



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Mecánica

Diseño de un Sistema de Limpieza de Botellas para el Sector Vinícola

Autor:

de la Fuente Moreno, Javier

Tutor:

Mahillo Isla, Raúl

**Dpto. Ciencia de los Materiales e
Ingeniería Metalúrgica, Expresión Gráfica
en la Ingeniería, Ingeniería Cartográfica,
Geodesia y Fotometría, Ingeniería
Mecánica e Ingeniería de los Procesos
de Fabricación**

Valladolid, Septiembre de 2024.

Resumen.

En este proyecto, se realizará el diseño de un prototipo de un sistema de lavado de botellas de vidrio no automatizado, para personas y empresas del sector vinícola. Los objetivos que se intentarán conseguir son la obtención de un producto asequible, con movilidad y que permita reducir el tiempo de trabajo. El proyecto tendrá una parte principal de diseño gráfico por ordenador, además de cálculos fluido mecánicos, un presupuesto detallado, procesos de fabricación y selección de materiales.

Palabras Clave.

Prototipo, sector vinícola, botellas, lavado, CATIA.

Abstract.

In this project, it will carry out the design of a prototype of a non-automatized glass bottle washing device for people and companies in the wine sector. The objectives that will be attempted are getting an affordable product, with mobility and that allows reducing work time. The project will have a main part of computer graphic design, in addition to fluid mechanical calculations, a detailed budget, manufacturing processes and material selection.

Keywords.

Prototype, wine sector, bottles, washing, CATIA.

DE LA FUENTE MORENO, JAVIER

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
Escuela de Ingenierías Industriales
Grado de Ingeniería Mecánica

Índice

1. Introducción y objetivos	3
2. Desarrollo del TFG	7
2.1. Funcionamiento	7
2.2. Prerrequisitos	11
2.4. Composición del sistema	17
2.5. Fabricación	33
2.5.1. Subconjunto estructural	33
2.5.2. Subconjunto de lavado.....	36
2.5.3. Subconjunto de irrigación.....	40
2.6. Presupuesto	43
2.7. Cálculos técnicos	51
2.7.1. Pérdidas de carga en el circuito hidráulico	51
2.7.2. Cálculos del aspersor.....	59
3. Conclusiones	61
4. Bibliografía	63
5. Anexos	69

Ilustraciones y Gráficas

Imagen 1. Máquina industrial de lavado de botellas.	4
Imagen 2. Ejemplos de sistemas de lavado.	4
Imagen 3. Caja con botellas (de distintos tamaños)	5
Imagen 4. Caja con botellas.....	7
Imagen 5. Introducción de la caja.	8
Imagen 6. Subconjunto de lavado cerrado.	8
Imagen 7. Introducción de los aspersores.....	9
Imagen 8. Volteado del cajón de limpieza.	10
Imagen 9. Detalle del tope.	10
Imagen 10. Distintos tamaños y nombres de botellas.....	11
Imagen 11. Modelo de Eurocontenedor.....	12
Imagen 12. Disposición botellas con medidas.....	13
Imagen 13. Comando 'Measure Inertia' (a la derecha).....	15
Imagen 14. Pintura epoxi Fakolith.....	16
Imagen 15. Conjunto en 3D del prototipo.....	17
Imagen 16. Estructura de patas	18
Imagen 17. Estructura de ruedas.....	19
Imagen 18. Vertedera.....	20
Imagen 19. Rueda.	20
Imagen 20. Tapón de eje.....	21
Imagen 21. Eje de las ruedas.	21
Imagen 22. Casquillo.....	22
Imagen 23. Taco del eje.....	22
Imagen 24. Asidero.....	23
Imagen 25. Cajón de limpieza.	24
Imagen 26. Tapa lateral.	25
Imagen 27. Tapa superior.	25
Imagen 28. Eje de bisagras.....	26
Imagen 29. Tapón.....	26
Imagen 30. Eje del cajón.....	27
Imagen 31. Subconjunto de manivela (y posición plegada)	28
Imagen 32. Pasador y Horquilla.....	28
Imagen 33. Apoyo del irrigador.....	29
Imagen 34. Estructura del irrigador.....	30
Imagen 35. Conector del aspersor.	31
Imagen 36. Aspersor.	31
Imagen 37. Distribuidor.....	32
Imagen 38. Terraaja de roscar M10.....	34
Imagen 39. Válvula esférica 1/2" H-H.....	52

Gráfica 1. Diagrama de Moody (Tramo 1)	53
Gráfica 2. Diagrama de Moody (Tramo 2)	56
Tabla 1. Horas necesarias doblador	45
Tabla 2. Horas necesarias fresador	45
Tabla 3. Horas necesarias tornero.	45
Tabla 4. Horas necesarias soldador.	46
Tabla 5. Resumen presupuesto fabricación de máquina.	47
Tabla 6. Resumen presupuesto fabricación 1 máquina.	49

1. Introducción y objetivos

Para el proyecto de fin de grado, se ha elegido el diseño de un sistema de lavado de botellas de vino de manera manual, utilizando como base para los cálculos y diseño de los componentes las dimensiones que nos ofrecen los elementos que tenemos a mano (como son las cajas de plástico y las botellas de vidrio que comentaremos más adelante).

En la producción de vino, el uso de botellas de vidrio para su embotellamiento ofrece ciertas ventajas (1):

- Impide que el vino se oxide al contacto con el oxígeno.
- Es inoloro e insípido, manteniendo intactos los aromas del vino.
- Es aséptico.

Además de esto, el continente, una vez usado, no sólo se puede reciclar (como ocurre con los envases de aluminio, que se funden para fabricar nuevos envases), sino que se puede reutilizar, lavando las botellas, almacenándolas y volviéndolas a usar en las siguientes temporadas.

En grandes explotaciones, más enfocadas a la venta de su producto, con un gran volumen de producción y beneficios, lo más habitual es que se compren nuevas botellas para cada temporada. En explotaciones más modestas, de uso casi personal, conservar las botellas es una opción que se puede realizar y evita gastos innecesarios;

Dados los actuales problemas de suministro de materias primas, que provoca que el coste de la fabricación de las botellas de vidrio se esté viendo elevado y repercuta en la compra de nuevo stock, la conservación e higienización de las botellas de vidrio para futuras temporadas ofrece un ahorro sustancial para las explotaciones. Además, como comenta un investigador de la Universidad Alfred en Nueva York: *“Nuestras investigaciones muestran que en algunos países donde existe el lavado de botellas, estas pueden volver a usarse hasta 30 veces”* (2).

Con esto pues, centrándonos en el apartado que más nos interesa para este proyecto, que es el de la limpieza, en la industria existen grandes máquinas para el lavado de botellas, equipadas con sistemas para calentar el agua de enjuagado y desinfección (3), como si se tratasen de un lavavajillas, como puede observarse en la *Imagen 1 (Filling Systems)*. Son dispositivos caros y complejos, útiles si se tiene un gran volumen de botellas y ventas que amorticen la inversión.



Imagen 1. Máquina industrial de lavado de botellas.

Por otro lado, en páginas web (4) que ofrecen un amplio catálogo de productos¹, se pueden encontrar sistemas más sencillos y baratos, que permiten lavar las botellas de forma individual.



Imagen 2. Ejemplos de sistemas de lavado.

¹ Como son Amazon o AliExpress.

El germen de la idea para la realización de este proyecto es cubrir el espacio entre ambos sistemas. En el ámbito vitivinícola autonómico (5), un 83% de las explotaciones son microempresas (con menos de 2 M€/año de facturación). A esto hay que añadir las explotaciones de tipo familiar que no venden al público y que son difíciles de cuantificar, pero, desde luego, existentes. Los costes y tiempos de amortización de sistemas de lavado automático de botellas son elevados para dichos grupos. Con estos datos, parece relevante disponer de un sistema intermedio entre los presentados con anterioridad.

Los tiempos de manipulación de las botellas para su lavado son especialmente altos cuando el proceso se realiza de una en una. Incluso en modelos más avanzados, con sistemas de calentamiento y bombas hidráulicas, la colocación de las botellas sigue siendo manual e individual. Por lo tanto, un requisito de diseño del sistema de lavado será evitar la manipulación manual de las botellas dentro de su contenedor. Las botellas vacías se transportan y almacenan de una temporada a otra en cajas de dimensiones 600x400x300 mm (6) conteniendo cada caja 35 botellas en un patrón cercano al empaquetamiento hexagonal compacto que optimiza el espacio.



Imagen 3. Caja con botellas (de distintos tamaños)

El objetivo principal que se busca resolver y desarrollar a lo largo de este proyecto es el diseño de un sistema que permita un lavado de botellas más rápido y eficiente que los sistemas que existen en el mercado, sin necesidad de realizar la instalación de una conexión eléctrica. Como objetivos secundarios, que no menos importantes, serán el obtener un producto medianamente asequible, o por lo menos fácilmente amortizable, que atraiga a posibles compradores; que no se tenga que colocar las botellas de forma manual; que sea ligero, fácil de transportar y almacenar; que cumpla con los estándares de calidad y tenga facilidad de montaje y mantenimiento.

2. Desarrollo del TFG

2.1. Funcionamiento

El funcionamiento del prototipo que se desarrollará en las siguientes páginas es el siguiente: en una caja de plástico de dimensiones fijas entran treinta y cinco botellas de vino de 75 cl. de volumen, en cinco filas alternas, como se ve en la *Imagen 4*.

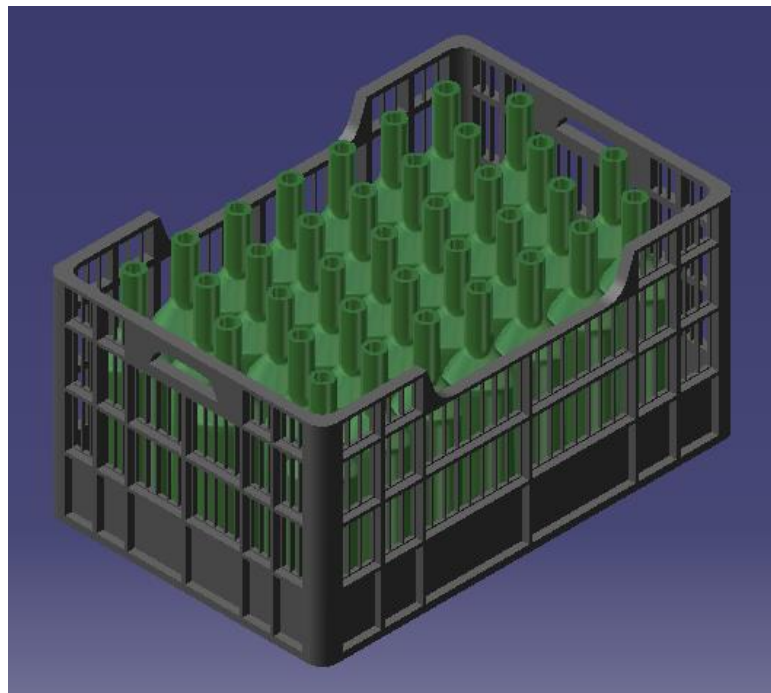


Imagen 4. Caja con botellas.

Esta caja se introduce en un cajón abierto con dos tapas abatibles (una lateral y otra superior) y se cierran (*Imagen 5 y 6*). La tapa superior, está diseñada con una serie de agujeros que permite que sobresalgan los cuellos de las botellas, pero que impide (o reduce mayoritariamente) que las botellas se muevan respecto a su eje vertical durante la operación de volteo.

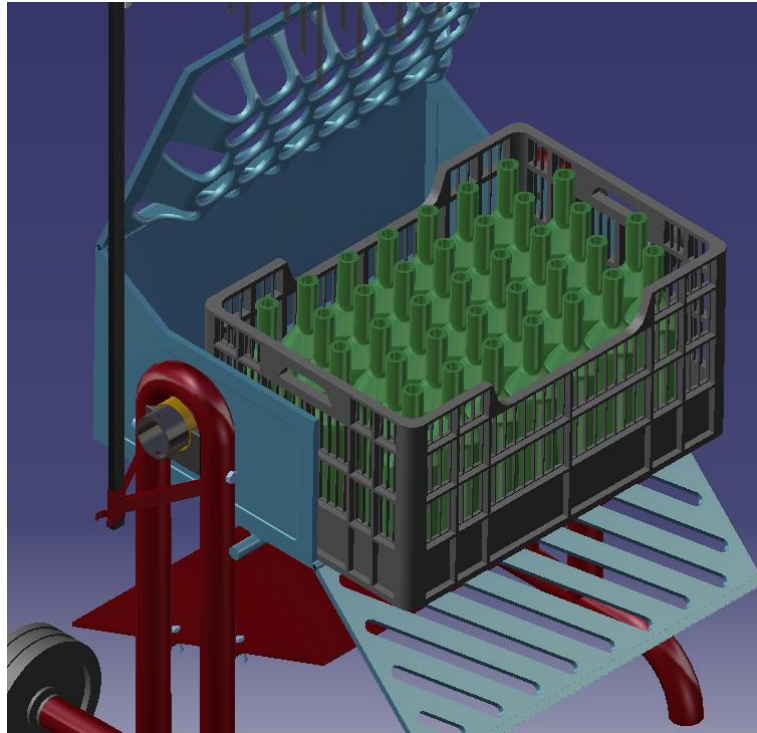


Imagen 5. Introducción de la caja.

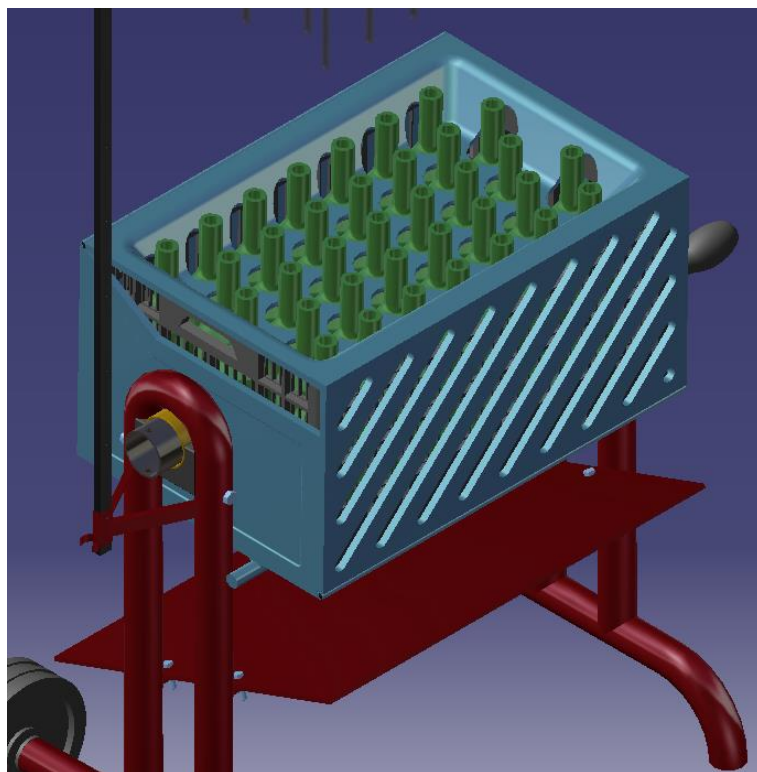


Imagen 6. Subconjunto de lavado cerrado.

Una vez sujetas las tapas, se baja el sistema de irrigación, de manera que cada aspersor quede dentro de la boca de las botellas (*Imagen 7*). El circuito hidráulico está conectado a una manguera externa mediante una llave de paso con conector automático.

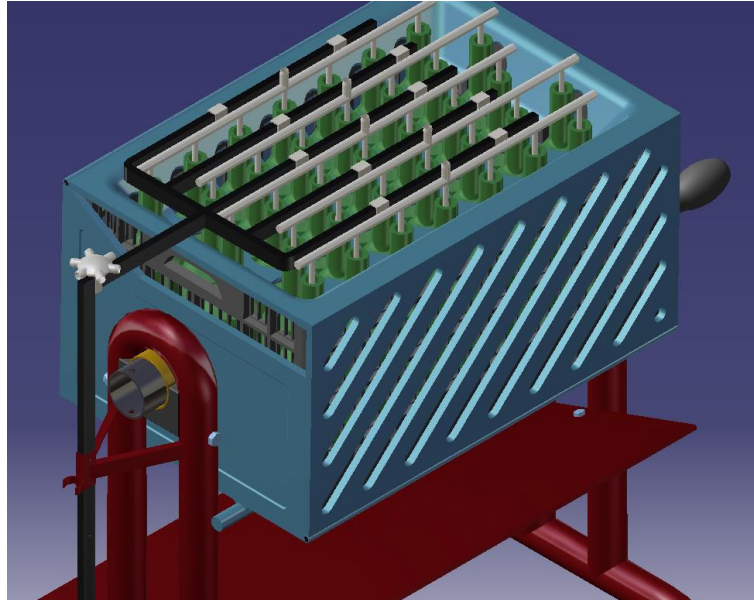


Imagen 7. Introducción de los aspersores.

Al abrir la llave de paso, el agua se reparte de manera uniforme por el sistema hidráulico y sale por los aspersores, que debido al ángulo de salida de las perforaciones que tienen, giran a una cierta velocidad (que se calculará posteriormente), lavando toda la superficie del vidrio y con presión suficiente como para eliminar los restos sólidos que vayan quedado del vino y polvo del interior.

Después de un corto intervalo (ya que con la presión de salida no se necesitará mucha agua), se cierra la llave de paso, se retira el sistema de irrigación, y mediante una manivela ubicada en un lateral de la máquina, se voltea el cajón hacia atrás, para realizar el vaciado de las botellas (*Imagen 8*). Para evitar las salpicaduras sobre el operario, se dispone de una plancha inclinada que recoge el agua derramada durante el volteo y la vierte por detrás.

Para finalizar, cuando las botellas están vacías, se vuelve a voltear el cajón hasta su posición inicial y se abren las tapas, para extraer la caja de botellas e introducir otra.

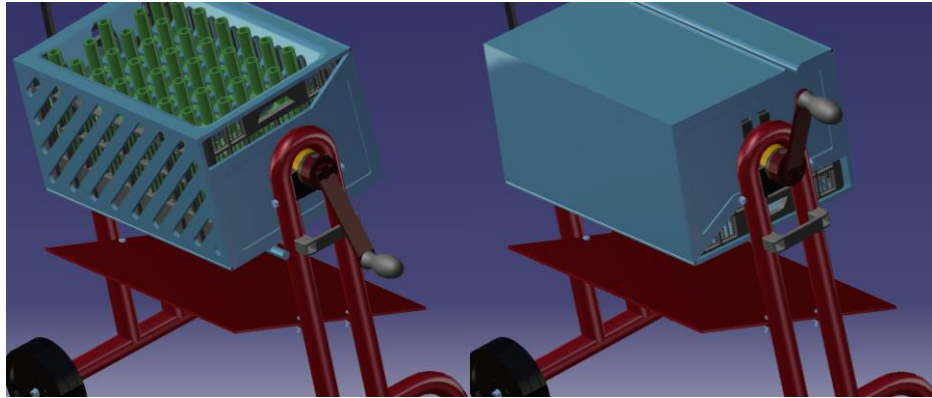


Imagen 8. Volteado del cajón de limpieza.

Para evitar que el cajón se venza hacia adelante durante la colocación de la caja, este posee un tope que hace contacto con las estructuras del cuerpo de la máquina (*Imagen 9*).

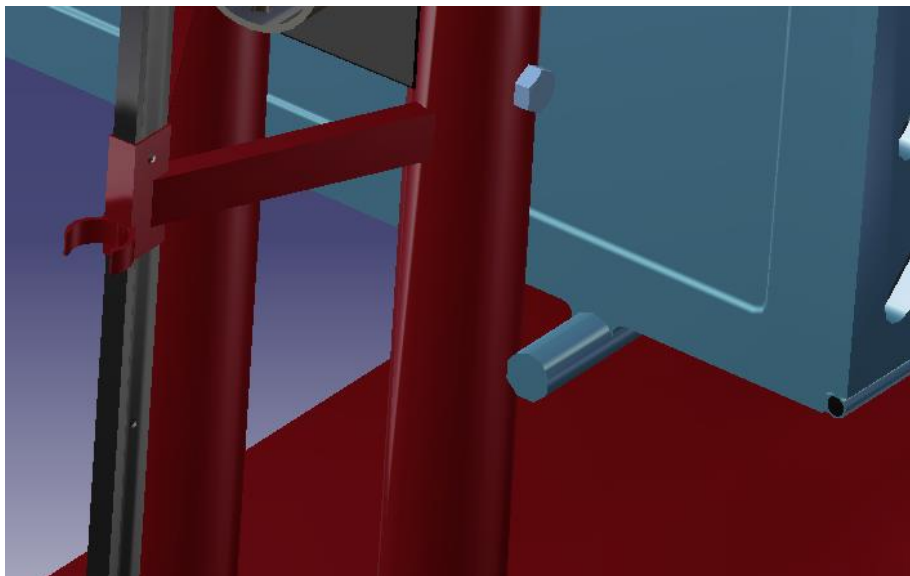


Imagen 9. Detalle del tope.

2.2. Prerrequisitos

En la *Imagen 10*, se muestran los varios tamaños de botellas que se utilizan en el sector vinícola, aunque el volumen estándar con el que se trabaja comercialmente es la botella de 750 ml., o de “tres cuartos”.

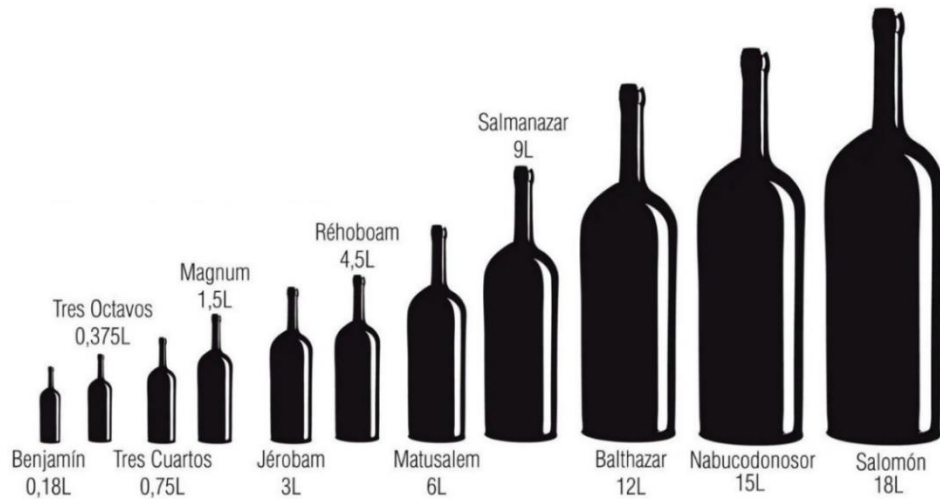


Imagen 10. Distintos tamaños y nombres de botellas.

Si bien sus dimensiones son similares, los productores de botellas no utilizan un diseño estandarizado, si no que aplican variaciones en la longitud del cuerpo, el cuello, diámetros y grosor del vidrio para destacar frente a la competencia, siempre intentando respetar el volumen total. Como base para el diseño de la máquina de este proyecto, vamos a tomar unos parámetros más o menos estándar de las dimensiones de las botellas, que servirán de referencia para las medidas y posiciones de los diferentes elementos del sistema:

- Volumen: 0,75 L.
- Altura: 30,0 mm.
- Diámetro del cuerpo: 75,0 mm.

Una manera de transportar y almacenar las botellas es mediante el uso de Eurocontenedores. La ventaja frente a las cajas de cartón es su mayor volumen de almacenamiento, y su resistencia al peso y a los líquidos. Si bien existen una gran variedad de modelos con diferentes tamaños, como nos pasaba con las botellas de vidrio, para el diseño del sistema de lavado de botellas se tomará como referencia el modelo de dimensiones $600 \times 400 \times 300 \text{ mm}$, como aparece en la *Imagen 11*. Estas cajas están fabricadas en polietileno de alta densidad. Son ligeras y resistentes.



Imagen 11. Modelo de Eurocontenedor.

La idea de colocar las botellas de forma alterna en un patrón hexagonal se debe a las dimensiones internas de la caja. Si se pusiesen las botellas en un patrón rectangular, dado que su diámetro es de 75 mm , las cinco filas ocuparían 375 mm , cuando el interior tiene un ancho de 370 mm (6).

Realizando unos sencillos cálculos trigonométricos, si tomamos dos filas de botellas, como se ve en la *Figura 12*, donde x es el ancho y $77,5 \text{ mm}$ la distancia entre los centros de dos botellas en distintas filas², aplicando el Teorema de Pitágoras:

$$77,5^2 = \left(\frac{75}{2}\right)^2 + x^2 \Rightarrow x = \sqrt{77,5^2 - \left(\frac{75}{2}\right)^2} = \sqrt{4600} = 67,823 \text{ mm}$$

² Se toma esta distancia como margen por si en su uso final, hubiese botellas de diámetro ligeramente mayor.

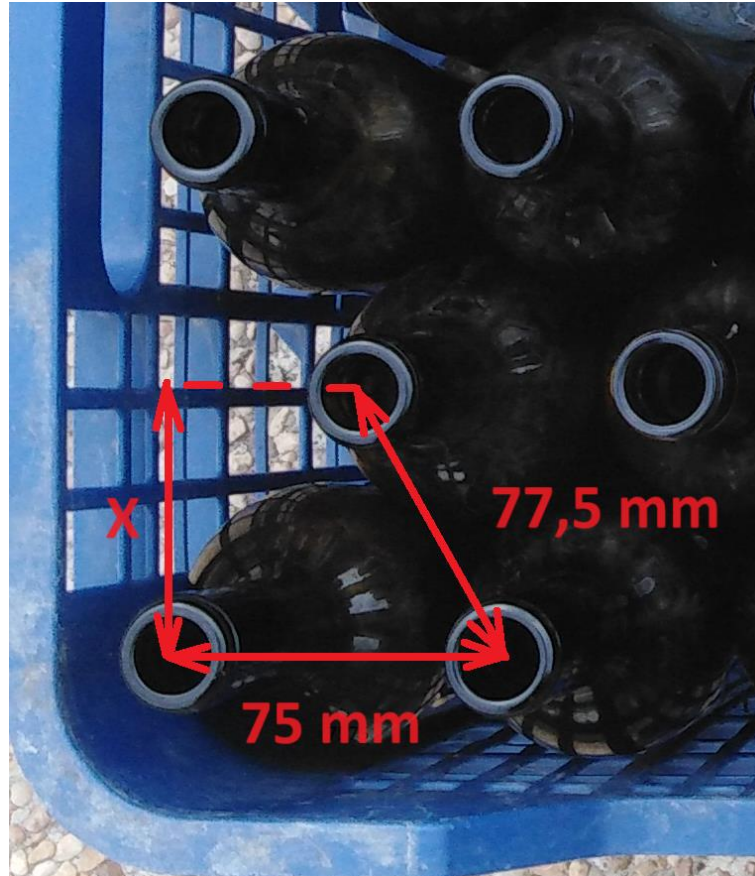


Imagen 12. Disposición botellas con medidas.

Entonces, para las cinco filas al aplicar un patrón hexagonal, el ancho que se ocupa es:

$$\text{Ancho} = 4 \cdot 67,823 + 2 \cdot \frac{75}{2} = 346,293 \text{ mm}$$

Que es un valor menor que el interior de la caja. Aunque nos queden algo más de 20 mm libres y las botellas puedan moverse, no hay problema, pues gracias al diseño de la tapa superior, cuando se coloque sobre las botellas en el sistema de lavado éstas se mantendrán en su sitio.

Las medidas que aparecen en este apartado, se utilizarán posteriormente para la generación de los agujeros de la pieza *Tapa superior*.

2.3. Elección de los materiales

Como se vio en el apartado anterior, tanto las botellas como los contenedores tienen un impacto significativo en el diseño volumétrico de las piezas del prototipo. En este apartado veremos cómo influye sus masas en la elección de los materiales de construcción.

Para comenzar, una botella de vidrio vacía pesa entre unos 350~450 *gr* (7) (dependiendo del grosor del vidrio), y los Eurocontenedores de las dimensiones que se utilizarán para el prototipo también son ligeros, no sobrepasando los 4 *kg*. No parece mucho peso, pero al llenar uno de estos contenedores de botellas vacías ya se acerca a los 20 *kg*, y si en la fase de lavado éstas se llenan como máximo hasta la mitad (en el caso más extremo), ya se tendría alrededor de unos 32~33 *kg*. A esto habría que añadir el peso del Subconjunto de lavado, que se mueve sobre unos 10 *kg*. Estaremos frente a cargas en un elemento biapoyado, y dado que parte del sistema va a girar con esa carga, habrá fuerzas inerciales, aunque la velocidad de giro será muy pequeña. La elección de un material u otro para la fabricación podría alcanzar resultados no deseados.

Comenzando con el cuerpo del prototipo (que se denomina Subconjunto estructural), se busca en primera instancia que sea capaz de aguantar el peso anteriormente descrito. Un material metálico, como el acero, es un buen candidato, y como se trabaja con agua, el **acero inoxidable AISI 304** es una opción excelente. Este material tiene una alta resistencia a tracción (460~1100 *MPa*) y con un módulo elástico entre 190~210 *GPa* (8). Además, es fácil de mecanizar y se le puede conformar con poca dificultad, por lo que las curvaturas de ciertas piezas no serían complicadas de generar.

Este material sería perfecto, el problema que surge es cuando se diseñan las piezas y se “pesan” utilizando el comando ‘*Measure Inertia*’ de CATIA (que aparece en la *Imagen 13*), nos da un prototipo con un peso total de casi 70 *kg*, sin añadir el contenedor con las botellas, y en nuestros objetivos se está buscando un sistema medianamente ligero y que sea fácil de transportar.



Imagen 13. Comando 'Measure Inertia' (a la derecha)

Una alternativa es sustituir el acero inoxidable de las piezas del subconjunto por aluminio. El aluminio es menos denso (2700 kg/m^3 frente a 7300 kg/m^3) lo que nos ofrece piezas más ligeras.

En la amplia selección de aluminios, las aleaciones 6XXX con magnesio y silicio son las más idóneas. Dentro de este grupo, se seleccionará la **aleación de aluminio 6060**, con una resistencia a la tracción de 205 MPa y un módulo elástico de $69,5 \text{ GPa}$ (9). Aunque los valores son menores que los que nos ofrece el acero, dada las dimensiones de los tubos son más que suficientes para soportar las cargas de trabajo.

