



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería Mecánica**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN, BASADOS EN  
CHAPA CORTADA POR LÁSER, DE UNA  
LANZADERA DE COHETES DE AGUA**

**Autor:**

**Niño de la Fuente, Andrés**

**Tutor:**

**Dr. Méndez Bueno, César  
Departamento: Ingeniería  
Energética y Fluidomecánica**

**Valladolid, Julio 2019.**



## **RESUMEN**

En el presente trabajo se lleva a cabo el diseño, cálculo y dimensionado de una lanzadera concebida para realizar estudios de laboratorio sobre las propiedades propulsoras de un cohete propulsado por agua y aire a presión. En este caso, el prototipo de cohete que se usa es una botella de plástico, cuyo tapón ha sido modificado para albergar una tobera que la convierte en cohete.

El desarrollo de este trabajo corresponde a una materia multidisciplinaria que incluye, entre otras, la teoría de máquinas y mecanismos, el cálculo y la simulación, las soluciones constructivas, los accionamientos y su control, la aplicación de materiales, las tecnologías de fabricación, las técnicas de representación, la ergonomía, la seguridad, la consideración de impactos ambientales y el ciclo de vida.

## **PALABRAS CLAVE**

Cohete-Botella, CAD, Teoría de láminas y placas, Máquinas y mecanismos, Fabricación.

## **SUMMARY**

The present work carries out the design, calculation and dimensioning of a shuttle machine designed to perform laboratory studies on the propulsive properties of a rocket propelled by water and air under pressure. In this case, the prototype rocket used is a plastic bottle, whose cap has been modified to harbor a nozzle that turns it into a rocket.

The development of this work corresponds to a multidisciplinary subject that includes, among others, the theory of machines and mechanisms, the calculation and simulation, the constructive solutions, the drives and their control, the application of materials, manufacturing technologies, representation techniques, ergonomics, safety, consideration of environmental impacts and the life cycle.

## **KEYWORDS**

Rocket- bottle, CAD, theory of sheets, machines and mechanisms, manufacturing.



## Índice

1.	INTRODUCCION Y OBJETIVOS .....	7
1.1.	OBJETIVOS GENERALES DEL TRABAJO .....	8
1.2.	ESTRUCTURA DEL TRABAJO.....	8
2.	ESTUDIO TEORICO PRELIMINAR.....	9
2.1.	ESPECIFICACIONES TECNICAS .....	9
2.2.	ESTUDIO DE LA BOTELLA COMERCIAL.....	15
2.2.1.	MODIFICACION .....	15
2.2.2.	ANALISIS ELASTOPLASTICO DE LA BOTELLA .....	19
2.3.	MECANISMO PRINCIPAL .....	24
2.3.1.	DIMENSIONAMIENTO.....	24
2.3.2.	ANALISIS DE POSICIONES .....	34
2.3.3.	LEY DE DESPLAZAMIENTO DEL ELEMENTO 3 .....	38
2.3.4.	ANALISIS CINEMATICO.....	42
2.3.5.	ANALISIS DINAMICO .....	44
2.3.6.	RESORTE DE COMPRESION HELICOIDAL.....	55
2.4.	MECANISMO DE DESBLOQUEO .....	58
2.4.1.	DEFINICION DEL PERFIL DE LEVA.....	59
2.4.2.	DIMENSIONAMIENTO.....	63
2.4.3.	ANALISIS DE POSICIONES .....	65
2.4.4.	ANALISIS CINEMATICO.....	67
2.4.5.	ANALISIS DINAMICO .....	69
2.5.	SELECCIÓN DE LOS MATERIALES .....	70
2.5.1.	ANALISIS DE COMPATIBILIDAD ENTRE MATERIALES .....	73
3.	ORGANIZACION DE TRABAJO EN CAD .....	75
3.1.	CODIGO DE NUMERACION .....	75
3.2.	ESTRUCTURA DE CARPETAS .....	76
3.3.	CUESTIONES DE DISEÑO 3D .....	77
3.3.1.	CODIGO DE COLORES.....	77
3.3.2.	REPRESENTACIÓN DEL MODELO 3D. PARAMETRIZACIÓN Y CONSTRAIN .....	77
3.4.	DOCUMENTACION PARA LA FABRICACION Y EL MONTAJE .....	78
4.	DISEÑO CAD FINAL.....	81

4.1.	DISEÑO DEL GRUPO FUNCIONAL M100 .....	81
4.2.	DISEÑO DEL GRUPO FUNCIONAL M200 .....	88
5.	FABRICACION .....	91
5.1.	PIEZAS FABRICADAS CON EL TORNO .....	91
5.1.1.	M151 .....	91
5.1.2.	M131 .....	93
5.1.3.	M132 .....	95
5.2.	PIEZAS FABRICADAS A LASER .....	97
5.3.	COMERCIALES Y TORNILLERIA .....	98
5.4.	MONTAJE.....	100
6.	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS .....	111
6.1.	TRABAJOS FUTUROS .....	115
7.	BIBLIOGRAFIA .....	117
8.	LISTADO DE TABLAS Y FIGURAS .....	119
8.1.	FIGURAS .....	119
8.2.	TABLAS .....	122
9.	ANEXOS.....	123
	ANEXO I. ANALISIS DINAMICO DEL MECANISMO PRINCIPAL .....	124
	ANEXO II. ANALISIS DINAMICO DEL MECANISMO DE DESBLOQUEO .....	132
	ANEXO III. LUBRICACION .....	137
	ANEXO IV. LISTA DE MATERIALES.....	143
	ANEXO V. PRESUPUESTO .....	145
	ANEXO VI. CODIGOS DE MATLAB.....	146
	VI.1. DINAMICA MECANISMO PRINCIPAL.....	146
	VI.2. DINAMICA MECANISMO DE DESBLOQUEO .....	152
	ANEXO VII. CALCULOS EN EXCEL.....	153
	VII.1. MECANISMO PRINCIPAL. DIMENSIONAMIENTO Y ANALISIS DE POSICIONES.....	153
	VII.2. ANALISIS ELASTOPLASTICO DE LA BOTELLA.....	154
	VII.3. DISEÑO LEY DESPLAZAMIENTO.....	155
	VII.4. DISEÑO RESORTE COMPRESION HELICOIDAL.....	161
	ANEXO VIII. OFERTA PIEZAS LASER .....	164
	ANEXO VIII. PLANOS.....	166

## 1. INTRODUCCION Y OBJETIVOS

El presente trabajo expone el diseño y construcción de una lanzadera para cohetes de agua, que asegura la posibilidad de ejecución de lanzamientos bajo las mismas condiciones iniciales. Partiendo de una botella comercial de gaseosa ( 1,5 L de capacidad), fabricada en plástico PET, se desarrolla un prototipo de cohete, a partir del cual se diseña la lanzadera, ajustándose a sus dimensiones y geometría.

La lanzadera que se diseña debe ser capaz de asegurar una posición fija de la botella, para poder introducir en él los fluidos (agua y aire) responsables de la propulsión, así como de mantenerlo en un volumen acotado de espacio, que permita la interacción con éste. De esta manera, será posible implementar sistemas de medida en el entorno de la lanzadera que permitan tomar medidas experimentales sobre las propiedades propulsoras del cohete, para así poder comparar los resultados obtenidos con el estudio teórico sobre el comportamiento de un cohete propulsado por agua y aire a presión, trabajo realizado en el TFG-I-956 (“Diseño y estudio del comportamiento de un cohete propulsado por aire a presión”), en el cual se desarrolla el modelo matemático que describe el proceso de descarga de los fluidos desde el interior de la botella.

Debido a que el diseño de la lanzadera asegura que los lanzamientos se realizan todos bajo las mismas condiciones, es posible asegurar trazabilidad en los estudios experimentales que se desarrollen. La lanzadera debe cumplir ciertas especificaciones para que pueda llevar a cabo su cometido con éxito, y con seguridad para el usuario. La botella que se modifica para convertirla en cohete de agua, y que es punto de partida para el desarrollo de este trabajo, puede verse en la *Figura 1*.



*Figura 1. Botella comercial.*

## 1.1. OBJETIVOS GENERALES DEL TRABAJO

Para abordar con éxito este trabajo, se plantean unos objetivos a seguir, que marcan el desarrollo de este, y que se exponen a continuación:

1. Adoptar un prototipo de cohete, que cumpla con las especificaciones técnicas establecidas para el mismo, para realizar las pruebas a la lanzadera.
2. Diseñar y dimensionar las soluciones técnicas más adecuadas, atendiendo a criterios de funcionalidad.
3. Establecer un esquema de organización de la documentación generada en el trabajo, que permita el rápido acceso y entendimiento por parte de personas ajenas.
4. Desarrollar el diseño en herramientas CAD, para generar la documentación necesaria para la fabricación y el montaje.
5. Montar y ajustar la lanzadera diseñada. Comprobar la implicación del diseño en la fabricación y montaje real de la lanzadera.

## 1.2. ESTRUCTURA DEL TRABAJO

La exposición de los contenidos en el presente trabajo se organiza por ámbitos de desarrollo. Cada capítulo recoge toda la información común a un mismo ámbito, ya que se busca claridad expositiva y orden, que permita comprender los objetivos, qué se ha hecho para abordarlos, y como se ha evaluado su cumplimiento.

Las partes principales del trabajo componen los capítulos de éste. En el Capítulo 2, se desarrollan todos los cálculos y razonamientos teóricos necesarios para concebir el diseño de la lanzadera. En el Capítulo 4, se desarrolla el diseño CAD que pone en práctica los razonamientos teóricos y los cálculos. El diseño CAD se realiza bajo un esquema de trabajo, establecido en el Capítulo 3, que define el método de trabajo a seguir para generar con éxito la documentación necesaria para la fabricación y el montaje. Finalmente, en el Capítulo 5, se expone todo lo relativo a la fabricación y el montaje de la lanzadera, con la cual se realizan las pruebas necesarias para validar el cumplimiento de las especificaciones técnicas establecidas.

## 2. ESTUDIO TEORICO PRELIMINAR

En este Capítulo se desarrollan los aspectos técnicos y los cálculos necesarios para el diseño de la lanzadera. Este desarrollo responde de la necesidad de cumplimiento de las especificaciones técnicas expuestas en el Capítulo 1.

### 2.1. ESPECIFICACIONES TECNICAS

Para conseguir la funcionalidad deseada en la lanzadera que se pretende diseñar y fabricar, se deben cumplir una serie de especificaciones técnicas que aseguren el correcto funcionamiento global de la misma. Estas especificaciones se exponen a continuación:

#### I. Especificaciones de la botella.

- I.A. Condición de estanqueidad. Es necesario asegurar que la botella, una vez ha sido modificada para convertirla en cohete, mantiene la condición de estanqueidad que evite las fugas tanto de agua como de aire.
- I.B. Acople de tobera desmontable. La modificación debe permitir el acople de toberas de diferentes geometrías.

#### II. Posicionamiento de la botella.

- II.A. Amarre funcional. Es necesario asegurar un correcto amarre de la botella a la lanzadera, de manera que ésta quede en una posición estable.
- II.B. Amarre estanco. El acople entre la botella y la lanzadera debe ser estanco, para asegurar un correcto proceso de carga de los fluidos.
- II.C. Condición de autobloqueo. El mecanismo encargado de agarrar la botella debe mantenerse en la posición de agarre sin ningún tipo de accionamiento mecánico auxiliar.

#### III. Proceso de carga controlado.

- III.A. Se debe tener control sobre el volumen de agua que se introduce en la botella, además de la presión de aire que existe dentro de ésta.

#### IV. Lanzamiento controlado.

- IV.A. La botella, una vez terminado el proceso de carga, debe mantener la posición hasta que el usuario decida que debe ser lanzado.

## V. Guiado y posicionamiento, adecuados para la toma de datos.

- V.A. Ascenso controlado. Una vez lanzado, la botella debe poder ascender la distancia vertical necesaria hasta que se sitúe en la posición en la que se realizan las medidas sobre la propulsión del mismo.
- V.B. Posición estable en toma de datos. Se debe asegurar que la botella mantiene una posición vertical estable que permita la correcta toma de datos.

Cada especificación técnica es abordada mediante el diseño de soluciones técnicas que, en conjunto, forman la lanzadera que se desarrolla en este trabajo. Atendiendo a cada especificación, se exponen a continuación las soluciones técnicas desarrolladas, y los factores a tener en cuenta para llegar al cumplimiento de cada especificación.

La especificación técnica I establece que es necesario asegurar la estanqueidad en el acople de los diferentes elementos (a saber, tapón, tobera y botella), una vez se hayan ejecutado las modificaciones necesarias, que convierten la botella en cohete. La geometría de la tobera debe ser tal, que propicie un acople desmontable en el tapón, para así poder acoplar toberas con conductos de diferentes geometrías (especificación técnica I.B.). El hecho de que la unión deba ser desmontable implica que la estanqueidad se ha de conseguir mediante el correcto asentamiento de unos elementos con respecto a otros, sin contar con uniones mecánicas permanentes. El tapón es la única parte de la botella comercial que va a ser modificado, para albergar la tobera en su interior. De esta manera, el tapón se acopla roscado a la botella, tal como ocurre en el comercial original. La estanqueidad en el sistema se consigue mediante el apriete del extremo del cuello de la botella con respecto a la cara superior de la tobera que se fabrique (especificación técnica I.A.).

La especificación técnica II atiende al amarre de la botella en la lanzadera. La carga de los fluidos en la botella se realiza a través de la tobera, lo que implica que la botella debe ir acoplado a una pieza que contenga un compartimento conectado con el sistema hidráulico encargado del llenado de la botella. Se debe conseguir que el acople entre la botella y esta pieza sea estanco, especificación (especificación técnica II.B) que se consigue cumplir insertando una junta tórica entre estos dos elementos. Es necesario conseguir que la botella mantenga la posición fija con respecto a esta pieza (a través de la cual es cargado), y para tal efecto se concibe un mecanismo, en adelante mecanismo principal, que agarra a la botella y la mantiene en posición fija. Atendiendo a la geometría de la botella, se decide que la zona apropiada para agarrar a la botella es un saliente en forma de corona circular situado en el inicio de la rosca del cuello de la botella. En la *Figura 2* puede

observarse la situación y dimensiones de este saliente. En adelante, se aludirá a este saliente como borde de agarre.

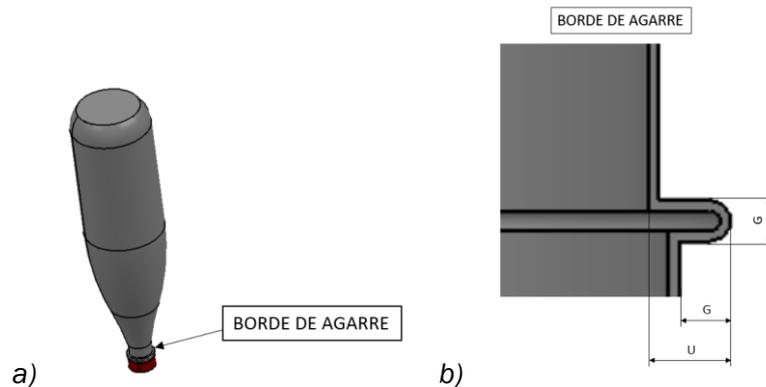


Figura 2. a) Vista isométrica de la botella usada como cohete; b) Dimensiones del borde de agarre.

Siendo  $U = 3,5 \text{ mm}$  y  $G = 1,5 \text{ mm}$ . El mecanismo principal para agarrar a la botella se inspira en el mecanismo “biela-manivela”, el cual posee tres elementos diferenciados: la manivela, la biela y el émbolo, tal como se puede ver en la Figura 3. En su diseño más puro, este mecanismo está concebido para que la manivela gire dando vueltas completas con respecto a un punto fijo, accionando así el movimiento lineal de vaivén en el émbolo.

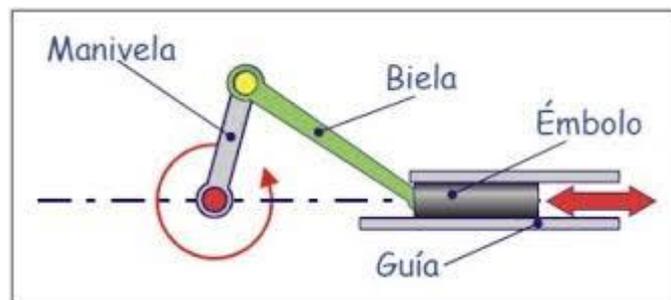


Figura 3. Mecanismo biela-manivela.

Sin embargo, en el mecanismo principal que se construye en el presente trabajo, el elemento accionador es el émbolo que, mediante su carrera lineal, provoca movimiento de giro en la manivela. La manivela es el elemento encargado de hacer el agarre efectivo en la botella, por lo que, en este caso, no gira vueltas enteras, si no que gira el ángulo necesario para agarrar y/o soltar a la botella (como se ha indicado anteriormente, en el borde de agarre). En la Figura 4 se puede observar el boceto del mecanismo principal, donde se aprecia que a la manivela se le ha añadido el tramo  $\overline{AO}$  (especificación técnica II.A.), en forma de garra, formando un único sólido rígido con el tramo  $\overline{OB}$ .

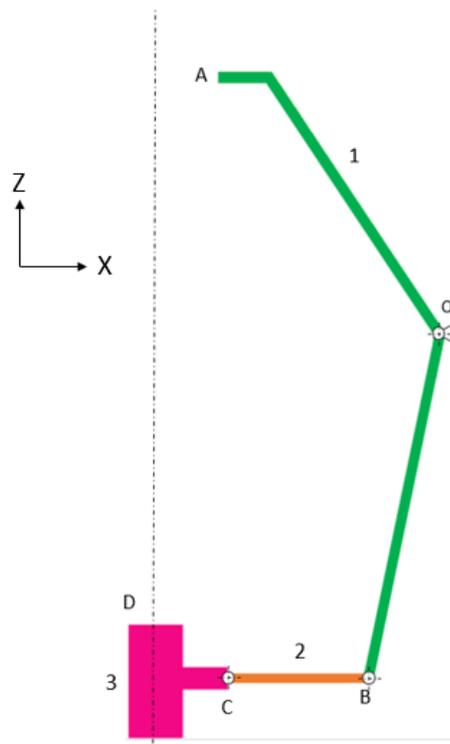


Figura 4. Boceto del mecanismo principal.

De manera que, atendiendo a lo expuesto anteriormente, el agarre efectivo de la botella por parte del mecanismo principal se puede observar en la Figura 5.

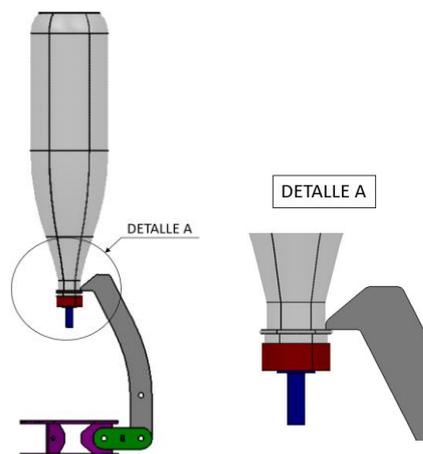


Figura 5. Agarre de la botella con el mecanismo principal.

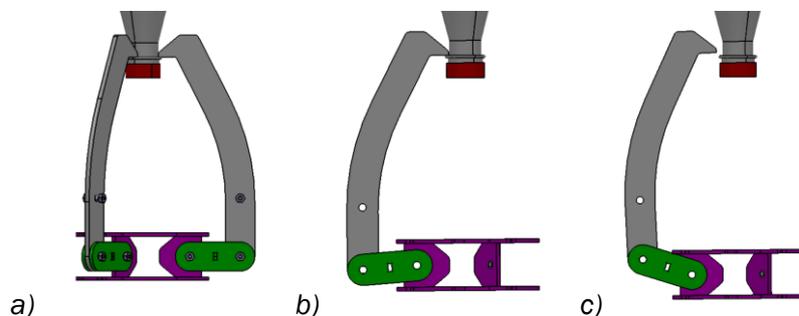
Cabe destacar que, dada la geometría axial que tiene la botella usada como cohete, el mecanismo principal diseñado lo componen tres réplicas de elementos 1 y 2, acoplados al mismo elemento 3. De esta manera, el giro de los elementos 1 son solidarios entre sí, acordes al movimiento del elemento 3. En la Figura 4 se puede ver la discretización que se hace de los elementos del mecanismo principal, a saber:

Elemento 1. Garra: Haciendo las veces de manivela, está unida a la bancada mediante una unión articulada (punto O) que permite el giro del elemento 1 con respecto a la bancada.

Elemento 2. Biela: Elemento transmisor entre elemento 1 y elemento 3. Unido a ambos mediante uniones articuladas que permiten el giro relativo (puntos B y C).

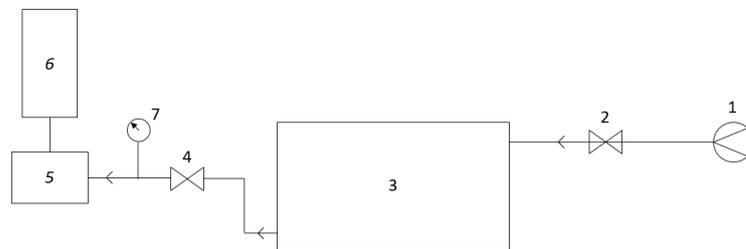
Elemento 3. Desplazador: Elemento que está unido al eje de la lanzadera mediante el par prismático D. Es el elemento accionador de este mecanismo.

Es importante destacar que en la *Figura 4* se ha representado al mecanismo principal en una bifurcación. Es decir, el elemento 3 puede desplazarse tanto para arriba como para abajo, y es precisamente este hecho el que se aprovecha para cumplir con la especificación de autobloqueo (especificación técnica II.C). La carrera lineal del elemento 3 hacia abajo provoca que los elementos 1 se abran lo suficiente como para liberar a la botella de su posición, mientras que la carrera lineal hacia arriba provoca que el mecanismo principal quede autobloqueado, siempre y cuando sobre él actúe la fuerza de propulsión de la botella. Hay que tener en cuenta que, en esta posición de bifurcación, el elemento 1 está en su posición extrema de giro, por lo que, cuando el elemento 3 abandona esta posición, el elemento 1 se abre. Es por esto por lo que es necesaria la presencia de un tope mecánico que limite la carrera del elemento 3 hacia arriba, para así evitar que la botella también sea liberada en este movimiento, provocando así el autobloqueo funcional esperado. Por lo tanto, se distinguen cuatro posiciones características del mecanismo principal, a saber, posición I (autobloqueo), posición cero (bifurcación), posición III (desbloqueo teórico) y posición IV (desbloqueo funcional). Las tres primeras posiciones pueden verse en la *Figura 6*, aunque serán explicadas con detalle cuando se aborde el dimensionamiento del mecanismo.



*Figura 6. Posiciones de trabajo del mecanismo principal. a) Posición cero; b) Posición I; c) Posición III.*

La especificación técnica III establece que es necesario tener control sobre el volumen de agua que se introduce en la botella, y la presión interna del aire, hecho necesario para que las variables recogidas durante los ensayos se relacionen correctamente con las variables iniciales establecidas. Como se ha indicado anteriormente, la botella se acopla a un compartimento a través del cual se realiza el proceso de carga (llenado de la botella de fluidos). El control del volumen de agua que se introduce en la botella, y la presión interna de aire, se consigue realizando las medidas oportunas en el sistema hidráulico concebido para realizar este proceso de carga, el cual puede observarse en la *Figura 7*. En esta figura puede verse que el sistema de llenado (3) consiste en un depósito estanco que contiene el volumen de agua que se va a introducir en la botella. Mediante un compresor conectado al depósito, éste se presuriza introduciendo aire, para generar flujo en el conducto de admisión.



*Figura 7. Esquema hidráulico para el proceso de carga.*

En la *Figura 7* se pueden distinguir las siguientes partes en el sistema:

1. Compresor. Introduce masa de aire en el tanque para presurizarlo.
2. Válvula reguladora del caudal de aire procedente del compresor.
3. Tanque presurizado. El volumen de agua que se carga en la botella se sitúa en su interior. Cuando se produce la entrada de aire en el tanque, la presión interior aumenta, provocando flujo de agua, y después aire, a través de la válvula 4.
4. Válvula reguladora del caudal de admisión en la botella.
5. Compartimento estanco a través del cual se llena la botella.
6. Cohete.
7. Barómetro, para tener control sobre la presión interna de aire de la botella.

La especificación técnica IV establece que la botella ha de ser liberada del mecanismo principal en el momento en el que el usuario lo considere oportuno. Para esta tarea, se concibe un mecanismo secundario, en adelante, el mecanismo de desbloqueo, que acciona al elemento 3 del mecanismo principal. Este mecanismo de desbloqueo consiste en un mecanismo leva-palpador (siendo el palpador el elemento 3 del mecanismo principal),

acoplado a una palanca que, mediante su giro en torno a un punto fijo, acciona al elemento 3.

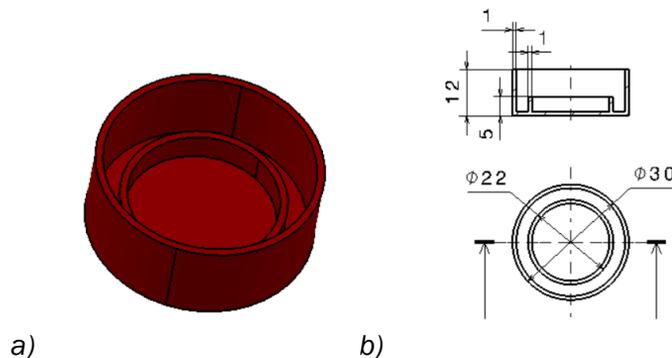
La especificación técnica V hace referencia al lanzamiento y posicionamiento controlados de la botella, para propiciar la correcta toma de datos en los ensayos. Para cumplir con esta especificación, se diseña una estructura vertical de guiado, con un tope superior que limita el ascenso de la botella, y la posiciona para la toma de datos.

Por cuestiones de fabricación, se pretende diseñar la mayor parte posible de la lanzadera a base de placas de pequeño espesor, ya que permiten ser fabricadas mediante corte a láser. Este proceso de fabricación supone una ventaja, ya que se pueden diseñar geometrías planas, difíciles, y a bajo coste.

## 2.2. ESTUDIO DE LA BOTELLA COMERCIAL

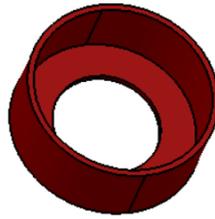
### 2.2.1. MODIFICACION

Tal como se ha indicado anteriormente, el comercial que se modifica para hacer las veces de cohete es una botella de gaseosa, de capacidad 1,5 L. Para transformar esta botella en un cohete, es necesario acoplar una tobera en ella. Por lo tanto, se modifica la geometría del tapón, por lo que, en primer lugar, es necesario conocer las dimensiones y la geometría original del tapón, lo cual se puede observar en la *Figura 8*.



*Figura 8. Tapón comercial. a) Vista isométrica; b) Dimensiones.*

A la vista de la *Figura 8*, la modificación del tapón radica en quitar el cilindro hueco vertical interior, y practicar un agujero, coaxial con el eje del tapón, en la base, para poder acoplar la tobera en éste. De esta manera, la tobera debe tener un disco superior que permita acoplarla en el agujero practicado en el tapón, y asegure una posición relativa fija con respecto a éste. En la *Figura 9* puede observarse el tapón modificado.



*Figura 9. Vista isométrica del tapón modificado.*

Dado que el acople de la tobera debe ser desmontable, para poder acoplar al tapón diferentes tipos de tobera, no es posible utilizar uniones mecánicas permanentes para asegurar la estanqueidad requerida en este sistema. Por lo tanto, la estanqueidad vendrá garantizada por el apriete entre el extremo del cuello roscado de la botella con respecto a la cara superior del disco de la tobera, una vez el tapón (previo acople de la tobera) haya sido roscado en su sitio respectivo en la botella. Debido a esto, es necesario tener control de las dimensiones del cuello roscado de la botella, las cuales pueden verse en la *Figura 10*, para así poder mecanizar la cara superior del disco de la tobera acorde a estas dimensiones. El mecanizado que se practica en la cara superior del disco de la tobera consiste en un rebaje en el espesor, para conseguir dos alturas en esta cara. De esta manera, atendiendo a la especificación técnica I.A., el cuello de la botella apoya sobre el extremo inclinado de este rebaje, consiguiendo la estanqueidad adecuada mediante el apriete proporcionado por el roscado del tapón. Ha de tenerse en cuenta que este diseño asegura también que la tobera mantiene la posición durante el proceso de carga de la botella, en el cual se desarrollan fuerzas verticales y hacia arriba, que harían que la tobera se desplazara en este sentido.

En la *Figura 11* puede verse la geometría de la tobera diseñada, así como su acople al tapón modificado, y el acople del conjunto entero. Cabe tener en cuenta que el diseño de esta tobera únicamente atiende al acople de la tobera en el tapón modificado y en la botella, es decir, su geometría exterior. Las dimensiones de la tobera, por donde circula el fluido, dependen de los criterios del usuario. De esta manera, atendiendo a la especificación técnica I.B., cada geometría de tobera requiere de la fabricación de una pieza diferente, con la misma geometría externa (para el acople en el mismo tapón). Tal como puede verse en la *Figura 11*, la cara de la tobera que acopla con el tapón tiene dos niveles mecanizados, para asegurar una posición fija en acople entre la tobera y el tapón, así como su correcto asentamiento en la base del tapón.

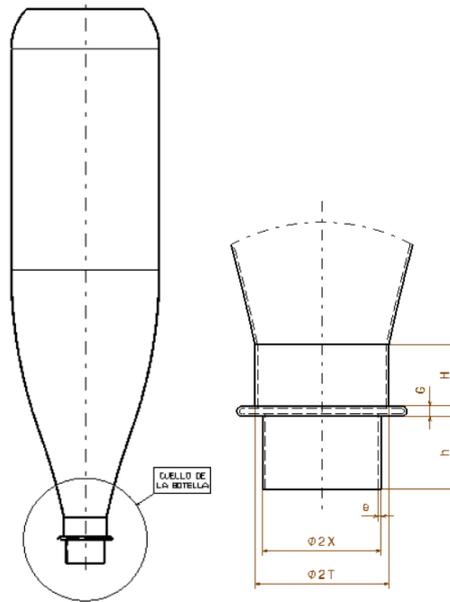
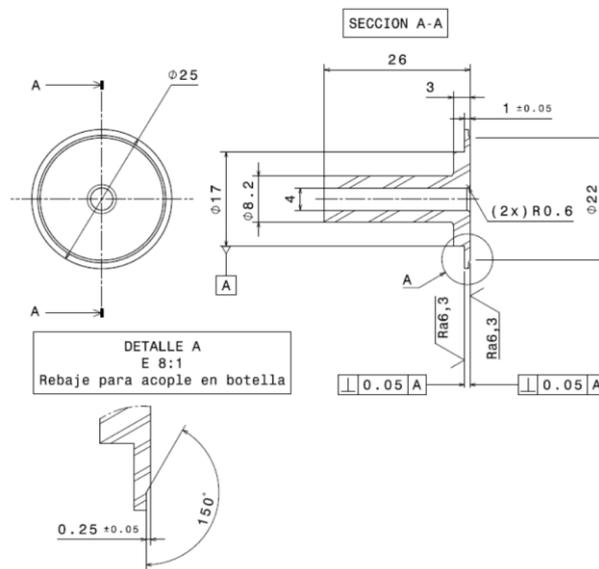


Figura 10. Dimensiones cuello botella comercial.

Donde  $2T = 26 \text{ mm}$ ,  $2X = 23 \text{ mm}$ ,  $e = 0,4 \text{ mm}$ ,  $G = 1,5 \text{ mm}$ ,  
 $H = 12 \text{ mm}$  y  $h = 14 \text{ mm}$ .



a)

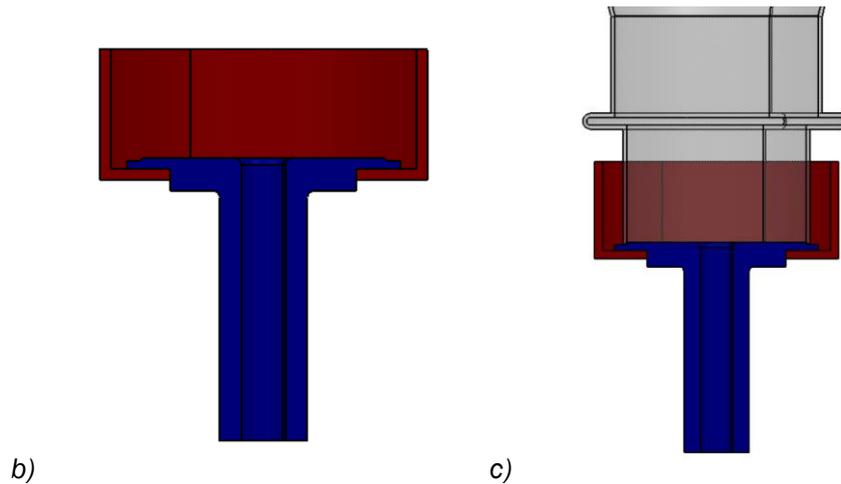


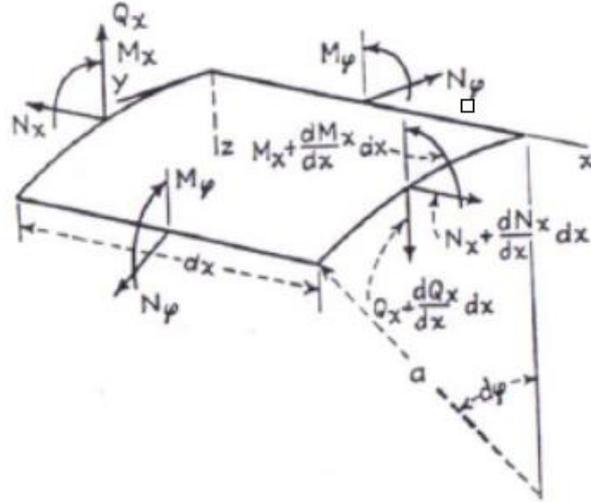
Figura 11. a) Geometría de la tobera; b) Acople tapón- tobera; c) Acople tapón- tobera- botella.

Cabe tener en cuenta de la *Figura 11* que son imágenes tomadas del diseño CAD, en el cual no se ha representado la rosca, ni los demás elementos auxiliares que contiene la botella, puesto que no influyen en el diseño expuesto anteriormente. La geometría del conducto consiste en un conducto de sección constante de diámetro  $\varnothing = 4 \text{ mm}$ .

Sin embargo, tal como se indica en el Apartado 5.1.1., este sistema no es estanco a las presiones máximas calculadas, por lo que es necesario un rediseño de este, con el fin de conseguir la estanqueidad necesaria. El nuevo sistema propuesto consiste en la misma geometría de la pieza, pero ahora cuenta con un cuerpo cilíndrico superior, que va acoplado dentro del cuello de la botella, el cual aloja una junta tórica en un cajeadado rectangular. De esta manera, el funcionamiento del sistema tapón-tobera-botella es el mismo que el descrito anteriormente, pero ahora la estanqueidad la asegura el apriete entre el extremo del cuello de la botella y la cara superior de la pieza, además de la acción de la junta tórica en las paredes internas del cuello de la botella. En la *Figura 12* puede verse este nuevo diseño, el cual, como se indica en el Apartado 5.4., es estanco a mayores presiones que el diseño inicial.



establecer las ecuaciones necesarias para resolver el problema, se considera un elemento, como se indica en la *Figura 13*.



*Figura 13.* [1- p.502, *Figura 235*] Elemento diferencial de lámina cilíndrica.

[1- p.503] Por razón de simetría puede afirmarse que los esfuerzos cortantes de membrana  $N_{xq} = N_{qx}$  se anulan en este caso, y las fuerzas  $N_q$  son constantes a lo largo de la circunferencia. En cuanto a los esfuerzos cortantes transversales, puede también deducirse por simetría que los únicos que no se anulan son los esfuerzos  $Q_x$ . Considerando los momentos que actúan sobre el elemento de la *Figura 13* se deduce igualmente por simetría que los momentos torsores  $M_{xq} = M_{qx}$  se anulan y los momentos flectores  $M_q$  son constantes a lo largo de la circunferencia. En tales condiciones de simetría, tres de las seis ecuaciones de equilibrio se anulan, y hay que considerar únicamente las tres restantes, a saber, las obtenidas proyectando las fuerzas sobre los ejes  $x$  y  $z$ , y tomando momentos respecto del eje  $y$  (ejes de la *Figura 13*). Suponiendo que las fuerzas exteriores son únicamente presiones normales a la superficie, estas tres ecuaciones son:

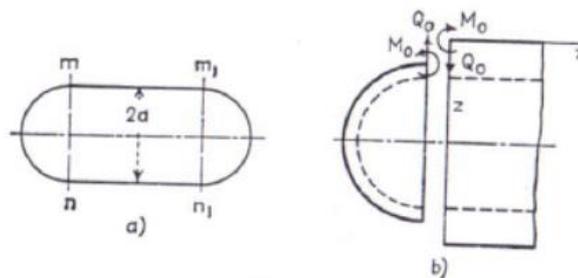
$$\frac{dN_x}{dx} a dx d\varphi = 0$$

$$\frac{dQ_x}{dx} a dx d\varphi + N_\varphi dx d\varphi + Z a dx d\varphi = 0$$

$$\frac{dM_x}{dx} a dx d\varphi - Q_x a dx d\varphi = 0$$

La primera ecuación indica que los esfuerzos  $N_x$  son constantes, por lo que, dado el pequeño espesor de la botella, se van a considerar iguales a cero. Para resolver el problema se deben considerar los desplazamientos de los puntos de la superficie media de la lámina. Por simetría se deduce que el desplazamiento  $v$  en el sentido de la circunferencia se anula. Así pues, tenemos que considerar únicamente los desplazamientos  $u$  y  $w$  en las direcciones de los ejes  $x$  y  $z$ , respectivamente.

Dado que analizar la geometría real de la botella es complicado, y requiere un modelo matemático fuera del alcance de este trabajo, se decide simplificar la geometría real a la geometría de un recipiente cilíndrico cerrado, sometido a la acción de presión interna, tal como se puede ver en la *Figura 14*.



*Figura 14. [1- p.519, Figura 244] Recipiente cilíndrico con extremos cerrados.*

En este tipo de recipientes, la teoría de membrana no es adecuada en la zona de unión entre la parte cilíndrica y los extremos del recipiente. [1-p.519] En estas uniones las tensiones de membrana vienen ordinariamente acompañadas por tensiones locales de flexión que se distribuyen simétricamente respecto del eje del cilindro. Los extremos del recipiente que se van a calcular tienen la forma de semiesfera. Esta simplificación es aceptable debido a que el único objetivo que se tiene de este desarrollo es hallar el incremento de diámetro de la botella, así como la presión interna máxima asociada a esta deformación. Dada la simplificación que se establece en los extremos, no se van a tener en cuenta las concentraciones de tensión que se producen en la geometría real de los extremos de la botella, pero este problema es de pequeña importancia, ya que la botella es un comercial fabricado bajo unos criterios de calidad y funcionalidad que aseguran un

funcionamiento adecuado dentro de los parámetros admisibles de uso. Continuando a partir de aquí con la simplificación establecida en los extremos, [1-p.520] en la unión deben actuar esfuerzos cortantes  $Q_o$  y momentos flectores  $M_o$  uniformemente repartidos en la circunferencia y de tal valor que eliminen la discontinuidad geométrica. Las tensiones producidas por estos esfuerzos se denominan a veces *tensiones de discontinuidad*. De esta manera, se obtiene una solución aproximada del problema suponiendo que la flexión solo es importante en la zona de la lámina esférica próxima a la junta y que esta zona puede tratarse como una parte de una lámina larga de radio  $a$ . Si el espesor de las partes esférica y cilíndrica es el mismo, los esfuerzos  $Q_o$  producen los mismos giros de los bordes a ambos lados de la junta. Esto indica que se anula  $M_o$ , y  $Q_o$  por sí solo es suficiente para eliminar la discontinuidad. Conocido el valor del esfuerzo  $Q_o$ , pueden calcularse en cualquier punto las flechas y los momentos flectores  $M_x$ . [1-p.521] Este momento alcanza su máximo valor absoluto para  $x = \frac{\pi}{4\beta}$ , punto en el que la derivada del momento es nula. [5] Combinando la máxima tensión de flexión debida a  $M_x$  con la tensión de membrana, se tiene:

$$(\sigma_x)_{max} = \frac{ap}{2h} + \frac{3}{4} \frac{ap}{h\sqrt{3(1-\nu^2)}} \zeta\left(\frac{\pi}{4}\right)$$

Esta tensión que actúa en la superficie exterior de la lámina cilíndrica es aproximadamente un 30% mayor que las tensiones de membrana que actúan en dirección radial. Al calcular las tensiones en el sentido de la circunferencia, además de la tensión de membrana  $\frac{ap}{h}$ , deben considerarse las tensiones de zunchado así como las tensiones de flexión producidas por el momento  $M_q = \nu M_x$ . De esta forma, se obtiene en la superficie exterior de la lámina cilíndrica:

$$\sigma_t = \frac{ap}{h} \left[ 1 - \frac{1}{4} \theta(\beta x) + \frac{3\nu}{4\sqrt{3(1-\nu^2)}} \zeta(\beta x) \right]$$

Una vez obtenidas las tensiones que soporta la botella, se procede a presentar el procedimiento de cálculo para dimensionar la presión interior máxima admisible en la botella, antes de su rotura. Para ello, se aplica el criterio de plastificación de Von-Mises, el cual establece que:

$$2\sigma_E > \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2}$$

Sabiendo que  $(\sigma_x)_{max}$  y  $\sigma_t$  son tensiones principales, se establece que:

$$2\sigma_E > \sqrt{((\sigma_x)_{max} - \sigma_t)^2 + ((\sigma_x)_{max})^2 + (\sigma_t)^2}$$

[1-p.519] Las deformaciones asociadas tienen las siguientes expresiones:

- Aumento de longitud del radio de la parte cilíndrica:

$$\delta_1 = \frac{pa^2}{Eh} \left(1 - \frac{\nu}{2}\right)$$

- Aumento de longitud del radio de los extremos esféricos (Aunque esta deformación no es relevante para el trabajo):

$$\delta_2 = \frac{pa^2}{Eh} (1 - \nu)$$

Se pretende despejar la presión interna máxima admisible  $p$ , ya que se conoce el límite elástico del material de la botella. Los datos y parámetros conocidos se presentan en la *Tabla 1*:

<b>DATOS</b>		<b>PARAMETROS</b>	
<b>Material</b>	PET	$\beta x$	0,785398
<b>Densidad</b>	1390 $\frac{Kg}{m^3}$	$\zeta$	0,32195
<b>Modulo de Young</b>	80 MPa	$\theta$	0,32283
<b>Coficiente de Poisson</b>	0,46		
<b>Radio exterior</b>	0,0449 m		
<b>Espesor</b>	0,0004 m		

*Tabla 1. Propiedades mecánicas de la botella usada como cohete. Parámetros usados en el análisis elastoplástico.*

De los datos y parámetros presentados en la *Tabla 1*, cabe tener en cuenta:

- El radio exterior que se ha tomado para hacer los cálculos se ha hallado teniendo en cuenta la teoría de lámina, es decir, se ha tomado el radio medio exterior.
- El parámetro  $\beta x$ : tal como se ha establecido anteriormente, el valor del momento  $M_x$  alcanza su máximo en  $x = \frac{\pi}{4\beta}$ , por lo que  $\beta x = \frac{\pi}{4}$ .
- Los valores de  $\zeta$  y  $\theta$  se hallan interpolando en la tabla de la *Figura 15*.

$\beta x$	$\varphi$	$\psi$	$\theta$	$\zeta$
0,0	1,0000	1,0000	1,0000	0
0,1	0,9907	0,8100	0,9003	0,0903
0,2	0,9651	0,6398	0,8024	0,1627
0,3	0,9267	0,4888	0,7077	0,2189
0,4	0,8784	0,3564	0,6174	0,2610
0,5	0,8231	0,2415	0,5323	0,2908
0,6	0,7628	0,1431	0,4530	0,3099
0,7	0,6997	0,0599	0,3798	0,3199
0,8	0,6354	-0,0093	0,3131	0,3223
0,9	0,5712	-0,0657	0,2527	0,3185

Figura 15. [1- p.508, Tabla 84] Tabla de funciones  $\beta x$ ,  $\zeta$ ,  $\theta$ ,  $\varphi$ ,  $\psi$ .

Despejando la presión  $p$ , y teniendo en cuenta que esta presión es la absoluta, se obtiene que la presión interna máxima admisible es:

$$p_{max} = 716503 \text{ Pa}$$

La deformación asociada a esta presión máxima, en la parte cilíndrica de la botella:

$$\delta_1 = 0,00087 \text{ m}$$

Con lo que el radio de la botella bajo la acción de la presión máxima interna es:

$$R_{max} = 0,04587 \text{ m}$$

Es decir, el radio, cuando la botella está en estado de presión máxima, se ve incrementado  $\Delta R = 0,04587 - 0,0449 = 0,00097 \text{ m} = 0,97 \text{ mm}$ .

## 2.3. MECANISMO PRINCIPAL

### 2.3.1. DIMENSIONAMIENTO

Como punto de partida para el diseño de la lanzadera, se procede a definir las dimensiones del mecanismo principal. Estas dimensiones vienen impuestas por la geometría y las dimensiones de la botella. Tal como se ha indicado en el Capítulo 1, se ha concebido el mecanismo principal como un mecanismo “biela- manivela”, tal como se puede ver en la *Figura 4*, con dos particularidades. En primer lugar, el elemento accionador de este mecanismo es el elemento 3, y, en segundo lugar, la manivela (elemento 1) es modificada, ya que se le ha añadido un tramo (tramo  $\overline{AO}$ ), que es la parte que hace el agarre efectivo de la botella, haciendo contacto en el borde de agarre (*Figura 2*). La razón de diseñar el mecanismo principal inspirado en un mecanismo “biela- manivela” es cumplir con la especificación técnica II.C., ya que el elemento 3 tiene libertad de desplazamiento vertical, tanto en sentido

positivo del eje Z como en sentido negativo, según los ejes de la *Figura 4*. Hay que tener en cuenta que el boceto del mecanismo principal representado en la *Figura 4* está en posición de bifurcación, es decir, en ese punto, el mecanismo puede desarrollar movimiento en los dos sentidos posibles, en función de hacia donde se desplace el elemento 3. Además, el elemento 1, en esta posición de bifurcación, se sitúa en una posición extrema de giro, por lo que no es posible que experimente giro para cerrarse más, por lo que, independientemente de hacia donde se desplace el elemento 3, el elemento 1 se abrirá. Esta particularidad del mecanismo es la que se pretende utilizar para conseguir la condición de autobloqueo que establece la especificación técnica II.C., de manera que, cuando el elemento 3 se desplace hacia abajo, el elemento 1 debe abrirse lo suficiente como para liberar a la botella, mientras que cuando el elemento 3 se desplace hacia arriba, el elemento 1 se abrirá, pero no lo suficiente como para liberar a la botella. Se consigue que el elemento 1 no se abra lo suficiente mediante la disposición de un tope mecánico, que limita la carrera del elemento 3 cuando se desplaza hacia arriba (sentido positivo del eje Z, ejes de la *Figura 4*). Esta última posición descrita es la que se establece como posición de autobloqueo. Sin embargo, para que el autobloqueo del mecanismo principal en esta posición sea funcional, es necesario tener en cuenta que sobre el elemento 1 debe actuar una fuerza vertical y hacia arriba (fuerza de propulsión de la botella, cohete cargado, sin liberar), que evite que el elemento 3 se desplace hacia abajo causa de su propio peso. Consecuencia de lo anterior, se deduce que es necesario que el elemento 1 tenga tendencia a cerrarse cuando sobre el actúe la fuerza de propulsión de la botella, para así obligar al elemento 3 a mantenerse en su posición (por encima de su posición relativa de bifurcación). Según lo expuesto anteriormente, el elemento 1 necesita de la acción de la fuerza de propulsión de la botella para provocar que el mecanismo principal se mantenga en posición de autobloqueo. Sin embargo, la acción de esta fuerza (sobre el punto A del mecanismo) es mínima en el momento en el que se acopla la botella a la lanzadera, y máxima cuando la botella está cargada a la presión de lanzamiento. Durante el acople y carga de la botella, la fuerza de propulsión es inexistente o mínima, creciente a medida que se carga de fluidos la botella. Por lo tanto, para asegurar que el mecanismo se mantiene en posición de autobloqueo hasta que la botella llega a la presión de lanzamiento, se acopla un resorte de compresión helicoidal, debajo del elemento 3, y coaxial con éste. De esta manera, además, se asegura que la posición natural del mecanismo principal es la posición de autobloqueo.

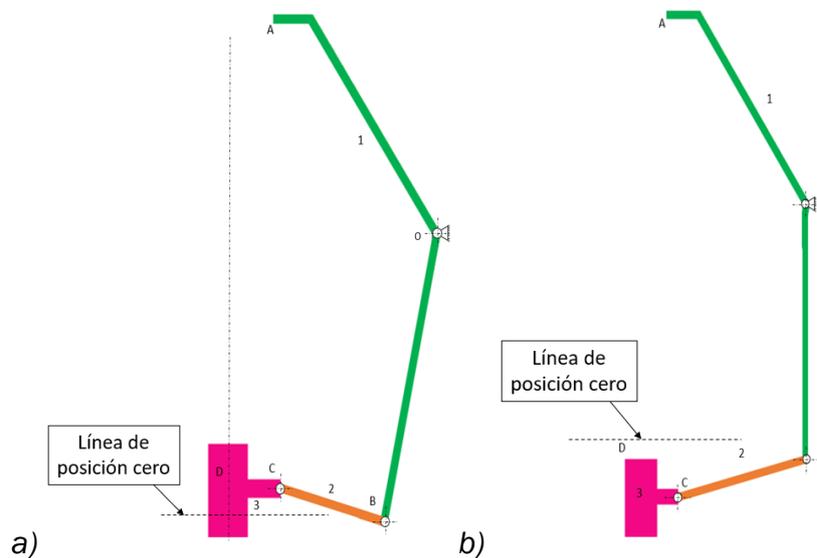
Por lo tanto, se distinguen tres posiciones características del mecanismo principal, a saber:

Posición I. Posición de autobloqueo. Posición de trabajo en la que el mecanismo principal agarra a la botella, asegurando su posición fija en la lanzadera. Es necesario tener en cuenta que, en esta posición, la superficie de contacto entre el elemento 1 y el borde de agarre no es la máxima posible, ya que esta situación se da en la posición cero. El diagrama del mecanismo principal en esta posición puede verse en la *Figura 16*.

Posición cero. Posición de bifurcación. Posición en la que el elemento 1 se encuentra en su posición de máximo giro, por lo que la superficie de contacto entre este elemento y el borde de agarre es la máxima posible. El diagrama del mecanismo principal en esta posición puede verse en la *Figura 4*.

Posición III. Posición de desbloqueo teórico. Posición en la que el desplazador está por debajo de su posición cero, lo suficiente, como para hacer que los elementos 1 se abran lo mínimo necesario para dejar pasar a la botella, permitiendo así su lanzamiento.

Posición IV. Posición de desbloqueo funcional. Aunque se ha establecido que el mecanismo tiene tres posiciones características, se decide añadir una más, la posición IV, en la cual el elemento 1 se abre más, con respecto a lo que se abre en la posición III, para asegurar que la botella es liberada sin posibilidad de interferencias mecánicas, que pueden falsear los datos que se tomen en los ensayos. El diagrama del mecanismo principal en esta posición puede verse en la *Figura 16*.



*Figura 16. Mecanismo principal: a) Posición I; b) Posición IV.*

Para establecer mejor el contexto de las posiciones características del mecanismo principal, en la *Figura 17* se representa la posición relativa entre el elemento 1 del mecanismo principal y el borde de agarre de la botella. Las

dimensiones que aparecen en la imagen serán determinadas en el análisis de posiciones del mecanismo, en el Apartado 2.3.2.

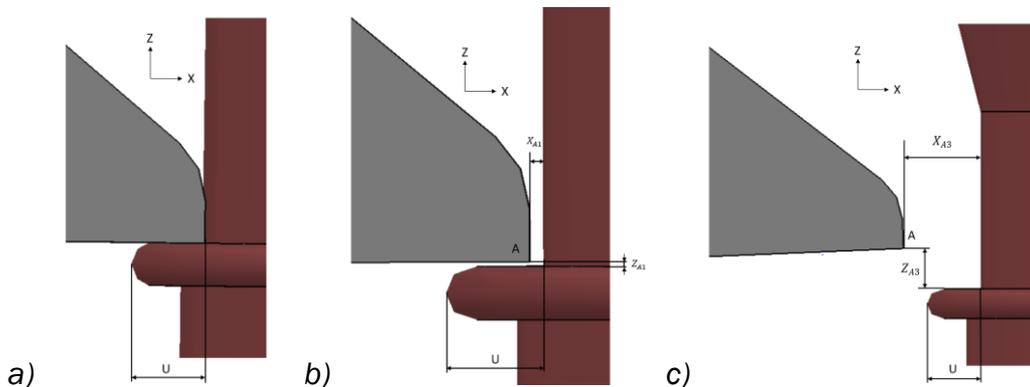


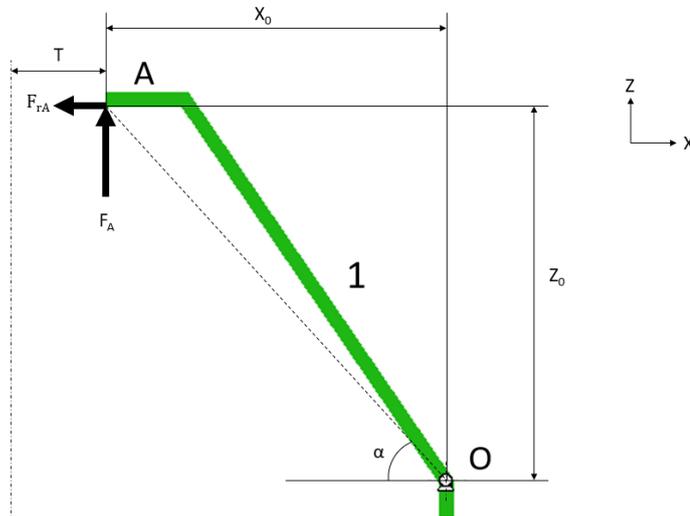
Figura 17. Posición del punto A del mecanismo principal. a) Posición cero; b) Posición I; c) Posición IV.

El dimensionamiento del mecanismo principal se resuelve en dos fases de cálculo. En la primera fase se aborda el dimensionamiento del tramo  $\overline{AO}$  del elemento 1, y en la segunda fase se aborda el dimensionamiento de los demás elementos del mecanismo, así como la parte inferior del elemento 1, el tramo  $\overline{OB}$ . Este dimensionamiento se desarrolla considerando que el mecanismo está en posición cero, ya que, al ser una posición de bifurcación, en la que el elemento 1 se encuentra en su posición de giro máximo, es seguro que las dimensiones calculadas en esta posición serán funcionales en el resto de las posiciones. Además, hay que tener en cuenta que, en esta posición, la superficie de contacto entre el elemento 1 y el borde de agarre es máxima, (atendiendo a la especificación técnica II.A.) condición geométrica que hay que tener en cuenta a la hora de determinar las dimensiones del elemento 1.

### 2.3.1.1. PRIMERA FASE DEL DIMENSIONAMIENTO DEL MECANISMO PRINCIPAL

Como se ha indicado anteriormente, se ha de diseñar el elemento 1 de manera que tenga tendencia a cerrarse cuando sobre él actúe la fuerza de propulsión de la botella. La fuerza de propulsión de la botella actuará sobre el punto A del mecanismo, por lo que se puede comprobar que cuando actúe sobre este punto una fuerza vertical y hacia arriba, el elemento 1 tenderá a abrirse debido al momento de fuerza que genera esta fuerza con respecto al punto O del mecanismo. Sin embargo, se establece como criterio de diseño que el elemento 1 tenga tendencia a cerrarse (a parte del hecho de que la fuerza vertical y hacia arriba sobre el punto A hace que el elemento 1 se abra) para que elemento 1 tienda a mantener su posición en el momento del agarre, contrarrestando la acción del momento que genera esta fuerza. De

esta manera, se aprovechan las fuerzas de fricción que aparezcan entre el elemento 1 y la superficie del borde de agarre. En la *Figura 18* se puede ver el diagrama que describe el problema del dimensionamiento del tramo  $\overline{AO}$  del elemento 1.



*Figura 18. Boceto para el dimensionamiento del tramo  $\overline{AO}$  del elemento 1 del mecanismo principal.*

Tal como se puede ver en la *Figura 18*, es necesario determinar cuál es el ángulo  $\alpha$  apropiado para generar esta tendencia en el elemento 1. A partir de este ángulo será posible determinar las dimensiones  $X_0$  y  $Z_0$  oportunas. Sobre el extremo superior (punto A) del elemento 1 actuará una fuerza vertical y hacia arriba, consecuencia de la fuerza de propulsión de la botella, y de los elementos mecánicos que se establezcan para asegurar la estanqueidad en el acoplamiento entre la botella y la lanzadera. Dado que el elemento 1 está en contacto con el borde de agarre, aparecerá una fuerza de fricción estática, cuando el movimiento relativo entre la botella y el elemento 1 sea nulo, y dinámica cuando exista movimiento relativo.

Dado que la fuerza de fricción es proporcional a la fuerza normal sobre la superficie,  $F_{rA} = \mu F_A$ , se hace necesario dimensionar cual es el valor del coeficiente de rozamiento ( $\mu$ ). Su cálculo resulta tedioso, y no está al alcance de este trabajo, por lo que se establece la hipótesis de que  $\mu = 1$ . Es razonable establecer esta hipótesis, ya que se sabe que el coeficiente de rozamiento real es menor que el valor unidad, además de que, de esta manera, se sobredimensiona  $F_{rA}$ , por lo que el elemento 1 tendrá mayor tendencia a cerrarse de la que se calcule. Por lo tanto, la fuerza resultante (teórica)  $F_{RA}$  sobre el elemento 1 siempre tendrá un ángulo de  $45^\circ$  con respecto al eje tierra horizontal X, independientemente de cuál sea el ángulo  $\alpha$  constructivo de la misma. Esta fuerza resultante tiene la expresión:

$$F_{RA} = \sqrt{F_{rA}^2 + F_A^2} = \sqrt{F_A^2(1 + \mu^2)}$$

La tendencia de giro de elemento 1 queda definida por el ángulo relativo entre el ángulo de la resultante  $F_{RA}$  (siempre  $45^\circ$  en el estudio teórico), con respecto al ángulo  $\alpha$  que forma el elemento 1 con respecto al eje horizontal, el cual es el que se pretende dimensionar. Este ángulo relativo se representa en las imágenes como ángulo  $\gamma$ . Para determinar el ángulo apropiado  $\alpha$  del elemento 1, se distinguen tres posibles casos,  $\alpha = 45^\circ$ ,  $\alpha < 45^\circ$  y  $\alpha > 45^\circ$ .

En el caso en el que  $\alpha = 45^\circ$ , y tal como se puede ver en las Figuras 19 y 20, la resultante  $F_{RA}$  tiene la misma orientación que la línea directriz del elemento 1, por lo que, analizando las componentes de esta resultante en un sistema de referencia solidario al elemento 1, se puede comprobar que esta fuerza no provoca un momento de fuerza con respecto al punto O. Por lo tanto, en esta situación, el elemento 1 no desarrolla tendencia de giro. Queda descartado, pues, el ángulo  $\alpha = 45^\circ$  para el diseño constructivo del elemento 1.

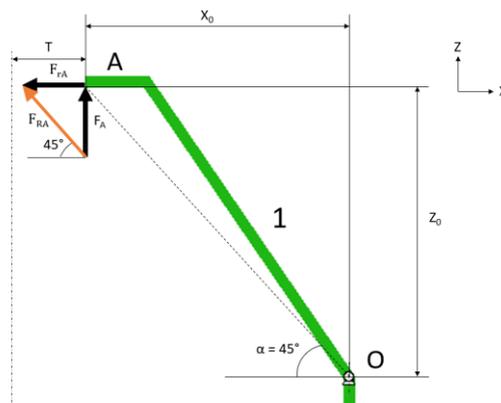


Figura 19. Fuerza resultante de la acción de la botella sobre el elemento 1. Sistema de referencia tierra.  $\alpha = 45^\circ$ .

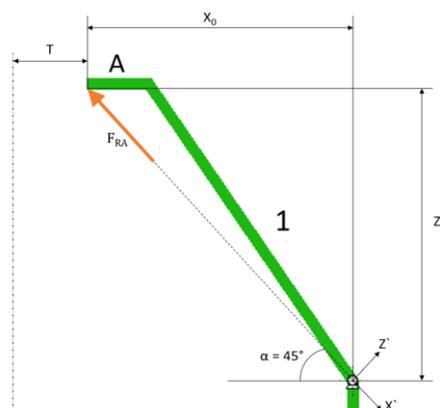


Figura 20. Fuerza resultante de la acción de la botella sobre el elemento 1. Sistema de referencia elemento 1.  $\alpha = 45^\circ$ .

En el caso en que  $\alpha < 45^\circ$ , tal como se puede ver en las Figuras 21 y 22, la fuerza resultante forma un ángulo  $\gamma$  que toma la expresión  $\gamma = 45^\circ - \alpha$ . La componente  $F_{RAZ'}$  (en el sistema de referencia elemento 1) provoca un momento horario con respecto al punto O, por lo que el elemento 1 tendería a abrirse cuando sobre el punto A se aplique la fuerza en cuestión. La componente  $F_{RAX'}$  pasa por el punto O, por lo que no genera momento con respecto a este punto. Por lo tanto, esta opción queda también descartada.

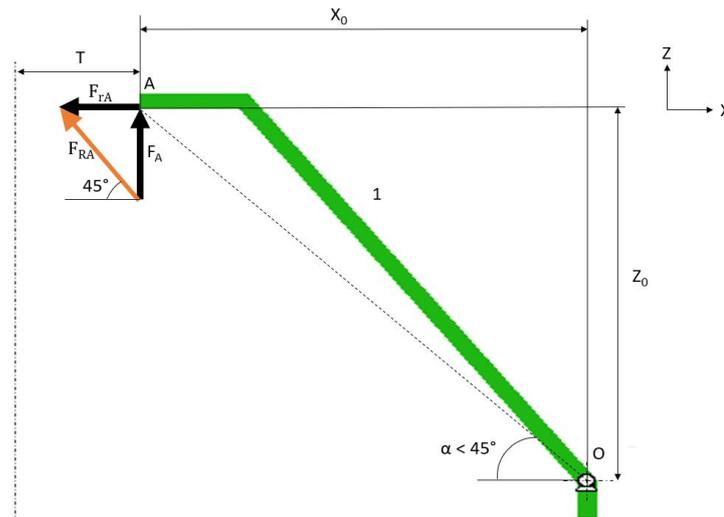


Figura 21. Fuerza resultante de la acción de la botella sobre el elemento 1. Sistema de referencia tierra.  $\alpha < 45^\circ$ .

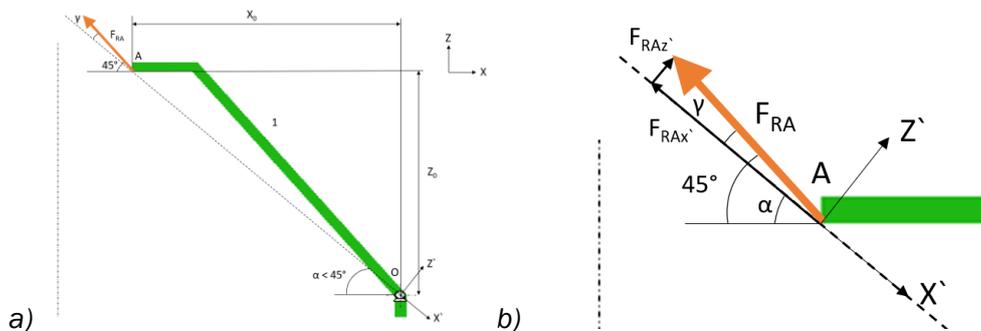


Figura 22. a) Fuerza resultante de la acción de la botella sobre el elemento 1. Sistema de referencia elemento 1; b) Descomposición de la resultante en el sistema de referencia elemento 1.  $\alpha < 45^\circ$ .

En el caso en que  $\alpha > 45^\circ$ , tal como se puede ver en las Figuras 23 y 24, la fuerza resultante forma un ángulo  $\gamma$  que toma la expresión  $\gamma = \alpha - 45^\circ$ . La componente  $F_{RAZ'}$  (en el sistema de referencia elemento 1) provoca un momento antihorario con respecto al punto O, por lo que el elemento 1 tendería a cerrarse cuando sobre el punto A se aplique la fuerza en cuestión. La componente  $F_{RAX'}$  pasa por el punto O, por lo que no genera momento con respecto a este punto. Se comprueba que esta opción constructiva cumple

con el criterio funcional específico II, por lo que se toma ésta para dimensionar el elemento 1.

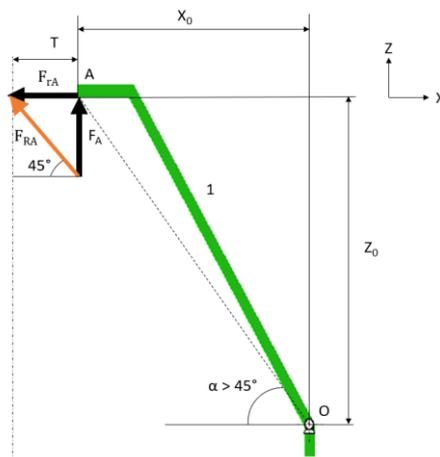


Figura 23. Fuerza resultante de la acción de la botella sobre el elemento 1. Sistema de referencia tierra.  $\alpha > 45^\circ$ .

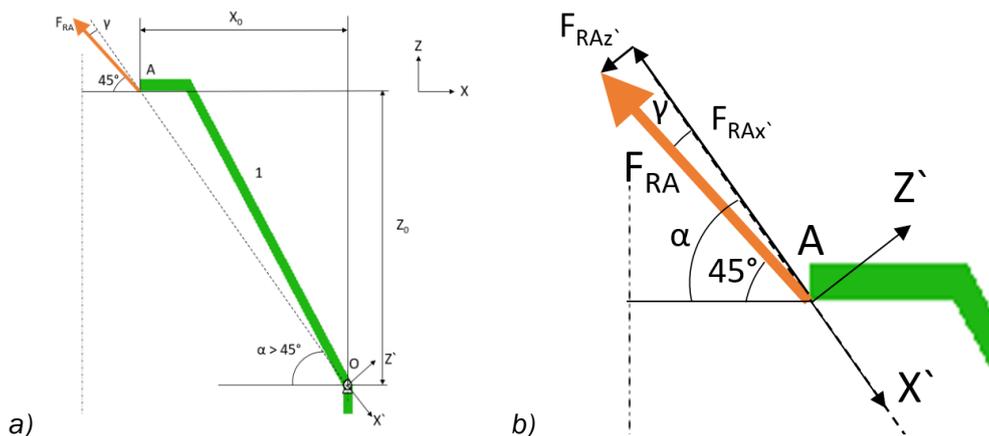


Figura 24. a) Fuerza resultante de la acción de la botella sobre el elemento 1. Sistema de referencia elemento 1. b) Descomposición de la resultante en el sistema de referencia elemento 1.  $\alpha > 45^\circ$ .

De esta manera, se establece la condición constructiva de  $Z_0 > X_0$ .

### 2.3.1.2. SEGUNDA FASE DEL DIMENSIONAMIENTO DEL MECANISMO PRINCIPAL

En la segunda fase del dimensionamiento del mecanismo principal se aborda el cálculo de las dimensiones del tramo inferior del elemento 1 (tramo  $\overline{OB}$ ), así como las dimensiones del resto de elementos del mecanismo (elementos 2 y 3). En la Figura 25 se puede observar el diagrama del mecanismo principal, en posición cero, en el que se han representado todas las dimensiones necesarias para determinar por completo las dimensiones del mecanismo.

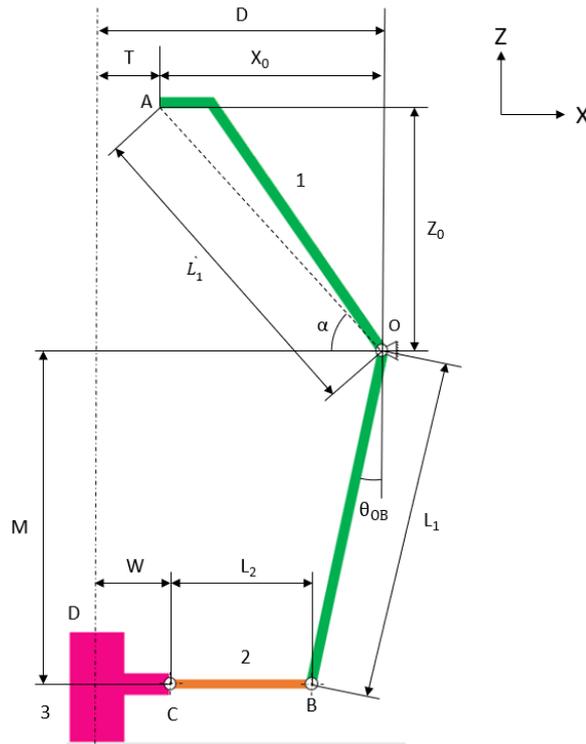


Figura 25. Diagrama del mecanismo principal. Posición cero.

Atendiendo a la Figura 25, y comparando esta imagen con las Figuras 2, 5 y 10, es claro determinar que la magnitud  $X_0$  debe cumplir la condición geométrica  $X_0 > U$ . Además, el punto A del elemento 1 debe situarse, cuando el mecanismo se posiciona en posición cero, a una distancia T del eje de la botella, para conseguir que en esta posición la superficie de contacto entre este elemento y el borde de agarre sea la máxima superficie posible. Por otro lado, es necesario tener en cuenta en el diseño que la altura sólida del elemento 1 en el punto A no debe superar la magnitud H, para evitar interferencia mecánica con el cuerpo de la botella en el movimiento giratorio que experimenta este elemento.

