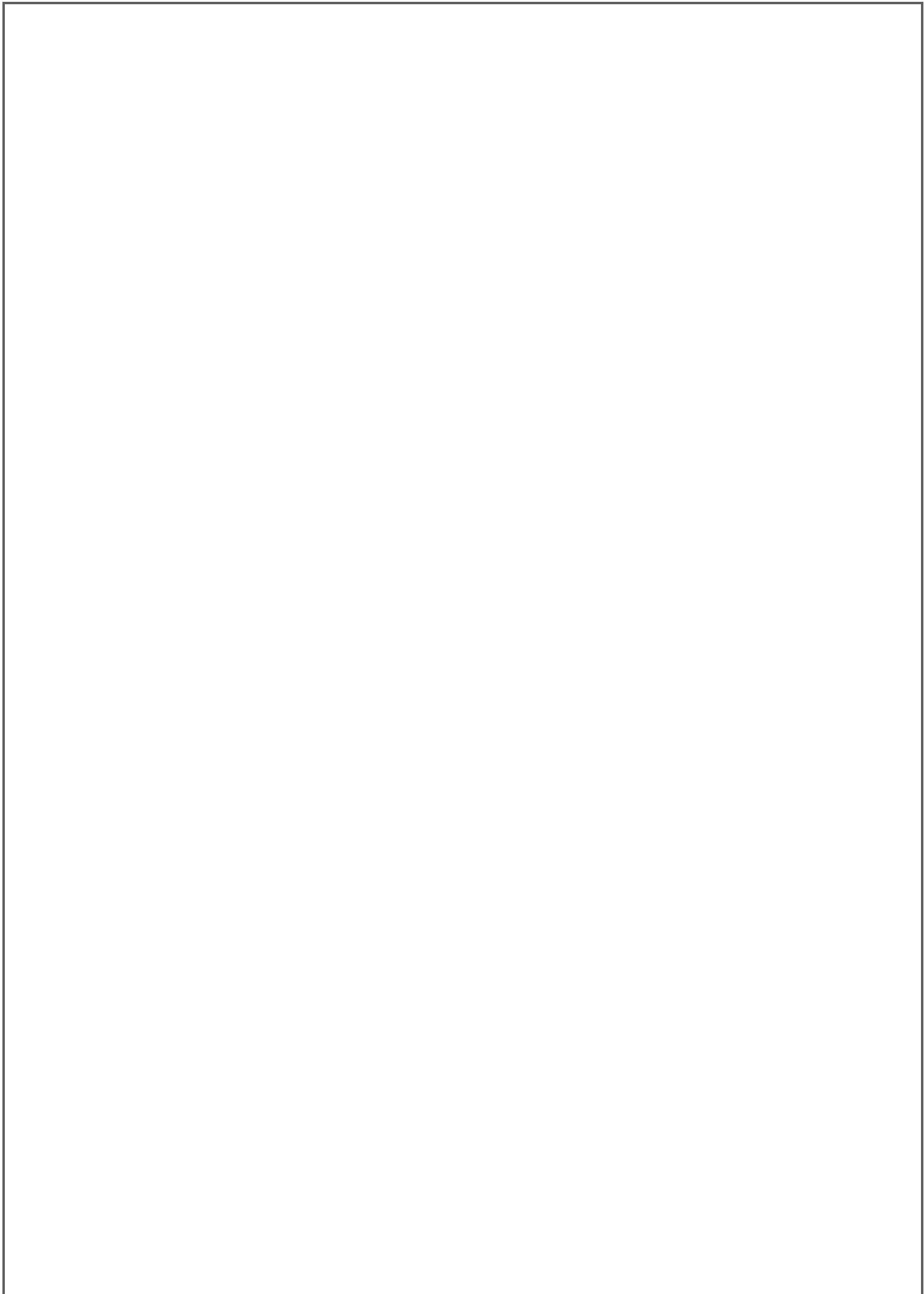


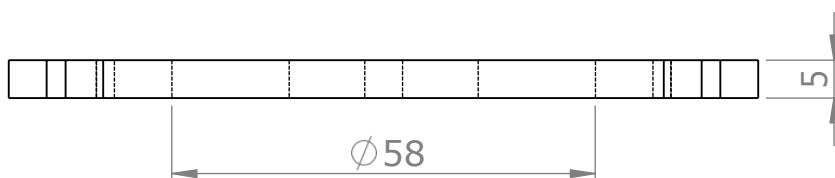