Otras piezas del sistema que se podrán realizar en aluminio son el *apoyo del irrigador* (material obligatorio pues va soldado a la *estructura de ruedas*) y parte de los componentes del subconjunto de manivela.

Para las piezas que sujetan el cajón de lavado y distribuyen la carga al resto de la estructura, denominadas *eje del cajón*, poseen unas pestañas de pequeño grosor; por lo que se utilizará un material más resistente que el aluminio, intentando mantener un margen de seguridad respecto a la ruptura de la pieza. El acero inoxidable que se mencionó con anterioridad será apto, y dado que la pieza no es muy grande ni voluminosa, el peso en este caso no será un problema.

Otros elementos de acero serán las varillas que servirán de bisagras para las tapas y el subconjunto de manivela, el *eje de las ruedas* y la *estructura del irrigado* que, si bien tiene un volumen considerable, la sección no tiene mucho grosor, y alcanza un peso de algo más de un kilogramo.

Algunos elementos tienen formas complejas que, si bien podrían realizarse utilizando metales, el uso de plásticos reduciría considerablemente su peso. El **polietileno de alta densidad (PE-HD)** es un polímero que está dentro de los plásticos que son seguros para la alimentación, por lo que lo utilizaremos en la generación de los elementos que transporten el agua en el sistema de lavado. Además, ya que es resistente (aunque mucho menos que los metales citados anteriormente), con una resistencia a la tracción de $21,1\sim 31\text{ MPa}$ y un módulo elástico de $1,07\text{ GPa}$ (10), lo utilizaremos en la generación del resto de piezas. Para compensar los valores de resistencia a la tracción, las piezas que soporten mayores cargas se generarán con un grosor mayor que si fuesen generadas usando metales.

Un elemento distinto, es el denominado *taco del eje*, que se encargará de mantener firmemente el *casquillo de fricción* en su sitio y distribuir las cargas al resto de la estructura. El material usado para generarlo no será polietileno, si no que se utilizará **Nylon**, con un módulo elástico de entre $2,62\sim 3,2\text{ GPa}$ y una resistencia a la tracción de $90\sim 165\text{ MPa}$ (11). Es más fácil de obtener por mecanizado y puede adaptarse mejor al ajuste que se busca en la pieza.

Para finalizar, con la mayoría de los elementos metálicos, para aislarlos de los líquidos, humedad, mejorar su aspecto estético y entrar dentro del **Reglamento UE N° 10/2011 sobre materiales y objetos plásticos destinados a entrar en contacto con alimentos** (12), se les aplicará una capa de pintura epoxi específica para la industria alimentaria. Del catálogo de empresas que comercializan estos productos, seleccionaremos la empresa Fakolith® (13), y dentro de la empresa, el producto **FK-45 FoodGrade**.



Imagen 14. Pintura epoxi Fakolith.

2.4. Composición del sistema

El resultado final del prototipo es el que podemos ver en la *Imagen 14*. Una de las ideas que se busca es un sistema de elementos fácilmente montables, pero que mantenga su estabilidad estructural durante el trabajo.

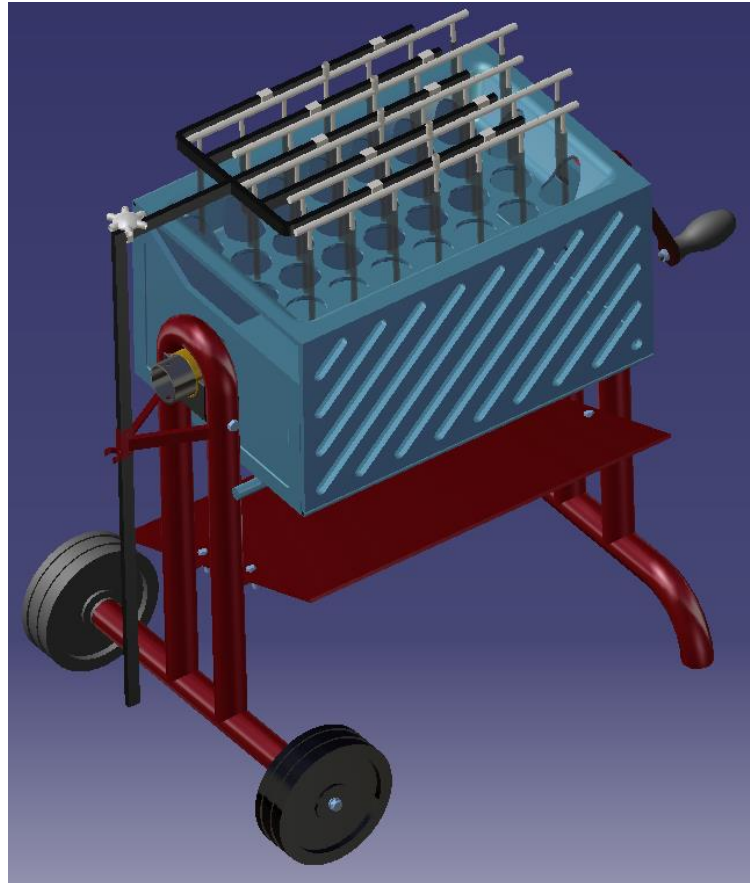


Imagen 15. Conjunto en 3D del prototipo.

En este prototipo de la máquina de lavado de botellas, se pueden distinguir tres subconjuntos:

I. *Subconjunto estructural*: sirven de soporte para el resto de subconjuntos. Está formada por los siguientes elementos:

a. *Estructura de patas*: formada por tubos metálicos de sección circular y chapas soldadas, esta pieza mantiene la estabilidad del sistema y ofrece soporte para el *taco* que mantiene el Subconjunto de lavado. También en esta pieza se fijará *el asidero*.

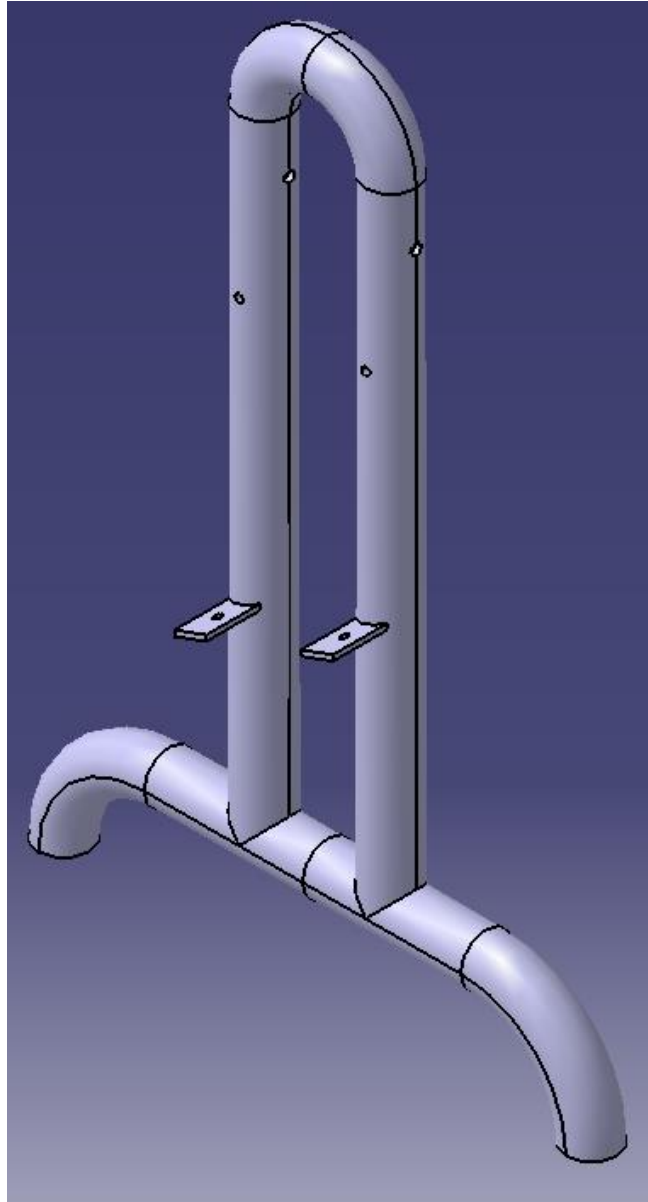


Imagen 16. Estructura de patas

b. *Estructura de ruedas*: compuesto de los mismos materiales que la *estructura de patas*, este elemento sirve de soporte para las *ruedas*, el Subconjunto de irrigación y el *taco* que soporta el peso del Subconjunto de lavado.

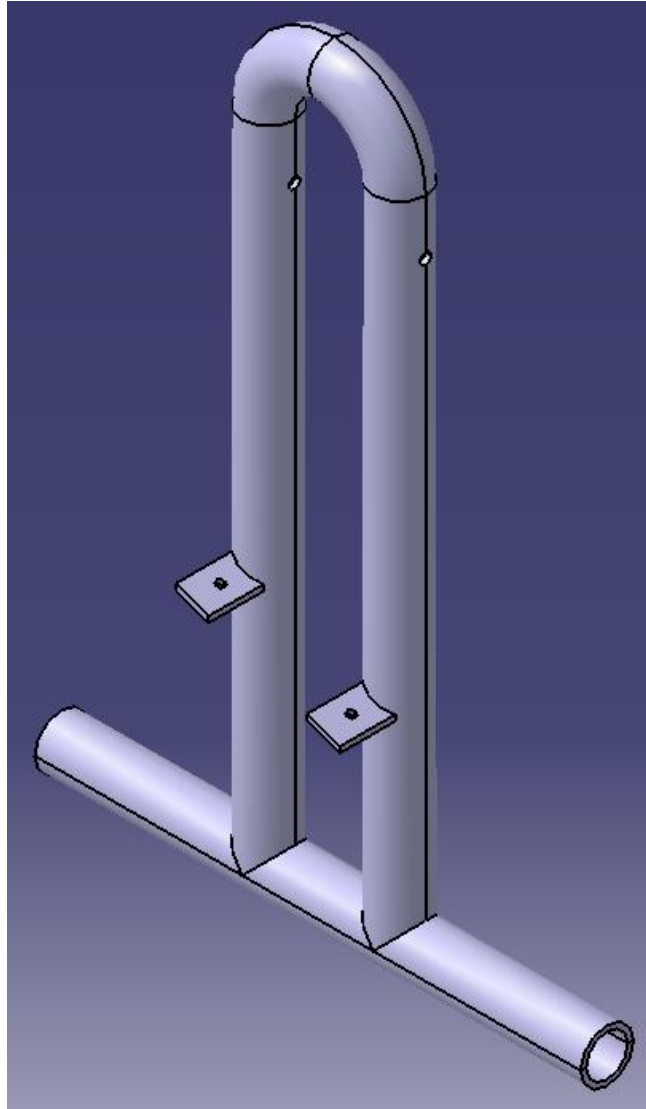


Imagen 17. Estructura de ruedas.

c. *Vertedera*: esta pieza plana está unida a las dos estructuras mediante pernos y mantiene el conjunto rígido, además de evacuar el agua que sale de las botellas durante el volteo.

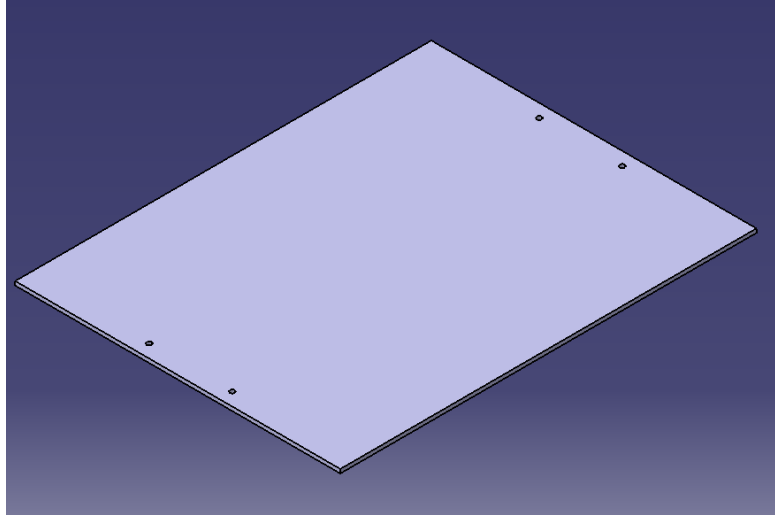


Imagen 18. Vertedera.

d. *Ruedas*: acopladas en la parte inferior de la estructura de ruedas, permite desplazar fácilmente el sistema durante su uso y almacenamiento. Se tienen dos unidades.

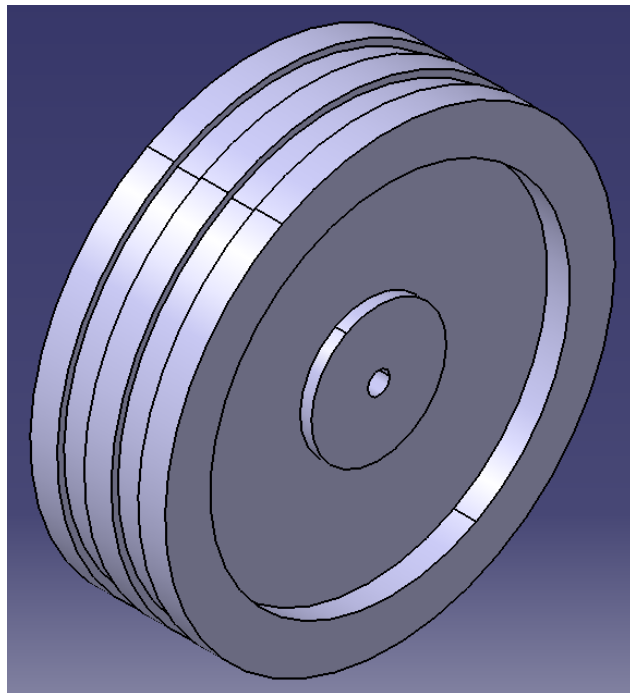


Imagen 19. Rueda.

e. *Tapón de eje*: este elemento introducido en los extremos del tubo de la *estructura de ruedas*, tiene la función de ofrecer un apoyo para el *eje de las ruedas*. Se tienen dos unidades.

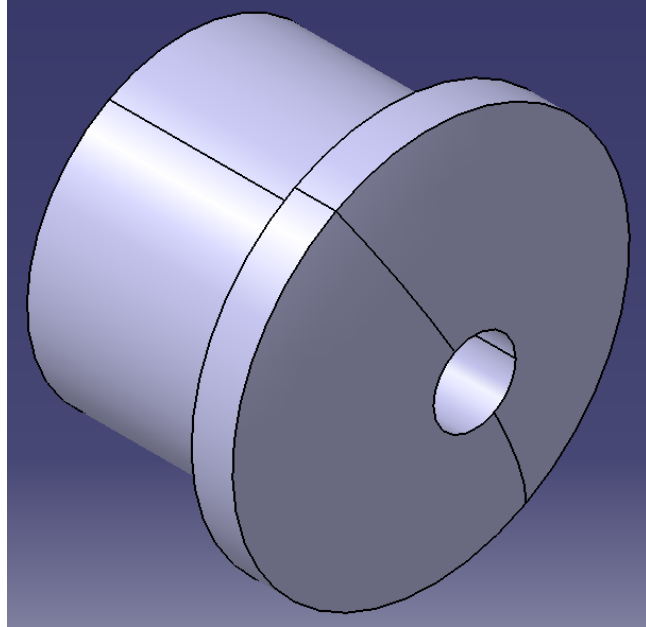


Imagen 20. Tapón de eje.

f. *Eje de las ruedas*: esta barra está roscada en sus extremos, y permite un punto de apoyo a las *ruedas* para poder girar.

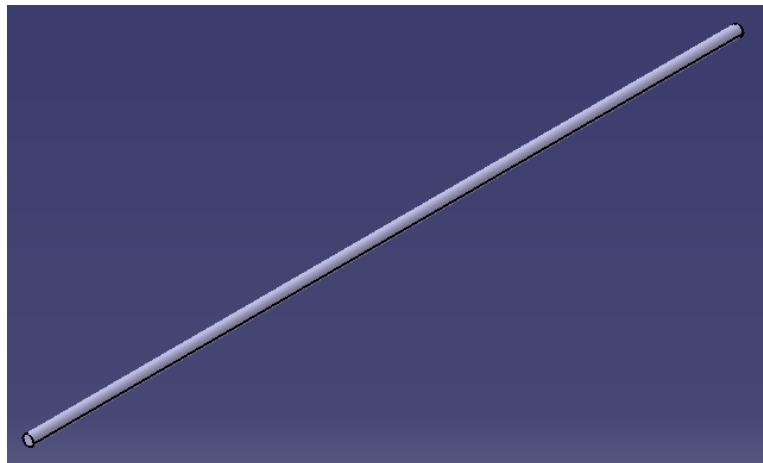


Imagen 21. Eje de las ruedas.

g. *Casquillo*: ubicado entre el arco superior de las estructuras y el eje del cajón, ofrece una superficie lisa para el giro del sistema durante el volteo. Se tienen dos unidades y es uno de los pocos elementos del sistema que no se fabricarán.

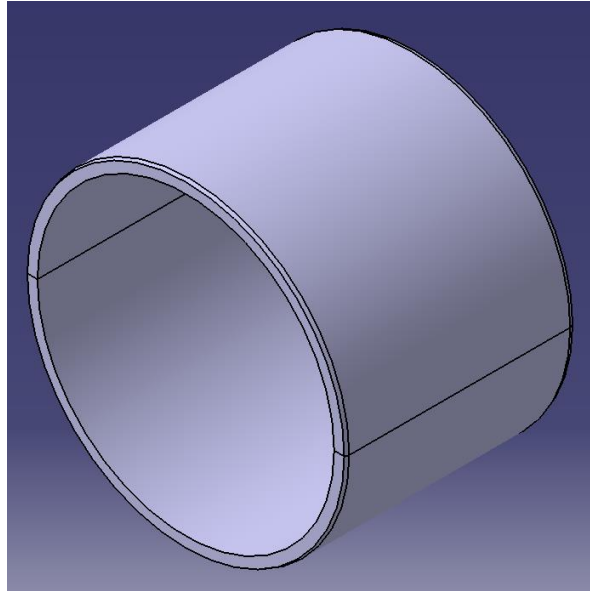


Imagen 22. Casquillo.

h. *Tacos del eje*: estos elementos mantienen los casquillos fijos en su posición y distribuyen la carga del Subconjunto de lavado a las estructuras. Se tienen dos unidades.

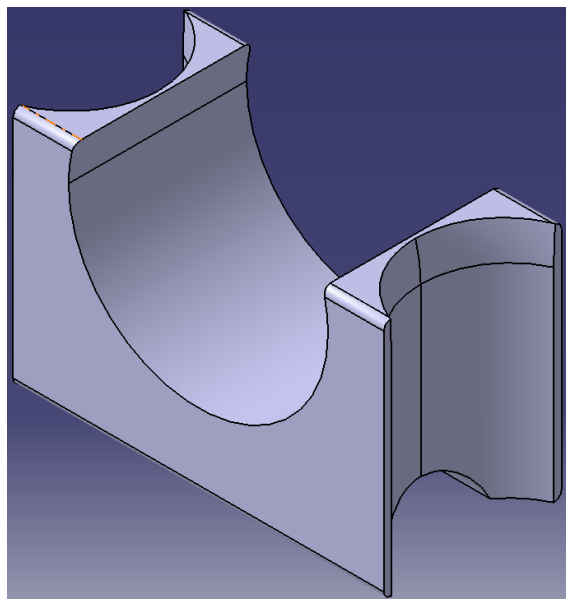


Imagen 23. Taco del eje.

i. *Asidero*: esta pieza, sujeta a la *estructura de patas* mediante tornillos, permite elevar ligeramente el sistema y moverlo donde el operario quiera.

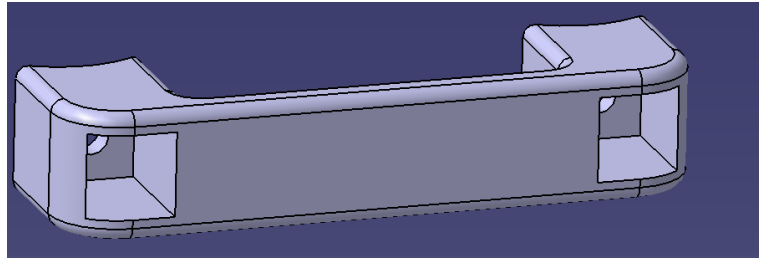


Imagen 24. *Asidero*.

Aparte de estas piezas, este subconjunto tiene:

- ✓ 2 pernos ISO 4016 M10x180 como apoyos de los *tacos de los ejes*.
- ✓ 4 pernos ISO 4014 M8x30 para unir la *vertedera* a las *estructuras*.
- ✓ 2 pernos ISO 4014 M8x60 para unir el *asidero* a la *estructura de patas*.
- ✓ 4 tuercas ISO 10511 M10 con autoblocante. Dos de ellas irán en el *eje de las ruedas* para mantener las *ruedas* en su sitio y que puedan girar. Las otras dos mantendrán fijo los pernos ISO 4016 en las *estructuras*.
- ✓ 6 tuercas ISO 4032 M8 para fijar las uniones de la *vertedera* y el *asidero*.
- ✓ 4 arandelas ISO 7089 10x20 para permitir a las *ruedas* girar.

II. *Subconjunto de lavado*: permite la introducción y sujeción de la caja de botellas para su lavado y volteo. Está formado por los siguientes elementos:

a. *Cajón de limpieza*: diseñado para soportar el peso de la caja de botellas y su llenado parcial durante el lavado, posee unas bisagras para colocar las tapas y que estas puedan moverse. En la parte inferior, tiene un tope que evita que el cajón se gire hacia adelante.

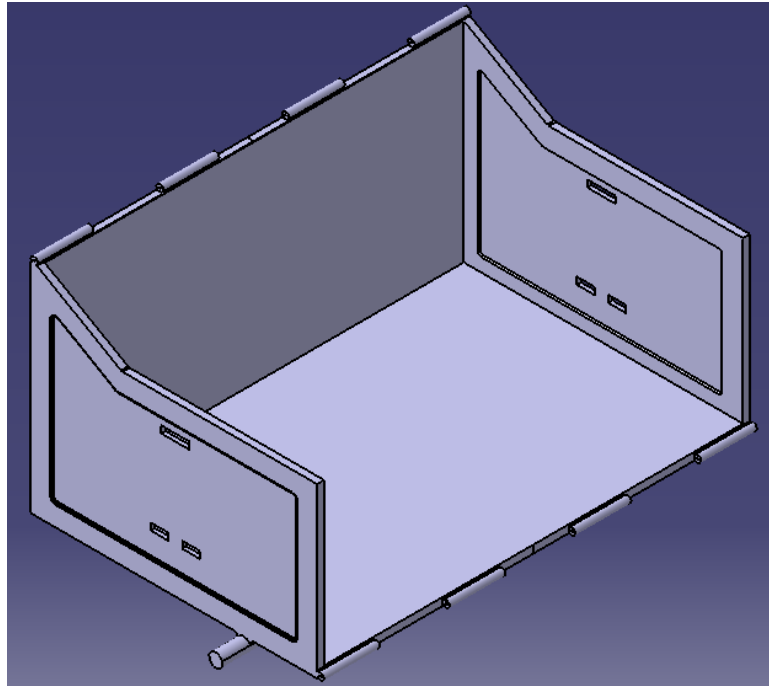


Imagen 25. Cajón de limpieza.

b. *Tapa lateral*: el propósito de esta pieza es mantener fija la *tapa superior* durante el proceso de lavado mediante una pinza plástica, así como evitar que la caja se desplace durante el volteo.

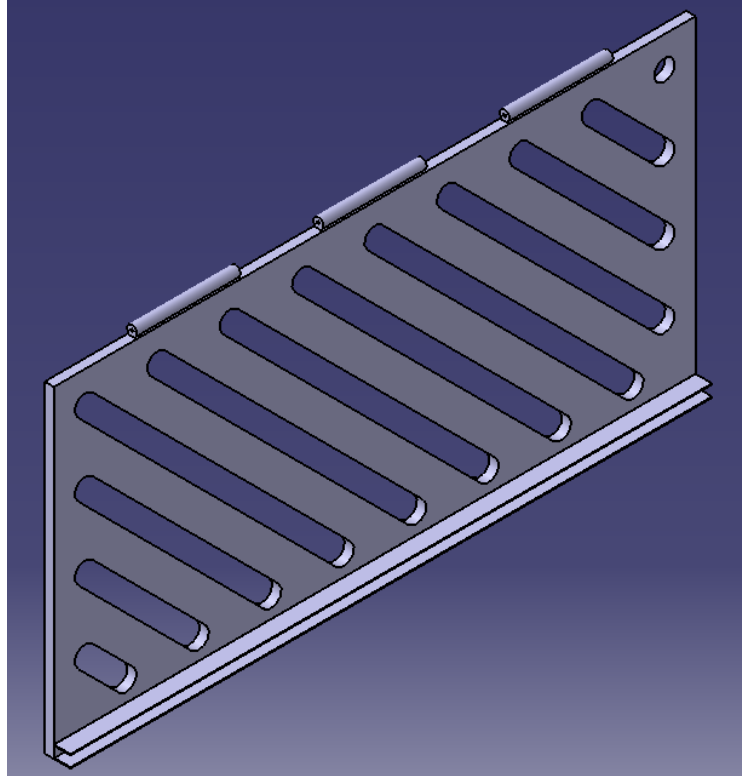


Imagen 26. Tapa lateral.

c. *Tapa superior*: posee una serie de agujeros para que pasen los cuellos de las botellas, pero impide que éstas se caigan cuando el subconjunto se voltea.

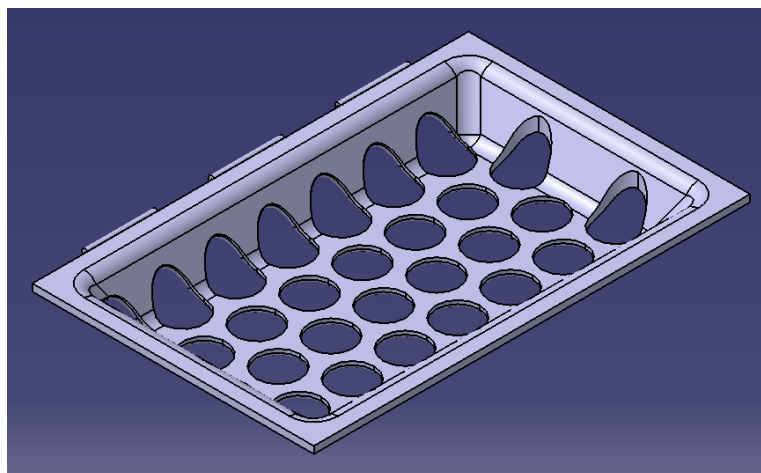


Imagen 27. Tapa superior.

d. *Eje de las bisagras*: estas finas barras, introducidas entre el *cajón de limpieza* y las tapas, permite una unión de los elementos con el giro de las tapas. Se tienen dos unidades.

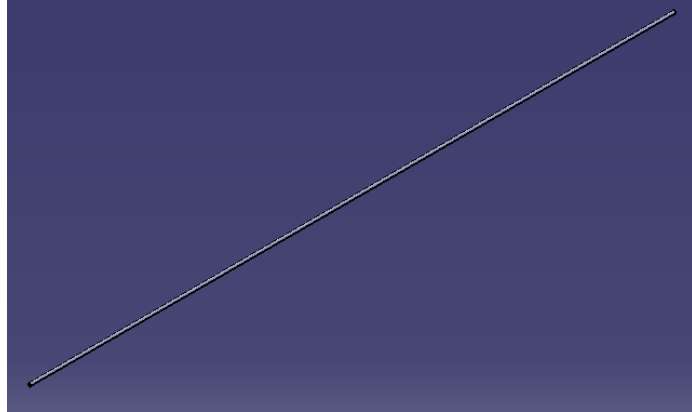


Imagen 28. Eje de bisagras.

e. *Tapones*: estos pequeños elementos se introducen en los agujeros donde están ubicados los *ejes de las bisagras* para impedir que se salgan. Se tienen cuatro unidades.

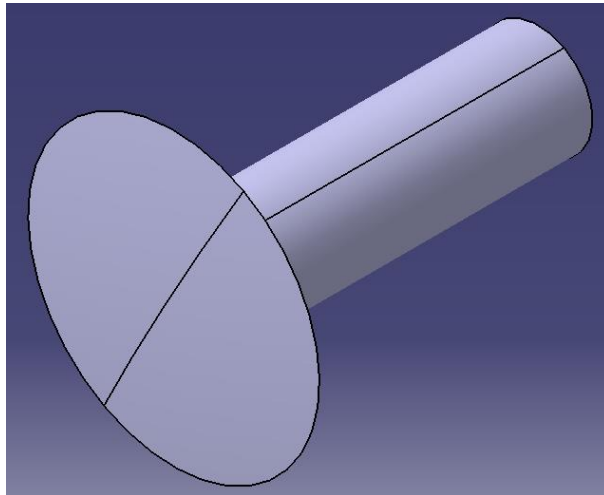


Imagen 29. Tapón.

f. *Eje del cajón*: estos elementos están unidos al *cajón de limpieza* mediante unas garras, y permiten que éste pueda rotar para el vaciado de las botellas. Poseen un agujero perpendicular para la unión del *subconjunto de manivela*. Se tienen dos unidades.