Para abordar esta fase de cálculo, se deciden a priori algunas de las magnitudes representadas en la Figura 25, para determinar las demás a partir de ecuaciones geométricas. Las magnitudes que se definen a priori son:

$$\alpha = 60 \text{ deg} \rightarrow \alpha = 1,05 \text{ rad}$$

$$X_0 = 70 \text{ mm}$$

$$L_1 = 50 \text{ mm}$$

$$\theta_{OB} = 0 \text{ deg} \rightarrow \theta_{OB} = 0 \text{ rad}$$

$$W = 40 \text{ mm}$$

Sabiendo que  $U = 3,5 \text{ mm}$  y  $T = 13 \text{ mm}$ . Es importante destacar que se ha dispuesto que el elemento 2 esté horizontal cuando el mecanismo se posicione en posición cero. Las ecuaciones geométricas que se usan para determinar el resto de las dimensiones del mecanismo son:

$$D = T + X_0$$

$$Z_0 = X_0 \operatorname{tg}(\alpha)$$

$$L'_1 = \sqrt{X_0^2 + Z_0^2}$$

$$\theta = \arccos\left(\cos(\alpha) - \left(\frac{U}{L'_1}\right)\right) - \alpha$$

De donde se obtiene:

$$D = 83 \text{ mm}$$

$$Z_0 = 121,24 \text{ mm}$$

$$L'_1 = 140 \text{ mm}$$

$$\theta = 0,03 \text{ rad}; \theta = 1,64 \text{ deg}$$

Para poder determinar las dimensiones  $M$  y  $L_2$  es necesario analizar las ecuaciones de enlace geométricas en la posición cero del mecanismo, con objetivo de determinar las dimensiones mencionadas. Sin embargo, es importante tener en cuenta que este desarrollo es independiente del estudio de posiciones (necesario para realizar el análisis cinemático y dinámico) que se desarrollará posteriormente, en el Apartado 2.3.4., apartado donde se obtienen estas ecuaciones. Las ecuaciones de enlace geométricas del mecanismo principal son:

$$D = W + L_2 \cos(\beta) + L_1 \operatorname{sen}(\theta)$$

$$M + Z = L_2 \operatorname{sen}(\beta) + L_1 \cos(\theta)$$

Particularizando estas ecuaciones para la posición cero:

$$\beta = 0 \text{ deg} \rightarrow \beta = 0 \text{ rad}$$

$$Z = 0 \text{ mm}$$

$$\theta = 0 \text{ deg} \rightarrow \theta = 0 \text{ rad}$$

Quedan:

$$D = W + L_2 \cos(\beta) + L_1 \sin(\theta) \rightarrow 83 = 40 + L_2$$

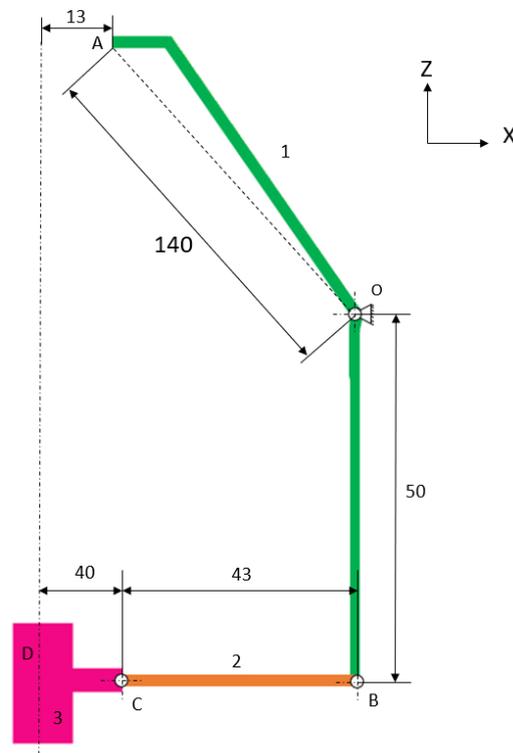
$$M + Z = L_2 \sin(\beta) + L_1 \cos(\theta) \rightarrow M + 0 = 50$$

De donde se obtiene:

$$L_2 = 43 \text{ mm}$$

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

De manera que, quedan definidas todas las dimensiones del mecanismo principal, las cuales pueden verse en la *Figura 26*.



*Figura 26. Mecanismo principal dimensionado.*

### 2.3.2. ANALISIS DE POSICIONES

El mecanismo principal lo componen tres elementos, tal como se puede ver en la *Figura 27*, a saber:

Elemento 1. Garra: Haciendo las veces de manivela, está unida a la bancada mediante un par rotativo (punto O) que permite el giro de la garra con respecto a la bancada.

Elemento 2. Biela: Elemento transmisor entre garra y desplazador. Unido a ambos mediante uniones articuladas que permiten el giro relativo (puntos B y C).



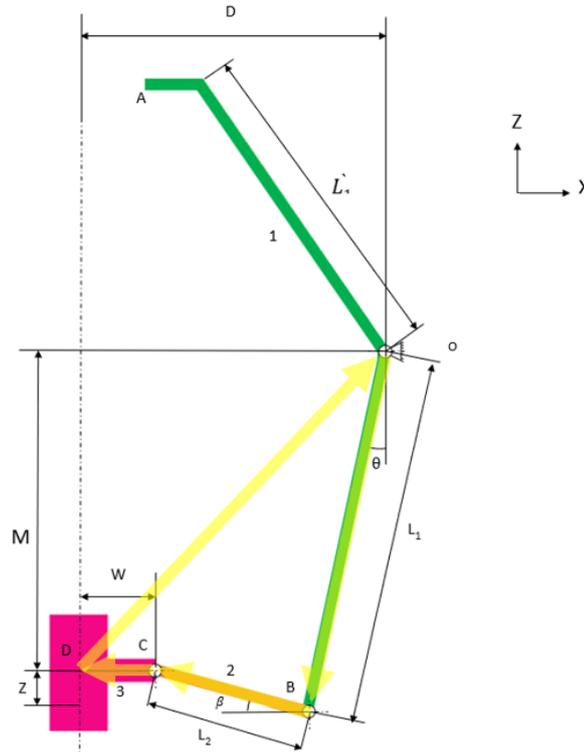


Figura 28. Mecanismo principal en posición cualquiera.

A partir de la ecuación vectorial planteada, se obtienen dos ecuaciones de enlace, teniendo en cuenta las proyecciones de los vectores en los ejes X y Z:

$$D = W + L_2 \cos(\beta) + L_1 \sin(\theta)$$

$$M + Z = L_2 \sin(\beta) + L_1 \cos(\theta)$$

De manera que, las ecuaciones de enlace geométrico expresadas en forma matricial quedan:

$$\phi(q) = \begin{bmatrix} L_2 \cos(\beta) & L_1 \sin(\theta) & (-D + W) \\ L_2 \sin(\beta) & L_1 \cos(\theta) & (Z - M) \end{bmatrix} = 0$$

Cabe destacar que las ecuaciones de enlace obtenidas no tienen en cuenta la parte superior del elemento 1 (tramo  $\overline{AO}$ ). Dado que esta parte pertenece al elemento 1, la posición de esta parte superior se puede calcular teniendo en cuenta que el elemento 1 lo forma la unión rígida de las partes superior e inferior. Es importante señalar que la coordenada Z del mecanismo es positiva ( $Z > 0$ ) si el elemento 1 se encuentra por debajo de la posición O, y negativa ( $Z < 0$ ) si se encuentra por encima de esta posición. En cuanto al criterio de signos de las coordenadas de giro, serán positivas si el giro es antihorario, y negativas si es horario, según el diagrama de la Figura 28. Lo primero que se procede a calcular son las posiciones de trabajo de este mecanismo. El dato de entrada que se toma para calcular las posiciones del

mecanismo es el recorrido horizontal del punto A,  $X_{Ai}$  (mm), el cual puede observarse en la *Figura 17* (a criterio del diseñador), ya que este recorrido informa de la superficie efectiva de contacto que existe entre el elemento 1 y el borde de agarre de la botella. De manera que, los valores que se establecen para esta magnitud pueden verse en la *Tabla 2*:

<i>Posición</i>	<i>I</i>	<i>cero</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>
$X_A$ (mm)	0,3	0	3,5	5

*Tabla 2. Recorrido horizontal del punto A del mecanismo principal.*

Cabe destacar que, en la posición III,  $X_{A,III} = U = 3,5$  mm. Para realizar el análisis de posiciones del mecanismo principal, es necesario identificar los parámetros geométricos que definen las posiciones de este mecanismo. Los parámetros que es necesario hallar son:

- $\theta_i \equiv$  Ángulo de giro del elemento 1, respecto del punto O.
- $Z_{Ai} \equiv$  Carrera vertical del punto A.
- $\beta \equiv$  Ángulo de giro del elemento 2.
- $Z \equiv$  Carrera vertical del elemento 3.

Las fórmulas utilizadas para hallar estos parámetros:

El giro  $\theta_i$  del elemento 1 respecto del punto O:

$$\cos(\alpha + \theta_i) = \frac{X_0 - X_{Ai}}{L_1} \rightarrow \theta_i = \arccos\left(\frac{X_0 - X_{Ai}}{L_1}\right) - \alpha$$

La carrera vertical  $Z_{Ai}$  del punto A:

$$\text{sen}(\alpha + \theta_i) = \frac{Z_0 - Z_{Ai}}{L_1} \rightarrow Z_{Ai} = \arcsen\left(\frac{Z_0 - Z_{Ai}}{L_1}\right) - \alpha$$

Ángulo de giro del elemento 2,  $\beta$  (despejando de las ecuaciones geométricas de enlace):

$$\beta_i = \arccos\left(\frac{L_1 \text{sen}(\theta_i) + W - D}{-L_2}\right)$$

Carrera vertical del elemento 3,  $Z$  (despejando de las ecuaciones geométricas de enlace):

$$Z_i = L_1 \cos(\theta) + L_2 \text{sen}(\beta) - M$$

Los resultados obtenidos, en función de los datos de entrada expuestos en la *Tabla 2*, se detallan en la *Tabla 3*:

<i>Posición</i>	<i>I</i>	<i>cero</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>
$X_A$ (mm)	0,3	0	3,5	5
$Z_A$ (mm)	0,17	0	1,95	2,75
$\theta$ (rad)	-0,002	0	-0,29	-0,04
$\beta$ (rad)	-0,076	0	0,259	0,309
$Z$ (mm)	-3,258	0	10,982	13,039

Tabla 3. Análisis de posiciones del mecanismo principal.

### 2.3.3. LEY DE DESPLAZAMIENTO DEL ELEMENTO 3

Dado que en el mecanismo principal se ha establecido que la coordenada generalizada independiente es la coordenada  $q_i = \{Z\}$ , que describe la posición del elemento 3, se hace necesario introducir como dato tanto la posición como la velocidad de este elemento, para poder resolver el modelo matemático de la cinemática y la dinámica del sistema. Para abordar este problema, es necesario diseñar una ley de desplazamiento que gobierne el movimiento del elemento 3, de manera que su posición y velocidad queden definidas. Por lo tanto, los objetivos que se persiguen con la definición de esta ley de desplazamiento son:

- Definición precisa de la posición y la velocidad del elemento 3 del mecanismo principal, en sus posiciones de trabajo.
- Definición del perfil de leva necesario en el mecanismo de desbloqueo, que asegure que el elemento 3 del mecanismo principal se mueve según la ley de desplazamiento diseñada, cuando se accione el mecanismo de desbloqueo. Este desarrollo se expone en el Apartado 2.4.1.

La ley de desplazamiento describe el movimiento del elemento 3 en función del tiempo, a partir de unas especificaciones dadas. Para la definición de la ley se utilizan las curvas de Bézier, que son funciones definidas sobre la base de los polinomios de Bernstein. [2-p.107] Sobre un dominio unitario, los polinomios de Bernstein de grado  $n$  son

$$B_i^n(u) = C_n^i u^i (1-u)^{n-i} \quad i = 0, \dots, n$$

donde

$$C_n^i = \frac{n!}{i!(n-i)!}$$

[2-p.108] Una función polinómica  $b(u)$  de grado  $n$  se expresa en esta base como

$$b(u) = \sum_{i=0}^n b_i B_i^n(u) \quad u \in [0,1]$$

donde los  $n + 1$  coeficientes se denominan ordenadas de Bézier. El gráfico de la curva  $b(u)$  se denomina curva de Bézier no paramétrica. Para cada ordenada  $b_i$  se define un punto  $\mathbf{b}_i$  de coordenadas  $\left(\frac{i}{n}, b_i\right)$  denominado punto de control y el conjunto de los puntos de control definen el denominado polígono de control de la curva.

[2-p.110] La utilización de las curvas de Bézier para definir una función  $b(s)$  de la variable independiente  $s$  entre  $s_0$  y  $s_1$ ,  $s \in [s_0, s_1]$ , y el hecho de que las curvas de Bézier  $b(u)$  se definen en un dominio unitario  $u \in [0,1]$ , hace que usualmente se utilice el cambio lineal de variable  $u = \frac{(s-s_0)}{(s_1-s_0)}$ .

En el caso de este trabajo, la variable de movimiento que se introduce como dato para desarrollar el polinomio de Bernstein es el ángulo de giro del mecanismo de desbloqueo ( $\varphi$ ), ya que es este mecanismo el que acciona al elemento 3 del mecanismo principal. Cabe destacar que en el Capítulo 1 se menciona que el mecanismo de desbloqueo se concibe como una palanca en la cual va integrado un perfil de leva, que acciona al elemento 3 según la ley de desplazamiento que se calcula en este apartado. Se pretende definir la posición del elemento 3 del mecanismo principal, en función del ángulo girado del mecanismo de desbloqueo. Por lo tanto, el cambio de variable oportuno es:

$$u = \frac{(\varphi - s_0)}{(s_1 - s_0)}$$

De manera que, se procede a definir los puntos de control del polinomio. Por especificaciones de diseño, tal como se desarrolla en el Apartado 2.3.2., la carrera que ha de realizar el elemento 3 del mecanismo principal, definida por tramos, es:

- Tramo I-cero: Desde la posición de autobloqueo a la posición cero, el elemento 3 recorre  $Z_{I-0} = 3,258 \text{ mm}$ .
- Tramo cero-II: Desde la posición cero hasta la posición II, el elemento 3 recorre  $Z_{0-II} = 10,982 \text{ mm}$ .
- Tramo II-III: Desde la posición II hasta la posición III, el elemento 3 recorre  $Z_{II-III} = 2,057 \text{ mm}$ .

Por lo que la carrera total a realizar por el elemento 3 es  $Z_{total} = 3,258 + 10,982 + 2,057 = 16,297 \text{ mm}$ . Para poder trabajar con valores redondos, y asegurar además que el elemento 3 recorre toda su carrera, se decide

trabajar con la carrera total del elemento 3  $Z_{total} = 18 \text{ mm}$ . Por cuestiones de diseño, para que el mecanismo de desbloqueo sea acoplable a la lanzadera, se establece que este mecanismo tenga como recorrido máximo de giro un ángulo de  $\varphi_{max} \leq \frac{\Pi}{2} \text{ rad}$ .

Este dato es relevante dado que el proceso de diseño de la curva de Bézier implica que se ha de diseñar un tramo equivalente a un giro de  $\varphi_{diseño} \in [0, \Pi] \text{ rad}$ . El tramo entre  $\Pi \text{ rad}$  y  $2\Pi \text{ rad}$  se diseña imponiendo condiciones de continuidad a la curva de Bézier. Dado que el mecanismo de desbloqueo no girará un ángulo mayor a  $\Pi \text{ rad}$ , en este trabajo no se abordará el cálculo de toda la curva de Bézier (mediante la imposición de condiciones de continuidad).

Por lo tanto, dado que se pretende que el mecanismo principal recorra una carrera de  $Z_{total} = 18 \text{ mm}$  en un giro máximo del mecanismo de desbloqueo de  $\varphi_{max} \leq \frac{\Pi}{2} \text{ rad}$ , la curva de Bézier que se va a diseñar se va a desarrollar suponiendo que la carrera total del elemento 3 del mecanismo principal es  $Z_{total\_diseño} = 36 \text{ mm}$ , de manera que la carrera angular total del mecanismo de desbloqueo sería  $\varphi_{max\_diseño} = \Pi \text{ rad}$ . Los puntos de control que se establecen se detallan en la *Tabla 4*, y se pueden observar en la *Figura 29*. Cabe tener en cuenta que se añade un punto de control a mayores, el punto 0, que no se incluye dentro de los puntos de control utilizados para la definición de la curva de Bézier, al no representar movimiento real.

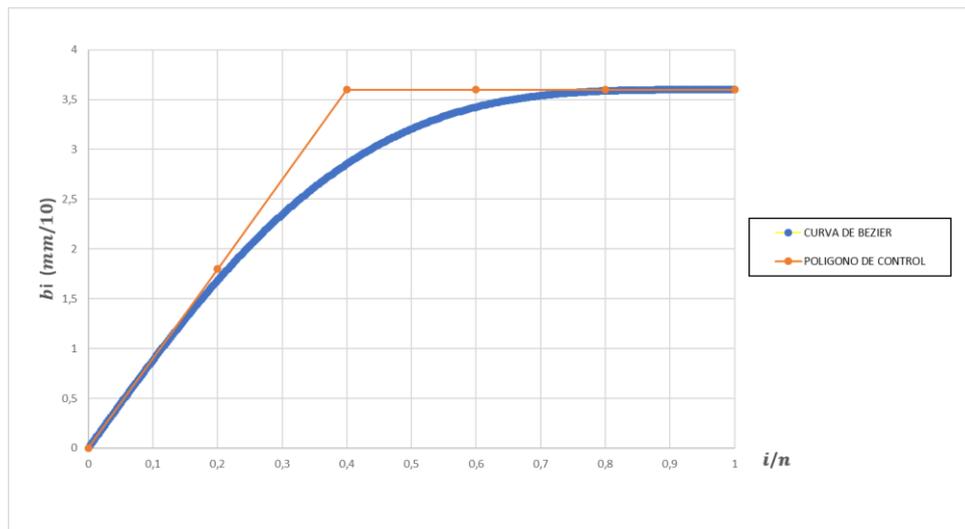
$i$	$n$	$b_i \left( \frac{mm}{10} \right)$	$\left( \frac{i}{n}, b_i \right)$
0	5	0	(0, 0)
1	5	1,8	(0, 2, 1, 8)
2	5	3,6	(0, 4, 3, 6)
3	5	3,6	(0, 6, 3, 6)
4	5	3,6	(0, 8, 3, 6)
5	5	3,6	(1, 3, 6)

*Tabla 4. Puntos de control de la curva de Bézier.*

Es importante señalar que los valores introducidos como coordenadas  $b_i$  tienen unidades de  $\left( \frac{mm}{10} \right)$ , dado que así se consigue desarrollar un perfil de leva en  $mm$ . Tal como se ha indicado anteriormente, los puntos de control abarcan el doble de la carrera del elemento 3. Se puede comprobar como el nodo  $i = 2$  ya está situado a  $Z_{total\_diseño} = 36 \text{ mm}$ , para así asegurar que la

velocidad lineal del elemento 3 es alta, y llega a la posición  $Z_{total} = 18 \text{ mm}$  en el intervalo de giro deseado  $\varphi_{max} \leq \frac{\pi}{2} \text{ rad}$  del mecanismo de desbloqueo. Además, a través de esta disposición de los puntos de control, se puede comprobar como el desplazador se moverá con una velocidad constante hasta que llegue a la posición de carrera máxima (dado que no se han establecido puntos de control intermedios entre  $i = 0$  y  $i = 1$ , así como entre los puntos de control  $i = 1$  y  $i = 2$ , que implican que el incremento de posición en esos intervalos es constante con respecto al giro del mecanismo de desbloqueo). Esto es así dado que el modelo matemático de Bernstein reparte todos los puntos de control establecidos en tramos equiespaciados. La curva de Bézier que surge de estos puntos de control, expresada de manera vectorial, y que se puede ver en la *Figura 29*:

$$b(u) = [(1 - u)^5 \quad 5(1 - u)^4u \quad 10(1 - u)^3u^2 \quad 10(1 - u)^2u^3 \quad 5(1 - u)u^4 \quad u^5] \begin{bmatrix} 0 \\ 1'8 \\ 3'6 \\ 3'6 \\ 3'6 \\ 3'6 \end{bmatrix}$$



*Figura 29. Polígono de control y curva de Bézier no paramétrica.*

[2-p.109] Es importante observar que la curva de Bézier presenta dos propiedades que le dan un significado geométrico a las ordenadas de Bézier, que facilita el diseño y la modificación interactiva de la misma:

- La curva pasa por los puntos extremos  $b_0$  y  $b_5$ , y es tangente al polígono de control en esos puntos.
- La curva se encuentra contenida dentro del dominio convexo de los puntos de control. El polígono de control permite establecer una caja

contenedora dentro de la cual se puede asegurar que se encuentra la curva.

Mediante esta ley de desplazamiento es posible cuantificar la velocidad  $\dot{Z}$   $\left(\frac{m}{s}\right)$  del elemento 3 del mecanismo principal. Esta velocidad lineal coincide con la velocidad de desplazamiento del perfil de leva acoplado al mecanismo de desbloqueo  $x'(\varphi)$   $\left(\frac{m}{s}\right)$ . El cálculo de la velocidad del elemento 3 se desarrolla en el Apartado 2.4.4., ya que este desarrollo se corresponde con el análisis cinemático del mecanismo de desbloqueo. Los resultados obtenidos para la velocidad del elemento 3 del mecanismo principal pueden verse en la *Tabla 5*.

<i>Posición</i>	<i>I</i>	<i>cero</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>
$\dot{Z}$ $\left(\frac{m}{s}\right)$	0,0367	0,0443	0,04	0,0327

*Tabla 5. Velocidad lineal del elemento 3 del mecanismo principal, cuando es accionado por el mecanismo de desbloqueo desde posición I hasta posición IV.*

### 2.3.4. ANALISIS CINEMATICO

Una vez calculadas las posiciones de trabajo del mecanismo, y la velocidad del elemento 3 en cada una de ellas, se procede a hacer el análisis cinemático para determinar las velocidades y aceleraciones de los elementos en las posiciones anteriormente calculadas. Para ello, se derivan con respecto al tiempo las ecuaciones de enlace geométrico halladas para este mecanismo. Poniendo el sistema en función de la coordenada independiente, queda:

$$\dot{\phi}(q) = \frac{d}{dt}(\phi(q)) = \frac{\delta\phi(q)}{\delta q} \dot{q} + \frac{\delta\phi(q)}{\delta t} = \begin{bmatrix} \frac{\delta\phi_1(q)}{\delta\beta} & \frac{\delta\phi_1(q)}{\delta\theta} & \frac{\delta\phi_1(q)}{\delta Z} \\ \frac{\delta\phi_2(q)}{\delta\beta} & \frac{\delta\phi_2(q)}{\delta\theta} & \frac{\delta\phi_2(q)}{\delta Z} \end{bmatrix} = 0$$

$$\rightarrow \dot{\phi}(q) = \begin{bmatrix} -L_2 \text{sen}(\beta) & L_1 \text{cos}(\theta) & 0 \\ L_2 \text{cos}(\beta) & -L_1 \text{sen}(\theta) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\beta} \\ \dot{\theta} \\ \dot{Z} \end{bmatrix} = 0$$

Siendo la matriz jacobiana del mecanismo:

$$\phi_q = \begin{bmatrix} -L_2 \text{sen}(\beta) & L_1 \text{cos}(\theta) & 0 \\ L_2 \text{cos}(\beta) & -L_1 \text{sen}(\theta) & 1 \end{bmatrix}$$

Poniendo el sistema en función de la coordenada independiente:

$$\dot{q}^d = -[\phi_q^d]^{-1}[\phi_q^i]\dot{q}^i \rightarrow$$

$$\rightarrow \begin{bmatrix} \dot{\beta} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -L_2 \sin(\beta) & L_1 \cos(\theta) \\ L_2 \cos(\beta) & -L_1 \sin(\theta) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \dot{z}$$

Planteado el sistema de ecuaciones para resolver las velocidades de los elementos del mecanismo, se procede a analizar las velocidades en cada una de las posiciones características del sistema, para así obtener resultados de la velocidad de los elementos en lo que sería un ciclo en el mecanismo principal, desde la posición I hasta la posición IV. El dato de entrada es la velocidad lineal del elemento 3 ( $\dot{z}$ ), cuyos valores pueden verse en las *Tablas* 5 y 6. Los resultados para cada posición quedan reflejados en la *Tabla* 6. El sistema de ecuaciones de la cinemática ha sido resuelto mediante el programa *Matlab*, y su código puede verse en el Anexo VI.

<b>Posición</b>	<b>I</b>	<b>cero</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>
$\dot{z} \left(\frac{m}{s}\right)$	0,0367	0,0443	0,04	0,0327
$\dot{\theta} \left(\frac{rad}{s}\right)$	0,056	0	-0,211	-0,206
$\dot{\beta} \left(\frac{rad}{s}\right)$	-0,855	-1,03	-0,955	-0,787

*Tabla 6. Velocidades asociadas a los grados de libertad del mecanismo principal.*

Analizando los resultados obtenidos y expuestos en la *Tabla* 6, se observa que la velocidad lineal del elemento 3 aumenta cuando el mecanismo se sitúa en torno a su posición cero, y disminuye cuanto más lejos se sitúa de esta posición. Además, se puede ver que el valor de las velocidades del elemento 3 en todas las posiciones tiene el mismo signo, lo que indica que en todo momento se está desplazando hacia abajo. En cuanto a la velocidad de giro del elemento 1, se observa que la velocidad en la posición I tiene diferente signo que las velocidades en las posiciones III y IV. Esto es así dado que desde la posición I hasta la posición cero el elemento 1 se está cerrando, y desde la posición cero hasta la posición IV el elemento 1 se abre. Además, se puede ver que, en la posición cero, la velocidad angular del elemento 1 es nula, algo que es lógico, ya que el mecanismo en esta posición se encuentra en una bifurcación. En cuanto a la velocidad angular del elemento 2, se ve que todos los valores quedan del mismo signo, ya que el este elemento siempre gira en el mismo sentido en el ciclo calculado (desde posición I hasta posición IV).

Realizado el análisis de las velocidades, se procede a hacer el análisis de las aceleraciones. Este análisis se realiza derivando dos veces respecto del tiempo las ecuaciones de enlace geométrico, y ordenando adecuadamente los términos, para que el sistema dependa de la coordenada independiente:

$$\ddot{\phi}(q) = \frac{d}{dt}(\dot{\phi}(q)) = \frac{\delta^2 \phi(q)}{\delta q^2} \dot{q} + \frac{\delta^2 \phi(q)}{\delta t^2} = \begin{bmatrix} \frac{\delta^2 \phi_1(q)}{\delta \beta^2} & \frac{\delta^2 \phi_1(q)}{\delta \theta^2} & \frac{\delta^2 \phi_1(q)}{\delta Z^2} \\ \frac{\delta^2 \phi_2(q)}{\delta \beta^2} & \frac{\delta^2 \phi_2(q)}{\delta \theta^2} & \frac{\delta^2 \phi_2(q)}{\delta Z^2} \end{bmatrix} = 0$$

Reordenando los términos, para que el sistema dependa de la coordenada independiente:

$$\ddot{q}^d = -[\phi_q^d]^{-1}([\phi_q^i] \ddot{q}^i + [\dot{\phi}_q] \dot{q}) \rightarrow$$

$$\begin{bmatrix} \ddot{\beta} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -L_2 \sin(\beta) & L_1 \cos(\theta) \\ L_2 \cos(\beta) & -L_1 \sin(\theta) \end{bmatrix}^{-1} \left( - \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \ddot{Z} - \begin{bmatrix} -L_2 \cos(\beta) \dot{\beta} & -L_1 \sin(\theta) \dot{\theta} \\ -L_2 \sin(\beta) \dot{\beta} & -L_1 \cos(\theta) \dot{\theta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\beta} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} \right)$$

La aceleración de los elementos del mecanismo se resolverá junto con el análisis dinámico, el cual se desarrolla en el Apartado 2.4.5.

### 2.3.5. ANALISIS DINAMICO

Dado que son conocidos los grados de libertad del mecanismo, es posible realizar este análisis, el cual tiene como objetivo determinar:

1. Fuerzas y momentos de enlace necesarios para garantizar el movimiento del mecanismo principal.
2. Dimensionar el resorte de compresión que se sitúa debajo del elemento 3 del mecanismo, que debe asegurar que la posición natural de este mecanismo es la posición I.
3. Dimensionar la fuerza de desbloqueo necesaria para accionar el mecanismo principal, y que se posicione en la posición IV.

El problema se va a resolver mediante la aplicación de los teoremas vectoriales a cada uno de los elementos del mecanismo. Los teoremas vectoriales que se aplican al sistema mecánico son el TCM (teorema de la cantidad de movimiento) y el TMC (teorema del momento cinético). Mediante la aplicación de estos dos teoremas a cada uno de los elementos del mecanismo, se conseguirá formar un sistema matricial algebraico-diferencial que permitirá resolver la dinámica y la cinemática (análisis de aceleración) simultáneamente. Son necesarios los diagramas de sólido libre de los elementos, en los que se representen las fuerzas y momentos externos que actúan sobre el elemento en cuestión, y las fuerzas y momentos de enlace que se producen, que garantizan el movimiento. Cabe destacar que las masas

de la tornillería se han incluido en la fuerza *Peso* de cada elemento, teniendo así una única fuerza peso en cada elemento, aplicado en cada centro de gravedad respectivo. En el Anexo I pueden verse los diagramas de sólido libre de los elementos del mecanismo, así como las ecuaciones que surgen de aplicar los teoremas vectoriales a cada uno de los elementos. En este mismo Anexo I puede verse el sistema algebraico- diferencial final planteado, que resuelve la dinámica y las aceleraciones de los elementos del sistema.

Cabe destacar que en este planteamiento no se han tenido en cuenta las fuerzas y momentos de fricción asociadas a los pares cinemáticos que unen los elementos del mecanismo, entre sí, y con respecto al eje funcional de la lanzadera. Esto es debido a que, para hacer el estudio analítico de las fuerzas y momentos de fricción es necesario saber la magnitud de las fuerzas y momentos aplicadas en los enlaces. Por lo tanto, en primer lugar, se procede a resolver el sistema matemático sin haber tenido en cuenta estas fuerzas y momentos, para así poder realizar un análisis de las mismas, y determinar cuál es su influencia en el movimiento del mecanismo, y, en consecuencia, la necesidad de resolver el sistema matemático incluyendo estas fuerzas. El análisis de las fuerzas y momentos de fricción se desarrolla en el Anexo III.

Una vez planteado el modelo matemático que describe el mecanismo principal, se resuelve para cada posición de trabajo. Atendiendo a los objetivos que se tienen de este desarrollo (expuestos al inicio de este apartado), se establece la siguiente estrategia de cálculo. En primer lugar, se resolverá el modelo particularizado para la posición IV del mecanismo, para así poder calcular la fuerza elástica necesaria que el resorte de compresión deberá desarrollar para poder llevar al mecanismo a la posición I (la cual, como ya se ha establecido anteriormente, se pretende sea la posición natural del mecanismo). En segundo lugar, y previo dimensionado del resorte de compresión (desarrollo que se expone en el Apartado 2.3.6.), se resolverán las posiciones cero, I y III, para así poder dimensionar la fuerza de accionamiento necesaria que el mecanismo de desbloqueo deberá desarrollar. En paralelo, y en cada posición calculada en este desarrollo, se calcularán las fuerzas de enlace que se transmiten a la bancada, y que garantizan el movimiento del mecanismo.

El sistema matricial planteado se resuelve para cada posición imponiendo las condiciones iniciales de posición, velocidad y cargas conocidas. Los resultados obtenidos de la resolución del sistema se pueden ver en la *Tabla 7*:

<b>Posición</b>	<b>I</b>	<b>cero</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>
$\ddot{z} \left( \frac{m}{s^2} \right)$	-925	2251	-234,1	-17.192
$\ddot{\theta} \left( \frac{rad}{s^2} \right)$	-1409	1	1232,4	109.03
$\ddot{\beta} \left( \frac{rad}{s^2} \right)$	21588	-52352	5895,5	414.6
$F_{X0} (N)$	12	-16	-25,1	-2.08
$F_{Z0} (N)$	16	-75	33,6	4.9
$F_{XB} (N)$	-12	16	25,1	2.08
$F_{ZB} (N)$	25	-66	31,19	3.192
$F_{XC} (N)$	-9	16	22,9	1.9
$F_{ZC} (N)$	4	0	-12	-3.9
$F_{XD} (N)$	-9	16	22,9	1.9
$M_D (Nm)$	0	0	-0,5	-0.16

Tabla 7. Resultados de la dinámica del mecanismo principal.

Siendo las magnitudes calculadas y expuestas en la *Tabla 7*:

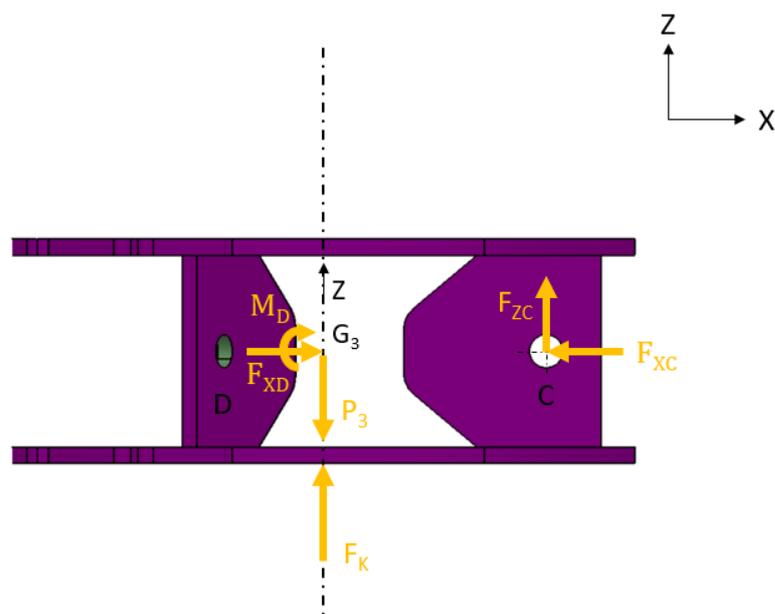
$\ddot{z} \left( \frac{m}{s^2} \right); \ddot{\theta} \left( \frac{rad}{s^2} \right); \ddot{\beta} \left( \frac{rad}{s^2} \right) \equiv$  Aceleraciones de cada elemento del mecanismo.

$F_{X0} (N); F_{Z0} (N); F_{XB} (N); F_{ZB} (N); F_{XC} (N); F_{ZC} (N); F_{XD} (N); M_D (Nm) \equiv$  Fuerzas y momentos de enlace.

Como se puede ver en la *Tabla 7*, se ha resuelto el sistema para cada posición característica del mecanismo principal, imponiendo para cada caso las condiciones iniciales correspondientes a cada posición. Estas condiciones pueden verse en el Anexo I. En el Anexo VI se adjunta el código utilizado para la resolución de estos sistemas matriciales, mediante el programa *Matlab*.

A la vista de los resultados obtenidos, se procede a analizar cada posición característica del mecanismo, con objetivo de abordar los objetivos expuestos al inicio de este mismo apartado, así como puntualizar aspectos importantes referentes a la resolución del sistema algebraico- diferencial en cada una de las posiciones. Además, es importante apreciar que el momento  $M_D (Nm)$  se anula en el mecanismo real, dado que el mecanismo real fabricado lo componen tres réplicas del mismo mecanismo, acoplados al mismo elemento 3, repartidos equiespaciados en torno al eje de la lanzadera.

- Posición IV. Esta es la primera posición que se calcula. En esta posición  $\vec{F}_E = 0 N$ , y  $\vec{F}_{desbloq}$  no se tiene en cuenta dado que, aunque en esta posición, esta fuerza está actuando sobre el elemento 3, en esta posición se pretende dimensionar el resorte de compresión que va acoplado debajo del elemento 3. La función de este resorte es la de llevar al mecanismo principal desde la posición IV hasta la posición I, cosa que solo es posible si el mecanismo de desbloqueo no está accionando al elemento 3 del mecanismo principal. El dimensionamiento del resorte supone hallar la fuerza  $\vec{F}_K$  elástica que debe desarrollar el resorte en esta posición, para que el mecanismo se mantenga en equilibrio. De esta manera, se dimensiona el resorte (cálculo que se desarrolla en el Apartado 2.3.6.), teniendo en cuenta que las dimensiones del resorte que se hallen son las mínimas necesarias, y que, en la realidad, habrá que acoplar un resorte de mayor rigidez que la calculada. En esta posición, la fuerza  $F_{ZC}$  tiene sentido vertical y hacia abajo, lo que indica que el elemento 3 tiende a seguir moviéndose hacia abajo cuando la botella ha sido liberada. Es importante tener en cuenta que esta posición se resuelve sin la presencia de la fuerza elástica que desarrolla el resorte. De hecho, haciendo el equilibrio estático al elemento 3, es como se dimensiona el resorte necesario para hacer que el mecanismo vuelva a la posición I automáticamente. En la *Figura 30* se puede ver el diagrama de fuerzas a través del cual se desarrolla el equilibrio estático en el elemento 3.



*Figura 30. Diagrama de fuerzas para equilibrio estático en elemento 3. Dimensionamiento de la fuerza elástica que debe desarrollar el resorte.*

La ecuación que surge de plantear el equilibrio estático del elemento 3, representado en la *Figura 30*:

$$\Sigma \vec{F}_z = 0 \rightarrow -\vec{P}_3 + 3\vec{F}_{ZC} + \vec{F}_K = 0$$

Hay que tener en cuenta que el sumatorio de fuerzas se iguala a cero para así calcular la fuerza elástica mínima necesaria para mantener al mecanismo en la posición IV. De esta manera, se calcularán las dimensiones del resorte que cumple con esta función. Además, puede verse que la fuerza  $\vec{F}_{ZC}$  se multiplica por 3, ya que el modelo matemático se ha hecho teniendo en cuenta una sola de las tres réplicas que tiene el mecanismo real. Resolviendo la ecuación planteada, queda:

$$-5,194 + 3 \cdot (-3,9) + \vec{F}_K = 0 \rightarrow$$

$$\vec{F}_K = 16,9 \text{ N}$$

Esta fuerza elástica (la mínima necesaria) se usa como dato para dimensionar el resorte, en el Apartado 2.3.6. No es necesario restringir la rigidez máxima del resorte a acoplar en el montaje, ya que existe un tope mecánico que limita la carrera del mecanismo en la posición I. El incremento de la rigidez del resorte con respecto a la rigidez mínima teórica calculada se verá reflejado en un aumento de la fuerza de desbloqueo que será necesario aplicar en el mecanismo de desbloqueo.

- Posición I. En esta posición, la fuerza elástica que desarrolla el resorte es  $\vec{F}_{K, \text{ Posicion I}} = K\Delta x = 1090,4 \cdot (1,5 \cdot 10^{-3}) = 1,64 \text{ N}$ . Como se puede comprobar, se ha diseñado el resorte de manera que tenga cierta precompresión en esta posición, en concreto,  $\Delta x = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ , para favorecer el autobloqueo necesario. En esta posición la fuerza  $F_{ZC}$  tiene sentido vertical y hacia arriba, lo que indica que el mecanismo tiende a mantenerse en la posición de autobloqueo, tal como se pretende, según los criterios de diseño.

La fuerza de desbloqueo necesaria para accionar al elemento 3 se calcula planteando el equilibrio estático al elemento 3, esta vez teniendo en cuenta la fuerza elástica que desarrolla el resorte. El diagrama de fuerzas que se va a seguir para hacer este desarrollo se puede ver en la *Figura 31*. Hay que tener en cuenta que el sumatorio de fuerzas vertical se iguala a cero, para así dimensionar la fuerza de desbloqueo mínima necesaria para accionar al elemento 3. Teniendo en cuenta esto, en la lanzadera real será necesario aplicar una fuerza mayor para conseguir accionar al elemento 3.

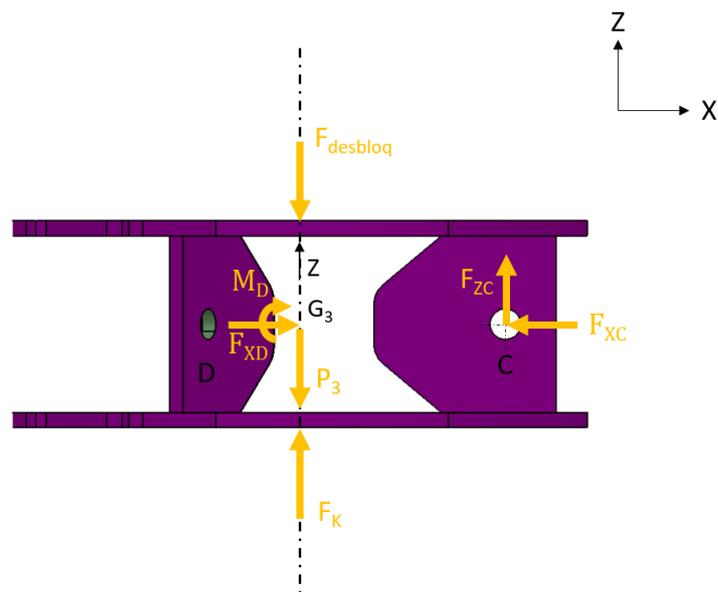


Figura 31. Diagrama de fuerzas para equilibrio estático en elemento 3. Dimensionamiento de la fuerza de desbloqueo necesaria.

La ecuación que surge de plantear el equilibrio estático vertical en el elemento 3 representado en la Figura 31:

$$\Sigma \vec{F}_z = 0 \rightarrow -\vec{P}_3 + 3\vec{F}_{ZC} + \vec{F}_K - \vec{F}_{desbloq} = 0$$

Resolviendo la ecuación planteada, queda:

$$-5,194 + 3 \cdot (4) + 1,64 - \vec{F}_{desbloq} = 0 \rightarrow$$

$$\vec{F}_{desbloq,I} = 8,45 \text{ N}$$

- Posición cero. En esta posición, la fuerza elástica que desarrolla el resorte es  $\vec{F}_{K, \text{Posicion cero}} = K\Delta x = 1090,4 \cdot (4,8 \cdot 10^{-3}) = 5,24 \text{ N}$ . En esta posición la fuerza  $F_{ZC}$  tiene sentido vertical y hacia arriba, lo que indica que el mecanismo tiende a seguir autobloqueado justo en esta posición. Siguiendo el mismo diagrama de fuerzas que en la posición I (Figura 31), se procede a calcular la fuerza de desbloqueo mínima necesaria en esta posición:

$$\Sigma \vec{F}_z = 0 \rightarrow -\vec{P}_3 + 3\vec{F}_{ZC} + \vec{F}_K - \vec{F}_{desbloq} = 0 \rightarrow$$

$$\rightarrow -5,194 + 3 \cdot (0) + 5,24 - \vec{F}_{desbloq} = 0 \rightarrow$$

$$\vec{F}_{desbloq,cero} = 0,046 \text{ N}$$

Tal como se puede ver en el resultado anterior de  $\vec{F}_{desbloq,cero}$ , en esta posición el elemento 3 del mecanismo principal está en equilibrio, lo que

muy posiblemente indique que el accionamiento del mecanismo de desbloqueo solo sea necesario hasta que el mecanismo principal supere esta posición. Se comprueba este hecho analizando la fuerza de desbloqueo necesaria en la posición III.

- Posición III. En esta posición, la fuerza elástica que desarrolla el resorte es  $\vec{F}_K$ .  $\vec{F}_{K, Posición III} = K\Delta x = 1090,4 \cdot (15,74 \cdot 10^{-3}) = 17,16 N$ . En esta posición la fuerza  $F_{ZC}$  tiene sentido vertical y hacia abajo, lo que indica que el elemento 3 tiende a seguir moviéndose hacia abajo cuando la botella ha sido liberada. Siguiendo el mismo diagrama de fuerzas que en la posición I (Figura 31), se procede a calcular la fuerza de desbloqueo mínima necesaria en esta posición. Sin embargo, es importante tener en cuenta que en esta posición no actúa la fuerza  $\vec{F}_E$ , ya que esta posición se sitúa justo en el instante en el que los elementos 1 pierden el contacto con la botella.

$$\begin{aligned} \Sigma \vec{F}_z = 0 &\rightarrow -\vec{P}_3 + 3\vec{F}_{ZC} + \vec{F}_K - \vec{F}_{desbloq} = 0 \rightarrow \\ &\rightarrow -5,194 + 3 \cdot (-12) + 17,16 - \vec{F}_{desbloq} = 0 \rightarrow \end{aligned}$$

$$\vec{F}_{desbloq,III} = -24,034 N$$

Tal como se puede observar, el resultado obtenido de  $\vec{F}_{desbloq,III}$  indica que, en esta posición, no es necesaria la acción del mecanismo de desbloqueo, ya que las fuerzas y momentos que actúan sobre el elemento 3 del mecanismo principal provocan que mantenga su movimiento.

En la *Tabla 8* se pueden ver los resultados obtenidos para  $\vec{F}_{desbloq}$  en las posiciones características del mecanismo:

<i>Posición</i>	<i>I</i>	<i>cero</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>
$\vec{F}_{desbloq} (N)$	8,45	0,046	-24,034	0

*Tabla 8. Resultados de  $\vec{F}_{desbloq}$ .*

Analizando los resultados expuestos en la *Tabla 8*, se puede observar como la fuerza de accionamiento necesaria sobre el elemento 3 del mecanismo principal se reduce a medida que el mecanismo se acerca a su posición cero. Cuando el mecanismo supera esta posición, el accionamiento del mecanismo de desbloqueo deja de ser necesario, ya que el propio mecanismo sigue el movimiento deseado por sí mismo. Cabe destacar que la fuerza de desbloqueo se ha calculado teniendo en cuenta la presencia del resorte de compresión, situado debajo del elemento 3, por lo que la tendencia de

movimiento del mecanismo principal expuesta anteriormente se cumple con la presencia de este resorte.

Con esto, se comprueba que la presencia del resorte únicamente es necesaria para llevar al mecanismo principal desde su posición IV hasta la posición I, con lo que se cumplen los objetivos expuestos al inicio de este mismo apartado.

Para el análisis dinámico del mecanismo de desbloqueo, desarrollo que se expone en el Apartado 2.4.5., se selecciona el resultado mayor obtenido, el cual supone ser  $\vec{F}_{desbloq,I} = 8,45 N$ .

Realizado el análisis dinámico del mecanismo principal, sin haber tenido en cuenta las fuerzas y momentos de fricción, es necesario indicar que este análisis ha sido suficiente para determinar las fuerzas y momentos que se desarrollan en el mecanismo principal, sin haber incluido las fuerzas y momentos de fricción en los pares cinemáticos. Tal como se demuestra en el Anexo III, no es necesario repetir el cálculo incluyendo estas fuerzas, dado que su influencia en el movimiento es mínima debido a la lubricación que se aplica en estos enlaces.

Con objeto de comprobar la validez de los resultados obtenidos en el desarrollo de la dinámica del mecanismo principal, se presentan a continuación las simulaciones obtenidas mediante el programa *Working Model*. Dado que el mecanismo real son tres réplicas distribuidas equiespaciadas en torno al eje de la lanzadera, que comparten el mismo elemento 3, es necesario hacer unos ajustes para poder representar esta situación en el programa, ya que éste solo trabaja con mecanismos planos. Tal como se puede ver en la *Figura 32*, solo se representa una de las réplicas, estableciendo que la masa del elemento 3 es 1/3 de la real. Además, también se establece 1/3 de las fuerzas  $\vec{F}_E$ ,  $\vec{F}_{desbloq}$  y  $\vec{F}_K$ .

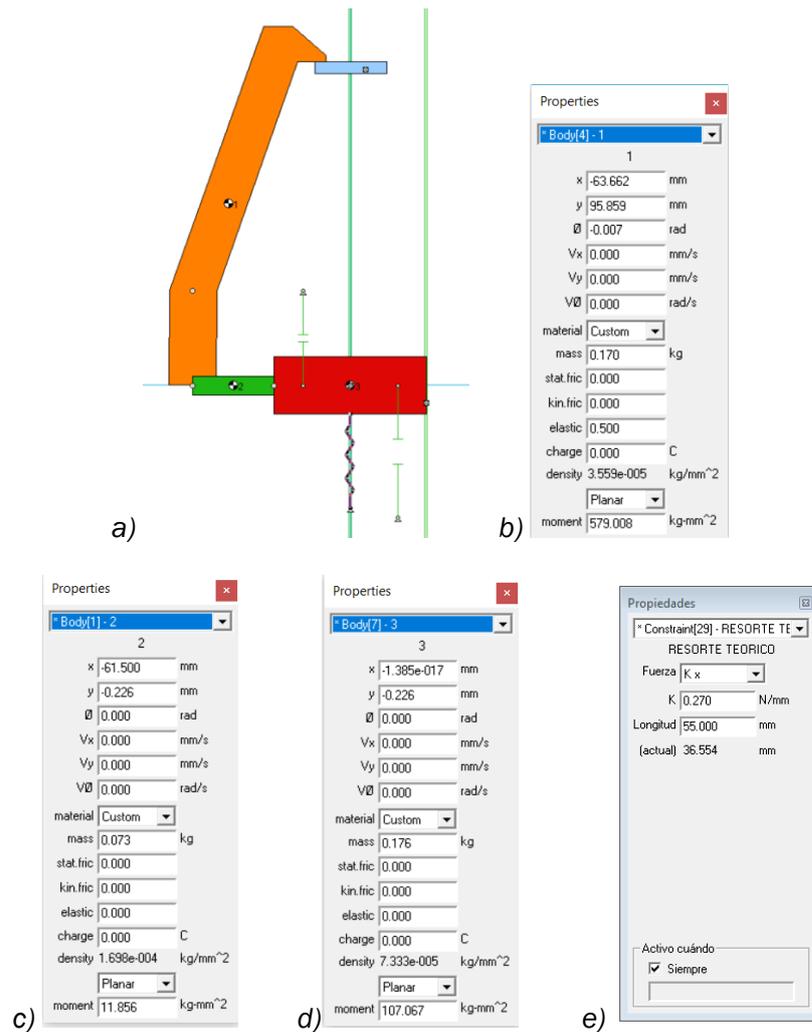


Figura 32. a) Modelo resuelto en Working Model; b) Propiedades Elemento 1; c) Propiedades Elemento 2; d) Propiedades Elemento 3; e) Propiedades Resorte de compresión.

Lo primero que se pretende comprobar es que el resorte calculado, el mínimo necesario para mantener en equilibrio al mecanismo principal en su posición IV, es válido para esta tarea. Tal como se puede ver en la Figura 33, el resorte calculado es capaz de mantener al mecanismo en equilibrio en la posición IV. En esta figura se ha representado el movimiento del mecanismo en un intervalo de tiempo de  $t = 4,3 \text{ seg}$ , en el que se puede observar que la posición del elemento 3 no varía. Cabe tener en cuenta, como ya se ha indicado anteriormente, que la rigidez introducida en el programa es  $1/3$  de la rigidez total del resorte.

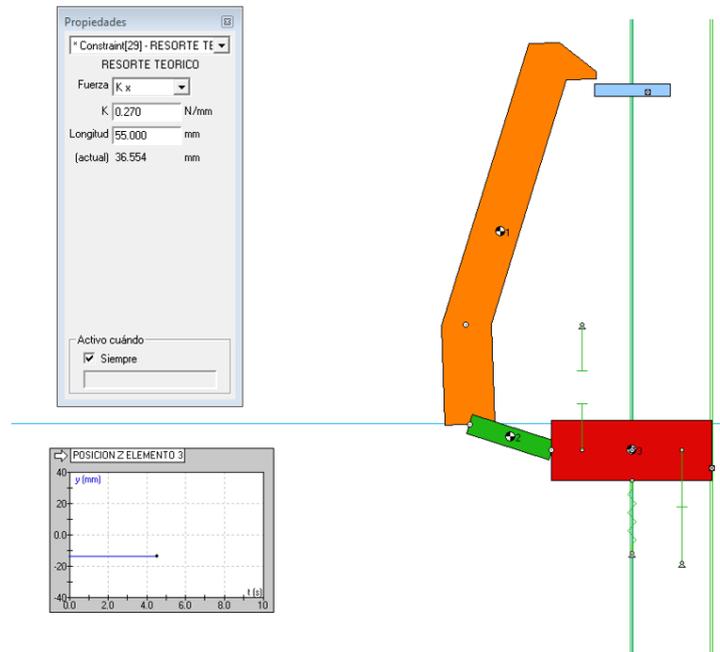


Figura 33. Equilibrio en posición IV del mecanismo principal. Resorte calculado.

Para completar la comprobación del resorte calculado, puede observarse en la Figura 34 como un muelle con rigidez superior a la calculada es capaz de llevar al mecanismo a su posición I. En esta figura se ha representado el movimiento del mecanismo en un intervalo de tiempo de  $t = 0,15 \text{ seg}$ , en los que se puede observar que la posición del elemento 3 varía desde la posición IV hasta la posición I.

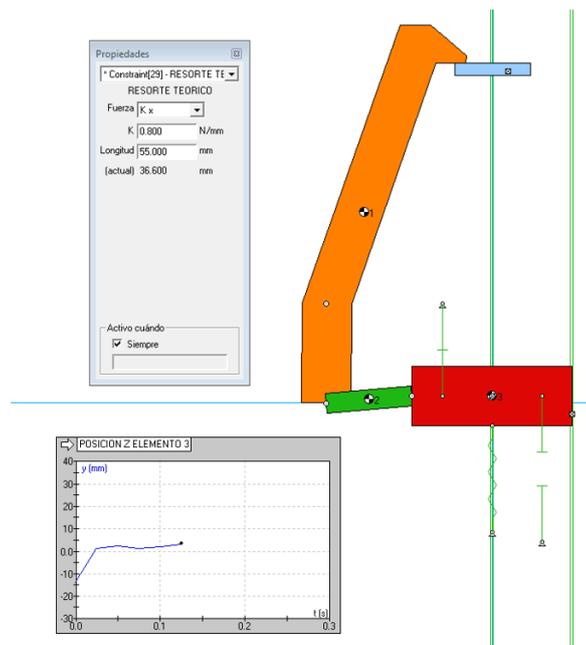
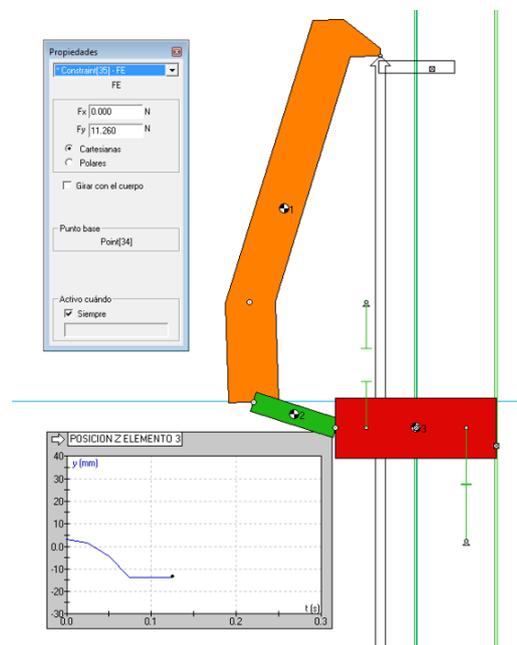


Figura 34. Posición natural del mecanismo principal.

La siguiente comprobación que se desarrolla, es determinar si la fuerza que ejerce la botella sobre el mecanismo principal, cuando está en estado de presión máxima, es suficiente para mantener al mecanismo en su posición I. Puede observarse en la *Figura 35* que esta fuerza no es suficiente para mantener al mecanismo en esta posición, por lo que se hace inevitable la presencia de un resorte. En esta figura se ha representado el movimiento del mecanismo en un intervalo de tiempo  $t = 0,15 \text{ seg}$ , en los que se puede observar que la posición del elemento 3 varía desde la posición I hasta la posición IV, bajo la acción de la fuerza  $\vec{F}_E$ . Hay que tener en cuenta, y tal como se ha indicado anteriormente, que la fuerza  $\vec{F}_E$  introducida en el programa supone ser 1/3 de la fuerza real que ejerce la botella sobre el mecanismo.



*Figura 35. Posición de autobloqueo sin presencia del resorte.*

Como última comprobación, y tal como se puede ver en la *Figura 36*, se valida la fuerza de desbloqueo calculada, que acciona al mecanismo desde la posición I. Hay que tener en cuenta que se ha establecido una fuerza mayor de la calculada, ya que la calculada es la necesaria para hacer que el mecanismo se mantenga en equilibrio. En esta figura se ha representado el movimiento del mecanismo en un intervalo de tiempo de  $t = 0,05 \text{ seg}$ , en los que se puede observar que la posición del elemento 3 varía desde la posición I hasta la posición IV, bajo la acción de la fuerza  $\vec{F}_{desbloq}$ . Hay que tener en cuenta, y tal como se ha indicado anteriormente, que la fuerza  $\vec{F}_{desbloq}$  introducida en el programa supone ser 1/3 de la fuerza real que el mecanismo de desbloqueo debe ejercer sobre el mecanismo real.

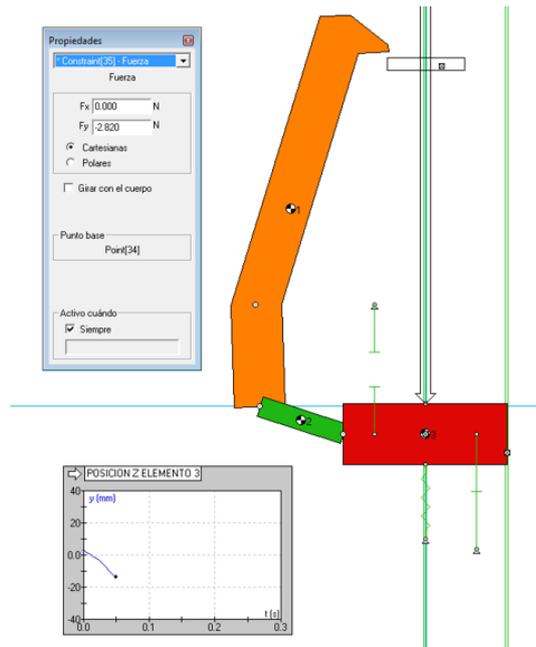


Figura 36. Comprobación de la fuerza de desbloqueo.

### 2.3.6. RESORTE DE COMPRESION HELICOIDAL

Se selecciona un resorte de compresión helicoidal dado que se acopla debajo del elemento 3 del mecanismo principal. Este resorte debe desarrollar fuerza elástica de recuperación que lleve al elemento 3 desde su posición IV a su posición I. El dimensionamiento del resorte se desarrolla para servicio estático, ya que no se le requiere para una función repetitiva en el tiempo. En el Apartado 2.3.5. se dimensiona la fuerza elástica que debe desarrollar este resorte para conseguir que el mecanismo principal quede en equilibrio estático en su posición IV. De esta manera, se procede a dimensionar un resorte que sea capaz de desarrollar esta fuerza elástica, teniendo en cuenta las restricciones geométricas que se tienen debajo del elemento 3.

En la estrategia de diseño del resorte, se han de tomar ciertas decisiones *a priori*. La primera elección es el material que se va a usar, y la segunda es el tamaño del alambre  $d$ . [3-p.511] Una vez que se han tomado todas las decisiones, se genera una columna de los parámetros:  $d$ ,  $D$ ,  $C$ ,  $DE$  o  $DI$ ,  $N_a$ ,  $L_s$ ,  $L_0$ ,  $(L_0)_{cr}$ ,  $n_s$  y  $cdm$ . Se incrementan los tamaños disponibles de alambre, se explora la tabla de parámetros y se aplican las recomendaciones de diseño por inspección. Después de eliminar los tamaños del alambre, se elige el diseño del resorte con la mayor cifra de mérito.

[3-p.514] Como el dispositivo no es un artículo de alta producción, se debe seleccionar un resorte de línea, que se manufactura con alambre de piano. Este material es el más tenaz y el más empleado para la fabricación de resortes pequeños. Presenta la mayor resistencia a la tensión y puede

soportar mayores esfuerzos ante cargas repetidas que cualquier otro material para resorte. En cuanto al diámetro del alambre, se decide que éste se encuentre entre  $0,004 < d < 0,256 \text{ in}$ , lo que implica [3-p.507, Tabla 10-4]:

$$ASTM: A228$$

$$m = 0,145$$

$$A = 201000 \text{ psi} \cdot \text{in}^m$$

[3-p.508, Tabla 10-5] Las propiedades mecánicas del alambre seleccionado para el resorte que se pretende diseñar, teniendo en cuenta que  $0,064 < d < 0,125 \text{ in}$ :

$$E = 28,5 \text{ Mpsi} = 193 \text{ GPa}$$

$$G = 11,75 \text{ Mpsi} = 81 \text{ GPa}$$

Se decide que los extremos del resorte sean *a escuadra y esmerilados*, [3-p.510] por lo que las fórmulas para calcular las dimensiones del resorte de compresión son:

$$\text{Espiras de extremo } N_e = 2$$

$$\text{Espiras totales } N_t = N_a + 2$$

$$\text{Longitud libre } L_0 = pN_a + 2d$$

$$\text{Longitud solida } L_s = dN_t$$

$$\text{Paso } p = \frac{L_0 - 2d}{N_a}$$

Los datos iniciales del problema, que responden a necesidades de funcionamiento o espacio dentro de la lanzadera, son:

$$\text{Fuerza a desarrollar por el resorte } F_{max} = 20 \text{ N} = 4,496 \text{ lb} - f$$

$$\text{Elongacion maxima } \Delta y_{max} = 0,7874 \text{ in} = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Longitud solida } L_s = 1,378 \text{ in} = 35 \text{ mm}$$

$$\text{Longitud libre } L_0 = 2,086 \text{ in} = 53 \text{ mm}$$

$$\text{Diametro interior } DI = 0,63 \text{ in} = 16 \text{ mm}$$

Cabe destacar que  $F_{max} = F_K$ , calculada en el Apartado 2.3.5., que ha sido redondeada para trabajar con números redondos. Con estos datos, se procede al diseño del resorte, según el procedimiento que se desarrolla a

continuación. En primer lugar, se calculan las dimensiones del resorte, teniendo en cuenta que sus extremos son *a escuadra y esmerilados*:

$$N_t = \frac{L_s}{d}$$

$$N_a = N_t - 2$$

$$p = \frac{L_0 - 2d}{N_a}$$

$$D = DI + d$$

Calculadas las dimensiones del resorte, se aplica el criterio de fallo estático, para dimensionar el resorte:

$$S_{sy} = 0'45 \frac{A}{d^m} = 0'45 \frac{201000}{d^{0'145}}$$

La constante elástica del resorte:

$$K = \frac{Gd^4}{8D^3N_a}$$

con lo que la fuerza elástica máxima que desarrolla el resorte:

$$F_{max} = K\Delta y_{max}$$

De manera que, el esfuerzo cortante en la longitud sólida del resorte es:

$$\tau_s = K_B \frac{8F_{max}D}{\pi d^3}$$

siendo:

$$K_B = \frac{4C + 2}{4C - 3}; C = \frac{D}{d}$$

Por último, el factor de seguridad de la longitud sólida:

$$n_s = \frac{S_{sy}}{\tau_s}$$

Se evalúan todos los diámetros  $d$  posibles en el rango elegido en una hoja de Excel, para así poder elegir cual es el resorte adecuado para la función que se pretende. Esta evaluación se puede observar en el Anexo VII. Las características del resorte teórico seleccionado, según los cálculos establecidos, se puede ver en la *Tabla 9*.

$d$ (in)	0,067	$K \left( \frac{lb}{in} \right)$	4,71
$D$ (in)	0,7	$F_{max}$ (lbf)	3,7
$N_t$	20,6	$C$	9,87
$N_a$	18,6	$K_B$	1,13
$p$ (in)	0,105	$\tau_s \left( \frac{lb}{in^2} \right)$	29966,278
$S_{sy}$ (psi)	133852,88	$n_s$	4,46

Tabla 9. Resorte de compresión helicoidal calculado.

[3-p.503, Tabla 10-1] Además de las relaciones y propiedades del material para el resorte, se pueden recomendar algunas condiciones de diseño, a saber:

$$4 \leq C \leq 12$$

$$3 \leq N_a \leq 15$$

$$\xi \geq 0,15$$

$$n_s \geq 1,2$$

donde  $n_s$  es el factor de seguridad al cierre (altura sólida).

Hay que tener en cuenta que el resorte que se acaba de dimensionar es el mínimo necesario para que el mecanismo principal esté en equilibrio en su posición IV. Por lo tanto, habrá que acoplar un resorte en la lanzadera, con mayor rigidez que la calculada, para así conseguir que el mecanismo vuelva a su posición I. Dado que solo se necesita un resorte, lo oportuno sería comprar un resorte fabricado en línea, ya que su costo relativo será mucho menor que la fabricación de un resorte especial para esta función.

## 2.4. MECANISMO DE DESBLOQUEO

Tal como establece la especificación técnica IV, la lanzadera debe ser capaz de mantener la botella en posición hasta que el usuario considere oportuno ejecutar su lanzamiento. Tal como se ha desarrollado en el Apartado 2.3., el mecanismo principal es capaz de asegurar la posición de la botella, ya que queda autobloqueado. Es por esto por lo que es necesario incluir en el diseño un mecanismo secundario, el mecanismo de desbloqueo, que accione al mecanismo principal, y provoque que éste abandone la posición de autobloqueo (posición I). Este mecanismo se concibe como un mecanismo tipo “leva- palpador”, en el que el palpador es el elemento 3 del mecanismo

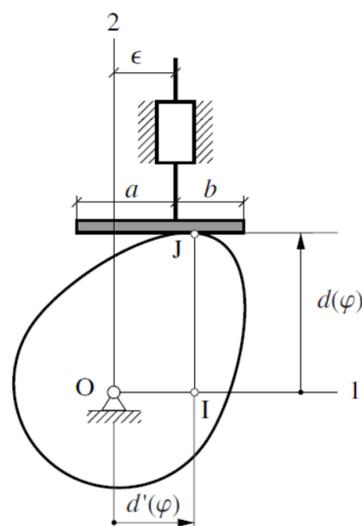
principal, y la leva el propio mecanismo de desbloqueo. El diseño del perfil de leva necesario radica en establecer una ley de desplazamiento para el elemento 3 del mecanismo principal, desarrollo que se expone en el Apartado 2.3.3., con la cual se establezca cómo el diseñador quiere que el elemento 3 realice la carrera vertical que tiene que desarrollar. A partir de esta ley de desplazamiento, es posible hallar el perfil de leva que accione al elemento 3 de manera que éste cumpla con esa ley establecida.

#### 2.4.1. DEFINICION DEL PERFIL DE LEVA

Una vez se ha diseñado la ley de desplazamiento, se procede a definir el perfil de leva necesario para accionar al elemento 3 según esta ley de movimiento. [2-p.89] El análisis del mecanismo leva-palpador consiste en estudiar el movimiento de dos sólidos (leva y palpador) de perfiles conocidos, cada uno con un grado de libertad, que se ponen en contacto mediante un par superior. Este estudio permite determinar:

- La ecuación geométrica de enlace (ley de desplazamiento, ya diseñada), que relaciona el desplazamiento del palpador con el giro de la leva.
- La ecuación cinemática de enlace, que relaciona las velocidades de la leva y del palpador en una configuración dada.
- La velocidad de deslizamiento en el punto de contacto.
- El ángulo de presión, índice del buen funcionamiento del mecanismo.

El palpador (elemento 3 del mecanismo principal) es de tipo plano horizontal de traslación. Con esta configuración, y tal como se puede ver en la *Figura 37*, [2-p.96] el ángulo de presión es nulo ( $\beta = 0$ ) y el punto de contacto *J* de contacto siempre se encuentra sobre la vertical de *I*.



*Figura 37.* [2- p.96, *Figura 4.9. a.*] Análisis de leva con palpador plano horizontal de traslación.

Cabe destacar que el punto  $O$  de la *Figura 37* se corresponde con el punto  $O'$  del mecanismo de desbloqueo. La expresión de la velocidad de deslizamiento queda, en este caso:

$$v_{deslizamiento} = |\bar{I}J|\dot{\phi} = d(\varphi)\dot{\phi}$$

Como se puede comprobar en la *Figura 37*, la distancia de  $J$  a la vertical de  $O$  es  $I = d'(\varphi)$ . Por tanto, para asegurar que  $J$  siempre se encuentre sobre la superficie física del palpador, las dimensiones  $a$  y  $b$  de éste han de verificar las siguientes desigualdades:

$$a > \epsilon - d'_{min}(\varphi)$$

$$b > d'_{max}(\varphi) - \epsilon$$

donde  $\epsilon$  indica la excentricidad (distancia del centro  $O$  de giro de la leva al eje de la guía del palpador). En el caso del palpador del sistema mecánico que se está estudiando,  $a = b = 57,5 \text{ mm}$ , que supone ser el radio de la placa sobre la cual va a apoyar el perfil de leva.

[2-p.102] Para un palpador plano el perfil de la leva es la envolvente de un haz de rectas. En el caso de palpador plano perpendicular a la guía, las componentes del vector de posición  $\bar{O}J(\varphi)$  del punto de contacto  $J$ , en la base solidaria a la guía (referencia tierra):

$$\{\bar{O}J(\varphi)\}_0 = \begin{Bmatrix} d'(\varphi) \\ d(\varphi) \end{Bmatrix}$$

Cambiando de base este vector de posición a la referencia fija a la leva se obtiene la ecuación paramétrica de su perfil:

$$\begin{Bmatrix} x(\varphi) \\ y(\varphi) \end{Bmatrix} = \{\bar{O}J(\varphi)\}_{leva} = [S_\varphi]\{\bar{O}J(\varphi)\}_0$$

Siendo  $S_\varphi$  la matriz de cambio de base. En este caso concreto en el que el ángulo de presión es  $\beta = 0$ , el perfil de la leva no depende de la excentricidad  $\epsilon$ . De manera que, se procede al cálculo del perfil. En primer lugar, es necesario definir la derivada de la curva de Bézier no paramétrica  $b'(u)$ , para así poder definir el vector de posición  $\bar{O}J(u)$ . [2-p.110] La derivada  $b'(u)$  de un polinomio  $b(u)$  de grado  $n$  es un polinomio de grado  $n' = n - 1$ . En la base de Bernstein, se puede comprobar que los coeficientes  $b'_i$  de la derivada se obtienen como:

$$b'_i = n(b_{i+1} - b_i) \quad i = 0, \dots, n - 1$$

Con el cambio de variable que se ha hecho, la relación entre la derivada  $b'(u)$  respecto de  $u$  y la derivada  $b'(\varphi)$  respecto a  $\varphi$  es:

$$b'(\varphi) = b'(u)u'(\varphi) = \frac{b'(u)}{(s_1 - s_0)}$$

Para hallar el vector de posición en una referencia solidaria a la leva, la matriz de cambio de base que se aplica es:

$$[S_\varphi] = \begin{bmatrix} \cos(\varphi) & \text{sen}(\varphi) \\ -\text{sen}(\varphi) & \cos(\varphi) \end{bmatrix}$$

Los datos obtenidos pueden verse en el Anexo VII. Como puede verse en este anexo, de todo el tramo de perfil de leva calculado, solo se coge el intervalo perteneciente a un giro de leva comprendido entre  $\varphi_{\text{leva}} \in [0, 1,4] \text{ rad}$ , ya que con esta carrera angular se consigue la carrera deseada en el elemento 3 del mecanismo principal ( $Z_{\text{total}} = 18 \text{ mm}$ ). En la *Tabla 10* se presentan los valores del perfil de la leva en las posiciones características del mecanismo principal, así como los valores del punto final del perfil de leva que se va a acoplar en el mecanismo de desbloqueo.