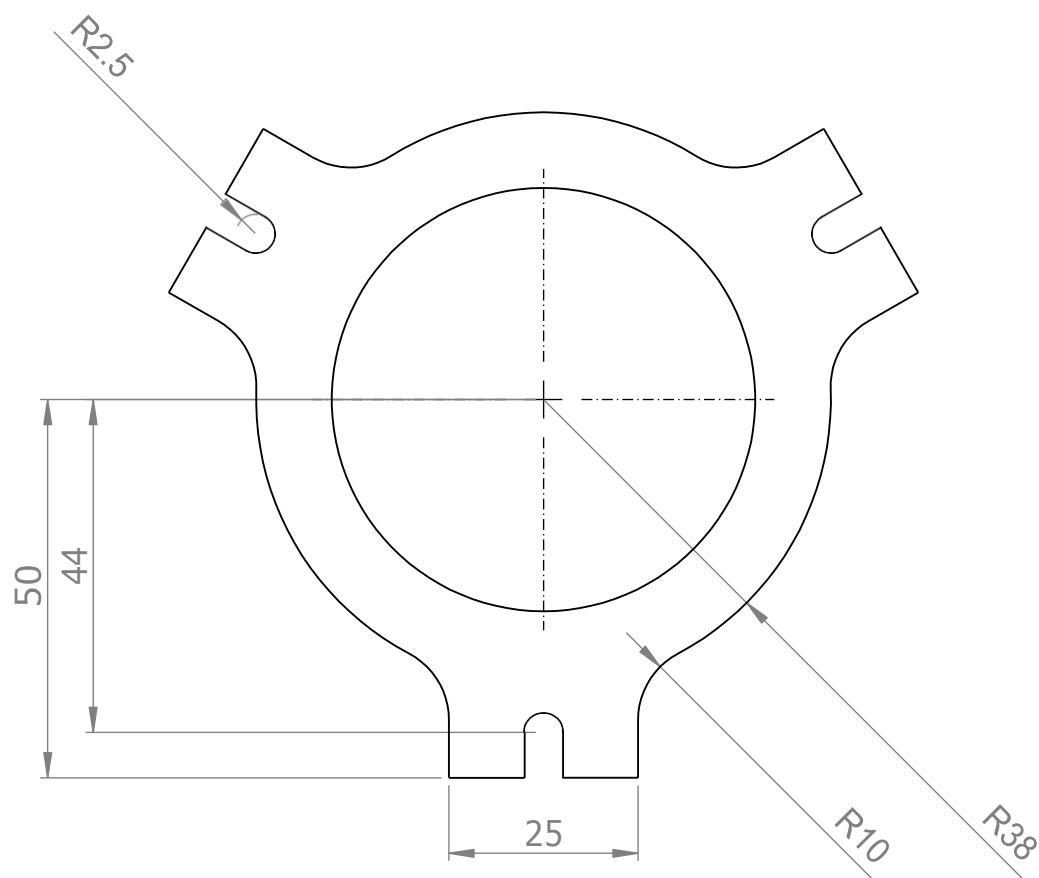