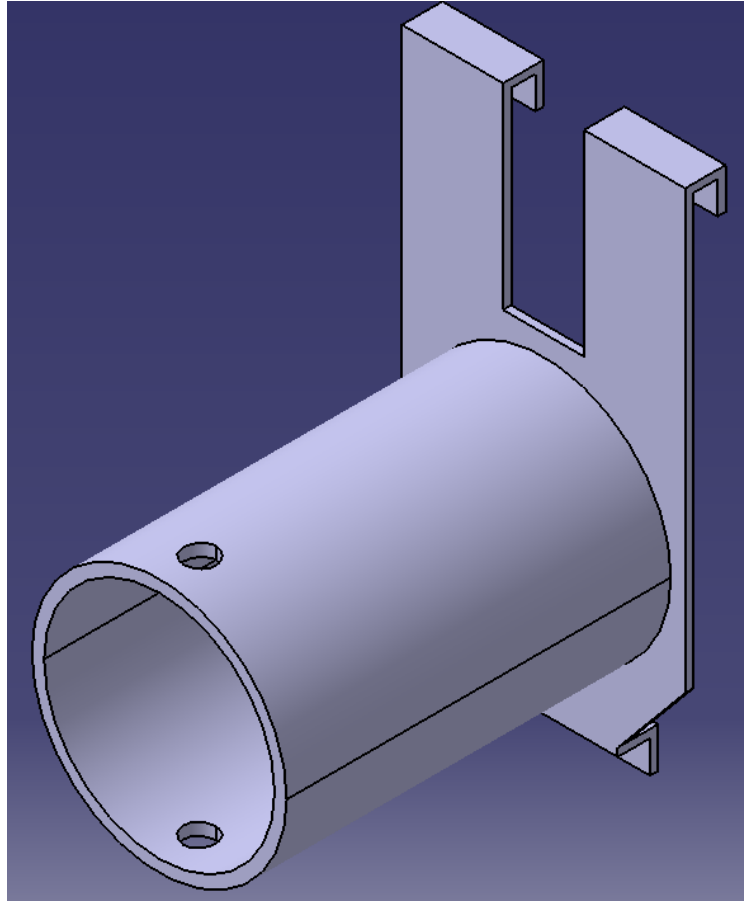


Imagen 30. Eje del cajón.

g. *Subconjunto de manivela*: formado por cuatro elementos distintos, permite al operario realizar la operación de volteado del Subconjunto de lavado. Está diseñado con una rotación en el eje Y de manera que, cuando no se esté usando, se pueda “plegar” la manivela y acceder fácilmente al *asidero*, como indica la *Imagen 30*. Está unida al eje del cajón mediante un *pasador* con una *horquilla*.

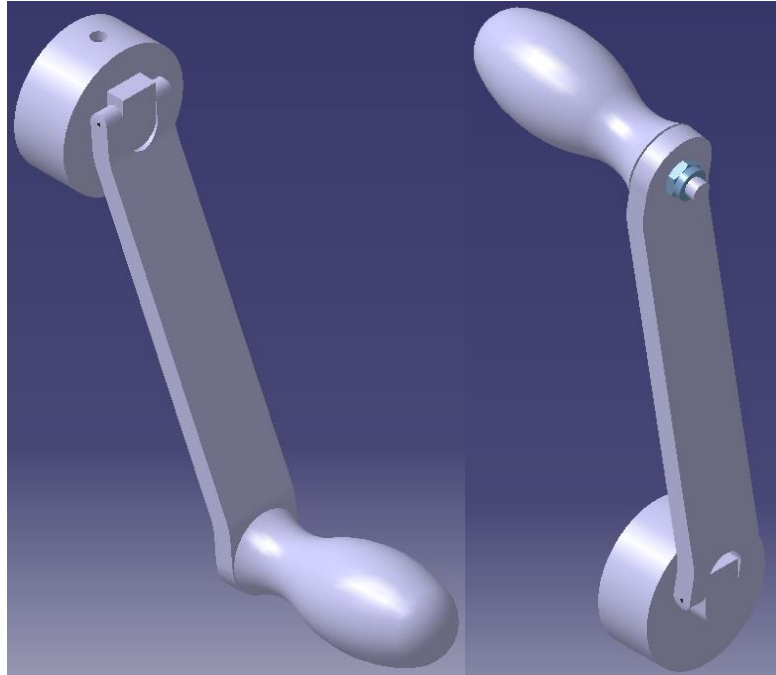


Imagen 31. Subconjunto de manivela (y posición plegada)

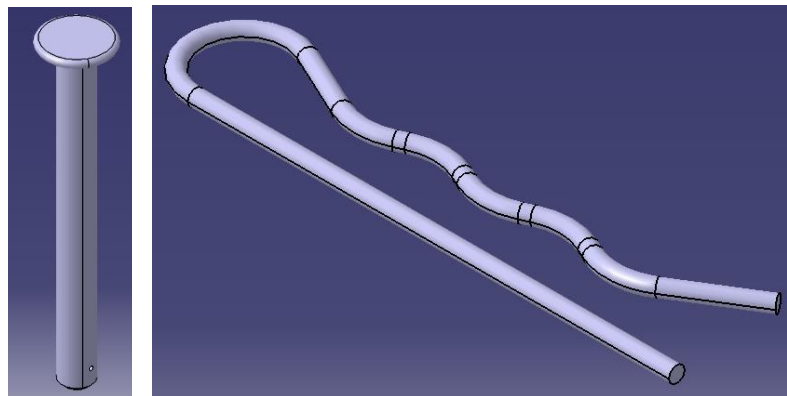


Imagen 32. Pasador y Horquilla.

Aparte de estas piezas, este subconjunto tiene una tuerca ISO 10511 M10 con autoblocante para mantener el *mango de la manivela* en su posición y permitir que pueda girar.

III. *Subconjunto de irrigación*: se compone de un circuito hidráulico y un armazón para mantenerlo en su posición. Está formado por los siguientes elementos:

a. *Apoyo del irrigador*: esta pieza mantiene unido el subconjunto al resto del sistema, además de permitir el desplazamiento vertical y fijación de la *estructura del irrigador*. En este elemento se incluye un agarre para la llave de paso de agua al circuito y un pequeño orificio donde se ubica un pasador para mantener fija la altura del resto del subconjunto. Se conecta a la *estructura de ruedas* mediante una soldadura.

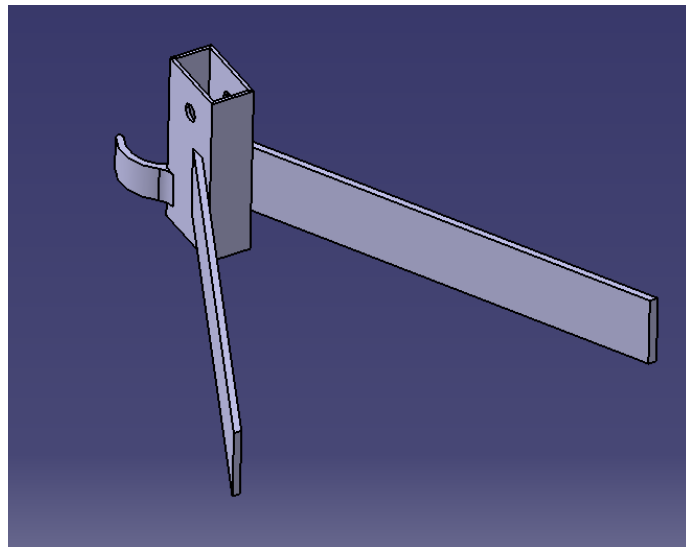


Imagen 33. *Apoyo del irrigador*.

b. *Estructura del irrigador*: permite la sujeción de los *conectores del aspersor*, además del *distribuidor* del sistema de irrigación. Posee una serie de agujeros para fijar la altura de los aspersores.

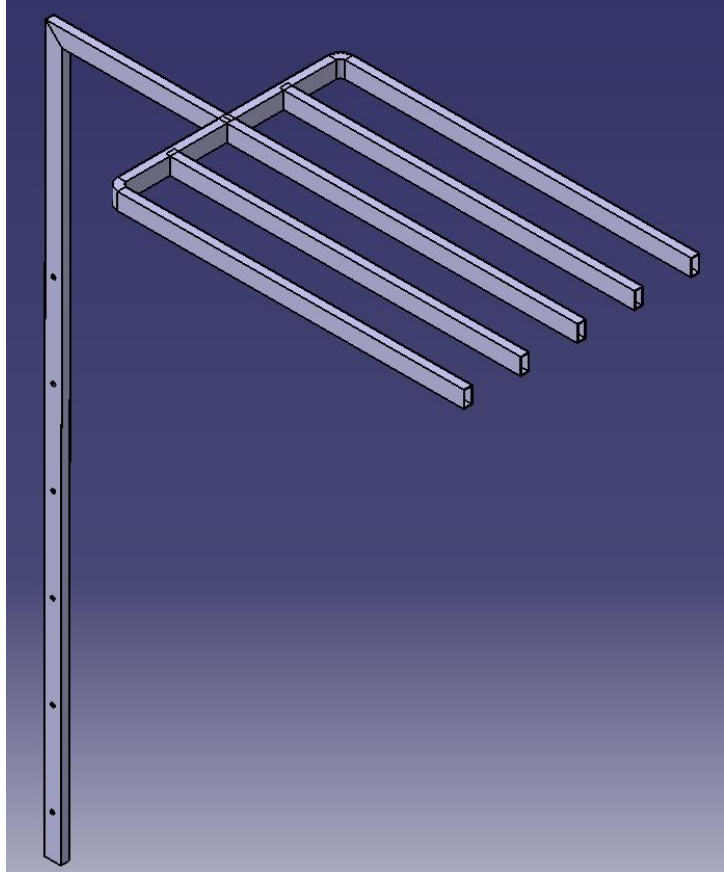


Imagen 34. Estructura del irrigador.

c. *Conector del aspersor*: este elemento, que se mantiene fijo a los brazos de la estructura del irrigador y que puede desplazarse, reparte el flujo de agua a los siete *aspersores* de cada hilera. Se tienen cinco unidades.

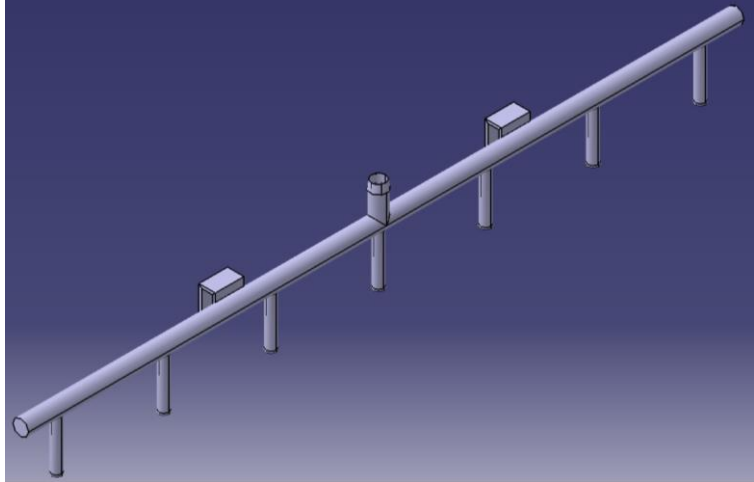


Imagen 35. Conector del aspersor.

d. *Aspersor*: esta pieza, unida al *conector*, tiene una serie de perforaciones (nueve en el lateral y una en el fondo) con un cierto ángulo de salida, permitiendo que gire mientras el agua sale y lavando las botellas por dentro. Se tienen treinta y cinco unidades.

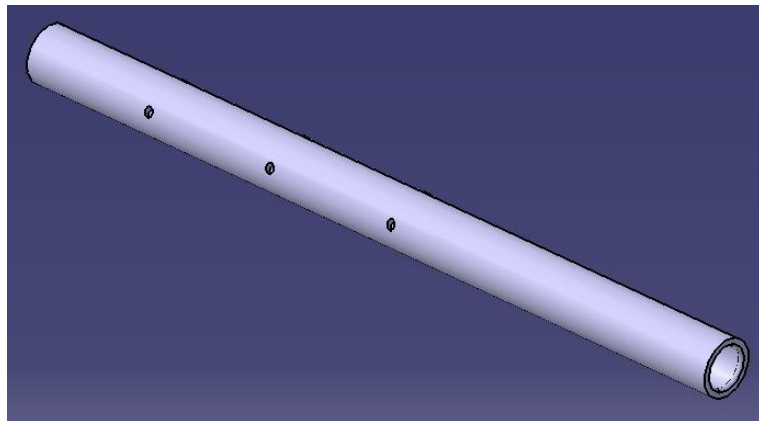


Imagen 36. Aspersor.

e. *Distribuidor*: este elemento deriva el flujo de agua entrante a los cinco *conectores del aspersor* de manera uniforme. Se mantiene fijo en la *estructura del irrigador* mediante una pinza de plástico.

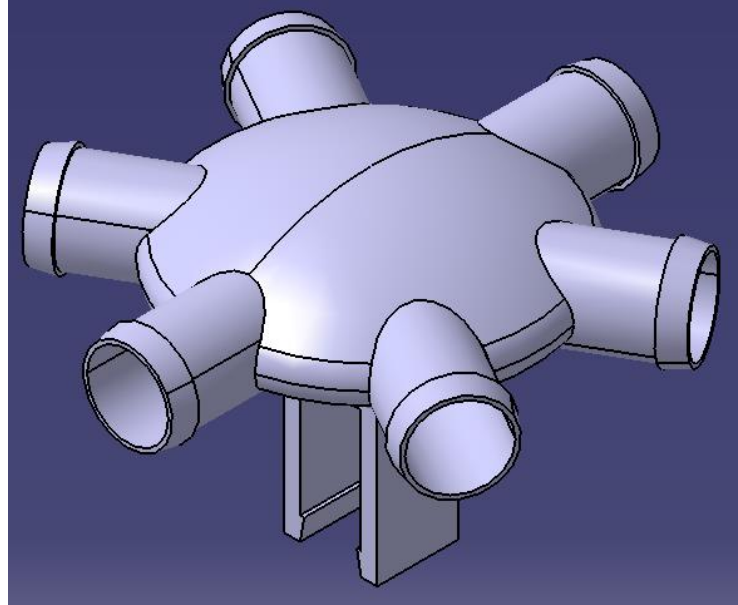


Imagen 37. Distribuidor.

Aparte de estas piezas, este subconjunto tiene:

- ✓ 1 válvula esférica de palanca con diámetro de 1/2".
- ✓ 1 pasador de 5mm de diámetro que fija la altura de la *estructura del irrigador*.

2.5. Fabricación

En este apartado, iremos detallando la construcción de cada elemento del sistema. Separaremos los elementos en los tres subconjuntos mencionados con anterioridad, y distinguiremos entre elementos plásticos y elementos metálicos.

Ya se vio en el apartado 2.3 que tipo de material sería los idóneos para la fabricación de las piezas, buscando cumplir el objetivo de reducir el peso del sistema. Ahora el objetivo será intentar reducir los tiempos de fabricación, buscando aunar varias piezas en un solo proceso, y así reducir los costes de los equipos de trabajo y los tiempos de uso.

2.5.1. Subconjunto estructural.

✓ Elementos metálicos:

- *Estructura patas y estructura ruedas.*

Estos dos elementos están formados por barras de aluminio de sección circular (14), de diámetro 48 *mm* y espesor 3 *mm*. Una vez obtenidos los tramos adecuados mediante una sierra de cinta con refrigeración por taladrina, se les da forma con una máquina curvadora, ya sea manual o CNC. Debido al radio no muy grande de la curva superior en forma de “U”, se tienen varias alternativas: hacer dos tramos con un codo de 90° y luego soldarlas, o ir doblando un tubo de forma circular y obtener los 4 codos de 90°. Obtenidos los elementos sueltos, y después de recortar las curvas de contacto de los tubos perpendiculares, se unen mediante una soldadura de gas inerte con tungsteno.

Por otro lado, se recortan unas pletinas de 5 *mm* de espesor de la chapa de aluminio, que serán las sujeciones de la *vertedera*; se les realiza un recorte para que encajen con el diámetro del tubo, y se les genera unos agujeros pasantes de 8 *mm* antes de soldarlos a la estructura de la misma manera que con los tubos anteriores.

Mediante un taladro de columna se realizan los agujeros pasantes de 8 mm para la fijación del *asidero*, y los agujeros de 10 mm donde los pernos mantendrán prieto los *tacos del eje* con los *casquillos*. Para finalizar, las piezas se cubrirán con una pintura específica para la industria alimentaria. El tono elegido de la empresa Fakolith®, será el Rojo Oxido RAL 3009.

- *Vertedera.*

Se toma una plancha de aluminio de 5 mm de espesor que se usó para obtener las pletinas anteriores, y se le realiza los agujeros de 8 mm de diámetro mediante un taladrado.

De la misma manera que sucede con la *estructura de patas* y *estructura de ruedas*, se le aplicará a la pieza una capa de pintura protectora del mismo color.

- *Eje de las ruedas.*

Esta pieza es una barra de acero de 10 mm de diámetro, que una vez cortada a la longitud requerida con una sierra de cinta refrigerada por taladrina, se le genera un roscado en los extremos mediante una terraja de roscar, con una métrica M10 y una longitud de 20 mm .



Imagen 38. Terraaja de roscar M10.

- *Casquillo.*

Inicialmente se había diseñado el casquillo para fabricarlo con las dimensiones de las *estructuras de patas y ruedas*, pero después de una investigación posterior, se encontró un fabricante que tiene dicho elemento con dimensiones casi idénticas, por lo que se tomará la decisión de comprar estas piezas al distribuidor.

El casquillo de fricción pertenece al Grupo GAES, con número de referencia PAP 6550 P10 (15).

$$D_{\text{exterior}} = 70 \text{ mm}$$

$$D_{\text{interior}} = 65 \text{ mm}$$

$$\text{Longitud} = 50 \text{ mm}$$

Ya que el diámetro exterior del casquillo es menor que el diámetro interno de la curva de las piezas estructura, se diseñará en *taco del eje* de manera que mantenga alojado el casquillo de fricción.

✓ Elementos plásticos:

Entre los elementos plásticos, vamos a tener dos grupos: las piezas obtenidas con polietileno de alta densidad (PE-HD) y las obtenidas con poliamida (Nylon).

- Piezas formadas por PE.

Son las *ruedas*, el *tapón de ruedas* y el *asidero*. Su obtención se realiza mediante la inyección de gránulos de polietileno de alta densidad, con un colorante negro, que se funde en un inyector con un tornillo sinfín sobre un molde. Posteriormente al desmoldeo, se realizará un proceso de recorte de los elementos sobrantes, como rebabas o conductos de entrada del plástico.

Como estas piezas son pequeñas, simétricas y no muy anchas, se podrá utilizar un único molde que contenga la forma en negativo de todas las piezas, y posiblemente más de una unidad³ para reducir los tiempos de fabricación. En las ruedas y tapones de ruedas, al ser el agujero por el que pasa el eje de ruedas notable (10 mm), no hará falta un taladrado posterior, si no que se formarán durante el propio moldeo.

-Piezas formadas por Nylon.

Son los *tacos del eje*. La ventaja que tiene este material es que las piezas se pueden obtener mediante una máquina de fresado, sin necesidad de obtenerlas por fundición del plástico, que sería más costoso. Dado un bloque de dimensiones 150x50x100 mm, se realiza las operaciones de fresado para generar los agujeros pasantes y el refrentado de las caras. Posteriormente se corta por el largo y la alto para dejar los huecos semicirculares que serán donde se apoyen los tubos del subconjunto estructural y los pernos. Para finalizar, se realizará el redondeo de las aristas laterales.

2.5.2. Subconjunto de lavado.

✓ Elementos metálicos:

- Eje del cajón.

Este elemento consta de dos partes, generadas de forma distinta.

La parte de los amarres se obtiene mediante una placa de acero AISI 304 de 2 mm de espesor, de la que se obtiene su forma plana final cortándola usando una máquina CNC por láser. Posteriormente, se realiza una serie de doblados de las tres pletinas de agarre mediante una prensa manual o una prensa de sobremesa. Dado las reducidas dimensiones de los agarres, una posible solución es hacer el extremo final más largo para que entre en la máquina, y posteriormente recortar el material sobrante.

³ Los tapones del Subconjunto cajón de lavado se generarán con estas piezas.

La parte del eje se obtiene cortando un tubo de sección circular de diámetro externo 65 mm y espesor 2 mm mediante una sierra refrigerada por taladrina, y realizando posteriormente un taladrado de 8 mm perpendicular al eje a una distancia de 10 mm del borde.

Una vez obtenida las dos piezas, se unen mediante una soldadura TIG. La utilización de este tipo de soldadura es debido a que el acero nos permite usarlo, evitando tener que comprar dos máquinas, y dadas las dimensiones la soldadura se realiza muy rápidamente y sin casi aportar material.

Posteriormente, se cubrirán las piezas con la misma pintura epoxi utilizada con la *estructura del irrigador*.

- *Eje de las bisagras.*

Se trata de una barra de acero conformado en frío de diámetro 3 mm y una longitud de 600 mm , obtenida posiblemente del proveedor cortada a la longitud final. Para evitar introducir elementos de fijación como tuercas, que requeriría la generación de roscas, se utilizan unos *tapones* que los mantendrán en su sitio.

- *Subconjunto manivela.*

De este conjunto de piezas, las formadas por materiales metálicos serán el *conector* y la *barra de la manivela* fabricadas con en el mismo aluminio 6060, una pequeña barra de acero de 40 mm de largo y 2 mm de diámetro, que hace la función de bisagra, y un *pasador con horquilla* que mantienen fijo el subconjunto al *eje del cajón*. Estas últimas piezas se pueden obtener de distribuidores comerciales, por lo que no hará falta fabricarlas. Pasando a las piezas de aluminio, el *conector* se creará comenzando con un bloque macizo (si no se puede obtener un cilindro) al que en un torno se le generará el diámetro exterior final y el hueco interno. Posteriormente en una fresadora se formará el elemento de unión con la *barra de la manivela*, y finalmente mediante un taladrado se obtendrán los agujeros.

Con la barra se comenzará recortando una pletina de 10 mm de grosor y 40 mm de ancho de una plancha en la máquina de corte CNC, donde posteriormente se enviará a una curvadora donde se crearán las curvas de 20°. Después se del subconjunto estructural redondearán las aristas y se taladrarán los agujeros pasantes. Para finalizar, sobre estas piezas se les aplicará la misma pintura epoxi de color rojo que a los elementos del subconjunto estructural.

✓ Elementos plásticos:

Todas las piezas no metálicas de este subconjunto están formadas por polietileno de alta densidad, y dado que se generan de forma similar, sería redundante repetir el proceso para cada una de los elementos. Las únicas diferencias son las estéticas y las operaciones de acabado, ya que algunas piezas tendrán un color final distinto de otras.

Si bien algunos elementos, debido a su geometría y dimensiones, se generarán con un único molde, para otras podrán crearse un molde que contenga la forma de varias piezas, reduciendo los tiempos de fabricación y optimizando el uso del plástico. De forma general, la obtención de las piezas se realiza mediante la inyección del plástico granulado en un husillo o tornillo de Arquímedes que mediante resistencias se calienta y funde para poder ser inyectado en un molde metálico con el negativo de la forma que se quiere obtener.

- *Cajón de limpieza.*

Después del desmoldeo, se requerirá una operación de acabado para el redondeo de aristas y la eliminación de restos del plástico que pueda haber después de la inyección.

Debido a su diámetro, los agujeros donde se colocan los ejes de las bisagras no se generarán durante la inyección del plástico, si no posteriormente mediante una operación de taladrado térmico. Con una barra larga del diámetro deseado, se le calienta a alta temperatura, suficiente para fundir el plástico, y se atraviesa rápidamente por las bisagras.

- *Tapas lateral y superior.*

Una vez realizado la operación de desmoldeo de las piezas, y el recortado de los conductos de llenado del plástico fundido, se generará el agujero para la inserción del eje de bisagras de forma similar a como se hizo para el cajón de limpieza.

Estas piezas, al igual que el cajón de limpieza, se forman con un polietileno con un color determinado, distinto de las otras piezas negras.

- *Tapón del cajón.*

Esta pieza de 3 mm de diámetro y 10 mm de largo se puede obtener en el mismo molde que contiene los elementos plásticos del Subconjunto estructural, ya que tienen el mismo color y son piezas pequeñas.

- *Subconjunto manivela.*

El único elemento plástico, el *asa de la manivela*, está formado por un volumen de revolución con una forma que permite un agarre cómodo y firme.

Para el asa de la manivela, posteriormente se le realizará un roscado de métrica M10 y una profundidad de 15 mm con una terraja, para poder fijar una tuerca que permita el giro de este elemento en su eje.

Una alternativa sería, durante la colocación del molde para inyectar el plástico, introducir un elemento metálico ya roscado al que se le adhiriese el plástico que formaría el asa de la manivela.

2.5.3. Subconjunto de irrigación.

✓ Elementos metálicos:

- *Apoyo del irrigador.*

Es una pieza compleja que soporta el peso de todo el subconjunto. Posee una forma asimétrica para que los *aspersores*, que están unidos a los *conectores* y estos a la *estructura del irrigador*, entren por los agujeros de las botellas.

Debido a que esta pieza va a ir soldada a la estructura de ruedas, se tomará el aluminio como material de uso, y su geometría se obtendrá cortando primero el tubo rectangular y las pletinas de 2 mm en la sierra de cinta. Los elementos que forman la "pinza" donde se acoplará la válvula esférica pueden generarse doblando unas pletinas de 2 mm de forma manual, ya que son estrechas, aplicando calor y sin necesidad de maquinaria. La unión con el Subconjunto estructural, así como la unión de los elementos de la pieza, se realiza mediante una soldadura TIG.

Posteriormente a la soldadura, esta pieza se pintará con el mismo producto que se utilizó en las piezas del Subconjunto estructural.

- *Estructura del irrigador.*

Este elemento se obtiene cortando inicialmente tubos de acero de sección rectangular 20x10x1 mm (16) con una sierra de cinta con refrigeración por taladrina. Una vez obtenidas las piezas, se procede a realizar un doblado de los brazos externos a 90° con la ayuda de una curvadora de tubos. Después se sueldan las barras según los planos con una soldadora TIG, se realiza el taladrado de los orificios de 5 mm de diámetro para la regulación de la altura y el redondeado de las aristas. Como este elemento va a estar en contacto con agua, debido al sistema de irrigación, se barnizará con una pintura que lo mantenga aislado, cumpliendo también con la normativa alimentaria. De manera similar a las piezas del subconjunto estructural, se usará una pintura de la marca Fakolith®, en este caso color Negro RAL 9017. Con esta pintura también se cubrirán los *ejes del cajón*.

✓ Elementos plásticos:

Estas piezas están formadas por polietileno de alta densidad, y se generan todas de la misma manera. La diferencia con los elementos plásticos que se han visto anteriormente, es que los de este subconjunto serán huecos de pequeño grosor, para que circule el agua por ellos, por lo que se realizarán mediante una operación de moldeo centrífugo o por soplado. En la pieza *conector del aspersor*, debido a su forma compleja, se generará mediante un moldeo semi-centrífugo, donde el molde gira más lentamente

- Conector del aspersor.

Esta es una de las piezas más complejas, y una vez desmoldada, se realizará las operaciones de acabado por si existen defectos o rebabas, sobre todo en la parte que se conectará con los aspersores, pues tiene que quedar una superficie lisa para que puedan girar libremente.

- Aspersor.

Una vez obtenida la pieza, se llevará a una máquina CNC para realizar la operación de taladrado de los agujeros de 1,5 mm por los que saldrá el agua.

- Distribuidor.

Finalizada la operación de desmoldeo, se realizará el acabado para eliminar rebabas y conductos de llenado. Durante el diseño del molde, habrá que tener cuidado con la pinza plástica y añadir posibles conductos de adición de material para que no se generen rechupes ni vacíos en el plástico.

La parte más compleja y posiblemente la más costosa de este apartado, y de todo el proyecto, será la generación de los elementos plásticos.

No solo por la obtención de la materia prima, que tiene un precio más o menos razonable, sino porque en un proceso de inyección, el diseño y generación de los moldes es una de las mayores inversiones (17); si es cierto que cuando se utiliza para la creación de cientos o miles de piezas, esta inversión se ve amortizada. Veremos el coste aproximado en el siguiente apartado.

Una alternativa si se quiere construir un prototipo para realizar pruebas y ensayos, sería la generación de las piezas plásticas mediante el uso de una impresora 3D. De esta manera, el coste que supondría la realización de los moldes se invertiría en la compra de una máquina que abarcara las dimensiones de las piezas que se necesitan, y aunque se tardaría más tiempo en la fabricación que con el sistema de moldeo por inyección, las piezas obtenidas tendrían una calidad aceptable para la realización de los ensayos.

2.6. Presupuesto

A continuación, se desarrollará un pequeño presupuesto, de acuerdo a obtener un precio aproximado en la realización del prototipo de nuestra máquina de lavado de botellas.

Comenzaremos pues con los materiales metálicos del sistema.

- Tubos circulares de aluminio 48x3 mm: estos tubos serán parte del cuerpo de la máquina. Según un catálogo comercial (18), nos ofrecen tubos de estas dimensiones a un precio de 20,80 €/m. Calculando la longitud necesaria, y añadiendo material para permitir la realización de los doblados, se necesitarían aproximadamente unos 4 m de tubos. Entonces el precio final será de 83,20 €.
- Plancha de aluminio 5 mm espesor: con esta pieza obtendremos la vertedera y las pletinas que irán soldadas a los tubos circulares anteriores. Con las medidas que se necesitarán (500x670 mm), obtenemos un precio del proveedor (19) de 141,79 €.
- Barra de acero 10 mm diámetro: esta barra será el eje de las ruedas. El proveedor (20) vende las barras de este diámetro a 4,80 €/m, tamaño algo mayor de lo necesario, pero se pasará luego por la sierra de cinta. El precio final será de 4,80 €
- Plancha de acero 2 mm espesor: con esta pieza se obtendrán los dos amarres del eje del cajón. Debido a que con los doblados se necesitará material extra que luego se recortará, se pedirá al proveedor (21) unas planchas de 200x150 mm, con un precio final de 14,06 €.
- Tubos circulares de acero 65x2 mm: estos tubos formarán parte de los ejes del cajón. Si bien no se han podido encontrar proveedores que tuviesen estas medidas, o que mostrasen los precios de sus productos, según un catálogo comercial (22), nos ofrecen tubos de estas dimensiones en aluminio, a un precio de 10,89 €/m. Aunque no es el material que estamos buscando, utilizaremos este precio para la realización del presupuesto, dando por hecho que el acero tendrá un precio parecido pero superior. Entonces el precio final será de 15,00 €, aproximadamente.