	$\varphi$ (rad)	$u(\varphi)$	$b(u)$	$b'(u)$	$x(\varphi)$ (mm)	$y(\varphi)$ (mm)	$\overline{OJ}(\varphi)$	$Z$ (mm)
<b>Pos. I</b>	0,01	0,0032	0,029	9,115	9,115	-0,063	9,115	-3,335
<b>Pos. 0</b>	0,27	0,086	0,763	12,427	12,18	-2,58	12,45	0
<b>Pos. II</b>	1,02	0,324	2,486	23,215	14,268	-18,48	23,35	10,897
<b>Pos. III</b>	1,16	0,37	2,714	25,096	12,51	-21,924	25,24	12,792
<b>Perfil leva</b>	1,4	0,445	3,03	28,04	7,75	-27,12	28,21	15,757

*Tabla 10. Valores del perfil de leva calculado en las posiciones características del mecanismo principal.*

Siendo  $x(\varphi)$  y  $y(\varphi)$ , las coordenadas de los puntos del perfil de la leva, y  $\overline{OJ}(\varphi)$  el vector de posición:

$$\overline{OJ}(\varphi) = \sqrt{(x(\varphi))^2 + (y(\varphi))^2}$$

Se comprueba que el perfil de leva acoplado en el mecanismo de desbloqueo acciona al elemento 3 del mecanismo principal hasta  $Z_{\text{maximo}} = 15,757 \text{ mm}$ , un valor más que suficiente para cumplir con las especificaciones técnicas de diseño del mecanismo principal. El perfil de leva calculado se representa en la

Figura 38, en la que se ve acotado el perfil de leva acoplado al mecanismo de desbloqueo.

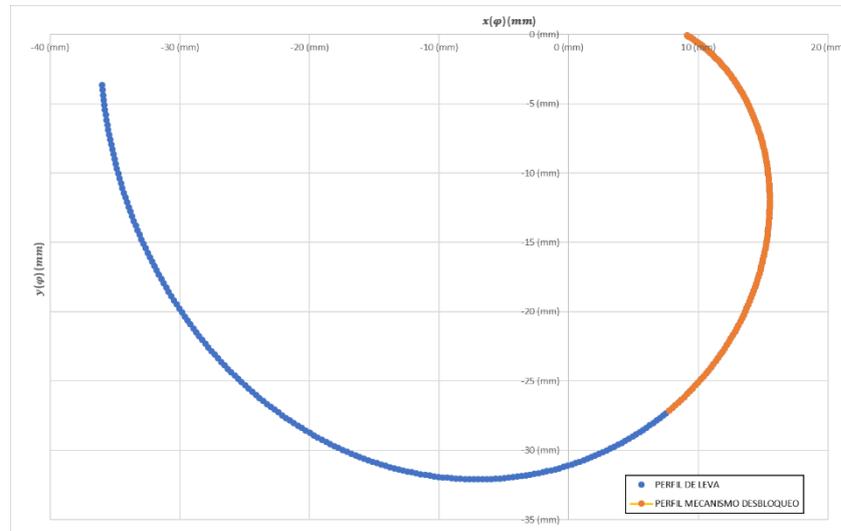


Figura 38. Perfil de leva calculado para giro de leva,  $\varphi_{diseño} \in [0, \Pi]$  rad. Resaltado el tramo de perfil utilizado,  $\varphi_{leva} \in [0, 1,4]$  rad.

Obtenido el perfil de la leva, es necesario comprobar que este perfil es funcional en el sistema mecánico en el que se va a acoplar. Aunque la excentricidad no ha influido en el diseño del perfil de la leva, para demostrar su funcionalidad es necesario saberla, ya que es necesario comprobar que el punto de contacto no se sale de la superficie efectiva del palpador.

$$d'_{min}(\varphi) = 9,115 \text{ mm}$$

$$d'_{max}(\varphi) = 28,04 \text{ mm}$$

$$\epsilon = 13,82 \text{ mm}$$

Este valor de  $\epsilon$  se ha decidido en el diseño mecánico, de manera que el mecanismo de desbloqueo encajara bien en el volumen de la lanzadera.

$$a > \epsilon - d'_{min}(\varphi) \rightarrow 57,5 > 13,82 - 9,115$$

$$b > d'_{max}(\varphi) - \epsilon \rightarrow 57,5 > 28,04 - 13,82$$

Tal como se puede comprobar, el punto de contacto nunca se sale de la superficie efectiva de contacto del palpador. Por último, se procede a dimensionar la velocidad de deslizamiento entre la leva y el palpador. Hay que tener en cuenta que este análisis se va a hacer con la velocidad angular teórica establecida para el mecanismo de desbloqueo  $\dot{\varphi} = 0,89\pi \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$ , dimensionada en el Apartado 2.4.4., así como con la coordenada constructiva

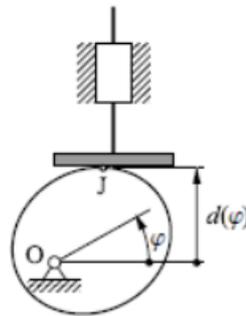
$x'(\varphi)$ . Los resultados en las posiciones características del mecanismo principal pueden verse en la *Tabla 11*.

	$v_{deslizamiento} \left( \frac{mm}{seg} \right)$
<b>Posicion I</b>	36,67
<b>Posicion cero</b>	44,99
<b>Posicion III</b>	46,73
<b>Posicion IV</b>	40,52

*Tabla 11. Velocidad de deslizamiento en las posiciones características del mecanismo principal.*

#### 2.4.2. DIMENSIONAMIENTO

Tal como se ha indicado anteriormente, se ha concebido el mecanismo de desbloqueo como una leva que acciona el elemento 3 del mecanismo principal mediante un contacto deslizante. El diagrama a partir del cual se va a dimensionar el mecanismo de desbloqueo se ilustra en la *Figura 39*.



*Figura 39. [2- p.92, Figura 4.4. b.] Diagrama del mecanismo de desbloqueo.*

En la *Figura 39* se observa que el proceso de dimensionamiento del mecanismo de desbloqueo supone tener en cuenta una serie de criterios funcionales específicos, los cuales se exponen a continuación:

- Debe contener un tramo de perfil de leva suficiente como para asegurar la carrera necesaria en el elemento 3 del mecanismo principal.
- Debe ser posible su accionamiento manual.

El perfil de leva se dimensiona en el Apartado 2.4.1., del cual se selecciona solo un tramo, el necesario para conseguir que el elemento 3 del mecanismo principal recorra la carrera necesaria. El perfil de leva seleccionado, el vector  $\overline{OJ}$ , se puede observar en la *Figura 40*. Cabe destacar de la *Figura 40* que se

ha indicado cual es el punto inicial, el que marca el inicio de carrera  $\overline{O'J_i}$ , y el punto final  $\overline{O'J_f}$ , que marca el final de la carrera del mecanismo principal.

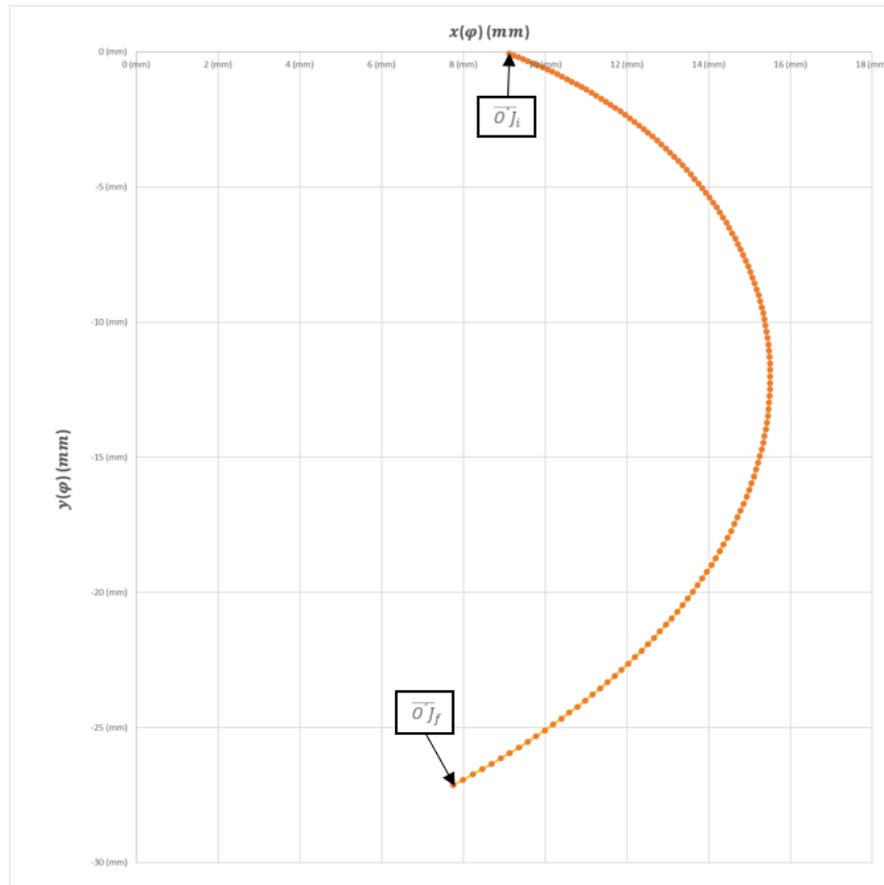


Figura 40. Perfil de leva utilizado en el mecanismo de desbloqueo.

Este perfil es acoplado al mecanismo de desbloqueo según se ilustra en la Figura 41, en la cual ya se puede observar el diseño real del mecanismo de desbloqueo. En esta figura, se observa que, en la práctica, no se ha acoplado el perfil de leva calculado  $\overline{O'J}$ , si no que se ha sumado al vector calculado una distancia de  $\Delta \overline{O'J} = 4 \text{ mm}$ , de manera que, el perfil de leva funcional que se ha acoplado al mecanismo de desbloqueo es:

$$\overline{O'J'} = \overline{O'J} + \Delta \overline{O'J}$$

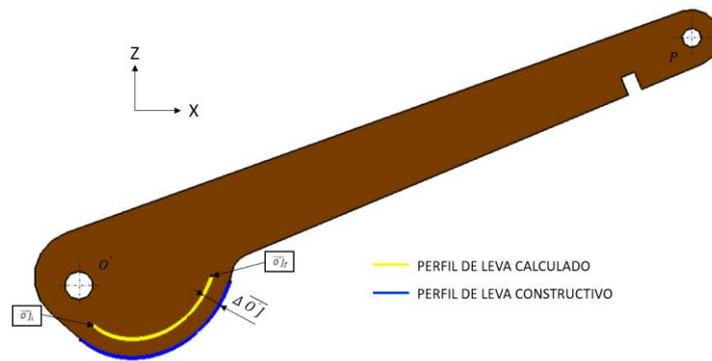


Figura 41. Palanca del mecanismo de desbloqueo. Resaltado en amarillo el perfil teórico de leva acoplado a esta pieza.

Con lo cual, en adelante, el punto de contacto será llamado  $J'$ . Así, se asegura que el mecanismo de desbloqueo es funcional, sin riesgo de rotura o deformación plástica en el punto  $O'$ , ya que en este alojamiento va situada la tornillería que enlaza el mecanismo de desbloqueo con la bancada, y a través del cual se transmiten las fuerzas de enlace que garantizan el movimiento. Para conseguir que el accionamiento de este mecanismo sea manual, basta con diseñar una palanca lo suficientemente larga (tramo  $\overline{O'P}$ ) como para que no se produzcan interferencias mecánicas con el resto de los elementos de la lanzadera. De esta manera, se consigue cumplir con la especificación técnica IV expuesta en el Capítulo 1.

### 2.4.3. ANALISIS DE POSICIONES

El mecanismo de desbloqueo está compuesto por un solo elemento, unido mediante un par rotativo (punto  $O'$ ) a la bancada. La movilidad del mecanismo es:

$$gdl = 3 \cdot 1 - 2 \cdot 1 = 1 \text{ gdl}$$

Para determinar las ecuaciones geométricas de enlace, se va a tener en cuenta el bucle que se representa en la Figura 42, en el que se cumple:

$$\overline{O'J'} + \overline{J'O''} + \overline{O''O'} = \vec{0}$$

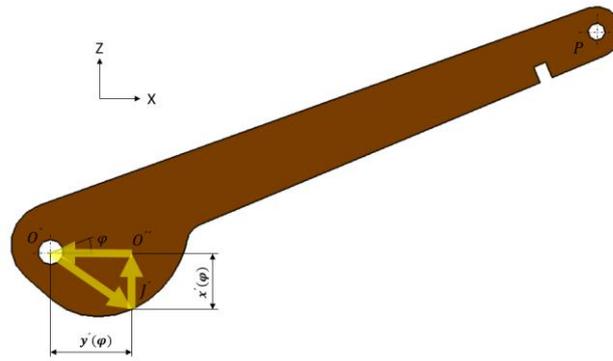


Figura 42. Mecanismo de desbloqueo.

Cabe destacar que las magnitudes representadas  $x'(\varphi)$  y  $y'(\varphi)$  son diferentes a las magnitudes  $x(\varphi)$  y  $y(\varphi)$  (que definen el perfil de leva calculado) halladas en el Apartado 2.4.1., dado que el mecanismo de desbloqueo se ha dimensionado constructivamente con el vector de posición  $\overline{O'J}$ , tal como se indica en el Apartado 2.4.2. Tal como se puede observar en la Figura 42, las coordenadas generalizadas de este mecanismo son  $q = \{\varphi, x'(\varphi), y'(\varphi)\}$ . Sin embargo, la única coordenada generalizada que define el movimiento de este mecanismo, y que, por lo tanto, se establece como coordenada generalizada independiente, es  $q_i = \{\varphi\}$ . Además, se establece esta coordenada generalizada como independiente ya que es esta variable la que se va a controlar manualmente en el accionamiento del mecanismo. Las otras dos coordenadas generalizadas  $q = \{x'(\varphi), y'(\varphi)\}$ , son dependientes de la coordenada generalizada independiente. A partir de la ecuación vectorial planteada, se obtienen dos ecuaciones de enlace, teniendo en cuenta las proyecciones de los vectores en los ejes X y Z:

$$\phi(q) = \begin{bmatrix} x'(\varphi) & -\overline{O'J} \cos(\varphi) \\ y'(\varphi) & -\overline{O'J} \sin(\varphi) \end{bmatrix} = 0$$

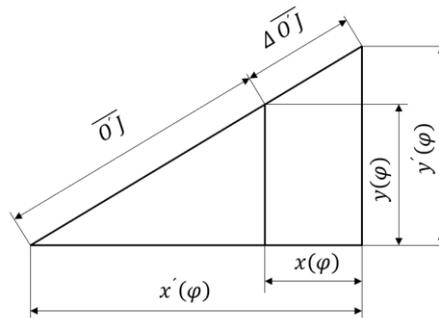
El sistema planteado, formado por las ecuaciones geométricas de enlace, está formado por dos ecuaciones, y tres variables dependientes de la posición del mecanismo. Para solventar este problema, se procede a establecer  $y'(\varphi)$  en función de  $x'(\varphi)$ . De esta manera, el sistema será compatible determinado:

$$\begin{aligned} \sqrt{(x'(\varphi))^2 + (y'(\varphi))^2} &= \overline{O'J} \rightarrow \\ \rightarrow y'(\varphi) &= \sqrt{(\overline{O'J})^2 - (x'(\varphi))^2} \end{aligned}$$

Las ecuaciones geométricas de enlace quedan:

$$\phi(q) = \begin{bmatrix} x'(\varphi) & -\overline{O'J} \cos(\varphi) \\ \sqrt{(\overline{O'J})^2 - (x'(\varphi))^2} & -\overline{O'J} \operatorname{sen}(\varphi) \end{bmatrix} = 0$$

Para el cálculo de las nuevas posiciones del perfil de la leva,  $x'(\varphi)$  y  $y'(\varphi)$ , se recurre a la semejanza de triángulos, tal como se puede observar en la *Figura 43*:



*Figura 43. Semejanza de triángulos.*

En la que se cumple:

$$\frac{x'(\varphi)}{x(\varphi)} = \frac{\overline{O'J} + \Delta \overline{O'J}}{\overline{O'J}} = \frac{y'(\varphi)}{y(\varphi)}$$

Las posiciones del perfil de la leva, calculadas en las posiciones de trabajo del mecanismo principal, se detallan en la *Tabla 12*:

<i>Posición</i>	<i>I</i>	<i>cero</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>
$\varphi$ (rad)	0,01	0,27	1,02	1,16
$x'(\varphi)$ (mm)	13,115	16,094	16,72	14,493
$y'(\varphi)$ (mm)	-0,089	-3,408	-21,65	-25,398

*Tabla 12. Coordenadas del perfil de leva en las posiciones características del mecanismo principal.*

#### 2.4.4. ANALISIS CINEMATICO

La velocidad del mecanismo de desbloqueo queda determinada a partir del perfil de leva calculado, el cual ha sido desarrollado a partir de la ley de desplazamiento diseñada para el elemento 3 del mecanismo principal, en el Apartado 2.3.3. Sabiendo el vector de posición del perfil de leva acoplado al mecanismo de desbloqueo, es posible calcular las componentes de velocidad

de este perfil, a saber, la componente vertical y la componente horizontal. En el presente trabajo solo es de interés la componente vertical de esta velocidad,  $x'(\varphi) \left(\frac{m}{s}\right)$ , ya que ésta coincide con la velocidad lineal de desplazamiento del elemento 3 del mecanismo principal,  $\dot{Z} \left(\frac{m}{s}\right)$ . Es decir,  $x'(\varphi) \left(\frac{m}{s}\right) = \dot{Z} \left(\frac{m}{s}\right)$ . Por lo tanto, la velocidad angular del mecanismo de desbloqueo ha de ser un dato establecido, para así poder dimensionar esta velocidad, tal como se muestra en la *Figura 42*, en donde se pueden ver las coordenadas de giro ( $\varphi$ ) y la componente vertical del vector de posición  $\overline{O'J}$ .

Teniendo en cuenta que la carrera total del mecanismo de desbloqueo es de  $\varphi_{leva} \in [0, 1,4] \text{ rad}$ , se pretende que el mecanismo haga el recorrido en un tiempo relativamente corto, para accionar al mecanismo principal con la mayor velocidad posible. Se pretende esto ya que conviene una velocidad alta de desplazamiento del elemento 3 del mecanismo principal, para minimizar el posible efecto que puedan tener las deformaciones elásticas de la botella (en contacto con los elementos 1 del mecanismo principal) sobre la trayectoria de ésta en el momento del lanzamiento. Por lo tanto, se establece que el tiempo total para que el mecanismo de desbloqueo realice toda su carrera sea  $t_{teorico} = 0,5 \text{ seg}$ . Este tiempo supone ser el tiempo teórico máximo en el cual el mecanismo de desbloqueo ha de realizar toda su carrera angular. Por lo tanto, la velocidad angular teórica del mecanismo de desbloqueo es:

$$\dot{\varphi} = \frac{1,4 \text{ rad}}{0,5 \text{ seg}} = 2,8 \frac{\text{rad}}{\text{seg}} = 0,89\pi \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

De esta manera, la componente vertical de la velocidad del perfil de leva del mecanismo de desbloqueo queda determinado por la siguiente ecuación:

$$x'(\varphi) = \left[ \overline{O'J} \right] \dot{\varphi} \cos(\varphi) \left(\frac{m}{s}\right)$$

Los resultados de esta velocidad se exponen en la *Tabla 13*.

<b>Posición</b>	<b>I</b>	<b>cero</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>
$x'(\varphi) \left(\frac{m}{s}\right)$	0,0255	0,0335	0,0342	0,0282

*Tabla 13. Componente vertical de la velocidad del punto de contacto del perfil de leva.*

Cabe destacar, tal como se ha expuesto anteriormente, que la velocidad calculada en este apartado, cuyos resultados se exponen en la *Tabla 13*,

coincide con la velocidad lineal del elemento 3 del mecanismo principal,  $x'(\varphi) \left(\frac{m}{s}\right) = \dot{Z} \left(\frac{m}{s}\right)$ .

### 2.4.5. ANALISIS DINAMICO

Para realizar el análisis dinámico del mecanismo de desbloqueo, es necesario conocer las ecuaciones que describen la aceleración del sistema. El desarrollo para la obtención de estas ecuaciones se expone en el Anexo II. La aceleración de los elementos del mecanismo se resolverá junto con el análisis dinámico, el cual se desarrolla a continuación.

Dado que son conocidos los grados de libertad del mecanismo, es posible realizar este análisis dinámico, el cual tiene como objetivo determinar:

1. Fuerzas y momentos de enlace necesarios para garantizar el movimiento del mecanismo principal.
2. Dimensionar la fuerza necesaria para accionar el mecanismo de desbloqueo.

El problema se va a resolver mediante la aplicación de los teoremas vectoriales al único elemento del mecanismo. Los teoremas vectoriales que se aplican al sistema mecánico son el TCM (teorema de la cantidad de movimiento) y el TMC (teorema del momento cinético). Mediante la aplicación de estos dos teoremas, se conseguirá formar un sistema matricial algebraico-diferencial que permitirá resolver la dinámica y la cinemática (análisis de aceleración) simultáneamente, desarrollo que se expone en el Anexo II. Este sistema se resuelve para la posición I del mecanismo principal, ya que en esta posición es en la que el mecanismo de desbloqueo debe desarrollar la mayor fuerza de accionamiento,  $\vec{F}_{desbloq} = 8,45 N$ .

Los resultados para esta posición se detallan en la *Tabla 14*. En el Anexo VI se adjunta el código utilizado para la resolución de este sistema matricial, mediante el programa *Matlab*.

$x''(\varphi) \left(\frac{m}{s^2}\right)$	1,7958
$\ddot{\varphi} \left(\frac{rad}{s^2}\right)$	-288,6
$\vec{F}_{x0} (N)$	-0,39
$\vec{F}_{y0} (N)$	-7,622
$F (N)$	0,435

*Tabla 14. Resultados de la dinámica del mecanismo de desbloqueo.*

Siendo:

$x''(\varphi) \left(\frac{m}{s^2}\right) \equiv$  Componente vertical de la aceleración del perfil de leva.

$\ddot{\varphi} \left(\frac{rad}{s^2}\right) \equiv$  Aceleración del elemento.

$\vec{F}_{x0}(N); \vec{F}_{y0}(N) \equiv$  Fuerzas de enlace.

$F(N) \equiv$  Fuerza de accionamiento del mecanismo de desbloqueo.

Tal como se puede ver en la *Tabla 14*, la fuerza manual que ha de aplicarse sobre el extremo de la palanca del mecanismo de desbloqueo para conseguir accionar al mecanismo principal con las condiciones de diseño es:

$$F = 0,435 N$$

## 2.5. SELECCIÓN DE LOS MATERIALES

[4-p.11] La selección del material para las distintas piezas o componentes de un conjunto mecánico es una de las decisiones centrales del proceso de diseño de una máquina. Es necesario tener en cuenta distintas consideraciones al respecto:

- El material elegido debe responder a las exigencias de la función de la pieza o componente. Este aspecto está íntimamente relacionado con sus características físicas (densidad, propiedades ópticas, térmicas y eléctricas) y mecánicas (resistencia mecánica, rigidez, propiedades deslizantes).
- El material debe prestarse al método de fabricación deseado con un coste razonable.
- El coste y las condiciones de suministro son determinantes en la selección del material.
- Debe ser reciclable.

[4-p.12] Los materiales disponibles en ingeniería son muy numerosos y se distinguen fundamentalmente por su composición química, su estado (sólido, líquido, gas), su estructura (cristalina, amorfa), sus distintas fases, sus impurezas y la distribución de estos componentes. El diseño de máquinas se interesa fundamentalmente por los materiales sólidos que realizan funciones estructurales (soportar adecuadamente las tensiones y experimentar deformaciones controladas), funciones de guiado (deslizamiento y adherencia, resistencia a la abrasión) y otras funciones (contención de líquidos, protección, aspectos estéticos y relación con el usuario).

Dado que los requerimientos mecánicos en las piezas de la máquina diseñada en este proyecto son simples (es decir, se corresponden con una o

muy pocas propiedades de los materiales en cuestión), la selección del material se basa en la comparación de los valores que los distintos materiales candidatos ofrecen de esta propiedad. Las propiedades que es necesario controlar en la lanzadera que atiende este proyecto son:

1. Deterioro del material, aspecto a tener en cuenta por el contacto con el fluido de llenado de la botella (agua y aire), y por agentes externos.
2. Limite elástico, el suficiente para soportar las tensiones generadas.
3. Soldabilidad, para el ensamblaje entre los elementos mecánicos.
4. Capacidad de deslizamiento por fricción, en algunas de las piezas.
5. No magnético, para evitar interferencias con los componentes electrónicos que puedan llevar los posibles circuitos asociados al sistema de ensayos de la botella.
6. Compatibilidad entre los diferentes materiales elegidos para la construcción de la lanzadera.

El hecho de que el material tenga que ser soldable, excluye de la selección los materiales cerámicos, quedando en la lista de posibilidades los metales y algunos polímeros. Dado que es necesario que las soldaduras se hagan con cierta precisión, diseñar esta lanzadera con materiales metálicos ofrece una mayor probabilidad de éxito a la hora de montar con precisión todo el conjunto mecánico. Por lo tanto, se selecciona el material metálico como solución óptima para la fabricación de esta lanzadera.

Dentro de los metales, es necesario elegir entre aceros o fundiciones. Las fundiciones no pueden ser sometidas a deformación plástica, no son dúctiles ni maleables, son poco soldables. Sin embargo, son maquinables, y resistentes a la corrosión y al desgaste. Dado que el acero presenta mejores propiedades de soldabilidad, además de tener más ductilidad, se selecciona el acero como material de construcción.

De esta manera, con la selección del acero se abordan con éxito las propiedades necesarias número 2 y 3, expuestas en este mismo apartado. Es importante abordar ahora las propiedades número 1, 4 y 5. Para asegurar una buena propiedad número 1, y dada la facilidad de corrosión que presenta el acero, se opta por elegir el acero inoxidable como material de construcción. Por lo tanto, solo queda elegir el tipo de acero inoxidable necesario, atendiendo a las propiedades necesarias en el material que aún no se han tenido en cuenta. Los tipos de aceros inoxidables, y sus principales características [5-Apartado 7.6.] se pueden ver en la *Tabla 15*:

CLASE	COMPOSICION	CARACTERISTICAS
Martensítico	Cr (10´5 %, 18%) C hasta 1,2%	- Moderada resistencia a la corrosión. - Endurecibles por TT. - Poca soldabilidad.
Ferrítico	Cr (10´5 %, 30%) C hasta 0,08% Pueden contener Mb, Si, Al, Ti, Nb	- Media resistencia a la corrosión. - No pueden ser endurecidos por TT. - Magnético. - Pobre soldabilidad.
Austenítico	Cr (16 %, 26%) C (0´03 %, 0,08%)	- Excelente resistencia a la corrosión. - Endurecido por trabajo en frío. - No magnético.
Dúplex	Cr (18 %, 26%) Ni (4´5 %, 6,5%) Pueden contener Ni, Mb, Cu, Si, Tg	- Magnético. - Buena soldabilidad. - Mejor resistencia a la corrosión de fractura bajo tensión en ambientes salinos.
Endurecible por precipitación	Cr (12 %, 18%) Ni (4 %, 9%) Pueden contener Ni, Mb, Cu, Si, Ti, Al, Bo.	- Media resistencia a la corrosión. - Magnéticos.

Tabla 15. Tipos de aceros inoxidables.

Atendiendo a las propiedades de los diferentes aceros inoxidables que existen, la selección del material óptimo para la fabricación de la lanzadera recae sobre el acero inoxidable austenítico. Dentro de los aceros inoxidables austeníticos se distinguen diferentes series, en función de las cantidades relativas de las aleaciones que intervienen en su composición. [5-Apartado 7.10.] Se puede distinguir entre la serie 200 y la 300. La serie 200 queda descartada dado que estos materiales han de trabajar en exposiciones limitadas a la corrosión. La serie 300 lo componen aceros inoxidables austeníticos cuya finalidad es estructural. Se decide escoger el acero AISI 304, ya que es el acero de uso más general dentro de los aceros inoxidables austeníticos incluidos dentro de la serie 300.

De manera que, **acero inoxidable austenítico AISI 304** es el material con el que se han de fabricar los elementos de la lanzadera.

Existen dos piezas en la lanzadera que se deciden fabricar de aluminio, tal como se expone en el Apartado 4.1., [4-p.33] dado que este material y sus aleaciones destacan por su ligereza y resistencia a la corrosión. Las propiedades mecánicas del aluminio puro son bastante moderadas, pero, aleado con otros elementos, mejoran notablemente. Las piezas que se fabrican de aluminio son la pieza *M132* y *M151*, dado que estas piezas van a estar en contacto con los fluidos con los que se carga la botella. [4-p.35] Gracias a la extraordinaria afinidad con el oxígeno, el aluminio se recubre espontáneamente de una capa superficial de óxido de pocos átomos de espesor (si se destruye, se regenera), tupida e impermeable, que protege al material de oxidaciones posteriores y del ataque de la mayoría de las sustancias orgánicas e inorgánicas. La aleación de aluminio que se decide usar en la fabricación de las piezas pertenece al grupo de las aleaciones de aluminio de forja (laminación, extrusión). Dentro de este grupo, se pretende escoger una aleación de aluminio perteneciente al *Grupo Al*, dentro de los grupos no bonificables de las aleaciones de aluminio para forja. [4-p.136] Este grupo incluye los aluminios comerciales de distintos niveles de pureza superiores a 99,0%. Ninguno de ellos es bonificable, y se usan recocidos o en distintos grados de acritud. Son de bajas características mecánicas, se caracterizan por una buena resistencia a la corrosión, soldabilidad, facilidad de conformación y aptitud para el anodizado. El aluminio más frecuente es el EN AW-1050 [Al 99,5], suministrado recocido (O),  $\frac{1}{4}$  duro (H12) y duro  $\frac{1}{2}$  (H14). Dadas las especificaciones técnicas que debe cumplir la pieza en cuestión, se decide usar el **aluminio EN AW-1050 [Al 99,5] en estado de recocido (O)**.

El material del que está hecho la tornillería usada es acero de medio carbono tratado térmicamente Clase 8.8.

### 2.5.1. ANALISIS DE COMPATIBILIDAD ENTRE MATERIALES

Dado que se van a unir piezas fabricadas de materiales diferentes, en concreto, acero inoxidable austenítico AISI 304 y aluminio EN AW-1050 [Al 99,5] en estado de recocido (O), es necesario analizar la compatibilidad entre estos materiales, para determinar si es preciso tomar alguna medida complementaria en la unión práctica entre estas piezas. Las piezas que han de analizarse son *M132* y *M131*, ya que es la única unión en la que participan estos dos materiales. El problema principal que puede aparecer es la corrosión galvánica, debido a la diferencia de potencial electroquímico que existe entre estos dos materiales. El acero inoxidable es un material netamente catódico, mientras que el aluminio es altamente catódico. Esto implica que el acero inoxidable (material más anódico) va a experimentar corrosión galvánica, provocada por el contacto con el aluminio, en presencia de un electrolito. En este caso, los candidatos a electrolito son la humedad

del ambiente, y el agua (que fluye por el interior de la pieza *M132*) utilizado en el proceso de carga de la botella.

Debido a este riesgo de corrosión, se aconseja incluir un aislamiento eléctrico entre las superficies de la unión práctica entre las piezas *M132* y *M131*, para evitar así el contacto directo entre ambas superficies.

### 3. ORGANIZACION DE TRABAJO EN CAD

En este Capítulo se expone la estructura de trabajo seguida para desarrollar el diseño mecánico de la lanzadera objeto de este trabajo, mediante la herramienta de diseño *Catia V5*. A la hora de desarrollar el dibujo de la lanzadera, con intención de la obtención de los planos de fabricación y montaje, es importante mantener un esquema claro de trabajo, que incluye los aspectos que se desarrollan a continuación.

#### 3.1. CODIGO DE NUMERACION

Es necesario establecer un código de identificación de los diferentes elementos de la lanzadera, para así poder distinguir con claridad cada parte de esta. El criterio de agrupamiento de los diferentes elementos de la lanzadera es la funcionalidad. Los grupos y subgrupos en los que se divide la lanzadera responden a una funcionalidad mecánica común dentro del funcionamiento global de la misma. Este criterio de agrupamiento ha sido reflejado en un código de numeración que permite distinguir la pertenencia de cada marca al grupo funcional en cuestión. Este código de numeración se compone de una *M* seguida de 3 dígitos. De esta manera, el código que identifica a la lanzadera entera es *M000*, dentro de la cual se distinguen 2 grupos funcionales:

*M100*: Grupo funcional *Lanzadera*.

Compone todos los elementos mecánicos que permiten la sujeción y lanzamiento de la botella. Los subgrupos que la conforman son:

*M110*: *Bancada*. Elementos mecánicos que conforman la estructura de toda la lanzadera.

*M120*: Mecanismo principal. Elementos mecánicos cuya función es la de sujeción de la botella durante el proceso de carga de fluidos, para su posterior lanzamiento.

*M130*: Conjunto eje. Elementos mecánicos que se sitúan en el eje funcional de la lanzadera.

*M140*: Mecanismo de desbloqueo. Elementos mecánicos que permiten la activación del mecanismo principal, liberando la botella y permitiendo así el lanzamiento del mismo.

*M150*: Conjunto cohete. Elementos diseñados para acoplar a la botella comercial, y que tienen que ver con el proceso de carga, descarga, y propulsión del mismo.

*M200: Grupo funcional Posicionado de la botella.*

Compone los elementos mecánicos cuya función es la correcta toma de datos en el laboratorio. Para llevar a cabo con eficacia esta función, es necesario controlar la correcta trayectoria de la botella una vez es lanzada, medir las propiedades propulsoras de la misma, así como de cargar los fluidos dentro de la misma, y recircularlos cuando son expulsados. Los subgrupos que la conforman son:

*M210: Estructura secundaria.* Elementos mecánicos que conforman la estructura que alberga la botella durante los ensayos. La botella queda retenida dentro de esta estructura.

*M220: Sistema de guiado.* Elementos mecánicos que permiten controlar la correcta trayectoria vertical de la botella en el momento de su lanzamiento. Permite mantener esta posición vertical cuando la botella está en posición fija.

## **3.2. ESTRUCTURA DE CARPETAS**

La estructura de carpetas hace referencia a la organización del proyecto de diseño. Se genera un conjunto de carpetas que clasifica la información generada, y que permite separar la información de cada ámbito. El esquema de carpetas utilizado en el desarrollo de este trabajo se expone a continuación:

1. Técnica: recoge la información técnica generada.
  - 1.a. Especificaciones: Se recogen las especificaciones técnicas de la lanzadera que se pretende fabricar. Es el punto de partida para el diseño. En este documento, las especificaciones se exponen en el Apartado 2.1.
  - 1.b. Mecánica: En esta carpeta se recoge toda la documentación asociada al diseño de la lanzadera. Esto incluye los archivos CAD, tanto 3D como 2D (planos y lista de materiales), necesarios para la definición completa de la lanzadera. El archivo 3D debe cumplir una serie de criterios de representación, que faciliten su interpretación. Estos criterios se incluyen en el Apartado 3.3.
  - 1.c. Cálculos: Se incluye la documentación que justifica el diseño y valida su ejecución.
  - 1.d. Comerciales: Catálogos de fabricantes de los comerciales y tornillería. Los comerciales y la tornillería usados vienen registrados en la lista de materiales.
2. Compras: Incluye la documentación asociada a la compra de materiales, y todo lo asociado a este ámbito. En concreto, se incluye el presupuesto, y

el seguimiento temporal de las compras. El presupuesto se puede ver en el Anexo V.

3. Redacción: Documentación generada del proyecto. Redacción del proyecto técnico mecánico.
4. Desarrollo: Carpeta concebida para guardar temporalmente documentación asociada a procesos abiertos de cálculo o diseño de la lanzadera. Una vez terminado este proceso, esta documentación debe moverse a su lugar oportuno.
5. Bibliografía: Documentación usada como referencia en el proyecto.

### 3.3. CUESTIONES DE DISEÑO 3D

#### 3.3.1. CODIGO DE COLORES

Se procede a definir el criterio de colores que se ha utilizado para representar los elementos mecánicos de la lanzadera. Estos criterios corresponden:

- Cada marca irá de un color diferente, para así poder ser diferenciada con claridad en el conjunto.
- Colores con significado concreto:
  - Amarillo: Partes roscadas.
  - Azul oscuro: Agujeros con tolerancia.
  - Rosa: Partes mecanizadas.
  - Verde claro: superficies deslizantes.
  - Rojo: Representación de los posibles movimientos de la lanzadera.
  - Gris: Tornillería y comercio.

#### 3.3.2. REPRESENTACIÓN DEL MODELO 3D. PARAMETRIZACIÓN Y CONSTRAIN

En este Apartado se exponen unas normas generales a tener en cuenta en el proceso de dibujo, en el programa CAD *Catia V5*:

- Cada elemento debe aparecer en la posición y orientación adecuadas respecto de un sistema de referencia cero.
- Cada elemento mecánico debe ser dibujado sobre unos ejes locales de referencia, que se sitúen lo más cerca posible del centro de gravedad de éste.
- Todos los elementos mecánicos deben ser dibujados con el mismo criterio de alzado y vistas laterales. Esto hace referencia a la elección de cuál es el eje de referencia que define cada dimensión de la pieza, y su posición dentro del conjunto de la lanzadera.
- El dibujo de cada elemento mecánico debe poder ser modificado a través de los parámetros que definan su geometría.
- Los *sketch* han de estar *iso-constrained*. El *body principal* debe estar definido como objeto de trabajo.

- Cada operación de fabricación debe ir asociada a una operación aislada dentro del diseño de la pieza.
- Han de establecerse *constrain* entre las diferentes piezas de cada grupo funcional, para que la posición relativa entre ellas se actualice en el caso de ser modificada alguna.
- Han de establecerse *constrain* entre los grupos funcionales, que aseguren la correcta actualización de su posición relativa en caso de haber modificación.
- Incluir tornillería, nombrada con la referencia correspondiente.
- Incluir los elementos comerciales, nombrados bajo la siguiente estructura: *CXX\_Referencia*. CXX es la referencia del comercial, que lo identifica en la lista de materiales.
- Representar los movimientos de la lanzadera, a un solo color y difuminado.
- Introducir los materiales y los acabados superficiales (código de colores).

### 3.4. DOCUMENTACION PARA LA FABRICACION Y EL MONTAJE

El diseño CAD se concluye con la generación de los planos de fabricación y montaje, que deben aportar toda la información necesaria para este cometido. En el presente trabajo, se diseña un formato de plano que se usa para el desarrollo de los planos necesarios. En este ámbito, la información general de la pieza o conjunto que se representa debe ir expuesta en un cajetín, expuesto en la *Figura 44*, situado en la parte inferior derecha del plano, en el que debe aparecer la siguiente información:

- Denominación de la pieza.
- Marca de la pieza, del conjunto y subconjunto al que pertenece.
- Marca del proyecto.
- Material.
- Tratamiento térmico o superficial.
- Cantidad.
- Masa.
- Fecha.
- Escala.
- Indicación sobre acabados y tolerancias generales.

<p>NOTA:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- VERIFICAR COTAS CON TOLERANCIA.</li> <li>- MATAR ARISTAS VIVAS</li> <li>- ELEMENTOS SIN INDICACION DE TOLERANCIA PARTICULAR, SEGUN NORMA DIN-7168-MK</li> <li>- ACABADO SUPERFICIAL <math>\nabla</math> NB / <math>\nabla</math> NZ</li> </ul>	1	-	-	12,83 (Kg)	07/2019	
	CANTIDAD	MATERIAL	TRATAMIENTO	MASA	FECHA	
	<p>TRABAJO FIN DE GRADO INGENIERIA MECANICA UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ANDRES NIÑO DE LA FUENTE</p>		HOJA 1	PROYECTO	LANZADERA COHETE	MOOO
			DE 1	CONJUNTO	-	-
			SUBCONJUNTO	-	-	
		E 1:1	PIEZA	-	-	

Figura 44. Modelo de cajetín.

Tal como se indica anteriormente, los planos que se generan son de dos tipos, planos de fabricación y planos de montaje. En los planos de fabricación,

deben aparecer acotadas todas las dimensiones necesarias para la correcta fabricación de la pieza representada. Deben incluirse también las rugosidades superficiales a tener en cuenta, así como las tolerancias geométricas y dimensionales que sea necesario asegurar en la geometría final de la pieza. En los casos en los que la pieza representada sea un conjunto soldado, se debe incluir una tabla de piecerío, en la que se representen las dimensiones de las piezas que son soldadas en el conjunto. En los planos de montaje se debe incluir una vista isométrica en la que se marque la posición de todas las piezas que compone el conjunto, así como los comerciales y la tornillería usados para el montaje. Las referencias de estos comerciales deben coincidir con la referencia establecida en la lista de materiales. Además, en estos planos debe incluirse las vistas ortogonales necesarias para la definición de las dimensiones máximas del conjunto, en las que se representen los movimientos que pueda tener el conjunto. En la *Figura 45* se puede observar un plano tipo para la representación de un conjunto soldado.

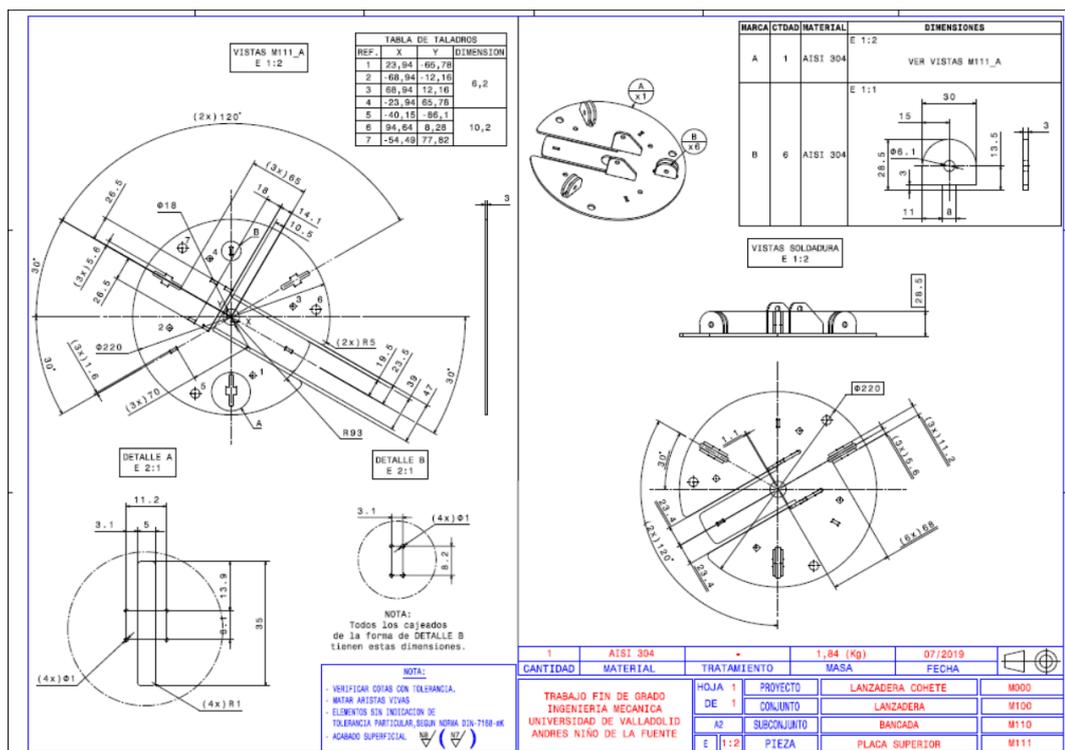


Figura 45. Plano para conjunto soldado.

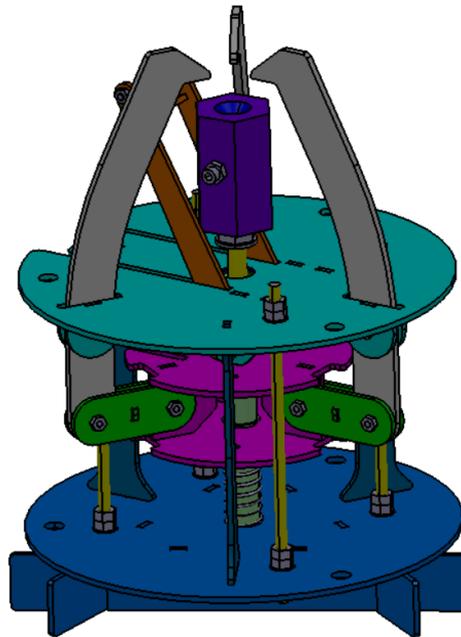


## 4. DISEÑO CAD FINAL

En este Capítulo se desarrolla el diseño mecánico que materializa los cálculos realizados en el Capítulo 2, y pone en práctica la estructura de trabajo y especificaciones a tener en cuenta en el diseño CAD, desarrollo expuesto en el Capítulo 3. En este Capítulo se incluyen imágenes tomadas del diseño CAD, y en el Anexo VIII se incluyen los planos de fabricación y montaje.

### 4.1. DISEÑO DEL GRUPO FUNCIONAL M100

El diseño de este grupo funcional responde del cumplimiento de las especificaciones técnicas II, III y IV expuestos en el Capítulo 1. En la *Figura 46* puede verse una vista isométrica de todo el grupo.



*Figura 46. Vista isométrica del grupo M100.*

Los subgrupos que componen este grupo funcional:

*M110: Bancada.* Corresponde a la estructura de toda la lanzadera. Tal como se puede ver en la *Figura 47*, lo conforman dos placas paralelas, separadas por tres pletinas que encajan en cajeados hechos a tal efecto. La unidad estructural de este grupo funcional se consigue mediante el apriete conseguido con cuatro varillas roscadas, con las tuercas y arandelas correspondientes. De esta manera, este subgrupo es desmontable.

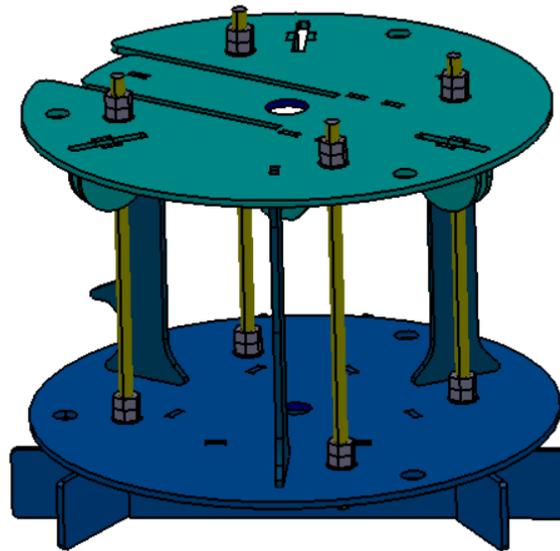


Figura 47. Vista isométrica del subgrupo M110.

Soldadas a la placa inferior y encajadas entre ellas, se encuentran tres pletinas de forma rectangular, que conforman el apoyo de la lanzadera. Están soldadas en disposición de triángulo, para conseguir una mayor estabilidad. Existe una segunda versión de la placa inferior, la cual lleva también tres pletinas soldadas en disposición triangular, haciendo las veces de apoyo de la lanzadera. La diferencia de esta versión con respecto a la primera es que tiene un saliente, tal como se puede ver en la *Figura 48*, que permite amarrar esta placa inferior a un bastidor fijo, asegurando una posición única de toda la lanzadera, y permitiendo así realizar ensayos con la seguridad de obtener resultados fiables y precisos.

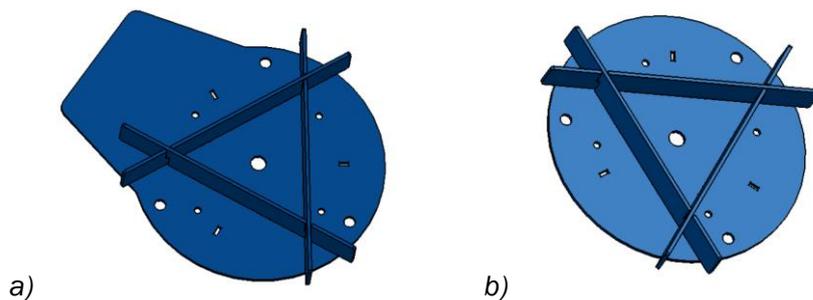
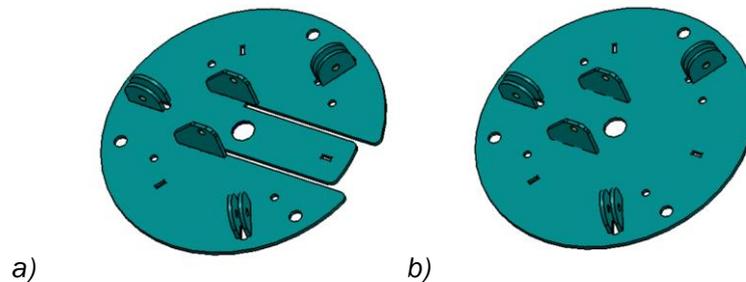


Figura 48. Vistas isométricas de las versiones de placa inferior del subgrupo M110.  
a) Con oreja; b) sin oreja.

En cuanto a la placa superior, también existen dos versiones de la misma. A ambas placas van soldadas ocho pletinas que hacen la función de los apoyos que albergarán las uniones articuladas de los mecanismos principal y de desbloqueo. Sin embargo, una de las versiones de esta placa superior tiene

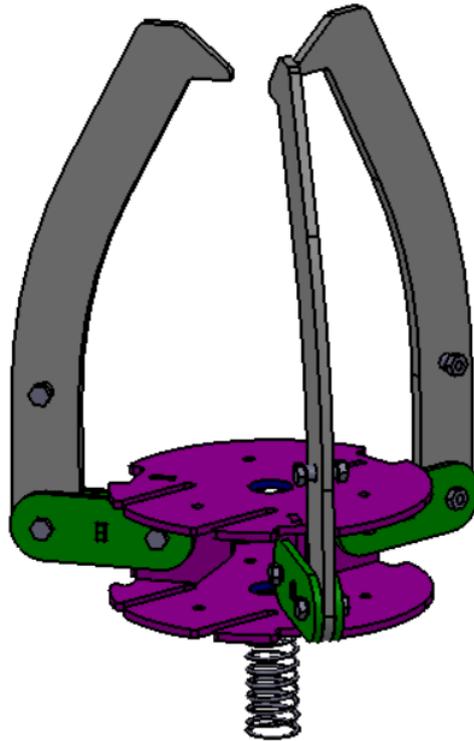
los cajeados necesarios para albergar el mecanismo de desbloqueo (subgrupo *M140*), y la otra versión no los tiene, de manera que no es posible acoplar el mecanismo de desbloqueo en esta última versión mencionada. Ambas versiones de la placa superior pueden observarse en la *Figura 49*. Los cajeados que tiene la versión apta para el mecanismo de desbloqueo, consisten en los necesarios para soldar las pletinas apoyo de las dos palancas que conforman el mecanismo de desbloqueo, así como el librado necesario para evitar la interferencia entre este mecanismo y el subgrupo *M110*. En el caso de montar la versión con el mecanismo de desbloqueo, se ha diseñado una pletina separadora específica (entre las placas superior e inferior) para esta versión, que incluye un saliente que hace las veces de tope mecánico, para limitar la carrera del mecanismo de desbloqueo.



*Figura 49. Vistas isométricas de las versiones de placa superior del subgrupo M110. a) Cajeados para mecanismo de desbloqueo; b) Sin cajeados.*

Dado que este subgrupo es desmontable, es posible montar cualquiera de las versiones diseñadas, en función de los criterios del usuario. Sobre esta estructura se apoyan todos los demás sistemas de la lanzadera, por lo que las placas de este grupo llevan los cajeados y los rebajes necesarios.

*M120: Mecanismo principal.* Tal como se indica en el Capítulo 1, este subgrupo lo componen tres réplicas del mismo mecanismo, que comparten el mismo elemento 3, dispuestas en torno al eje-maquina, y separadas un ángulo de 120 grados, respectivamente, tal como se puede ver en la *Figura 50*. Las dimensiones de este mecanismo se calculan en el Apartado 2.3.1., por lo que el diseño mecánico de este subgrupo cumple con estas especificaciones. De hecho, el resto de las dimensiones de la lanzadera son tales que encajan con las dimensiones de este mecanismo, ya que éste supone ser la parte principal de la lanzadera. A la hora de diseñar un sólido que cumpla con las dimensiones calculadas, es necesario tener en cuenta la forma y el volumen que ocupa cada pieza, para asegurar que no existen interferencias entre los elementos ni con la botella.



*Figura 50. Vista isométrica del mecanismo principal.*

Tal como se puede ver en la *Figura 51*, el elemento 1 se diseña como una pletina de espesor  $e = 4 \text{ mm}$ , cuya forma cumple con las especificaciones calculadas en el Apartado 2.3.1. El elemento 2 del mecanismo lo forman dos pletinas idénticas, posicionada una con respecto a la otra mediante un separador acoplado en su centro de gravedad, que consigue mantener la distancia constante entre ambas pletinas. El elemento 3 del mecanismo es un elemento soldado, compuesto por dos placas idénticas, una superior y otra inferior, separadas por tres pletinas que contienen los alojamientos para enlazar con los elementos 2 de cada una de las réplicas del mecanismo. Cabe destacar, tal como se puede ver en la *Figura 51*, que las pletinas de este elemento cuentan con tres agujeros pasantes, situados para tener la posibilidad de montar el elemento 3 mediante varillas roscadas, tuercas y contratueras, en vez de ser soldado

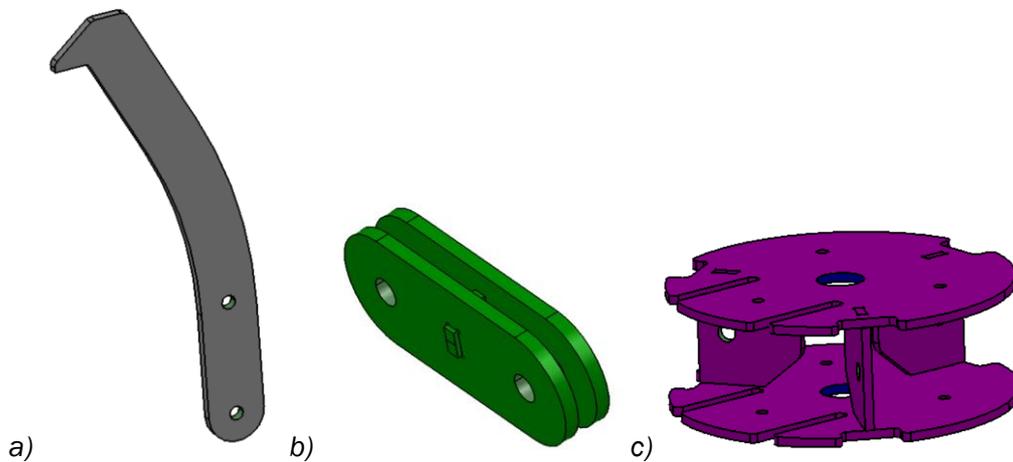


Figura 51. Vistas isométricas de los elementos del mecanismo principal. a) Elemento 1; b) Elemento 2; c) Elemento 3.

#### M130: Conjunto eje.

Lo componen los elementos mecánicos que conforman el eje de la lanzadera, o que van acoplados a éste. Tal como se puede ver en la *Figura 51*, el eje funcional de la lanzadera lo componen dos piezas cilíndricas, acopladas entre sí, cada una de las cuales acoplada a la respectiva placa del subgrupo M110. El elemento 3 del mecanismo principal desliza sobre la pieza inferior de este eje. La pieza superior, que hace las veces de tope mecánico (para limitar la carrera del elemento 3 en su posición de autobloqueo), posee en su cara superior un taladro axial roscado diseñado para acoplar una varilla roscada, y poder acoplar la pieza M132 a ésta. De esta manera, la altura de la pieza M132 es regulable, permitiendo ajustar la posición de esta pieza a los posibles defectos de fabricación y montaje que puedan surgir (holguras en las uniones, deformación elástica de los elementos), con el fin de conseguir la estanqueidad funcional necesaria entre la pieza M132 y la botella, atendiendo la especificación técnica II.B.

El cuerpo de admisión (M132) es el elemento más importante de toda la lanzadera, ya que de él depende el correcto proceso de carga de la botella, y, en consecuencia, el funcionamiento adecuado de la lanzadera. La pieza está hecha a partir de un macizo hexagonal, y, como se indica anteriormente, cuenta con un taladro roscado axial en su cara inferior, para poder acoplar esta pieza al eje de la lanzadera, y que sea posible su regulación en altura. En la *Figura 52* se puede ver una sección de esta pieza, en la que se ve que, en su cara superior, se practica un taladro axial preparado para alojar la tobera de la botella. Al inicio del taladro superior, se practica un alojamiento con forma triangular preparado para alojar la junta tórica necesaria para asegurar la estanqueidad en el proceso de carga de la botella.

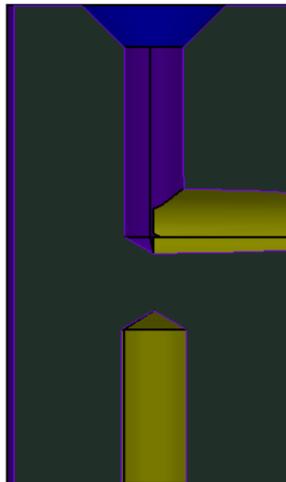


Figura 52. Sección de la pieza M132.

Tal como se indica en el Apartado 2.2.1. el diámetro exterior del conducto de la tobera es  $\varnothing = 8,2 \text{ mm}$ , y las dimensiones de la junta tórica que se selecciona son  $\varnothing_{interior} = 8 \text{ mm}$  y  $\varnothing_{sección} = 3,5 \text{ mm}$ . Las dimensiones del alojamiento triangular que hay que mecanizar se pueden ver en la Figura 53:

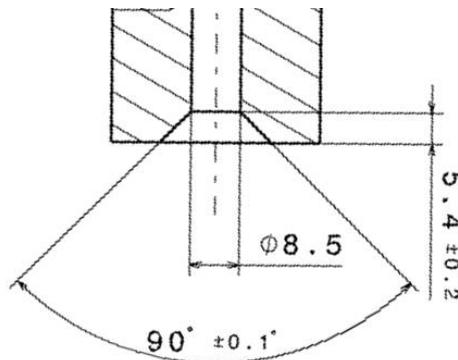


Figura 53. Dimensiones alojamiento triangular de la junta tórica en la pieza M132.

El alojamiento está conectado con un conducto inferior perpendicular, por el que entran los fluidos, que circulan a través de una válvula antirretorno, roscada al lateral del cuerpo de la pieza M132. Hay que tener en cuenta que el diseño del cuerpo de admisión tiene en cuenta que el borde del cuello de la botella, donde los elementos 1 hacen contacto con la botella, también apoya en la superficie superior de este cuerpo, minimizando así la deformación elástica que el borde de agarre de la botella pueda experimentar. Además, la tobera apoyará también sobre la base del alojamiento, minimizando aún más esta deformación. El subgrupo M130 puede verse en la Figura 54.

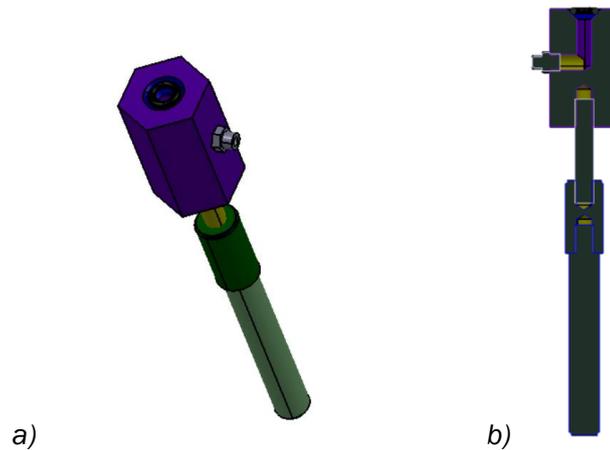


Figura 54. a) Vista isométrica del subgrupo M130; b) Sección transversal del subgrupo M130.

El material con el que se fabrican estas piezas es aluminio, seleccionado en el Apartado 2.5., ya que están en contacto con agua durante el proceso de carga de la botella.

#### *M140. Mecanismo de desbloqueo.*

Como se puede observar en la *Figura 55*, el mecanismo de desbloqueo se ha diseñado constructivamente como dos palancas iguales, unidas con una pletina soldada, perpendicular a ambas. Esta pletina hace las veces de separador, para mantener la posición relativa entre ambas palancas, además de ser el elemento que interfiere mecánicamente con el tope mecánico de final de carrera del mecanismo, que, como se ha indicado anteriormente, se sitúa en una de las pletinas separadoras del subgrupo *M110*.

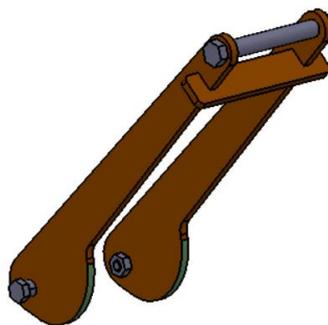


Figura 55. Vista isométrica del subgrupo M140.

#### *M150. Conjunto cohete.*

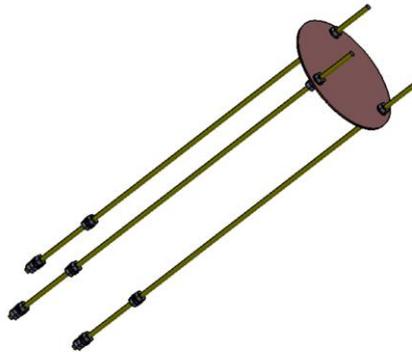
El diseño y vista CAD de este subgrupo puede verse en el Apartado 2.2.1., y en las *Figura 11* y *12*, respectivamente.

## 4.2. DISEÑO DEL GRUPO FUNCIONAL M200

El diseño de este grupo funcional responde a la especificación técnica V. Supone ser una estructura vertical desmontable, en la que se acopla una placa superior haciendo las veces de tope, que limita el recorrido de la botella, a la altura que el usuario considere oportuno.

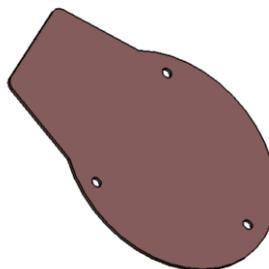
*M210. Estructura secundaria.*

Corresponde a la estructura que alberga todos los demás subgrupos funcionales que conforman este grupo. Tal como se puede ver en la *Figura 56*, consiste en tres varillas roscadas, amarradas mediante arandelas y tuercas a la bancada principal (*M110*), que albergan en su parte superior una placa que hace las veces de tope para la botella. Esta placa fija la posición de la botella cuando ya ha sido liberado por el mecanismo principal.



*Figura 56. Vista isométrica del subgrupo M210.*

Existe una segunda versión de esta placa superior, que se puede observar en la *Figura 57*, la cual tiene un saliente cuya función es la de amarrar esa placa a un bastidor fijo, con el fin de fijar la posición de la lanzadera y conseguir mediciones fiables en los ensayos.



*Figura 57. Vista isométrica de la segunda versión de la placa superior del subgrupo M210.*

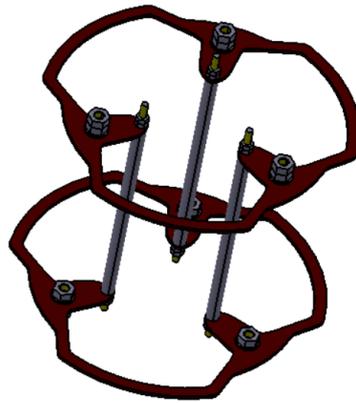
Es interesante observar como la altura de estas placas es regulable en altura, permitiendo así al usuario situarla donde mejor le convenga para la toma de

datos. Cabe destacar, además, que existe la posibilidad de no poner esta placa superior. De esta manera, la lanzadera permite el lanzamiento real de la botella.

#### *M220. Sistema de guiado.*

Este subgrupo lo componen los elementos mecánicos necesarios para asegurar una correcta toma de datos durante la realización de los ensayos. La toma de datos se basa en asegurar que la botella se mantiene lo más vertical posible, de manera que la fuerza de propulsión de la botella sea siempre vertical y hacia arriba, y no tenga componentes horizontales, que provocarían fricción entre la botella y la placa superior. Para asegurar esta posición, se ha diseñado un sistema de dos placas, que albergan tres tubos de aluminio, dispuestos verticalmente, que acotan el espacio por el cual la botella puede ascender. Los tubos de aluminio están sujetos por varillas roscadas posicionadas dentro de los tubos, y amarradas a las placas. Las placas tienen una geometría tal que permiten el paso de los alerones de la botella, en caso de que los tuviera.

Tal como se puede ver en la *Figura 58*, la posición radial de estos tubos no es regulable, por lo que su posición ha sido determinada teniendo en cuenta los resultados obtenidos sobre la deformación máxima de la botella, desarrollo expuesto en el Apartado 2.2.2. Según este resultado, los tubos se han ajustado lo máximo posible a la superficie cilíndrica de la botella. Durante el ensayo, el contacto entre la botella y estos tubos supone una reacción perpendicular al eje de la lanzadera. Esto no es problema, ya que, al ser una fuerza horizontal causada por un contacto puntual estático, no interfiere en la toma de datos. Además, el coeficiente de fricción estático entre el polietileno (PET) y el aluminio se puede considerar nulo, o muy cercano a cero, por lo que es razonable estimar que tampoco surgirán fuerzas de fricción verticales, ocasionadas por el movimiento relativo entre la botella y este subgrupo de la lanzadera. La posición de todo el subgrupo es regulable, ya que va amarrado mediante tuercas y arandelas a las varillas roscadas del subgrupo *M210*, tal como se puede ver en la *Figura 58*.



*Figura 58. Vista isométrica del subgrupo M220.*

## 5. FABRICACION

En este Capítulo se desarrolla todo lo referente a la fabricación y montaje de la lanzadera en el laboratorio de la Escuela de Ingenierías Industriales de Valladolid.

### 5.1. PIEZAS FABRICADAS CON EL TORNO

Se detalla el proceso de mecanizado seguido para la fabricación de las piezas mecanizadas con el torno de la Escuela.

#### 5.1.1. M151

Tal como se indica en el Apartado 2.2.1., el diseño inicial de esta pieza, y su acople en la botella comercial modificada no consigue la estanqueidad a las presiones calculadas, por lo que se hace necesario hacer un rediseño de esta. De esta manera, se fabrican dos piezas *M151* diferentes. En la pieza *M151* según el diseño inicial, el tocho de partida para fabricar la tobera es cilíndrico, de  $\varnothing = 30 \text{ mm}$  y  $L = 30 \text{ mm}$ . La longitud final de la tobera será  $L_{final} = 26 \text{ mm}$ , pero es necesario tener cierto margen, para poder mecanizar los dos niveles que se requieren en la cara superior de la misma. De la misma manera, el diámetro máximo de la tobera acabará siendo  $\varnothing_{final} = 25 \text{ mm}$ , pero es necesario tener material de sobra, para poder ir mecanizando el diámetro, y comprobar a qué diámetro la tobera encaja mejor en el alojamiento hecho en el tapón.

El primer mecanizado que se realiza es el rebaje del diámetro del conducto inferior. Tal como se puede ver en la *Figura 59*, el tocho se acopla en el torno, y se mecaniza el diámetro del conducto inferior desde  $\varnothing = 30 \text{ mm}$  hasta el diámetro final,  $\varnothing = 8,2 \text{ mm}$ .



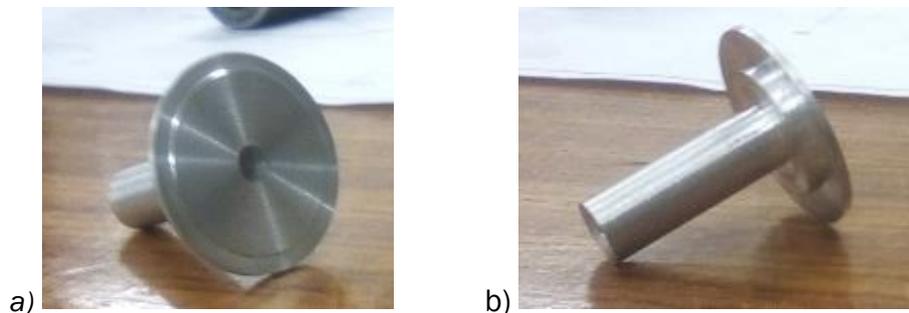
*Figura 59. Mecanizado conducto inferior M151.*

Después, se amarra la pieza al torno, esta vez en el conducto previamente mecanizado, para proceder al refrentado de la cara superior de la tobera. Este refrentado tiene dos partes. La primera fase del refrentado consiste en mecanizar hasta dejar una longitud final de pieza de  $L_{final} = 26 \text{ mm}$ . En este momento es cuando se pretende rebajar el diámetro de este espesor hasta el diámetro final de acople en el tapón. Dado que la tobera se debe acoplar dentro del diámetro acotado por las crestas de la rosca del tapón, este diámetro se va rebajando en el torno hasta conseguir que la tobera entre con el apriete adecuado. Una vez se ha conseguido esto, la segunda fase del mecanizado consiste en refrentar el rebaje del espesor necesario para acoplar la cara superior al cuello de la botella. Es decir, una vez está la tobera acoplada en el tapón, éste se rosca en la botella hasta el tope. En esta posición, la cara superior de la tobera hace contacto con el extremo del cuello roscado de la botella. El rebaje, el cual puede verse en la *Figura 60*, que se practica es necesario para asegurar la estanqueidad estática, mediante el apriete de estos dos elementos.