Aristas exteriores redondeadas a 1 mm

CIERRE SUPERIOR VASIJA 50 ml

ESCALA 1:1

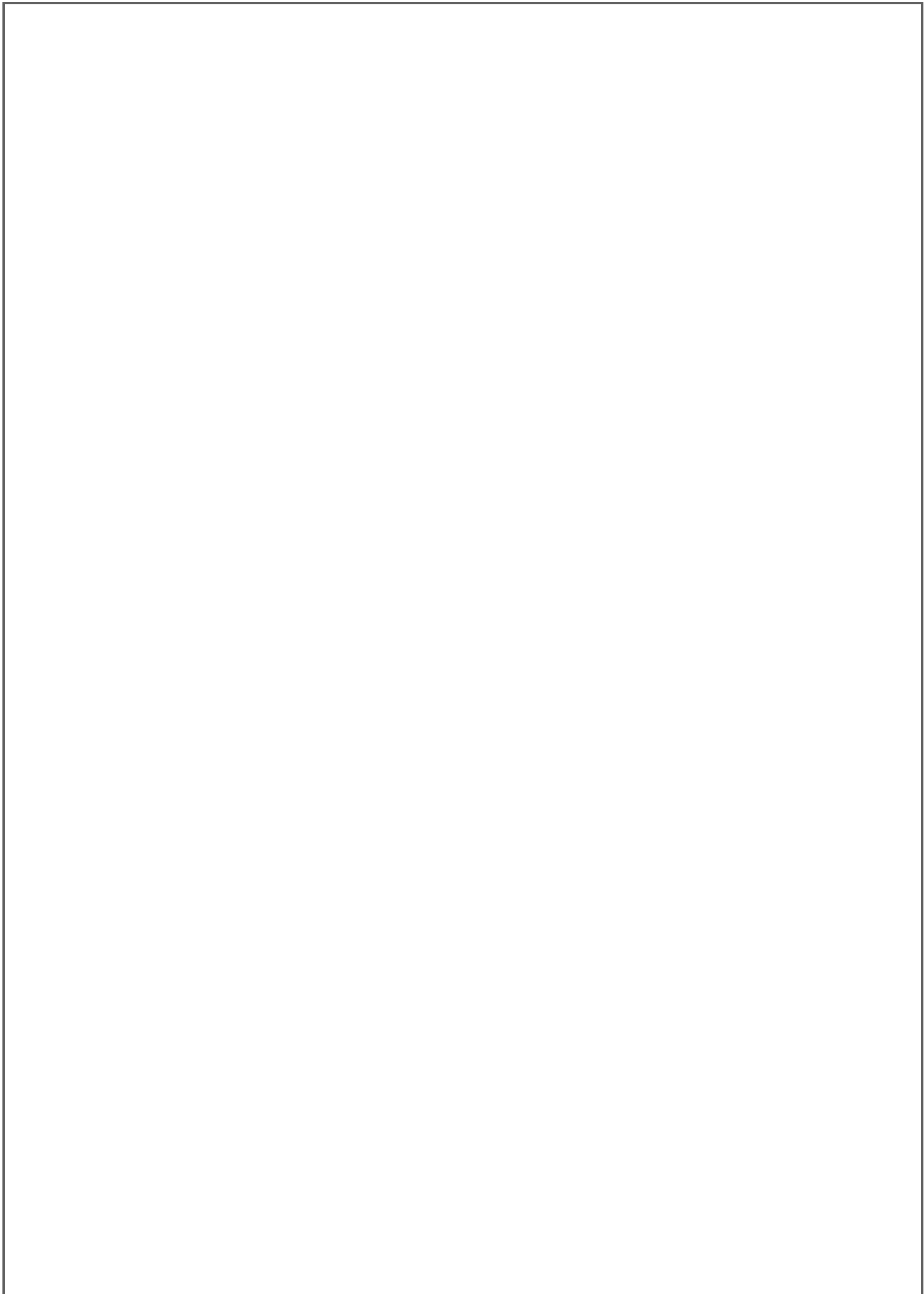


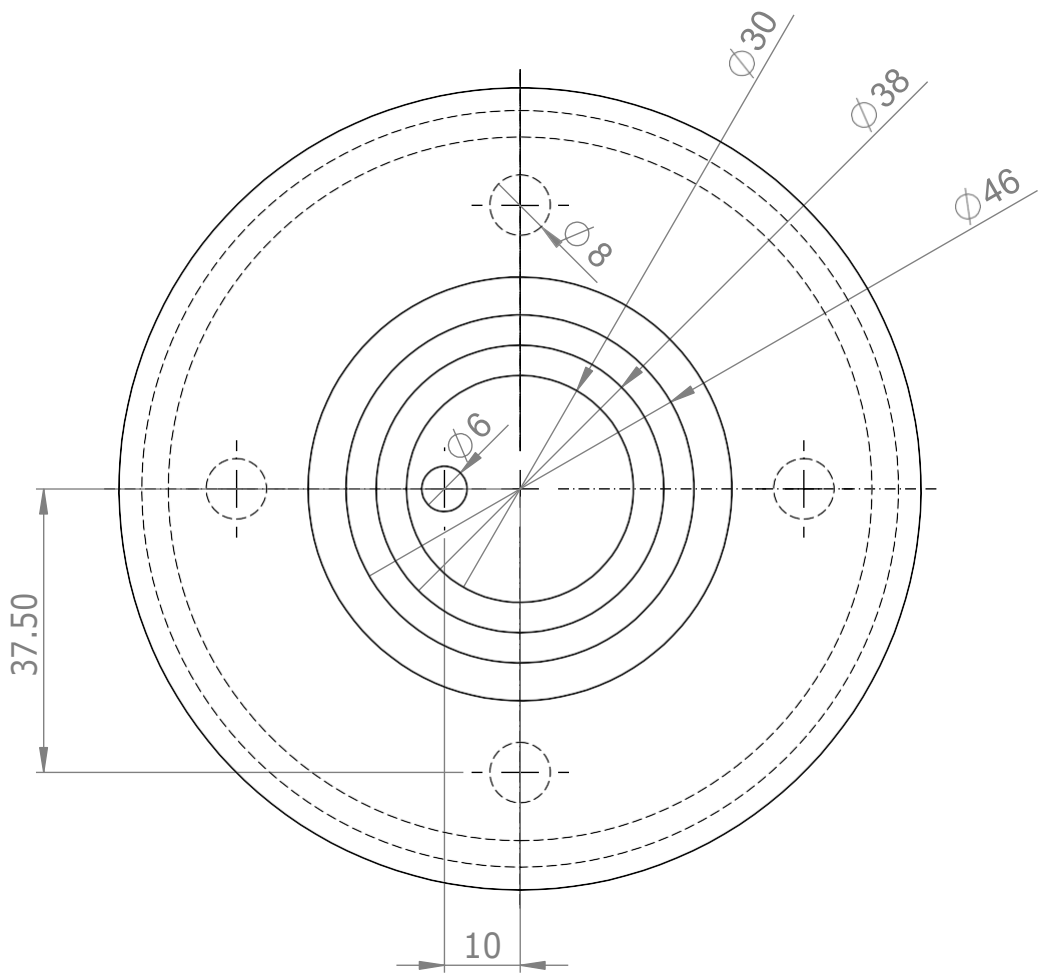
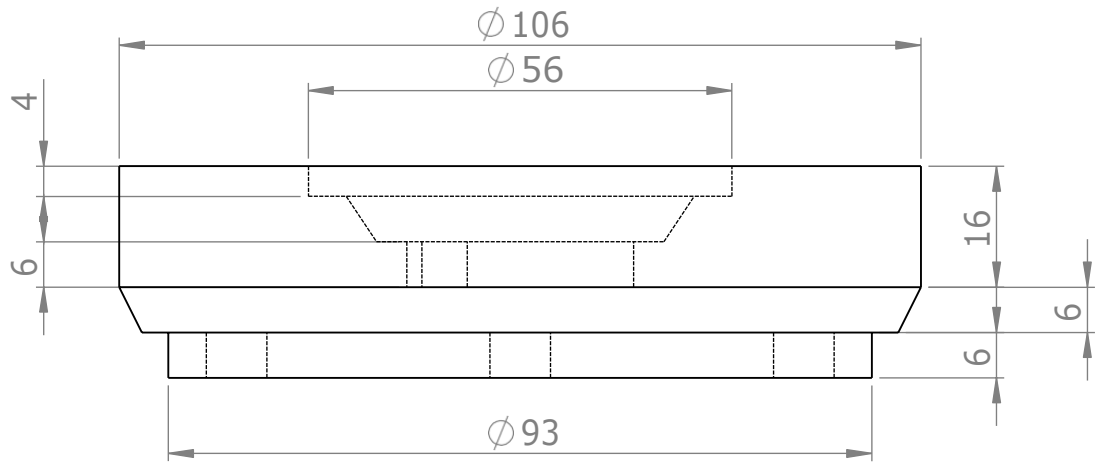


Aristas exteriores redondeadas a 1 mm

CIERRE INFERIOR VASIJA 50 ml

ESCALA 1:1





Aristas exteriores redondeadas a 1 mm

ADAPTADOR VASIJA 50 ml

ESCALA 1:1

REFERENCIAS

[1] E.M. Ruiz-Navas, C. Edil da Costa, F. Velasco López y J. M. Torralba Castelló, «Aleación mecánica: Método de obtención de polvos metálicos y de materiales compuestos,» *Rev. Metal. Madrid* 36 (2000)

J. Buie, «Evolution of Laboratory Mills and Grinders, » *Lab Manager* (2011)

«Ball Bearings: Shield and Seal Types, » CAT. No. 3015-III/E, NTN Corporation

Norma DIN 912: Tornillo cilíndrico con hexágono interior.

Norma DIN 7991: Tornillo avellanado de cabeza gruesa.

Norma DIN 471: Anillo de seguridad para ejes. Ejecución normal.

Norma DIN 472: Anillo de seguridad para agujeros. Ejecución normal.

Norma DIN 125: Arandelas