- Plancha de aluminio 10 *mm* espesor: con esta pieza se generará la barra de la manivela. Aunque la pieza final es estrecha, el proveedor (23) solo vende placas de 200x200 *mm*. Para un prototipo es un inconveniente, pero para la generación en serie está bien, pues se podrán obtener varias piezas con una sola placa en la cortadora CNC, ahorrando tiempo y dinero. El coste de la placa de 200x200x10 *mm* es de 41,14 €
- Bloque aluminio: para generar el conector de la manivela. Si bien no se han encontrado los precios de un bloque de aluminio, para la pieza se necesitaría un cubo de 70 *mm* de lado aproximadamente, que a la densidad del aluminio (2700 *kg/m*³) pesaría casi 1 *kg*, y dado que el aluminio está a 1,15 €/kg, con gastos de envío, diremos que el precio final de esta pieza será de 5,00 €
- Tubos rectangulares de acero 20x10x1 *mm*: forma parte de la estructura del irrigador. si bien el proveedor (24) nos ofrece tubos de 20x10x1,5 *mm* a un precio de 5,61 € la barra de 3 *m*, vamos a elegir este producto, ya que no influye el área interior del tubo en la máquina de lavado. Midiendo la longitud de la estructura, haría falta 3,5 *m* de tubo, entonces habrá que comprar dos unidades. El precio final de esta pieza será de 11,22 €
- Pintura Fakolith® FK-45 Rojo Oxido RAL 3009 y Negro RAL 9017: con estas pinturas epoxi se recubrirán ciertas piezas metálicas del conjunto para protegerlas del agua, humedad y el ambiente. Un proveedor (25) tiene los productos de un tamaño de 2,5 *kg*, que posiblemente sea suficiente, a un precio de 70,03 € la unidad, con lo que el precio final de las pinturas será de 140,06 €

Con esto, el precio aproximado de los materiales metálicos y pinturas será de 456,27 €

Según convenio, el precio de la mano de obra es de 14 €/hora por trabajador (sin contar horas extra ni complementos salariales). En la parte de los elementos metálicos, se tendrán al menos 4 operarios: un tornero, un fresador, un soldador y un doblador (el doblador también utilizará la sierra de cinta para cortar las piezas).

Operario: Doblador		Nº de horas
Tubos Al $\varnothing 48\text{ mm}$	Corte partes: sierra de cinta	$3/4\text{ h}$
	Curvado de los tubos	$3/4\text{ h}$
Plancha Al 5 mm	Corte pletinas: sierra de cinta	$1/6\text{ h}$
Eje ruedas $\varnothing 10\text{ mm}$	Corte: sierra de cinta	$1/4\text{ h}$
Plancha acero 2 mm	Doblado y recorte	1 h
Tubos acero $\varnothing 63\text{ mm}$	Corte partes: sierra de cinta	$1/4\text{ h}$
Plancha Al 10 mm	Doblado y redondeo	$1/2\text{ h}$
Tubos $22 \times 12 \times 1\text{ mm}$	Corte: sierra de cinta	$1/4\text{ h}$
Pletinas 2 mm	Corte: sierra de cinta	$1/6\text{ h}$
	Doblado, recorte y redondeo	$1/2\text{ h}$
Tubos $20 \times 10 \times 1\text{ mm}$	Corte partes: sierra de cinta	$1/2\text{ h}$
	Redondeo aristas	$1/12\text{ h}$
Horas totales:		$5\text{ h } 10\text{ min}$

Tabla 1. Horas necesarias doblador.

Operario: Fresador		Nº de horas
Tubos Al $\varnothing 48\text{ mm}$	Taladrado: taladro de columna	$1/4\text{ h}$
Plancha Al 5 mm	Taladrado pletinas: tal. columna	$1/6\text{ h}$
	Taladrado vertedera: tal. columna	$1/4\text{ h}$
Eje ruedas $\varnothing 10\text{ mm}$	Roscado: terraja M10	$1/4\text{ h}$
Tubos acero $\varnothing 63\text{ mm}$	Taladrado: taladro de columna	$1/6\text{ h}$
Bloque Al	Fresado conector	$1/2\text{ h}$
	Taladrado: taladro de columna	$1/30\text{ h}$
Plancha Al 10 mm	Taladrado	$1/30\text{ h}$
Tubos $22 \times 12 \times 1\text{ mm}$	Taladrado: taladro de columna	$1/6\text{ h}$
Horas totales:		$1\text{ h } 49\text{ min}$

Tabla 2. Horas necesarias fresador.

Operario: Tornero		Nº de horas
Plancha acero 2 mm	Corte CNC	1 h
Bloque Al	Torneado cilíndrico	$2/6\text{ h}$
	Torneado interior	$2/6\text{ h}$
Plancha Al 10 mm	Corte CNC	$3/4\text{ h}$
Horas totales:		$2\text{ h } 25\text{ min}$

Tabla 3. Horas necesarias tornero.

Operario: Soldador		Nº de horas
Tubos Al $\varnothing 48\text{ mm}$	Soldadura TIG estructura	$3/4\text{ h}$
Plancha Al 5 mm	Soldadura TIG pletinas	$1/6\text{ h}$
Tubos acero $\varnothing 63\text{ mm}$	Soldadura TIG	$1/2\text{ h}$
Tubos $22 \times 12 \times 1\text{ mm}$	Soldadura TIG	$3/4\text{ h}$
Tubos $20 \times 10 \times 1\text{ mm}$	Soldadura TIG estructura	$1/4\text{ h}$
	Taladrado: taladro de columna	$1/4\text{ h}$
Horas totales:		$2\text{ h } 40\text{ min}$

Tabla 4. Horas necesarias soldador.

Aparte de estas operaciones, ciertas piezas se tendrán que imprimir y pintar con la pintura epoxi mencionada con anterioridad. Un pintor tardará en realizar el trabajo unas 2 horas. Entonces, el coste total:

$$[5\text{ h } 10\text{ min} + 1\text{ h } 49\text{ min} + 2\text{ h } 25\text{ min} + 2\text{ h } 40\text{ min} + 2\text{ h}] * 14 \frac{\text{€}}{\text{h}} = \mathbf{196,93\text{ €}}$$

Con esto, se tiene que el **coste de mano de obra para la generación de las piezas metálicas es de 196,93 €.**

Ahora nos falta los elementos plásticos. Tomando como base la información ofrecida en la página web de **formlabs** (17), tendremos

- costes del equipo,
- costes de los moldes,
- costes del material,
- coste de mano de obra.

No entraremos en los costes de equipo, de manera similar a como se hizo con las piezas metálicas. Con los moldes, el uso de la impresión 3D para generarlos nos permite reducir costes con respecto a las alternativas (EDM y el mecanizado CNC). supondremos que aproximadamente nos **costará unos 2000 € generar todos los moldes.**

Respecto al material, el granulado de polietileno tiene un precio aproximado de $0,5\text{ €/kg}$, y calculando el peso de todas las piezas a generar, harían falta unos 15 kg de material, por lo que **el precio del PE-HD para generar las piezas sería de 7,5 €.**

El coste de la mano de obra es una de las incógnitas más difíciles de resolver, pues, aunque se suponga que se tiene el mismo convenio que con los trabajadores del metal, en realidad no sabemos cuánto tiempo tardarán las piezas en generarse y endurecerse.

Se puede suponer que las piezas más pequeñas y esbeltas tardarán poco tiempo, ya que se necesita menos material. Para obtener un valor aproximado, se va a suponer el mismo coste por hora que con los materiales metálicos, 2 operarios, y que en generar las piezas y realizar el acabado superficial se tardará unas 5 h cada operario, por lo que el coste de estas horas será de 140 €.

se tiene que el coste para la generación de las piezas plásticas es de 2147,50 €

Para finalizar, todavía faltaría el tiempo de ensamblaje de las piezas para tener el sistema de lavado acabado, con toda la tornillería y las piezas que se han comprado (casquillos de fricción, pasadores, horquillas, tuberías) que serían unos 40 € a añadir al total. Todo esto será unas 4 h de montaje, con un coste de 56 €, y el total sería 96 €.

Presupuesto máquina de lavado de botellas	
Concepto	Subtotal
Materiales metálicos y pintura	456,27 €
Fabricación componentes metálicos	196,63 €
Fabricación componentes plásticos	2147,50 €
Montaje final	96,00 €
Total	2896,40 €

Tabla 5. Resumen presupuesto fabricación de máquina.

Dentro del ámbito de la fabricabilidad y la empresa, nos faltaría saber qué precio se debería poner al sistema de lavado para venderlo en el mercado.

Por un lado, observando en internet los sistemas automatizados de lavado de botellas, se tienen unos precios que van desde los 2500 € hasta los 50000 €. Por otro lado, los sistemas de lavado individual no superan los 50 €. Como la idea es obtener un producto que se mueva entre ambos extremos, el precio final tendrá que encontrarse en ese intervalo.

Supongamos inicialmente que se va a generar un stock de 200 unidades, que se van a poner a la venta en un pequeño mercado que abarcará la comunidad autónoma. Si bien el precio obtenido en la tabla anterior es alto para una máquina, habrá que tener en cuenta ciertas modificaciones:

- Con respecto a los materiales metálicos, muchos componentes están seleccionados para la obtención de las piezas para una unidad de sistema de lavado; pero existen otros componentes de los que se pueden obtener varias piezas, permitiendo reducir el precio por unidad generada.
 - Barra de acero 10 mm diámetro: 20 ejes de las ruedas se generarían con 13 m de barras, que a 4,80 €/m, cada eje costaría 3,12 €.
 - Plancha de acero 2 mm espesor: podemos pedirle al proveedor una plancha más grande y así poder generar más piezas. Con una plancha de 1000x900 mm, con un precio de 88,94 €, se tendría para 30 máquinas, por lo que el precio por sistema sería de 2,96 €.
 - Tubos circulares de acero 65x2 mm: con una longitud de 95mm, por cada metro de tubo, se obtendrían piezas para 5 máquinas. A un coste de 15,00 €/m, aproximadamente, para una unidad nos costaría 3,00 €.
 - Plancha de aluminio 10 mm espesor: si se pide una plancha de 300x300 mm (26), a un precio de 58,81 €, se generarían 6 piezas. El coste por sistema será de 9,80 €.
 - Tubos rectangulares de acero 20x10x1 mm: con siete barras de 3 m a un precio de 5,61 € la barra, se obtendrán la estructura del irrigador para 6 sistemas de lavado. Entonces para cada sistema, el precio será de 6,55 €.
 - Pintura Fakolith® FK-45 Rojo Oxido RAL 3009 y Negro RAL 9017: si se pide los cubos de 7,5 kg precio de 200,11 € la unidad, se podrían pintar al menos tres unidades con el rojo y hasta cinco con el negro. El precio de las pinturas por sistema será de 106,73 €.

Con esto, el precio aproximado de los materiales metálicos y pinturas se reduciría a los 362,15 €.

- El tiempo de trabajo de los operarios en la fabricación de los elementos metálicos está calculada para cada unidad del sistema de lavado, por lo que no se verá reducido el coste total. Lo mismo sucedería con el coste de montaje de los componentes.
- Para los componentes plásticos, aunque el coste que se observa es el mayor, los moldes se pueden utilizar varias veces, por lo que se repartiría el coste entre la producción inicial de 200 unidades, por lo que se tendría un coste de 10 €/unidad. El coste de los materiales se mantendría igual, o posiblemente se reduciría, ya que normalmente los proveedores ante un pedido grande, reducen el precio unitario de sus productos. El coste de la mano de obra se mantendrá igual.

Entonces, el precio del coste para la generación de las piezas plásticas se reducirá a los 157,50 €

Presupuesto máquina de lavado de botellas	
Concepto	Subtotal
Materiales metálicos y pintura	362,15 €
Fabricación componentes metálicos	196,63 €
Fabricación componentes plásticos	157,50 €
Montaje final	96,00 €
Total	812,28 €

Tabla 6. Resumen presupuesto fabricación 1 máquina.

Si se quiere conseguir un beneficio industrial del 15% como mínimo, el sistema de lavado tendría que ponerse a la venta por un valor de 935 €.

Este puede parecer un precio alto, y es posible, pero con respecto del coste de las botellas de vidrio, el producto se amortiza rápidamente. Por ejemplo, un productor que utilice 250 botellas⁴ al año (27), y que tuviese que renovar su almacén cada año, se gastaría 517,5 €/año. Con el sistema de lavado, la inversión se amortizaría en dos años. Con un productor que necesitase 500 botellas, lo amortizaría en un año.

⁴ 250 botellas -> 2,07€/ud. // 500 botellas -> 2,01€/ud.

Como comentario para finalizar este apartado, se ha de saber que todos los precios aquí expuestos son meramente informativos, aunque estén sacados de páginas web de proveedores. Además, los tiempos de trabajo en las operaciones de fabricación no son exactos, pues es posible que haya procesos en los que se encuentren dificultades y que se tarde más, o la operación sea muy eficiente y se trabaje menos de lo esperado; eso depende del operario cuando se ponga a trabajar con los materiales.

Para finalizar, hay que anotar que, durante la fase de desarrollo del prototipo, es posible que se encuentren alternativas que reduzcan tiempos, materiales y/o costes.

2.7. Cálculos técnicos

2.7.1. Pérdidas de carga en el circuito hidráulico.

Antes de comenzar a calcular las pérdidas de carga en los diferentes tramos del circuito, vamos a tomar en consideración una serie de datos previos:

- Para la realización de los cálculos, nuestro fluido de trabajo será agua, cuya densidad es 1000 kg/m^3 y su viscosidad es $0.001 \text{ kg/m} \cdot \text{s}$. La presión del circuito de agua en la edificación es de 3 bares , que supondremos que es la presión de entrada en el circuito hidráulico.
- Como conducto de transporte del fluido, hemos elegido una manguera que nos ofrece un suministrador local (28). Como diámetro interior tiene unos 10 mm , está formado en PVC⁵ y tiene la pared interna que cumple con los estándares de calidad alimentaria.
- Según el **Código Técnico de Edificación, dentro del Documento Básico HS (sección 4 – Suministro de agua)** (29) el caudal instantáneo mínimo de salida de agua fría en un grifo que no sea de vivienda (denominado grifo garaje) es de $0,20 \text{ dm}^3/\text{s}$, es decir, $0,0002 \text{ m}^3/\text{s}$. Este será el caudal que se tomará de entrada en el circuito de la máquina.
- En el número de Reynolds, se trabaja con la velocidad del fluido; pero como se nos dan el caudal como dato, escribiremos la velocidad como función del caudal:

$$Q = S \cdot v \Rightarrow v = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{\pi D^2/4} = \frac{4Q}{\pi \cdot D^2}$$

- Además, supondremos que en la manguera que conecta el circuito hidráulico de la edificación con el prototipo a través de una válvula, las pérdidas de carga son despreciables.

⁵ Rugosidad absoluta = 0,0015 mm.

El circuito comienza con una válvula esférica de palanca con diámetro de 1/2" (30) ubicada en la pinza del *apoyo del irrigador*. Dicha válvula tendrá enroscado en un extremo un elemento macho de un conector automático de manguera, y en el otro extremo un acople recto para la tubería del circuito. La implementación de una válvula en el mecanismo se debe a que así se permite una regulación del caudal de entrada a las botellas desde la propia máquina, sin necesidad de desplazarse hasta la llave de paso que se ubicaría al inicio de la manguera.



Imagen 39. Válvula esférica 1/2" H-H.

1. Primer tramo: irá desde la válvula hasta el distribuidor. Como se comentó anteriormente, el conducto utilizado será una manguera de 10 milímetros de diámetro. Debido a que el Subconjunto de irrigación tiene que evitar al *cajón de limpieza* cuando se voltea, éste se elevará una cierta altura, por lo que la longitud del conducto de este tramo tendrá que ser suficiente largo para permitir la extensión de la *estructura del irrigador*.

Datos para los cálculos:

$$D_{\text{conducto}} = 10 \text{ mm}$$

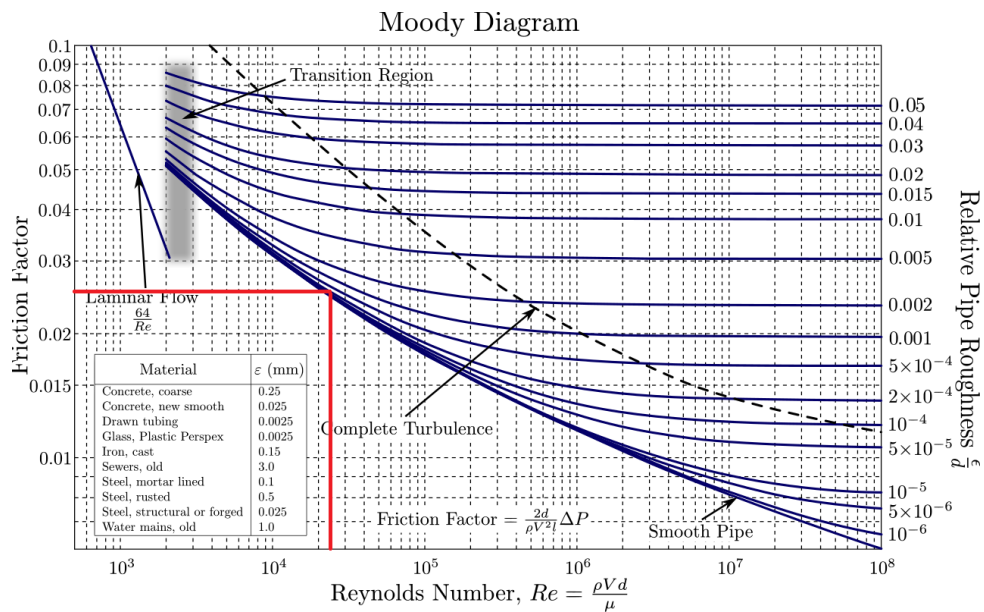
$$L_{\text{conducto}} = 850 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{\text{absoluta}} = 0,0015 \text{ mm}$$

Aplicando el diagrama de Moody (31), obtendremos el **factor de fricción** usando la ecuación de Reynold y la rugosidad relativa:

$$f = \varphi \left(Re, \frac{k}{D} \right)$$

$$\left. \begin{aligned} Re &= \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{\rho \cdot 4Q}{\mu \cdot \pi \cdot D} = 25464,79 = 2,55 \cdot 10^4 \\ \frac{k}{D} &= 0.00015 = 1,5 \cdot 10^{-4} \end{aligned} \right\} f \cong 0,026$$



Gráfica 1. Diagrama de Moody (Tramo 1)

Si aplicamos la ecuación de Colebrook para el régimen turbulento:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left[\frac{k}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right] \Rightarrow f = 0.0248 \cong 0.025$$

Esta diferencia de valores se debe a que en el diagrama de Moody no aparece la línea para una rugosidad relativa de 0,00015, si no que se toma un valor entre 0,0001 y 0,0002; además de que para estos números de Reynold las curvas se empiezan a juntar y desaparecer.

Con esto, la altura de pérdidas por fricción es:

$$h_{p,fr} = f \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \frac{L}{D} = f \frac{8Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^4} \cdot \frac{L}{D} = 0,703 \text{ m}$$

En la válvula tendríamos unas pérdidas locales, debidas al ángulo de apertura de la esfera, pero se supondrá que la válvula se abre completamente durante el llenado, por lo que $K = 0$ (32).

Ya que el diámetro del conector que une la válvula con el tubo es menor que el diámetro de la válvula⁶ y tenemos una contracción brusca, la constante K vale en función de el cociente de los diámetros:

$$K = 0,5 \left(1 - \frac{D_1^2}{D_2^2} \right) = 0,5 \left(1 - \frac{10^2}{12,7^2} \right) = 0,1899$$

Se tomará un valor de K igual a 0,19 para los cálculos. Entonces, la altura de perdidas locales será:

$$h_{p,lc} = K \frac{8Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^4} = 0,063 \text{ m}$$

Al trabajar, la altura del irrigador es menor que la longitud del conducto, y al ser este flexible, formará unas curvas, que tendrán unas pérdidas de carga. Como no se sabe el ángulo exacto de esas curvas, se van a suponer una serie de curvas de 40° , con una constante $K_{40^\circ} = 0,20$. Seis curvas será una buena aproximación.

$$h_{p,lc} = 6 \cdot K_{40^\circ} \frac{8Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^4} = 0,397 \text{ m}$$

Con esto, la altura de pérdidas del tramo 1 es de 1,163 m.

Si realizamos el balance de energía en alturas:

$$\left(\frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2g} + z \right)_s - \left(\frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2g} + z \right)_e = -h_p$$

Como el conducto no varía y el caudal es constante, se anulan los términos de velocidad. Como se ha comentado antes, el sistema se abre cuando el Subconjunto de irrigación está dentro de las botellas, por lo que la altura de salida será el punto más bajo de la estructura del irrigador, de aproximadamente unos 260 mm. Con esto, la presión a la salida del tramo 1 será:

$$P_s = \rho \cdot g(-h_p - z_s) + P_e = 286054,60 \text{ Pa} \approx 2,86 \cdot 10^5 \text{ bar}$$

⁶ Diámetro de 1/2" = 12,7 mm.

2. Distribuidor: es un elemento de plástico ubicado en la parte superior de la *estructura del irrigador*. Su función es repartir el caudal que entra en el circuito de manera igualitaria a los cinco *conectores de los aspersores*, para que estos los repartan entre los *aspersores*.

Aplicando la ecuación de conservación de la masa:

$$\frac{d}{dt} \iiint \rho \, dV + \iint \rho \cdot (v_r \cdot \vec{n}) \, ds = 0$$

El fluido es incompresible y el volumen no varía con el tiempo, por lo que el primer término es cero. Continuando con el segundo término:

$$\iint \rho \cdot (v_r \cdot \vec{n}) \, ds = 0 \Rightarrow \rho \cdot (-v_e) \cdot A_e + 5[\rho \cdot (+v_s) \cdot A_s] = 0$$

$$\Rightarrow (v_e) \cdot A_e = 5[(v_s) \cdot A_s] \Rightarrow Q_e = 5Q_s$$

El caudal que sale de cada tubo del distribuidor, es una quinta parte del que entra

$$Q_s = \frac{Q_e}{5} = \frac{0,2}{5} = 0,04 \frac{dm^3}{s}$$

3. Segundo tramo: iría desde una de las cinco salidas del distribuidor hasta el *conector del aspersor*. En este caso la longitud de los conductos varía. Para la fila del medio, el conducto tendría sólo que realizar una pequeña curva, mientras que con los otros se tiene que vencer la curva que genera la salida del distribuidor y la distancia hasta el conector de su fila. Con esto, la longitud de los conductos será aproximadamente de 450 mm para la fila del medio, y 500 mm para el resto de filas. Como hemos deducido del distribuidor, el caudal en cada conducto es una quinta parte del caudal usado en el tramo anterior.

Datos para los cálculos:

$$D_{conducto} = 10 \, mm$$

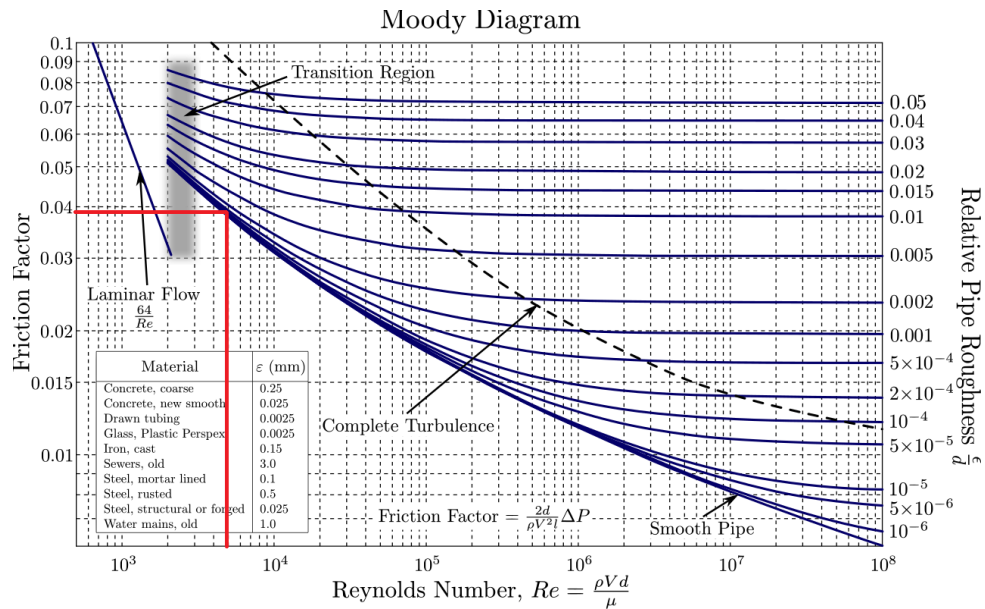
$$L_{cond,1} = 450 \, mm$$

$$L_{cond,2} = 500 \, mm$$

$$\varepsilon_{absoluta} = 0.0015 \, mm$$

El factor *de fricción* usando la ecuación de Reynold y la rugosidad relativa:

$$\left. \begin{aligned} Re &= \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{\rho \cdot 4Q}{\mu \cdot \pi \cdot D} = 5092,96 = 5,09 \cdot 10^3 \\ \frac{k}{D} &= 0.00015 = 1,5 \cdot 10^{-4} \end{aligned} \right\} f \cong 0,039$$



Gráfica 2. Diagrama de Moody (Tramo 2)

Si aplicamos la ecuación de Colebrook para el régimen turbulento:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left[\frac{k}{3.7} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right] \Rightarrow f = 0.0373 \cong 0.037$$

Entonces, la altura de pérdidas por fricción es:

$$h_{p,fr,1} = f \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \frac{L}{D} = f \frac{8Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^4} \cdot \frac{L}{D} = 0,022 \text{ m}$$

$$h_{p,fr,2} = f \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \frac{L}{D} = f \frac{8Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^4} \cdot \frac{L}{D} = 0,024 \text{ m}$$

Ahora nos falta las alturas de pérdidas de carga locales debido al doblado de los conductos. Al igual que el tramo 1, estas pérdidas son difíciles de calcular, es más; en cada uno de los cinco conductos se tiene una curvatura distinta, con distintas pérdidas de carga. intuitivamente se puede observar que los conductos externos tendrán más curvas que los conductos intermedios, y el conducto central será en que menos curvas tenga. Se va a tomar el criterio más pesimista, con unas alturas teóricas que posiblemente serán menores que las reales.

Como en el tramo 1 se obtuvo una altura de 0,397 m, y el conducto del medio tendrá una curvatura similar, se tomará una altura de 0,4 m, en los conductos intermedios una altura de 0,5 m y el los extremos 0,6 m.

Con esto, las alturas de pérdidas del tramo 2 son:

$$\begin{aligned}h_{p,central} &= 0,422 \text{ m} \\h_{p,intermed} &= 0,524 \text{ m} \\h_{p,extremos} &= 0,624 \text{ m}\end{aligned}$$

Si realizamos el balance de energía en alturas:

$$\left(\frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2g} + z \right)_s - \left(\frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2g} + z \right)_e = -h_p$$

Al igual que en el tramo 1, se anulan los términos de velocidad. Como la diferencia de alturas entre la entrada y salida es muy pequeña, se pueden anular. Las presiones a la salida del tramo 2 serán:

$$P_s = \rho \cdot g(-h_{p,2}) + P_e = \begin{cases} 281919,00 \text{ Pa} \approx 2,82 \cdot 10^5 \text{ bar} \\ 280919,40 \text{ Pa} \approx 2,81 \cdot 10^5 \text{ bar} \\ 279939,40 \text{ Pa} \approx 2,80 \cdot 10^5 \text{ bar} \end{cases}$$

4. Conector del aspersor: este elemento reparte el caudal entre los siete *aspersores* de su fila. Aunque se reduce la sección de salida, veremos que la velocidad no aumenta con respecto a la velocidad de entrada, debido a la considerable reducción de caudal.

Aplicando la ecuación de conservación de la masa:

$$\frac{d}{dt} \iiint \rho dV + \iint \rho \cdot (v_r \cdot \vec{n}) ds = 0$$

El fluido es incompresible y el volumen no varía con el tiempo, por lo que el primer término es cero. Continuando con el segundo término:

$$\iint \rho \cdot (v_r \cdot \vec{n}) ds = 0 \Rightarrow \rho \cdot (-v_e) \cdot A_e + 7[\rho \cdot (+v_s) \cdot A_s] = 0$$

$$\Rightarrow (v_e) \cdot A_e = 7[(v_s) \cdot A_s] \Rightarrow Q_e = 7Q_s$$

El caudal que sale a cada aspersor, será una séptima parte del que entra

$$Q_s = \frac{Q_e}{7} = \frac{0,04}{7} = 0,0057 \frac{dm^3}{s}$$

Las velocidades del fluido serán:

$$v_e = Q_e / A_e = \frac{4Q_e}{\pi \cdot D_e^2} = \frac{40000}{\pi} Q_e = 0,509 \frac{m}{s}$$

$$v_s = Q_s / A_s = \frac{4 Q_e / 7}{\pi \cdot D_s^2} = \frac{15873,02}{\pi} Q_e = 0,202 \frac{m}{s}$$

2.7.2. Cálculos del aspersor.

Ya hemos obtenido el caudal que entra por cada aspersor. Ahora vamos a ver a qué velocidad girará el aspersor mientras está funcionando. Aplicando la ecuación de conservación de la masa:

$$\frac{d}{dt} \iiint \rho dV + \iint \rho \cdot (v_r \cdot \vec{n}) ds = 0$$

De forma similar a como se ha visto antes, el volumen de control es fijo y el fluido es incompresible, por lo que el primer término es cero.

Inicialmente, el aspersor se ha diseñado con una perforación en el fondo, y seis perforaciones equiespaciadas en dos alturas, todas con el mismo diámetro de $0,5 \text{ mm}$ y con un ángulo de salida de 30° . Continuando con el segundo término:

$$\begin{aligned} \iint \rho \cdot (v_r \cdot \vec{n}) ds = 0 &\Rightarrow \rho \cdot (-v_e) \cdot A_e + 7[\rho \cdot (+v_s) \cdot A_s] = 0 \\ &\Rightarrow (v_e) \cdot A_e = 7[(v_s) \cdot A_s] \Rightarrow Q_e = 7Q_s \\ Q_s = \frac{Q_e}{7} = \frac{0,04}{49} = \frac{1}{1225} &= 0,00082 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}} \end{aligned}$$

La velocidad del fluido en cada salida será:

$$v_s = Q_s / A_s = \frac{4Q_s}{\pi \cdot D_s^2} = \frac{4 \cdot \frac{1}{1225}}{\pi \cdot 0,005^2} = 41,575 \frac{\text{dm}}{\text{s}} = 4,158 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Si el radio del aspersor es de 5 mm , la velocidad angular que tendrá al girar el aspersor (suponiendo fricción despreciable):

$$\omega = \frac{v \cdot \cos(30^\circ)}{r} = \frac{4,158 \cdot \sqrt{3}/2}{0,005} = 720,187 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 6877,277 \text{ rpm}$$

Este valor parece muy alto para este tipo de pieza, y para la función que va a realizar.