*Figura 60. Refrentado de la ranura de estanqueidad en la cara superior de M151.*

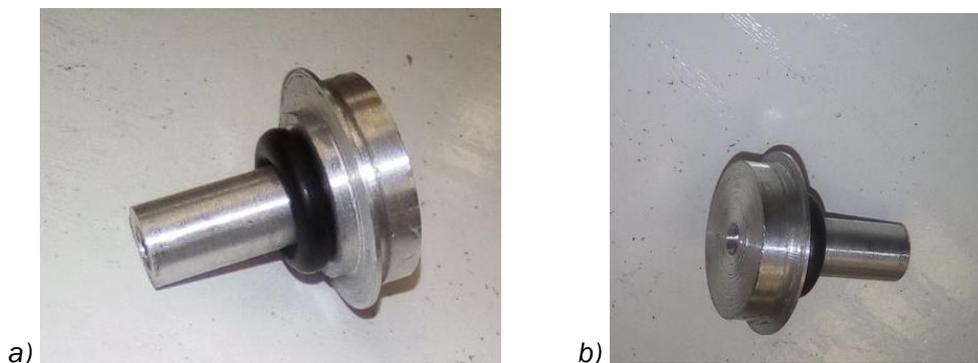
Por último, se practica un taladro axial que atraviesa toda la pieza. La pieza final puede verse en la *Figura 61*.



*Figura 61. M151. a) Parte superior; b) Parte inferior.*

Las dimensiones mecanizadas, así como las calidades superficiales requeridas en la pieza pueden verse en el plano *M151*.

Sin embargo, y tal como se indica anteriormente, este diseño no asegura la estanqueidad del sistema tapón-tobera-botella a las presiones calculadas, por lo que se hace necesario hacer un rediseño de esta pieza, y del acople en la botella comercial modificada. El segundo diseño de la pieza *M151* cuenta con la misma geometría que la tobera inicial, pero incluye un cuerpo cilíndrico en su parte superior, en el que se aloja una junta tórica en un cajeadado rectangular, que está diseñado para ser acoplado dentro del cuello roscado de la botella. De esta manera, el apriete entre el extremo del cuello de la botella y la cara superior sigue existiendo, pero ahora la estanqueidad también viene garantizada por la acción de la junta tórica dentro del cuello. El tocho de partida para fabricar la tobera es cilíndrico, de  $\varnothing = 30 \text{ mm}$  y  $L = 30 \text{ mm}$ . El mecanizado de la parte inferior de la pieza sigue el mismo procedimiento que la primera pieza. Para el mecanizado de la parte superior, se amarra la pieza al torno por su parte inferior, y se mecaniza un rebaje en el diámetro hasta llegar a un diámetro final  $\varnothing_{final} = 25 \text{ mm}$ . De esta manera, se consigue materializar el voladizo que hará contacto con el extremo del cuello de la botella. En el siguiente paso, se mecaniza el alojamiento rectangular que alberga la junta tórica. Las dimensiones de la junta tórica seleccionada son  $\varnothing_{interior} = 20 \text{ mm}$  y  $\varnothing_{sección} = 1 \text{ mm}$ . La segunda versión de la tobera fabricada puede verse en la *Figura 62*.



*Figura 62. Segunda versión de la pieza M151. a) Parte inferior; b) Parte superior.*

### 5.1.2. M131

El eje de la lanzadera lo componen dos piezas, acopladas entre sí, una encajada en la otra. La razón por la que el eje son dos piezas es porque se tienen dos tochos de aluminio en el laboratorio, que cumplen con las dimensiones iniciales necesarias, ahorrando costes del trabajo.

La pieza inferior (*M131\_A*) parte de un tocho cilíndrico de  $L = 110,8 \text{ mm}$  y  $\varnothing = 16 \text{ mm}$ , a la que se le practica un rebaje en el diámetro en una de sus caras, de longitud  $l = 1,5 \text{ mm}$ , hasta llegar a un  $\varnothing = 18 \text{ mm}$ , diseñado para acoplar esta pieza a la placa inferior del bastidor. En el otro extremo de la

pieza, se mecaniza un rebaje en el espesor, de longitud  $l = 15 \text{ mm}$  y  $\varnothing = 10 \text{ mm}$ . Este último extremo se corresponde con la unión con la otra parte del eje. La pieza final puede verse en la *Figura 63*.



*Figura 63. Pieza M131\_A.*

La pieza superior del eje (*M131\_B*) parte de un tocho cilíndrico de  $L = 38,2 \text{ mm}$  y  $\varnothing = 20 \text{ mm}$ , a la que se le practica un rebaje en el diámetro en una de sus caras, de longitud  $l = 1,5 \text{ mm}$ , hasta llegar a un  $\varnothing = 18 \text{ mm}$ , diseñado para acoplar esta pieza a la placa inferior del bastidor. En esta misma cara, se practica un taladro axial de  $L = 13 \text{ mm}$  y  $\varnothing = 8,5 \text{ mm}$ , para acabar mecanizando este alojamiento una rosca M10 con los machos oportunos. En este alojamiento roscado va acoplada una varilla roscada, a la que va roscada, en el otro extremo, la pieza *M132*. De esta manera se consigue que la posición vertical de esta pieza sea regulable. En la otra cara, se practica un taladro axial de  $L = 15 \text{ mm}$  y  $\varnothing = 8,5 \text{ mm}$ , en el que va acoplada la otra pieza del eje. La pieza final puede verse en la *Figura 64*.



*Figura 64. Pieza M131\_B.*

En la *Figura 65* puede verse el eje de la lanzadera montado. Cabe destacar que la diferencia de diámetros entre las dos piezas hace las veces de tope

mecánico, para limitar la carrera superior de la pieza *M123* (elemento 3 del mecanismo principal).



*Figura 65. Pieza M131.*

### 5.1.3. M132

El tocho de partida para el mecanizado de esta pieza es un prisma hexagonal cuya longitud es  $L = 62 \text{ mm}$ , con distancia entre caras paralelas  $d = 36 \text{ mm}$ . Se decide diseñar esta pieza partiendo de un tocho con geometría hexagonal para facilitar la entrada de la herramienta en el proceso de regulación de su altura en la fase de montaje. Además, el tocho se tenía en el laboratorio, por lo que el costo relativo de este material es nulo.

En primer lugar, se practica un taladro axial en una de sus caras, de longitud  $L = 20 \text{ mm}$  y diámetro  $\varnothing = 8,5 \text{ mm}$ . Se practica un taladro de este diámetro ya que este taladro va a ser roscado mediante los machos oportunos, con objetivo de conseguir una rosca M10, tal como se puede ver en la *Figura 66*. Esta cara pasa a ser la cara inferior de la pieza.



*Figura 66. Taladro inferior M132.*

En la cara contraria, se practica un taladro axial de  $L = 30\text{ mm}$  y  $\varnothing = 8,5\text{ mm}$ . Este taladro será el alojamiento de la tobera, por lo que la holgura entre el diámetro exterior de la tobera, y el diámetro de este taladro, debe ser mínima, para minimizar la masa de fluido que llega a la junta tórica y propiciar así una mejor estanqueidad. En el borde superior de este taladro, tal como se puede ver en la *Figura 67*, se practica un alojamiento triangular, preparado para alojar la junta tórica, y cuyas dimensiones son específicas de la tobera que se elige para el diseño. Las dimensiones de este alojamiento se pueden ver en el plano M132, así como en el Apartado 4.1.



*Figura 67. Alojamiento para la tobera en pieza M132.*

A una distancia de  $d = 28\text{ mm}$  de la cara superior de esta pieza, se practica un taladro cuya función es ser el conducto de admisión de los fluidos en el proceso de carga de la botella. El diseño que se hace de este conducto implica que el taladro debe tener una profundidad que debe llegar hasta el eje de la pieza, y cuyo diámetro debe ser  $\varnothing = 8,5\text{ mm}$ , para poder mecanizar

una rosca M10 y poder acoplar una válvula antirretorno apta para el paso de aire y agua. En la realidad, el taladro que se practica es liso, ya que el sistema de fluidos que se acopla a esta pieza es neumático. Este taladro puede verse en la *Figura 68*. En la realidad, se acopla una válvula neumática, haciendo uso de teflón para estanqueizar la unión.



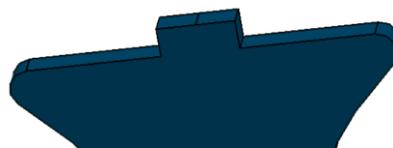
*Figura 68. Conducto de admisión en pieza M132.*

Las dimensiones mecanizadas, así como las calidades superficiales requeridas en la pieza pueden verse en el plano *M132*.

## 5.2. PIEZAS FABRICADAS A LASER

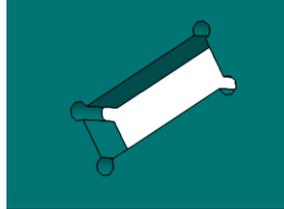
Se decide diseñar la lanzadera usando placas fabricadas mediante corte a láser porque en este tipo de piezas es más sencillo conseguir geometrías planas complejas, lo que conviene a este trabajo, para facilitar la fabricación y el montaje. Aunque el trabajo recomienda el uso del acero inoxidable austenítico AISI 304, en la realidad las piezas se fabrican en acero HS3, ya que este acero es más dúctil que el inoxidable, y es más sencillo y barato obtener estas piezas utilizando el corte láser. En el proceso de diseño, se han tenido en cuenta ciertos aspectos que son de gran importancia en el proceso de fabricación y montaje de la lanzadera. Se detallan a continuación:

- Holgura en los cajeados para el encaje de las piezas: Las piezas que van encajadas entre sí, se han diseñado de manera que una de ellas tenga un saliente, el cual se puede ver en la *Figura 69*, diseñado para ser acoplado al cajeadado correspondiente en la otra pieza. Los cajeados han sido diseñados con una pequeña holgura, para asegurar que las piezas encajan unas con otras.



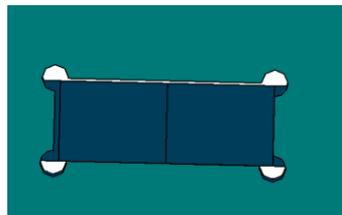
*Figura 69. Saliente para el acople entre piezas.*

- De la misma manera, se han concebido unos radios de acuerdo, los cuales se pueden ver en la *Figura 70*, en los cajeados, preparados para la entrada y salida del láser, y así evitar que queden esquinas sin mecanizar.



*Figura 70. Radios de acuerdo para la entrada del láser.*

- Posición en conjuntos soldados: Lo habitual en la fabricación de un conjunto mecano-soldado, es soldar en primer lugar todos los elementos, para después hacer todos los procesos de mecanizado. Esto se hace así principalmente para evitar que las deformaciones asociadas a las soldaduras interfieran en la precisión necesaria en estas partes mecanizadas. Dado que en esta lanzadera los elementos mecánicos que se van a soldar son placas cortadas a láser, todos los cajeados para acoplar las demás piezas (que van a ser soldadas entre sí), se hacen antes que las soldaduras. Esto implica que es necesaria otra manera de asegurar la correcta posición relativa entre los elementos mecánicos, necesaria para el correcto funcionamiento de la lanzadera. Es por esto por lo que en algunas caras de algunos cajeados no se ha diseñado holgura, con intención de que las caras de ambas piezas acopladas tengan contacto, tal como se puede ver en la *Figura 71*. De esta manera se asegura que la posición es la correcta cuando se van a soldar. Este diseño se puede apreciar en el subgrupo *M120*, ya que en este grupo es importante asegurar la correcta posición relativa entre las uniones articuladas.



*Figura 71. Metodología para dar posición entre piezas.*

### 5.3. COMERCIALES Y TORNILLERIA

En este Apartado se desarrollan los comerciales y la tornillería que se decide acoplar a la lanzadera. Es esencial una buena selección de estos elementos para asegurar que encajan con la precisión requerida y así conseguir la funcionalidad mecánica deseada.

[6] Para la selección de la junta tórica adecuada, que asegura la estanqueidad estática en el proceso de carga, es necesario tener en cuenta el fluido de trabajo, la temperatura, la presión y el acoplamiento mecánico entre las piezas en las que se debe asegurar la estanqueidad. Estos parámetros ayudan a determinar las dimensiones y las características mecánicas necesarias de la junta tórica adecuada:

- El fluido y la temperatura de trabajo son factores determinantes para la selección del material de la junta tórica, atendiendo a su resistencia química y degradación con el tiempo.
- La presión es un factor que ayuda a determinar la dureza del elastómero que se seleccione, necesitando un elastómero más duro cuanto más presión de trabajo exista.
- El acoplamiento mecánico define el tipo de alojamiento oportuno. Dado el diseño que se ha hecho de la pieza *M132*, y dadas las exigencias de la botella comercial usada como cohete, se decide que la ranura adecuada para acoplar la junta tórica debe ser triangular.
- En cuanto al diámetro de la sección de la junta, no existe un criterio concreto que ayude a definir este parámetro. Sin embargo, hay que tener en cuenta que es necesario evitar que la sección sea pequeña con respecto al diámetro interior de la junta. De este punto se deduce que se ha decidido que el tipo de junta sea Delta (sección circular).

Las condiciones del proceso de carga se pueden observar en la *Tabla 16*:

<b><i>Fluido de trabajo</i></b>	<i>Agua</i>
<b><i>Temperatura de trabajo</i></b>	<i>20 °C</i>
<b><i>Presion de trabajo</i></b>	<i>7,2 bar</i>
<b><i>Diametro del alojamiento</i></b>	<i>8,2 H11 mm</i>

*Tabla 16. Condiciones del proceso de carga de la botella.*

Atendiendo a las condiciones de trabajo expuestas en la *Tabla 16*, el material que se selecciona para la junta tórica en esta aplicación es el copolímero de acrilonitrilo (NPR). [7] Es un caucho sintético desarrollado a partir de un copolímero de acrilonitrilo y butadieno. La concentración de acrilonitrilo determina la capacidad resiliente, la capacidad de deformación elástica, y la resistencia química al fluido de trabajo. Dado que la presión de trabajo no es muy alta, se decide que el NBR seleccionado tenga baja concentración de acrilonitrilo, de forma que presenta buena resiliencia y deformación elástica a baja temperatura. El rango de temperaturas en el que este material es

funcional comprende  $T_{servicio} \in [-30, +110] \text{ } ^\circ\text{C}$ . Se decide que la dureza del material sea  $Dureza = 70 \text{ Shore A}$ , ya que supone ser de los valores más bajos. Interesa un valor bajo de la dureza del material debido a que la presión de trabajo es baja. De esta manera, se favorece la deformación elástica de la junta tórica, ocupando con mayor eficiencia el alojamiento y favoreciendo así la estanqueidad en el proceso. En cuanto al diámetro de la sección, se decide que sea  $D_{sección} = 3,5 \text{ mm}$ , para así conseguir que no sea pequeño con respecto al diámetro del alojamiento.

Las uniones entre los elementos móviles de los mecanismos se materializan en el acoplamiento de un tubo hueco en los alojamientos hechos para tal efecto. El tubo atraviesa todas las piezas que pertenecen a ese enlace, y es el elemento mecánico que asegura la unión efectiva entre las piezas del mecanismo. Para asegurar la posición de este tubo se inserta un tornillo que atraviesa el tubo, y se amarra con una tuerca por el extremo roscado, tal como se puede observar en la *Figura 72*.



*Figura 72. Tornillería y comerciales usados en las uniones articuladas de los mecanismos.*

Se utilizan varillas roscadas (DIN 975) para la unión de la bancada, y el posicionamiento las placas del grupo M200. Para fijar la posición de las placas, se utiliza tuerca y contratuerca en cada unión. Este diseño presenta una ventaja, la cual es tener la posibilidad de regular en altura la posición de estas placas. La tornillería usada en todo caso son tornillos DIN 933, tuercas DIN 934 y arandelas DIN 125.

## 5.4. MONTAJE

En el Anexo VIII se pueden ver los planos de montaje, en los que se observan las marcas de las piezas y comerciales. Para un mejor seguimiento del proceso, se recomienda comparar la representación de estos planos con la

lista de materiales, adjunta en el Anexo IV. En primer lugar, y tal como indica el plano *M150*, se procede a la modificación del tapón comercial, y posterior acople de la pieza *M151* en él, para roscar este sistema a la botella y conseguir el prototipo de cohete. Este cohete se utiliza para realizar las pruebas de funcionalidad a la lanzadera, y así poder comprobar que ésta cumple con las especificaciones técnicas establecidas en el Capítulo 1. Analizando la geometría de fábrica del tapón, se observa que tiene una ranura vertical cilíndrica que acopla en el extremo del cuello roscado de la botella, que consigue la estanqueidad en la unión roscada del sistema tapón-botella. Esta ranura se quita del tapón, ya que acota un diámetro muy pequeño y, tal como se indica en el Apartado 2.2.1., se practica un agujero de  $\varnothing = 17 \text{ mm}$  en la base del tapón, donde irá alojada la tobera. En la *Figura 73* puede verse este tapón modificado.



*Figura 73. Tapón modificado.*

La junta tórica se acopla directamente en el conducto de la tobera, una vez ha sido instalada en el tapón, ya que su posición no quedaría fija si se acoplara en la ranura triangular practicada en la pieza *M132*. De esta manera se evitan posibles pérdidas de la junta. El acople de la tobera con el tapón, y el acople del sistema cohete puede verse en la *Figura 74*.



a)



Figura 74. a) Acople tapón-tobera; b) Cohete; c) Acople de junta tórica en cohete.

Se fabrica una segunda versión de tobera, ya que el primer diseño no consigue que el sistema tapón-tobera-botella sea estanco a las presiones calculadas. Este nuevo diseño también se acopla a un tapón modificado de la misma manera, y se puede ver en la Figura 75.

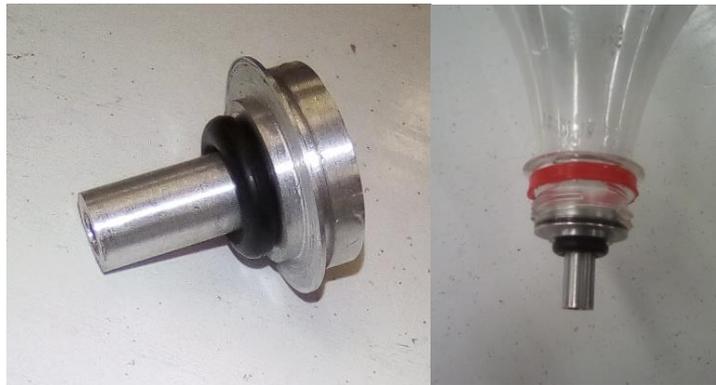


Figura 75. Segunda versión de tobera. Acople en botella, sin tapón.

Para proceder al montaje de la lanzadera, se comienza por la soldadura de las placas de apoyo en la placa inferior del subgrupo M110 (M112). En primer lugar, las tres pletinas se colocan formando una estructura triangular, tal como han sido diseñadas, para, en segundo lugar, se acoplan a la placa inferior, y se sueldan mediante seis puntos de soldadura a ésta, tal como se puede ver en la Figura 76.



*Figura 76. Conjunto soldado M112.*

Después, se procede a soldar las pletinas que albergarán las uniones articuladas de los mecanismos (principal y de desbloqueo) a la placa superior de este subgrupo (M111). A la hora de proceder a la soldadura de estas pletinas, hay que darse cuenta de que cada par de pletinas alberga una unión articulada, por lo que es muy importante asegurar bien la posición relativa entre los ejes de los alojamientos homólogos, para asegurar un buen encaje de la tornillería de la unión. El tipo de soldadura que se utiliza es SMAW. La soldadura se consigue generando un arco eléctrico entre el electrodo revestido y la propia pieza a soldar. Con el calor del arco, el extremo del electrodo se funde y se quema el recubrimiento, de modo que se obtiene la atmósfera adecuada para que se produzca la transferencia de metal fundido desde el núcleo del electrodo hasta el baño de fusión en el material base. El factor principal para aconsejar este tipo de soldadura es su sencillez y su bajo precio. Sin embargo, se necesita una mayor destreza en el operario de soldadura, ya que debe controlar el correcto amarre de las piezas antes de ser soldadas, el calor aportado y el ángulo de incidencia del electrodo, para conseguir una soldadura funcional. Hay que tener en cuenta que las piezas de acero no se han fabricado en el acero inoxidable que se recomienda en este trabajo. Este hecho es de relevancia, ya que hay que seleccionar un electrodo apto para la soldadura del acero en el que se han fabricado las piezas. El acero en el que se han fabricado las piezas es HS3. Es importante tener en cuenta que las piezas a soldar son chapas de pequeño espesor, lo que implica que ha de controlarse el calor aportado, para conseguir la fusión

adecuada entre las piezas. Cada una de estas pletinas se sueldan mediante dos puntos de soldadura, tal como se puede ver en la *Figura 77*, lo más lejanos posible el uno del otro, para minimizar la influencia de las deformaciones asociadas a este proceso.



*Figura 77. Puntos de soldadura.*

Por lo tanto, previo al proceso de soldadura, las piezas se amarran bien unas con respecto a otras, pudiendo ver un ejemplo en la *Figura 78*, asegurando que cada pletina se sitúa en la posición de diseño. Esta posición la marca el contacto entre caras establecido para tal efecto, tal como se indica en el Apartado 5.2.



*Figura 78. Amarre de piezas para soldadura.*

En paralelo al proceso anterior, se monta el elemento 3 del mecanismo principal (*M123*), mediante las varillas y tuercas dispuestas para tal efecto. Aunque ha sido diseñado para ser un conjunto soldado, y tal como se indica en el Apartado 4.1., también admite la posibilidad de ser montado mediante varillas roscadas, y poder ser desmontado cuando se requiera. De esta manera, es posible acoplar la pieza *M123* al eje de la lanzadera (piezas

*M131\_A* y *M131\_B*). Este conjunto se acopla al subgrupo *M110*, para así terminar de montarlo con sus respectivas varillas roscadas y demás tornillería necesaria. Con esto, se tiene montado el cuerpo principal de la lanzadera, por lo que se procede al acople de las piezas *M121*, *M122* y *M141* a sus pletinas correspondientes, mediante la tornillería oportuna. Además, se acopla la pieza *M132* a su varilla roscada. De esta manera, se tiene montado todo el conjunto *M100*, tal como se puede ver en la *Figura 79*.

En este momento, y previo montado del grupo *M200*, se procede a la regulación en altura de la pieza *M132*. Para ello, se acopla la botella en su posición, y se lleva el mecanismo principal a su posición de autobloqueo. Se rosca la pieza *M132* en la varilla, hasta que se consigue que la cara inferior del tapón modificado haga contacto con la cara superior de la pieza. De esta manera, la pieza *M132* queda situada en la altura que consigue la estanqueidad funcional del sistema, ya que la junta tórica se sitúa en su posición relativa correcta con respecto al alojamiento triangular hecho a tal efecto, además de que, en este punto, el mecanismo principal agarra a la botella sin dejar holgura en altura. El resultado de esta regulación puede verse en la *Figura 80*.



*Figura 79. Grupo M100.*



*Figura 80. Pieza M132 regulada.*

El siguiente paso es acoplar la instalación neumática a la pieza *M132*. Aunque esta pieza ha sido diseñada para albergar una válvula antirretorno apta para agua, en el montaje real se acopla una válvula neumática, a la que se acopla un tubo conectado con la instalación neumática de la Escuela de Ingenierías Industriales de Valladolid. Esto se hace así ya que el único objetivo de esta instalación es comprobar que la lanzadera cumple con las funciones para las que ha sido diseñada, lo que implica que la botella puede ser cargada únicamente con aire a presión. Es importante destacar que, en el montaje de las piezas de aluminio, en concreto de la pieza *M132*, no se incluye el aislante eléctrico recomendado para minimizar los efectos de la corrosión galvánica inevitable, causada por el contacto con el acero. En la *Figura 82* puede verse la instalación montada y acoplada a la lanzadera.

Como último paso para el montaje, se monta el grupo *M200*. En primer lugar, se acoplan las varillas roscadas *M10* a la placa superior del subgrupo *M110*. En el diseño se establece que las varillas deben llegar hasta la placa inferior de este subgrupo, pero se amarran a la placa superior para ganar altura, de manera que la botella tenga mayor rango de trayectoria. Se acopla un tramo de tubo hueco de aluminio a cada una de estas varillas roscadas, cuya función es separar la primera placa del subgrupo *M220* de la placa superior

del subgrupo *M110*. En el diseño se establece que la altura del subgrupo *M220* se debe conseguir mediante la regulación de tuercas, en cada una de las varillas, pero mediante el acople de estos tubos de aluminio, se consigue asegurar que los tres puntos sujetados de la placa quedan a la misma altura. Montada la placa inferior del subgrupo *M220*, se procede a preparar los tubos de aluminio que guían la botella en el momento del lanzamiento. Dado que es necesario amarrar estos tubos a las placas del subgrupo *M220*, en los agujeros diseñados para tal efecto, y teniendo en cuenta que estos tubos son huecos, es necesario dar posición a estos tubos mediante un sistema mecánico. La solución que se practica es introducir una tuerca, redondeada en el torno, en el diámetro interior del tubo, una en cada extremo. De esta manera, estos tubos pueden ser amarrados a las placas del subgrupo *M220* mediante tornillos M4. El acople de una tuerca mecanizada y un tubo de aluminio para el guiado de la trayectoria puede verse en la *Figura 81*.



*Figura 81. Acople tuerca mecanizada en tubo de aluminio.*

La lanzadera final montada puede verse en la *Figura 82*.



*Figura 82. Lanzadera montada y acoplada a instalación neumática.*

Con la lanzadera montada, se procede a hacer las pruebas de funcionalidad. En primer lugar, se analiza la movilidad de los mecanismos, y se llega a la conclusión de que la lubricación en los enlaces no es necesaria, ya que éstos desarrollan el movimiento según lo esperado. Es por esto por lo que se decide no aplicar lubricación en las uniones. En segundo lugar, se pone a prueba la funcionalidad para la que han sido diseñados los mecanismos. Se acopla la botella con la primera versión de tobera, y se comprueba que a presiones mayores de  $P = 2 \text{ bar}$ , el sistema tapón-tobera-botella no es estanco, por lo que se decide seguir haciendo las pruebas con la segunda de versión de la pieza *M151* acoplada en la botella. En las pruebas con esta versión, se comprueba que el acople entre la botella y la pieza *M132* es estanco, siempre y cuando esta pieza haya sido regulada manualmente a la altura oportuna. Debido a las holguras en los pares rotativos, los elementos 1 del mecanismo

principal no giran siguiendo la misma posición relativa respecto al elemento 3, por lo que no agarran de la misma manera a la botella. Esto no es un problema, ya que la posición de la pieza *M132* es regulable en altura. Para conseguir un correcto amarre de todos los elementos 1, es necesario reducir la altura de la pieza *M132*, acoplar la botella, y llevar al mecanismo principal a su posición de autobloqueo. En este momento, ha de regularse la altura de la pieza *M132* hasta que el amarre sea funcional. Se comprueba que la segunda versión fabricada de la pieza *M151* consigue un sistema estanco en la botella. En la *Figura 83* puede verse el test de estanqueidad hecho a la botella comercial modificada.



*Figura 83. Test de estanqueidad.*



## 6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En el presente trabajo se diseña y construye una lanzadera para cohetes de agua, concebida para realizar estudios de laboratorio sobre las propiedades propulsoras de este tipo de cohetes. Se plantean los objetivos que se persiguen con el desarrollo del trabajo, que, en común, radican en diseñar, dimensionar y construir la solución técnica más adecuada para poder realizar los estudios en un entorno seguro para el usuario, y asegurando la trazabilidad de los datos obtenidos experimentalmente. Para ello, es necesario que la funcionalidad de la lanzadera asegure que la mayor parte posible de los lanzamientos que se ejecuten, cuenten con las mismas condiciones iniciales. De esta manera, se plantean las especificaciones técnicas que la lanzadera debe cumplir. El cumplimiento de estas especificaciones se aborda mediante el diseño y dimensionamiento de soluciones técnicas, que, en conjunto, suponen modificar una botella comercial para obtener un prototipo de cohete de agua, a partir del cual desarrollar y construir una lanzadera, adaptada a la geometría y dimensiones de esta botella. El desarrollo del trabajo pasa por varias fases, siendo éstas la fase de diseño inicial, el cálculo y dimensionamiento, el diseño CAD, la fabricación y el montaje. A continuación, se exponen los pasos seguidos en el desarrollo de este trabajo:

1. Se modifica la botella para conseguir el prototipo de cohete de agua. La modificación de la botella radica en acoplar una tobera al tapón (previamente modificado). La tobera se diseña para ser desmontable del tapón, de manera que sea posible acoplar diferentes geometrías, cumpliendo con la especificación I.B., expuesta en el Apartado 2.1., y poder estudiar la influencia de la geometría del conducto en las propiedades propulsoras de la botella. Además, se somete a un estudio elastoplástico para determinar su comportamiento límite, analizando la presión de aire interna máxima que soporta, y la deformación en diámetro que experimenta.
2. En la fase de diseño inicial se conciben las partes funcionales que componen la lanzadera. En concreto, se distinguen los mecanismos principal y secundario, amarrados a la bancada de la lanzadera. Además, atendiendo a la especificación técnica V, expuesta en el Apartado 2.1., se concibe una estructura vertical amarrada a la misma bancada. El mecanismo principal se desarrolla a partir de un mecanismo “biela-manivela”, modificado para cumplir con las especificaciones técnicas II.A. y II.C., expuestas en el Apartado 2.1., ya que este tipo de mecanismo cuenta con la particularidad de tener una posición de bifurcación, hecho que se aprovecha para conseguir el autobloqueo perseguido en la posición de amarre de la botella. La especificación II.B., expuesta en el Apartado 2.1., se consigue cumplir mediante los mecanizados oportunos en la pieza donde se acopla la botella. Las dimensiones del mecanismo principal se calculan a partir de las dimensiones de la botella que se usa como prototipo.

3. Dado que el mecanismo principal es el que interactúa con la botella, el movimiento que experimenta debe poder ser controlado, para asegurar que el amarre y lanzamiento de la botella no interfiere, o interfiere lo menos posible, en el comportamiento de este. Es por esto por lo que se diseña una ley de desplazamiento para el elemento 3 del mecanismo principal, ya que es el elemento que acciona al resto de elementos en este mecanismo. Esta ley de desplazamiento controla el movimiento del elemento 3, de manera que queda definida su posición y velocidad en todo momento.
4. El mecanismo de desbloqueo se concibe para accionar al elemento 3 del mecanismo principal. El accionamiento entre el mecanismo y el elemento se concibe como un mecanismo “leva- palpador”, siendo la leva el propio mecanismo de desbloqueo, y el palpador el elemento 3 del mecanismo principal. Dada la ley de desplazamiento del elemento 3, se desarrolla el perfil de leva que consigue accionar al elemento 3 de manera que éste se mueva acorde a la ley diseñada.
5. Para abordar con la especificación técnica V, expuesta en el Apartado 2.1., se concibe una estructura vertical, con una placa superior, regulable en altura, que hace las veces de tope, y posiciona a la botella durante los ensayos. A este grupo se le amarra un sistema de guiado en el lanzamiento de la botella, que ha sido diseñado teniendo en cuenta la deformación máxima de la botella, calculada en el estudio teórico que se desarrolla de la botella.
6. Una vez se ha concebido el diseño, y se ha justificado numéricamente el cumplimiento de las especificaciones técnicas establecidas se procede a dibujar la lanzadera, mediante el uso de la herramienta CAD *Catia V5*, con objetivo de generar la documentación necesaria para su fabricación y montaje, en concreto, planos de fabricación y de montaje, y lista de materiales. El diseño CAD se inicia planteando un sistema de trabajo definido, cumpliendo con el objetivo 3, expuesto en el Capítulo 1, que organiza la información generada por ámbitos y define los criterios de representación que se han de seguir para abordar el dibujo de la lanzadera. Los elementos mecánicos que componen la lanzadera se agrupan en diferentes grupos, y, a su vez, subgrupos, atendiendo a una funcionalidad común dentro del funcionamiento global de ésta.
7. Con este diseño CAD se generan los planos de fabricación y montaje, que definen las dimensiones y procedimiento de montaje de todos los elementos que componen la lanzadera. Con estos planos, se realiza el pedido de piezas diseñadas para ser cortadas a láser, y las piezas diseñadas para ser mecanizadas en el torno se fabrican en el laboratorio de la Escuela de Ingenierías Industriales de Valladolid.
8. Una vez se tienen todos los elementos necesarios, la lanzadera se monta, atendiendo al orden y recomendaciones hechas en el presente trabajo. El montaje se termina mediante la regulación manual de la posición de los

elementos regulables, con objetivo de ajustar su posición adecuada y que cumplan con el objetivo para el cual han sido diseñados.

9. Con la lanzadera montada y regulada, se acopla el sistema neumático, utilizado para comprobar la especificación técnica I.

Durante los procesos de fabricación, montaje, regulación y puesta a prueba de la lanzadera, se ha podido comprobar la validez del diseño realizado, y se han obtenido las siguientes conclusiones e incidencias:

1. Para la fabricación de la lanzadera, se seleccionan los materiales adecuados cuyas propiedades mecánicas son acordes al cumplimiento de las especificaciones técnicas establecidas. Sin embargo, en la fabricación real el acero que se usa es HS3, ya que el corte a láser es más fácil en este tipo de acero que en el acero seleccionado en el trabajo, y para las piezas de torno se aprovechan tochos de aluminio que ya se tenían en el laboratorio, con el fin de ahorrar costes.
2. En el presente trabajo, se diseña una instalación que permite la carga de agua y aire, simultáneamente, en la botella, atendiendo a la especificación técnica III, expuesta en el Apartado 2.1. Sin embargo, en la realidad, la lanzadera se conecta a la instalación neumática de la Escuela de Ingenierías Industriales de Valladolid, ya que el objetivo únicamente es comprobar que la lanzadera fabricada es funcional y cumple con las especificaciones técnicas establecidas.
3. En cuanto a la botella modificada, de manera experimental se comprueba que la modificación es funcional a bajas presiones, pero el acople tapón-tobera-botella no es estanco a altas presiones. Por lo tanto, se rediseña este sistema, para conseguir cumplir con la especificación técnica I.A., expuesta en el Apartado 2.1. Con el nuevo diseño, se consigue un cohete que asegura la estanqueidad a mayores presiones, y con el cual es posible comprobar la funcionalidad de los mecanismos diseñados para el resto de las especificaciones técnicas, por lo que, en conjunto, se consigue cumplir con el objetivo 1, expuesto en el Capítulo 1.
4. Se comprueba experimentalmente que los mecanismos construidos tienen la movilidad y el comportamiento esperado. Además, se aprecia que el borde de agarre de la botella es suficientemente rígido como para experimentar una deformación inapreciable cuando la botella es agarrada por el mecanismo principal. De esta manera, se asegura la repetibilidad en las condiciones iniciales de los lanzamientos que se ejecuten con la lanzadera, permitiendo así la trazabilidad buscada en la toma de datos durante los ensayos.
5. La placa del grupo M110, experimenta mucha flexión cuando es amarrada con las varillas roscadas. El acople del mecanismo de desbloqueo a la lanzadera implica hacer los librados correspondientes, para evitar interferencias mecánicas entre los elementos. Es necesario replantear el

acople del mecanismo de desbloqueo, o incluso su diseño, para evitar que la placa superior experimente una pérdida de rigidez a flexión como lo hace en la lanzadera diseñada en este trabajo.

6. El mecanismo principal queda autobloqueado sin la presencia del resorte cuando no existe presión en la botella. Esto es debido a holguras o imprecisiones en el montaje, que han provocado que los elementos 1 no tengan todos la misma posición relativa con respecto al elemento 3. Por lo tanto, siempre va a haber un elemento 1 que apriete a la botella de manera perpendicular a su eje, quedando enclavado en esta posición y provocando el autobloqueo.
7. Resulta beneficioso el hecho de que los grupos sean desmontables. De esta manera, es posible realizar modificaciones o rediseños.
8. La lanzadera final tiene mucha masa, es preferible fabricarla de un material menos denso, ya que, además, las fuerzas desarrolladas permiten fabricarla de un material menos resistente que el acero del que se ha fabricado. No se ha seleccionado aluminio por cuestiones económicas, ya que se ha decidido fabricar un prototipo de lanzadera más barato, con el fin de comprobar la funcionalidad y poder diseñar las modificaciones oportunas que mejoren el primer diseño desarrollado para esta lanzadera. Un material plástico hubiera sido también buena opción, ajustando los procesos de fabricación y montaje.
9. La tornillería usada en los pares rotativos asegura una correcta funcionalidad de los mecanismos.
10. Muy importante asegurar bien la posición de soldadura de los diferentes elementos, ya que las piezas vienen con los cajeados hechos del corte a láser. Para esto ha sido muy beneficioso haber diseñado caras en contacto, para dar posición relativa fija entre las piezas.
11. Para evitar deformaciones asociadas al proceso de soldadura, es preferible soldar mediante puntos y no mediante cordones.
12. Importante realizar los procesos de roscado con macho con lubricación, sobre todo si el material es aluminio, para evitar deformaciones en el material que invaliden la rosca, y, en consecuencia, la pieza entera.

## 6.1. TRABAJOS FUTUROS

El trabajo desarrollado incluye muchos ámbitos de desarrollo, y es el diseñador quien decide dar mayor importancia a unos u otros en función de los criterios y objetivos del trabajo. Es por esto por lo que de este trabajo surgen varias opciones de desarrollo a partir de estas conclusiones, y se exponen a continuación:

1. Estudio sobre las modificaciones necesarias para la automatización de la lanzadera. Accionamientos mecánicos.
2. Diseño de lanzadera para un cohete de combustible sólido.
3. Diseño de sistema de guiado de trayectoria en el lanzamiento regulable, para el acople de cohetes de diferentes tamaños.
4. Diseño de las protecciones, para evitar las proyecciones de fluido en los ensayos
5. Calculo y diseño de tobera-tapón, con objetivo de no tener que modificar el tapón comercial que viene con la botella, sustituirlo por una pieza diseñada.
6. Diseño de sistema de recogida de aguas. Automatización de éste. Accionamientos mecánicos.
7. Sistema de paracaidismo integrado en la botella. Accionamiento automático.
8. Acople de sistemas de medición de presión interior en la botella.
9. Estudio de la influencia del volumen de espacio debajo de la tobera, en el momento del ensayo, donde la tobera proyecta los fluidos, para determinar la influencia de la sobrepresión ocasionada, y su influencia en la toma de datos.
10. Análisis FEM sobre la deformación de la junta tórica.
11. Estudio y acoplamiento de los sistemas de medida necesarios para evaluar las propiedades de propulsión del cohete de agua.



## 7. BIBLIOGRAFIA

[1] TIMOSHENKO. S., WOINOWSKY-KRIEGER. S., “Teoría de placas y láminas”, Nueva York, McGraw-Hill, 1959.

[2] CARDONA, S., CLOS, D., “Teoría de máquinas”, Barcelona, Ediciones UPC, 2000.

[3] G. BUDYNAS, R., KEITH NISBETT, J., “Diseño en ingeniería mecánica de Shigley”, México D.F., McGraw-Hill Interamericana, 2008.

[4] RIBA ROMEVA, CARLES, “Selección de materiales en el diseño de lanzaderas”, Barcelona, Ediciones UPC, 2008.

[5] “Aceros inoxidables”, Universidad Politécnica de Pereira. [ En línea] Disponible en: <<http://blog.utp.edu.co/metalografia/7-aceros-inoxidables/>>

[6] Clapés, María (Customer Service Agent), <infoweb@epidor.com> [Correo electrónico], 05 marzo 2019. Información de interés para la selección de la junta tórica.

[7] Epidor S.A., “Catálogo de Juntas Tóricas”, p.10.



## 8. LISTADO DE TABLAS Y FIGURAS

### 8.1. FIGURAS

<i>Figura 1. Botella comercial.</i>	7
<i>Figura 2. a) Vista isométrica de la botella usada como cohete; b) Dimensiones del borde de agarre.</i>	11
<i>Figura 3. Mecanismo biela- manivela.</i>	11
<i>Figura 4. Boceto del mecanismo principal.</i>	12
<i>Figura 5. Agarre de la botella con el mecanismo principal.</i>	12
<i>Figura 6. Posiciones de trabajo del mecanismo principal. a) Posición cero; b) Posición I; c) Posición III.</i>	13
<i>Figura 7. Esquema hidráulico para el proceso de carga.</i>	14
<i>Figura 8. Tapón comercial. a) Vista isométrica; b) Dimensiones.</i>	15
<i>Figura 9. Vista isométrica del tapón modificado.</i>	16
<i>Figura 10. Dimensiones cuello botella comercial.</i>	17
<i>Figura 11. a) Geometría de la tobera; b) Acople tapón- tobera; c) Acople tapón- tobera- botella.</i>	18
<i>Figura 12. Nuevo diseño de tobera. a) Geometría de la tobera; b) Acople tapón- tobera; c) Acople tapón- tobera- botella.</i>	19
<i>Figura 13. [1- p.502, Figura 235] Elemento diferencial de lámina cilíndrica.</i>	20
<i>Figura 14. [1- p.519, Figura 244] Recipiente cilíndrico con extremos cerrados.</i>	21
<i>Figura 15. [1- p.508, Tabla 84] Tabla de funciones <math>\beta x, \zeta, \theta, \varphi, \psi</math>.</i>	24
<i>Figura 16. Mecanismo principal: a) Posición I; b) Posición IV.</i>	26
<i>Figura 17. Posición del punto A del mecanismo principal. a) Posición cero; b) Posición I; c) Posición IV.</i>	27
<i>Figura 18. Boceto para el dimensionamiento del tramo AO del elemento 1 del mecanismo principal.</i>	28
<i>Figura 19. Fuerza resultante de la acción de la botella sobre el elemento 1. Sistema de referencia tierra. <math>\alpha = 45^\circ</math>.</i>	29
<i>Figura 20. Fuerza resultante de la acción de la botella sobre el elemento 1. Sistema de referencia elemento 1. <math>\alpha = 45^\circ</math>.</i>	29
<i>Figura 21. Fuerza resultante de la acción de la botella sobre el elemento 1. Sistema de referencia tierra. <math>\alpha &lt; 45^\circ</math>.</i>	30
<i>Figura 22. a) Fuerza resultante de la acción de la botella sobre el elemento 1. Sistema de referencia elemento 1; b) Descomposición de la resultante en el sistema de referencia elemento 1. <math>\alpha &lt; 45^\circ</math>.</i>	30
<i>Figura 23. Fuerza resultante de la acción de la botella sobre el elemento 1. Sistema de referencia tierra. <math>\alpha &gt; 45^\circ</math>.</i>	31
<i>Figura 24. a) Fuerza resultante de la acción de la botella sobre el elemento 1. Sistema de referencia elemento 1. b) Descomposición de la resultante en el sistema de referencia elemento 1. <math>\alpha &gt; 45^\circ</math>.</i>	31
<i>Figura 25. Diagrama del mecanismo principal. Posición cero.</i>	32

Figura 26. Mecanismo principal dimensionado.	34
Figura 27. Coordenadas generalizadas del mecanismo principal.	35
Figura 28. Mecanismo principal en posición cualquiera.	36
Figura 29. Polígono de control y curva de Bézier no paramétrica.	41
Figura 30. Diagrama de fuerzas para equilibrio estático en elemento 3. Dimensionamiento de la fuerza elastica que debe desarrollar el resorte.	47
Figura 31. Diagrama de fuerzas para equilibrio estático en elemento 3. Dimensionamiento de la fuerza de desbloqueo necesaria.	49
Figura 32. a) Modelo resuelto en Working Model; b) Propiedades Elemento 1; c) Propiedades Elemento 2; d) Propiedades Elemento 3; e) Propiedades Resorte de compresión.	52
Figura 33. Equilibrio en posición IV del mecanismo principal. Resorte calculado.	53
Figura 34. Posición natural del mecanismo principal.	53
Figura 35. Posición de autobloqueo sin presencia del resorte.	54
Figura 36. Comprobación de la fuerza de desbloqueo.	55
Figura 37. [2- p.96, Figura 4.9. a.] Análisis de leva con palpador plano horizontal de traslación.	59
Figura 38. Perfil de leva calculado para giro de leva, $\varphi_{\text{diseño}} \in [0, \Pi]$ rad. Resaltado el tramo de perfil utilizado, $\varphi_{\text{leva}} \in [0, 1'4]$ rad.	62
Figura 39. [2- p.92, Figura 4.4. b.] Diagrama del mecanismo de desbloqueo.	63
Figura 40. Perfil de leva utilizado en el mecanismo de desbloqueo.	64
Figura 41. Palanca del mecanismo de desbloqueo. Resaltado en amarillo el perfil teórico de leva acoplado a esta pieza.	65
Figura 42. Mecanismo de desbloqueo.	66
Figura 43. Semejanza de triángulos.	67
Figura 44. Modelo de cajetín.	78
Figura 45. Plano para conjunto soldado.	79
Figura 46. Vista isométrica del grupo M100.	81
Figura 47. Vista isométrica del subgrupo M110.	82
Figura 48. Vistas isométricas de las versiones de placa inferior del subgrupo M110. a) Con oreja; b) sin oreja.	82
Figura 49. Vistas isométricas de las versiones de placa superior del subgrupo M110. a) Cajeados para mecanismo de desbloqueo; b) Sin cajeados.	83
Figura 50. Vista isométrica del mecanismo principal.	84
Figura 51. Vistas isométricas de los elementos del mecanismo principal. a) Elemento 1; b) Elemento 2; c) Elemento 3.	85
Figura 52. Sección de la pieza M132.	86
Figura 53. Dimensiones alojamiento triangular de la junta tórica en la pieza M132.	86
Figura 54. a) Vista isométrica del subgrupo M130; b) Sección transversal del subgrupo M130.	87
Figura 55. Vista isométrica del subgrupo M140.	87
Figura 56. Vista isométrica del subgrupo M210.	88

<i>Figura 57. Vista isométrica de la segunda versión de la placa superior del subgrupo M210.</i>	88
<i>Figura 58. Vista isométrica del subgrupo M220.</i>	90
<i>Figura 59. Mecanizado conducto inferior M151.</i>	91
<i>Figura 60. Refrentado de la ranura de estanqueidad en la cara superior de M151.</i>	92
<i>Figura 61. M151. a) Parte superior; b) Parte inferior.</i>	92
<i>Figura 62. Segunda versión de la pieza M151. a) Parte inferior; b) Parte superior.</i>	93
<i>Figura 63. Pieza M131_A.</i>	94
<i>Figura 64. Pieza M131_B.</i>	94
<i>Figura 65. Pieza M131.</i>	95
<i>Figura 66. Taladro inferior M132.</i>	96
<i>Figura 67. Alojamiento para la tobera en pieza M132.</i>	96
<i>Figura 68. Conducto de admisión en pieza M132.</i>	97
<i>Figura 69. Saliente para el acople entre piezas.</i>	97
<i>Figura 70. Radios de acuerdo para la entrada del láser.</i>	98
<i>Figura 71. Metodología para dar posición entre piezas.</i>	98
<i>Figura 72. Tornillería y comerciales usados en las uniones articuladas de los mecanismos.</i>	100
<i>Figura 73. Tapón modificado.</i>	101
<i>Figura 74. a) Acople tapón-tobera; b) Cohete; c) Acople de junta tórica en cohete.</i>	102
<i>Figura 75. Segunda versión de tobera. Acople en botella, sin tapón.</i>	102
<i>Figura 76. Conjunto soldado M112.</i>	103
<i>Figura 77. Puntos de soldadura.</i>	104
<i>Figura 78. Amarre de piezas para soldadura.</i>	104
<i>Figura 79. Grupo M100.</i>	105
<i>Figura 80. Pieza M132 regulada.</i>	106
<i>Figura 81. Acople tuerca mecanizada en tubo de aluminio.</i>	107
<i>Figura 82. Lanzadera montada y acoplada a instalación neumática.</i>	108
<i>Figura 83. Test de estanqueidad.</i>	109
<i>Figura 84. Diagrama de sólido libre del elemento 1. Mecanismo principal.</i>	124
<i>Figura 85. Diagrama de sólido libre del elemento 2. Mecanismo principal.</i>	126
<i>Figura 86. Diagrama de sólido libre del elemento 1. Mecanismo principal.</i>	127
<i>Figura 87. Diagrama de sólido libre del elemento del mecanismo de desbloqueo.</i>	133
<i>Figura 88. [2- p.171, Figura 7.7.] Cono de rozamiento en un contacto puntual.</i>	138
<i>Figura 89. [2- p.173, Figura 7.10.] Análisis de los triángulos de rozamiento en el par prismático.</i>	139
<i>Figura 90. [2- p.174, Figura 7.10.] Círculo de rozamiento.</i>	140

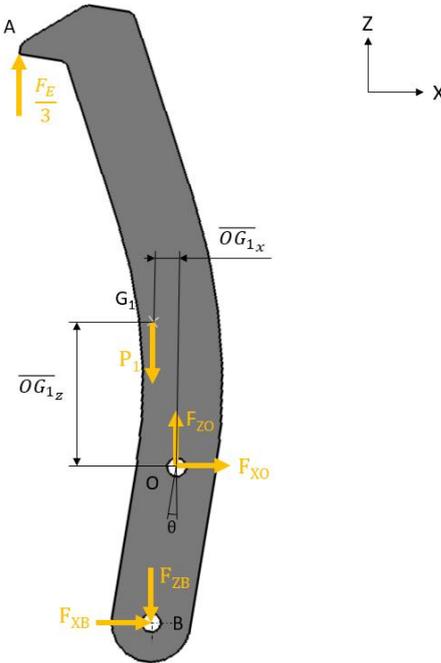
## 8.2. TABLAS

<i>Tabla 1. Propiedades mecánicas de la botella usada como cohete. Parámetros usados en el análisis elastoplástico.</i>	23
<i>Tabla 2. Recorrido horizontal del punto A del mecanismo principal.</i>	37
<i>Tabla 3. Análisis de posiciones del mecanismo principal.</i>	38
<i>Tabla 4. Puntos de control de la curva de Bézier.</i>	40
<i>Tabla 5. Velocidad lineal del elemento 3 del mecanismo principal, cuando es accionado por el mecanismo de desbloqueo desde posición I hasta posición IV.</i>	42
<i>Tabla 6. Velocidades asociadas a los grados de libertad del mecanismo principal.</i>	43
<i>Tabla 7. Resultados de la dinámica del mecanismo principal.</i>	46
<i>Tabla 8. Resultados de <math>F_{desbloq}</math>.</i>	50
<i>Tabla 9. Resorte de compresión helicoidal calculado.</i>	58
<i>Tabla 10. Valores del perfil de leva calculado en las posiciones características del mecanismo principal.</i>	61
<i>Tabla 11. Velocidad de deslizamiento en las posiciones características del mecanismo principal.</i>	63
<i>Tabla 12. Coordenadas del perfil de leva en las posiciones características del mecanismo principal.</i>	67
<i>Tabla 13. Componente vertical de la velocidad del punto de contacto del perfil de leva.</i>	68
<i>Tabla 14. Resultados de la dinámica del mecanismo de desbloqueo.</i>	69
<i>Tabla 15. Tipos de aceros inoxidables.</i>	72
<i>Tabla 16. Condiciones del proceso de carga de la botella.</i>	99

## 9. ANEXOS

## ANEXO I. ANALISIS DINAMICO DEL MECANISMO PRINCIPAL

En la *Figura 84* se puede ver el diagrama de sólido libre del elemento 1 del mecanismo principal, y, a continuación, las ecuaciones que surgen de aplicar los teoremas vectoriales a este elemento.



*Figura 84. Diagrama de sólido libre del elemento 1. Mecanismo principal.*

La aplicación de los teoremas vectoriales al elemento 1:

TCM:

$$\Sigma \vec{F}_x = 0 \rightarrow \vec{F}_{XO} + \vec{F}_{XB} = 0$$

$$\Sigma \vec{F}_z = 0 \rightarrow \vec{F}_E - \vec{P}_1 + \vec{F}_{ZO} - \vec{F}_{ZB} = 0$$

TMC:

$$\Sigma \vec{M}_y(O) = \vec{I}_y(O)\ddot{\theta} \rightarrow$$

$$\rightarrow (\vec{F}_E)(X_O) + (\vec{P}_1)(\overline{OG_1} \text{sen}(\theta)) + (\vec{F}_{XB})(L_1 \text{cos}(\theta)) + (\vec{F}_{ZB})(L_1 \text{sen}(\theta)) = \vec{I}_y(O)\ddot{\theta}$$

Siendo:

$\vec{F}_E$  = Fuerza vertical que ejerce la botella sobre el elemento 1. Esta fuerza siempre se va a suponer vertical y hacia arriba, y aplicada en el punto A. En la realidad, esta fuerza supone ser una carga distribuida en la superficie de contacto entre el elemento 1 y el borde de agarre de la botella. Se decide

suponer la disposición de esta fuerza de la manera, para sobredimensionar el efecto de esta fuerza sobre el elemento 1, ya que siempre estará situada en el punto más lejano del punto O, independientemente de la posición del mecanismo. Cabe destacar que la dimensión  $X_O$ , que multiplica a la fuerza  $\vec{F}_E$  en la aplicación del TMC, se ha supuesto como constante, aunque no lo es, ya que varía en función de la posición angular del elemento 1 ( $q = \{\theta\}$ ). Se ha supuesto de esta manera dado que la carrera de este elemento es muy pequeña en comparación con las dimensiones del elemento 1. Hay que tener en cuenta que, dado que el mecanismo real lo componen tres réplicas del mismo mecanismo, únicamente se calcula una de las réplicas, por lo que en el sistema se incluirá  $\vec{F}_E/3$ .

$G_1$  = Centro de gravedad del elemento 1.

$\vec{F}_{XO}; \vec{F}_{XB}; \vec{F}_{ZO}; \vec{F}_{ZB}$  = Fuerzas de enlace.

$\vec{P}_1$  = Peso del elemento 1.

Hay que tener en cuenta que en el diagrama de sólido libre (*Figura 84*) no se ha tenido en cuenta la fuerza elástica de recuperación que desarrolla la junta tórica acoplada en la botella, en la posición I (cuando su deformación es máxima) que asegura la estanqueidad del proceso de carga de la botella, dada la dificultad del dimensionamiento de esta fuerza. Sin embargo, es posible no incluir esta fuerza en el análisis dinámico, debido a:

- La pieza M132 (pieza en la que va alojada la junta tórica) es regulable en altura, lo que posibilita calibrar al montaje la altura funcional que consigue la estanqueidad necesaria en la posición I.
- El resorte de compresión real que se acople a la lanzadera estará sobredimensionado con respecto a los cálculos que se hagan para dimensionarlo. Como consecuencia, sobre el elemento 1 actuará más fuerza que la mínima necesaria para que éste mantenga la posición. De esta manera, habrá un mayor apriete sobre la botella por parte del elemento 1, asegurando así mayor probabilidad de conseguir la estanqueidad necesaria.

En la *Figura 85* se puede ver el diagrama de sólido libre del elemento 2 del mecanismo principal, y, a continuación, las ecuaciones que surgen de aplicar los teoremas vectoriales a dicho elemento.

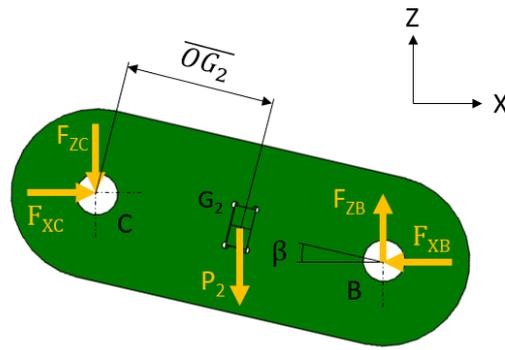


Figura 85. Diagrama de sólido libre del elemento 2. Mecanismo principal.

La aplicación de los teoremas vectoriales al elemento 2:

TCM:

$$\Sigma \vec{F}_x = m_2 \vec{a}_{G_2x} \rightarrow \vec{F}_{XC} - \vec{F}_{XB} = m_2 \vec{a}_{G_2x}$$

$$\Sigma \vec{F}_z = m_2 \vec{a}_{G_2z} \rightarrow -\vec{P}_2 + \vec{F}_{ZC} + \vec{F}_{ZB} = m_2 \vec{a}_{G_2z}$$

TMC:

$$\Sigma \vec{M}_y(G_2) = \vec{I}_y(G_2) \ddot{\beta}$$

$$\rightarrow (\vec{F}_{ZC}) \left( \frac{L_2}{2} \cos(\beta) \right) + (\vec{F}_{ZB}) \left( \frac{L_2}{2} \cos(\beta) \right) - (\vec{F}_{XC}) \left( \frac{L_2}{2} \sen(\beta) \right) - (\vec{F}_{XB}) \left( \frac{L_2}{2} \sen(\beta) \right) = \vec{I}_y(G_2) \ddot{\beta}$$

Siendo:

$\vec{F}_{ZC}; \vec{F}_{XC}; \vec{F}_{ZB}; \vec{F}_{XB}$  = Fuerzas de enlace.

$\vec{P}_2$  = Peso del elemento 2.

$G_2$  = Centro de gravedad del elemento 1.

Como se ve en las ecuaciones, es necesario determinar la aceleración del centro de masas del elemento 2, desarrollo que se realiza mediante ecuaciones de cinemática. La aceleración del punto B en función de la velocidad angular del elemento 1:

$$\vec{a}(B) = \vec{a}(O) + \dot{\theta} \times \dot{\theta} \times \overline{OB} + \ddot{\theta} \times \overline{OB} \rightarrow$$

$$\rightarrow \vec{a}(B) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{\theta} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{\theta} \\ 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} -L_1 \sen(\theta) \\ 0 \\ -L_1 \cos(\theta) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \ddot{\theta} \\ 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} -L_1 \sen(\theta) \\ 0 \\ -L_1 \cos(\theta) \end{bmatrix} \rightarrow$$

$$\rightarrow \vec{a}(B) = \begin{bmatrix} \dot{\theta}^2 L_1 \text{sen}(\theta) - \ddot{\theta} L_1 \text{cos}(\theta) \\ 0 \\ \dot{\theta}^2 L_1 \text{cos}(\theta) + \ddot{\theta} L_1 \text{sen}(\theta) \end{bmatrix}$$

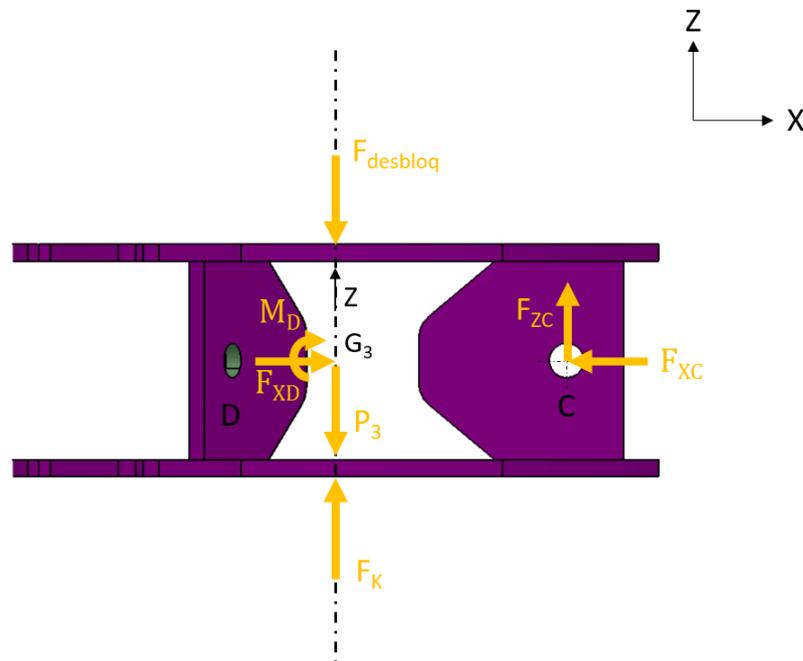
La aceleración del centro de gravedad del elemento 2, en función de la aceleración del punto B:

$$\vec{a}(G_2) = \vec{a}(B) + \dot{\beta} \times \dot{\beta} \times \overline{BG_2} + \ddot{\beta} \times \overline{BG_2} \rightarrow$$

$$\rightarrow \vec{a}(G_2) = \begin{bmatrix} \dot{\theta}^2 L_1 \text{sen}(\theta) - \ddot{\theta} L_1 \text{cos}(\theta) \\ 0 \\ \dot{\theta}^2 L_1 \text{cos}(\theta) + \ddot{\theta} L_1 \text{sen}(\theta) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{\beta} \\ 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{\beta} \\ 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} -\frac{L_2}{2} \text{cos}(\beta) \\ 0 \\ \frac{L_2}{2} \text{sen}(\beta) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \ddot{\beta} \\ 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} -\frac{L_2}{2} \text{cos}(\beta) \\ 0 \\ \frac{L_2}{2} \text{sen}(\beta) \end{bmatrix} \rightarrow$$

$$\rightarrow \vec{a}(G_2) = \begin{bmatrix} \dot{\theta}^2 L_1 \text{sen}(\theta) - \ddot{\theta} L_1 \text{cos}(\theta) + \dot{\beta}^2 \frac{L_2}{2} \text{cos}(\beta) + \ddot{\beta} \frac{L_2}{2} \text{sen}(\beta) \\ 0 \\ \dot{\theta}^2 L_1 \text{cos}(\theta) + \ddot{\theta} L_1 \text{sen}(\theta) - \dot{\beta}^2 \frac{L_2}{2} \text{sen}(\beta) + \ddot{\beta} \frac{L_2}{2} \text{cos}(\beta) \end{bmatrix}$$

En la *Figura 86* se puede ver el diagrama de sólido libre del elemento 3 del mecanismo principal, y, a continuación, las ecuaciones que surgen de aplicar los teoremas vectoriales a dicho elemento.



*Figura 86. Diagrama de sólido libre del elemento 1. Mecanismo principal.*

La aplicación de los teoremas vectoriales al elemento 3:

TCM:

$$\Sigma \vec{F}_x = 0 \rightarrow \vec{F}_{XD} - \vec{F}_{XC} = 0$$

$$\Sigma \vec{F}_z = m_3 \vec{a}_{G_3z} \rightarrow -\vec{P}_3 + \vec{F}_{ZC} = m_3 \ddot{Z}$$

TMC:

$$\Sigma \vec{M}_y(G_2) = 0 \rightarrow (\vec{F}_{ZC})(W) - \vec{M}_D = 0$$

Siendo:

$\vec{F}_{XD}; \vec{F}_{ZC}; \vec{F}_{XC}; \vec{M}_D$  = Fuerzas de enlace.

$\vec{P}_3$  = Peso del elemento 3.

$G_3$  = Centro de gravedad del elemento 3.

$\vec{F}_{desbloq}$  = Fuerza de accionamiento que realiza el mecanismo de desbloqueo sobre el elemento 3 del mecanismo principal.

$\vec{F}_K$  = Fuerza elástica que desarrolla el resorte de compresión que se pretende dimensionar.

Una vez aplicados los teoremas vectoriales a cada elemento del mecanismo, se procede a ensamblar todas las ecuaciones en un mismo sistema matricial, que describa la dinámica y la cinemática (aceleraciones) del mecanismo principal. El conjunto de las ecuaciones dinámicas [2-p.148] se combina con las ecuaciones cinemáticas para formar un único sistema algebraico-diferencial donde las incógnitas son las fuerzas y los momentos desconocidos, así como las aceleraciones asociadas a los grados de libertad del sistema mecánico. De manera que, el modelo matemático del sistema:

$$\begin{bmatrix} M(q) & C(q) \\ \phi_q & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{q} \\ \vec{F} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f(q, \dot{q}, t) \\ -\dot{\phi}_q \dot{q} - \dot{\phi}_t \end{bmatrix}$$

donde:

$M(q)$  = Matriz de masa del sistema.

$C(q)$  = Matriz que depende de la configuración del mecanismo.

$\phi_q$  = Matriz jacobiana.

Quedando:

$$\begin{bmatrix}
 0 & -I_0^1 & 0 & 0 & 0 & \cos(\theta_i)L_1 & \text{sen}(\theta_i)L_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & -m_2L_1\text{sen}(\theta_i) & -m_2\left(\frac{L_2}{2}\right)\cos(\beta_i) & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & m_2L_1\cos(\theta_i) & -m_2\left(\frac{L_2}{2}\right)\text{sen}(\beta_i) & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & I_G^2 & 0 & 0 & -\left(\frac{L_2}{2}\right)\text{sen}(\beta_i) & \left(\frac{L_2}{2}\right)\cos(\beta_i) & -\left(\frac{L_2}{2}\right)\text{sen}(\beta_i) & \left(\frac{L_2}{2}\right)\cos(\beta_i) & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & W & 0 & -1 \\
 0 & \cos(\theta_i)L_1 & -\text{sen}(\beta_i)L_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & -\text{sen}(\theta_i)L_1 & \cos(\beta_i)L_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 \ddot{Z} \\
 \ddot{\theta} \\
 \ddot{\beta} \\
 F_{X0} \\
 F_{Z0} \\
 F_{XB} \\
 F_{ZB} \\
 F_{XC} \\
 F_{ZC} \\
 F_{XD} \\
 M_D
 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix}
 (\vec{F}_E(X_0)) - ((m_1g)\overline{OG_1}\text{sen}(\theta_i)) \\
 (m_2g) + \left(m_2(\dot{\theta}_i)^2L_1\cos(\theta_i)\right) - \left(m_2(\dot{\beta}_i)^2\frac{L_2}{2}\text{sen}(\beta_i)\right) \\
 \left(m_2(\dot{\theta}_i)^2L_1\text{sen}(\theta_i)\right) + \left(m_2(\dot{\beta}_i)^2\frac{L_2}{2}\cos(\beta_i)\right) \\
 0 \\
 (m_3g) - (\vec{F}_{Ki}) \\
 (-\vec{F}_E) + (m_1g) \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 \left((\dot{\beta}_i)^2L_2\cos(\beta_i)\right) + \left((\dot{\theta}_i)^2L_1\text{sen}(\theta_i)\right) \\
 \left((\dot{\beta}_i)^2L_2\text{sen}(\beta_i)\right) + \left((\dot{\theta}_i)^2L_1\cos(\theta_i)\right)
 \end{bmatrix}$$

Las condiciones iniciales y parámetros conocidos, introducidos como dato de entrada en el sistema para su resolución son:

Datos de geometría:

$$\overline{OG_1} = \sqrt{(\overline{OG_{1x}})^2 + (\overline{OG_{1z}})^2} = \sqrt{(14,761)^2 + (44,377)^2} = 0,0468 \text{ m}$$

$$W = 0,04 \text{ m}$$

$$L_1 = 0,05 \text{ m}$$

$$L_2 = 0,043 \text{ m}$$

Datos máxicos:

$$I_0^1 = 9,827 \cdot 10^{-4} \text{ Kgm}^2$$

$$I_G^2 = 2,698 \cdot 10^{-5} \text{ Kgm}^2$$

$$m_1 = 0,17 \text{ Kg}$$

$$m_2 = 0,073 \text{ Kg}$$

$$m_3 = 0,53 \text{ Kg}$$

Condiciones iniciales:

$$\theta_{IV} = -0,04 \text{ rad}$$

$$\beta_{IV} = 0,309 \text{ rad}$$

$$Z_{IV} = 13,039 \text{ m}$$

$$\theta_I = -0,002 \text{ rad}$$

$$\beta_I = -0,076 \text{ rad}$$

$$Z_I = -3,258 \text{ m}$$

$$\theta_{III} = -0,029 \text{ rad}$$

$$\beta_{III} = 0,259 \text{ rad}$$

$$Z_{III} = 10,982 \text{ m}$$

$$\theta_0 = 0 \text{ rad}$$

$$\beta_0 = 0 \text{ rad}$$

$$Z_0 = 0 \text{ m}$$

Datos de fuerzas y momentos:

$$\vec{F}_E = 33,8 N$$

Donde la fuerza dato  $\vec{F}_E$  ha sido calculada teniendo en cuenta la superficie de la base del alojamiento donde se acopla la tobera, y la presión máxima admisible en la botella comercial que hace las veces de cohete.

## ANEXO II. ANALISIS DINAMICO DEL MECANISMO DE DESBLOQUEO

Se desarrolla a continuación el análisis cinemático del mecanismo de desbloqueo. Partiendo de las ecuaciones de enlace geométricas de este mecanismo, desarrolladas en el Apartado 2.4.3., se derivan con respecto al tiempo:

$$\dot{\phi}(q) = \frac{d}{dt}(\phi(q)) = \frac{\delta\phi(q)}{\delta q} \dot{q} + \frac{\delta\phi(q)}{\delta t} = \begin{bmatrix} \frac{\delta\phi_1(q)}{\delta x'(\varphi)} & \frac{\delta\phi_1(q)}{\delta\varphi} \\ \frac{\delta\phi_2(q)}{\delta x'(\varphi)} & \frac{\delta\phi_2(q)}{\delta\varphi} \end{bmatrix} = 0 \rightarrow$$

$$\rightarrow \dot{\phi}(q) = \begin{bmatrix} 1 & \overline{O'J} \operatorname{sen}(\varphi) \\ \frac{-2x'(\varphi)}{2\left(\sqrt{(\overline{O'J})^2 - (x'(\varphi))^2}\right)} & -\overline{O'J} \operatorname{cos}(\varphi) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x'(\varphi) \\ \dot{\varphi} \end{bmatrix} = 0$$

Siendo la matriz jacobiana del mecanismo:

$$\phi_q = \begin{bmatrix} 1 & \overline{O'J} \operatorname{sen}(\varphi) \\ \frac{-2x'(\varphi)}{2\left(\sqrt{(\overline{O'J})^2 - (x'(\varphi))^2}\right)} & -\overline{O'J} \operatorname{cos}(\varphi) \end{bmatrix}$$

Poniendo el sistema en función de la coordenada independiente:

$$\dot{\vec{q}}^d = -[\phi_q^d]^{-1}[\phi_q^i] \dot{q}^i \rightarrow$$

$$\rightarrow [x'(\varphi)] = \begin{bmatrix} 1 \\ \frac{-2x'(\varphi)}{2\left(\sqrt{(\overline{O'J})^2 - (x'(\varphi))^2}\right)} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -\left[\overline{O'J} \operatorname{sen}(\varphi)\right] \\ -\left[-\overline{O'J} \operatorname{cos}(\varphi)\right] \end{bmatrix} \dot{\varphi}$$

Realizado el análisis de las velocidades, se procede a hacer el análisis de las aceleraciones. Este análisis se consigue derivando dos veces respecto del tiempo las ecuaciones de enlace geométrico, y ordenando adecuadamente los términos, para que el sistema dependa de la coordenada independiente:

$$\ddot{\phi}(q) = \frac{d}{dt}(\dot{\phi}(q)) = \frac{\delta^2\phi(q)}{\delta q^2} \dot{q} + \frac{\delta^2\phi(q)}{\delta t^2} = \begin{bmatrix} \frac{\delta^2\phi_1(q)}{\delta x'(\varphi)^2} & \frac{\delta^2\phi_1(q)}{\delta\varphi^2} \\ \frac{\delta^2\phi_2(q)}{\delta x'(\varphi)^2} & \frac{\delta^2\phi_2(q)}{\delta\varphi^2} \end{bmatrix} = 0$$

Reordenando los términos, para que el sistema dependa de la coordenada independiente:

$$\ddot{q}^d = -[\phi_q^d]^{-1}([\phi_q^i]\ddot{q}^i + [\dot{\phi}_q]\dot{q}) \rightarrow$$

$$\begin{bmatrix} x''(\varphi) \\ \ddot{\varphi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \overline{O'J'} \sin(\varphi) \\ -2x'(\varphi) & -\overline{O'J'} \cos(\varphi) \\ 2\left(\sqrt{(\overline{O'J'})^2 - (x'(\varphi))^2}\right) & \end{bmatrix}^{-1} \left( - \begin{bmatrix} 0 & \overline{O'J'} \cos(\varphi) \\ A & \overline{O'J'} \sin(\varphi) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x'(\varphi) \\ \dot{\varphi} \end{bmatrix} \right)$$

siendo:

$$A = \frac{-\left(\sqrt{(\overline{O'J'})^2 - (x'(\varphi))^2}\right) - \left(\frac{x'(\varphi)}{\sqrt{(\overline{O'J'})^2 - (x'(\varphi))^2}}\right)}{\left((\overline{O'J'})^2 - (x'(\varphi))^2\right)}$$

Conocidas las ecuaciones que describen la aceleración del sistema, se expone el diagrama de sólido libre del elemento del mecanismo, que se presenta en la *Figura 87*, en los que se representan las fuerzas y momentos externos que actúan sobre el elemento en cuestión, y las fuerzas y momentos de enlace que se producen, que garantizan el movimiento. Cabe destacar que la masa de la tornillería no se incluye, ya que su peso lo asume la bancada, donde va acoplado el mecanismo.

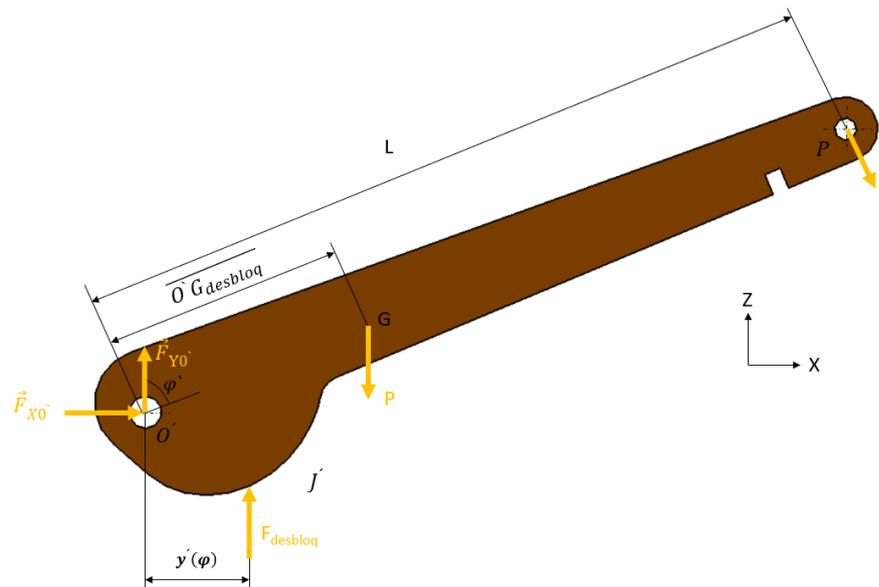


Figura 87. Diagrama de sólido libre del elemento del mecanismo de desbloqueo.

Hay que tener en cuenta que la magnitud  $\varphi' = \varphi + \varphi_0$ , siendo  $\varphi_0$  el ángulo que forma el elemento con la vertical, en el momento en el que se desarrolla la mayor  $\vec{F}_{desbloq}$ . La aplicación de los teoremas vectoriales al elemento de la *Figura 87*:

TCM:

$$\begin{aligned}\Sigma \vec{F}_x = 0 &\rightarrow \vec{F} \cos(\varphi') + \vec{F}_{x0'} = 0 \\ \Sigma \vec{F}_z = 0 &\rightarrow \vec{F}_{y0'} - \vec{F} \operatorname{sen}(\varphi') + \vec{F}_{desbloq} - \vec{P} = 0\end{aligned}$$

TMC:

$$\begin{aligned}\Sigma \vec{M}_y(O) &= \vec{I}_y(O') \ddot{\varphi} \rightarrow \\ &\rightarrow -\vec{F}L + (\vec{F}_{desbloq})(y'(\varphi)) - \overline{\vec{P}O'G_{desbloq}} = \vec{I}_y(O') \ddot{\varphi}\end{aligned}$$

siendo:

$\vec{F}$  = Fuerza que hay que aplicar al mecanismo de desbloqueo para accionar al mecanismo principal.

$\vec{F}_{x0'}$ ;  $\vec{F}_{y0'}$  = Fuerzas de enlace.

$\vec{P}$  = Peso del elemento.

$G_{desbloq}$  = Centro de gravedad del elemento.

Una vez aplicados los teoremas vectoriales a cada elemento del mecanismo, se procede a ensamblar todas las ecuaciones en un mismo sistema matricial, que describa la dinámica y la cinemática (aceleraciones) del mecanismo principal. El conjunto de las ecuaciones dinámicas [2-p.148] se combina con las ecuaciones cinemáticas para formar un único sistema algebraico-diferencial donde las incógnitas son las fuerzas y los momentos desconocidos, así como las aceleraciones asociadas a los grados de libertad del sistema mecánico. De manera que, el modelo matemático del sistema:

$$\begin{bmatrix} M(q) & C(q) \\ \phi_q & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{q} \\ \vec{F} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f(q, \dot{q}, t) \\ -\dot{\phi}_q \dot{q} - \dot{\phi}_t \end{bmatrix}$$

donde:

$M(q)$  = Matriz de masa del sistema.

$C(q)$  = Matriz que depende de la configuración del mecanismo.

$\phi_q$  = Matriz jacobiana.

Quedando:

$$\begin{bmatrix} 0 & -\vec{I}_y(O') & 0 & 0 & -L \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \cos(\varphi') \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -\sin(\varphi') \\ 1 & \overline{O'J'} \sin(\varphi) & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-2x'(\varphi)}{2\left(\sqrt{(\overline{O'J'})^2 - (x'(\varphi))^2}\right)} & -\overline{O'J'} \cos(\varphi) & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x''(\varphi) \\ \ddot{\varphi} \\ \vec{F}_{xO'} \\ \vec{F}_{yO'} \\ \vec{F} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -\vec{F}_{desbloq} + \vec{P} \\ -\vec{F}_{desbloq} y'(\varphi) + \vec{P} \cos(\varphi') \overline{O'G}_{desbloq} \\ -\overline{O'J'} \cos(\varphi) \dot{\varphi} \\ -Ax'(\varphi) - \overline{O'J'} \sin(\varphi) \dot{\varphi} \end{bmatrix}$$

siendo:

$$A = \frac{-\left(\sqrt{(\overline{O'J'})^2 - (x'(\varphi))^2}\right) - \left(\frac{x'(\varphi)}{\sqrt{(\overline{O'J'})^2 - (x'(\varphi))^2}}\right)}{\left((\overline{O'J'})^2 - (x'(\varphi))^2\right)}$$

Este sistema se va a resolver en la posición en la que hay que desarrollar la mayor  $\vec{F}_{desbloq}$  sobre el mecanismo principal, que supone ser la posición I del mecanismo principal, tal como se expone en el Apartado 2.3.5. Los datos necesarios para la resolución del problema:

Datos de geometría:

$$\overline{O'G}_{desbloq} = \sqrt{(0,001472)^2 + (0,056283)^2} = 0,0563 \text{ m}$$

$$L = 0,141 \text{ m}$$

Datos másicos:

$$\vec{I}_y(O') = 3,192 \cdot 10^{-4} \text{ Kgm}^2$$

$$m = 0,063 \text{ Kg}$$

Condiciones iniciales:

$$\varphi_0 = 28,9 \text{ grad} = 0,504 \text{ rad}$$

$$\varphi = 0 \text{ rad}$$

$$\varphi' = \varphi + \varphi_0 = 0,504 \text{ rad}$$

$$y'(\varphi) = -89 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

$$x'(\varphi) = 0,013115 \text{ m}$$

$$x'(\dot{\varphi}) = 0,0255 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\dot{\varphi} = 0,89\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\overline{O'J'} = 0,013115 \text{ m}$$

Datos de fuerzas y momentos:

$$\vec{F}_{desbloq} = 8,45 \text{ N}$$

### ANEXO III. LUBRICACION

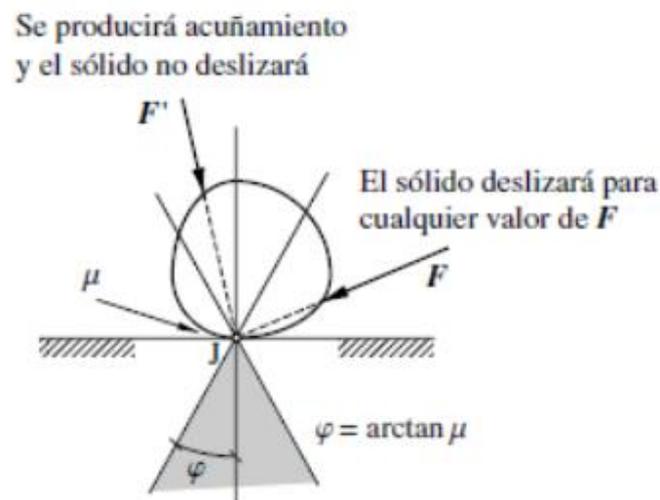
En los enlaces de los mecanismos diseñados (principal y de desbloqueo), existe movimiento relativo entre los elementos, lo que provoca fricción, y, en consecuencia, pérdida de material y existencia de vibraciones, causantes de inestabilidad en el funcionamiento normal para el que ha sido diseñada la lanzadera. Para minimizar este fenómeno, se decide incluir lubricación (y no engrase) en estas uniones, debido a que las holguras diseñadas en estas uniones (necesarias para permitir el movimiento relativo entre los elementos) son tan pequeñas que no cabe la posibilidad de engrasar. Sin embargo, a modo de comprobación, se procede a dimensionar las fuerzas de fricción que aparecerán en las uniones, para así poder justificar de manera cuantitativa por qué no se han incluido estas fuerzas en el análisis dinámico de los mecanismos. Existen dos modelos matemáticos que permiten aproximar el valor de estas fuerzas:

- Modelo de rozamiento seco: No hay presencia de lubricación. [2-p.166] En un punto de contacto y en ausencia de deslizamiento, el módulo de la fuerza de rozamiento  $F_{ROZ}$  está condicionada a  $|F_{ROZ}| = \mu_e N$ , donde  $\mu_e$  es un coeficiente adimensional que se denomina coeficiente de rozamiento estático. En presencia de deslizamiento, la fuerza de fricción se opone a la velocidad relativa de deslizamiento, siendo  $|F_{ROZ}| = \mu_d N$ , donde  $\mu_d$  es un coeficiente adimensional que se denomina coeficiente de rozamiento dinámico.
- Modelo de rozamiento viscoso: Hay presencia de lubricación. La introducción de una capa delgada de lubricante entre las superficies metálicas divide el coeficiente de rozamiento por dos o más. [2-p.166] Cuando entre los sólidos en contacto hay lubricante, una aproximación razonable de la fuerza tangencial es la que proporciona el modelo de rozamiento viscoso con una fuerza proporcional a la velocidad de deslizamiento,  $F_{FRICCION} = -cN$ , donde  $c$  es una constante. [2-p.169] Según este modelo, la fuerza tangencial es siempre de fricción, y, por tanto, de formulación conocida. En ausencia de velocidad de deslizamiento, la fuerza tangencial es nula. En este modelo la fuerza no presenta discontinuidades como sucede en el caso del modelo de rozamiento seco, lo que implica que no se tiene en cuenta la influencia de la fricción estática.

Dado que en la lanzadera objeto de este trabajo se va a aplicar lubricación, el modelo matemático que se va a aplicar para dimensionar las fuerzas de fricción en los enlaces de los mecanismos es el modelo de rozamiento viscoso. En la práctica, existen dos tipos de enlace, un par prismático entre el elemento 3 del mecanismo principal y el eje de y pares rotativos (enlaces de giro entre los demás elementos).

[2-p.171] En un contacto puntual con rozamiento, la fuerza de enlace que puede existir tiene una dirección contenida dentro de un cono de semiapertura  $\varphi = \arctg(\mu)$ , denominado cono de rozamiento. El coeficiente de rozamiento estático, en presencia de lubricación, entre dos elementos de acero es [2- p.167, Tabla 7.1.]  $\mu = 0,2$ , lo que implica que el ángulo de la semiapertura del cono de rozamiento es  $\varphi = \arctg(0,2) = 11,3^\circ$ .

Si existe una fuerza de enlace normal  $N$ , puede existir una fuerza de enlace tangencial de valor máximo  $\mu N$ . En el planteamiento de distribuciones de fuerzas en un plano, este cono pasa a ser el triángulo de rozamiento, tal como se puede ver en la *Figura 88*.



*Figura 88.* [2- p.171, Figura 7.7.] Cono de rozamiento en un contacto puntual.

En el caso del par prismático, y atendiendo al diseño mecánico, expuesto en el Apartado 4.1. (enlace entre piezas *M123* y *M131\_A* y *M131\_B*), el problema se sitúa en un caso de contacto multipuntual, en el que [2-p.172] el contacto entre miembros puede extenderse a una línea o superficie. En este caso, con la hipótesis de sólido rígido, la distribución de presiones es indeterminada, ya que sólo se puede conocer el torsor de las fuerzas exteriores que actúan sobre el sólido. Para poder determinar estas distribuciones de presiones en el ámbito del sólido rígido, se pueden plantear diferentes hipótesis, siendo la hipótesis de existencia de juego en el enlace la que se elige, ya que este par prismático se ha diseñado para que haya una cierta holgura entre los dos elementos que participan en él. [2-p.173] Si entre las superficies en contacto no hay precompresión, se supone un juego y que las fuerzas de enlace normales se concentran en los puntos que las otras fuerzas exteriores pondrían en contacto. Si las fuerzas exteriores que actúan sobre la corredera (eje), diferentes de la de contacto con la guía, son equivalentes a la fuerza  $F$ , según se puede ver en la *Figura 89*, el contacto

con la pieza *M132* se establece en los puntos *A* y *B*, y el deslizamiento está condicionado a la no existencia de acuñaamiento. Los conos de rozamiento en los puntos *A* y *B* delimitan la zona donde se pueden cortar las fuerzas de contacto cuando no hay deslizamiento. Si la recta de acción de *F* corta esta zona, existen fuerzas de enlace  $F_A$  y  $F_B$  que se cortan con *F* y, por tanto, verifican  $\Sigma M_{ext} = 0 \text{ Nm}$ . Por otra parte,  $F_A$  y  $F_B$  son de módulo arbitrario y pueden garantizar que  $\Sigma F_{ext} = 0 \text{ N}$ . En resumen, si la fuerza *F* corta la zona mencionada (intersección de los dos triángulos de rozamiento) siempre existen dos fuerzas de enlace que garanticen las condiciones de equilibrio, se produce acuñaamiento, y la pieza *M132* no desliza con respecto al eje.

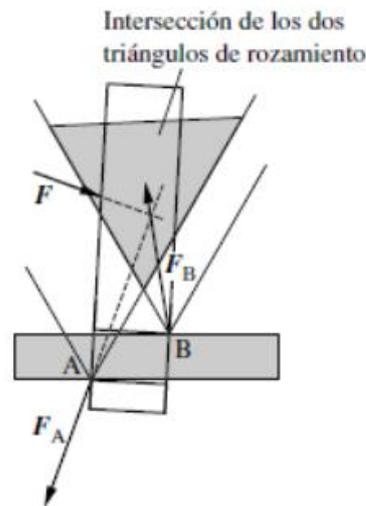
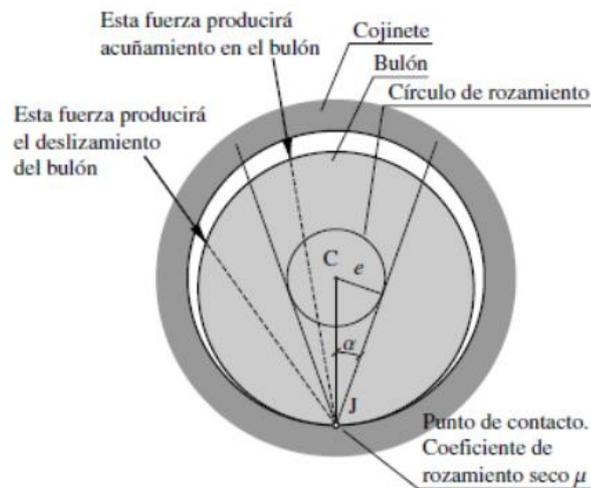


Figura 89. [2- p.173, Figura 7.10.] Análisis de los triángulos de rozamiento en el par prismático.

Analizando el par prismático del mecanismo principal (enlace D, según *Figura 4*), y atendiendo a la geometría diseñada del elemento 3 del mecanismo principal, el par está compuesto por el contacto simultáneo de dos placas (placas superior e inferior de la pieza *M123*) con respecto al eje de la lanzadera. Este hecho es beneficioso, ya que ofrece estabilidad al elemento 3 al haber mayor superficie de contacto con respecto al eje de la lanzadera. Al existir tres réplicas dispuestas equiespaciadas en torno al eje, enlazadas todas con el mismo elemento 3, las fuerzas de enlace en el punto C se ven multiplicadas por 3, y su resultante se sitúa siempre aplicada sobre el eje de la lanzadera, y no sobre el punto C. Atendiendo a la *Figura 89* se puede apreciar que, sea cual sea el ángulo de semiapertura del cono de rozamiento, los triángulos de rozamiento que surgen en el plano de estudio siempre se van a cortar fuera del eje de deslizamiento. Esto indica que en este par prismático nunca se va a producir el acuñaamiento del elemento 3, ya que la resultante de las fuerzas de enlace en los respectivos puntos C de cada una de las réplicas se sitúa aplicada sobre el eje lanzadera.

En el caso de los pares rotativos, [2-p.173] si se plantea la hipótesis de que la resistencia a la rodadura entre los dos sólidos (pertenecientes a cada par rotativo) es nula, y que las fuerzas exteriores, diferentes de las de contacto, son equivalentes a una fuerza  $F$ , entonces el equilibrio ( $\Sigma M_{ext} = 0 Nm$  y  $\Sigma F_{ext} = 0 N$ ) requiere que el punto de contacto  $J$  esté sobre la recta de acción de  $F$ , tal como se puede ver en la *Figura 90*.



*Figura 90.* [2- p.174, *Figura 7.10.*] *Círculo de rozamiento.*

En esta situación, habrá deslizamiento entre los elementos siempre que la resultante  $F$  esté fuera del triángulo de rozamiento que se puede definir en el contacto en  $J$ . La envolvente de todos los triángulos de rozamiento que se pueden definir constituye el denominado círculo de rozamiento. Las fuerzas aplicadas sobre el bulón, que sean equivalentes a una resultante que corte el círculo de rozamiento lo acuñarán, mientras que aquellas que no le corten provocarán deslizamiento relativo entre los elementos. El radio  $e$  del círculo, teniendo en cuenta que el diámetro elegido para diseñar los pares rotativos es  $R = 6,1 mm$ , es:

$$e = r \frac{\tan(\alpha)}{\sqrt{1 + \tan^2(\alpha)}} = \frac{r\mu}{\sqrt{1 + \mu^2}} = \frac{3,05 \cdot 0,2}{\sqrt{1 + 0,2^2}} = 0,598 mm$$

Siendo  $r = 3,05 mm$  el radio del alojamiento del par rotativo. La existencia del círculo de rozamiento prácticamente imposibilita el equilibrado estático para procedimientos estáticos de un rotor horizontal montado en cojinetes de fricción. Éste puede quedar en reposo en cualquier posición angular siempre que la excentricidad de su centro de inercia no supere el radio del círculo de rozamiento.

En el caso de la lanzadera objeto de este trabajo, existen 11 pares rotativos, 2 pertenecientes al mecanismo de desbloqueo, y 9 pertenecientes al

mecanismo principal. Dado que la geometría de todos los pares es la misma, el estudio de las fuerzas de fricción en estos pares rotativos, que se expone a continuación, radica en el estudio de uno solo, ya que los resultados serán representativos para todos los pares rotativos de la lanzadera. Además, se decide hacer el estudio en la posición cero del mecanismo, ya que en esta posición el ángulo del elemento 2 con respecto a la horizontal es  $\beta = 0^\circ$ , lo que implica que el mecanismo, en este punto, está en una bifurcación. Es importante, por lo tanto, asegurar que no se produce acuñaamiento en la posición cero, para asegurar que el mecanismo desarrolla su movimiento en la dirección adecuada. Es por esto por lo que el par rotativo que se estudia es el punto C, que enlaza el elemento 2 con el elemento 3. Como se puede ver en la *Tabla 7* (Apartado 2.3.5.), la resultante de las fuerzas de enlace en el par C tiene dirección horizontal, orientada hacia el eje lanzadera. Esto, en la teoría, provoca el acuñaamiento del par en este punto. Sin embargo, es importante darse cuenta de que el mecanismo principal, en este punto, está siendo accionado por el mecanismo de desbloqueo, lo que provoca un deslizamiento forzado del elemento 3 con respecto al eje en esta posición. En definitiva, no se produce acuñaamiento en ningún par rotativo del mecanismo, y, en caso de existir, la acción del mecanismo de desbloqueo sobre el mecanismo principal contrarrestaría los efectos.

Del desarrollo anterior se obtienen las siguientes conclusiones:

- Debido a la existencia de lubricación, no existirá fricción estática que los elementos deban superar para iniciar su movimiento.
- Las carreras que van a experimentar los elementos son pequeñas, por lo que es lógico suponer que la fricción dinámica será despreciable.
- Dada la simetría axial con la que se ha diseñado el mecanismo principal, las componentes horizontales de las fuerzas que actúan sobre la pieza *M123* que podrían generar fricción (o incluso acuñaamiento), se anulan entre sí.
- La fuerza elástica que ejerce el resorte sobre la pieza *M123* tiene dirección vertical, coaxial con el eje de la lanzadera, y es de mayor magnitud que las fuerzas resultantes que el elemento dos del mecanismo principal (piezas *M122*) transmiten a esta pieza. De esta manera, la fuerza total resultante que la pieza transmite al eje, causante del posible deslizamiento o acuñaamiento, tendrá en todo momento la componente mayor orientada en la misma dirección que el eje de la lanzadera, por lo que se disminuye el riesgo de acuñaamiento.
- En el análisis dinámico se han sobredimensionado las fuerzas que actúan sobre los mecanismos, además de que el resorte real que se ha acoplado a la lanzadera posee mayor rigidez de la calculada, lo que provocará una mayor movilidad en los mecanismos de la calculada.

De manera que, queda justificado que, dada la poca influencia de las fuerzas de fricción en el funcionamiento de los mecanismos (debido a la lubricación pertinente), no es necesario incluir estas fuerzas en el análisis dinámico de los mecanismos de la lanzadera.

ANEXO IV. LISTA DE MATERIALES

Uva	GRADO EN INGENIERIA MECANICA				TRABAJO FIN DE GRADO			
	PROYECTO:		M000		REALIZADO:	ANDRES NIÑO DE LA FUENTE		
	DENOMINACION:		LANZADERA COHETE		FECHA:	07/2019		
	MARCA	CANTIDAD	Nº PLANO	DENOMINACION	MATERIAL	TRATAMIENTO	REF. FABRICANTE	FABRICANTE
000	1	M000	CONJUNTO MAQUINA					
100	1	M100	LANZADERA					
110	1	M110	BANCADA					
111	1	M111	PLACA SUPERIOR	AISI 304				
111_A	1	M111_A	-	AISI 304				
111_B	12	M111_B	-	AISI 304				Ctdad total
111_C	2	M111_C	-	AISI 304				Ctdad total
112	1	M112	PLACA BASE	AISI 304				
112_A	1	M112_A	-	AISI 304				Ctdad total
112_B	6	M112_B	-	AISI 304				Ctdad total
113	3	M113	SEPARADOR	AISI 304				
114	1	M114	SEPARADOR-TOPE	AISI 304				
111_A1	1	M111_A1	PLACA SUPERIOR CERRADA	AISI 304				
112_A1	1	M112_A1	PLACA BASE CON OREJA	AISI 304				
T01	32		TUERCA	ACERO CLASE 8.8.		DIN 934 M6	NORELEM	
T02	16		ARANDELA	ACERO CLASE 8.8.		DIN 125 M6	NORELEM	
C01	4		VARILLA ROSCADA	ACERO CLASE 8.8.		DIN 975 M6	FARNELL	L= 171 mm
120	1	M120	MECANISMO PRINCIPAL					
121	3	M121	GARRA	AISI 304				
122	3	M122	BIELA	AISI 304				
122_A	2	M122_A	-	AISI 304				Ctdad subtotal
122_B	1	M122_B	-	AISI 304				Ctdad subtotal
123	1	M123	DESPLAZADOR	AISI 304				
123_A	2	M123_A	-					Ctdad subtotal
123_B	3	M123_B	-					Ctdad subtotal
T03	9		TORNILLO CABEZA HEXAGONAL	ACERO CLASE 8.8.		DIN 933 M4x15	NORELEM	
T04	9		TUERCA	ACERO CLASE 8.8.		DIN 934 M4	NORELEM	
C02	1		RESORTE COMPRESION	ACERO CLASE 8.8.		DIN 2095 0,7x17x2(in)	MUELLES MELERO	
C03	9		TUBO	ALUMINIO		DIN 2441 D6x1	AZAN SUMINISTROS	L = 11mm
130	1	M130	CONJUNTO EJE					
131_A	1	M131_A	EJE SUPERIOR	AISI 304				

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN, BASADOS EN CHAPA CORTADA POR LÁSER, DE UNA LANZADERA DE COHETES DE AGUA

131_B	1	M131_B	EJE INFERIOR	AISI 304				
MARCA	CANTIDAD	Nº PLANO	DENOMINACION	MATERIAL	TRATAMIENTO	REF. FABRICANTE	FABRICANTE	OBSERVACIONES
132	1	M132	CUERPO ADMISION	EN AW-1050 [AI 99,5]				
T05	3		TUERCA	ACERO CLASE 8.8.		DIN 934 M10	NORELEM	
T06	2		ARANDELA	ACERO CLASE 8.8.		DIN 125 M10	NORELEM	
C04	1		JUNTA TORICA	NBR70 NEGRO		DIN 3771 D8x3,5	JUNTAS BESMA	Dureza 70 Shore A
C05	1		VARILLA ROSCADA	ACERO CLASE 8.8.		DIN 975 M10	FARNELL	L= 60mm
C06	1		RACOR			KQ2H04_01AS_R1/8	SMC	
140	1	M140	MECANISMO DESBLOQUEO					
141	1	M141	PALANCA	AISI 304				
141_A	2	M141_A	-	AISI 304				Ctdad subtotal
141_B	1	M141_B	-	AISI 304				Ctdad subtotal
T07	1		TORNILLO CABEZA HEXAGONAL	ACERO CLASE 8.8.		DIN 933 M4x50	NORELEM	
T08	2		TORNILLO CABEZA HEXAGONAL	ACERO CLASE 8.8.		DIN 933 M4x10	NORELEM	
T04	3		TUERCA	ACERO CLASE 8.8.		DIN 934 M4	NORELEM	
C03	1		TUBO	ALUMINIO		DIN 2441 D6x1	AZAN SUMINISTROS	L = 40mm
C03	2		TUBO	ALUMINIO		DIN 2441 D6x1	AZAN SUMINISTROS	L = 6,5mm
150	1	M150	CONJUNTO COHETE					
151	1	M151	TOBERA	EN AW-1050 [AI 99,5]				
200	1	M200	POSICIONADO					
210	1	M210	ESTRUCTURA SECUNDARIA					
211	1	M211	PLACA TOPE	AISI 304				
212	1	M212	PLACA TOPE CON OREJA	AISI 304				
T05	24		TUERCA	ACERO CLASE 8.8.		DIN 934 M10	NORELEM	
T06	18		ARANDELA	ACERO CLASE 8.8.		DIN 125 M10	NORELEM	
C05	3		VARILLA ROSCADA	ACERO CLASE 8.8.		DIN 975 M10	FARNELL	L= 900 mm
220	1	M220	SISTEMA DE GUIADO					
221	2	M221	REGULADOR POSICION	AISI 304				
222	1	M222	REGULADOR POSICION CON OREJA	AISI 304				
T01	12		TUERCA	ACERO CLASE 8.8.		DIN 934 M6	NORELEM	
T05	18		TUERCA	ACERO CLASE 8.8.		DIN 934 M10	NORELEM	
T06	12		ARANDELA	ACERO CLASE 8.8.		DIN 125 M10	NORELEM	
C05	3		VARILLA ROSCADA	ACERO CLASE 8.8.		DIN 975 M10	FARNELL	L= 300 mm
C09	3		TUBO	ALUMINIO		DIN 2441 D12x1	AZAN SUMINISTROS	L = 200mm

ANEXO V. PRESUPUESTO

<b>Total presupuesto</b> <b>6.296,00 €</b>					Nombre: ANDRES NIÑO DE LA FUENTE		<b>Datos cliente</b>					
Forma de pago : cheque/débito/efectivo					GRADO EN INGENIERIA MECANICA		Nombre ESCUELA INGENIERIAS INDUSTRIALES					
Firma de la persona que confecciona el presupuesto.			ACEPTO EL PRESUPUESTO. Nombre, apellidos y firma del cliente.			Teléfono: 639458937		UNIVERSIDAD DE VALLADOLID				
					E-mail: andres.nino@alumnos.uva.es		Dirección Paseo del Cauce, 59. 47011. Valladolid					
					Fecha presupuesto		07/2019		Validez:			
<b>Presupuesto materiales</b>						<b>Presupuesto mano de obra</b>						
DESCRIPCIÓN		UNIDADES	PRECIO	% DTO.	PRECIO DTO.	TOTAL	DESCRIPCIÓN		Nº OPERARIOS	Nº HORAS	PRECIO OP/HORA	TOTAL
Piezas láser		30,00	2,00		\$ 2,00	60,00 €	Diseño mecánico		1	200	15,00	3.000,00 €
Comerciales y tomillería		15,00	1,00		\$ 1,00	15,00 €	Cálculo y dimensionamiento		1	154	20,00	3.080,00 €
							Fabricacion		1	7	15,00	105,00 €
							Montaje		1	2	18,00	36,00 €
<b>Total presupuesto materiales</b> <b>75,00 €</b>						<b>Total presupuesto mano de obra</b> <b>6.221,00 €</b>						

## ANEXO VI. CODIGOS DE MATLAB

### VI.1. DINAMICA MECANISMO PRINCIPAL

```

%POSICION: POSICION DESBLOQUEO FUNCIONAL. POSICION IV

%ANALISIS CINEMATICO. Sistema de ecuaciones  $J3*y3=H3$  siendo y3
el vector incognita

%Declaracion de las variables

%Parametros de posicion (z=z;beta=b;tita=t)
z4=13.039*(10^(-3)); %m
b4=0.309; %rad
t4=-0.04; %rad
%Datos de velocidad:
zprima4=32.65*(10^(-3)); %m/seg
%Parametros dimensionales:
W=40*(10^(-3)); %m
L1s=50*(10^(-3)); %m
L1prima=44.20825*(10^(-3)); %m
L2=43*(10^(-3)); %m

%Matriz Jacobiana

J4=zeros(2,2);
J4=[(-L2*sin(b4)) (L1s*cos(t4));...
    (+L2*cos(b4)) (-L1s*sin(t4))];

%Matriz H

H4=zeros(2,1);
H4=[0;...
    (-zprima4)];

%Solucion
y4=linsolve(J4,H4);

%ANALISIS DINAMICO. Sistema de ecuaciones  $M*x=N$  con x siendo
el vector incognita

%Declaracion de las variables

%Parametros de masa:
IO1=9.827*(10^(-4)); %Kgm^2
IG2=2.698*(10^(-5)); %Kgm^2
m=[0.17 0.073 0.53]; %Kg
P=[m(1)*9.81 m(2)*9.81 m(3)*9.81]; %N
%Datos de fuerzas y velocidades:
bprima4=y4(1); %rad/seg
tprima4=y4(2); %rad/seg

%Matriz M3
M4=zeros(11,11);

```

```

M4=[0 -IO1 0 0 0 cos(t4)*L1s -sin(t4)*L1s 0 0 0 0;...
    0 -m(2)*L1s*sin(t4) -m(2)*(L2/2)*cos(b4) 0 0 0 1 -1 0 0
0;...
    0 m(2)*L1s*cos(t4) -m(2)*(L2/2)*sin(b4) 0 0 -1 0 1 0 0
0;...
    0 0 -IG2 0 0 (L2/2)*sin(b4) (L2/2)*cos(b4) (L2/2)*sin(b4)
(L2/2)*cos(b4) 0 0;...
    -m(3) 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0;...
    0 0 0 0 1 0 -1 0 0 0 0;...
    0 0 0 1 0 +1 0 0 0 0 0;...
    zeros(1,7) -1 0 1 0;...
    zeros(1,8) W 0 -1;...
    0 L1s*cos(t4) -L2*sin(b4) zeros(1,8);...
    1 -L1s*sin(t4) L2*cos(b4) zeros(1,8)];
%Matriz N3
N4=zeros(11,1);
N4=[-(P(1)*L1prima*sin(t4));...
    P(2)+(m(2)*(tprima4^2)*L1s*cos(t4))-
(m(2)*(bprima4^2)*(L2/2)*sin(b4));...
(m(2)*(tprima4^2)*L1s*sin(t4))+(m(2)*(bprima4^2)*(L2/2)*cos(b4));.
..
    0;...
    P(3);...
    P(1);...
    0;...
    0;...
    0;...
    ((bprima4^2)*L2*cos(b4))+((tprima4^2)*L1s*sin(t4));...
    ((bprima4^2)*L2*sin(b4))+((tprima4^2)*L1s*cos(t4))];
%Solucion
x4=linsolve(M4,N4);

%-----

%POSICION: POSICION AUTOBLOQUEO. POSICION I

%ANALISIS CINEMATICO. Sistema de ecuaciones J*x=H con x siendo
el vector incognita

%Declaracion de las variables

%Parametros de posicion (z=z;beta=b;tita=t)
z1=-3.258*(10^(-3)); %m
b1=-0.076; %rad
t1=-0.002; %rad
%Datos de velocidad:
zprima1=36.67*(10^(-3)); %m/seg
%Parametros dimensionales:
W=40*(10^(-3)); %m
L1s=50*(10^(-3)); %m
L1prima=44.20825*(10^(-3)); %m
L2=43*(10^(-3)); %m

%Matriz Jacobiana

J1=zeros(2,2);

```

```

J1=[(-L2*sin(b1)) (L1s*cos(t1));...
    (+L2*cos(b1)) (-L1s*sin(t1))];

%Matriz H

H1=zeros(2,1);
H1=[0;...
    (-zprimal)];

%Solucion
y1=linsolve(J1,H1);

%ANALISIS DINAMICO. Sistema de ecuaciones M*x=N con x siendo
el vector incognita

%Declaracion de las variables

%Datos de fuerzas y velocidades:
Fe=33.79957/3; %N
bprimal=y1(1); %rad/seg
tprimal=y1(2); %rad/seg
Fm1=(1090.4)*(1.5*(10^(-3))) ; %N %RESORTE MINIMO
NECESARIO PARA EQUILIBRIO EN POSICION IV
%RESORTE CON CIERTA
%PRECOMPRESION

%Matriz M(poner nombre bueno a esta matriz)
M1=zeros(11,11);
M1=[0 -IO1 0 0 0 cos(t1)*L1s sin(t1)*L1s 0 0 0 0;...
    0 -m(2)*L1s*sin(t1) -m(2)*(L2/2)*cos(b1) 0 0 0 1 -1 0 0
0;...
    0 m(2)*L1s*cos(t1) -m(2)*(L2/2)*sin(b1) 0 0 -1 0 1 0 0
0;...
    0 0 -IG2 0 0 -(L2/2)*sin(b1) (L2/2)*cos(b1) -
(L2/2)*sin(b1) (L2/2)*cos(b1) 0 0;...
    0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0;...
    0 0 0 0 1 0 -1 0 0 0 0;...
    0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0;...
    zeros(1,7) -1 0 1 0;...
    zeros(1,8) W 0 -1;...
    0 L1s*cos(t1) -L2*sin(b1) zeros(1,8);...
    1 -L1s*sin(t1) L2*cos(b1) zeros(1,8)];

%Matriz N
N1=zeros(11,1);
N1=[(Fe)*(70*(10^(-3)))-(P(1)*L1prima*sin(t1));...
    P(2)+(m(2)*(tprimal^2)*L1s*cos(t1))-
(m(2)*(bprimal^2)*(L2/2)*sin(b1));...
(m(2)*(tprimal^2)*L1s*sin(t1))+(m(2)*(bprimal^2)*(L2/2)*cos(b1));.
..
0;...
P(3)-Fm1;...
(-Fe)+P(1);...
0;...
0;...
0;...

```

```

        ((bprima1^2)*L2*cos(b1))+((tprima1^2)*L1s*sin(t1));...
        ((bprima1^2)*L2*sin(b1))+((tprima1^2)*L1s*cos(t1));
    %Solucion
    x1=linsolve(M1,N1);

    %-----
    -----

    %POSICION: POSICION CERO. POSICION II.

    %ANALISIS CINEMATICO. Sistema de ecuaciones J*x=H con x siendo
    el vector incognita

    %Declaracion de las variables

        %Parametros de posicion (z=z;beta=b;tita=t)
        z2=0*(10^(-3)); %m
        b2=0; %rad
        t2=0; %rad
        %Datos de velocidad:
        zprima2=-44.33*(10^(-3)); %m/seg
        %Parametros dimensionales:
        W=40*(10^(-3)); %m
        L1s=50*(10^(-3)); %m
        L1prima=44.20825*(10^(-3)); %m
        L2=43*(10^(-3)); %m

    %Matriz Jacobiana

    J2=zeros(2,2);
    J2=[(-L2*sin(b2)) (L1s*cos(t2));...
        (+L2*cos(b2)) (-L1s*sin(t2))];

    %Matriz H

    H2=zeros(2,1);
    H2=[0;...
        -(zprima2)];

    %Solucion
    y2=linsolve(J2,H2);

    %ANALISIS DINAMICO. Sistema de ecuaciones M*x=N con x siendo
    el vector incognita

    %Declaracion de las variables

        %Datos de fuerzas y velocidades:
        bprima2=y2(1); %rad/seg
        tprima2=y2(2); %rad/seg
        Fm2=(1090.4)*(4.8*(10^(-3))) ; %N %MUELLE MINIMO NECESARIO
    PARA EQUILIBRIO EN POSICION IV

    %Matriz M(poner nombre bueno a esta matriz)
    M2=zeros(11,11);

```

```

M2=[0 -IO1 0 0 0 cos(t2)*L1s sin(t2)*L1s 0 0 0 0;...
    0 -m(2)*L1s*sin(t2) -m(2)*(L2/2)*cos(b2) 0 0 0 1 -1 0 0
0;...
    0 m(2)*L1s*cos(t2) -m(2)*(L2/2)*sin(b2) 0 0 -1 0 1 0 0
0;...
    0 0 -IG2 0 0 -(L2/2)*sin(b2) (L2/2)*cos(b2) -
(L2/2)*sin(b2) (L2/2)*cos(b2) 0 0;...
    0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0;...
    0 0 0 0 1 0 -1 0 0 0 0;...
    0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0;...
    zeros(1,7) -1 0 1 0;...
    zeros(1,8) W 0 -1;...
    0 L1s*cos(t2) -L2*sin(b2) zeros(1,8);...
    1 -L1s*sin(t2) L2*cos(b2) zeros(1,8)];
%Matriz N
N2=zeros(11,1);
N2=[(Fe)*(70*(10^(-3)))-(P(1)*L1prima*sin(t2));...
    P(2)+(m(2)*(tprima2^2)*L1s*cos(t2))-
(m(2)*(bprima2^2)*(L2/2)*sin(b2));...
(m(2)*(tprima2^2)*L1s*sin(t2))+(m(2)*(bprima2^2)*(L2/2)*cos(b2));.
..
    0;...
    P(3)-Fm2;...
    (-Fe)+P(1);...
    0;...
    0;...
    0;...
    ((bprima2^2)*L2*cos(b2))+((tprima2^2)*L1s*sin(t2));...
    ((bprima2^2)*L2*sin(b2))+((tprima2^2)*L1s*cos(t2))];
%Solucion
x2=linsolve(M2,N2);

%-----
-----

%POSICION: POSICION DESBLOQUEO. POSICION III.

%ANALISIS CINEMATICO. Sistema de ecuaciones J*x=H con x siendo
el vector incognita

%Declaracion de las variables

%Parametros de posicion (z=z;beta=b;tita=t)
z3=10.982*(10^(-3)); %m
b3=0.259; %rad
t3=-0.029; %rad
%Datos de velocidad:
zprima3=40.02*(10^(-3)); %m/seg
%Parametros dimensionales:
W=40*(10^(-3)); %m
L1s=50*(10^(-3)); %m
L1prima=44.20825*(10^(-3)); %m
L2=43*(10^(-3)); %m

%Matriz Jacobiana

```

```

J3=zeros(2,2);
J3=[(-L2*sin(b3)) (L1s*cos(t3));...
    (+L2*cos(b3)) (-L1s*sin(t3))];

%Matriz H

H3=zeros(2,1);
H3=[0;...
    (-zprima3)];

%Solucion
y3=linsolve(J3,H3);

%ANALISIS DINAMICO. Sistema de ecuaciones M*x=N con x siendo
el vector incognita

%Declaracion de las variables

%Datos de fuerzas y velocidades:
bprima3=y3(1); %rad/seg
tprima3=y3(2); %rad/seg
Fm3=(1090.4)*(15.74*(10^(-3))) ; %N %MUELLE MINIMO
NECESARIO PARA EQUILIBRIO EN POSICION IV

%Matriz M(poner nombre bueno a esta matriz)
M3=zeros(11,11);
M3=[0 -IO1 0 0 0 cos(t3)*L1s sin(t3)*L1s 0 0 0 0;...
    0 -m(2)*L1s*sin(t3) -m(2)*(L2/2)*cos(b3) 0 0 0 1 -1 0 0
0;...
    0 m(2)*L1s*cos(t3) -m(2)*(L2/2)*sin(b3) 0 0 -1 0 1 0 0
0;...
    0 0 -IG2 0 0 -(L2/2)*sin(b3) (L2/2)*cos(b3) -
(L2/2)*sin(b3) (L2/2)*cos(b3) 0 0;...
    0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0;...
    0 0 0 0 1 0 -1 0 0 0 0;...
    0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0;...
    zeros(1,7) -1 0 1 0;...
    zeros(1,8) W 0 -1;...
    0 L1s*cos(t3) -L2*sin(b3) zeros(1,8);...
    1 -L1s*sin(t3) L2*cos(b3) zeros(1,8)];

%Matriz N
N3=zeros(11,1);
N3=[(P(1)*L1iprima*sin(t3));...
    P(2)+(m(2)*(tprima3^2)*L1s*cos(t3))-
(m(2)*(bprima3^2)*(L2/2)*sin(b3));...
(m(2)*(tprima3^2)*L1s*sin(t3))+(m(2)*(bprima3^2)*(L2/2)*cos(b3));.
..
0;...
P(3)-Fm3;...
P(1);...
0;...
0;...
0;...
((bprima3^2)*L2*cos(b3))+((tprima3^2)*L1s*sin(t3));...
((bprima3^2)*L2*sin(b3))+((tprima3^2)*L1s*cos(t3))];

```

```
%Solucion
x3=linsolve(M3,N3);
```

## VI.2. DINAMICA MECANISMO DE DESBLOQUEO

```
%POSICION I DEL MECANISMO PRINCIPAL
```

```
%ANALISIS DINAMICO. Sistema de ecuaciones  $M \cdot x = N$  con x siendo el vector incognita
```

```
%Declaracion de las variables
```

```
%Parametros de posicion
delta=0; %rad
delta0=0.504; %rad
deltaprima=delta+delta0; %rad
OJ=0.013115; %m
xprima=0.013115; %m
yprema=-89*(10^(-6)); %m
%Datos de velocidad:
deltavel=2.796; %rad/seg
xprimavel=0.0255; %m/s
%Parametros dimensionales:
OGdes=0.0563; %m
L=0.140; %m
%Parametros de masa:
IO=3.192*(10^(-4)); %Kgm^2
m=[0.063]; %Kg
P=[m(1)*9.81]; %N
%Datos de fuerzas:
Fdesbloq=8.45; %N
%Auxiliar
B=(-2*xprima)/(sqrt(((OJ)^2)+((xprima)^2)));
A=(-2*(2*(sqrt(((OJ)^2)+((xprima)^2))))-((-2*xprima)*(B)))/(4*(((OJ)^2)+((xprima)^2)));

%Matriz M3
M=zeros(5,5);
M=[0 -IO 0 0 -L;...
    0 0 1 0 cos(deltaprima);...
    0 0 0 1 -sin(deltaprima);...
    1 OJ*sin(deltaprima) 0 0 0;...
    ((-2*xprima)/(2*(sqrt(((OJ)^2)+((xprima)^2)))) -
OJ*cos(deltaprima) 0 0 0];
%Matriz N3
N=zeros(5,1);
N=[((-Fdesbloq)*(yprema))+(P*OGdes*cos(deltaprima));...
    0;...
    -Fdesbloq+P;...
    -OJ*cos(deltaprima)*deltavel;...
    -A*xprimavel-OJ*sin(deltaprima)*deltavel];
%Solucion
x=linsolve(M,N);
```

## ANEXO VII. CALCULOS EN EXCEL

### VII.1. MECANISMO PRINCIPAL. DIMENSIONAMIENTO Y ANALISIS DE POSICIONES

DIMENSIONAMIENTO	DATOS		ANALISIS DE POSICIONES	POSICION AUTOBLOQUEO	
	U (mm)	3,5 mm		$\theta_1$ (rad)	,002 rad
	T (mm)	13, mm		$\theta_1$ (deg)	,142 deg
	XA1(mm)	,3 mm		ZA1 (mm)	,17 mm
	XA3(mm)	5, mm		$\beta_1$ (rad)	,076 rad
	PARAMETROS DISEÑADOR			$\beta_1$ (deg)	4,346 deg
	$\alpha$ (deg)	60 deg		Z1 (mm)	3,258 mm
	$\alpha$ (rad)	1,05 rad		POSICION DESBLOQUEO	
	X <sub>0</sub> (mm)	70, mm		$\theta_3$ (rad)	,029 rad
	L1 (mm)	50, mm		$\theta_3$ (deg)	1,641 deg
$\theta_{OB}$ (deg)	deg	ZA3 (mm)	1,95 mm		
$\theta_{OB}$ (rad)	, rad	$\beta_3$ (rad)	,259 rad		
W (mm)	40 mm	$\beta_3$ (deg)	14,826 deg		
PARAMETROS f = (ENTRADAS)		Z3 (mm)	10,982 mm		
D (mm)	83, mm	POSICION DESBLOQUEO FUNCIONAL			
RESULTADOS		$\theta_4$ (rad)	,04 rad		
Z <sub>0</sub> (mm)	121,24 mm	$\theta_4$ (deg)	2,336 deg		
L'(mm)	140 mm	ZA4 (mm)	2,75 mm		
$\theta$ (rad)	,03 rad	$\beta_4$ (rad)	,309 rad		
$\theta$ (deg)	1,64 deg	$\beta_4$ (deg)	17,711 deg		
M (mm)	50, mm	Z4 (mm)	13,039 mm		
L2 (mm)	43 mm	COMPROBACIONES			
		$\epsilon$ [-1,1] ?	0,997124891		

## VII.2. ANALISIS ELASTOPLASTICO DE LA BOTELLA

DATOS			
MATERIAL	PET		
PROP.MECANICAS			
Densidad	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	1390 (Kg/m <sup>3</sup> )	
Modulo de Young	E (Pa)	3200000000 (Pa)	
Resistencia a la traccion	$\sigma_E$ (N/m <sup>2</sup> )	80000000, (N/m <sup>2</sup> )	
Coef. rozamiento estatico con acero			0
Coef. rozamiento dinamico con acero			0,2
Coeficiente Poisson minimo	$\mu$		0,46
DIMENSIONES (cilindro)			
Radio exterior	R2 (m)	0,045 (m)	45 (mm)
Radio exterior pared delgada	R2d (m)	0,044998 (m)	44,9982222 (mm)
Diametro medio	D2d (m)	0,089996 (m)	8,99964444 (cm)
Radio interior	R1 (m)	0,0446 (m)	
Espesor	t (m)	0,0004 (m)	0,4 (mm)

### ANALISIS LIMITE TEORIA MEMBRANA

	$\beta_x$	0,785398163
	$\zeta$	0,3219496
	$\theta$	0,3228382
	B	111,7359545
	A	142,7453318
Presion exterior	P2 (Pa)	101325 (Pa)
Presion maxima admisible	P1 (Pa)	716503 (Pa)
Presion maxima admisible	P1 (Bar)	7,16502758 (Bar)

### ANALISIS DEFORMACION

Incremento del radio		0,00087 (m)
Radio final		0,04587 (m)
Diametro medio final		0,09174 (m)
		9,17419423 (cm)

### ANALISIS PRESION REAL DE TRABAJO

Presion exterior	P2 (Pa)	101325 (Pa)
	P1 (Bar)	5 (Bar)
Presion de trabajo	P1 (Pa)	500000 (Pa)
Incremento del radio		0,00061 (m)
		0,60903391 (mm)
Radio final		0,04561 (m)
Diametro medio		0,09121 (m)
		9,12145122 (cm)

### VII.3. DISEÑO LEY DESPLAZAMIENTO

PUNTOS DE CONTROL $i$	$b_i$	$n$	$b_x$		
0		0	5	0	
1	1,8	0,2	5		MIN
		3,6	5		9,115180232 (mm)
2	3,6	0,4	5		2 (rad/s) MAX
		3,6	5		
3	3,6	0,6	5		
		3,6	5		
4	3,6	0,8	5		
		3,6	5	1	
5		3,6	5	1	
POLINOMIO DE BERNSTEIN			REF. TIERRA LEVA	REF.	36,17955223 (mm)

vel. Angular minima mec desbloqueo

2,79601746

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN, BASADOS EN CHAPA CORTADA POR LÁSER, DE UNA LANZADERA DE COHETES DE AGUA

φ (rad)	u(φ)	b(u(φ))	b'(u(φ))	x(φ)	y(φ)	Oj	Oj'	x'(φ)	y'(φ)	z	zprima	b'(φ)	Vdesliza
POSICION AUTOBLOQUEO	0.01 (rad)	0.003183099	0.028647311	9.115135216	9.114965931 (mm)	-0.062503954 (mm)	9.115180232 (mm)	13.11518023 (mm)	13.11487189 (mm)	-0.089932465 (mm)	0 (mm)	36.66843944 (mm/s)	2.901437653 36,67 (mm/s)
	0.02 (rad)	0.006366198	0.057291165	9.231343879	9.230643418 (mm)	-0.127338462 (mm)	9.231521656 (mm)	13.23152166 (mm)	13.23026288 (mm)	-0.182508805 (mm)	0.116341423 (mm)	36.98816673 (mm/s)	2.938428019 36,99 (mm/s)
	0.03 (rad)	0.009549297	0.085928144	9.348605288	9.346976189 (mm)	-0.194526612 (mm)	9.349000186 (mm)	13.34900019 (mm)	13.34611022 (mm)	-0.277755453 (mm)	0.238319954 (mm)	37.30724306 (mm/s)	3.975753485 37,32 (mm/s)
	0.04 (rad)	0.012732395	0.114554877	9.466898874	9.463907338 (mm)	-0.264111738 (mm)	9.467591938 (mm)	13.46759194 (mm)	13.46235062 (mm)	-0.375697341 (mm)	0.352411706 (mm)	37.62550175 (mm/s)	3.013407503 37,64 (mm/s)
	0.05 (rad)	0.015915494	0.143168032	9.586204197	9.581379357 (mm)	-0.361214133 (mm)	9.587272323 (mm)	13.58727232 (mm)	13.57892032 (mm)	-0.476357914 (mm)	0.420292998 (mm)	37.94277528 (mm/s)	3.051383565 37,97 (mm/s)
	0.06 (rad)	0.019098593	0.171764326	9.706500946	9.699334162 (mm)	-0.410584443 (mm)	9.708020581 (mm)	13.70802058 (mm)	13.69755099 (mm)	-0.579759144 (mm)	0.5294840348 (mm)	38.25889545 (mm/s)	3.089675211 38,29 (mm/s)
	0.07 (rad)	0.022281692	0.200340514	9.827768938	9.81771312 (mm)	-0.448753262 (mm)	9.829810711 (mm)	13.82981071 (mm)	13.81279903 (mm)	-0.68592154 (mm)	0.6174303479 (mm)	38.57369336 (mm/s)	3.128276012 38,62 (mm/s)
	0.08 (rad)	0.025464791	0.228893399	9.949988117	9.936457079 (mm)	-0.566988925 (mm)	9.952620546 (mm)	13.95262055 (mm)	13.92996091 (mm)	-0.794864155 (mm)	0.837440313 (mm)	38.86699958 (mm/s)	3.167179585 38,95 (mm/s)
	0.09 (rad)	0.02864789	0.257419823	10.07313855	10.055506639 (mm)	-0.648981103 (mm)	10.07642721 (mm)	14.07642721 (mm)	14.04720154 (mm)	-0.9066046 (mm)	0.967446977 (mm)	39.1986442 (mm/s)	3.206379587 39,28 (mm/s)
	0.1 (rad)	0.031830989	0.285916672	10.19720045	10.17480096 (mm)	-0.735333081 (mm)	10.20128083 (mm)	14.20128083 (mm)	14.16444647 (mm)	-1.021159048 (mm)	1.086027797 (mm)	39.50845689 (mm/s)	3.245869713 39,6 (mm/s)
	0.11 (rad)	0.035014087	0.314380876	10.32215411	10.29428022 (mm)	-0.820667751 (mm)	10.32694053 (mm)	14.32694053 (mm)	14.28162969 (mm)	-1.138542245 (mm)	1.211760302 (mm)	39.81626701 (mm/s)	3.2856437 39,93 (mm/s)
	0.12 (rad)	0.038197186	0.342809404	10.44797999	10.41388323 (mm)	-0.91040661 (mm)	10.45360245 (mm)	14.45360245 (mm)	14.39668494 (mm)	-1.258767518 (mm)	1.388262217 (mm)	40.12190365 (mm/s)	3.325695322 40,26 (mm/s)
	0.13 (rad)	0.041380285	0.37119927	10.57465865	10.53548866 (mm)	-1.002769757 (mm)	10.5811717 (mm)	14.5811717 (mm)	14.51554572 (mm)	-1.381846777 (mm)	1.465991467 (mm)	40.42519575 (mm/s)	3.366018393 40,59 (mm/s)
	0.14 (rad)	0.044563384	0.399547528	10.70217079	10.65321481 (mm)	-1.097775892 (mm)	10.70962641 (mm)	14.70962641 (mm)	14.63214532 (mm)	-1.507790527 (mm)	1.594446175 (mm)	40.72597214 (mm/s)	3.406606765 40,9 (mm/s)
	0.15 (rad)	0.047746483	0.427851274	10.8304972	10.77281969 (mm)	-1.19544231 (mm)	10.83894489 (mm)	14.83894489 (mm)	14.74841687 (mm)	-1.636607874 (mm)	1.723764657 (mm)	41.02406162 (mm/s)	3.447454331 41,24 (mm/s)
	0.16 (rad)	0.050925982	0.456107647	10.95961882	10.89230097 (mm)	-1.295784902 (mm)	10.96910566 (mm)	14.96910566 (mm)	14.86429333 (mm)	-1.768306526 (mm)	1.853925423 (mm)	41.31929304 (mm/s)	3.48855019 41,56 (mm/s)
	0.17 (rad)	0.054112681	0.484313825	11.0895167	11.01159608 (mm)	-1.398818157 (mm)	11.10008741 (mm)	15.10008741 (mm)	14.9790756 (mm)	-1.902892803 (mm)	1.984901715 (mm)	41.61149537 (mm/s)	3.529902798 41,88 (mm/s)
	0.18 (rad)	0.057291298	0.512467027	11.2201272	11.13064422 (mm)	-1.504555154 (mm)	11.23186904 (mm)	15.23186904 (mm)	15.09459234 (mm)	-2.040371642 (mm)	2.116688805 (mm)	41.90049775 (mm/s)	3.571491761 42,2 (mm/s)
	0.19 (rad)	0.060478878	0.540564514	11.351566	11.24937631 (mm)	-1.613007569 (mm)	11.36442963 (mm)	15.36442963 (mm)	15.20888037 (mm)	-2.180746601 (mm)	2.249249393 (mm)	42.18612962 (mm/s)	3.613315682 42,52 (mm/s)
	0.2 (rad)	0.063661977	0.568603588	11.48368012	11.36773517 (mm)	-1.724185672 (mm)	11.49774844 (mm)	15.49774844 (mm)	15.32250431 (mm)	-2.324019868 (mm)	2.382568203 (mm)	42.46822069 (mm/s)	3.655368911 42,84 (mm/s)
	0.21 (rad)	0.066845076	0.596585189	11.61649586	11.48565541 (mm)	-1.838098327 (mm)	11.63180492 (mm)	15.63180492 (mm)	15.43539683 (mm)	-2.470192259 (mm)	2.516624686 (mm)	42.74660111 (mm/s)	3.697645475 43,16 (mm/s)
	0.22 (rad)	0.070028175	0.624495899	11.74999486	11.60307352 (mm)	-1.954752996 (mm)	11.76657871 (mm)	15.76657871 (mm)	15.54749061 (mm)	-2.619263231 (mm)	2.651398473 (mm)	43.02110146 (mm/s)	3.740139528 43,47 (mm/s)
	0.23 (rad)	0.073211274	0.652343939	11.88415888	11.71992589 (mm)	-2.074155739 (mm)	11.90204961 (mm)	15.90204961 (mm)	15.65871837 (mm)	-2.771230884 (mm)	2.786689374 (mm)	43.29155288 (mm/s)	3.78284526 43,78 (mm/s)
	0.24 (rad)	0.076394373	0.680123171	12.01896976	11.83614881 (mm)	-2.196311216 (mm)	12.03819761 (mm)	16.03819761 (mm)	15.76901292 (mm)	-2.926091965 (mm)	2.923017378 (mm)	43.55778707 (mm/s)	3.825756897 44,09 (mm/s)
	0.25 (rad)	0.079577472	0.707831094	12.1544095	11.95167856 (mm)	-2.321222693 (mm)	12.17500288 (mm)	16.17500288 (mm)	15.87830713 (mm)	-3.083841878 (mm)	3.059446248 (mm)	43.81963641 (mm/s)	3.868867804 44,4 (mm/s)
	0.26 (rad)	0.08276057	0.73546525	12.29046018	12.06645135 (mm)	-2.448892038 (mm)	12.31244576 (mm)	16.31244576 (mm)	15.98653404 (mm)	-3.244474683 (mm)	3.197765523 (mm)	44.076934 (mm/s)	3.91217498 44,7 (mm/s)
POSICION NEUTRA	0.27 (rad)	0.085943669	0.763023216	12.4271204	12.18040344 (mm)	-2.579319734 (mm)	12.45050674 (mm)	16.45050674 (mm)	16.09362679 (mm)	-3.407983109 (mm)	3.3352651 (mm)	44.32951373 (mm/s)	3.955670058 45,05 (mm/s)
	0.28 (rad)	0.089126768	0.79050261	12.56432327	12.29347107 (mm)	-2.712504874 (mm)	12.58916652 (mm)	16.58916652 (mm)	15.99187122 (mm)	-3.574358555 (mm)	3.473962688 (mm)	44.57721032 (mm/s)	3.99934311 45,29 (mm/s)
	0.29 (rad)	0.092309867	0.817901089	12.70210043	12.40559058 (mm)	-2.84845173 (mm)	12.72840593 (mm)	16.72840593 (mm)	16.30414336 (mm)	-3.743591097 (mm)	3.613225701 (mm)	44.81985943 (mm/s)	4.03204143 45,59 (mm/s)
	0.3 (rad)	0.095492966	0.845216348	12.84041801	12.51669837 (mm)	-2.987136967 (mm)	12.86825099 (mm)	16.86825099 (mm)	16.40743447 (mm)	-3.915669497 (mm)	3.753025759 (mm)	45.05729767 (mm/s)	4.07231996 45,88 (mm/s)
	0.31 (rad)	0.098676065	0.872446118	12.97925866	12.62673096 (mm)	-3.12875223 (mm)	13.00854787 (mm)	17.00854787 (mm)	16.50932603 (mm)	-4.090581207 (mm)	3.893367635 (mm)	45.2893627 (mm/s)	4.138126347 46,16 (mm/s)
	0.32 (rad)	0.101859164	0.899588173	13.11860513	12.73562498 (mm)	-3.272753541 (mm)	13.14941289 (mm)	17.14941289 (mm)	16.60975232 (mm)	-4.268312375 (mm)	4.034232662 (mm)	45.51589327 (mm/s)	4.175781706 46,44 (mm/s)
	0.33 (rad)	0.105042262	0.926640319	13.25844029	12.84331726 (mm)	-3.419664165 (mm)	13.29078257 (mm)	17.29078257 (mm)	16.7086479 (mm)	-4.448847856 (mm)	4.175602335 (mm)	45.73672928 (mm/s)	4.22029262 46,72 (mm/s)
	0.34 (rad)	0.108225361	0.953600403	13.39874712	12.94974478 (mm)	-3.569297985 (mm)	13.43263853 (mm)	17.43263853 (mm)	16.80594764 (mm)	-4.632171217 (mm)	4.317458302 (mm)	45.95171184 (mm/s)	4.264953669 46,99 (mm/s)
	0.35 (rad)	0.11140846	0.98046631	13.53950869	13.05484475 (mm)	-3.721644545 (mm)	13.5749626 (mm)	17.5749626 (mm)	16.90158677 (mm)	-4.818264743 (mm)	4.45978237 (mm)	46.16068336 (mm/s)	4.309759469 47,26 (mm/s)
	0.36 (rad)	0.114591559	1.00723596	13.68070819	13.15855462 (mm)	-3.876692054 (mm)	13.71773673 (mm)	17.71773673 (mm)	16.99550087 (mm)	-5.007109449 (mm)	4.602556497 (mm)	46.36348753 (mm/s)	4.354704668 47,52 (mm/s)
	0.37 (rad)	0.117774658	1.03390731	13.82232894	13.26081209 (mm)	-4.034427391 (mm)	13.86094303 (mm)	17.86094303 (mm)	17.08762591 (mm)	-5.198685085 (mm)	4.745762794 (mm)	46.55996948 (mm/s)	4.399783951 47,78 (mm/s)
	0.38 (rad)	0.120957757	1.060478356	13.96435432	13.36435515 (mm)	-4.194836114 (mm)	14.00456375 (mm)	18.00456375 (mm)	17.17789827 (mm)	-5.392970147 (mm)	4.898383521 (mm)	46.74997574 (mm/s)	4.444992034 48,03 (mm/s)
	0.39 (rad)	0.124140856	1.086947128	14.10676785	13.4607221 (mm)	-4.357902467 (mm)	14.14858132 (mm)	18.14858132 (mm)	17.26625477 (mm)	-5.589941883 (mm)	5.033401087 (mm)	46.93335436 (mm/s)	4.49032367 48,28 (mm/s)
	0.4 (rad)	0.1273232954	1.113311693	14.24955316	13.55825159 (mm)	-4.523609934 (mm)	14.29297828 (mm)	18.29297828 (mm)	17.35263267 (mm)	-5.789576306 (mm)	5.177798046 (mm)	47.10995493 (mm/s)	4.537736643 48,52 (mm/s)
	0.41 (rad)	0.130507053	1.139570155	14.39269395	13.65408261 (mm)	-4.691938544 (mm)	14.43773733 (mm)	18.43773733 (mm)	17.43696972 (mm)	-5.991848201 (mm)	5.322557098 (mm)	47.27962867 (mm/s)	4.581336772 48,75 (mm/s)
	0.42 (rad)	0.133691512	1.165720654	14.53617406	13.74815455 (mm)	-4.862870284 (mm)	14.58284132 (mm)	18.58284132 (mm)	17.51920417 (mm)	-6.196731135 (mm)	5.462761086 (mm)	47.44222842 (mm/s)	4.62700791 48,98 (mm/s)
	0.43 (rad)	0.136873251	1.191761363	14.67997742	13.8404072 (mm)	-5.03683707 (mm)	14.72827323 (mm)	18.72827323 (mm)	17.59927478 (mm)	-6.40419747 (mm)	5.613092995 (mm)	47.59760878 (mm/s)	4.672781943 49,21 (mm/s)
	0.44 (rad)	0.14005635	1.217690494	14.82408808	13.93078078 (mm)	-5.212456645 (mm)	14.87401618 (mm)	18.87401618 (mm)	17.67712087 (mm)	-6.61421837 (mm)	5.70883595 (mm)	47.74562608 (mm/s)	4.718653788 49,43 (mm/s)
	0.45 (rad)	0.143239449	1.243506293	14.96849016	14.01921597 (mm)	-5.391065679 (mm)	15.02005345 (mm)	19.02005345 (mm)	17.7526823 (mm)	-6.826763814 (mm)	5.904873214 (mm)	47.88613849 (mm/s)	4.764618399 49,64 (mm/s)
	0.46 (rad)	0.146422548	1.269207039	15.11316792	14.10565392 (mm)	-5.572186151 (mm)	15.16638442 (mm)	19.16638442 (mm)	17.82589954 (mm)	-7.041802607 (mm)	6.051188189 (mm)	48.01900602 (mm/s)	4.810670761 49,84 (mm/s)
	0.47 (rad)	0.149605647	1.294791048	15.25810571	14.19003363 (mm)	-5.755792177 (mm)	15.31294464 (mm)	19.31294464 (mm)	17.89671365 (mm)	-7.259302393 (mm)	6.177664411 (mm)	48.14409062 (mm/s)	4.856805891 50,04 (mm/s)
	0.48 (rad)	0.152788745	1.320256671	15.40328797	14.27230526 (mm)	-5.941856657 (mm)	15.45976578 (mm)	19.45976578 (mm)	17.96506632 (mm)	-7.479229665 (mm)	6.344585551 (mm)	48.2612562 (mm/s)	4.903018842 50,23 (mm/s)

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN, BASADOS EN CHAPA CORTADA POR LÁSER, DE UNA LANZADERA DE COHETES DE AGUA