Se va a suponer que el diámetro de salida del aspersor es el doble, de 1 mm :

$$v_s = \frac{4 \cdot 0,00082}{\pi \cdot 0,01^2} = 10,394 \frac{\text{dm}}{\text{s}} = 1,039 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Y la velocidad angular sería:

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{1,044 \cdot \sqrt{3}/2}{0,005} = 180,026 \frac{rad}{s} = 1719,119 \text{ rpm}$$

Se ve reducida considerablemente la velocidad de giro. Otra alternativa sería aumentar el número de agujeros de salida, lo que reduciría el caudal de salida (y por consiguiente la velocidad).

Un cálculo rápido añadiendo tres agujeros más, pero manteniendo el diámetro inicial de 0,5 mm:

$$Q_s = \frac{Q_e}{10} = \frac{1}{1750} = 0,000571 \frac{dm^3}{s}$$

$$v_s = \frac{4 \cdot \frac{1}{1750}}{\pi \cdot 0,005^2} = 29,102 \frac{dm}{s} = 2,91 \frac{m}{s}$$

$$\omega = \frac{v \cdot \cos(30^\circ)}{r} = \frac{2,91 \cdot \sqrt{3}/2}{0,005} = 504,072 \frac{rad}{s} = 4813,534 \text{ rpm}$$

Esta hipótesis muestra una reducción de la velocidad de salida, pero es mucho menor en comparación con el aumento del diámetro.

Como decisión final que se pasará a la realización de la pieza en CATIA, vamos a tener el aspersor con diez agujeros de salida, con un diámetro de 1,5 mm.

$$Q_s = \frac{Q_e}{10} = \frac{1}{1750} = 0,000571 \frac{dm^3}{s}$$

$$v_s = \frac{4 \cdot \frac{1}{1750}}{\pi \cdot 0,015^2} = 3,234 \frac{dm}{s} = 0,323 \frac{m}{s}$$

$$\omega = \frac{v \cdot \cos(30^\circ)}{r} = \frac{0,323 \cdot \sqrt{3}/2}{0,005} = 56,008 \frac{rad}{s} = 534,837 \text{ rpm}$$

Se obtiene un valor de giro del aspersor más razonable.

3. Conclusiones

Durante la realización de este trabajo, se ha visto como el sistema ha ido evolucionando: se ha pasado de unos bocetos a mano alzada a piezas realizadas con programas de diseño asistido por ordenador tomando elementos reales (las botellas de vidrio y los cajones de plástico) como base; con esas piezas se ha tenido que realizar continuas pruebas de ensayo y error para subsanar defectos y problemas espaciales (colisiones, inconsistencias); se han realizado cálculos técnicos, búsqueda de materiales y proveedores y ha habido más modificaciones; durante la fase de generación de los planos se han encontrado formas muy complejas o imposibles y se han hecho cambios para obtener resultados más adecuados.

Durante la parte del presupuesto, ha sido una tarea ardua navegar entre una enorme cantidad de proveedores buscando las piezas exactas para el proyecto y sus precios, punto que se ha visto muy obstaculizado, ya que muchas de esas empresas no te dejan ver sus precios a menos que te inscribas y realices un presupuesto con ellas.

En verdad, es que el diseño asistido por ordenador ha sido una parte muy importante en la realización de este proyecto, estando modificando piezas hasta el último momento, pues siempre hay algo que se pueda mejorar.

Con la realización (teórica) de esta máquina, se ha logrado cumplir el objetivo principal y precursor de este proyecto: ante un problema real, deducir e implementar una solución. Durante el desarrollo de los diferentes apartados, se han ido cumpliendo los objetivos secundarios.

Pero una cosa queda clara, sobre todo en los apartados de fabricación y presupuesto: este trabajo no es el final de la parte de diseño de esta máquina. Con esto ya no estaría lista para mandarla a fabricar a un taller. En el papel o la pantalla, lo que se ve es solo teoría, aunque esté basado en cálculos técnicos. En la realidad, los diferentes elementos podrán actuar de la forma que se espera, o de otra completamente distinta. Se podría pensar en una pieza de una forma y dimensiones concretas y después no encontrarla por ninguna parte, obligando a modificar el diseño para que encaje con los materiales que si se pueden conseguir.

Lo siguiente que habría que realizar es la fabricación de un prototipo, y observar, anotar y evaluar los siguientes puntos:

- Dificultades en la fabricación.
- Posibles soluciones que ofrezcan los operarios de los equipos.
- El montaje de los componentes.
- Como funciona todo el conjunto y que posibles fallos se observan que no se habían visto antes.
- Alternativas en uniones, formas de componentes o materiales que reduzcan tiempos de fabricación, peso, costes, materiales.

Con esto, se realizaría, si fuese necesario, un nuevo informe con los cambios necesarios, y un nuevo prototipo para analizar.

4. Bibliografía

1. CLUBCUVÉEMX. Club Cuvée. [En línea] *¿Por qué las botellas de vino son de vidrio?* , 08 may. 2023. [Consulta: 01 sep. 2024.] <https://clubcuvée.com.mx/por-que-las-botellas-de-vino-son-de-vidrio/#:~:text=%2DEs%20impermeable%20lo%20que%20impide,y%20sabor es%20ajenos%20al%20vino>
2. FEILDEN, E. The drinks business. [En línea] *Scientists launch wine bottle washing project in Finger Lakes, New York*, 10 abr. 2024. [Consulta: 01 sep. 2024.] <https://www.thedrinksbusiness.com/es/2024/04/scientists-launch-wine-bottle-washing-project-in-finger-lakes-new-york/>
3. IC Filling Systems. [En línea] *Reusable Glass Bottle Washing Machines*. [Consulta: 01 sep. 2024.] <https://www.icfillingsystems.com/bottle-washing-and-rinsing-machines/reusable-glass-bottle-washing-machines/>
4. AliExpress. [En línea] *Limpiador de botellas ELECQUEEN*. [Consulta: 01 sep. 2024.] https://es.aliexpress.com/item/1005005958645984.html?src=google&src=google&albch=shopping&acnt=439-079-4345&slnk=&plac=&mtctp=&albbt=Google_7_shopping&gclsrc=aw.ds&albag n=888888&isSmbAutoCall=false&needSmbHouyi=false&src=google&albch=shopping&acnt=439-07
5. Tecnovino. [En línea] *El sector vitivinícola de Castilla y León aporta el 5,5% de la producción española de vino* , ene. 2023. [Consulta: 01 sep. 2024.] <https://www.tecnovino.com/el-sector-vitivinicola-de-castilla-y-leon-aporta-el-55-de-la-produccion-espanola-de-vino/>
6. Todocontenedores. [En línea] *Cajón Ranurado Fondo Liso*. [Consulta: 01 sep. 2024.] <https://www.todocontenedores.com/producto/cajon-ranurado-fondo-liso-600x400x300-ref1819.html>

7. OLDENBURG, F. 15 Bodegas. [En línea] *¿Cuánto pesa una botella de vino?*, 04 ago. 2022. [Consulta: 01 sep. 2024.]
<https://www.15bodegas.com/blog/cuanto-pesa-una-botella-de-vino#:~:text=Actualmente%2C%20el%20peso%20promedio%20de,fermentaci%C3%B3n%20en%20el%20propio%20envase>

8. GRUMEBER S.L. [En línea] *Propiedades acero inoxidable AISI 304*, 29 abr. 2021. [Consulta: 01 sep. 2024.]
<https://grumeber.com/acero-inoxidable-aisi-304/>

9. ALU-STOCK. [En línea] *Propiedades Físicas de las Aleaciones*. [Consulta: 02 sep. 2024.]
<https://www.alu-stock.es/es/informacion-tecnica/aleaciones/>

10. Universidad de Barcelona. [En línea] *Propiedades Mecánicas del PE-HD*. [Consulta: 02 sep. 2024.]
<http://www.ub.edu/cmematerials/es/content/polietileno-de-alta-densidad>

11. Universidad de Barcelona. [En línea] *Propiedades Mecánicas de la Poliamida*. [Consulta: 02 sep. 2024.]
<http://www.ub.edu/cmematerials/es/content/poliamida>

12. BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO. [En línea] *Reglamento (UE) N° 10/2011 - sobre materiales y objetos plásticos a entrar en contacto con alimentos*, 14 ene. 2011. [Consulta: 02 sep. 2024.]
<https://www.boe.es/doue/2011/012/L00001-00089.pdf>

13. Pintura Alimentaria. [En línea] *FK-45 FoodGrade*. [Consulta: 02 sep. 2024.]
https://www.pinturaalimentaria.es/pintura-epoxi-alimentaria-contacto-alimentos-fk-45-foodgrade_producto_289.html

14. ALU-STOCK. [En línea] *Tubos Redondos de Aluminio*. [Consulta: 03 sep. 2024.]
<https://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/perfiles-normalizados/tubos-redondos/>

15. Grupo GAES. [En línea] *Casquillos de Fricción*. [Consulta: 03 sep. 2024.]
<https://grupogaes.com/tienda/varios/casquillos/casquillos-de-friccion/>

16. Cerrajería Industrial. [En línea] *Tabla Perfiles Metálicos Tubos Rectangulares*. [Consulta: 03 sep. 2024.]
<https://www.tablaperfilesmetalicos.com/tabla-perfiles-metalicos-tubos-rectangulares/>

17. Formlabs. [En línea] *¿Cómo se calcula el coste de moldeo por inyección?* [Consulta: 05 sep. 2024.]
<https://formlabs.com/es/blog/coste-moldeo-inyeccion/>

18. Tubefitting. [En línea] *Tubos de Aluminio 48x3mm*. [Consulta: 03 sep. 2024.]
<https://tubefittings.eu/es/tubos/262-aluminiowa-rura-o-480-mm-x-30-mm.html>

19. BricoMetal. [En línea] *Chapa Aluminio 5mm*. [Consulta: 03 sep. 2024.]
<https://bricometal.com/es/chapas-aluminio-natural/41-chapa-aluminio-natural-5-mm-espesor-a-medida.html>

20. CommentFER. [En línea] *Barra maciza Acero 10mm*. [Consulta: 03 sep. 2024.]
<https://www.commentfer.es/hierro-redondo-acero/833-barra-maciza-acero-laminado-diametro-10-mm-3701102717274.html>

21. BricoMetal. [En línea] *Chapa Acero 2mm*. [Consulta: 03 sep. 2024.]
<https://bricometal.com/es/chapas-acero-corten/52-chapa-acero-corten-de-2-mm-espesor-a-medida.html>

22. MASTIL-BOOM. [En línea] *Tubo Redondo Aluminio 65x1000mm*. [Consulta: 03 sep. 2024.]
<https://mastil-boom.es/es/diametro-65mm/1346-tubo-diametro-65x1000-aluminio.html>

23. MASTIL-BOOM. [En línea] *Placa de aluminio 200x200x10*. [Consulta: 03 sep. 2024.]

<https://mastil-boom.es/es/espesor-10mm/1904-placa-de-aluminio-250x250x6.html>

24. Ferrolan. [En línea] *Tubo hierro rectangular 20x10x1,5x3000mm*. [Consulta: 04 sep. 2024.]

<https://ferrolan.es/construccion/estructura/tubo-hierro-rectangular-20x10x15x3000-mm>

25. Pinta'm. [En línea] *Fakolith FK-45 Foodgrade*. [Consulta: 04 sep. 2024.]

https://tiendapintam.com/products/fakolith-fk-45-foodgrade-pintura-epoxi-alimentaria-ue-10-2011?_pos=16&_sid=6938eb41f&_ss=r&variant=43923039387877

26. MASTIL-BOOM. [En línea] *Placa de Aluminio 300x300x10*. [Consulta: 04 sep. 2024.]

<https://mastil-boom.es/es/espesor-10mm/505-placa-de-aluminio-300x300x10.html>

27. Botellas y tarros. [En línea] *Botella vino 'Liberty' 750ml*. [Consulta: 05 sep. 2024.]

<https://www.botellas-y-tarros.es/botella-de-vino-liberty-de-750-ml-boca-corcho-100035030>

28. OBRAMAT. [En línea] *Manguera Aquapress Cristal 14mmx25m*. [Consulta : 05 sep. 2024.]

<https://www.obramat.es/manguera-aquapress-cristal-o-14-mm-25-m-10160703.html>

29. Ministerio de Vivienda y Agencia Urbana. [En línea] *Documento Básico HS 4 - Suministro de agua*. 14 jun 2022. [Consulta: 16 jun. 2024.]

<https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HS/DBHS.pdf>

30. OBRAMAT. [En línea] *Válvula Esfera PN-25 1/2" H-H.*
[Consulta: 16 jun. 2024.]

<https://www.obramat.es/valvula-esfera-pn-25-palanca-nile-1-2-h-h-10924046.html>

31. CRESPO, A. *Mecánica de Fluidos, c26, Parte 5.* s.l. : Ed. Paraninfo, 2014.
ISBN: 978-84-9732-292-8

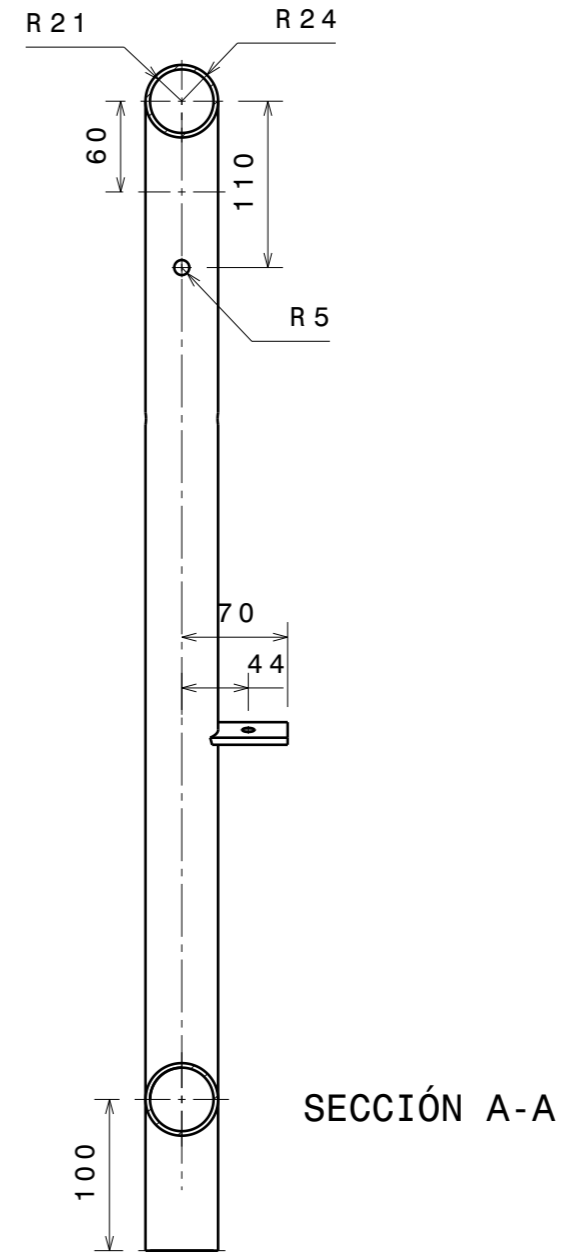
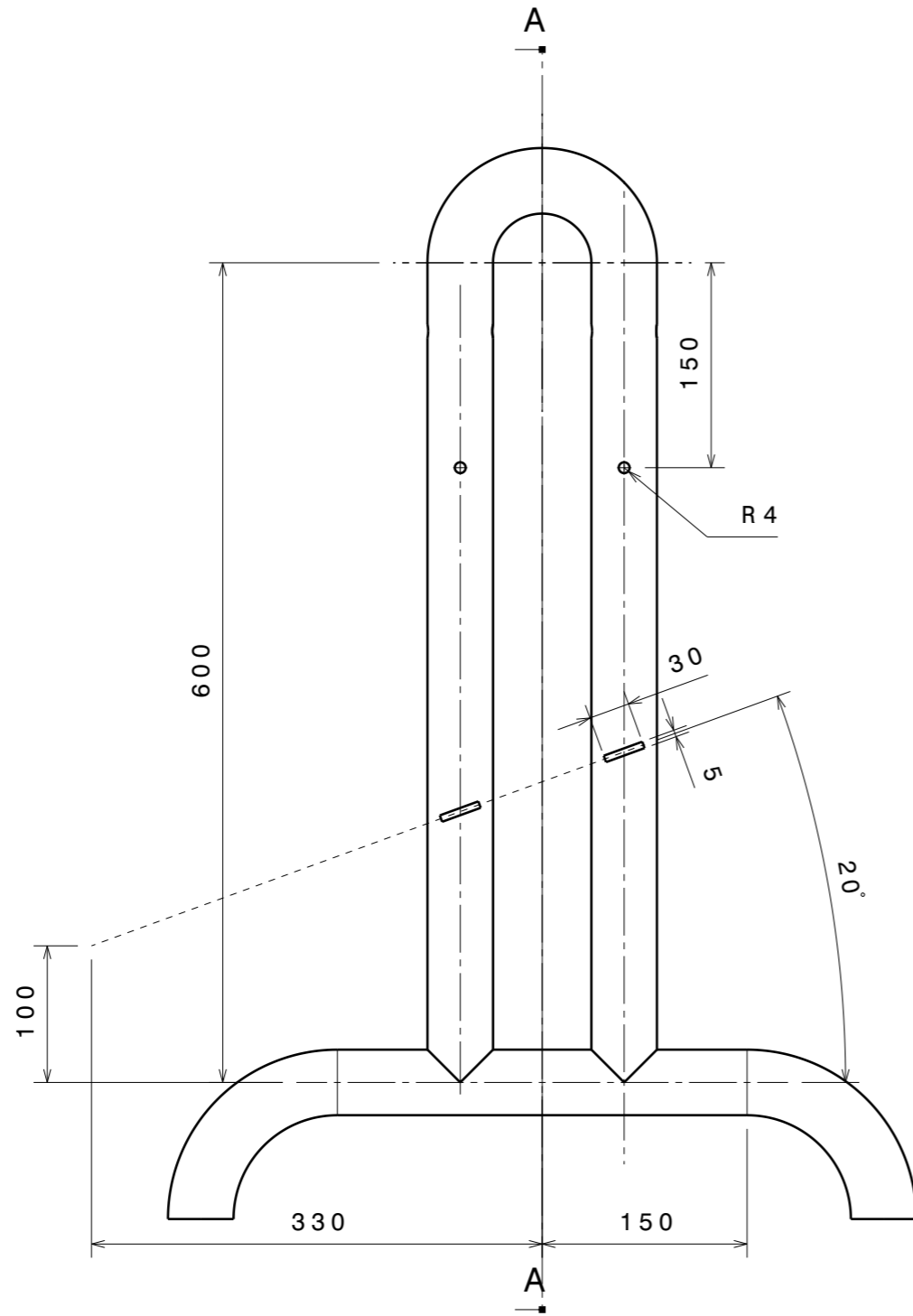
32. —. *Mecánica de Fluidos, c27, Parte 6.* s.l. : Paraninfo, 2014. ISBN: 978-84-9732-292-8

DE LA FUENTE MORENO, JAVIER

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
Escuela de Ingenierías Industriales
Grado de Ingeniería Mecánica

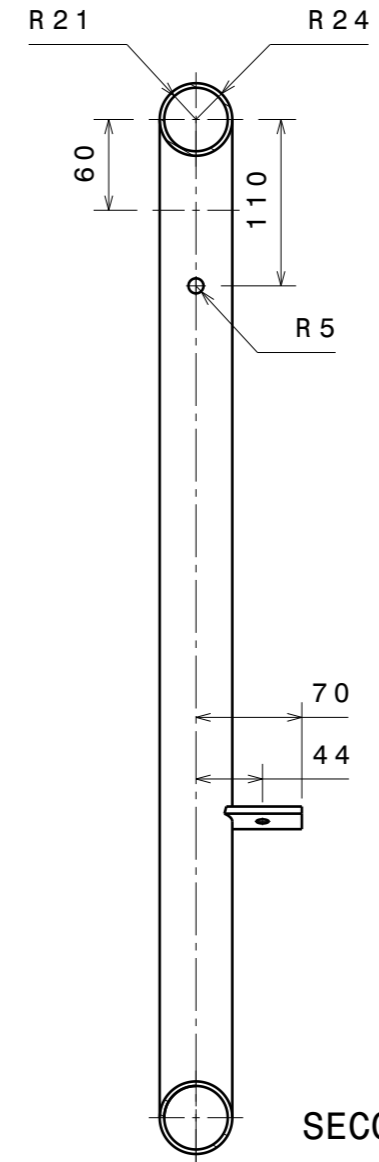
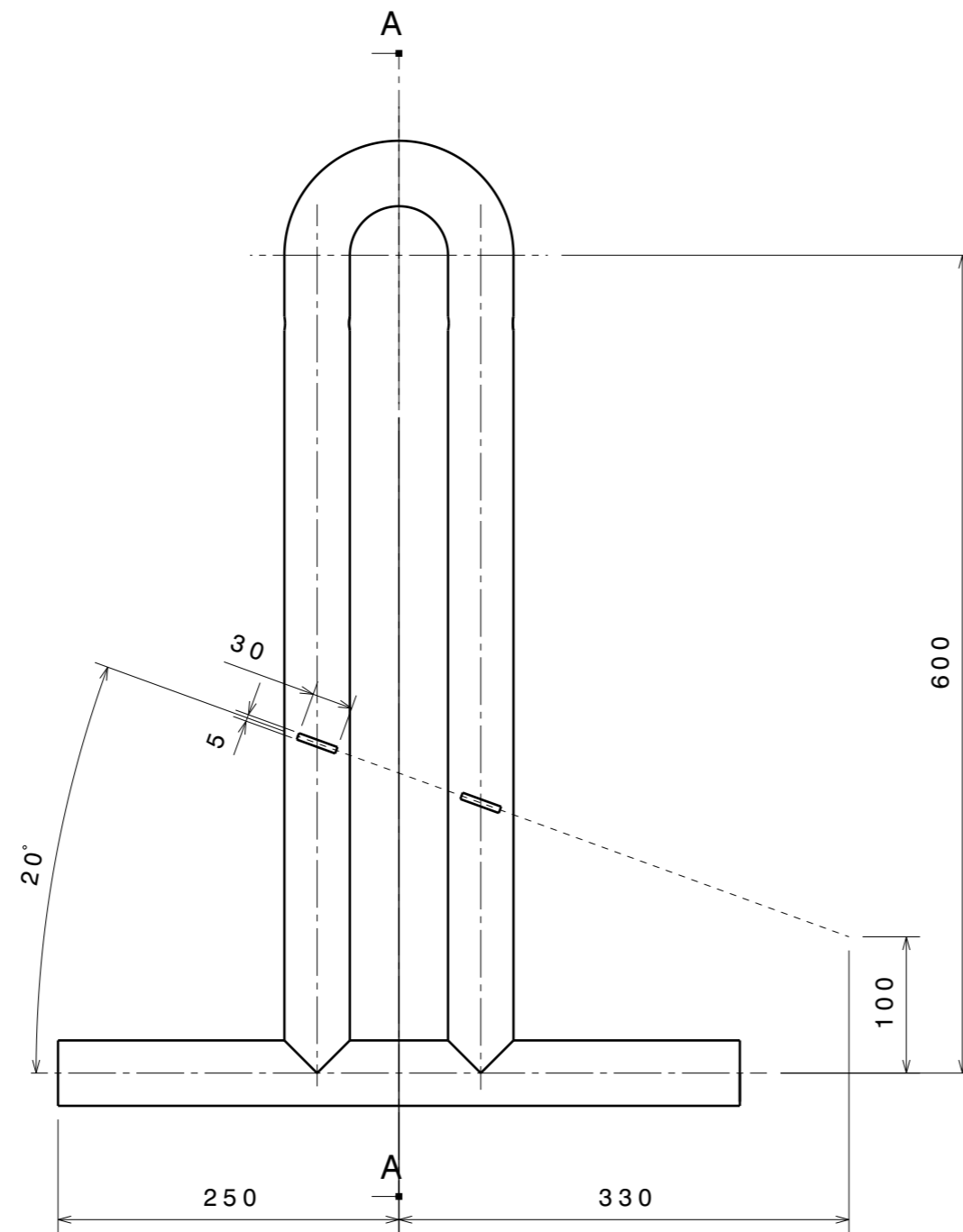
5. Anexos

En las siguientes páginas, se mostrarán los planos de los diferentes elementos del prototipo.



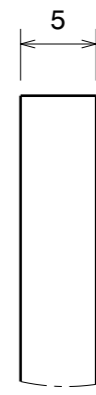
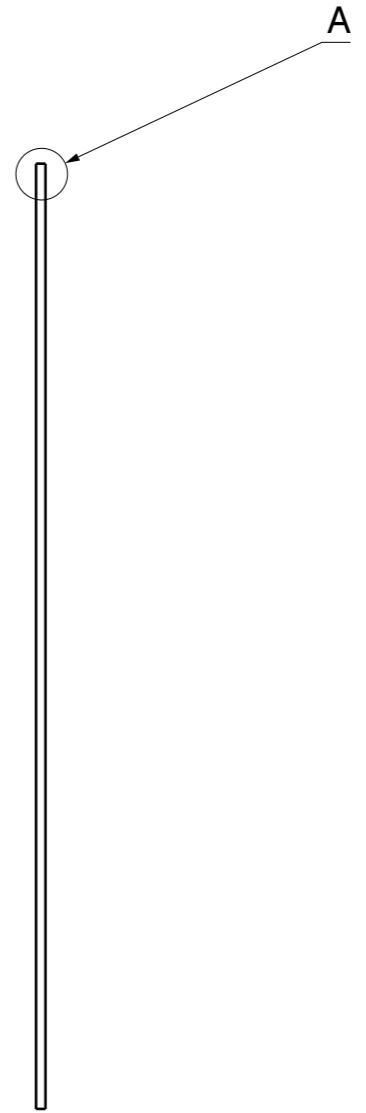
*AGUJEROS EN PLETINAS DIÁMETRO 8mm

DÍA	MES	AÑO	ESCALA:	NOMBRE:
02	06	2024	1:5	JAVIER DE LA FUENTE MORENO
NOMBRE PIEZA:				
ESTRUCTURA DE PATAS				EII VALLADOLID

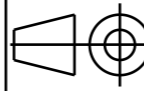


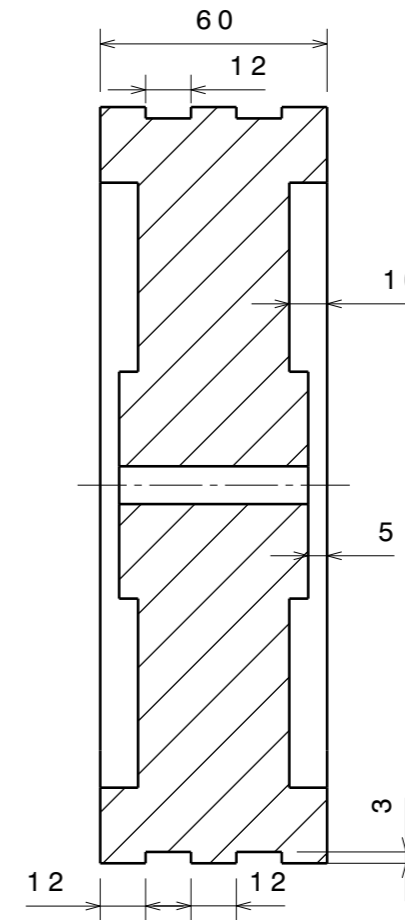
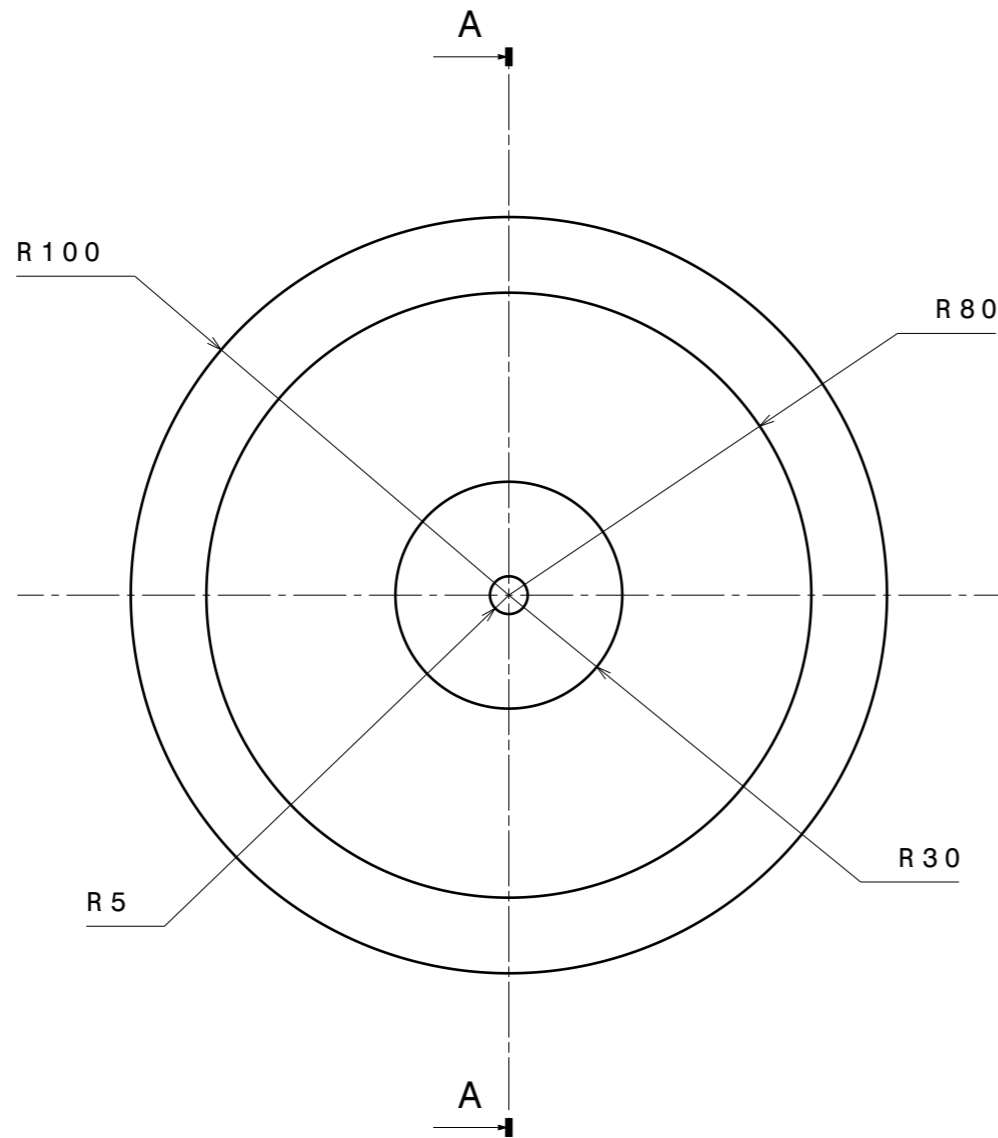
*AGUJEROS EN PLETINAS DIÁMETRO 8mm