0,7 (rad)	0,22281692	1,847633081	18,62897432	15,43850337 (mm)	-10,58796702 (mm)	18,72037479 (mm)	22,72037479 (mm)	18,73726284 (mm)	-12,85030785 (mm)	9,605194554 (mm)	48,58779665 (mm/s)	5,929786695	52,39 (mm/s)	
0,71 (rad)	0,226000019	1,869996878	18,77527275	15,45771944 (mm)	-10,82051582 (mm)	18,86861556 (mm)	22,86861556 (mm)	18,73463595 (mm)	-13,11438116 (mm)	9,753453525 (mm)	48,49045344 (mm/s)	5,976498171	52,38 (mm/s)	
0,72 (rad)	0,229183118	1,892212524	18,92237297	15,47364434 (mm)	-11,05454648 (mm)	19,01674701 (mm)	23,01674701 (mm)	18,72838488 (mm)	-13,37976992 (mm)	9,901566782 (mm)	48,38262803 (mm/s)	6,023178386	52,36 (mm/s)	
0,73 (rad)	0,232366217	1,914279164	19,06891195	15,48623972 (mm)	-11,29900652 (mm)	19,16475588 (mm)	23,16475588 (mm)	18,71847285 (mm)	-13,64641672 (mm)	10,04957565 (mm)	48,26424701 (mm/s)	6,098293194	52,34 (mm/s)	
0,74 (rad)	0,235549316	1,936195974	19,21532678	15,49546821 (mm)	-11,52684272 (mm)	19,31262898 (mm)	23,31262898 (mm)	18,70486414 (mm)	-13,91426345 (mm)	10,19744875 (mm)	48,13523991 (mm/s)	6,116248481	52,3 (mm/s)	
0,75 (rad)	0,238732415	1,957962159	19,36160462	15,50129348 (mm)	-11,76500105 (mm)	19,46035327 (mm)	23,46035327 (mm)	18,68752413 (mm)	-14,1832513 (mm)	10,34517304 (mm)	47,9955392 (mm/s)	6,126920164	52,25 (mm/s)	
0,76 (rad)	0,241915513	1,979576952	19,50737276	15,50368021 (mm)	-12,00442678 (mm)	19,60791581 (mm)	23,60791581 (mm)	18,66641925 (mm)	-14,45332077 (mm)	10,49273557 (mm)	47,84508037 (mm/s)	6,209504194	52,19 (mm/s)	
0,77 (rad)	0,245089612	2,001039614	19,65369856	15,50259408 (mm)	-12,24506445 (mm)	19,75530376 (mm)	23,75530376 (mm)	18,64151703 (mm)	-14,72441169 (mm)	10,64012353 (mm)	47,68830193 (mm/s)	6,255966552	52,12 (mm/s)	
0,78 (rad)	0,248281711	2,022349436	19,79948951	15,49800187 (mm)	-12,48685789 (mm)	19,90250441 (mm)	23,90250441 (mm)	18,61278613 (mm)	-14,99646324 (mm)	10,78732418 (mm)	47,51164541 (mm/s)	6,302373251	52,04 (mm/s)	
0,79 (rad)	0,25146481	2,043505735	19,94509317	15,48987138 (mm)	-12,72975026 (mm)	20,04950516 (mm)	24,04950516 (mm)	18,58019631 (mm)	-15,26941399 (mm)	10,93432493 (mm)	47,3285554 (mm/s)	6,348720337	51,95 (mm/s)	
0,8 (rad)	0,254647909	2,064507857	20,09049723	15,4781715 (mm)	-12,97368408 (mm)	20,19629351 (mm)	24,19629351 (mm)	18,54371845 (mm)	-15,54320191 (mm)	11,08113328 (mm)	47,13447957 (mm/s)	6,395003886	51,85 (mm/s)	
0,81 (rad)	0,257831008	2,085355176	20,23568946	15,46287218 (mm)	-13,21860121 (mm)	20,34895708 (mm)	24,34895708 (mm)	18,50332458 (mm)	-15,81776438 (mm)	11,22767684 (mm)	46,9293687 (mm/s)	6,441220008	51,74 (mm/s)	
0,82 (rad)	0,261014107	2,106047092	20,38065773	15,44394447 (mm)	-13,46444292 (mm)	20,48918359 (mm)	24,48918359 (mm)	18,45898788 (mm)	-16,09303822 (mm)	11,37400335 (mm)	46,71317667 (mm/s)	6,487364844	51,61 (mm/s)	
0,83 (rad)	0,264197206	2,126583033	20,52539003	15,42136053 (mm)	-13,71114987 (mm)	20,63526088 (mm)	24,63526088 (mm)	18,41068267 (mm)	-16,36895971 (mm)	11,52008064 (mm)	46,48586049 (mm/s)	6,533434565	51,48 (mm/s)	
0,84 (rad)	0,267380304	2,146962455	20,66987443	15,39509362 (mm)	-13,95866216 (mm)	20,78107689 (mm)	24,78107689 (mm)	18,35838444 (mm)	-16,64546462 (mm)	11,66589666 (mm)	46,24738034 (mm/s)	6,579425377	51,33 (mm/s)	
0,85 (rad)	0,270563403	2,167184839	20,81409911	15,36511811 (mm)	-14,20691934 (mm)	20,92661969 (mm)	24,92661969 (mm)	18,30210687 (mm)	-16,92248823 (mm)	11,81143946 (mm)	45,99769953 (mm/s)	6,625335117	51,17 (mm/s)	
0,86 (rad)	0,273746502	2,187249693	20,95805234	15,33140952 (mm)	-14,45582744 (mm)	21,07187744 (mm)	25,07187744 (mm)	18,24217678 (mm)	-17,19996533 (mm)	11,95669721 (mm)	45,73678458 (mm/s)	6,671155253	51,0 (mm/s)	
0,87 (rad)	0,276929601	2,207156553	21,1017225	15,29394448 (mm)	-14,70542399 (mm)	21,21683842 (mm)	25,21683842 (mm)	18,17730423 (mm)	-17,47783026 (mm)	12,10165819 (mm)	45,46460517 (mm/s)	6,716868875	50,82 (mm/s)	
0,88 (rad)	0,28011127	2,226904978	21,24509808	15,25270079 (mm)	-14,95548002 (mm)	21,36149101 (mm)	25,36149101 (mm)	18,10881244 (mm)	-17,75601696 (mm)	12,24631077 (mm)	45,18113419 (mm/s)	6,76226287	50,63 (mm/s)	
0,89 (rad)	0,283295799	2,246494556	21,38816765	15,20765739 (mm)	-15,20617012 (mm)	21,5058237 (mm)	25,5058237 (mm)	18,03622283 (mm)	-18,03445893 (mm)	12,39064347 (mm)	44,88634775 (mm/s)	6,808065209	50,43 (mm/s)	
0,9 (rad)	0,286478898	2,265924899	21,53091989	15,15879438 (mm)	-15,45722743 (mm)	21,6498251 (mm)	25,6498251 (mm)	17,95951804 (mm)	-18,31308929 (mm)	12,53464487 (mm)	44,58022518 (mm/s)	6,85350466	50,22 (mm/s)	
0,91 (rad)	0,289661996	2,285195645	21,67334359	15,10609302 (mm)	-15,70865671 (mm)	21,79348393 (mm)	25,79348393 (mm)	17,87868194 (mm)	-18,59184083 (mm)	12,67830369 (mm)	44,26274901 (mm/s)	6,898839533	49,99 (mm/s)	
0,92 (rad)	0,292845095	2,304306458	21,81542764	15,04953574 (mm)	-15,96039427 (mm)	21,93678899 (mm)	25,93678899 (mm)	17,79369957 (mm)	-18,87064596 (mm)	12,82160876 (mm)	43,93930506 (mm/s)	6,944066289	49,75 (mm/s)	
0,93 (rad)	0,296028194	2,323257025	21,95716101	14,98910611 (mm)	-16,21207612 (mm)	22,07972923 (mm)	26,07972923 (mm)	17,70455725 (mm)	-19,14943679 (mm)	12,964549 (mm)	43,59368233 (mm/s)	6,989818423	49,5 (mm/s)	
0,94 (rad)	0,299211293	2,34204706	22,0985328	14,92478909 (mm)	-16,46453786 (mm)	22,2229368 (mm)	26,2229368 (mm)	17,61124249 (mm)	-19,42814515 (mm)	13,10711345 (mm)	43,24207312 (mm/s)	7,034181462	49,24 (mm/s)	
0,95 (rad)	0,302394392	2,3606763	22,2395322	14,8565705 (mm)	-16,71681483 (mm)	22,36447149 (mm)	26,36447149 (mm)	17,51374405 (mm)	-19,70670257 (mm)	13,24991216 (mm)	42,87907296 (mm/s)	7,096296263	48,97 (mm/s)	
0,96 (rad)	0,305577491	2,379144509	22,38014849	14,78443757 (mm)	-16,96914202 (mm)	22,50625191 (mm)	26,50625191 (mm)	17,41205191 (mm)	-19,98504037 (mm)	13,39107168 (mm)	42,50468062 (mm/s)	7,123822519	48,68 (mm/s)	
0,97 (rad)	0,30876059	2,397451472	22,52037107	14,70837868 (mm)	-17,22145416 (mm)	22,64762431 (mm)	26,64762431 (mm)	17,30615732 (mm)	-20,2630896 (mm)	13,53244408 (mm)	42,11889816 (mm/s)	7,168465753	48,39 (mm/s)	
0,98 (rad)	0,311943688	2,415597	22,66018944	14,62838339 (mm)	-17,47368575 (mm)	22,78957816 (mm)	26,78957816 (mm)	17,19605274 (mm)	-20,54078114 (mm)	13,67339793 (mm)	41,72173088 (mm/s)	7,21296323	48,08 (mm/s)	
0,99 (rad)	0,315126787	2,433580928	22,7995932	14,54444249 (mm)	-17,72571104 (mm)	22,92811034 (mm)	26,92811034 (mm)	17,08173188 (mm)	-20,81804569 (mm)	13,81392281 (mm)	41,31318732 (mm/s)	7,257335916	47,78 (mm/s)	
1 (rad)	0,318309886	2,451403113	22,93857204	14,45654796 (mm)	-17,97764405 (mm)	23,06918864 (mm)	27,06918864 (mm)	16,96318973 (mm)	-21,09481377 (mm)	13,95400841 (mm)	40,89327932 (mm/s)	7,301574255	47,43 (mm/s)	
1,01 (rad)	0,321492985	2,469063436	23,07711578	14,36469299 (mm)	-18,22923866 (mm)	23,20882476 (mm)	27,20882476 (mm)	16,84042248 (mm)	-21,37101578 (mm)	14,09364453 (mm)	40,46202193 (mm/s)	7,345674096	47,09 (mm/s)	
<b>POSICION DESBLOQUEO TEORICO</b>	<b>1,02 (rad)</b>	<b>0,324676084</b>	<b>2,486561803</b>	<b>23,21521431</b>	<b>14,26887198 (mm)</b>	<b>-18,48048856 (mm)</b>	<b>23,34800131 (mm)</b>	<b>27,34800131 (mm)</b>	<b>16,71342761 (mm)</b>	<b>-21,64658202 (mm)</b>	<b>14,23282107 (mm)</b>	<b>40,01943349 (mm/s)</b>	<b>7,389632225</b>	<b>46,73 (mm/s)</b>
1,03 (rad)	0,327859183	2,503898141	23,35285766	14,16908055 (mm)	-18,73132731 (mm)	23,4867083 (mm)	27,4867083 (mm)	16,58220382 (mm)	-21,92144269 (mm)	14,37512806 (mm)	39,56553556 (mm/s)	7,433445463	46,36 (mm/s)	
1,04 (rad)	0,331042282	2,5210724	23,49003593	14,06531553 (mm)	-18,98168836 (mm)	23,62493585 (mm)	27,62493585 (mm)	16,44675107 (mm)	-22,19552792 (mm)	14,50975562 (mm)	39,10035295 (mm/s)	7,477110663	45,99 (mm/s)	
1,05 (rad)	0,33422538	2,538084552	23,62673935	13,95757494 (mm)	-19,23150506 (mm)	23,7626742 (mm)	27,7626742 (mm)	16,3070706 (mm)	-22,46876782 (mm)	14,64749397 (mm)	38,62391371 (mm/s)	7,520624712	45,59 (mm/s)	
1,06 (rad)	0,337408479	2,554934593	23,76295823	13,84585806 (mm)	-19,48071707 (mm)	23,899137 (mm)	27,899137 (mm)	16,16316485 (mm)	-22,74109246 (mm)	14,78473347 (mm)	38,13624912 (mm/s)	7,563984531	45,19 (mm/s)	
1,07 (rad)	0,340591578	2,571622541	23,89868302	13,73016535 (mm)	-19,72923851 (mm)	24,03664478 (mm)	28,03664478 (mm)	16,01503755 (mm)	-23,01243193 (mm)	14,92146455 (mm)	37,63739366 (mm/s)	7,607187071	44,78 (mm/s)	
1,08 (rad)	0,343774677	2,588148433	24,03390423	13,61049848 (mm)	-19,97702117 (mm)	24,17285802 (mm)	28,17285802 (mm)	15,86269364 (mm)	-23,28271632 (mm)	15,05767779 (mm)	37,12738504 (mm/s)	7,65022932	44,35 (mm/s)	
1,09 (rad)	0,346957776	2,604512331	24,16861251	13,48686035 (mm)	-20,22399349 (mm)	24,30854407 (mm)	28,30854407 (mm)	15,70613936 (mm)	-23,55187581 (mm)	15,19336384 (mm)	36,60626416 (mm/s)	7,693108296	43,91 (mm/s)	
1,1 (rad)	0,350140875	2,620714318	24,30279859	13,35925507 (mm)	-20,47008713 (mm)	24,44369373 (mm)	28,44369373 (mm)	15,54538213 (mm)	-23,81984062 (mm)	15,32851349 (mm)	36,07407512 (mm/s)	7,735821054	43,47 (mm/s)	
1,11 (rad)	0,353323974	2,636754496	24,43645333	13,22768794 (mm)	-20,71523588 (mm)	24,57829786 (mm)	28,57829786 (mm)	15,38043066 (mm)	-24,08654108 (mm)	15,46311763 (mm)	35,53086518 (mm/s)	7,778366479	43 (mm/s)	
1,12 (rad)	0,356507073	2,652632991	24,56956768	13,09216548 (mm)	-20,9593731 (mm)	24,71234748 (mm)	28,71234748 (mm)	15,21129487 (mm)	-24,35190764 (mm)	15,59716724 (mm)	34,97668478 (mm/s)	7,820736292	42,53 (mm/s)	
1,13 (rad)	0,359690171	2,668344948	24,7021327	12,95269541 (mm)	-21,20243224 (mm)	24,84858368 (mm)	28,84858368 (mm)	15,03798594 (mm)	-24,61587089 (mm)	15,73065344 (mm)	34,41158747 (mm/s)	7,862933047	42,05 (mm/s)	
1,14 (rad)	0,36287327	2,683905532	24,83413954	12,80928665 (mm)	-21,44434684 (mm)	24,97874768 (mm)	28,97874768 (mm)	14,86051625 (mm)	-24,87836156 (mm)	15,86356745 (mm)	33,83562998 (mm/s)	7,904952131	41,55 (mm/s)	
1,15 (rad)	0,366056369	2,699299931	24,96557949	12,66194932 (mm)	-21,68505059 (mm)	25,11108081 (mm)	29,11108081 (mm)	14,67889943 (mm)	-25,1393106 (mm)	15,99590058 (mm)	33,24887213 (mm/s)	7,946790767	41,04 (mm/s)	
<b>POSICION DESBLOQUEO REAL</b>	<b>1,16 (rad)</b>	<b>0,369239468</b>	<b>2,714533351</b>	<b>25,09644392</b>	<b>12,51069472 (mm)</b>	<b>-21,92447734 (mm)</b>	<b>25,2428245 (mm)</b>	<b>29,2428245 (mm)</b>	<b>14,49315032 (mm)</b>	<b>-25,39864915 (mm)</b>	<b>16,12764427 (mm)</b>	<b>32,65137682 (mm/s)</b>	<b>7,988446209</b>	<b>40,52 (mm/s)</b>
1,17 (rad)	0,372422567	2,729606019	25,22672432	12,35553536 (mm)	-22,16256113 (mm)	25,3739703 (mm)	29,3739703 (mm)	14,30328499 (mm)	-25,65630858 (mm)	16,25879007 (mm)	32,04321007 (mm/s)	8,029915747	39,99 (mm/s)	
1,18 (rad)	0,375605666	2,744518182	25,35641228	12,19648491 (mm)	-22,39923614 (mm)	25,50450987 (mm)	29,50450987 (mm)	14,10932071 (mm)	-25,91222051 (mm)	16,38932964 (mm)	31,42444092 (mm/s)	8,071196706	39,45 (mm/s)	
1,19 (rad)	0,37878765	2,759270105	25,48549949	12,03355822 (mm)	-22,63443687 (mm)	25,63443496 (mm)	29,63443496 (mm)	13,91127595 (mm)	-26,16631684 (mm)	16,51925473 (mm)	30,79514148 (mm/s)	8,11228644	38,9 (mm/s)	
1,2 (rad)	0,381971863	2,773862073	25,61397777	11,86677134 (mm)	-22,868098 (mm)	25,76373746 (mm)	29,76373746 (mm)	13,70917039 (mm)	-26,41852977 (mm)	16,64855723 (mm)	30,15538685 (mm/s)	8,15318235	38,33 (mm/s)	
1,21 (rad)	0,385154962	2,788294393	25,74183903											

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN, BASADOS EN CHAPA CORTADA POR LÁSER, DE UNA LANZADERA DE COHETES DE AGUA

PERFIL LEVA	1,39 (rad)	0,442450742	3,021232346	27,92926954	7,994033842 (mm)	-26,93078842 (mm)	28,0922043 (mm)	32,0922043 (mm)	9,132290386 (mm)	-30,76541644 (mm)	18,97702406 (mm)	16,13468387 (mm/s)	8,89016261	25,53 (mm/s)
	1,4 (rad)	0,445633841	3,032713118	28,04401723	7,755147808 (mm)	-27,12050763 (mm)	28,20752119 (mm)	32,20752119 (mm)	8,54875467 (mm)	-30,96636242 (mm)	19,09234095 (mm)	15,3060157 (mm/s)	8,926687934	24,76 (mm/s)
	1,41 (rad)	0,44881694	3,044044028	28,15800936	7,512994871 (mm)	-27,30740931 (mm)	28,32207081 (mm)	32,32207081 (mm)	8,57407475 (mm)	-31,16410601 (mm)	19,20689058 (mm)	14,46911886 (mm/s)	8,962972754	23,97 (mm/s)
	1,42 (rad)	0,452000038	3,055225734	28,27124017	7,267614646 (mm)	-27,49143871 (mm)	28,43584753 (mm)	32,43584753 (mm)	8,289931936 (mm)	-31,35859106 (mm)	19,32066733 (mm)	13,62412755 (mm/s)	8,999015239	23,18 (mm/s)
	1,43 (rad)	0,455183137	3,066258907	28,38370403	7,019047693 (mm)	-27,67254176 (mm)	28,54884583 (mm)	32,54884583 (mm)	8,002491681 (mm)	-31,54976215 (mm)	19,43366559 (mm)	12,77117828 (mm/s)	9,034813598	22,38 (mm/s)
	1,44 (rad)	0,458366236	3,077144235	28,49539542	6,767335494 (mm)	-27,85066511 (mm)	28,68610620 (mm)	32,66106209 (mm)	7,711799575 (mm)	-31,73756466 (mm)	19,54588006 (mm)	11,9104098 (mm/s)	9,070366074	21,56 (mm/s)
	1,45 (rad)	0,461549335	3,087882419	28,60630895	6,512520442 (mm)	-28,02575614 (mm)	28,77248564 (mm)	32,77248564 (mm)	7,417902135 (mm)	-31,92194453 (mm)	19,6573054 (mm)	11,04196304 (mm/s)	9,105670947	20,74 (mm/s)
	1,46 (rad)	0,464732434	3,098474172	28,71643933	6,254645828 (mm)	-28,19776295 (mm)	28,88311669 (mm)	32,88311669 (mm)	7,120846785 (mm)	-32,10284885 (mm)	19,76793646 (mm)	10,1659811 (mm/s)	9,140726534	19,91 (mm/s)
	1,47 (rad)	0,467915533	3,108920223	28,82578138	5,993755823 (mm)	-28,36663442 (mm)	28,9929484 (mm)	32,9929484 (mm)	6,820681838 (mm)	-32,28022527 (mm)	19,87776817 (mm)	9,282609175 (mm/s)	9,175531189	19,07 (mm/s)
	1,48 (rad)	0,471098632	3,119221314	28,93433004	5,729895464 (mm)	-28,53232018 (mm)	29,10197582 (mm)	33,10197582 (mm)	6,517456488 (mm)	-32,45402231 (mm)	19,98679559 (mm)	8,391994548 (mm/s)	9,210083303	18,22 (mm/s)
	1,49 (rad)	0,47428173	3,129378199	29,04208039	5,46311064 (mm)	-28,69477067 (mm)	29,21019413 (mm)	33,21019413 (mm)	6,211220785 (mm)	-32,62418935 (mm)	20,0950139 (mm)	7,494286507 (mm/s)	9,244381304	17,37 (mm/s)
	1,5 (rad)	0,477464829	3,139391647	29,1490276	5,193448072 (mm)	-28,85393711 (mm)	29,31759864 (mm)	33,31759864 (mm)	5,902025625 (mm)	-32,79067661 (mm)	20,2024184 (mm)	6,589636321 (mm/s)	9,278423657	16,5 (mm/s)
	1,51 (rad)	0,480647928	3,149262437	29,25516696	4,920955302 (mm)	-29,00977157 (mm)	29,42418474 (mm)	33,42418474 (mm)	5,58922731 (mm)	-32,95343517 (mm)	20,30900451 (mm)	5,678197194 (mm/s)	9,312208864	15,63 (mm/s)
	1,52 (rad)	0,483831027	3,158991364	29,36049388	4,645680674 (mm)	-29,16222691 (mm)	29,52994797 (mm)	33,52994797 (mm)	5,274964637 (mm)	-33,11241699 (mm)	20,41476774 (mm)	4,760124211 (mm/s)	9,345735465	14,75 (mm/s)
	1,53 (rad)	0,487014126	3,168579232	29,46500389	4,367673316 (mm)	-29,31125686 (mm)	29,63488399 (mm)	33,63488399 (mm)	4,95720467 (mm)	-33,26757494 (mm)	20,51970375 (mm)	3,835574298 (mm/s)	9,379002036	13,86 (mm/s)
	1,54 (rad)	0,490197225	3,17802686	29,56869265	4,086983127 (mm)	-29,456816 (mm)	29,73898855 (mm)	33,73898855 (mm)	4,636696931 (mm)	-33,41886278 (mm)	20,62380832 (mm)	2,904706169 (mm/s)	9,412007193	12,96 (mm/s)
	1,55 (rad)	0,493380324	3,187335078	29,67155592	3,803660758 (mm)	-29,59857878 (mm)	29,84225755 (mm)	33,84225755 (mm)	4,313496282 (mm)	-33,5662352 (mm)	20,72707731 (mm)	1,967680284 (mm/s)	9,444749587	12,06 (mm/s)
	1,56 (rad)	0,496563422	3,196504726	29,77358957	3,517757592 (mm)	-29,73734453 (mm)	29,94468698 (mm)	33,94468698 (mm)	3,987658326 (mm)	-33,70964781 (mm)	20,82950675 (mm)	1,024658796 (mm/s)	9,477227908	11,15 (mm/s)
	1,57 (rad)	0,499746521	3,205536657	29,87478962	3,229325734 (mm)	-29,87222749 (mm)	30,04627298 (mm)	34,04627298 (mm)	3,659239386 (mm)	-33,84905717 (mm)	20,93109275 (mm)	0,075805504 (mm/s)	9,509440884	10,23 (mm/s)
	1,58 (rad)	0,50292962	3,214431737	29,97515218	2,938417985 (mm)	-30,00346679 (mm)	30,14701179 (mm)	34,14701179 (mm)	3,328296491 (mm)	-33,98442079 (mm)	21,03183156 (mm)	-0,878714195 (mm/s)	9,541387259	9,306 (mm/s)
	1,59 (rad)	0,506112719	3,22319084	30,0746735	2,645087828 (mm)	-30,13102148 (mm)	30,24689976 (mm)	34,24689976 (mm)	2,994887358 (mm)	-34,11569716 (mm)	21,13171953 (mm)	-1,838733359 (mm/s)	9,573065898	8,374 (mm/s)
	1,6 (rad)	0,509295818	3,231814853	30,17334993	2,349389413 (mm)	-30,25485153 (mm)	30,34593339 (mm)	34,34593339 (mm)	2,659070369 (mm)	-34,24284575 (mm)	21,23075166 (mm)	-2,804083547 (mm/s)	9,604475582	7,435 (mm/s)
	1,61 (rad)	0,512478917	3,240304673	30,27117795	2,051377532 (mm)	-30,37491793 (mm)	30,44410927 (mm)	34,44410927 (mm)	2,320904555 (mm)	-34,365827 (mm)	21,32892904 (mm)	-3,774594873 (mm/s)	9,635615209	6,489 (mm/s)
	1,62 (rad)	0,515662016	3,248661207	30,36815417	1,751107606 (mm)	-30,49118249 (mm)	30,54142412 (mm)	34,54142412 (mm)	1,980449578 (mm)	-34,48460236 (mm)	21,42624389 (mm)	-4,750096056 (mm/s)	9,666483699	5,537 (mm/s)
	1,63 (rad)	0,518845113	3,256885372	30,46427531	1,448635665 (mm)	-30,60360807 (mm)	30,63787488 (mm)	34,63787488 (mm)	1,637765711 (mm)	-34,5991343 (mm)	21,52629457 (mm)	-5,730414469 (mm/s)	9,697080005	4,579 (mm/s)
	1,64 (rad)	0,522028213	3,264978097	30,55953819	1,144018327 (mm)	-30,71255848 (mm)	30,7345826 (mm)	34,7345826 (mm)	1,292913817 (mm)	-34,70938629 (mm)	21,61827802 (mm)	-6,715376193 (mm/s)	9,729002036	3,629 (mm/s)
	1,65 (rad)	0,525211312	3,27294032	30,65393979	0,837312783 (mm)	-30,81679851 (mm)	30,82817158 (mm)	34,82817158 (mm)	0,945953323 (mm)	-34,81532284 (mm)	21,71299135 (mm)	-7,704806069 (mm/s)	9,757452086	2,645 (mm/s)
	1,66 (rad)	0,528394411	3,280772987	30,74747719	0,52857775 (mm)	-30,91749394 (mm)	30,92201198 (mm)	34,92201198 (mm)	0,596952245 (mm)	-34,91690949 (mm)	21,80683174 (mm)	-8,698527748 (mm/s)	9,787259644	1,669 (mm/s)
	1,67 (rad)	0,531577551	3,288477055	30,84014758	0,217868578 (mm)	-31,01421154 (mm)	31,01497677 (mm)	35,01497677 (mm)	0,245967077 (mm)	-35,01411285 (mm)	21,89979654 (mm)	-9,696363746 (mm/s)	9,816723866	0,688 (mm/s)
	1,68 (rad)	0,534760609	3,296053489	30,9319483	-0,094753021 (mm)	-31,1069191 (mm)	31,10706341 (mm)	35,10706341 (mm)	-0,106937137 (mm)	-35,10690055 (mm)	21,99188318 (mm)	-10,69813549 (mm/s)	9,845944943	-0,3 (mm/s)
	1,69 (rad)	0,537943708	3,303503266	31,02287679	-0,409228738 (mm)	-31,19826947 (mm)	31,19826947 (mm)	35,19826947 (mm)	-0,461696871 (mm)	-35,19524129 (mm)	22,08308924 (mm)	-11,7036634 (mm/s)	9,874888379	-1,29 (mm/s)
	1,7 (rad)	0,541126807	3,310827367	31,11293061	-0,725498817 (mm)	-31,28018031 (mm)	31,28859263 (mm)	35,28859263 (mm)	-0,818248124 (mm)	-35,27910487 (mm)	22,1734124 (mm)	-12,71276687 (mm/s)	9,903553402	-2,29 (mm/s)
	1,71 (rad)	0,544309905	3,318026786	31,20210746	-1,043503047 (mm)	-31,36067463 (mm)	31,37803072 (mm)	35,37803072 (mm)	-1,176526443 (mm)	-35,35846211 (mm)	22,26285049 (mm)	-13,72526443 (mm/s)	9,931939275	-3,29 (mm/s)
	1,72 (rad)	0,547493004	3,325102523	31,29040515	-1,363180782 (mm)	-31,43704025 (mm)	31,46658166 (mm)	35,46658166 (mm)	-1,536466943 (mm)	-35,43328497 (mm)	22,35140143 (mm)	-14,74097369 (mm/s)	9,960045303	-4,3 (mm/s)
	1,73 (rad)	0,550676103	3,332055586	31,37782162	-1,68447096 (mm)	-31,50925009 (mm)	31,55424352 (mm)	35,55424352 (mm)	-1,898004326 (mm)	-35,50354646 (mm)	22,43402328 (mm)	-15,75971148 (mm/s)	9,987870827	-5,31 (mm/s)
	1,74 (rad)	0,553859202	3,338868992	31,46435491	-2,007312124 (mm)	-31,57727813 (mm)	31,64101446 (mm)	35,64101446 (mm)	-2,261072904 (mm)	-35,5692207 (mm)	22,52583423 (mm)	-16,78129384 (mm/s)	10,01541523	-6,32 (mm/s)
	1,75 (rad)	0,557042301	3,345597766	31,55000322	-2,331642444 (mm)	-31,641094 (mm)	31,72689281 (mm)	35,72689281 (mm)	-2,625606616 (mm)	-35,6302829 (mm)	22,61171258 (mm)	-17,80553612 (mm/s)	10,04267793	-7,34 (mm/s)
	1,76 (rad)	0,5602254	3,352188938	31,63476484	-2,657399732 (mm)	-31,70068996 (mm)	31,81187698 (mm)	35,81187698 (mm)	-2,991539052 (mm)	-35,68670939 (mm)	22,69696755 (mm)	-18,832253 (mm/s)	10,0696584	-8,36 (mm/s)
	1,77 (rad)	0,563408499	3,358661549	31,7186382	-2,984521468 (mm)	-31,78956552 (mm)	31,89596552 (mm)	35,89596552 (mm)	-3,358803471 (mm)	-35,73847758 (mm)	22,78078529 (mm)	-19,86125858 (mm/s)	10,09635612	-9,39 (mm/s)
	1,78 (rad)	0,566591597	3,365016644	31,80162185	-3,312944816 (mm)	-31,80708861 (mm)	31,97915711 (mm)	35,97915711 (mm)	-3,727332825 (mm)	-35,78556603 (mm)	22,86397688 (mm)	-20,89236641 (mm/s)	10,12277063	-10,4 (mm/s)
	1,79 (rad)	0,569774696	3,371255277	31,88371447	-3,642606645 (mm)	-31,8538542 (mm)	32,06145053 (mm)	36,06145053 (mm)	-4,097059776 (mm)	-35,82795439 (mm)	22,9462703 (mm)	-21,92538952 (mm/s)	10,14890152	-11,5 (mm/s)
	1,8 (rad)	0,572957795	3,377378506	31,96491485	-3,973443553 (mm)	-31,89630406 (mm)	32,14284472 (mm)	36,14284472 (mm)	-4,467916719 (mm)	-35,86562344 (mm)	23,02766449 (mm)	-22,96014055 (mm/s)	10,17474841	-12,5 (mm/s)
	1,81 (rad)	0,576140894	3,383387399	32,04522191	-4,305391881 (mm)	-31,93441964 (mm)	32,2233387 (mm)	36,2233387 (mm)	-4,839835803 (mm)	-35,89855507 (mm)	23,10815847 (mm)	-23,99643172 (mm/s)	10,20031094	-13,5 (mm/s)
	1,82 (rad)	0,579323993	3,389283027	32,12463469	-4,63838774 (mm)	-31,96818345 (mm)	32,30293166 (mm)	36,30293166 (mm)	-5,212748951 (mm)	-35,92673232 (mm)	23,18775142 (mm)	-25,03407494 (mm/s)	10,22558881	-14,6 (mm/s)
	1,83 (rad)	0,582507092	3,395064669	32,20315238	-4,972367025 (mm)	-31,99757906 (mm)	32,38162287 (mm)	36,38162287 (mm)	-5,586587881 (mm)	-35,95013934 (mm)	23,26644263 (mm)	-26,07288184 (mm/s)	10,25058177	-15,6 (mm/s)
	1,84 (rad)	0,585690191	3,400738809	32,28077426	-5,307265443 (mm)	-32,02259116 (mm)	32,45941175 (mm)	36,45941175 (mm)	-5,961284127 (mm)	-35,9687614 (mm)	23,34423152 (mm)	-27,11266384 (mm/s)	10,27528958	-16,7 (mm/s)
	1,85 (rad)	0,588873289	3,406301137	32,35749974	-5,643018524 (mm)	-32,04432055 (mm)	32,53629784 (mm)	36,53629784 (mm)	-6,336769061 (mm)	-35,98258492 (mm)	23,42111765 (mm)	-28,15323218 (mm/s)	10,29971206	-17,7 (mm/s)
	1,86 (rad)	0,592056388	3,411754548	32,4332838	-5,97956165 (mm)	-32,05940894 (mm)	32,6122808 (mm)	36,6122808 (mm)	-6,712973911 (mm)	-35,99159744 (				

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN, BASADOS EN CHAPA CORTADA POR LÁSER, DE UNA LANZADERA DE COHETES DE AGUA

1,99 (rad)	0,633436674	3,473244245	33,33750693	-10,39696465 (mm)	-31,86465001 (mm)	33,51794734 (mm)	37,51794734 (mm)	-11,63772853 (mm)	-35,66734708 (mm)	24,40276711 (mm)	-42,69812362 (mm/s)	10,61165804	-32,5 (mm/s)
2 (rad)	0,636619772	3,477290325	33,40080171	-10,73774682 (mm)	-31,81832642 (mm)	33,58132074 (mm)	37,58132074 (mm)	-12,01676106 (mm)	-35,6083294 (mm)	24,46614051 (mm)	-43,72788937 (mm/s)	10,63180539	-33,6 (mm/s)
2,01 (rad)	0,639802871	3,481244417	33,46320779	-11,07834533 (mm)	-31,76752435 (mm)	33,64380089 (mm)	37,64380089 (mm)	-12,39547896 (mm)	-35,54444889 (mm)	24,52862666 (mm)	-44,75544274 (mm/s)	10,65166986	-34,7 (mm/s)
2,02 (rad)	0,64298597	3,485107676	33,52472673	-11,41869587 (mm)	-31,71224783 (mm)	33,70538945 (mm)	37,70538945 (mm)	-12,77381397 (mm)	-35,47571098 (mm)	24,59020921 (mm)	-45,78060032 (mm/s)	10,67125195	-35,7 (mm/s)
2,03 (rad)	0,646169069	3,488881254	33,58536019	-11,75873431 (mm)	-31,65250194 (mm)	33,76608819 (mm)	37,76608819 (mm)	-13,15169808 (mm)	-35,40212218 (mm)	24,65090796 (mm)	-46,80317946 (mm/s)	10,69055218	-36,8 (mm/s)
2,04 (rad)	0,649352168	3,492566309	33,64510998	-12,09839675 (mm)	-31,58829278 (mm)	33,82589903 (mm)	37,82589903 (mm)	-13,52906344 (mm)	-35,32369006 (mm)	24,71071879 (mm)	-47,82299837 (mm/s)	10,70957113	-37,8 (mm/s)
2,05 (rad)	0,652535267	3,496163996	33,70397801	-12,47631949 (mm)	-31,51962751 (mm)	33,88482399 (mm)	37,88482399 (mm)	-13,90584249 (mm)	-35,24042328 (mm)	24,76964375 (mm)	-48,83987611 (mm/s)	10,72830941	-38,9 (mm/s)
2,06 (rad)	0,655718366	3,499675476	33,76196634	-12,77633908 (mm)	-31,44651427 (mm)	33,94286523 (mm)	37,94286523 (mm)	-14,28192791 (mm)	-35,15233156 (mm)	24,82768499 (mm)	-49,85363267 (mm/s)	10,74676766	-39,9 (mm/s)
2,07 (rad)	0,658901464	3,503101906	33,81907714	-13,11449234 (mm)	-31,36896224 (mm)	34,00002502 (mm)	38,00002502 (mm)	-14,65737266 (mm)	-35,05942567 (mm)	24,88448479 (mm)	-50,86408902 (mm/s)	10,7649466	-41 (mm/s)
2,08 (rad)	0,662084563	3,506444448	33,87531271	-13,45201637 (mm)	-31,28698163 (mm)	34,05630578 (mm)	38,05630578 (mm)	-15,03199001 (mm)	-34,96171744 (mm)	24,94112555 (mm)	-51,87106714 (mm/s)	10,78284693	-42 (mm/s)
2,09 (rad)	0,665267662	3,509704261	33,93067546	-13,78884854 (mm)	-31,20058361 (mm)	34,11171003 (mm)	38,11171003 (mm)	-15,40575353 (mm)	-34,85921973 (mm)	24,9965298 (mm)	-52,87439008 (mm/s)	10,80046945	-43,1 (mm/s)
2,1 (rad)	0,668450761	3,512882508	33,98516796	-14,12492658 (mm)	-31,10978036 (mm)	34,16624043 (mm)	38,16624043 (mm)	-15,77859715 (mm)	-34,75194643 (mm)	25,05106199 (mm)	-53,873882 (mm/s)	10,81781495	-44,1 (mm/s)
2,11 (rad)	0,67163386	3,515980348	34,03879287	-14,4601885 (mm)	-31,01458506 (mm)	34,21989974 (mm)	38,21989974 (mm)	-16,15045512 (mm)	-34,63991246 (mm)	25,10471951 (mm)	-54,86936823 (mm/s)	10,83488429	-45,2 (mm/s)
2,12 (rad)	0,674816959	3,518998942	34,091553	-14,79457272 (mm)	-30,91501185 (mm)	34,27269087 (mm)	38,27269087 (mm)	-16,52126208 (mm)	-34,52313377 (mm)	25,15751063 (mm)	-55,86067528 (mm/s)	10,85167835	-46,2 (mm/s)
2,13 (rad)	0,678000558	3,521939452	34,14345125	-15,12801797 (mm)	-30,81107582 (mm)	34,32461684 (mm)	38,32461684 (mm)	-16,89095307 (mm)	-34,40162729 (mm)	25,20943661 (mm)	-56,84763093 (mm/s)	10,86819808	-47,2 (mm/s)
2,14 (rad)	0,681183156	3,524803038	34,19449057	-15,4604634 (mm)	-30,70279306 (mm)	34,3756808 (mm)	38,3756808 (mm)	-17,25946351 (mm)	-34,27541095 (mm)	25,26050057 (mm)	-57,83006424 (mm/s)	10,88444444	-48,3 (mm/s)
2,15 (rad)	0,684366255	3,527590858	34,24467449	-15,79184856 (mm)	-30,5918057 (mm)	34,422588602 (mm)	38,422588602 (mm)	-17,62672927 (mm)	-34,14450368 (mm)	25,31070579 (mm)	-58,8078056 (mm/s)	10,90041884	-49,3 (mm/s)
2,16 (rad)	0,687549354	3,530340471	34,29400594	-16,12211341 (mm)	-30,47323563 (mm)	34,4752359 (mm)	38,4752359 (mm)	-17,99268664 (mm)	-34,00892537 (mm)	25,36005566 (mm)	-59,78068679 (mm/s)	10,91612113	-50,3 (mm/s)
2,17 (rad)	0,690732453	3,532943834	34,34248846	-16,45119833 (mm)	-30,35203912 (mm)	34,52373394 (mm)	38,52373394 (mm)	-18,35727238 (mm)	-33,86869687 (mm)	25,40855391 (mm)	-60,748541 (mm/s)	10,93155359	-51,3 (mm/s)
2,18 (rad)	0,693915552	3,535511302	34,39012559	-16,77904418 (mm)	-30,22654884 (mm)	34,5713838 (mm)	38,5713838 (mm)	-18,72042371 (mm)	-33,72384001 (mm)	25,45620357 (mm)	-61,71120289 (mm/s)	10,94671696	-52,3 (mm/s)
2,19 (rad)	0,697098651	3,538007631	34,436921	-17,10559227 (mm)	-30,09680613 (mm)	34,61818924 (mm)	38,61818924 (mm)	-19,08207834 (mm)	-33,57437752 (mm)	25,50300901 (mm)	-62,66850861 (mm/s)	10,9616124	-53,4 (mm/s)
2,2 (rad)	0,70028175	3,540433972	34,48287849	-17,43078438 (mm)	-29,9628326 (mm)	34,66415413 (mm)	38,66415413 (mm)	-19,44217451 (mm)	-33,42033311 (mm)	25,5489739 (mm)	-63,62029586 (mm/s)	10,97624113	-54,4 (mm/s)
2,21 (rad)	0,703464848	3,542791476	34,52800197	-17,75456282 (mm)	-29,82465071 (mm)	34,70928249 (mm)	38,70928249 (mm)	-19,80065049 (mm)	-33,26173135 (mm)	25,59410226 (mm)	-64,56640391 (mm/s)	10,99060438	-55,4 (mm/s)
2,22 (rad)	0,706647947	3,54508129	34,57229546	-18,07687039 (mm)	-29,68228381 (mm)	34,75357845 (mm)	38,75357845 (mm)	-20,15744697 (mm)	-33,09859777 (mm)	25,63839822 (mm)	-65,50667366 (mm/s)	11,00470343	-56,4 (mm/s)
2,23 (rad)	0,709831046	3,547304561	34,61576315	-18,39765041 (mm)	-29,54075608 (mm)	34,79704625 (mm)	38,79704625 (mm)	-20,51250237 (mm)	-32,93095875 (mm)	25,68186602 (mm)	-66,44094766 (mm/s)	11,01853962	-57,4 (mm/s)
2,24 (rad)	0,713014145	3,549462431	34,6584093	-18,71684675 (mm)	-29,38509258 (mm)	34,83969028 (mm)	38,83969028 (mm)	-20,86575756 (mm)	-32,75884159 (mm)	25,72451004 (mm)	-67,36907016 (mm/s)	11,03211432	-58,3 (mm/s)
2,25 (rad)	0,716197244	3,551556604	34,70023831	-19,03440385 (mm)	-29,23031918 (mm)	34,88151501 (mm)	38,88151501 (mm)	-21,21715352 (mm)	-32,58227441 (mm)	25,76633478 (mm)	-68,29088712 (mm/s)	11,04542891	-59,3 (mm/s)
2,26 (rad)	0,719380343	3,5535986526	34,74125473	-19,3502667 (mm)	-29,07146257 (mm)	34,92252507 (mm)	38,92252507 (mm)	-21,56267297 (mm)	-32,40128623 (mm)	25,80734484 (mm)	-69,20624628 (mm/s)	11,05848484	-60,3 (mm/s)
2,27 (rad)	0,722563442	3,555555022	34,78146319	-19,66438088 (mm)	-28,90855025 (mm)	34,9627252 (mm)	38,9627252 (mm)	-21,91413467 (mm)	-32,21590688 (mm)	25,8475496 (mm)	-70,1149972 (mm/s)	11,07128359	-61,3 (mm/s)
2,28 (rad)	0,72574654	3,557462658	34,82086846	-19,97669257 (mm)	-28,74161052 (mm)	35,00212024 (mm)	39,00212024 (mm)	-22,25960485 (mm)	-32,02616703 (mm)	25,88694 (mm)	-71,01699122 (mm/s)	11,08382668	-62,3 (mm/s)
2,29 (rad)	0,728929639	3,559310561	34,85947544	-20,28714855 (mm)	-28,57067243 (mm)	35,04071517 (mm)	39,04071517 (mm)	-22,60298582 (mm)	-31,83209815 (mm)	25,92553493 (mm)	-71,9120816 (mm/s)	11,09611566	-63,2 (mm/s)
2,3 (rad)	0,732112738	3,561099853	34,89728912	-20,59569623 (mm)	-28,39576583 (mm)	35,07851508 (mm)	39,07851508 (mm)	-22,94422167 (mm)	-31,63373252 (mm)	25,96333485 (mm)	-72,80012347 (mm/s)	11,10815213	-64,2 (mm/s)
2,31 (rad)	0,735295837	3,562831653	34,93431466	-20,90228366 (mm)	-28,2169213 (mm)	35,1155252 (mm)	39,1155252 (mm)	-23,28325715 (mm)	-31,43110319 (mm)	26,0003496 (mm)	-73,68097389 (mm/s)	11,11993772	-65,1 (mm/s)
2,32 (rad)	0,738478936	3,564507075	34,97055728	-21,20685952 (mm)	-28,03417016 (mm)	35,15175084 (mm)	39,15175084 (mm)	-23,6200377 (mm)	-31,224244 (mm)	26,03657061 (mm)	-74,55449189 (mm/s)	11,13147411	-66,1 (mm/s)
2,33 (rad)	0,741662035	3,566127229	35,00602237	-21,50937316 (mm)	-27,84754455 (mm)	35,18719747 (mm)	39,18719747 (mm)	-23,95450943 (mm)	-31,01318951 (mm)	26,07201723 (mm)	-75,42053847 (mm/s)	11,142763	-67 (mm/s)
2,34 (rad)	0,744845134	3,567693218	35,04071541	-21,80977746 (mm)	-27,65707691 (mm)	35,22187064 (mm)	39,22187064 (mm)	-24,28661915 (mm)	-30,79797504 (mm)	26,10689041 (mm)	-76,27897667 (mm/s)	11,15386031	-67,9 (mm/s)
2,35 (rad)	0,748028233	3,569206144	35,07464201	-22,10801454 (mm)	-27,46280098 (mm)	35,25577605 (mm)	39,25577605 (mm)	-24,6163144 (mm)	-30,57863663 (mm)	26,14059581 (mm)	-77,12967157 (mm/s)	11,16460531	-68,8 (mm/s)
2,36 (rad)	0,751211331	3,5706671	35,1078079	-22,40404437 (mm)	-27,26475077 (mm)	35,28891949 (mm)	39,28891949 (mm)	-24,94354342 (mm)	-30,35521103 (mm)	26,17373926 (mm)	-77,97249031 (mm/s)	11,17516234	-69,7 (mm/s)
2,37 (rad)	0,75439443	3,572077175	35,14021891	-22,69781618 (mm)	-27,06296106 (mm)	35,32130689 (mm)	39,32130689 (mm)	-25,26825517 (mm)	-30,12773566 (mm)	26,20612666 (mm)	-78,80730214 (mm/s)	11,18547908	-70,7 (mm/s)
2,38 (rad)	0,757577529	3,573437453	35,17188102	-22,98928276 (mm)	-26,85746726 (mm)	35,35294428 (mm)	39,35294428 (mm)	-25,59039939 (mm)	-29,89624864 (mm)	26,23776405 (mm)	-79,63397843 (mm/s)	11,19555744	-71,6 (mm/s)
2,39 (rad)	0,760760628	3,574749012	35,20280029	-23,27839766 (mm)	-26,6483054 (mm)	35,38383781 (mm)	39,38383781 (mm)	-25,90992653 (mm)	-29,66078873 (mm)	26,26865758 (mm)	-80,45239269 (mm/s)	11,20539935	-72,4 (mm/s)
2,4 (rad)	0,763943727	3,576012923	35,23298292	-23,56511512 (mm)	-26,43551216 (mm)	35,41399376 (mm)	39,41399376 (mm)	-26,22678782 (mm)	-29,42139535 (mm)	26,29881352 (mm)	-81,26242061 (mm/s)	11,21500678	-73,3 (mm/s)
2,41 (rad)	0,767126826	3,577230252	35,26243522	-23,84939014 (mm)	-26,21912477 (mm)	35,44341848 (mm)	39,44341848 (mm)	-26,54093527 (mm)	-29,17810852 (mm)	26,32823825 (mm)	-82,06394008 (mm/s)	11,22438174	-74,2 (mm/s)
2,42 (rad)	0,770309925	3,578402058	35,29116362	-24,13117846 (mm)	-25,99918108 (mm)	35,4721185 (mm)	39,4721185 (mm)	-26,8232165 (mm)	-28,93096888 (mm)	26,35693826 (mm)	-82,85683117 (mm/s)	11,23352627	-75,1 (mm/s)
2,43 (rad)	0,773493023	3,579529392	35,31917465	-24,41043659 (mm)	-25,77571947 (mm)	35,5001004 (mm)	39,5001004 (mm)	-27,16090053 (mm)	-28,68001767 (mm)	26,38492017 (mm)	-83,64097623 (mm/s)	11,24244246	-75,9 (mm/s)
2,44 (rad)	0,776676122	3,58061133	35,34647496	-24,68712178 (mm)	-25,54877888 (mm)	35,52737091 (mm)	39,52737091 (mm)	-27,46662627 (mm)	-28,4252967 (mm)	26,41219068 (mm)	-84,41625981 (mm/s)	11,25113242	-76,8 (mm/s)
2,45 (rad)	0,779859221	3,581654821	35,37307134	-24,96119208 (mm)	-25,31839789 (mm)	35,55393687 (mm)	39,55393687 (mm)	-27,76945403 (mm)	-28,16684833 (mm)	26,43875664 (mm)	-85,18256879 (mm/s)	11,25959831	-77,6 (mm/s)
2,46 (rad)	0,78304232	3,582654984	35,39897065	-25,23260663 (mm)	-25,08461918 (mm)	35,57980522 (mm)	39,57980522 (mm)	-28,06933979 (mm)	-27,90471547 (mm)	26,46462499 (mm)	-85,93979229 (mm/s)	11,26784232	-78,5 (mm/s)
2,47 (rad)	0,786225419	3,583614814	35,42417989	-25,50132404 (mm)	-24,84784052 (mm)	35,60498302 (mm)	39,60498302 (mm)	-28,36624034 (mm)	-27,63894153 (mm)	26,48980279 (mm)	-86,68782176 (mm/s)	11,27586667	-79,3 (mm/s)
2,48 (rad)	0,789408518	3,584535326	35,44870616	-25,76730577 (mm)	-24,60702377 (mm)	35,62947743 (mm)	39,62947743 (mm)	-28,66011329 (mm)	-27,36957046 (mm)	26,51429272 (mm)	-87,42655095 (mm/s)	11,28367362	-80,1 (mm/s)
2,49 (rad)	0,792591617	3,585417528	35,47255668	-26,03051247 (mm)	-24,36230935 (mm)	35,65329573 (mm)	39,65329573 (mm)	-28,95091711 (mm)	-27,09664668 (mm)	26,53811549 (mm)	-88,1587598 (mm/s)	11,29126548	-80,9 (mm/s)
2,5 (rad)	0,795774715	3,586262419	35,49573781	-26,29090634 (mm)	-24,11632213 (mm)	35,6764453 (mm)	39,6764453 (mm)	-29,23861103 (mm)	-26,82021507 (mm)	26,56126507 (mm)	-88,87569527 (mm/s)	11,29864457	-81,7 (mm/s)
2,51 (rad)	0,79895781												

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN, BASADOS EN CHAPA CORTADA POR LÁSER, DE UNA LANZADERA DE COHETES DE AGUA

2.59 (rad)	0,824422605	3,592348056	35,67556115	-28,50200402 (mm)	-21,7551464 (mm)	35,8559706 (mm)	39,8559706 (mm)	-31,68161439 (mm)	-24,18209466 (mm)	26,74079037 (mm)	-94,91073087 (mm/s)	11,35588381	-88,6 (mm/s)
2.6 (rad)	0,827605704	3,592872863	35,69248575	-28,73235873 (mm)	-21,47821772 (mm)	35,87286265 (mm)	39,87286265 (mm)	-31,93615755 (mm)	-23,87314426 (mm)	26,75768241 (mm)	-95,53043136 (mm/s)	11,36127108	-89,3 (mm/s)
2.61 (rad)	0,830788803	3,593370755	35,7088296	-28,95953675 (mm)	-21,19853901 (mm)	35,8891742 (mm)	39,8891742 (mm)	-32,1871994 (mm)	-23,56120569 (mm)	26,77399397 (mm)	-96,13966676 (mm/s)	11,36647349	-90 (mm/s)
2.62 (rad)	0,833971902	3,593842616	35,7246013	-29,18351002 (mm)	-20,9161561 (mm)	35,90491391 (mm)	39,90491391 (mm)	-32,43470957 (mm)	-23,24632808 (mm)	26,78973368 (mm)	-96,73836434 (mm/s)	11,37149377	-90,7 (mm/s)
2.63 (rad)	0,837155001	3,59428932	35,73980955	-29,40425131 (mm)	-20,63111502 (mm)	35,92009051 (mm)	39,92009051 (mm)	-32,67865857 (mm)	-22,9285608 (mm)	26,80491028 (mm)	-97,32645384 (mm/s)	11,37633471	-91,4 (mm/s)
2.64 (rad)	0,8403381	3,594711731	35,75446313	-29,62173424 (mm)	-20,34346202 (mm)	35,93471283 (mm)	39,93471283 (mm)	-32,91901777 (mm)	-22,60795341 (mm)	26,8195326 (mm)	-97,90386738 (mm/s)	11,38099909	-92 (mm/s)
2.65 (rad)	0,843521198	3,595110699	35,76857094	-29,83593326 (mm)	-20,05324349 (mm)	35,9487898 (mm)	39,9487898 (mm)	-33,15575943 (mm)	-22,28455571 (mm)	26,83360957 (mm)	-98,47053954 (mm/s)	11,38548975	-92,7 (mm/s)
2.66 (rad)	0,846704297	3,595487065	35,78214198	-30,04682369 (mm)	-19,76050602 (mm)	35,96233045 (mm)	39,96233045 (mm)	-33,38885668 (mm)	-21,95841764 (mm)	26,84715022 (mm)	-99,0264073 (mm/s)	11,38980954	-93,4 (mm/s)
2.67 (rad)	0,849887396	3,595841657	35,79518532	-30,25438164 (mm)	-19,46529632 (mm)	35,97534391 (mm)	39,97534391 (mm)	-33,61828351 (mm)	-21,62958933 (mm)	26,86016368 (mm)	-99,57141008 (mm/s)	11,39396137	-94 (mm/s)
2.68 (rad)	0,853070495	3,596175292	35,80771016	-30,45858411 (mm)	-19,16766126 (mm)	35,98783939 (mm)	39,98783939 (mm)	-33,84401481 (mm)	-21,29812105 (mm)	26,87265916 (mm)	-100,1054897 (mm/s)	11,39794815	-94,6 (mm/s)
2.69 (rad)	0,856253594	3,596488773	35,81972578	-30,65940889 (mm)	-18,86764778 (mm)	35,9998262 (mm)	39,9998262 (mm)	-34,06602633 (mm)	-20,9640632 (mm)	26,88464597 (mm)	-100,6285904 (mm/s)	11,40177284	-95,2 (mm/s)
2.7 (rad)	0,859436693	3,596782892	35,83124153	-30,85683464 (mm)	-18,56530293 (mm)	36,01131374 (mm)	40,01131374 (mm)	-34,28429468 (mm)	-20,62746629 (mm)	26,8961335 (mm)	-101,1406587 (mm/s)	11,40543841	-95,9 (mm/s)
2.71 (rad)	0,862619792	3,597058429	35,8422669	-31,05084083 (mm)	-18,26067385 (mm)	36,0223115 (mm)	40,0223115 (mm)	-34,49879734 (mm)	-20,28838091 (mm)	26,90713127 (mm)	-101,6416438 (mm/s)	11,4089479	-96,5 (mm/s)
2.72 (rad)	0,86580289	3,59731615	35,85281143	-31,24140777 (mm)	-17,95380771 (mm)	36,03282907 (mm)	40,03282907 (mm)	-34,70951267 (mm)	-19,94685774 (mm)	26,91764884 (mm)	-102,131497 (mm/s)	11,41230432	-97 (mm/s)
2.73 (rad)	0,868985989	3,597556807	35,86288476	-31,42851658 (mm)	-17,64475175 (mm)	36,04287611 (mm)	40,04287611 (mm)	-34,91641987 (mm)	-19,60294751 (mm)	26,92769588 (mm)	-102,610172 (mm/s)	11,41551077	-97,6 (mm/s)
2.74 (rad)	0,872169088	3,597781142	35,87249665	-31,61214921 (mm)	-17,33355322 (mm)	36,0524624 (mm)	40,0524624 (mm)	-35,11949901 (mm)	-19,256701 (mm)	26,93728217 (mm)	-103,0776251 (mm/s)	11,41857033	-98,2 (mm/s)
2.75 (rad)	0,875352187	3,597989879	35,8816569	-31,79228844 (mm)	-17,02025937 (mm)	36,06159777 (mm)	40,06159777 (mm)	-35,31873102 (mm)	-18,908169 (mm)	26,94641753 (mm)	-103,5338148 (mm/s)	11,42148613	-98,8 (mm/s)
2.76 (rad)	0,878535286	3,598183734	35,89037544	-31,96891784 (mm)	-16,70491747 (mm)	36,07029215 (mm)	40,07029215 (mm)	-35,51409765 (mm)	-18,55740232 (mm)	26,95511191 (mm)	-103,9787018 (mm/s)	11,42426132	-99,3 (mm/s)
2.77 (rad)	0,881718385	3,598363403	35,89866225	-32,1420218 (mm)	-16,38757473 (mm)	36,07855555 (mm)	40,07855555 (mm)	-35,70558152 (mm)	-18,20445176 (mm)	26,96337532 (mm)	-104,4122493 (mm/s)	11,4268991	-99,8 (mm/s)
2.78 (rad)	0,884901484	3,598529573	35,90652743	-32,31158551 (mm)	-16,06827834 (mm)	36,08639809 (mm)	40,08639809 (mm)	-35,89316608 (mm)	-17,84936808 (mm)	26,97121786 (mm)	-104,8344227 (mm/s)	11,42940266	-100 (mm/s)
2.79 (rad)	0,888084582	3,598682913	35,91398113	-32,47759497 (mm)	-15,74707542 (mm)	36,09382993 (mm)	40,09382993 (mm)	-36,07683561 (mm)	-17,49227002 (mm)	26,9786497 (mm)	-105,2451899 (mm/s)	11,43177255	-101 (mm/s)
2.8 (rad)	0,891267681	3,598824081	35,9210336	-32,64003694 (mm)	-15,42401305 (mm)	36,10086134 (mm)	40,10086134 (mm)	-36,25657524 (mm)	-17,13300419 (mm)	26,98568111 (mm)	-105,6445209 (mm/s)	11,43402012	-101 (mm/s)
2.81 (rad)	0,89445078	3,598953716	35,92769517	-32,79889899 (mm)	-15,09913817 (mm)	36,10750266 (mm)	40,10750266 (mm)	-36,43237088 (mm)	-16,77182523 (mm)	26,99232423 (mm)	-106,0323879 (mm/s)	11,43614056	-102 (mm/s)
2.82 (rad)	0,897633879	3,599072447	35,93397625	-32,95416947 (mm)	-14,77249765 (mm)	36,1137643 (mm)	40,1137643 (mm)	-36,60420299 (mm)	-16,40871563 (mm)	26,99858407 (mm)	-106,4087655 (mm/s)	11,43813989	-102 (mm/s)
2.83 (rad)	0,900816978	3,599180883	35,93988733	-33,10583748 (mm)	-14,44413823 (mm)	36,11965676 (mm)	40,11965676 (mm)	-36,77207802 (mm)	-16,04372577 (mm)	27,00447653 (mm)	-106,7736305 (mm/s)	11,44001355	-103 (mm/s)
2.84 (rad)	0,904000077	3,59927962	35,94543897	-33,25389291 (mm)	-14,11410652 (mm)	36,12519061 (mm)	40,12519061 (mm)	-36,93959654 (mm)	-15,67690592 (mm)	27,01001038 (mm)	-107,1269618 (mm/s)	11,44178859	-103 (mm/s)
2.85 (rad)	0,907183176	3,59936924	35,95064181	-33,39832639 (mm)	-13,78244897 (mm)	36,13037649 (mm)	40,13037649 (mm)	-37,09586067 (mm)	-15,30830619 (mm)	27,01519626 (mm)	-107,4687406 (mm/s)	11,4434447	-104 (mm/s)
2.86 (rad)	0,910366274	3,599450307	35,95550656	-33,53912931 (mm)	-13,44921188 (mm)	36,13522512 (mm)	40,13522512 (mm)	-37,25175367 (mm)	-14,93797658 (mm)	27,02004489 (mm)	-107,7989501 (mm/s)	11,4449932	-104 (mm/s)
2.87 (rad)	0,913549373	3,599523368	35,96004402	-33,67629378 (mm)	-13,11444135 (mm)	36,13974729 (mm)	40,13974729 (mm)	-37,40363514 (mm)	-14,56956687 (mm)	27,02456706 (mm)	-108,1175758 (mm/s)	11,44643752	-105 (mm/s)
2.88 (rad)	0,916732472	3,599588957	35,96426504	-33,80981265 (mm)	-12,7781833 (mm)	36,14395385 (mm)	40,14395385 (mm)	-37,55149657 (mm)	-14,19232668 (mm)	27,02877362 (mm)	-108,4246053 (mm/s)	11,44778111	-105 (mm/s)
2.89 (rad)	0,919915571	3,59964759	35,96818054	-33,93967952 (mm)	-12,44048344 (mm)	36,14785574 (mm)	40,14785574 (mm)	-37,69533018 (mm)	-13,81710545 (mm)	27,0326755 (mm)	-108,7200281 (mm/s)	11,44920745	-105 (mm/s)
2.9 (rad)	0,92309867	3,599699764	35,97180154	-34,06588866 (mm)	-12,10138727 (mm)	36,15146393 (mm)	40,15146393 (mm)	-37,83512896 (mm)	-13,44035238 (mm)	27,0362837 (mm)	-109,0038361 (mm/s)	11,45018005	-106 (mm/s)
2.91 (rad)	0,926281769	3,599745964	35,97513908	-34,18843508 (mm)	-11,76094002 (mm)	36,15478949 (mm)	40,15478949 (mm)	-37,97088665 (mm)	-13,06211645 (mm)	27,03960926 (mm)	-109,2760229 (mm/s)	11,45124243	-106 (mm/s)
2.92 (rad)	0,929464868	3,599786654	35,97820431	-34,30731445 (mm)	-11,41918671 (mm)	36,15784354 (mm)	40,15784354 (mm)	-38,10259769 (mm)	-12,68244641 (mm)	27,04266331 (mm)	-109,5365842 (mm/s)	11,45221812	-107 (mm/s)
2.93 (rad)	0,932647967	3,599822282	35,98100843	-34,42252315 (mm)	-11,07617207 (mm)	36,16063727 (mm)	40,16063727 (mm)	-38,2302572 (mm)	-12,30139075 (mm)	27,04545104 (mm)	-109,7855118 (mm/s)	11,4531107	-107 (mm/s)
2.94 (rad)	0,935831065	3,59985328	35,98356268	-34,53405823 (mm)	-10,73194058 (mm)	36,16318192 (mm)	40,16318192 (mm)	-38,35386129 (mm)	-11,91899769 (mm)	27,04800169 (mm)	-110,0228237 (mm/s)	11,45392374	-107 (mm/s)
2.95 (rad)	0,939014164	3,599880059	35,98587838	-34,64191774 (mm)	-10,38653641 (mm)	36,16548879 (mm)	40,16548879 (mm)	-38,47340632 (mm)	-11,53531518 (mm)	27,05030856 (mm)	-110,2485031 (mm/s)	11,45466085	-108 (mm/s)
2.96 (rad)	0,942197263	3,599903015	35,98796693	-34,746099 (mm)	-10,04000345 (mm)	36,16756925 (mm)	40,16756925 (mm)	-38,58888963 (mm)	-11,15039087 (mm)	27,05238902 (mm)	-110,4625596 (mm/s)	11,45532566	-108 (mm/s)
2.97 (rad)	0,945380362	3,599922524	35,98983975	-34,84660206 (mm)	-9,692385267 (mm)	36,16943471 (mm)	40,16943471 (mm)	-38,70039118 (mm)	-10,76427211 (mm)	27,05425448 (mm)	-110,6649986 (mm/s)	11,45592179	-108 (mm/s)
2.98 (rad)	0,948563461	3,599938946	35,99150833	-34,94342618 (mm)	-9,343725106 (mm)	36,17109664 (mm)	40,17109664 (mm)	-38,80766359 (mm)	-10,37700593 (mm)	27,05591641 (mm)	-110,8582875 (mm/s)	11,45645292	-109 (mm/s)
2.99 (rad)	0,95174656	3,59995262	35,99298423	-35,03657163 (mm)	-8,994065883 (mm)	36,17256657 (mm)	40,17256657 (mm)	-38,91095213 (mm)	-9,988639034 (mm)	27,05738634 (mm)	-111,0350551 (mm/s)	11,45692271	-109 (mm/s)
3 (rad)	0,954929659	3,599963867	35,99427904	-35,12603924 (mm)	-8,643450165 (mm)	36,17385608 (mm)	40,17385608 (mm)	-39,01017147 (mm)	-9,599217794 (mm)	27,05867585 (mm)	-111,2026922 (mm/s)	11,45733487	-109 (mm/s)
3.01 (rad)	0,958112757	3,599972991	35,99540442	-35,21183047 (mm)	-8,291920168 (mm)	36,17497678 (mm)	40,17497678 (mm)	-39,10533185 (mm)	-9,208788224 (mm)	27,05979655 (mm)	-111,3587515 (mm/s)	11,45769309	-109 (mm/s)
3.02 (rad)	0,961295856	3,599980273	35,99637208	-35,29394734 (mm)	-7,939517737 (mm)	36,17594035 (mm)	40,17594035 (mm)	-39,19642473 (mm)	-8,81739598 (mm)	27,06076012 (mm)	-111,5032471 (mm/s)	11,4580011	-110 (mm/s)
3.03 (rad)	0,964478955	3,599985977	35,99719375	-35,37239243 (mm)	-7,586284344 (mm)	36,17675851 (mm)	40,17675851 (mm)	-39,2834551 (mm)	-8,425086344 (mm)	27,06157828 (mm)	-111,636195 (mm/s)	11,45826264	-110 (mm/s)
3.04 (rad)	0,967662054	3,599990349	35,99788123	-35,4471689 (mm)	-7,232261077 (mm)	36,17744302 (mm)	40,17744302 (mm)	-39,36642532 (mm)	-8,031904221 (mm)	27,06226279 (mm)	-111,7576127 (mm/s)	11,45848148	-110 (mm/s)
3.05 (rad)	0,970845153	3,599993611	35,99844637	-35,51828043 (mm)	-6,877488644 (mm)	36,17800568 (mm)	40,17800568 (mm)	-39,44533383 (mm)	-7,637894124 (mm)	27,06282545 (mm)	-111,8675193 (mm/s)	11,45866137	-110 (mm/s)
3.06 (rad)	0,974028252	3,599995969	35,99890104	-35,58573124 (mm)	-6,522007275 (mm)	36,17845833 (mm)	40,17845833 (mm)	-39,52019754 (mm)	-7,243100165 (mm)	27,0632781 (mm)	-111,9659356 (mm/s)	11,45880609	-110 (mm/s)
3.07 (rad)	0,977211351	3,599997606	35,99925717	-35,64952606 (mm)	-6,165856903 (mm)	36,17881286 (mm)	40,17881286 (mm)	-39,59100708 (mm)	-6,847566049 (mm)	27,06363262 (mm)	-112,0528838 (mm/s)	11,45891945	-111 (mm/s)
3.08 (rad)	0,980394449	3,599998686	35,99952672	-35,70967011 (mm)	-5,809076963 (mm)	36,17908117 (mm)	40,17908117 (mm)	-39,657717149 (mm)	-6,451335061 (mm)	27,06390094 (mm)	-112,1238876 (mm/s)	11,45900525	-111 (mm/s)
3.09 (rad)	0,983575448	3,599999352	35,99972169	-35,76616912 (mm)	-5,451706482 (mm)	36,17927524 (mm)	40,17927524 (mm)	-39,72049588 (mm)	-6,054450063 (mm)	27,06409501 (mm)	-112,1924723 (mm/s)	11,45906731	-111 (mm/s)
3.1 (rad)	0,986760647	3,599999726	35,9998541	-35,81902926 (mm)	-5,093784048 (mm)	36,17940703 (mm)	40,17940703 (mm)	-39,77918585 (mm)	-5,656953482 (mm)	27,06428622 (mm)	-112,2451644 (mm/s)	11,45910946	-111 (mm/s)
3.11 (rad)	0,989943746	3,599999909	35,99993603	-									