DÍA	MES	AÑO	ESCALA:	NOMBRE:
02	06	2024	1:5	JAVIER DE LA FUENTE MORENO
NOMBRE PIEZA:				
ESTRUCTURA DE RUEDAS				EII VALLADOLID



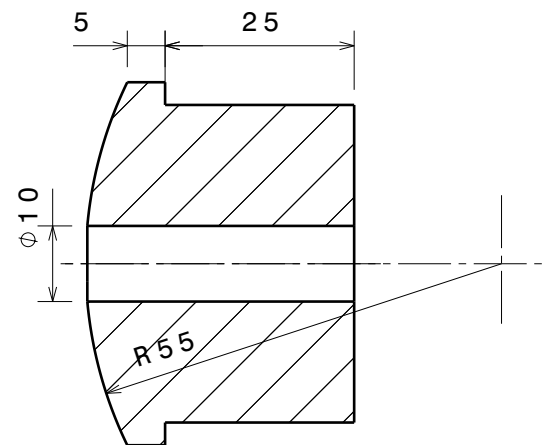
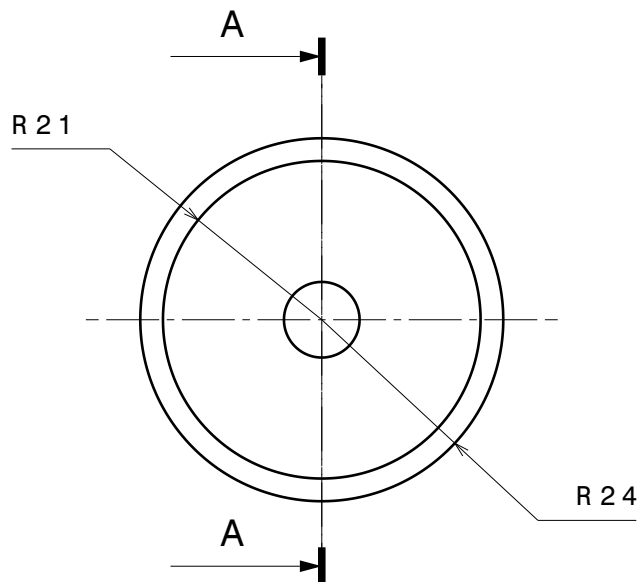
DETALLE A
ESCALA 2:1

DÍA	MES	AÑO	ESCALA:	NOMBRE:
04	06	2024	1:4	JAVIER DE LA FUENTE MORENO
NOMBRE PIEZA:				
			VERTEDERA	EII VALLADOLID



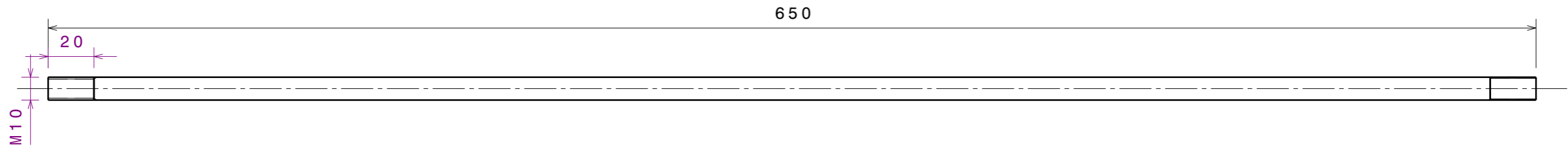
SECCIÓN A-A

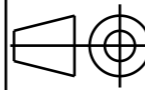
DÍA	MES	AÑO	ESCALA:	NOMBRE:
03	06	2024	1:2	JAVIER DE LA FUENTE MORENO
		NOMBRE PIEZA:		
		RUEDA		EII VALLADOLID

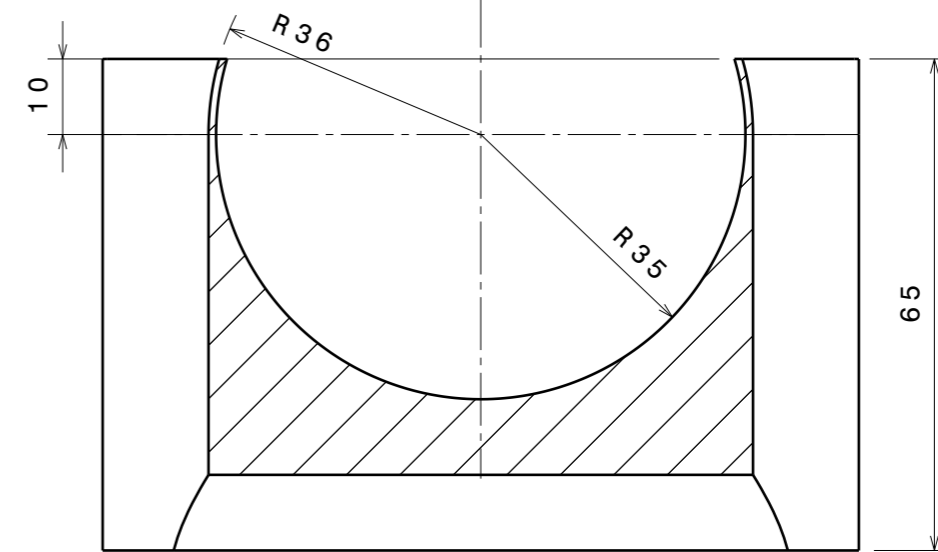
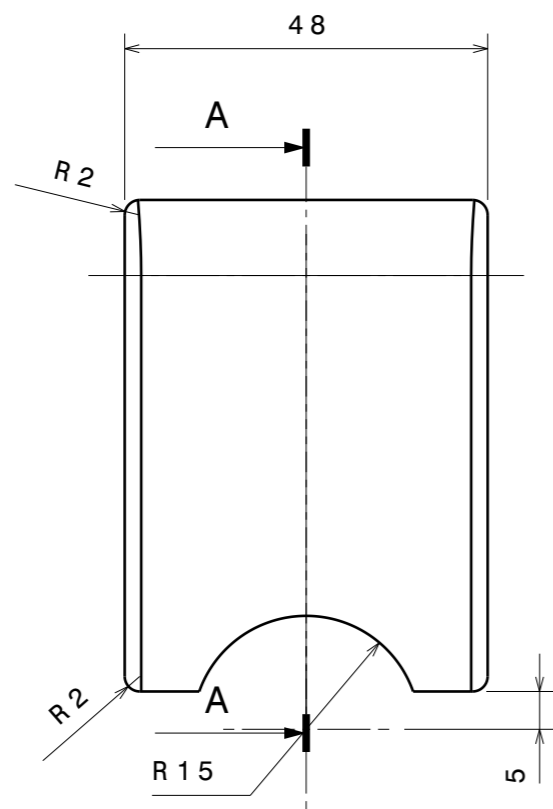


SECCIÓN A-A

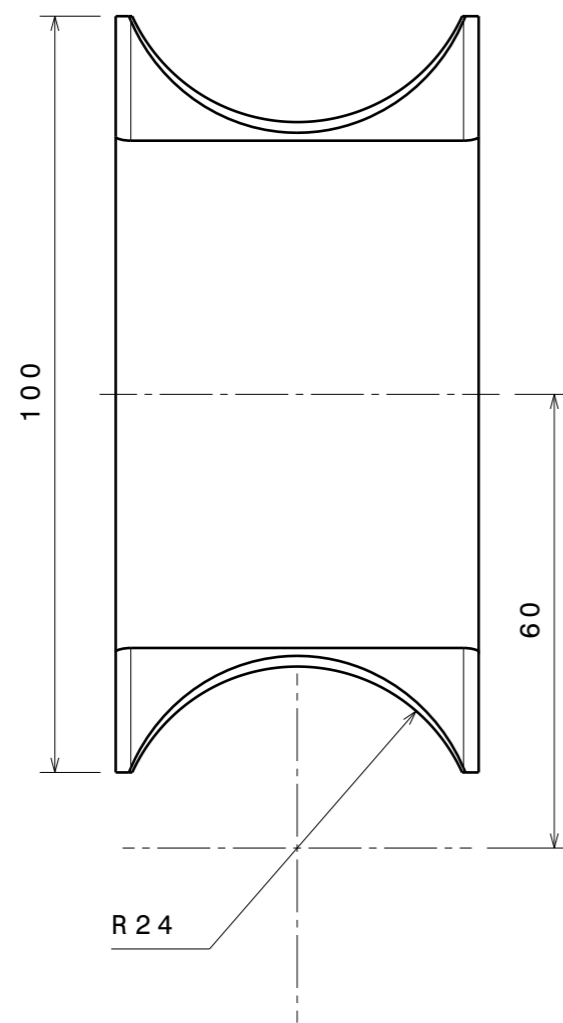
DÍA	MES	AÑO	ESCALA	NOMBRE AUTOR:
03	06	2024	1:1	JAVIER DE LA FUENTE MORENO
	NOMBRE PIEZA:			
	TAPÓN DEL EJE DE RUEDAS		EII VALLADOLID	

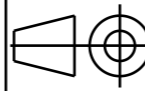


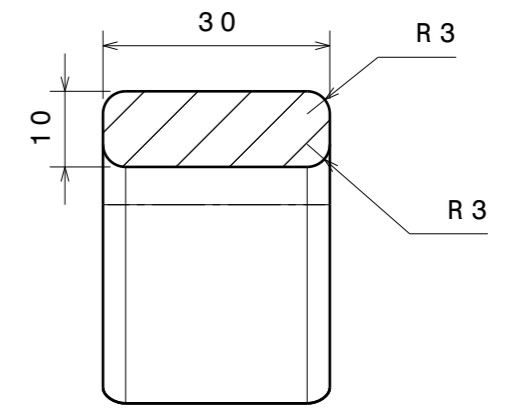
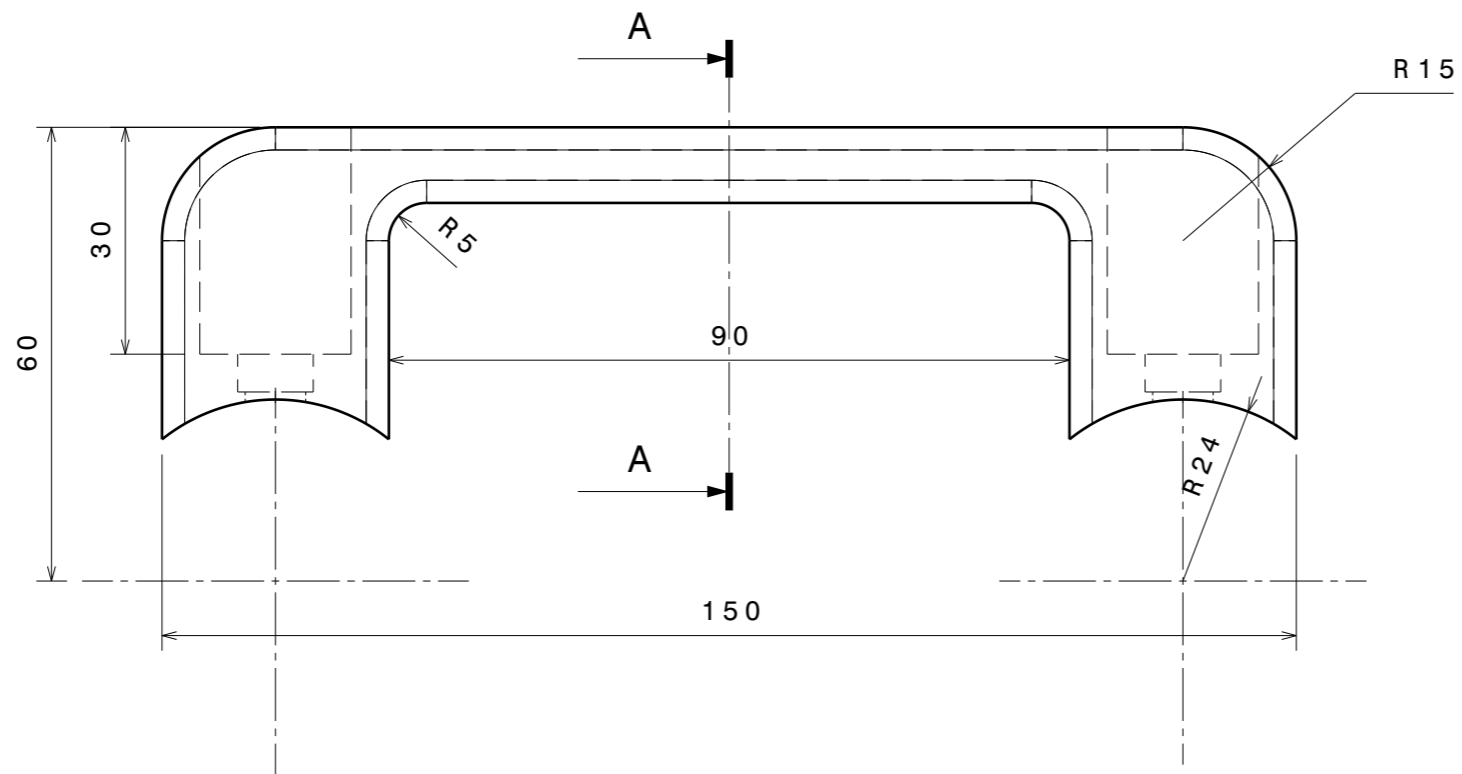
DÍA	MES	AÑO	ESCALA:	NOMBRE:
05	06	2024	1:2	JAVIER DE LA FUENTE MORENO
		NOMBRE PIEZA:		
		EJE DE LAS RUEDAS		EII VALLADOLID



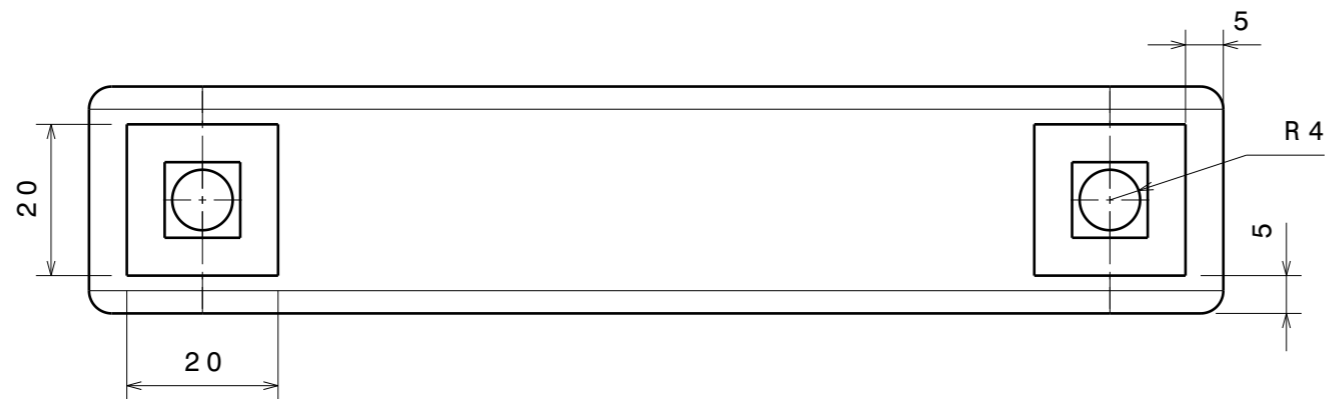
SECCIÓN A-A

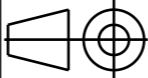


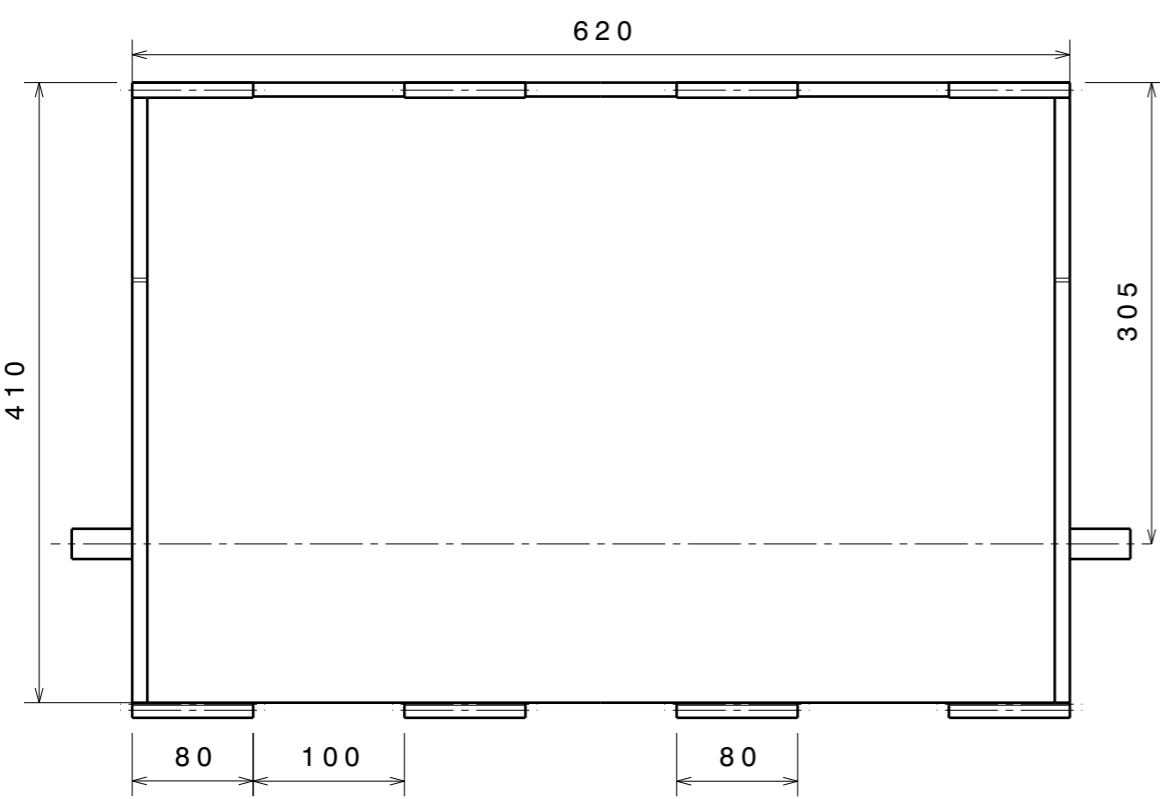
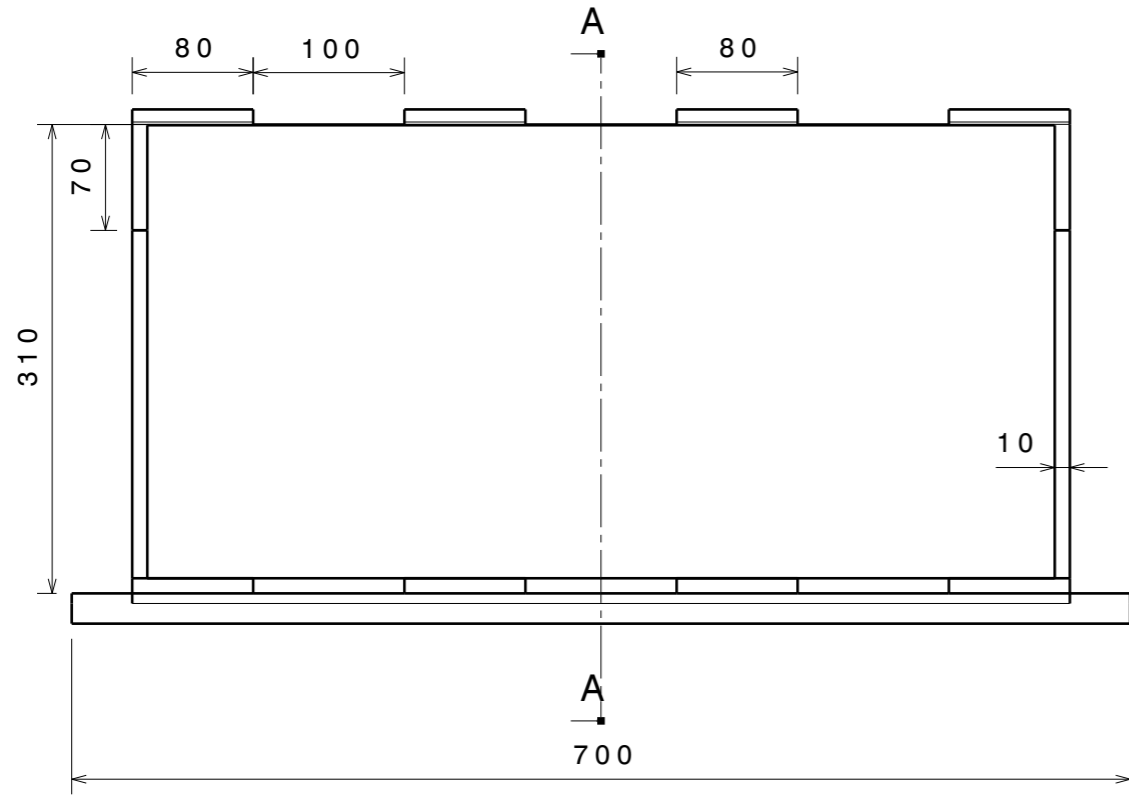
DÍA	MES	AÑO	ESCALA:	NOMBRE:
10	06	2024	1:1	JAVIER DE LA FUENTE MORENO
NOMBRE PIEZA:				
			TACOS DEL EJE	EII VALLADOLID



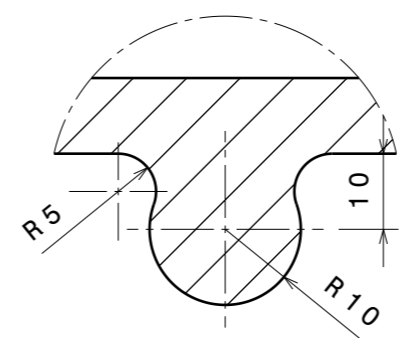
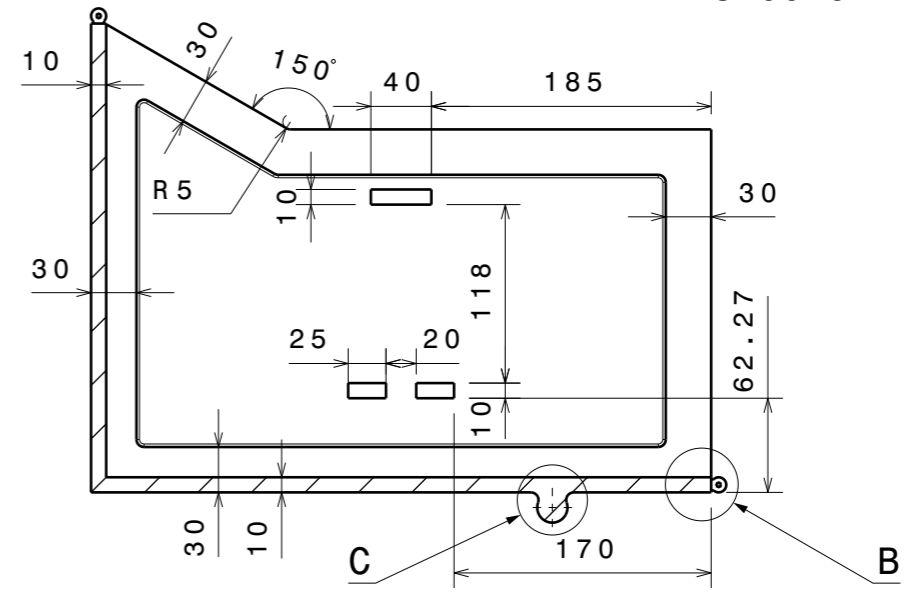
SECCIÓN A-A



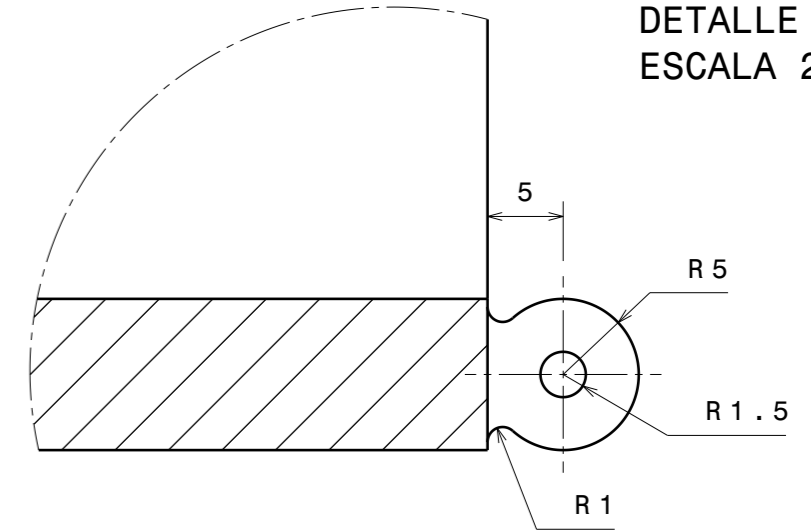
DÍA	MES	AÑO	ESCALA:	NOMBRE:
05	06	2024	1:1	JAVIER DE LA FUENTE MORENO
NOMBRE PIEZA:				
			ASIDERO	EII VALLADOLID



SECCIÓN A-A



DETALLE C
ESCALA 1:1

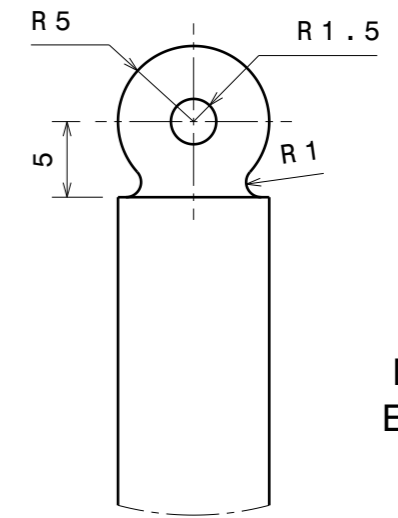
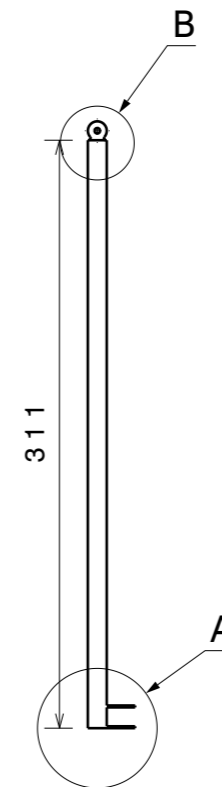
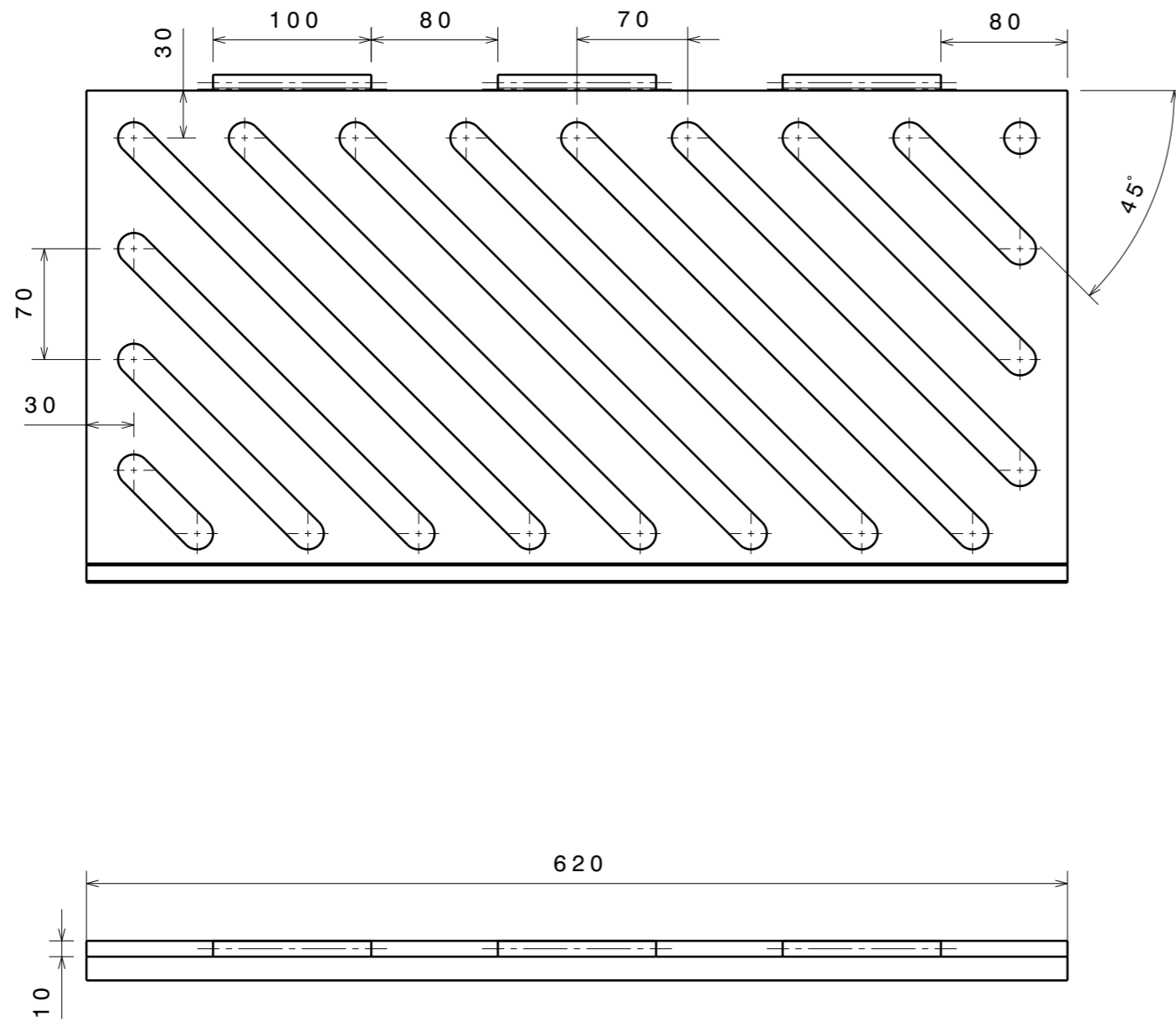


DETALLE B
ESCALA 2:1

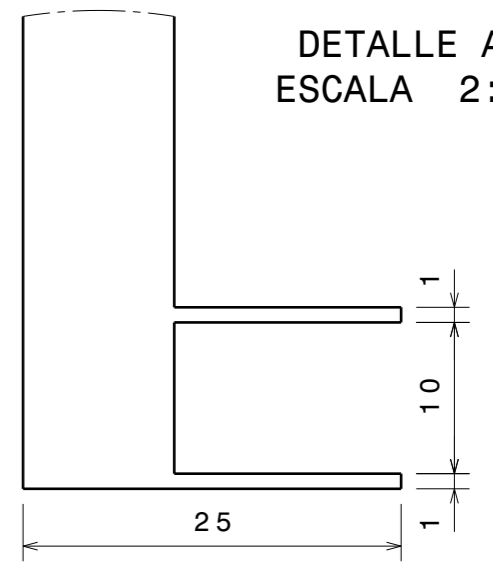
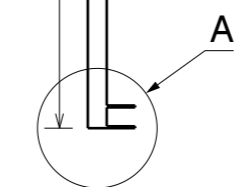
*HUECO LATERAL: PROFUNDIDAD 2mm POR AMBAS CARAS, REDONDEO ARISTAS 5mm, CHAFLÁN INTERNO 5mm.

DÍA	MES	AÑO	ESCALA:	NOMBRE:
07	06	2024	1:5	JAVIER DE LA FUENTE MORENO

	NOMBRE PIEZA:	EII VALLADOLID
	CAJÓN DE LIMPIEZA	

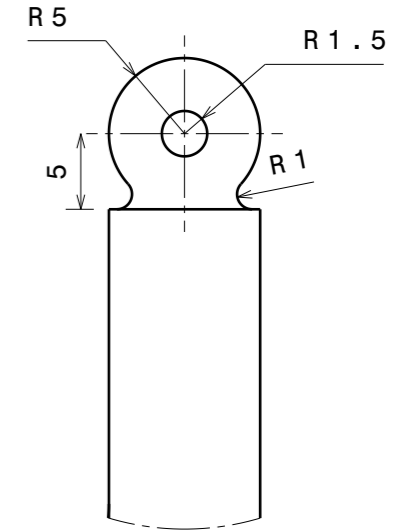
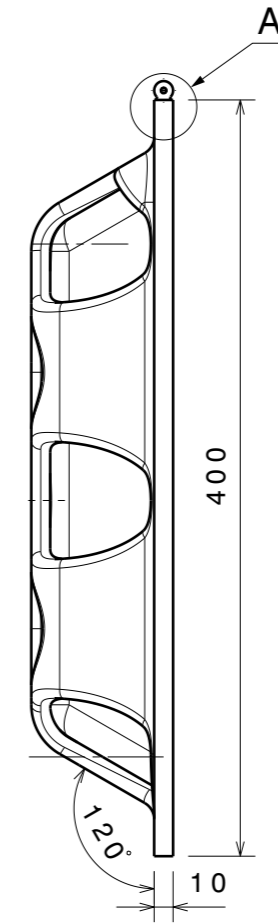
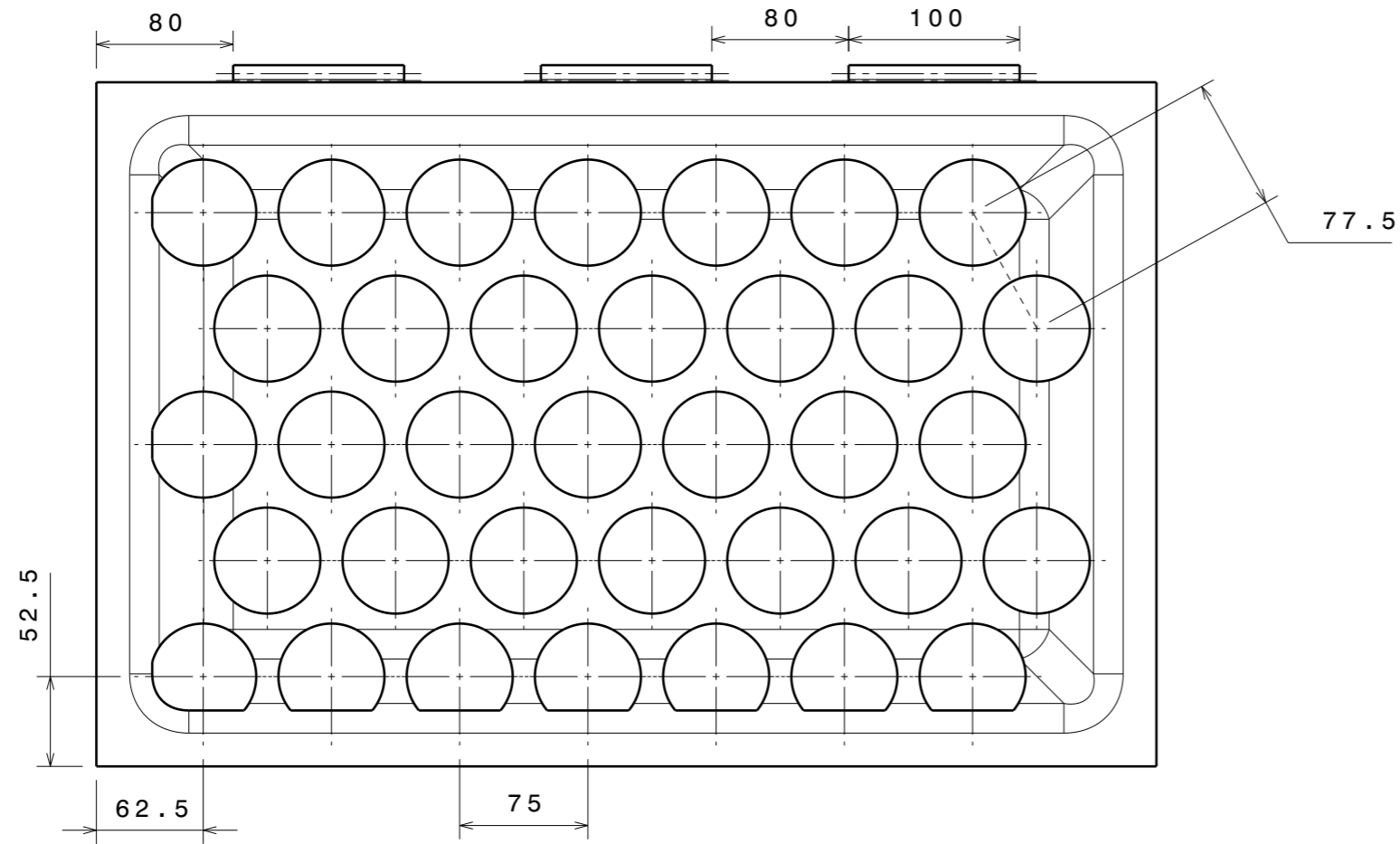


DETALLE B
ESCALA 2:1

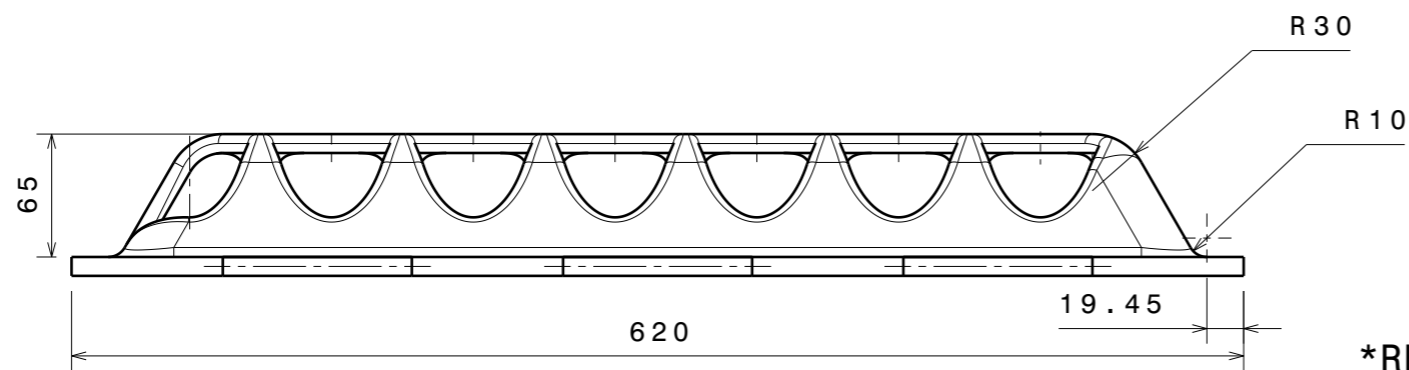


DETALLE A
ESCALA 2:1

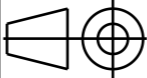
DÍA	MES	AÑO	ESCALA:	NOMBRE:
07	06	2024	1:4	JAVIER DE LA FUENTE MORENO
		NOMBRE PIEZA:		
		TAPA LATERAL		EII VALLADOLID

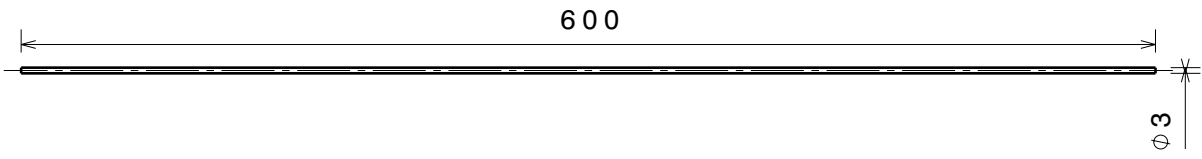


DETALLE A
ESCALA: 2:1

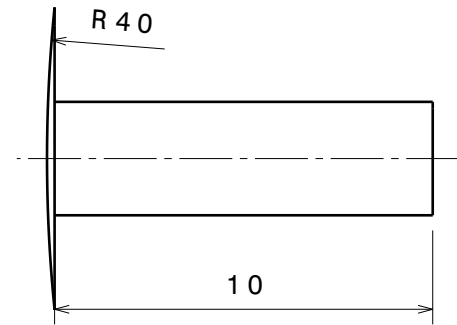
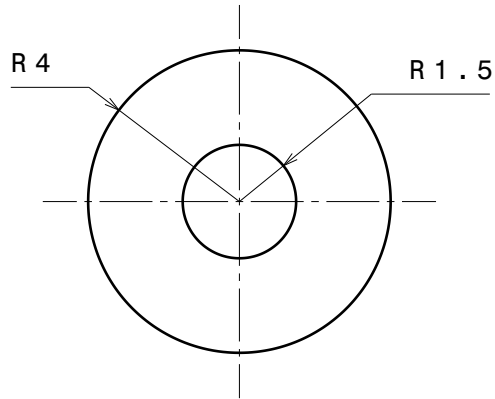


*REDONDEO BORDE INFERIOR AGUJEROS 5mm

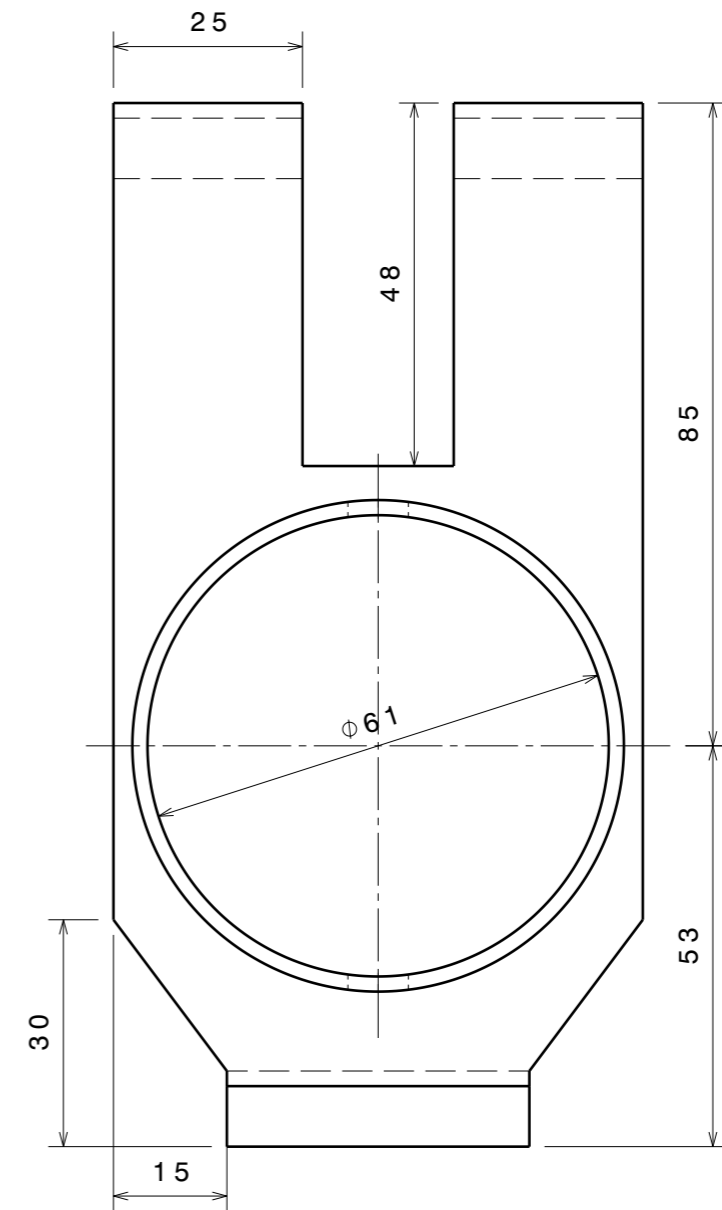
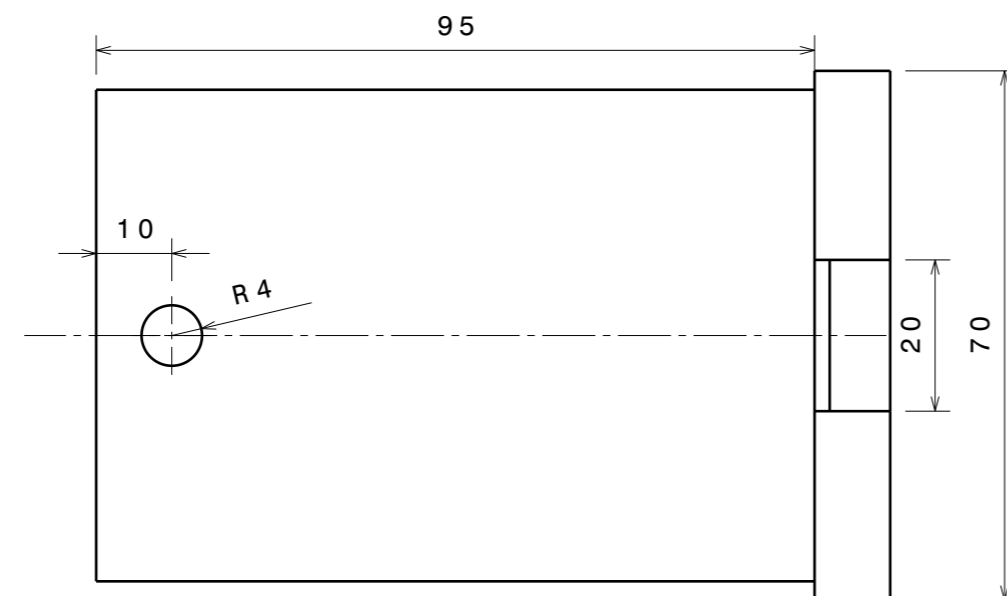
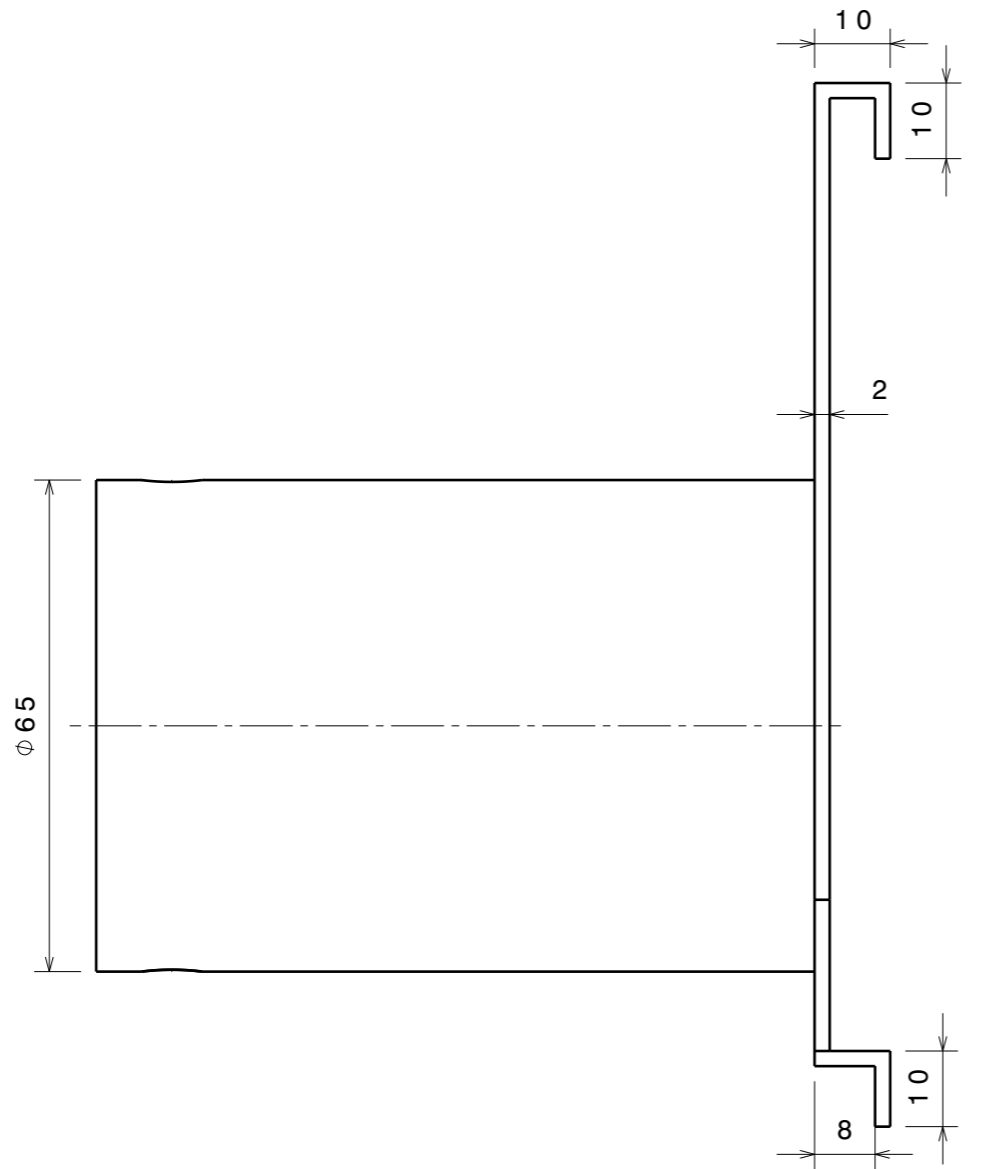
DÍA	MES	AÑO	ESCALA:	NOMBRE:
07	06	2024	1:4	JAVIER DE LA FUENTE MORENO
NOMBRE PIEZA:				
				
TAPA SUPERIOR				EII VALLADOLID



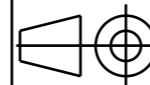
DÍA	MES	AÑO	ESCALA	NOMBRE AUTOR:
05	06	2024	1:4	JAVIER DE LA FUENTE MORENO
	NOMBRE PIEZA:			
	EJE DE BISAGRAS		EII VALLADOLID	

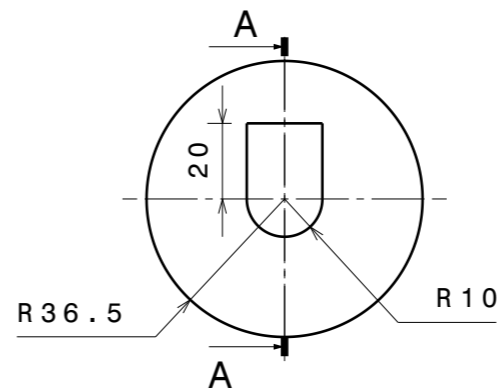
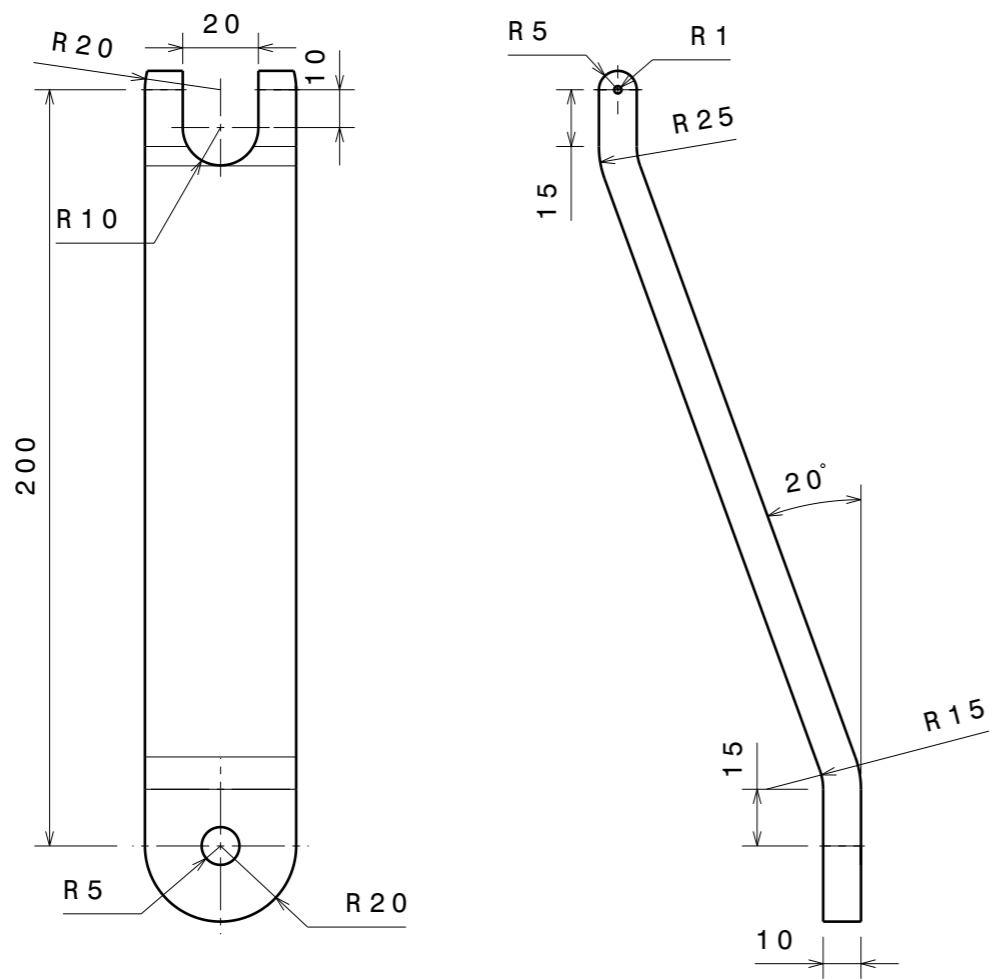


DÍA	MES	AÑO	ESCALA	NOMBRE AUTOR:
04	06	2024	5:1	JAVIER DE LA FUENTE MORENO
		NOMBRE PIEZA:		
		TAPÓN DE CAJÓN		EII VALLADOLID

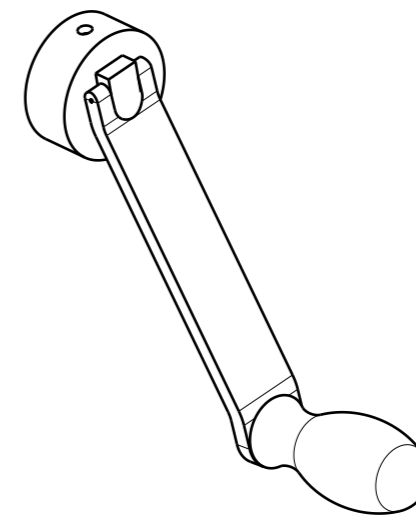
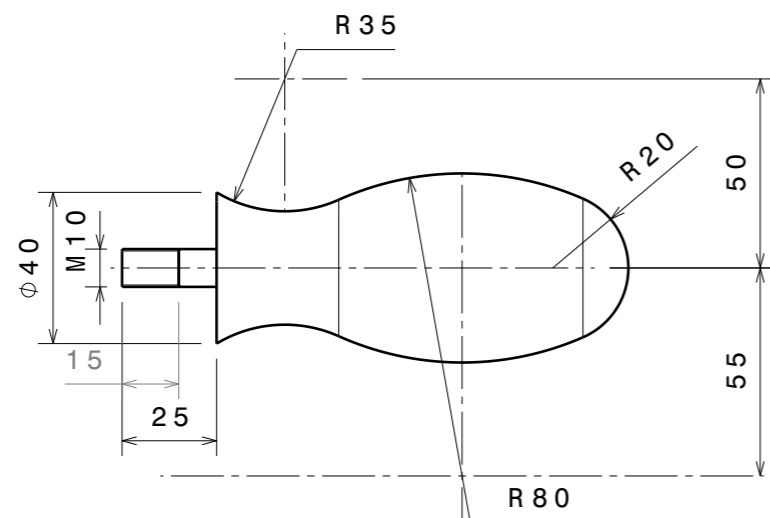
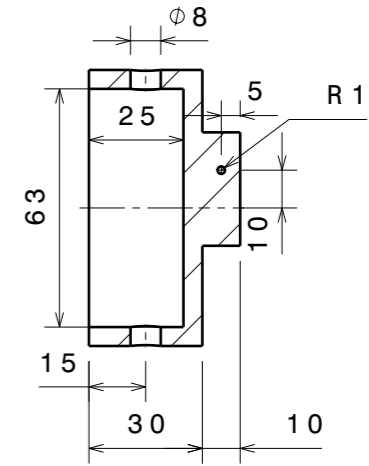