VII.4. DISEÑO RESORTE COMPRESION HELICOIDAL

SI		SI		Singles		Alambre de piano m= 0,145															
DATOS						A 201000															
Ffuncional		20 (N)		4,496178473 (lbf)		E 28,5 (Mpsi)															
Δy <sub>max</sub>		20 (mm)		0,02 (in)		G 11,75 (Mpsi)															
lo		35 (mm)		0,035 (in)																	
ls		53 (mm)		0,053 (in)																	
DI		16 (mm)		0,016 (in)																	
Extremos a escuadra y esmerilados																					
d (mm)	d (in)	Na	p (in)	p (mm)	Ssy (psi)	D	K (lb/in)	K (N/m)	K (N/mm)	Fresorte (lbf)	Fresorte (N)	C	KB	Tmax	n						
3,175 (mm)	0,125 (in)	11,02362205	9,023622047	0,20353 (in)	5,169764398 (mm)	122280,3348 (psi)	0,75492126 (in)	92,36385843 (lb/in)	16175,39162 (N/m)	16,17539162 (N/mm)	72,72744759 (lbf)	323,5078324 (N)	6,039370079 (in)	1,236323037	5471,258507 (lbf/in <sup>2</sup> )	22,3495809					
3,1496 (mm)	0,124 (in)	11,11252223	9,112522225	0,20177 (in)	5,124903824 (mm)	122422,8334 (psi)	0,75392126 (in)	88,92380737 (lb/in)	15572,94631 (N/m)	15,57294631 (N/mm)	70,01874596 (lbf)	311,4589262 (N)	6,08001016 (in)	1,234521129	5589,115935 (lbf/in <sup>2</sup> )	21,9037921					
3,1242 (mm)	0,123 (in)	11,20286793	9,202867934	0,2 (in)	5,080112019 (mm)	122566,6539 (psi)	0,75292126 (in)	85,58476349 (lb/in)	14988,19007 (N/m)	14,98819007 (N/mm)	67,38957755 (lbf)	299,7638014 (N)	6,121311056 (in)	1,232717857	5710,597745 (lbf/in <sup>2</sup> )	21,4630166					
3,0988 (mm)	0,122 (in)	11,29469472	9,294694721	0,19824 (in)	5,035388618 (mm)	122711,8195 (psi)	0,75192126 (in)	82,34457253 (lb/in)	14420,74564 (N/m)	14,42074564 (N/mm)	64,83824609 (lbf)	288,4149127 (N)	6,163289015 (in)	1,230913221	5835,847905 (lbf/in <sup>2</sup> )	21,0272477					
3,0734 (mm)	0,121 (in)	11,38803931	9,388039305	0,19649 (in)	4,990733259 (mm)	122858,354 (psi)	0,75092126 (in)	79,20110874 (lb/in)	13870,24072 (N/m)	13,87024072 (N/mm)	62,36307775 (lbf)	277,4048144 (N)	6,205960825 (in)	1,229107217	5965,01739 (lbf/in <sup>2</sup> )	20,5964788					
3,048 (mm)	0,12 (in)	11,48293963	9,482939633	0,19473 (in)	4,946145585 (mm)	123006,2817 (psi)	0,74992126 (in)	76,15222743 (lb/in)	13336,30802 (N/m)	13,33630802 (N/mm)	59,96242105 (lbf)	266,7261605 (N)	6,249343832 (in)	1,227299845	6098,264586 (lbf/in <sup>2</sup> )	20,1707027					
3,0226 (mm)	0,119 (in)	11,57943492	9,579434924	0,19298 (in)	4,901625239 (mm)	123155,6276 (psi)	0,74892126 (in)	73,19600129 (lb/in)	12818,58517 (N/m)	12,81858517 (N/mm)	57,63464668 (lbf)	256,3717033 (N)	6,293455965 (in)	1,225491103	6235,755722 (lbf/in <sup>2</sup> )	19,7499121					
2,9972 (mm)	0,118 (in)	11,67756573	9,677565728	0,19123 (in)	4,857171868 (mm)	123306,4175 (psi)	0,74792126 (in)	70,30324725 (lb/in)	12316,71469 (N/m)	12,31671469 (N/mm)	55,37814744 (lbf)	246,3342938 (N)	6,338315761 (in)	1,22368099	6377,665331 (lbf/in <sup>2</sup> )	19,3340997					
2,9718 (mm)	0,117 (in)	11,7737398	9,77373982	0,18948 (in)	4,812785119 (mm)	123458,6777 (psi)	0,74692126 (in)	67,55299932 (lb/in)	11830,34401 (N/m)	11,83034401 (N/mm)	53,19133805 (lbf)	236,6068801 (N)	6,383942392 (in)	1,221869503	6524,176738 (lbf/in <sup>2</sup> )	18,9232577					
2,9464 (mm)	0,116 (in)	11,87890307	9,878903068	0,18773 (in)	4,768464644 (mm)	123612,4353 (psi)	0,74592126 (in)	64,86227188 (lb/in)	11359,12538 (N/m)	11,35912538 (N/mm)	51,07265503 (lbf)	227,1825077 (N)	6,430355688 (in)	1,220056642	6675,482591 (lbf/in <sup>2</sup> )	18,5173781					
2,921 (mm)	0,115 (in)	11,98219788	9,982197877	0,18599 (in)	4,724210097 (mm)	123767,7182 (psi)	0,74492126 (in)	62,25610689 (lb/in)	10902,71592 (N/m)	10,90271592 (N/mm)	49,0205566 (lbf)	218,0543183 (N)	6,477576173 (in)	1,218242405	6831,785416 (lbf/in <sup>2</sup> )	18,1164528					
2,8956 (mm)	0,114 (in)	12,08730488	10,08730488	0,18425 (in)	4,680021133 (mm)	123924,5549 (psi)	0,74392126 (in)	59,72597366 (lb/in)	10460,77749 (N/m)	10,46077749 (N/mm)	47,03352527 (lbf)	209,2155498 (N)	6,52625086 (in)	1,216426279	6993,298225 (lbf/in <sup>2</sup> )	17,7204734					
2,8702 (mm)	0,113 (in)	12,19427218	10,19427218	0,18252 (in)	4,635897412 (mm)	124082,9748 (psi)	0,74292126 (in)	57,28976876 (lb/in)	10032,97676 (N/m)	10,03297676 (N/mm)	45,11005415 (lbf)	200,6595353 (N)	6,574524423 (in)	1,214609796	7160,245152 (lbf/in <sup>2</sup> )	17,3294311					
2,8448 (mm)	0,112 (in)	12,30314961	10,30314961	0,18078 (in)	4,591838594 (mm)	124243,0081 (psi)	0,74192126 (in)	54,92581581 (lb/in)	9618,985129 (N/m)	9,618985129 (N/mm)	43,24867387 (lbf)	192,3797026 (N)	6,624296963 (in)	1,212791421	7332,862146 (lbf/in <sup>2</sup> )	16,933317					
2,8194 (mm)	0,111 (in)	12,41398879	10,41398879	0,17905 (in)	4,547844342 (mm)	124404,686 (psi)	0,74092126 (in)	52,63886534 (lb/in)	9218,487696 (N/m)	9,218478696 (N/mm)	41,44792547 (lbf)	184,3695739 (N)	6,674966305 (in)	1,210971664	7511,397171 (lbf/in <sup>2</sup> )	16,5621221					
2,794 (mm)	0,11 (in)	12,52684324	10,52684324	0,17732 (in)	4,503914321 (mm)	124568,0402 (psi)	0,73992126 (in)	50,42709465 (lb/in)	8831,13826 (N/m)	8,83113826 (N/mm)	39,70627652 (lbf)	176,6227652 (N)	6,726556908 (in)	1,209150523	7696,113689 (lbf/in <sup>2</sup> )	16,1858368					
2,7686 (mm)	0,109 (in)	12,6417684	10,6417684	0,17559 (in)	4,460404199 (mm)	124733,1037 (psi)	0,73892126 (in)	48,22807061 (lb/in)	8456,649273 (N/m)	8,456649273 (N/mm)	38,02260442 (lbf)	169,1329855 (N)	6,779094127 (in)	1,207327995	7887,28612 (lbf/in <sup>2</sup> )	15,8145151					
2,7432 (mm)	0,108 (in)	12,75889181	10,75889181	0,17387 (in)	4,416245667 (mm)	124899,9104 (psi)	0,73792126 (in)	46,22193457 (lb/in)	8094,701821 (N/m)	8,094701821 (N/mm)	36,39522407 (lbf)	161,8940364 (N)	6,832604258 (in)	1,205504081	8085,206193 (lbf/in <sup>2</sup> )	15,4479562					
2,7178 (mm)	0,107 (in)	12,87806314	10,87806314	0,17215 (in)	4,372506336 (mm)	125068,4949 (psi)	0,73692126 (in)	44,22503216 (lb/in)	7744,990591 (N/m)	7,744990591 (N/mm)	34,82285997 (lbf)	154,8998118 (N)	6,887114578 (in)	1,203678778	8290,181003 (lbf/in <sup>2</sup> )	15,0863407					
2,6924 (mm)	0,106 (in)	12,9995543	10,9995543	0,17043 (in)	4,328829941 (mm)	125238,8932 (psi)	0,73592126 (in)	42,29628314 (lb/in)	7407,21485 (N/m)	7,40721485 (N/mm)	33,30415995 (lbf)	148,144297 (N)	6,942653395 (in)	1,201852085	8502,535053 (lbf/in <sup>2</sup> )	14,7295945					
2,667 (mm)	0,105 (in)	13,12335958	11,12335958	0,16871 (in)	4,285216414 (mm)	125411,1421 (psi)	0,73492126 (in)	40,43399626 (lb/in)	7081,078415 (N/m)	7,081078415 (N/mm)	31,83779233 (lbf)	141,6215683 (N)	7,009250094 (in)	1,200024	8722,610938 (lbf/in <sup>2</sup> )	14,3777067					
2,6416 (mm)	0,104 (in)	13,24954573	11,24954573	0,16699 (in)	4,24264661 (mm)	125585,2796 (psi)	0,73392126 (in)	38,63650612 (lb/in)	6766,289627 (N/m)	6,766289627 (N/mm)	30,42244576 (lbf)	135,3257925 (N)	7,056935191 (in)	1,198194521	8950,770793 (lbf/in <sup>2</sup> )	14,0306665					
2,6162 (mm)	0,103 (in)	13,3781821	11,3781821	0,16528 (in)	4,198175033 (mm)	125761,3451 (psi)	0,73292126 (in)	36,90217297 (lb/in)	6462,561325 (N/m)	6,462561325 (N/mm)	29,05682911 (lbf)	129,2512265 (N)	7,115740387 (in)	1,196363647	9187,397559 (lbf/in <sup>2</sup> )	13,6884623					
2,5908 (mm)	0,102 (in)	13,50934074	11,50934074	0,16357 (in)	4,154747093 (mm)	125939,3787 (psi)	0,73192126 (in)	35,22938261 (lb/in)	6169,610819 (N/m)	6,169610819 (N/mm)	27,73967135 (lbf)	123,3922164 (N)	7,175698626 (in)	1,194551377	9432,896406 (lbf/in <sup>2</sup> )	13,3510826					
2,5654 (mm)	0,101 (in)	13,64309659	11,64309659	0,16187 (in)	4,111380475 (mm)	126119,4221 (psi)	0,73092126 (in)	33,61654623 (lb/in)	5887,159863 (N/m)	5,887159863 (N/mm)	26,46972144 (lbf)	117,7419373 (N)	7,236844157 (in)	1,192697708	9687,696255 (lbf/in <sup>2</sup> )	13,0185153					
2,54 (mm)	0,1 (in)	13,77952756	11,77952756	0,16016 (in)	4,068074866 (mm)	126301,5183 (psi)	0,72992126 (in)	32,06210023 (lb/in)	5614,934631 (N/m)	5,614934631 (N/mm)	25,24574821 (lbf)	112,2986926 (N)	7,299212598 (in)	1,190862639	9952,25144 (lbf/in <sup>2</sup> )	12,6907483					
2,5146 (mm)	0,099 (in)	13,91871471	11,91871471	0,15846 (in)	4,024829957 (mm)	126485,7115 (psi)	0,72892126 (in)	30,5645061 (lb/in)	5352,665687 (N/m)	5,352665687 (N/mm)	24,06654024 (lbf)	107,0533137 (N)	7,362841009 (in)	1,189026169	10227,04348 (lbf/in <sup>2</sup> )	12,367769					
2,4892 (mm)	0,098 (in)	14,06074241	12,06074241	0,15676 (in)	3,981645439 (mm)	126672,0474 (psi)	0,72792126 (in)	29,12225025 (lb/in)	5100,087962 (N/m)	5,1008087962 (N/mm)	22,93090571 (lbf)	102,0017592 (N)	7,427767958 (in)	1,187188295	10512,58303 (lbf/in <sup>2</sup> )	12,0495645					
2,4638 (mm)	0,097 (in)	14,20569851	12,20569851	0,15506 (in)	3,938521007 (mm)	126860,5733 (psi)	0,72692126 (in)	27,73384387 (lb/in)	4856,940727 (N/m)	4,856940727 (N/mm)	21,83767234 (lbf)	97,13881453 (N)	7,494033607 (in)	1,185349017	10809,41194 (lbf/in <sup>2</sup> )	11,7361216					
2,4384 (mm)	0,096 (in)	14,35367454	12,35367454	0,15336 (in)	3,895456355 (mm)	127051,3378 (psi)	0,72592126 (in)	26,397828 (lb/in)	4622,967564 (N/m)	4,622967564 (N/mm)	20,78568724 (lbf)	92,45935128 (N)	7,56167979 (in)	1,183508333	11118,10555 (lbf/in <sup>2</sup> )	11,4274268					
2,413 (mm)	0,095 (in)	14,50476585	12,50476585	0,15167 (in)	3,852451183 (mm)	127244,3913 (psi)	0,72492126 (in)	25,11274733 (lb/in)	4397,916345 (N/m)	4,397916345 (N/mm)	19,7738168 (lbf)	87,95832689 (N)	7,630750104 (in)	1,18166624	11439,27512 (lbf/in <sup>2</sup> )	11,1234663					
2,3876 (mm)	0,094 (in)	14,65907187	12,65907187	0,14998 (in)	3,809505199 (mm)	127439,7857 (psi)	0,72392126 (in)	23,87772021 (lb/in)	4181,539201 (N/m)	4,181539201 (N/mm)	18,80094654 (lbf)	83,63078401 (N)	7,701289998 (in)	1,179822738	11773,57049 (lbf/in <sup>2</sup> )	10,8242258					
2,3622 (mm)	0,093 (in)	14,8166963	12,8166963	0,14829 (in)	3,766618079 (mm)	127637,5748 (psi)	0,72292126 (in)	22,68979593 (lb/in)	3973,592498 (N/m)	3,973592498 (N/mm)	17,86598105 (lbf)	79,47184996 (N)	7,77334688 (in)	1,177977825	12121,683 (lbf/in <sup>2</sup> )	10,5296909					
2,3368 (mm)	0,092 (in)	14,97774735	12,97774735	0,14661 (in)	3,723789554 (mm)	127837,8142 (psi)	0,72192126 (in)	21,51916167 (lb/in)	3773,836812 (N/m)	3,773836812 (N/mm)	16,96784384 (lbf)	75,47673624 (N)	7,846970216 (in)	1,176131499	12484,3486 (lbf/in <sup>2</sup> )	10,2398466					
2,3114 (mm)	0,091 (in)	15,14233798	13,14233798	0,14492 (in)	3,68101932 (mm)	128040,5613 (psi)	0,72092126 (in)	20,45395605 (lb/in)	3582,036901 (N/m)	3,582036901 (N/mm)	16,1054772 (lbf)	71,64073801 (N)	7,922211647 (in)	1,174283758	12862,35128 (lbf/in <sup>2</sup> )	9,95467769					
2,286 (mm)	0,09 (in)	15,31058618	13,31058618	0,14324 (in)	3,638307086 (mm)	128245,8757 (psi)	0,71992126 (in)	19,40285952 (lb/in)	3397,961677 (N/m)	3,397961677 (N/mm)	15,27784214 (lbf)	67,95923354 (N)	7,999125109 (in)	1,172434602	13256,52679 (lbf/in <sup>2</sup> )	9,67418683					
2,2606 (mm)	0,089 (in)	15,48261523	13,48261523	0,14156 (in)	3,595652561 (mm)	128453,8189 (psi)	0,71892126 (in)	18,39457615 (lb/in)	3221,384186 (N/m)	3,221384186 (N/mm)	14,48391823 (lbf)	64,42768371 (N)	8,07766965 (in)	1,170584027	13667,6669 (lbf/in <sup>2</sup> )	9,39830345					
2,2352 (mm)	0,088 (in)	15,65855404	13,65855404	0,13988 (in)	3,553055458 (mm)	128664,4547 (psi)	0,71792126 (in)	17,42783341 (lb/in)	3052,081574 (N/m)	3,052081574 (N/mm)	13,72270347 (lbf)	61,04163148 (N)	8,158196135 (in)	1,168372034	14097,02279 (lbf/in <sup>2</sup> )	9,12706581					
2,2098 (mm)	0,087 (in)	15,83853742	13,83853742	0,13821 (in)	3,510515491 (mm)	128877,8492 (psi)	0,71692126 (in)	16,50138206 (lb/in)	2889,835067 (N/m)												

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN, BASADOS EN CHAPA CORTADA POR LÁSER, DE UNA LANZADERA DE COHETES DE AGUA

1,8288 (mm)	0,072 (in)	19,13823272	17,13823272	0,11335 (in)	2,798038322 (mm)	132463,2356 (psi)	0,70192126 (in)	6,659576925 (lb/in)	1166,270732 (N/m)	1,166270732 (N/mm)	5,243761358 (lbf)	23,32541464 (N)	9,748906387 (in)	1,138905768	24522,3652 (lbf/in <sup>2</sup> )	5,40173163
1,8034 (mm)	0,071 (in)	19,40778529	17,40778529	0,11171 (in)	2,837420106 (mm)	132732,1443 (psi)	0,70092126 (in)	6,226300172 (lb/in)	1090,392339 (N/m)	1,090392339 (N/mm)	4,90259856 (lbf)	21,80784677 (N)	9,87213042 (in)	1,137029394	25494,67822 (lbf/in <sup>2</sup> )	5,20626867
1,778 (mm)	0,07 (in)	19,6803937	17,6803937	0,11007 (in)	2,795809439 (mm)	133005,425 (psi)	0,69992126 (in)	5,815491871 (lb/in)	1018,448775 (N/m)	1,018448775 (N/mm)	4,579127457 (lbf)	20,3689755 (N)	9,998875141 (in)	1,135151257	26521,16367 (lbf/in <sup>2</sup> )	5,01506746
1,7526 (mm)	0,069 (in)	19,9703298	17,9703298	0,10844 (in)	2,754251066 (mm)	133283,2128 (psi)	0,69892126 (in)	5,426295518 (lb/in)	950,2900433 (N/m)	0,950290043 (N/mm)	4,272673636 (lbf)	19,00528687 (N)	10,12929362 (in)	1,133272926	27605,70931 (lbf/in <sup>2</sup> )	4,821810321
1,7272 (mm)	0,068 (in)	20,26401112	18,26401112	0,10688 (in)	2,7127447106 (mm)	133565,649 (psi)	0,69792126 (in)	5,057847907 (lb/in)	885,7697022 (N/m)	0,885769702 (N/mm)	3,982578667 (lbf)	17,17359404 (N)	10,26354794 (in)	1,13139157	28752,54451 (lbf/in <sup>2</sup> )	4,64535057
1,7018 (mm)	0,067 (in)	20,5645904	18,5645904	0,10517 (in)	2,671290195 (mm)	133852,8815 (psi)	0,69692126 (in)	4,709413827 (lb/in)	824,7448351 (N/m)	0,824744835 (N/mm)	3,708199973 (lbf)	16,4948967 (N)	10,40180985 (in)	1,129509389	29956,27817 (lbf/in <sup>2</sup> )	4,46378365
1,6764 (mm)	0,066 (in)	20,8707206	18,8707206	0,10354 (in)	2,629887196 (mm)	134145,0651 (psi)	0,69592126 (in)	4,380116584 (lb/in)	767,0760217 (N/m)	0,767076022 (N/mm)	3,448910696 (lbf)	15,34152043 (N)	10,54426131 (in)	1,127625753	31251,93695 (lbf/in <sup>2</sup> )	4,292376003
1,651 (mm)	0,065 (in)	21,19927317	19,19927317	0,10191 (in)	2,588535491 (mm)	134442,3622 (psi)	0,69492126 (in)	4,069206442 (lb/in)	712,6273079 (N/m)	0,7126273079 (N/mm)	3,204095616 (lbf)	14,25254616 (N)	10,69109631 (in)	1,125740569	32615,01155 (lbf/in <sup>2</sup> )	4,122100701
1,6256 (mm)	0,064 (in)	21,53051181	19,53051181	0,10028 (in)	2,547234833 (mm)	134744,943 (psi)	0,69392126 (in)	3,775926842 (lb/in)	661,266751 (N/m)	0,661266751 (N/mm)	2,973170741 (lbf)	13,2253235 (N)	10,84251969 (in)	1,123854106	34061,50742 (lbf/in <sup>2</sup> )	3,95593012
1,6002 (mm)	0,063 (in)	21,87226597	19,87226597	0,09866 (in)	2,505984978 (mm)	135052,9862 (psi)	0,69292126 (in)	3,499540528 (lb/in)	612,8635104 (N/m)	0,61286351 (N/mm)	2,75543723 (lbf)	12,25727021 (N)	10,99875016 (in)	1,121966092	35598,00223 (lbf/in <sup>2</sup> )	3,79338611
1,5748 (mm)	0,062 (in)	22,22504445	20,22504445	0,09704 (in)	2,464785683 (mm)	135366,6796 (psi)	0,69192126 (in)	3,239329516 (lb/in)	567,2935756 (N/m)	0,567293576 (N/mm)	2,550653162 (lbf)	11,34587151 (N)	11,16002032 (in)	1,120076615	37321,71081 (lbf/in <sup>2</sup> )	3,63578994
1,5494 (mm)	0,061 (in)	22,58938944	20,58938944	0,09542 (in)	2,423636706 (mm)	135686,2204 (psi)	0,69092126 (in)	2,994594914 (lb/in)	524,4339755 (N/m)	0,524433976 (N/mm)	2,357948751 (lbf)	10,4867951 (N)	11,32657803 (in)	1,118185674	38970,55862 (lbf/in <sup>2</sup> )	3,48176226
1,524 (mm)	0,06 (in)	22,96587927	20,96587927	0,09388 (in)	2,382537807 (mm)	136011,8162 (psi)	0,68992126 (in)	2,76465674 (lb/in)	484,1656273 (N/m)	0,484165627 (N/mm)	2,176890571 (lbf)	9,683312546 (N)	11,49868766 (in)	1,116293267	40823,26518 (lbf/in <sup>2</sup> )	3,33172311
1,4986 (mm)	0,059 (in)	23,3513146	21,3513146	0,09218 (in)	2,341488477 (mm)	136343,6856 (psi)	0,68892126 (in)	2,54853743 (lb/in)	446,372281 (N/m)	0,44637228 (N/mm)	2,006971451 (lbf)	8,927454561 (N)	11,67663152 (in)	1,114399032	42799,68844 (lbf/in <sup>2</sup> )	3,1856419
1,4732 (mm)	0,058 (in)	23,75780614	21,75780614	0,09057 (in)	2,30048929 (mm)	136682,0589 (psi)	0,68792126 (in)	2,346543217 (lb/in)	410,9427279 (N/m)	0,410942729 (N/mm)	1,847671824 (lbf)	8,218854458 (N)	11,86071138 (in)	1,112550407	44909,43874 (lbf/in <sup>2</sup> )	3,04387378
1,4478 (mm)	0,057 (in)	24,17460975	22,17460975	0,08896 (in)	2,259539201 (mm)	137027,1791 (psi)	0,68692126 (in)	2,157100818 (lb/in)	377,7662722 (N/m)	0,377766272 (N/mm)	1,698504581 (lbf)	7,555325445 (N)	12,05125017 (in)	1,110607232	47165,72822 (lbf/in <sup>2</sup> )	2,90522768
1,4224 (mm)	0,056 (in)	24,60629921	22,60629921	0,08735 (in)	2,218638245 (mm)	137379,3026 (psi)	0,68592126 (in)	1,979920373 (lb/in)	346,737219 (N/m)	0,346737219 (N/mm)	1,5899242 (lbf)	6,934744381 (N)	12,24859393 (in)	1,108708944	49580,55569 (lbf/in <sup>2</sup> )	2,77083023
1,397 (mm)	0,055 (in)	25,05368647	23,05368647	0,08574 (in)	2,177786189 (mm)	137738,7005 (psi)	0,68492126 (in)	1,814413692 (lb/in)	317,7525552 (N/m)	0,317752555 (N/mm)	1,428672199 (lbf)	6,355051105 (N)	12,45311382 (in)	1,106809181	52168,57662 (lbf/in <sup>2</sup> )	2,64026181
1,3716 (mm)	0,054 (in)	25,51764363	23,51764363	0,08413 (in)	2,136982803 (mm)	138105,6595 (psi)	0,68392126 (in)	1,660010372 (lb/in)	290,7123881 (N/m)	0,290712388 (N/mm)	1,307094781 (lbf)	5,814247762 (N)	12,66520852 (in)	1,104907942	54945,80949 (lbf/in <sup>2</sup> )	2,51348849
1,3462 (mm)	0,053 (in)	25,991086	23,991086	0,08253 (in)	2,096227857 (mm)	138480,4832 (psi)	0,68292126 (in)	1,516157604 (lb/in)	265,5199059 (N/m)	0,265519906 (N/mm)	1,193824885 (lbf)	5,310398119 (N)	12,88530679 (in)	1,103005224	57930,09622 (lbf/in <sup>2</sup> )	2,39450763
1,3208 (mm)	0,052 (in)	26,49909146	24,49909146	0,08093 (in)	2,055521123 (mm)	138863,4933 (psi)	0,68192126 (in)	1,382319976 (lb/in)	242,0813436 (N/m)	0,242081344 (N/mm)	1,088440926 (lbf)	4,486126872 (N)	13,11387038 (in)	1,101101028	61141,34999 (lbf/in <sup>2</sup> )	2,27118788
1,2954 (mm)	0,051 (in)	27,01868149	25,01868149	0,07933 (in)	2,014862375 (mm)	139255,0314 (psi)	0,68092126 (in)	1,25979268 (lb/in)	220,3059471 (N/m)	0,220305947 (N/mm)	0,990534857 (lbf)	4,064118941 (N)	13,35139725 (in)	1,099195369	64601,84243 (lbf/in <sup>2</sup> )	2,15589916
1,27 (mm)	0,05 (in)	27,55905512	25,55905512	0,07773 (in)	1,974251386 (mm)	139655,4603 (psi)	0,67992126 (in)	1,142364255 (lb/in)	200,1059382 (N/m)	0,200105938 (N/mm)	0,899712012 (lbf)	4,002118764 (N)	13,59842522 (in)	1,097288188	68363,53721 (lbf/in <sup>2</sup> )	2,04364263
1,2446 (mm)	0,049 (in)	28,12148481	26,12148481	0,07613 (in)	1,933687934 (mm)	140065,1658 (psi)	0,67892126 (in)	1,035800496 (lb/in)	181,3964785 (N/m)	0,181396478 (N/mm)	0,815590942 (lbf)	3,821975952 (N)	13,85535592 (in)	1,095379541	72373,479 (lbf/in <sup>2</sup> )	1,93351066
1,2192 (mm)	0,048 (in)	28,70734908	26,70734908	0,07453 (in)	1,893171795 (mm)	140484,5588 (psi)	0,67792126 (in)	0,937010128 (lb/in)	164,0956324 (N/m)	0,164095632 (N/mm)	0,73780325 (lbf)	3,61912649 (N)	14,12335958 (in)	1,093469408	76744,24803 (lbf/in <sup>2</sup> )	1,83055489
1,1938 (mm)	0,047 (in)	29,31814374	27,31814374	0,07294 (in)	1,852702749 (mm)	140914,0775 (psi)	0,67692126 (in)	0,845811651 (lb/in)	148,1243305 (N/m)	0,14812433 (N/mm)	0,665993426 (lbf)	2,96244861 (N)	14,40258 (in)	1,091557786	81484,49312 (lbf/in <sup>2</sup> )	1,72933612
1,1684 (mm)	0,046 (in)	29,95494669	27,95494669	0,07135 (in)	1,812280575 (mm)	141354,1898 (psi)	0,67592126 (in)	0,761797118 (lb/in)	133,4063315 (N/m)	0,133406332 (N/mm)	0,599818676 (lbf)	2,68812663 (N)	14,69394043 (in)	1,089644674	86634,55887 (lbf/in <sup>2</sup> )	1,63161435
1,143 (mm)	0,045 (in)	30,62117235	28,62117235	0,06976 (in)	1,771905056 (mm)	141805,3959 (psi)	0,67492126 (in)	0,684464913 (lb/in)	119,8681844 (N/m)	0,119868184 (N/mm)	0,53894875 (lbf)	2,397363688 (N)	14,99825022 (in)	1,087370071	92240,22601 (lbf/in <sup>2</sup> )	1,53744875
1,1176 (mm)	0,044 (in)	31,31710809	29,31710809	0,06817 (in)	1,731575974 (mm)	142268,2316 (psi)	0,67392126 (in)	0,614739216 (lb/in)	107,4391895 (N/m)	0,107439189 (N/mm)	0,48306571 (lbf)	2,147873789 (N)	15,31639227 (in)	1,085139373	98353,58853 (lbf/in <sup>2</sup> )	1,44496762
1,0922 (mm)	0,043 (in)	32,04541293	30,04541293	0,06659 (in)	1,691293114 (mm)	142743,2712 (psi)	0,67292126 (in)	0,548467347 (lb/in)	96,05133779 (N/m)	0,096051359 (N/mm)	0,431864053 (lbf)	1,92102774 (N)	15,64933162 (in)	1,083896381	105034,0967 (lbf/in <sup>2</sup> )	1,35901841
1,0668 (mm)	0,042 (in)	32,80839895	30,80839895	0,065 (in)	1,65105262 (mm)	143231,1319 (psi)	0,67192126 (in)	0,489613405 (lb/in)	85,63937737 (N/m)	0,085639377 (N/mm)	0,385049925 (lbf)	1,712787547 (N)	15,99812523 (in)	1,081977129	112349,8025 (lbf/in <sup>2</sup> )	1,27486768
1,0414 (mm)	0,041 (in)	33,6086038	31,6086038	0,06342 (in)	1,610865204 (mm)	143732,4776 (psi)	0,67092126 (in)	0,434773767 (lb/in)	76,14056046 (N/m)	0,07614056 (N/mm)	0,342341549 (lbf)	1,522811209 (N)	16,36393317 (in)	1,080056702	120378,8517 (lbf/in <sup>2</sup> )	1,19400107
1,016 (mm)	0,04 (in)	34,448818	32,448818	0,06184 (in)	1,570719728 (mm)	144248,0239 (psi)	0,66992126 (in)	0,385405289 (lb/in)	67,49481443 (N/m)	0,067494814 (N/mm)	0,303468732 (lbf)	1,349896289 (N)	16,7480315 (in)	1,078134613	129211,2809 (lbf/in <sup>2</sup> )	1,1163733
0,9906 (mm)	0,039 (in)	35,33212195	33,33212195	0,06026 (in)	1,530619628 (mm)	144778,5435 (psi)	0,66892126 (in)	0,340592878 (lb/in)	59,64459386 (N/m)	0,059644594 (N/mm)	0,268172739 (lbf)	1,192891877 (N)	17,15182718 (in)	1,076211021	138951,1897 (lbf/in <sup>2</sup> )	1,04193814
0,9652 (mm)	0,038 (in)	36,21919463	34,21919463	0,05868 (in)	1,490564685 (mm)	145324,8722 (psi)	0,66792126 (in)	0,299381751 (lb/in)	52,54389523 (N/m)	0,052534859 (N/mm)	0,236206103 (lbf)	1,050269185 (N)	17,57687526 (in)	1,074285925	149719,3798 (lbf/in <sup>2</sup> )	0,97046837
0,9398 (mm)	0,037 (in)	37,24196638	35,24196638	0,05711 (in)	1,450554701 (mm)	145887,9162 (psi)	0,66692126 (in)	0,263312185 (lb/in)	46,11303371 (N/m)	0,046113034 (N/mm)	0,207332429 (lbf)	0,922260674 (N)	18,02489891 (in)	1,072359324	161656,5768 (lbf/in <sup>2</sup> )	0,90245581
0,9144 (mm)	0,036 (in)	38,27646544	36,27646544	0,05554 (in)	1,410589466 (mm)	146468,6601 (psi)	0,66592126 (in)	0,230284272 (lb/in)	40,32895919 (N/m)	0,040328959 (N/mm)	0,181326198 (lbf)	0,806579184 (N)	18,49781277 (in)	1,070431214	174927,383 (lbf/in <sup>2</sup> )	0,83731122
0,889 (mm)	0,035 (in)	39,37007874	37,37007874	0,05396 (in)	1,370668744 (mm)	147068,1755 (psi)	0,66492126 (in)	0,200625156 (lb/in)	35,13485163 (N/m)	0,035134852 (N/mm)	0,157972546 (lbf)	0,702679033 (N)	18,99775028 (in)	1,068501595	189725,1553 (lbf/in <sup>2</sup> )	0,77516434
0,8636 (mm)	0,034 (in)	40,52802223	38,52802223	0,05239 (in)	1,330792421 (mm)	147687,6324 (psi)	0,66392126 (in)	0,174075281 (lb/in)	30,48525569 (N/m)	0,030485256 (N/mm)	0,13706761 (lbf)	0,609705114 (N)	19,52709588 (in)	1,066570465	206278,0579 (lbf/in <sup>2</sup> )	0,71596385
0,8382 (mm)	0,033 (in)	41,75614412	39,75614412	0,05083 (in)	1,290962026 (mm)	148328,3105 (psi)	0,66292126 (in)	0,162398124 (lb/in)	26,33699849 (N/m)	0,026336989 (N/mm)	0,118415846 (lbf)	0,52673997 (N)	20,08852303 (in)	1,064637822	224856,6159 (lbf/in <sup>2</sup> )	0,6596573
0,8128 (mm)	0,032 (in)	43,06102362	41,06102362	0,04926 (in)	1,251171926 (mm)	148991,6138 (psi)	0,66192126 (in)	0,129329926 (lb/in)	22,64914268 (N/m)	0,022649143 (N/mm)	0,101834588 (lbf)	0,452928254 (N)	20,68503937 (in)	1,062703663	245783,2198 (lbf	

0,1016 (mm)	0,004 (in)	344,488189	342,488189	0,00607 (in)	0,154156557 (mm)	201423,3768 (psi)	0,63392126 (in)	4,30959E-06 (lb/in)	0,000754726 (N/m)	7,54726E-07 (N/mm)	3,39338E-06 (lbf)	1,50945E-05 (N)	158,480315 (in)	1,007924919	114305514,2 (lbf/in^2)	0,00176215
-------------	------------	------------	------------	--------------	------------------	-------------------	-----------------	---------------------	-------------------	--------------------	-------------------	-----------------	-----------------	-------------	------------------------	------------

ANEXO VIII. OFERTA PIEZAS LASER



**PRESUPUESTO N°: 70329**

<b>Laser Ebro S.L.</b>	Realizado por: ELENA - 04/04/19
Polígono Industrial El Carrascal C/ Hidrogeno, 4-47012-Valladolid Valladolid-España- TEL:983 214 250	
Ref Oferta: PETICIÓN DE OFERTA 04-04-19	
PARA: UNIVERSIDAD DE VALLADOLID	
DIR: Plaza de Santa Cruz 8-VALLADOLID-47002	
TEL: 983 184410	P.CONTACTO:

Descripción Pieza	Rev	Material	Tratamientos	Cant.	P. unitario	P.total
0001 M111A_1PIEZA_ESPESOR3MM		HS3		1	4,16 €	4,16 €
0002 M111B_6PIEZA_ESPESOR3MM		HS3		6	0,34 €	2,04 €
0003 M111C_2PIEZA_ESPESOR3MM		HS3		2	0,38 €	0,76 €
0004 M111D_1PIEZA_ESPESOR3MM		HS3		1	3,44 €	3,44 €
0005 M112A_1PIEZA_ESPESOR3MM		HS3		1	3,67 €	3,67 €
0006 M112B_3PIEZA_ESPESOR3MM		HS3		3	0,67 €	2,01 €
0007 M112D_1PIEZA_ESPESOR3MM		HS3		1	4,10 €	4,10 €
0008 M113_3PIEZA_ESPESOR3MM		HS3		3	0,50 €	1,50 €
0009 M114_1PIEZA_ESPESOR3MM		HS3		1	0,51 €	0,51 €
0010 M121_3PIEZA_ESPESOR4MM		HS4		3	1,53 €	4,59 €
0011 M122_6PIEZA_ESPESOR3MM		HS3		6	0,80 €	4,80 €
0012 M123A_2PIEZA_ESPESOR3MM		HS3		2	1,51 €	3,02 €
0013 M123B_3PIEZA_ESPESOR3MM		HS3		3	0,42 €	1,26 €
0014 M124_3PIEZA_ESPESOR3MM		HS3		3	0,31 €	0,93 €
0015 M141_2PIEZA_ESPESOR3MM		HS3		2	0,61 €	1,22 €
0016 M142_1PIEZA_ESPESOR3MM		HS3		1	0,24 €	0,24 €
0017 M211_1PIEZA_ESPESOR3MM		HS3		1	2,06 €	2,06 €
0018 M212_1PIEZA_ESPESOR3MM		HS3		1	2,60 €	2,60 €
0019 M231_3PIEZA_ESPESOR3MM		HS3		3	3,68 €	11,04 €
0020 M232_1PIEZA_ESPESOR3MM		HS3		1	4,10 €	4,10 €
<b>TOTAL PRESUPUESTO.....</b>						<b>58,05 €</b>
* En estos precios no está incluido el I.V.A.						

OBSERVACIONES

Oferta válida hasta el 11/04/2019

Portes: Debido: (Transporte no incluido)

Solamente están incluidos los tratamientos indicados en cada referencia en la columna 'Tratamientos'

EQUIVALENCIA DE MATERIAL

HS3= HIERRO S235JR LAMINADO EN CALIENTE

HS4= HIERRO S235JR LAMINADO EN CALIENTE

ESTIMACION DE PLAZO DE ENTREGA

Plazo de entrega a confirmar con nuestro departamento de producción en el momento de la realización del pedido

FORMA DE PAGO

TRANSFERENCIA A 30





**PRESUPUESTO N°: 70329**

<b>Laser Ebro S.L.</b> Poligono Industrial El Carrascal C/ Hidrogeno, 4-47012-Valladolid Valladolid-España- TEL:983 214 250	Realizado por: ELENA - 04/04/19
Ref Oferta: PETICIÓN DE OFERTA 04-04-19	
PARA: UNIVERSIDAD DE VALLADOLID	
DIR: Plaza de Santa Cruz 8-VALLADOLID-47002	
TEL: 983 184410	P.CONTACTO:

Descripción Pieza	Rev	Material	Tratamientos	Cant.	P. unitario	P.total
-------------------	-----	----------	--------------	-------	-------------	---------

**CONDICIONES**

- \* Oferta válida solamente para las cantidades y plazos de entrega ofertados.
- \* Reposiciones: Se realizarán bajo condiciones y destino del pedido original.
- \* Con el fin de minimizar errores, deberán facilitarnos la mejor documentación digital posible (dwg,dxf o 3D).
- \* Tolerancias de fabricación según norma UNE EN22768-1 Tipo M.

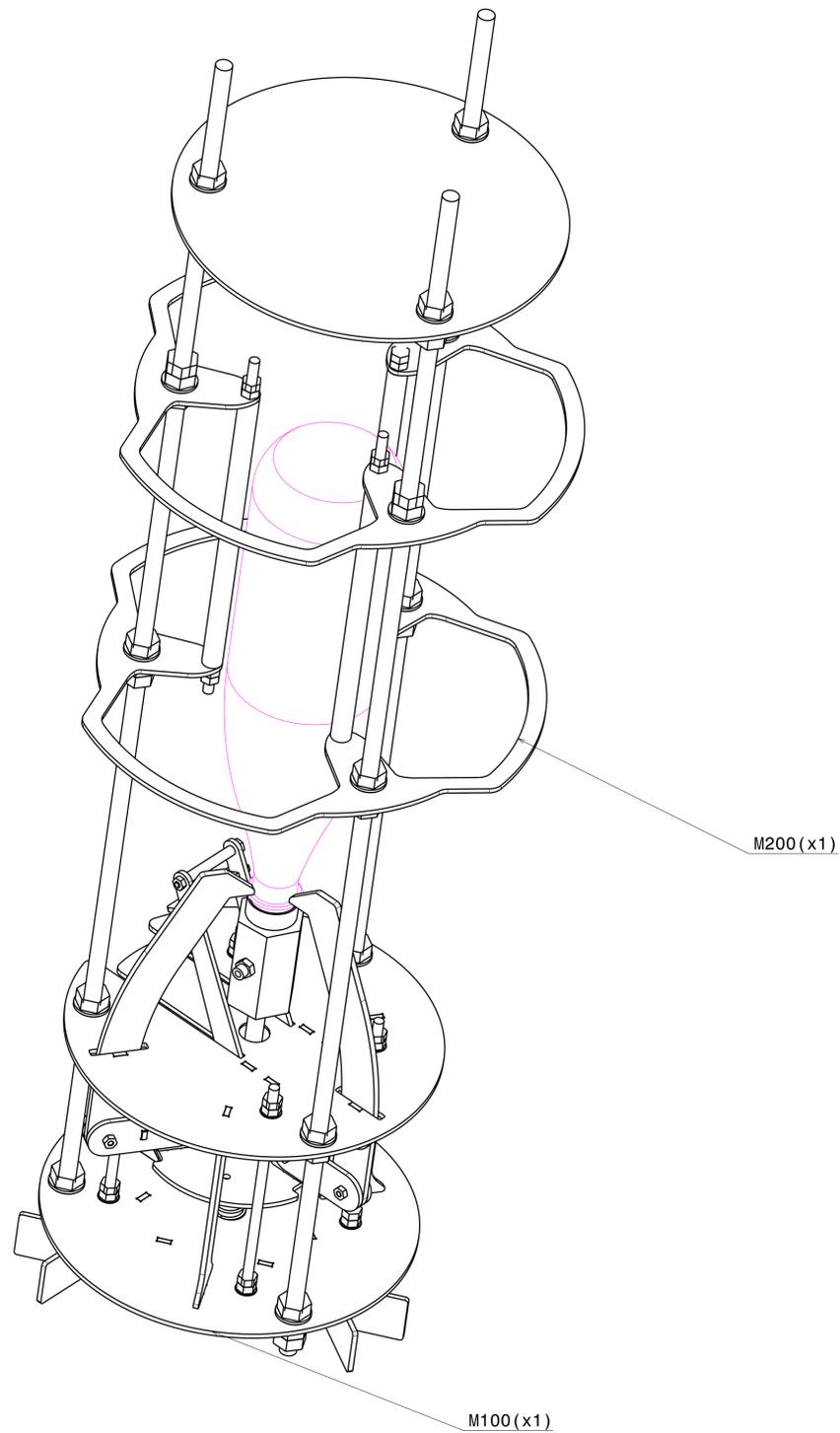
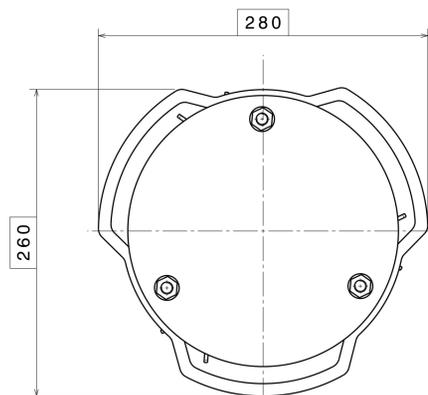
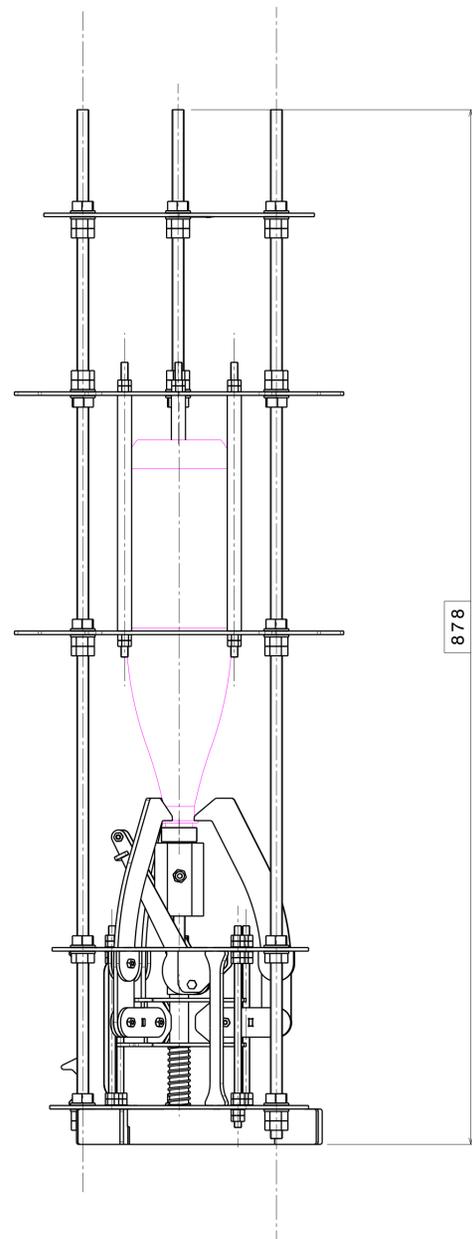
Para proceder a realizar el pedido necesitamos confirmación de esta oferta por escrito.  
Reciben un cordial saludo,

Aceptación del cliente  
Firma y sello

Fdo: \_\_\_\_\_



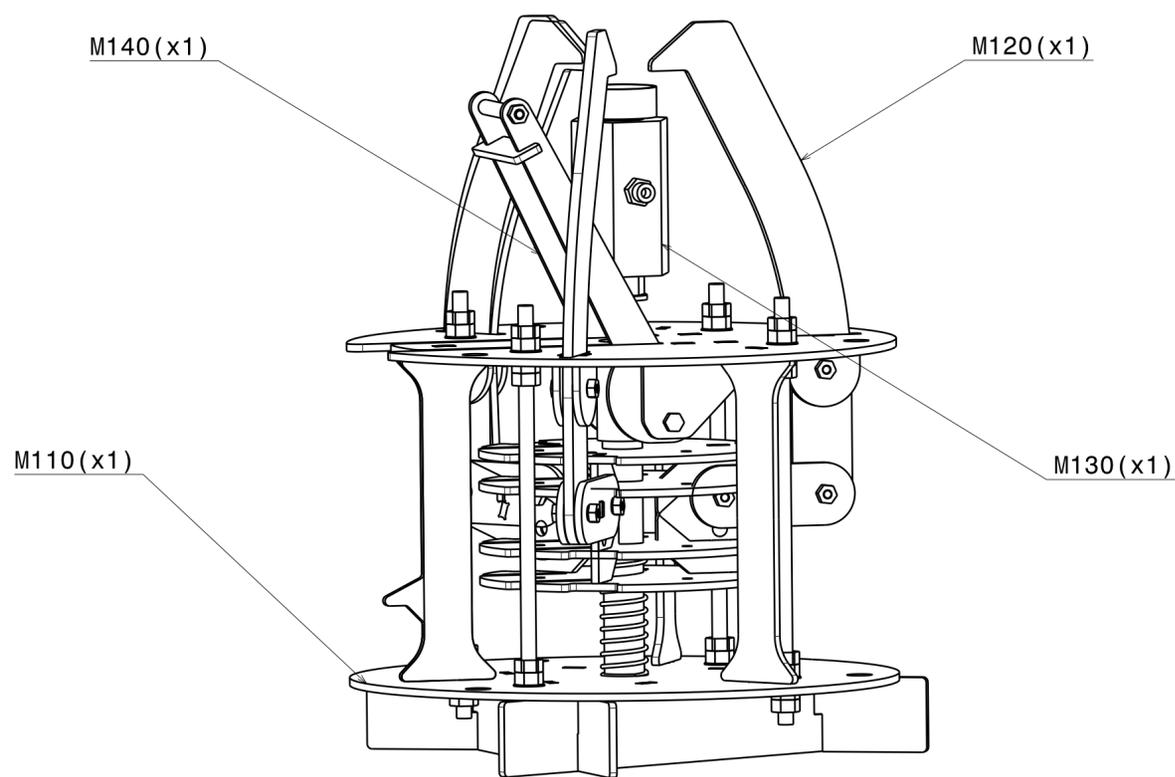
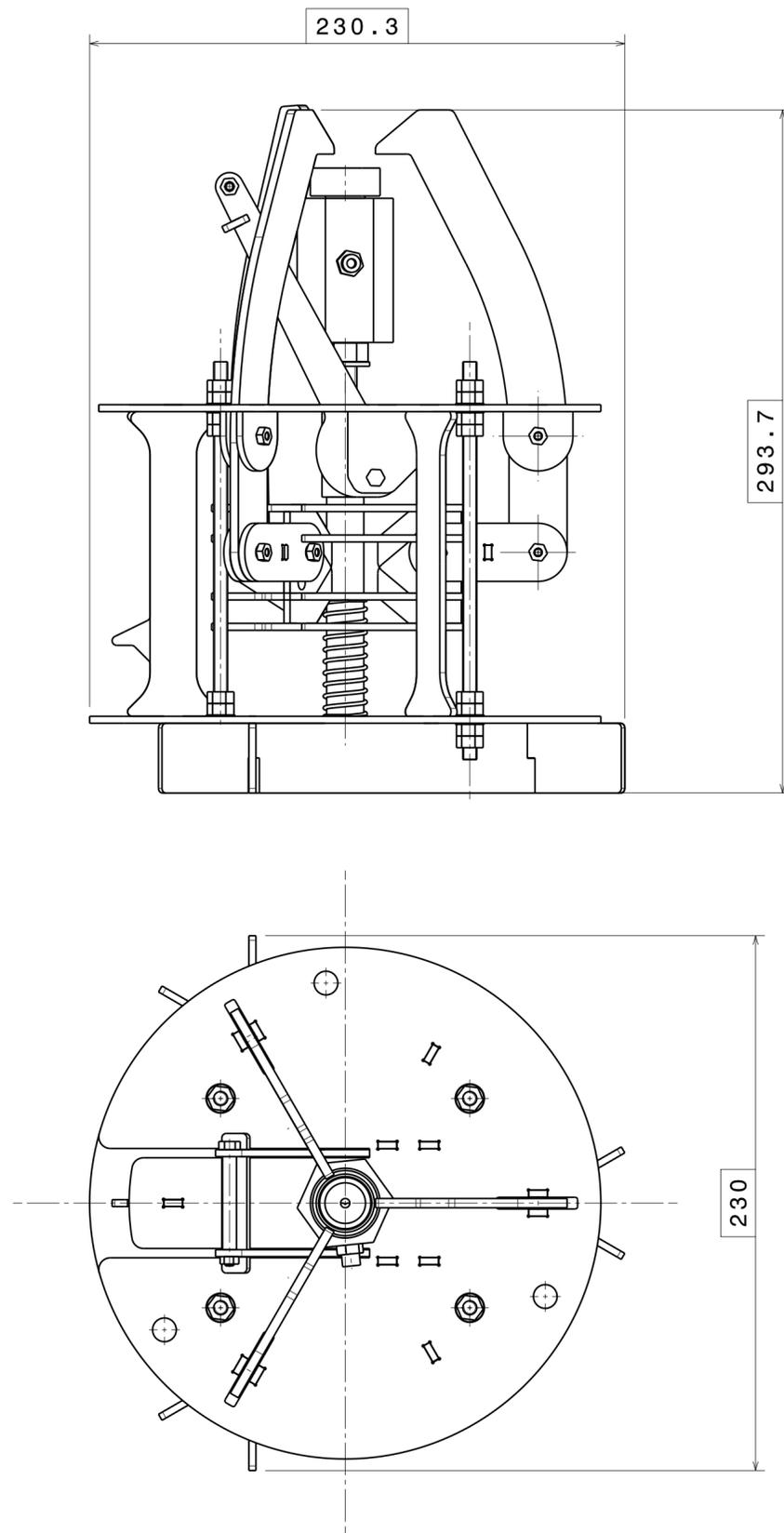
## ANEXO VIII. PLANOS



NOTA:  
 - VERIFICAR COTAS CON TOLERANCIA.  
 - MATAR ARISTAS VIVAS  
 - ELEMENTOS SIN INDICACION DE TOLERANCIA PARTICULAR, SEGUN NORMA DIN-7168-mK  
 - ACABADO SUPERFICIAL N8 / ( N7 / )

1	-	-	12,83 (Kg)	07/2019	
CANTIDAD	MATERIAL	TRATAMIENTO	MASA	FECHA	
HOJA 1	PROYECTO	LANZADERA COHETE	M000		
DE 1	CONJUNTO	-	-		
A1	SUBCONJUNTO	-	-		
E 1:1	PIEZA	-	-		

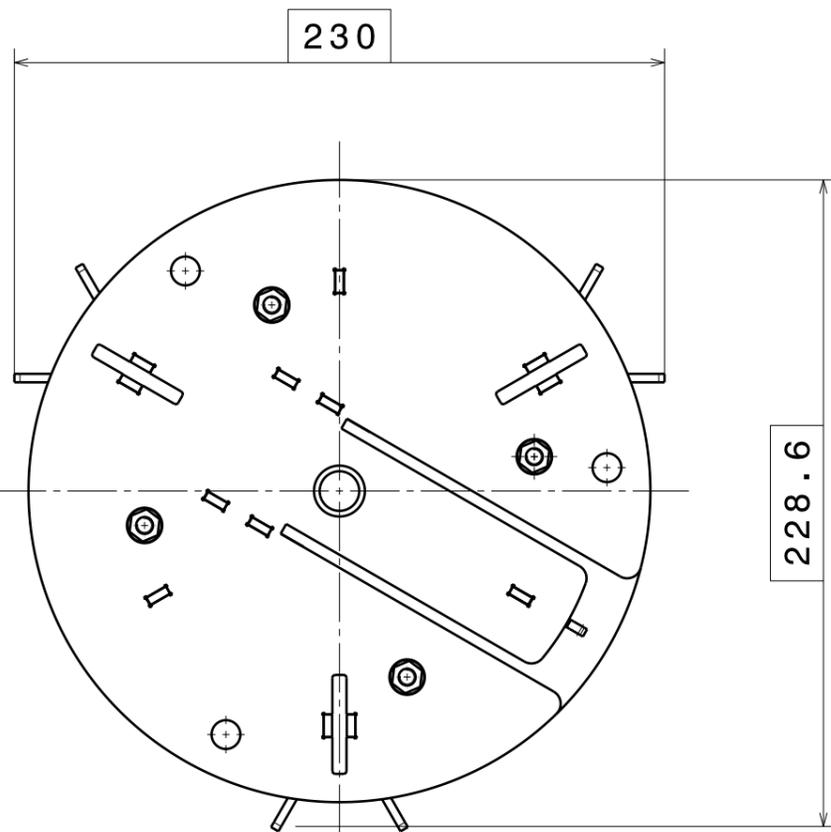
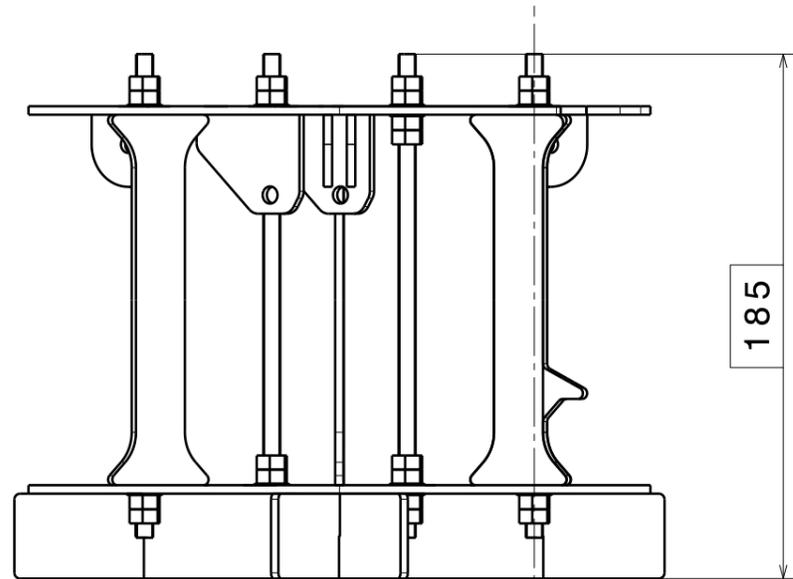
TRABAJO FIN DE GRADO  
 INGENIERIA MECANICA  
 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID  
 ANDRES NIÑO DE LA FUENTE



PLANO DE CONJUNTO  
DEL SUBGRUPO M150 EN  
PLANO M150

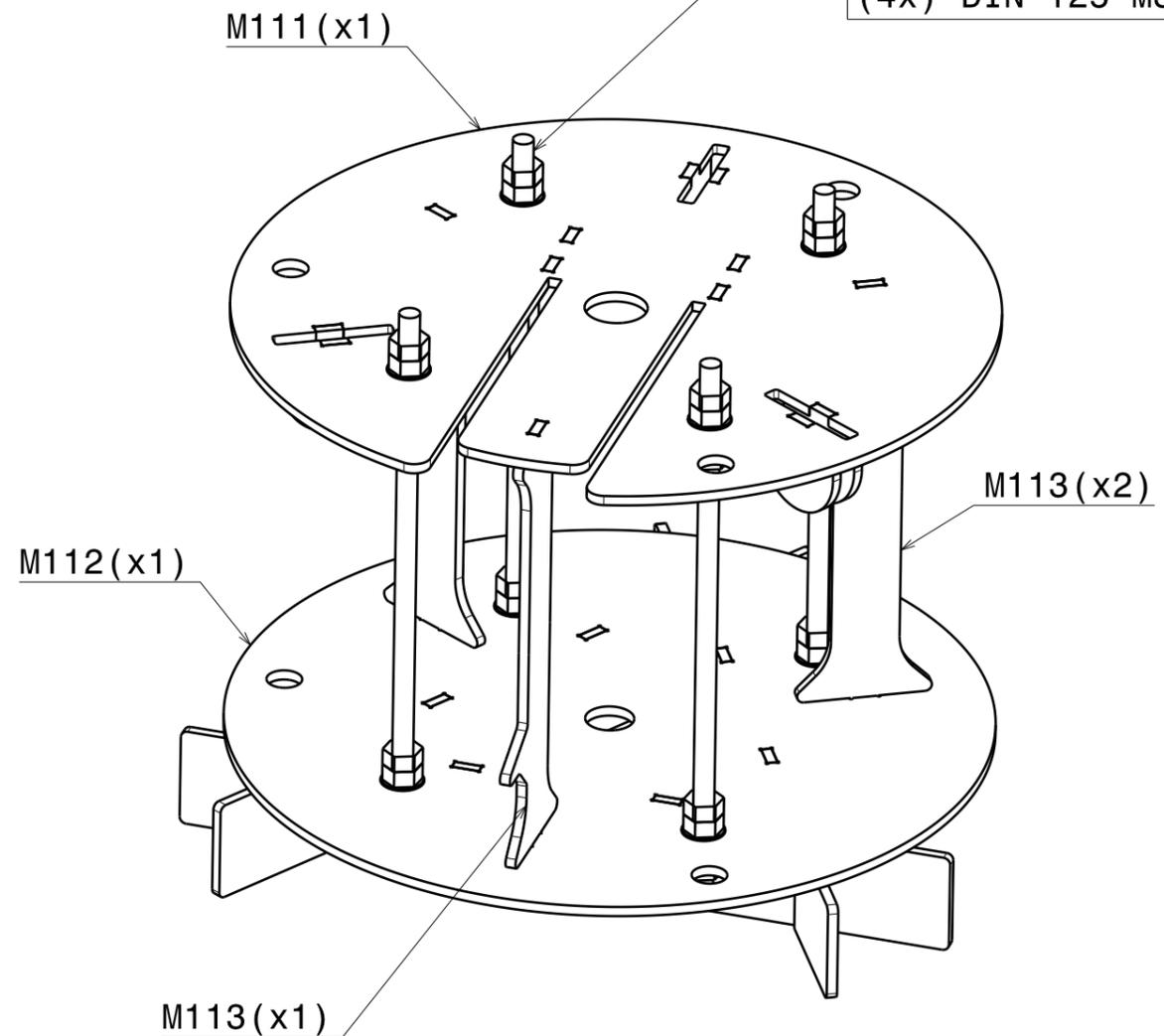
NOTA:  
- VERIFICAR COTAS CON TOLERANCIA.  
- MATAR ARISTAS VIVAS  
- ELEMENTOS SIN INDICACION DE TOLERANCIA PARTICULAR, SEGUN NORMA DIN-7168-mk  
- ACABADO SUPERFICIAL N8 / (N7)

CANTIDAD	MATERIAL	TRATAMIENTO	MASA	FECHA	
1	-	-	8,7 (Kg)	07/2019	
1	TRABAJO FIN DE GRADO INGENIERIA MECANICA UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ANDRES NIÑO DE LA FUENTE	HOJA 1 DE 1	PROYECTO CONJUNTO	LANZADERA COHETE LANZADERA	M000 M100
		A2	SUBCONJUNTO	-	-
		E 1:1	PIEZA	-	-



C01 (x4) FARNELL  
DIN 975 M3  
L = 171 mm

(8x) DIN 934 M3  
(4x) DIN 125 M3



PIEZAS M111\_A1 Y M112\_A1  
NO REPRESENTADAS

NOTA:

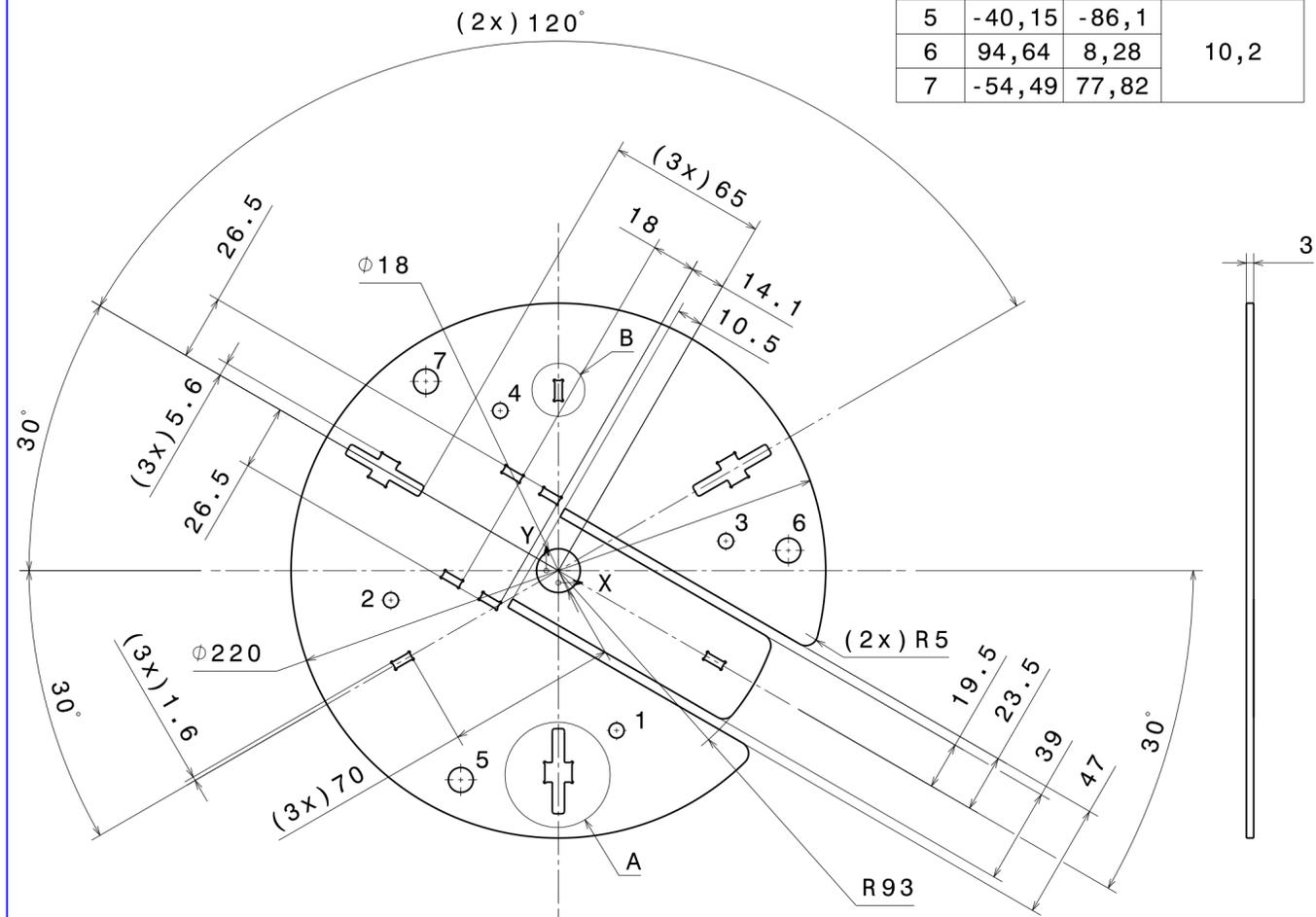
- VERIFICAR COTAS CON TOLERANCIA.
- MATAR ARISTAS VIVAS
- ELEMENTOS SIN INDICACION DE TOLERANCIA PARTICULAR, SEGUN NORMA DIN-7168-mK
- ACABADO SUPERFICIAL N8 / (N7)

CANTIDAD	MATERIAL	TRATAMIENTO	4,82 (Kg)	07/2019	
1	-	-	MASA	FECHA	
HOJA 1	PROYECTO	LANZADERA COHETE	M000		
DE 1	CONJUNTO	LANZADERA	M100		
A3	SUBCONJUNTO	BANCADA	M110		
E 2:5	PIEZA	-	-		

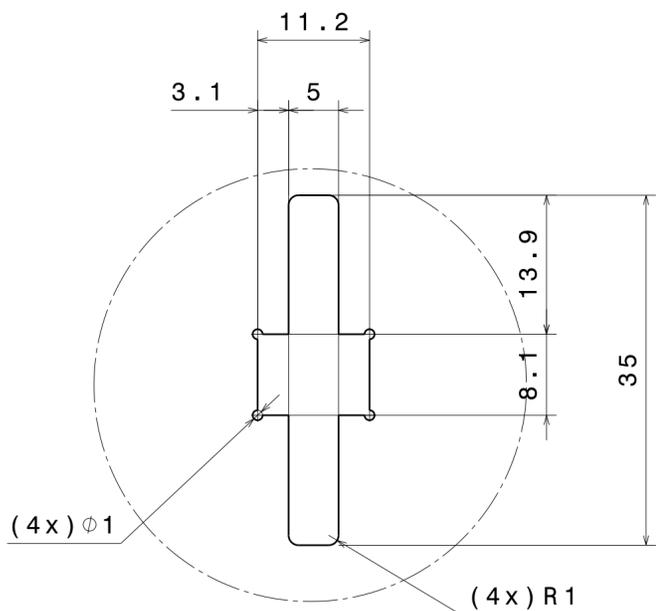
TRABAJO FIN DE GRADO  
INGENIERIA MECANICA  
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID  
ANDRES NIÑO DE LA FUENTE

VISTAS M111\_A  
E 1:2

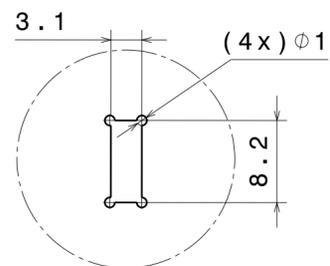
TABLA DE TALADROS			
REF.	X	Y	DIMENSION
1	23,94	-65,78	6,2
2	-68,94	-12,16	
3	68,94	12,16	
4	-23,94	65,78	10,2
5	-40,15	-86,1	
6	94,64	8,28	
7	-54,49	77,82	



DETALLE A  
E 2:1



DETALLE B  
E 2:1

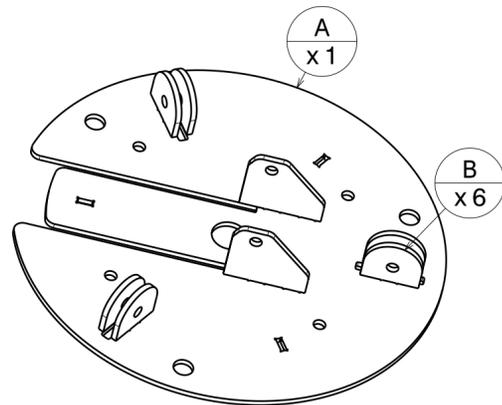


NOTA:  
Todos los cajeados  
de la forma de DETALLE B  
tienen estas dimensiones.