DÍA	MES	AÑO	ESCALA:	NOMBRE:
08	06	2024	1:1	JAVIER DE LA FUENTE MORENO
NOMBRE PIEZA:				
EJE DEL CAJÓN				EII VALLADOLID



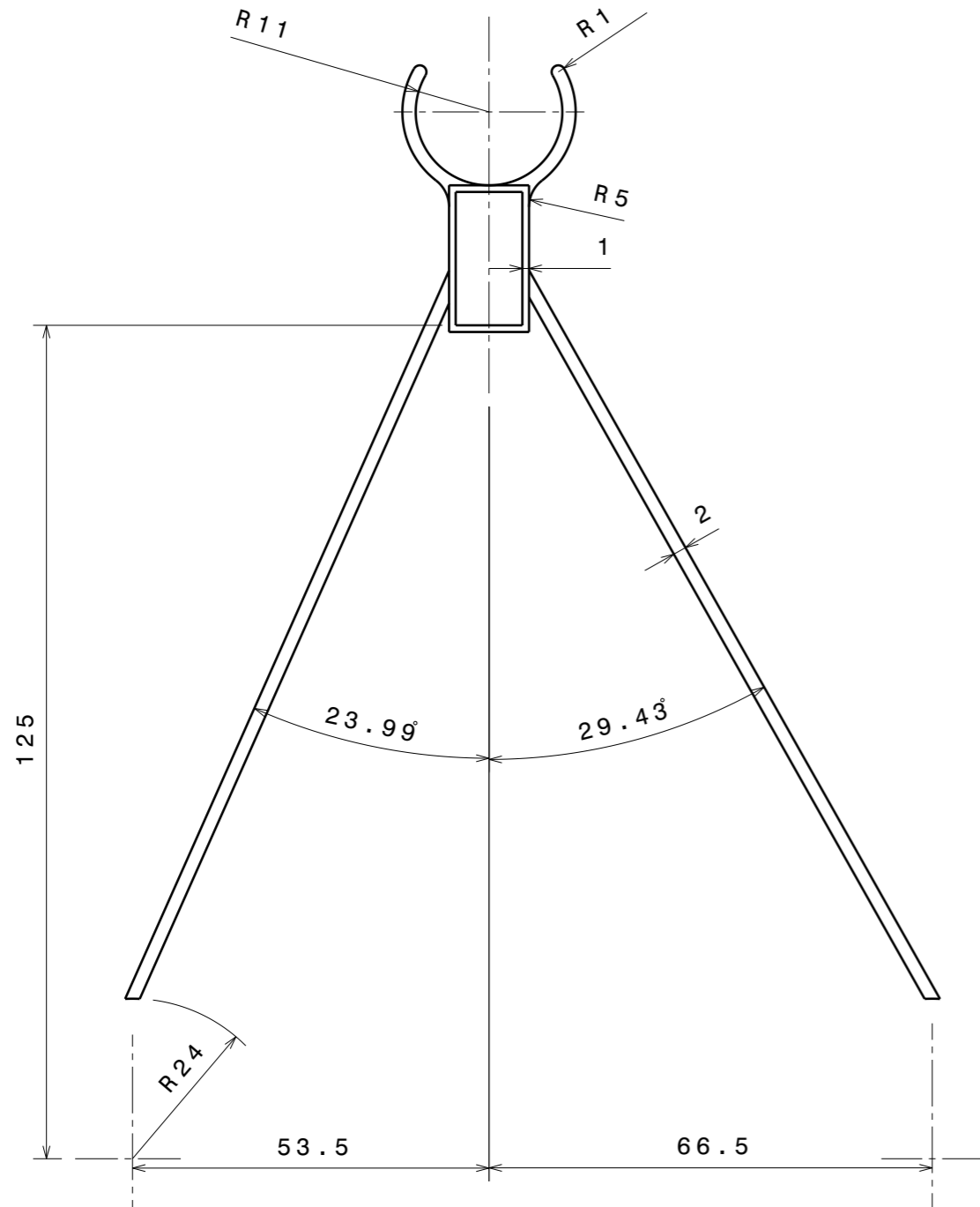
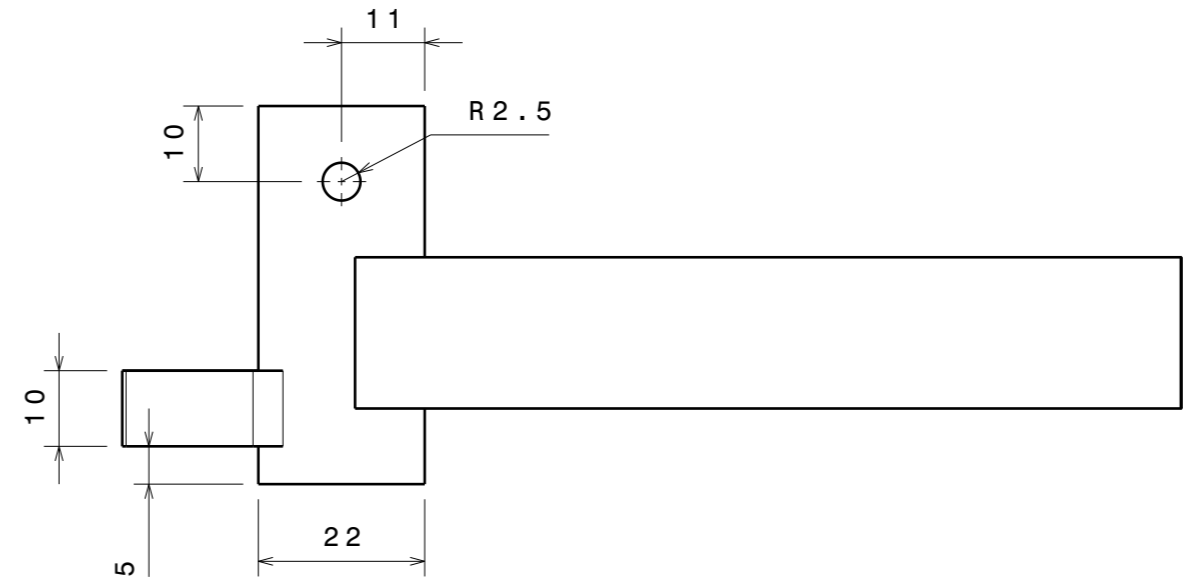
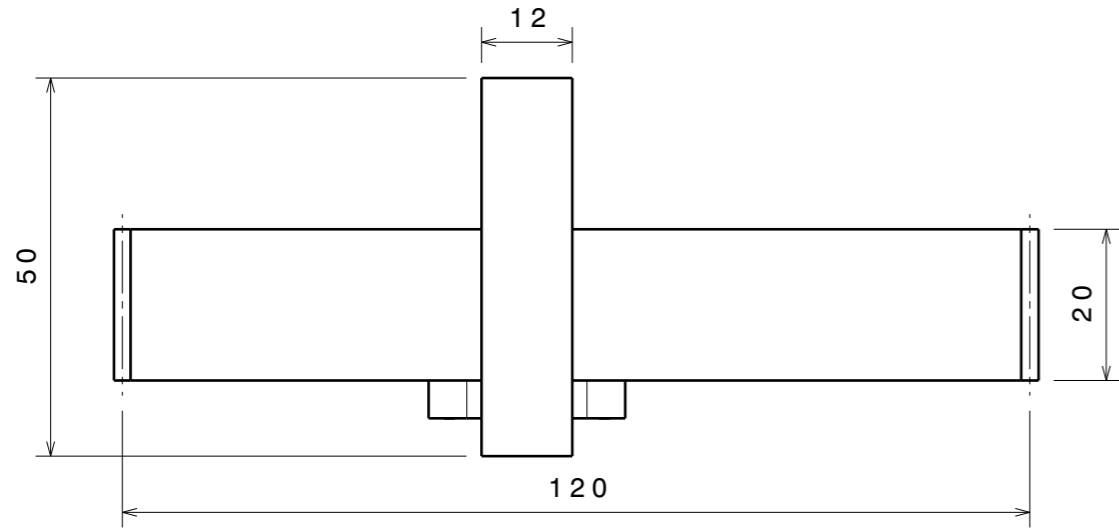


SECCIÓN A-A

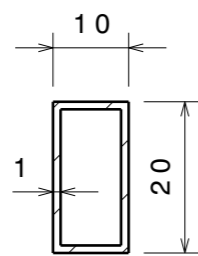
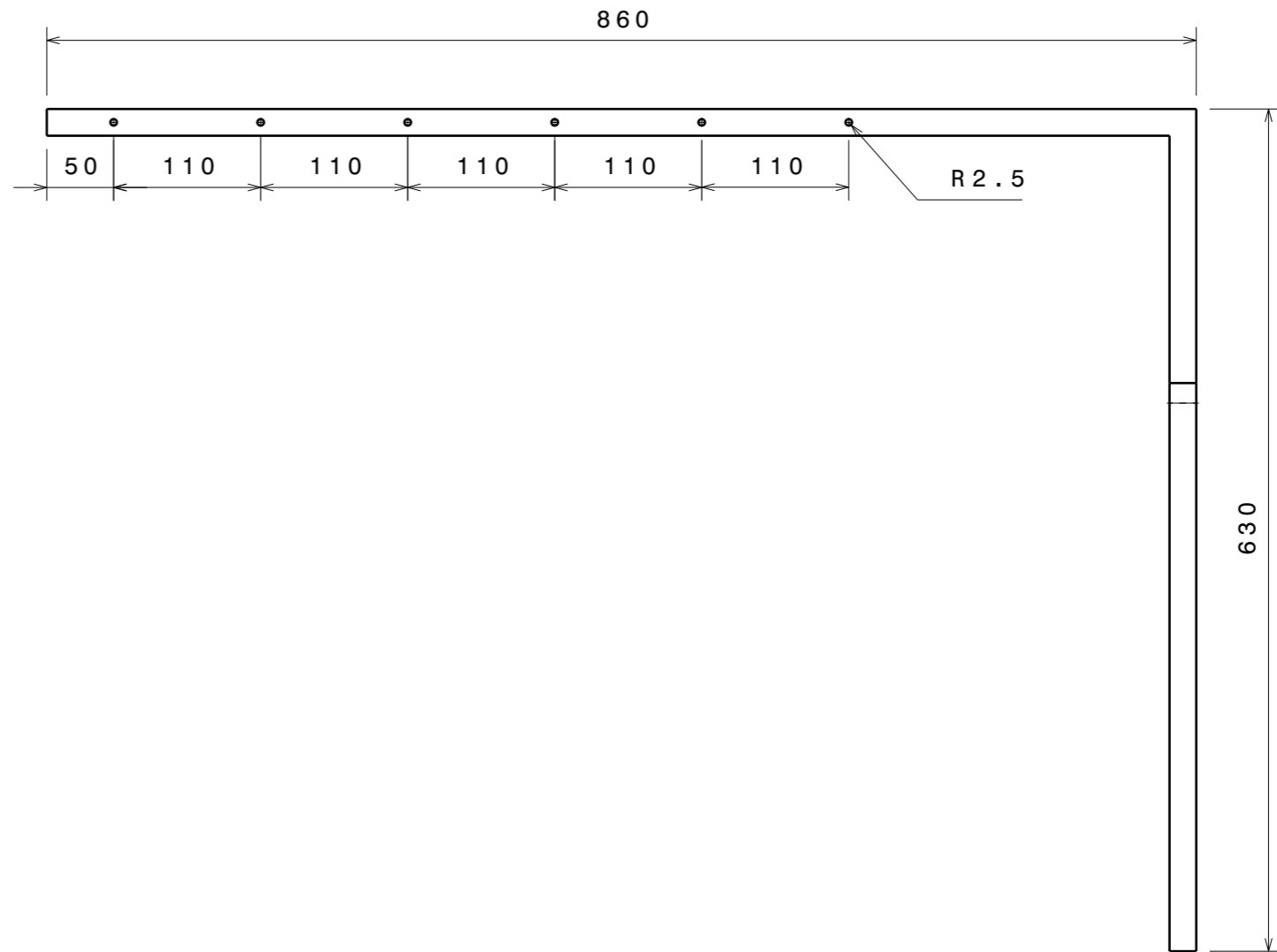
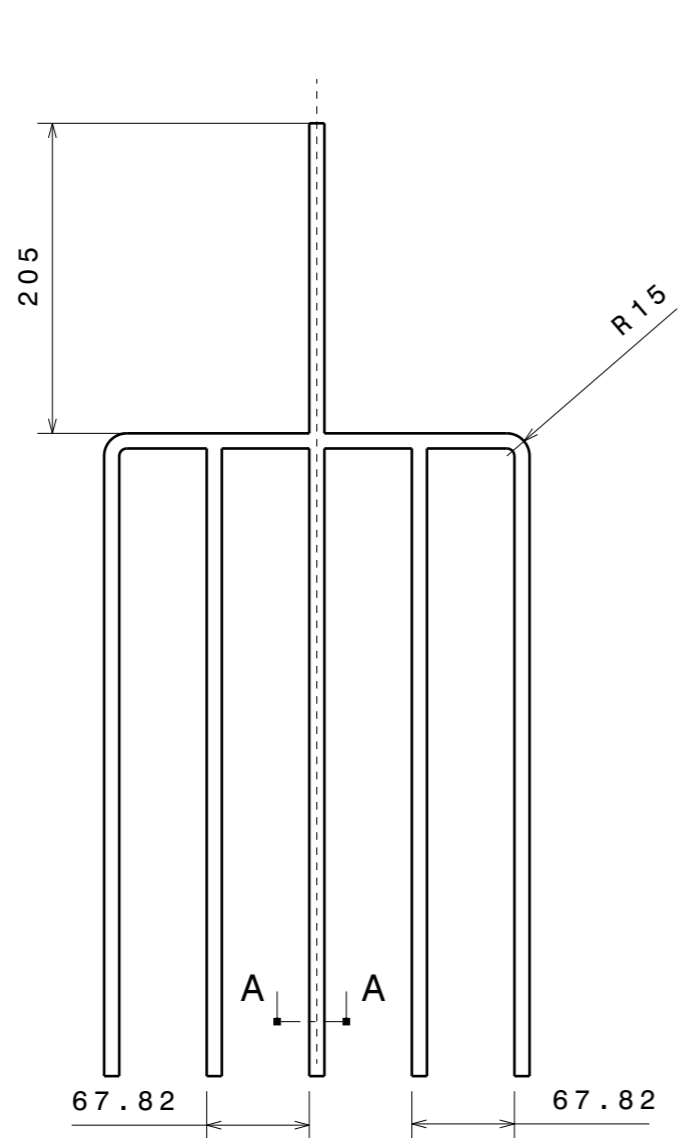


VISTA ISOMÉTRICA

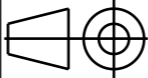
DÍA	MES	AÑO	ESCALA:	NOMBRE:
11	06	2024	1:2	JAVIER DE LA FUENTE MORENO
NOMBRE PIEZA:				
PIEZAS CONJUNTO MANIVELA				EII VALLADOLID

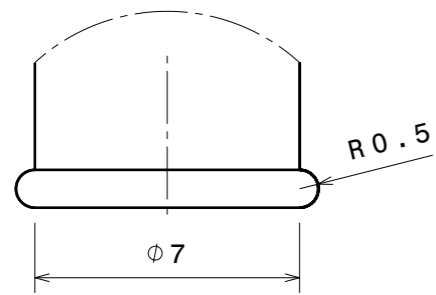
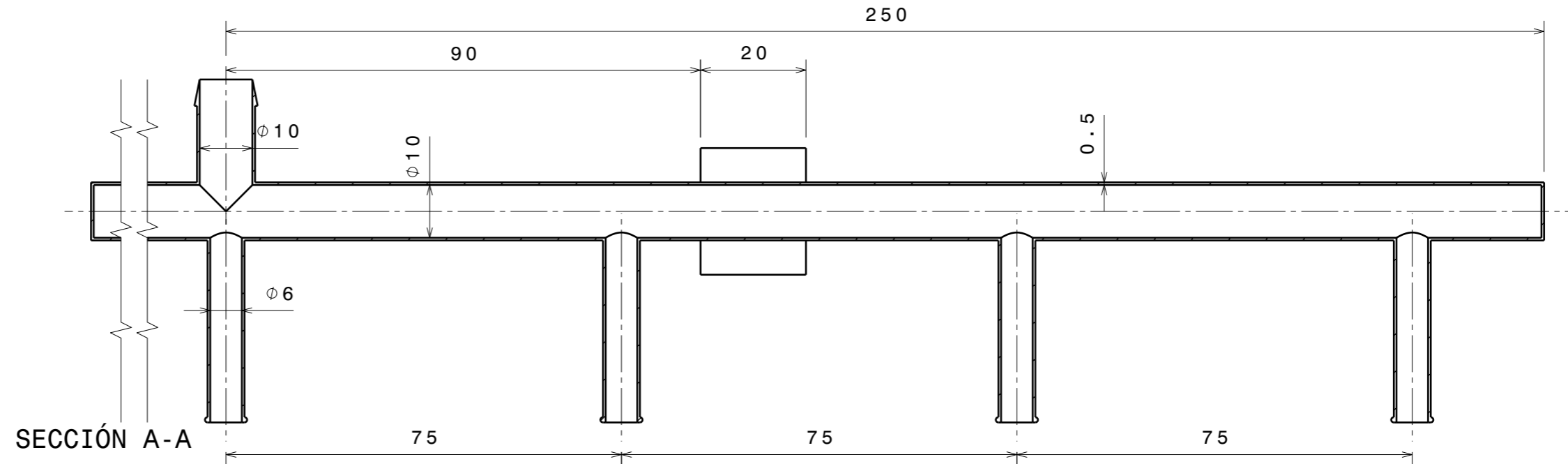
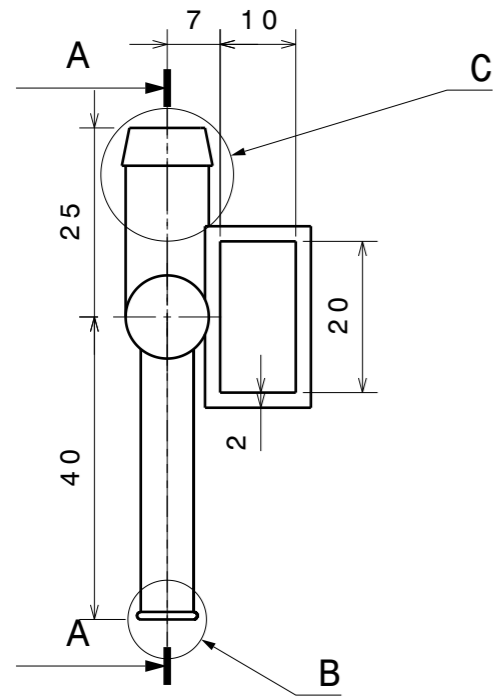


DÍA	MES	AÑO	ESCALA:	NOMBRE:
12	06	2024	1:1	JAVIER DE LA FUENTE MORENO
NOMBRE PIEZA:				
			APOYO IRRIGADOR	EII VALLADOLID

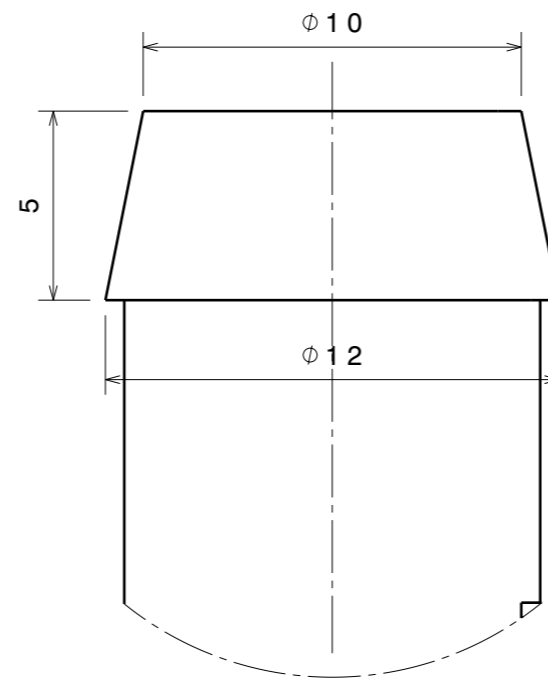


SECCIÓN A-A
ESCALA 1:1

DÍA	MES	AÑO	ESCALA:	NOMBRE:
12	06	2024	1:5	JAVIER DE LA FUENTE MORENO
NOMBRE PIEZA:				
			ESTRUCTURA DEL IRRIGADOR	EII VALLADOLID

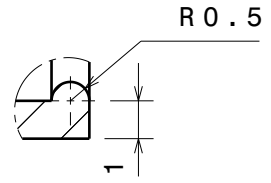
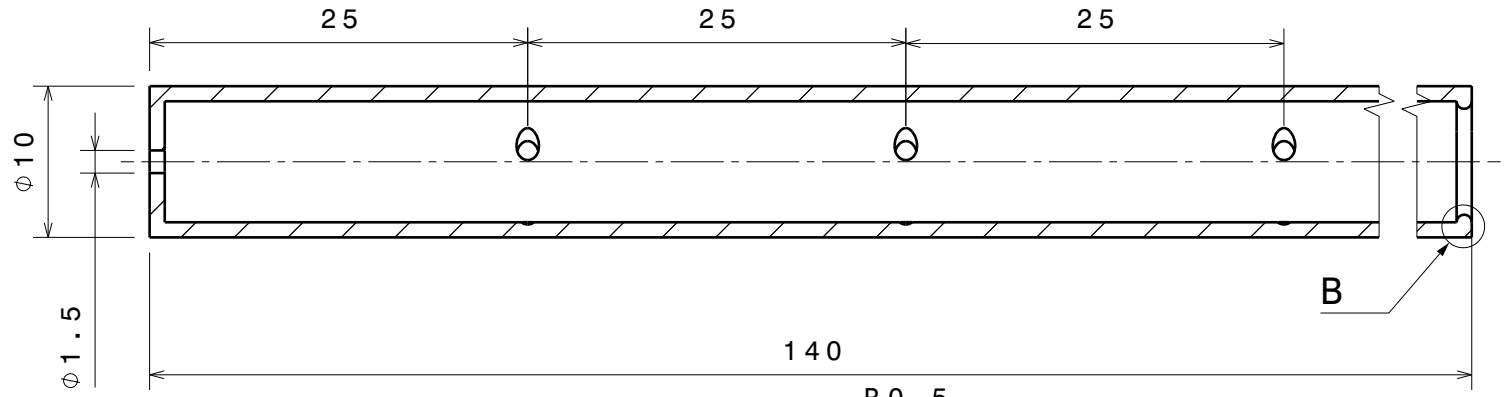
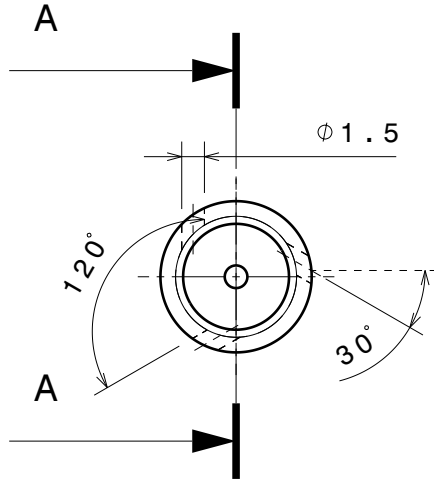


DETALLE B
ESCALA 5:1

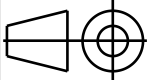


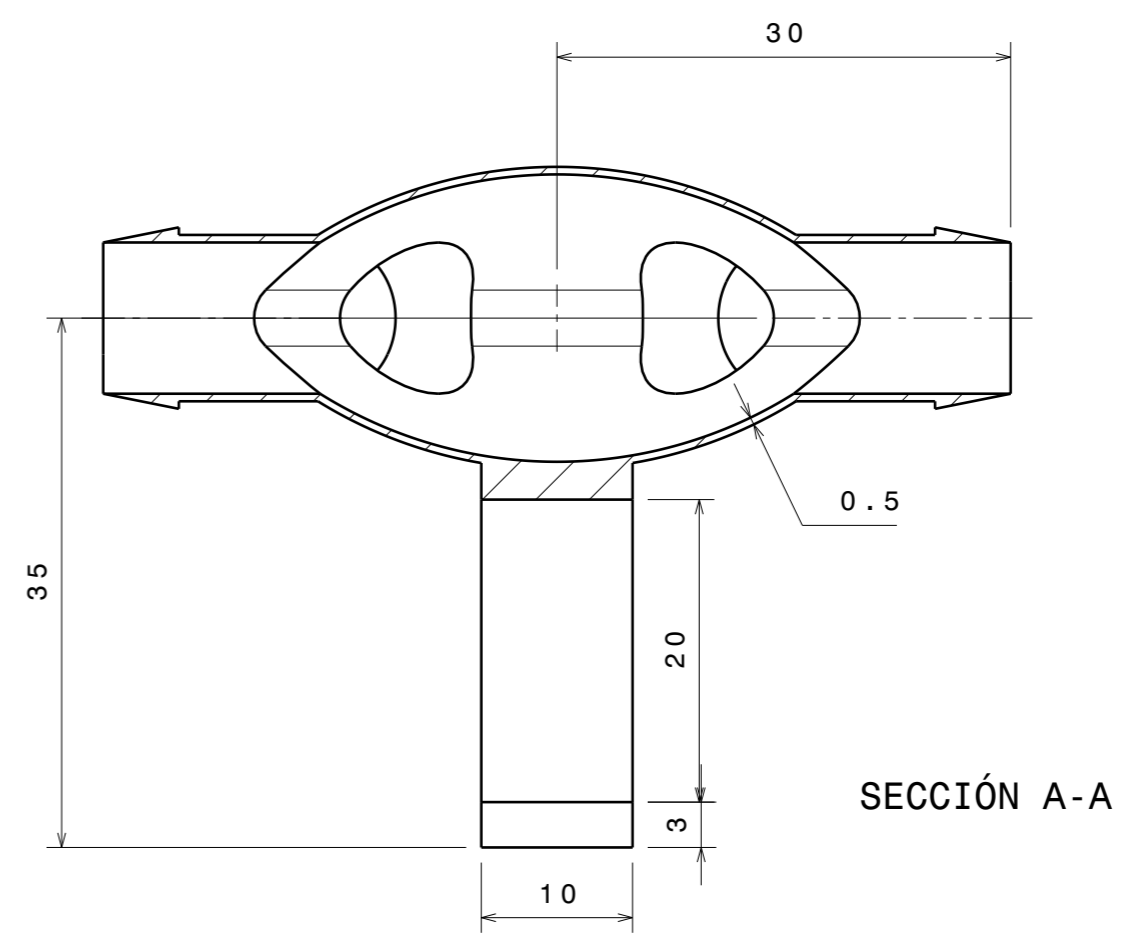
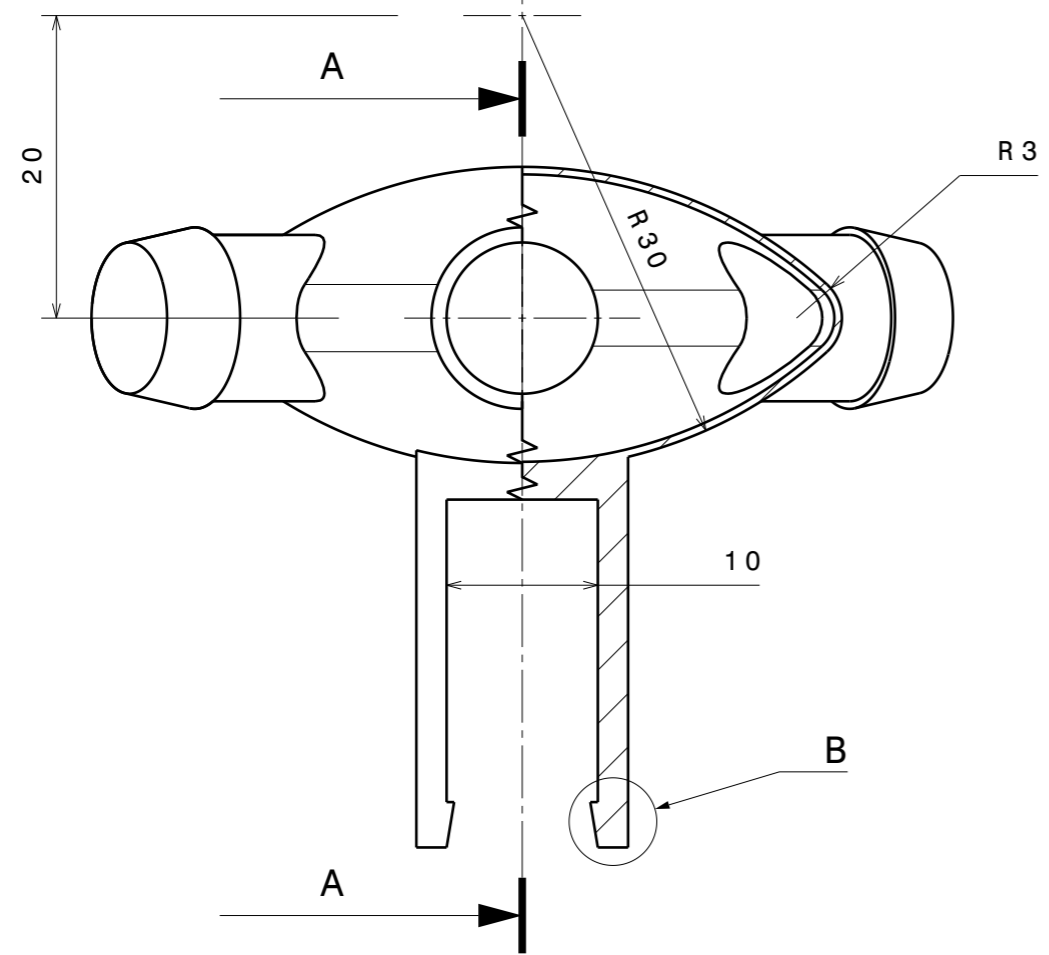
DETALLE C
ESCALA 5:1

DÍA	MES	AÑO	ESCALA:	NOMBRE:
13	06	2024	1:1	JAVIER DE LA FUENTE MORENO
NOMBRE PIEZA:				
			CONECTOR DEL ASPERSOR	
			EII VALLADOLID	

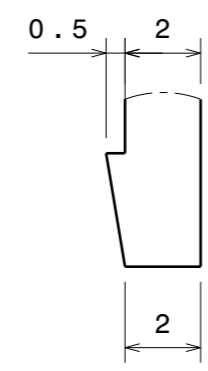
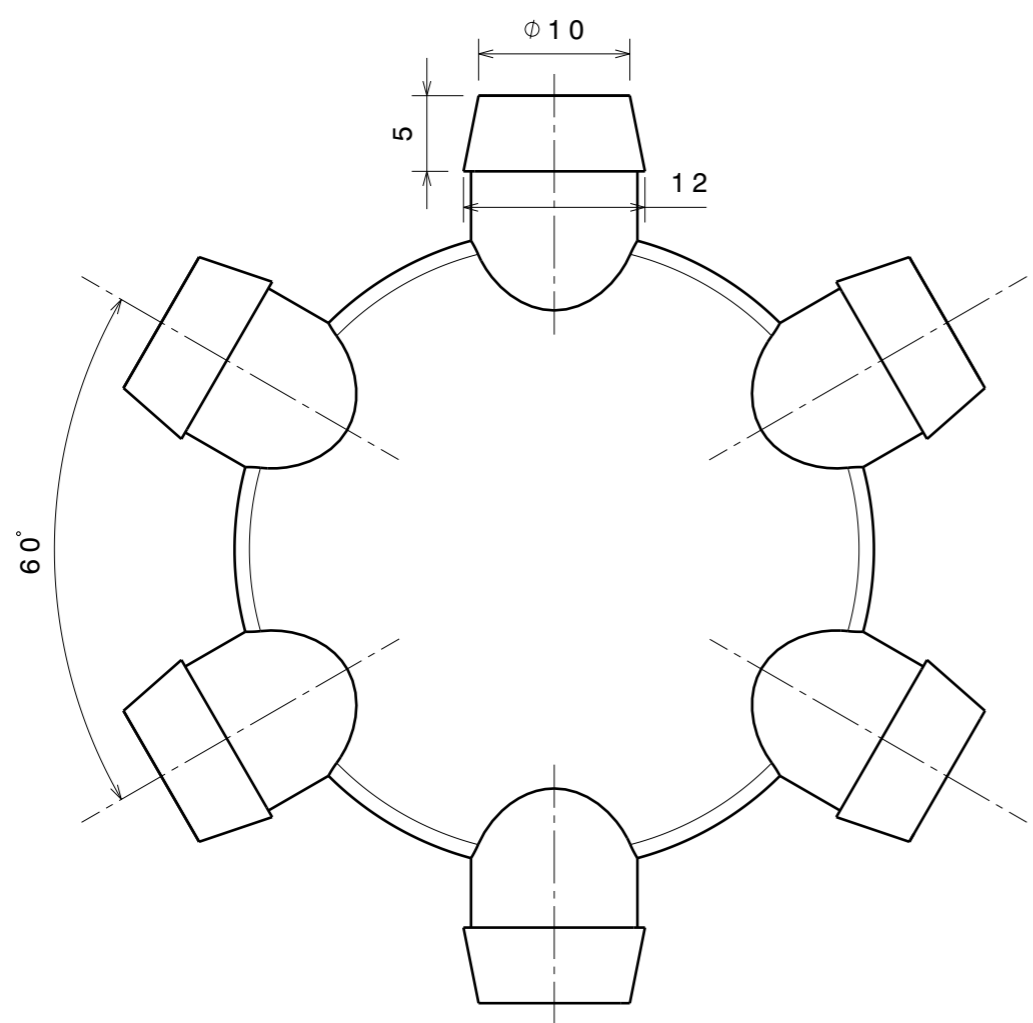


DETALLE B
ESCALA 5:1

DÍA	MES	AÑO	ESCALA	NOMBRE AUTOR:
13	06	2024	2:1	JAVIER DE LA FUENTE MORENO
NOMBRE PIEZA:				
			EII VALLADOLID	
ASPERSOR				



SECCIÓN A-A



DETALLE B
ESCALA 5:1

DÍA	MES	AÑO	ESCALA:	NOMBRE:
14	06	2024	2:1	JAVIER DE LA FUENTE MORENO
NOMBRE PIEZA:				
DISTRIBUIDOR			EII VALLADOLID	