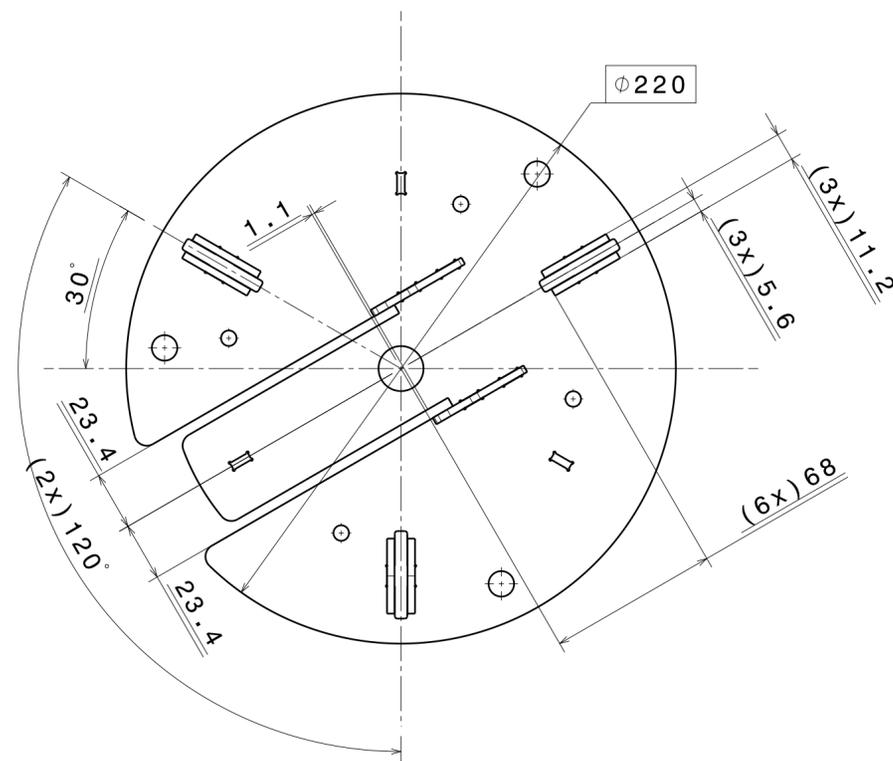
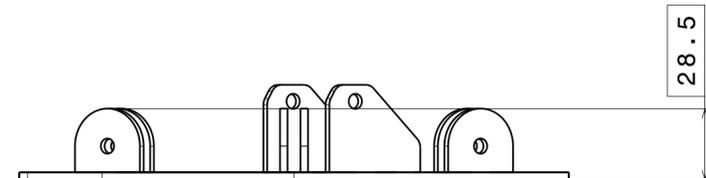
NOTA:

- VERIFICAR COTAS CON TOLERANCIA.
- MATAR ARISTAS VIVAS
- ELEMENTOS SIN INDICACION DE TOLERANCIA PARTICULAR, SEGUN NORMA DIN-7168-mk
- ACABADO SUPERFICIAL N8 / (N7)

MARCA	CTDAD	MATERIAL	DIMENSIONES	
A	1	AISI 304	E 1:2	VER VISTAS M111_A
B	6	AISI 304	E 1:1	



VISTAS SOLDADURA  
E 1:2



1	AISI 304	-	1,84 (Kg)	07/2019	
CANTIDAD	MATERIAL	TRATAMIENTO	MASA	FECHA	
HOJA 1	PROYECTO	LANZADERA COHETE	M000		
DE 1	CONJUNTO	LANZADERA	M100		
A2	SUBCONJUNTO	BANCADA	M110		
E 1:2	PIEZA	PLACA SUPERIOR	M111		

TRABAJO FIN DE GRADO  
INGENIERIA MECANICA  
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID  
ANDRES NIÑO DE LA FUENTE

HOJA 1  
DE 1

PROYECTO  
CONJUNTO

LANZADERA COHETE  
LANZADERA

M000  
M100

A2

SUBCONJUNTO

BANCADA

M110

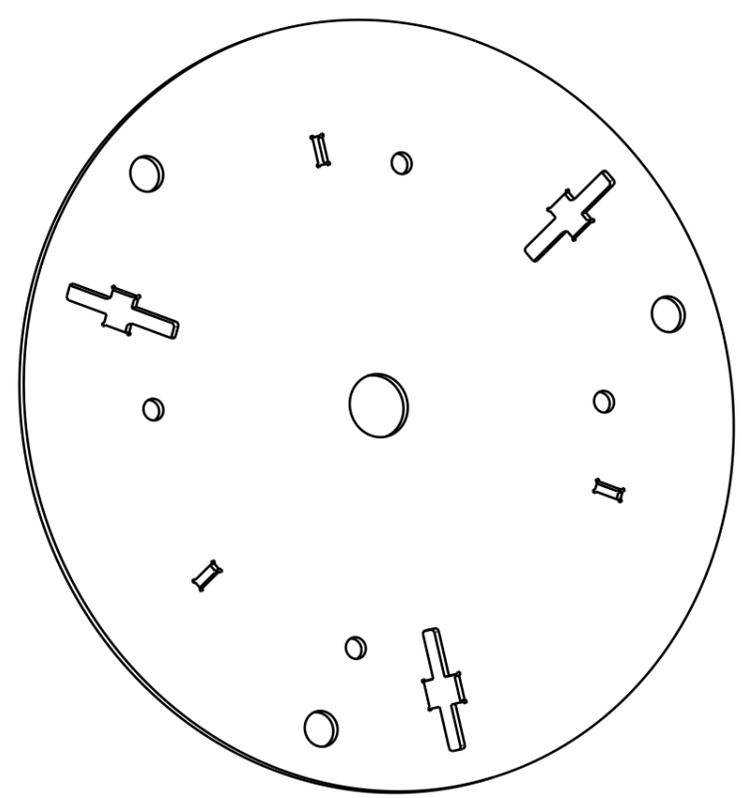
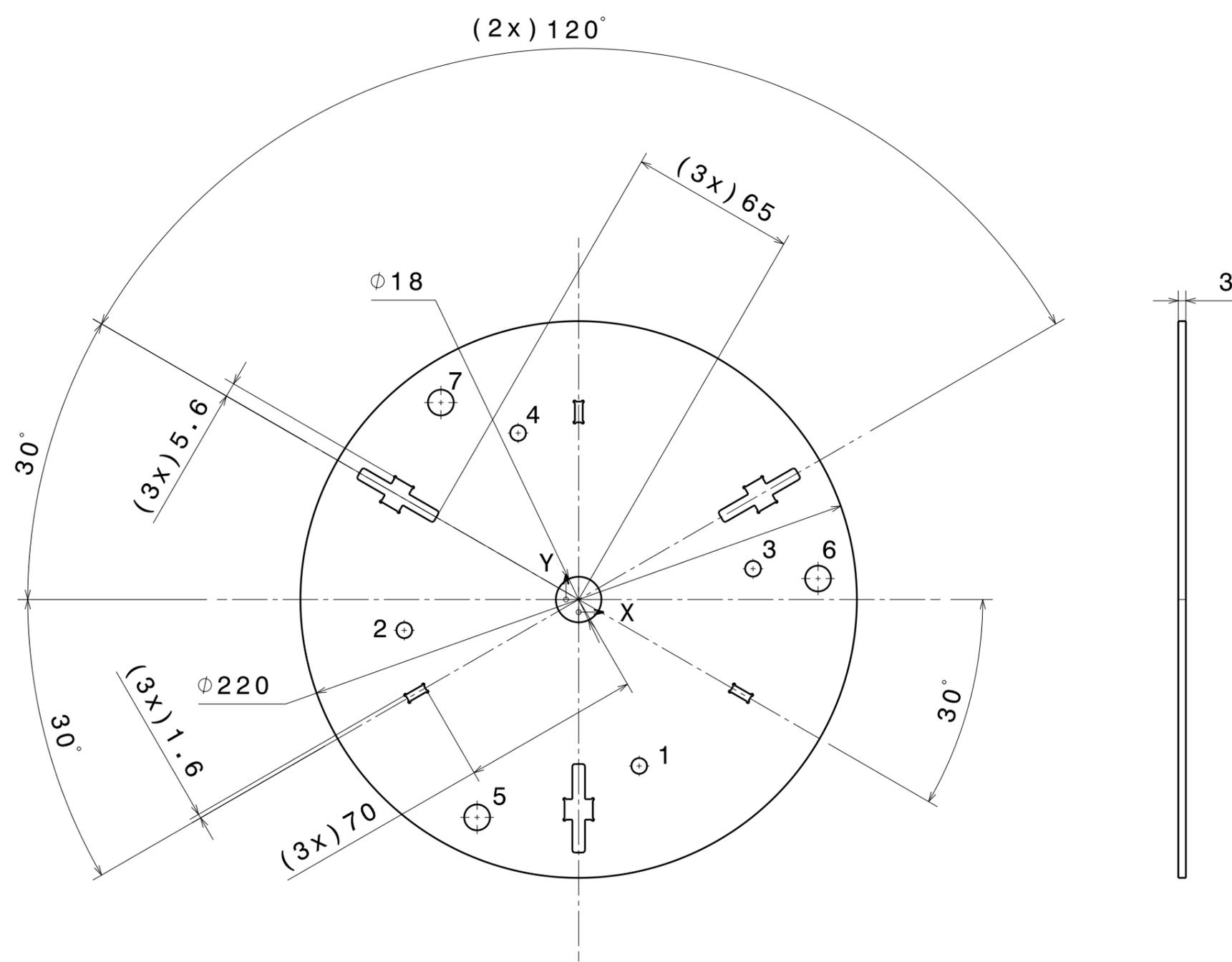
E 1:2

PIEZA

PLACA SUPERIOR

M111

TABLA DE TALADROS			
REF.	X	Y	DIMENSION
1	23,94	-65,78	6,2
2	-68,94	-12,16	
3	68,94	12,16	
4	-23,94	65,78	
5	-40,15	-86,1	10,2
6	94,64	8,28	
7	-54,49	77,82	



NOTA:  
 - VERIFICAR COTAS CON TOLERANCIA.  
 - MATAR ARISTAS VIVAS  
 - ELEMENTOS SIN INDICACION DE TOLERANCIA PARTICULAR, SEGUN NORMA DIN-7168-mK  
 - ACABADO SUPERFICIAL N8 / (N7)

1	AISI 304	-	0,87 (Kg)	07/2019	
CANTIDAD	MATERIAL	TRATAMIENTO	MASA	FECHA	
TRABAJO FIN DE GRADO INGENIERIA MECANICA UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ANDRES NIÑO DE LA FUENTE		HOJA 1 DE 1	PROYECTO CONJUNTO	LANZADERA COHETE LANZADERA	M000 M100
		A3	SUBCONJUNTO	BANCADA	M110
		E 1:2	PIEZA	PLACA SUPERIOR CERRADA	M111_A1

VISTA M112\_A  
E 1:2

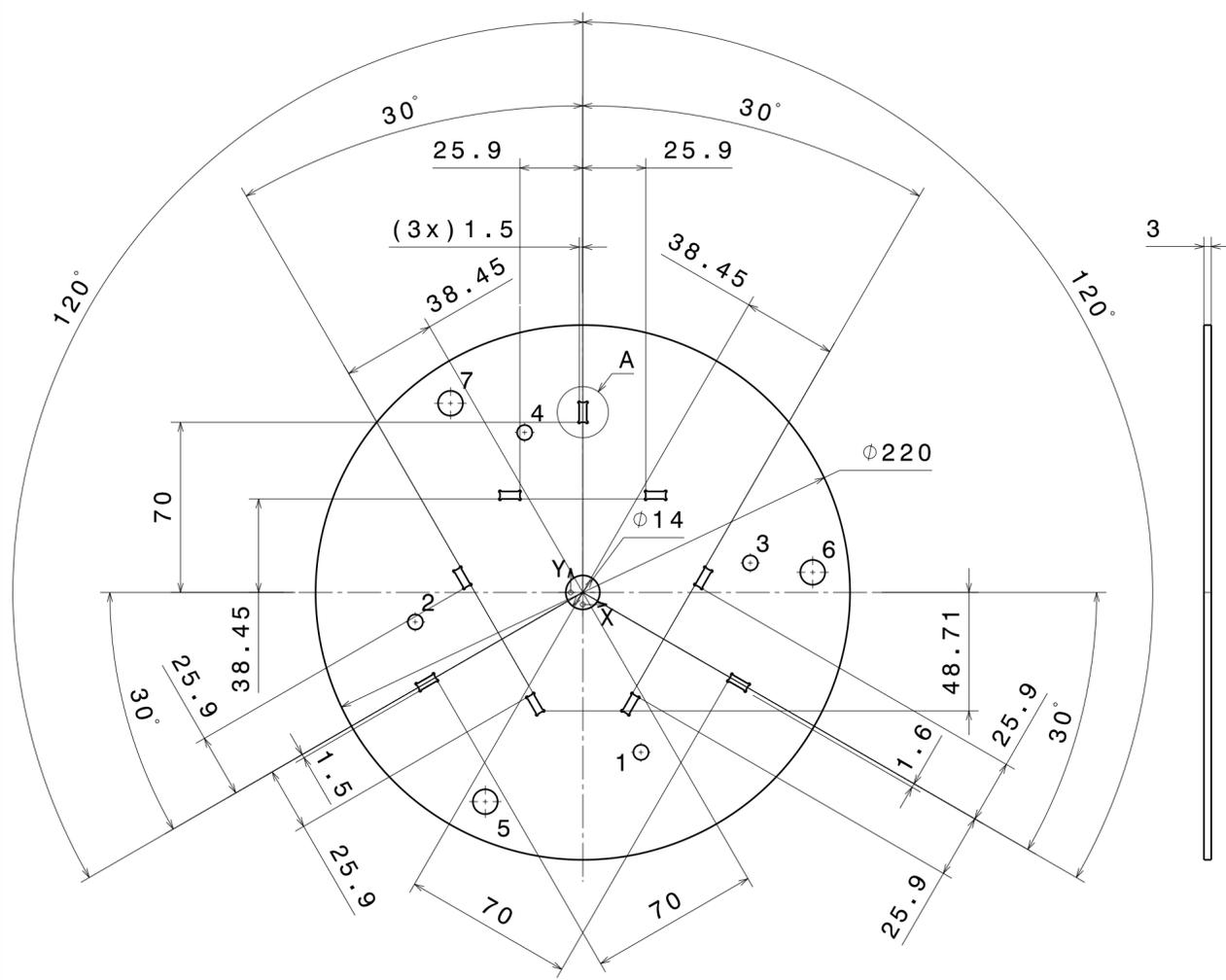
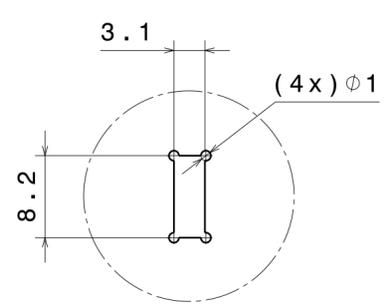


TABLA DE TALADROS			
REF.	X	Y	DIMENSION
1	23,94	-65,78	6,2
2	-68,94	-12,16	
3	68,94	12,16	
4	-23,94	65,78	10,2
5	-40,15	-86,1	
6	94,64	8,28	
7	-54,49	77,82	

DETALLE A  
E 2:1

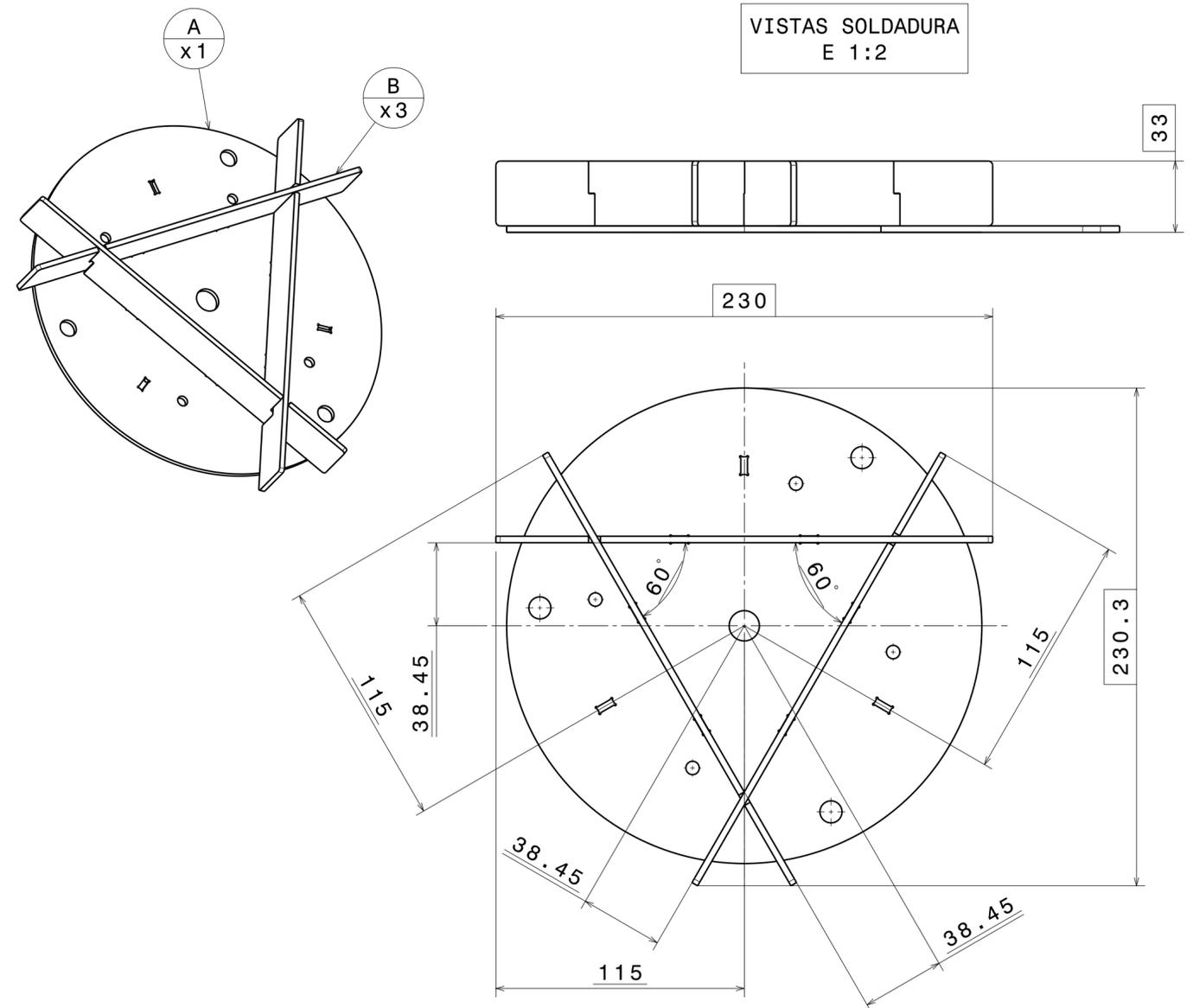


NOTA:  
Todos los cajeados de la forma de  
DETALLE A tienen estas dimensiones.

NOTA:  
- VERIFICAR COTAS CON TOLERANCIA.  
- MATAR ARISTAS VIVAS  
- ELEMENTOS SIN INDICACION DE  
TOLERANCIA PARTICULAR, SEGUN NORMA DIN-7168-mk  
- ACABADO SUPERFICIAL N8 / (N7)

MARCA	CTDAD	MATERIAL	DIMENSIONES	
A	1	AISI 304	E 1:2	VER VISTA M122_A
B	3	AISI 304	E 1:2	

VISTAS SOLDADURA  
E 1:2



1	AISI 304	-	2,46 (Kg)	07/2019	
CANTIDAD	MATERIAL	TRATAMIENTO	MASA	FECHA	
TRABAJO FIN DE GRADO INGENIERIA MECANICA UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ANDRES NIÑO DE LA FUENTE		HOJA 1 DE 1	PROYECTO	LANZADERA COHETE	M000
		A2	CONJUNTO	LANZADERA	M100
		E 1:2	SUBCONJUNTO	BANCADA	M110
			PIEZA	PLACA BASE	M112

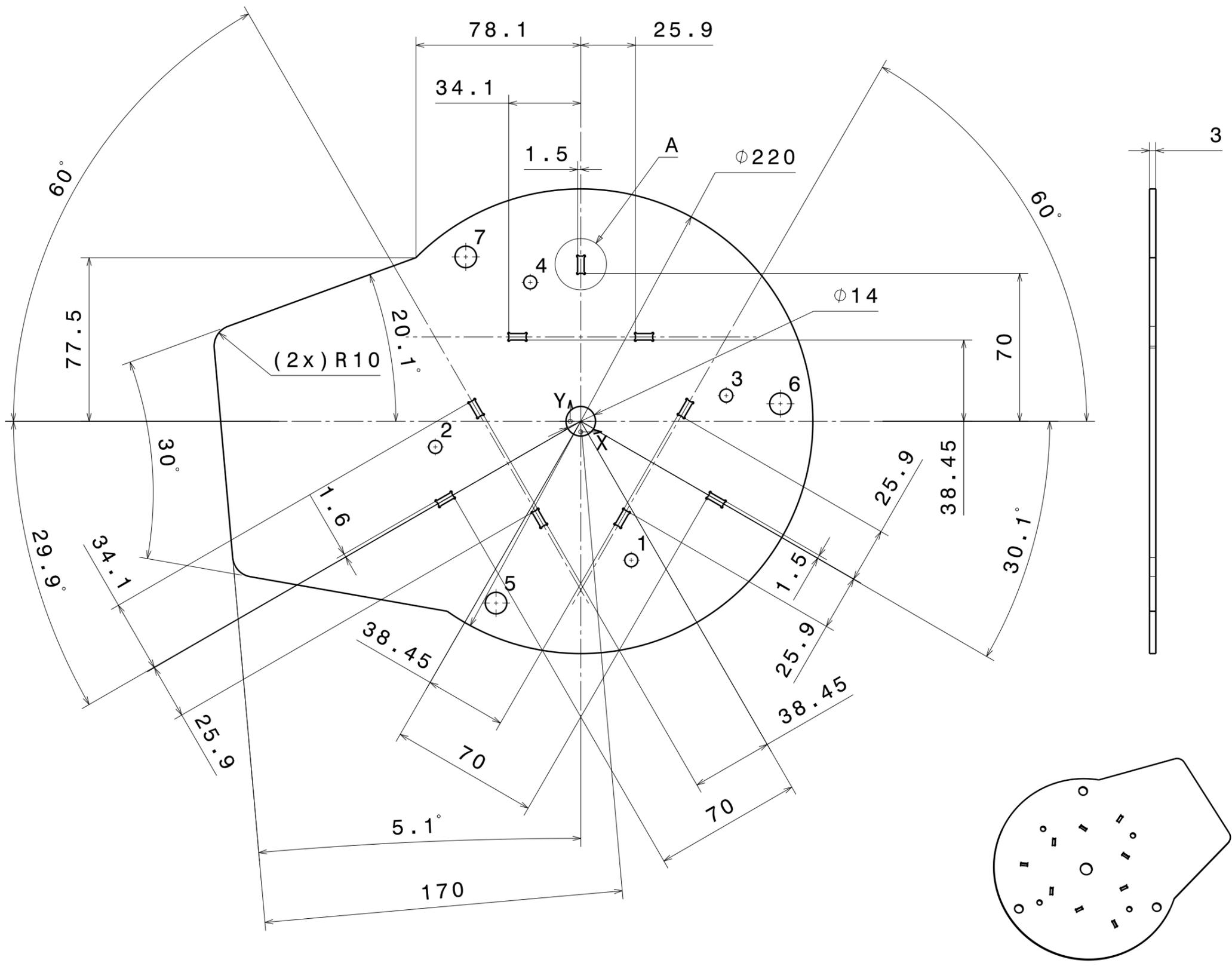
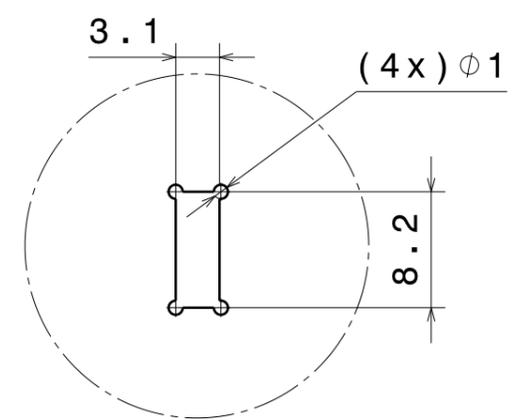


TABLA DE TALADROS			
REF.	X	Y	Dimension
1	23,94	-65,78	6,2
2	-68,94	-12,16	
3	68,94	12,16	
4	-23,94	65,78	10,2
5	-40,15	-86,1	
6	94,64	8,28	
7	-54,49	77,82	

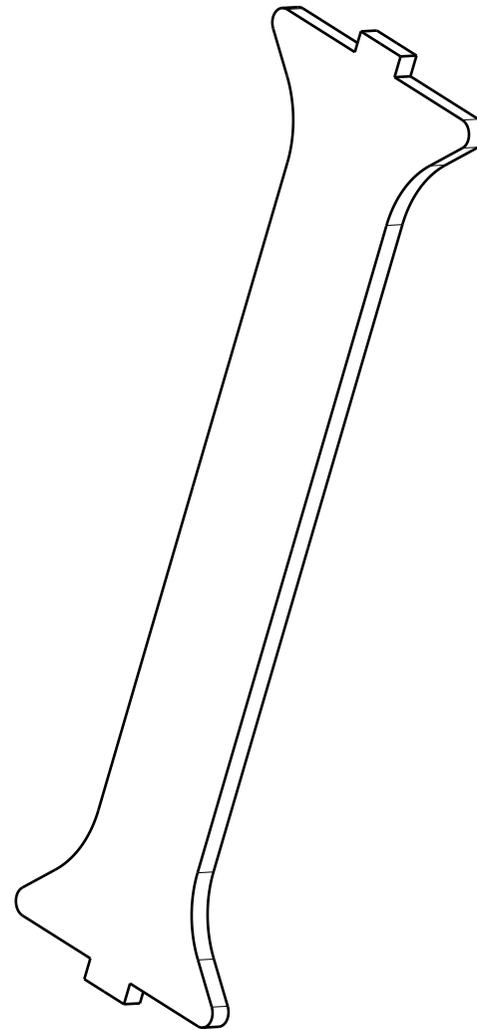
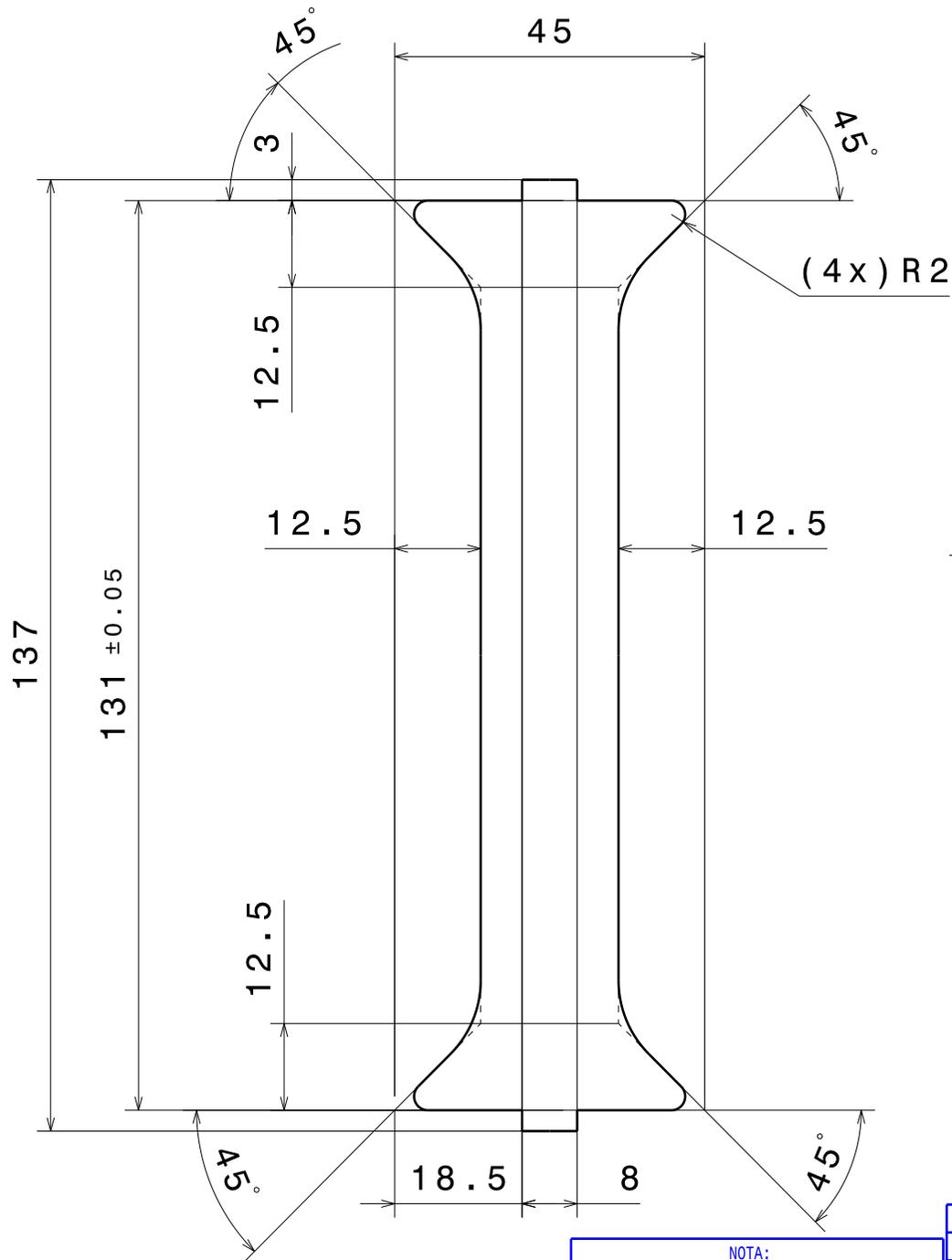
DETALLE A  
E 2:1



NOTA: Todos los cajeados de esta forma tienen las mismas dimensiones.

NOTA:  
 - VERIFICAR COTAS CON TOLERANCIA.  
 - MATAR ARISTAS VIVAS  
 - ELEMENTOS SIN INDICACION DE TOLERANCIA PARTICULAR, SEGUN NORMA DIN-7168-mK  
 - ACABADO SUPERFICIAL N8 / (N7)

1	AISI 304	-	1,1 (Kg)	07/2019		
CANTIDAD	MATERIAL	TRATAMIENTO	MASA	FECHA		
TRABAJO FIN DE GRADO INGENIERIA MECANICA UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ANDRES NIÑO DE LA FUENTE			HOJA 1	PROYECTO	LANZADERA COHETE	M000
			DE 1	CONJUNTO	LANZADERA	M100
			A3	SUBCONJUNTO	BANCADA	M110
			E 1:2	PIEZA	PLACA BASE CON OREJA	M112_A1



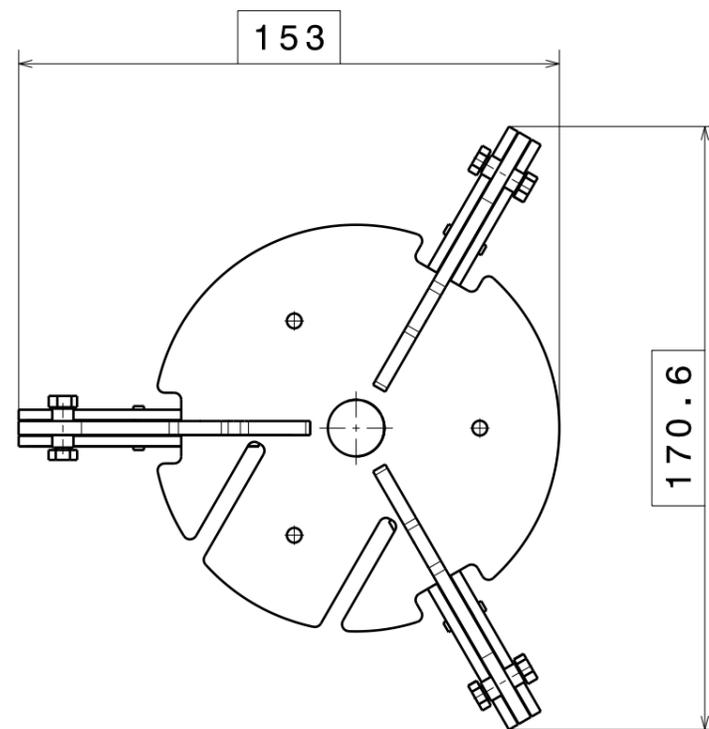
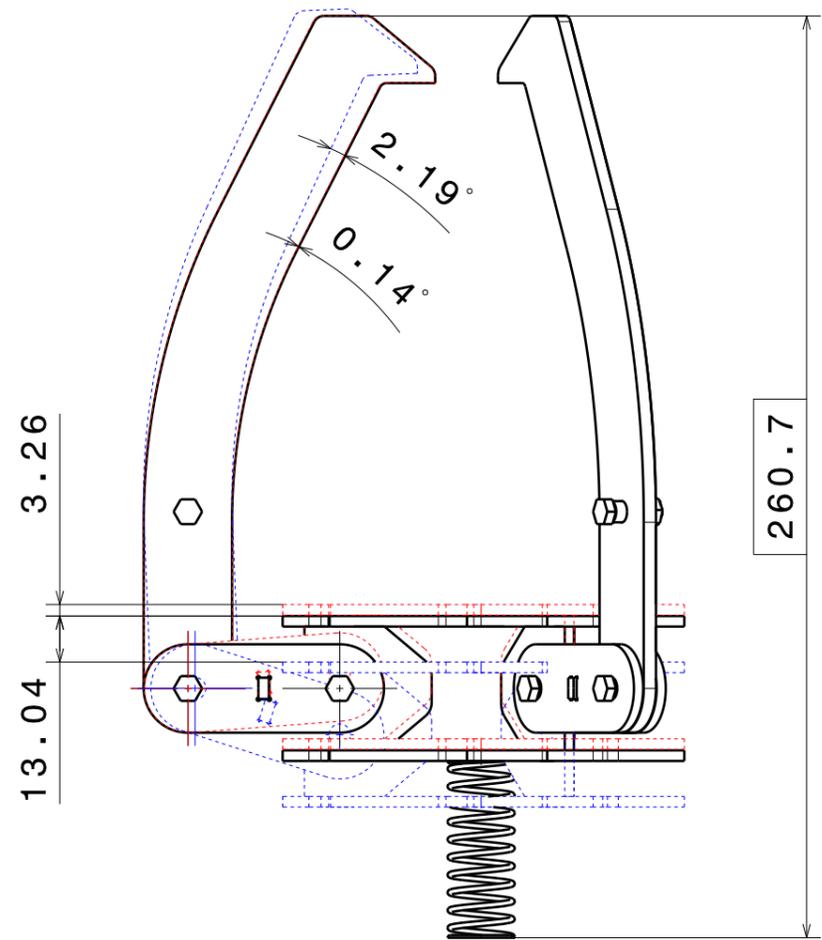
NOTA:

- VERIFICAR COTAS CON TOLERANCIA.
- MATAR ARISTAS VIVAS
- ELEMENTOS SIN INDICACION DE TOLERANCIA PARTICULAR, SEGUN NORMA DIN-7168-mK
- ACABADO SUPERFICIAL  $\nabla 8 / (\nabla 7)$

3	AISI 304	-	0,07 (Kg)	07/2019	
CANTIDAD	MATERIAL	TRATAMIENTO	MASA	FECHA	
HOJA 1	PROYECTO	LANZADERA COHETE	M000		
DE 1	CONJUNTO	LANZADERA	M100		
A4	SUBCONJUNTO	BANCADA	M110		
E 1:1	PIEZA	SEPARADOR	M113		

TRABAJO FIN DE GRADO  
 INGENIERIA MECANICA  
 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID  
 ANDRES NIÑO DE LA FUENTE





M121 (x3)

M122 (x3)

M123 (x1)

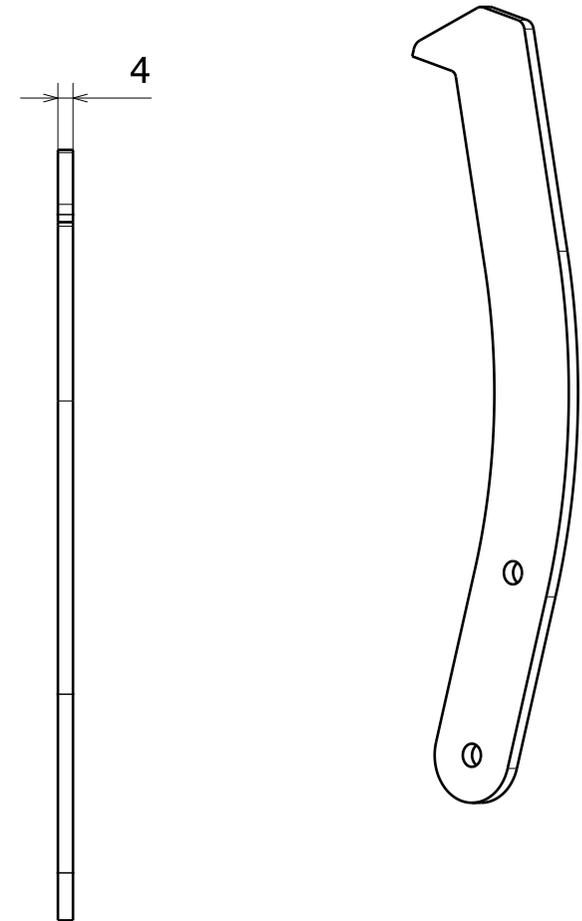
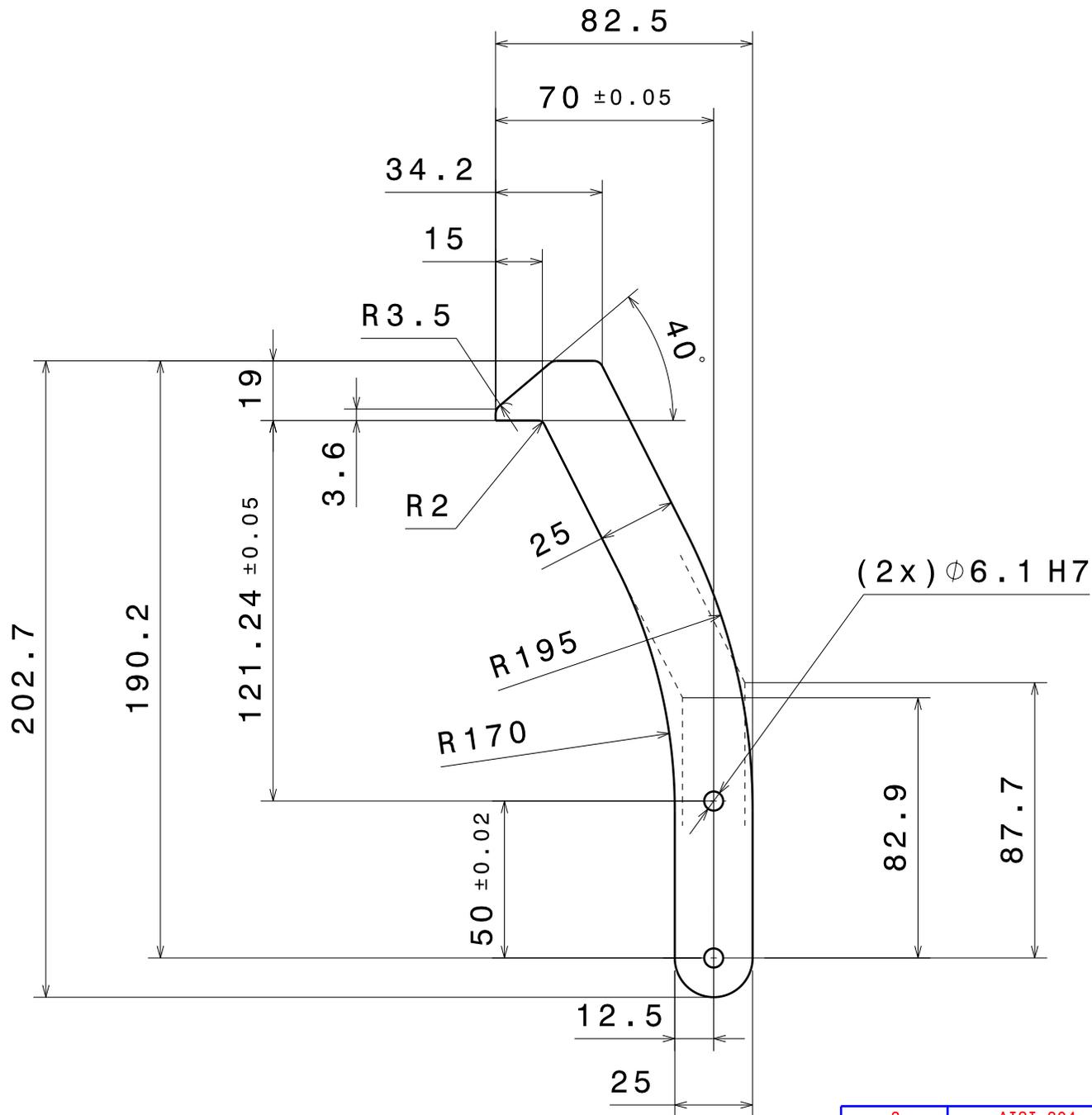
(x9) AZAN SUMINISTROS  
C03 DIN 2441 D6x1  
L = 11 mm  
(1x) DIN 934 M4  
(1x) DIN 933 M4x15

C02 (x1) MUELLES MELERO

NOTA:

- VERIFICAR COTAS CON TOLERANCIA.
- MATAR ARISTAS VIVAS
- ELEMENTOS SIN INDICACION DE TOLERANCIA PARTICULAR, SEGUN NORMA DIN-7168-mK
- ACABADO SUPERFICIAL  $\nabla_{N8}$  /  $\nabla_{N7}$

CANTIDAD	MATERIAL	TRATAMIENTO	MASA	FECHA	
1	-	-	2,78 (Kg)	07/2019	
TRABAJO FIN DE GRADO INGENIERIA MECANICA UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ANDRES NIÑO DE LA FUENTE		HOJA 1 DE 1	PROYECTO	LANZADERA COHETE	M000
		A3	CONJUNTO	LANZADERA	M100
		E	SUBCONJUNTO	MECANISMO PRINCIPAL	M120
		1:1	PIEZA	-	-

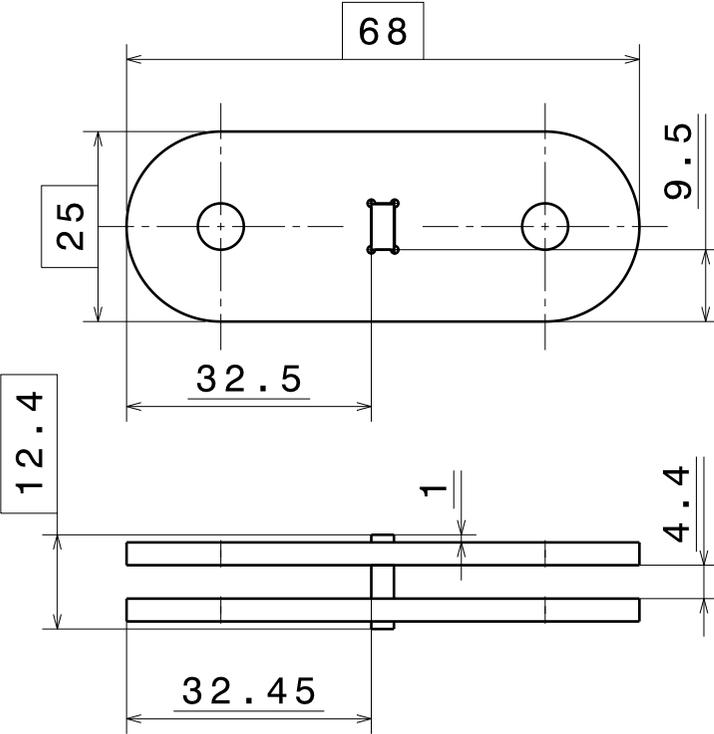


NOTA:  
 - VERIFICAR COTAS CON TOLERANCIA.  
 - MATAR ARISTAS VIVAS  
 - ELEMENTOS SIN INDICACION DE TOLERANCIA PARTICULAR, SEGUN NORMA DIN-7168-mK  
 - ACABADO SUPERFICIAL  $\nabla 8 / (\nabla 7)$

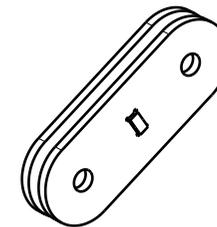
3	AISI 304	-	0,17 (Kg)	07/2019	
CANTIDAD	MATERIAL	TRATAMIENTO	MASA	FECHA	
HOJA 1	PROYECTO	LANZADERA COHETE	M000		
DE 1	CONJUNTO	LANZADERA	M100		
A4	SUBCONJUNTO	MECANISMO PRINCIPAL	M120		
E 1:2	PIEZA	GARRA	M121		

TRABAJO FIN DE GRADO  
 INGENIERIA MECANICA  
 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID  
 ANDRES NIÑO DE LA FUENTE

VISTAS SOLDADURA  
E 1:1



MARCA	CTDAD	MATERIAL	DIMENSIONES
A	2	AISI 304	<p>E 1:1</p>
B	1	AISI 304	<p>E 1:1</p>



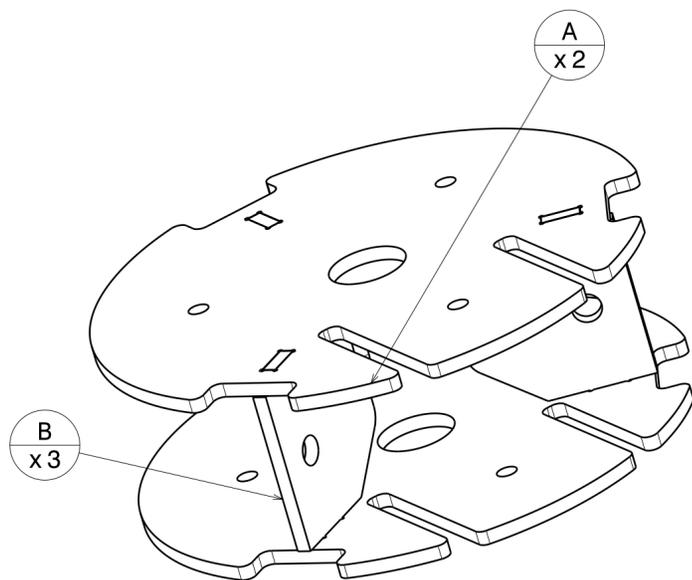
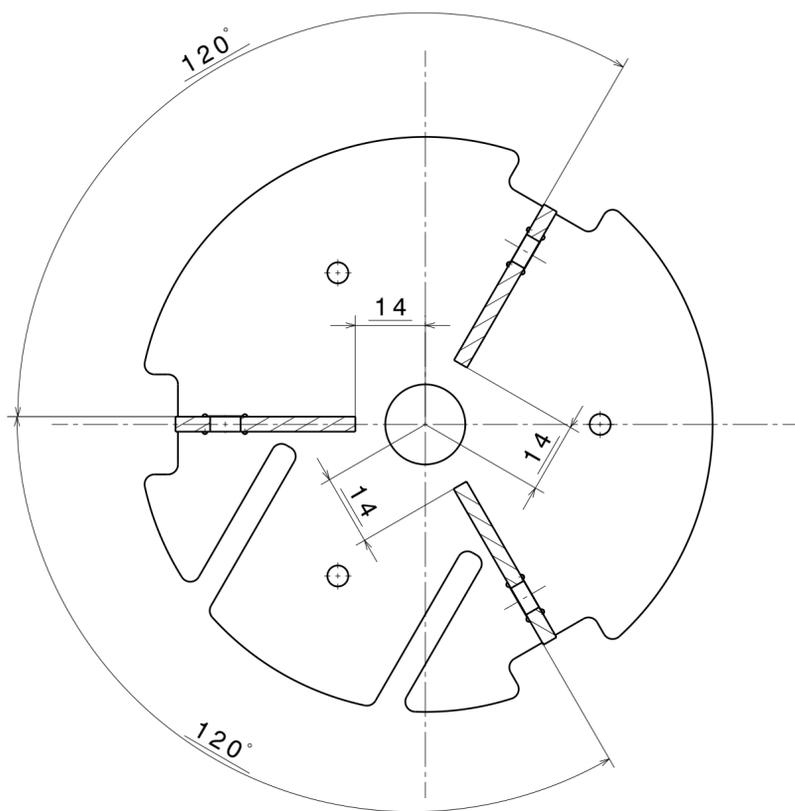
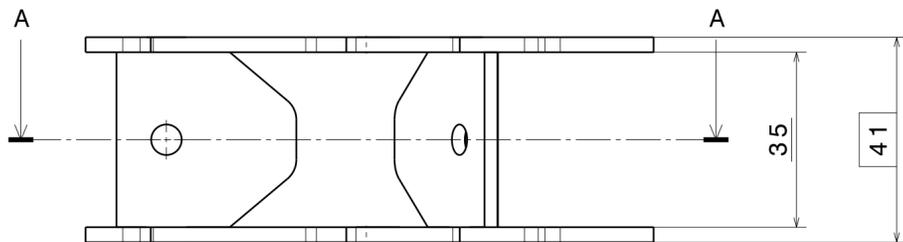
NOTA:

- VERIFICAR COTAS CON TOLERANCIA.
- MATAR ARISTAS VIVAS
- ELEMENTOS SIN INDICACION DE TOLERANCIA PARTICULAR, SEGUN NORMA DIN-7168-mK
- ACABADO SUPERFICIAL  $\nabla 8 / (\nabla 7)$

3	AISI 304	-	0,073 (Kg)	07/2019	
CANTIDAD	MATERIAL	TRATAMIENTO	MASA	FECHA	
HOJA 1	PROYECTO	LANZADERA COHETE	M000		
DE 1	CONJUNTO	LANZADERA	M100		
A4	SUBCONJUNTO	MECANISMO PRINCIPAL	M120		
E 1:1	PIEZA	BIELA	M122		

TRABAJO FIN DE GRADO  
INGENIERIA MECANICA  
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID  
ANDRES NIÑO DE LA FUENTE

VISTAS SOLDADURA  
E 1:1



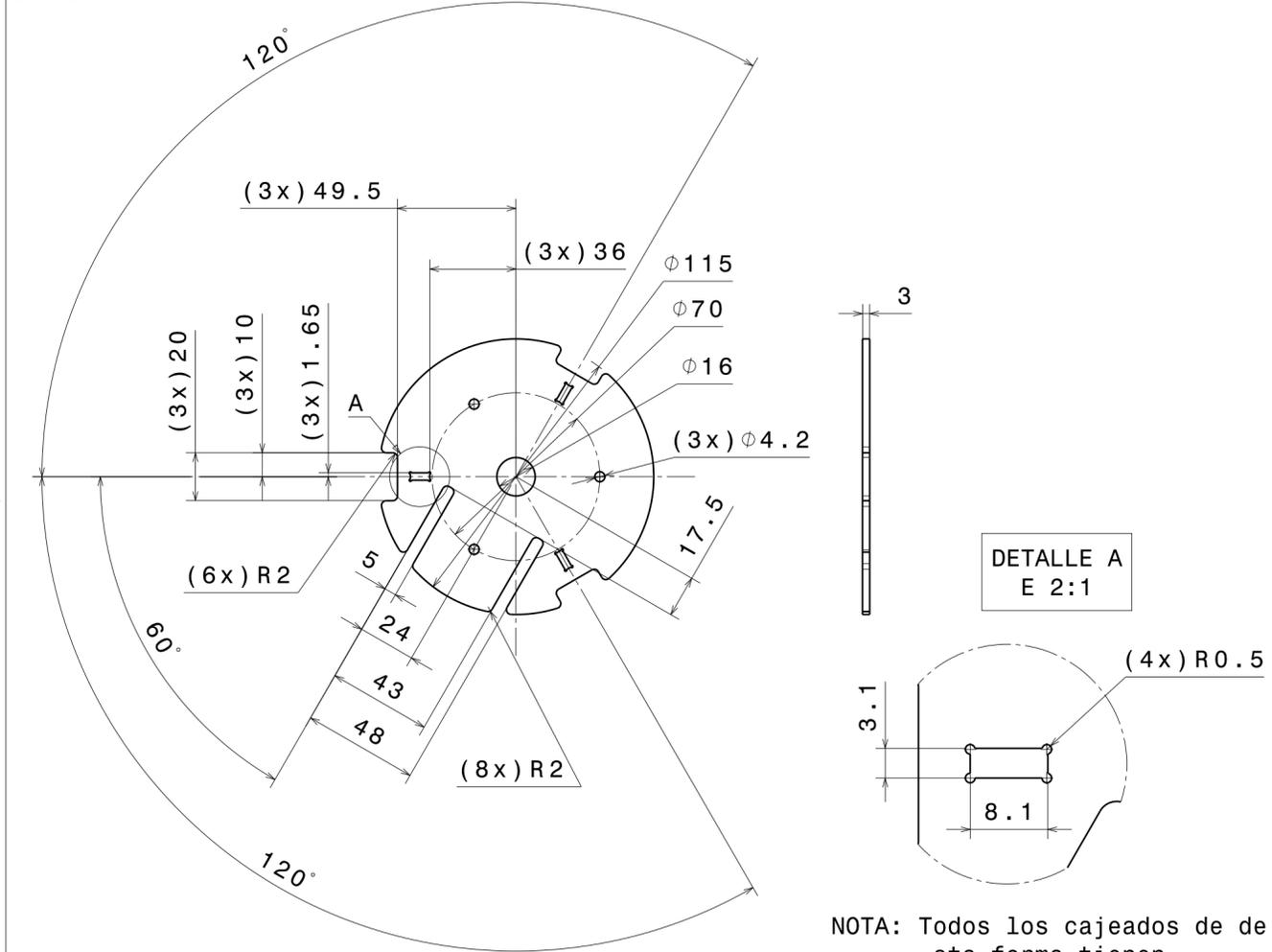
MARCA CTDAD MATERIAL

A 2 AISI 304

B 3 AISI 304

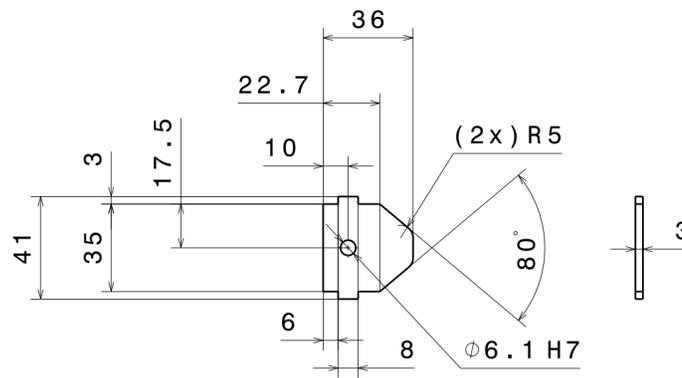
DIMENSIONES

E 1:2



NOTA: Todos los cajeados de de sta forma tienen estas dimensiones.

E 1:2

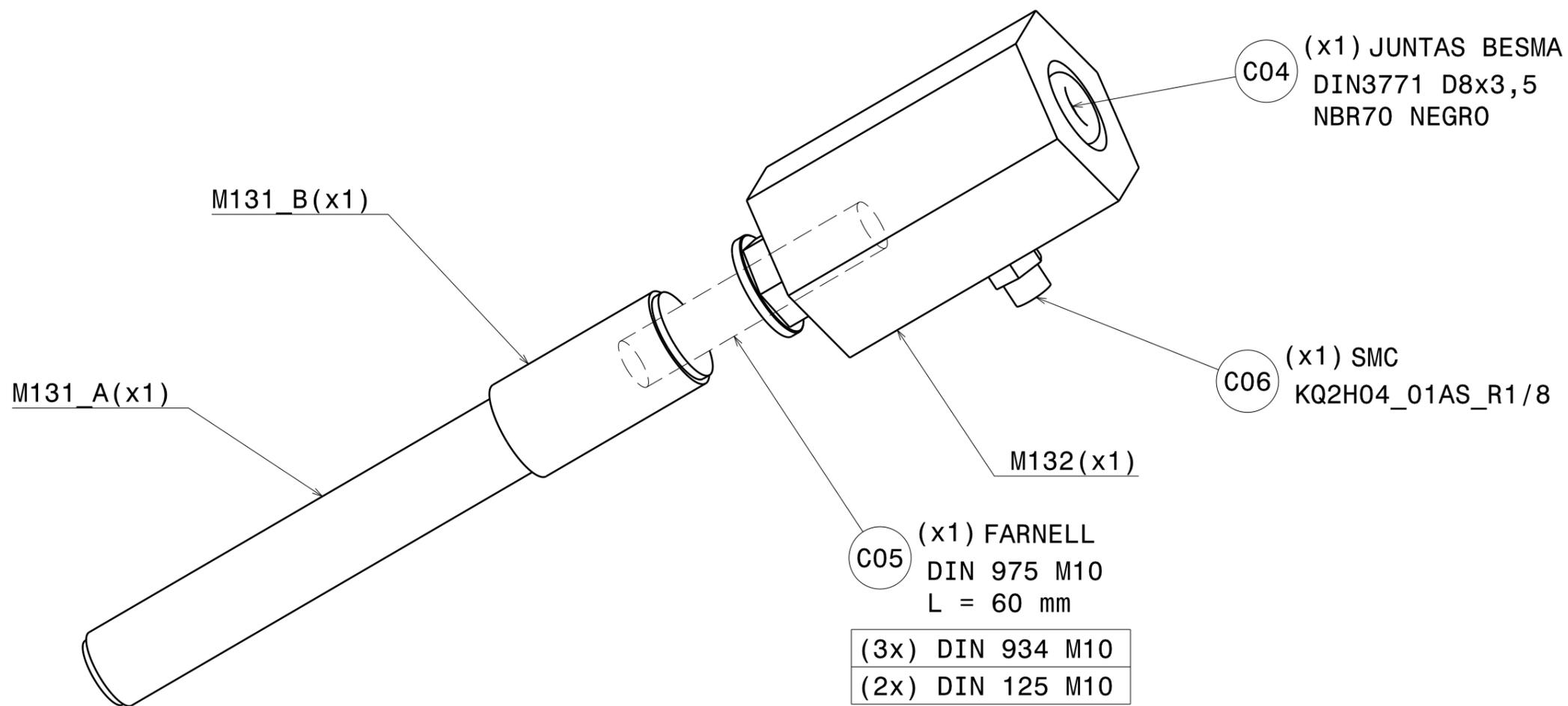
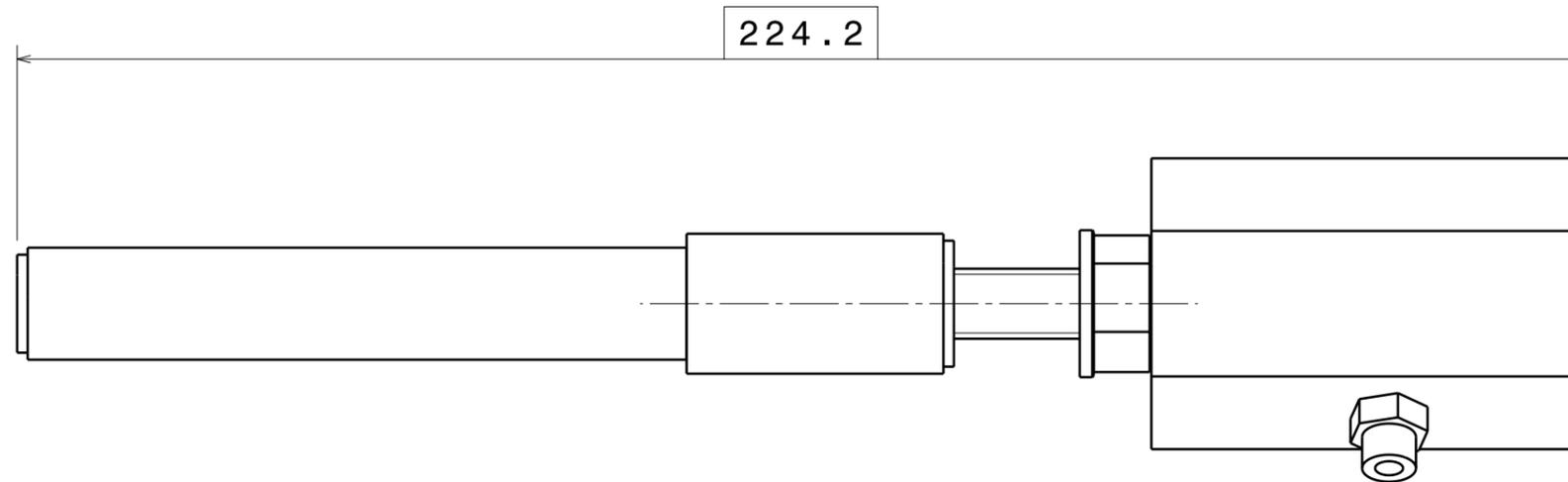
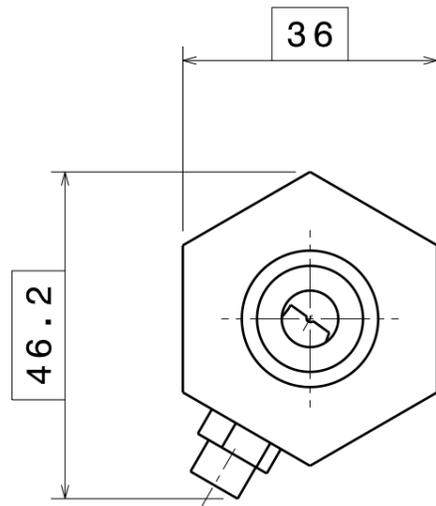


NOTA:

- VERIFICAR COTAS CON TOLERANCIA.
- MATAR ARISTAS VIVAS
- ELEMENTOS SIN INDICACION DE TOLERANCIA PARTICULAR, SEGUN NORMA DIN-7168-mK
- ACABADO SUPERFICIAL N8 / (N7)

1	AISI 304	-	0,52 (Kg)	07/2019	
CANTIDAD	MATERIAL	TRATAMIENTO	MASA	FECHA	
HOJA 1	PROYECTO	LANZADERA COHETE	M000		
DE 1	CONJUNTO	LANZADERA	M100		
A2	SUBCONJUNTO	MECANISMO PRINCIPAL	M120		
E 1:1	PIEZA	DESPLAZADOR	M123		

TRABAJO FIN DE GRADO  
INGENIERIA MECANICA  
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID  
ANDRES NIÑO DE LA FUENTE

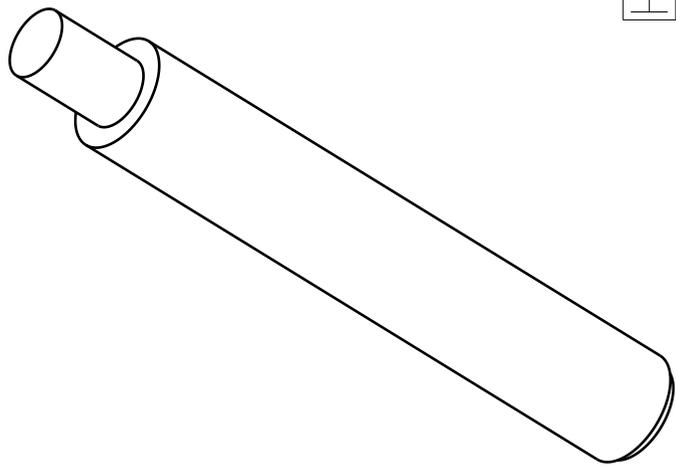
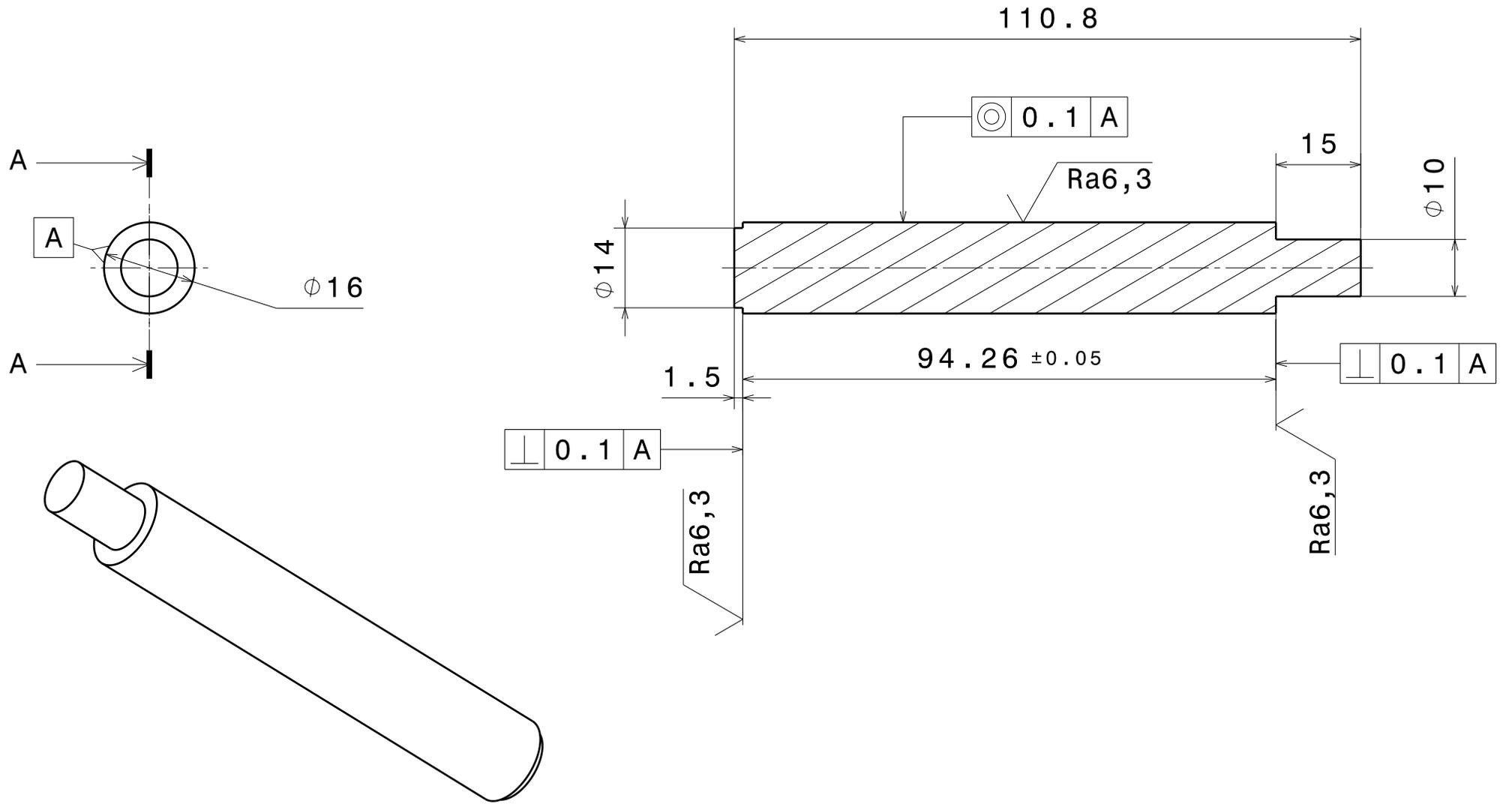


(3x) DIN 934 M10  
(2x) DIN 125 M10

**NOTA:**  
 - VERIFICAR COTAS CON TOLERANCIA.  
 - MATAR ARISTAS VIVAS  
 - ELEMENTOS SIN INDICACION DE TOLERANCIA PARTICULAR, SEGUN NORMA DIN-7168-mK  
 - ACABADO SUPERFICIAL N8 / (N7)

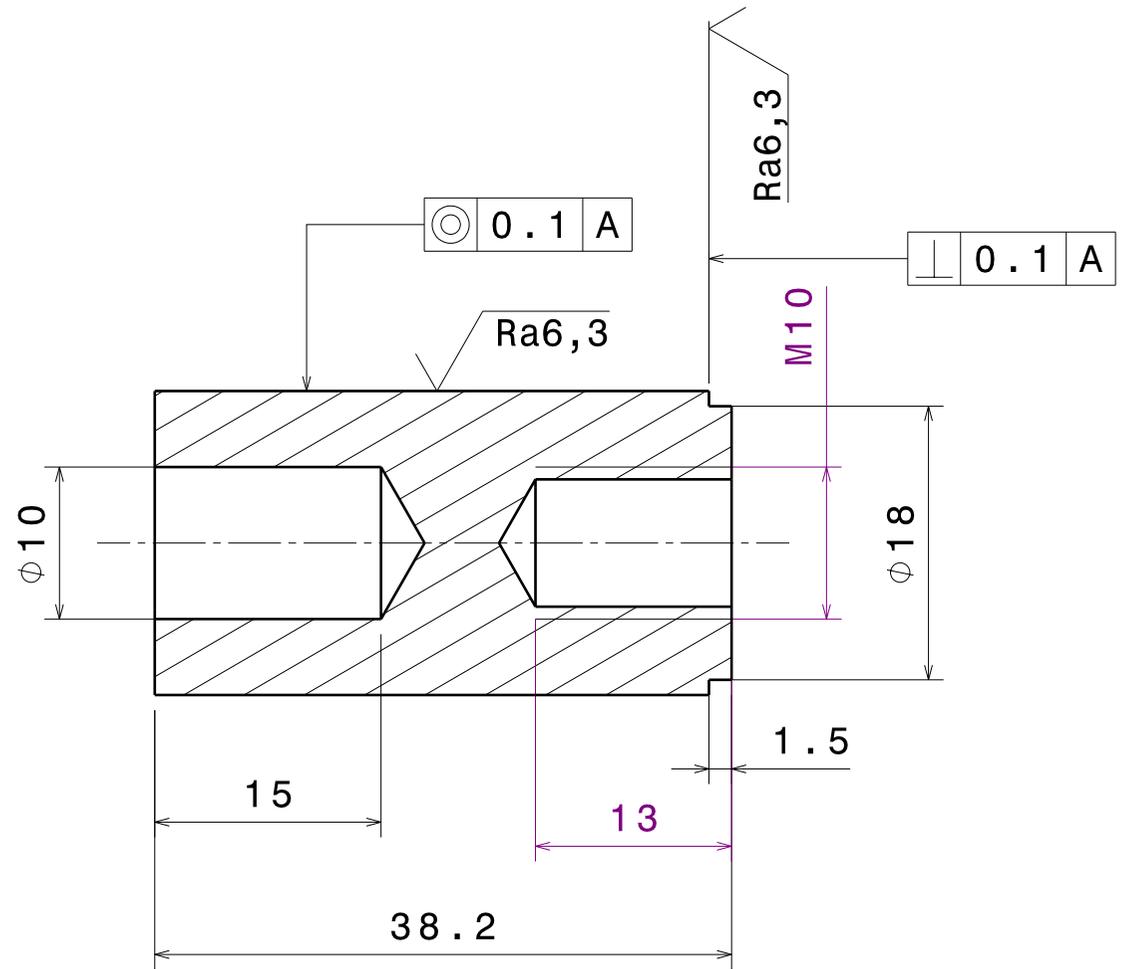
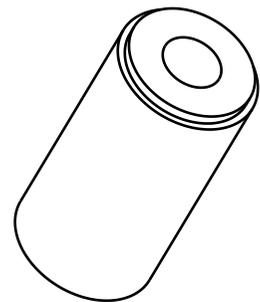
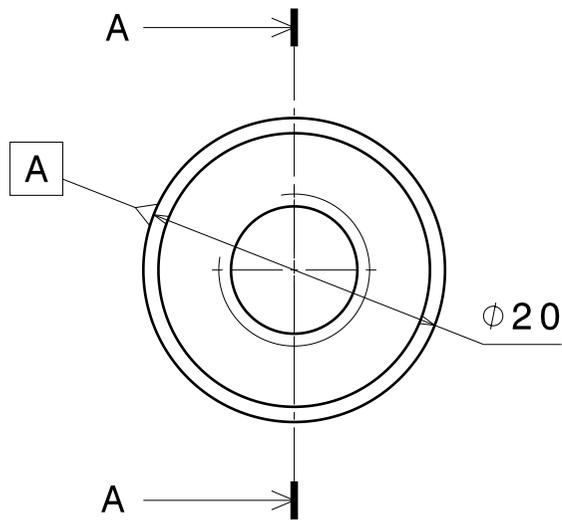
CANTIDAD	MATERIAL	TRATAMIENTO	0,5 (Kg)	07/2019	
1	-	-	MASA	FECHA	
TRABAJO FIN DE GRADO INGENIERIA MECANICA UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ANDRES NIÑO DE LA FUENTE		HOJA 1 DE 1	PROYECTO	LANZADERA COHETE	M000
		A3	CONJUNTO	LANZADERA	M100
		E 1:1	SUBCONJUNTO	CONJUNTO EJE	M130
			PIEZA	-	-

SECCION A-A



NOTA:  
 - VERIFICAR COTAS CON TOLERANCIA.  
 - MATAR ARISTAS VIVAS  
 - ELEMENTOS SIN INDICACION DE TOLERANCIA PARTICULAR, SEGUN NORMA DIN-7168-mK  
 - ACABADO SUPERFICIAL  $\sqrt{Ra6,3}$  /  $\sqrt{Ra6,3}$

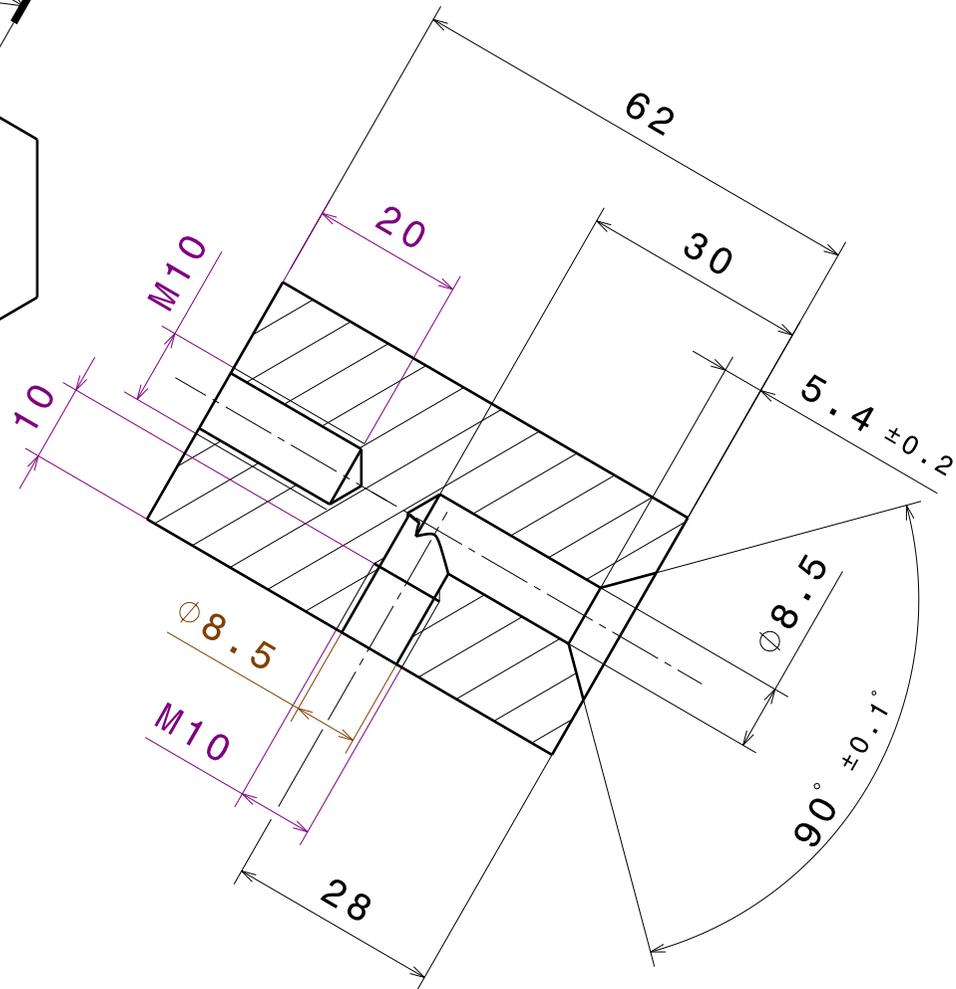
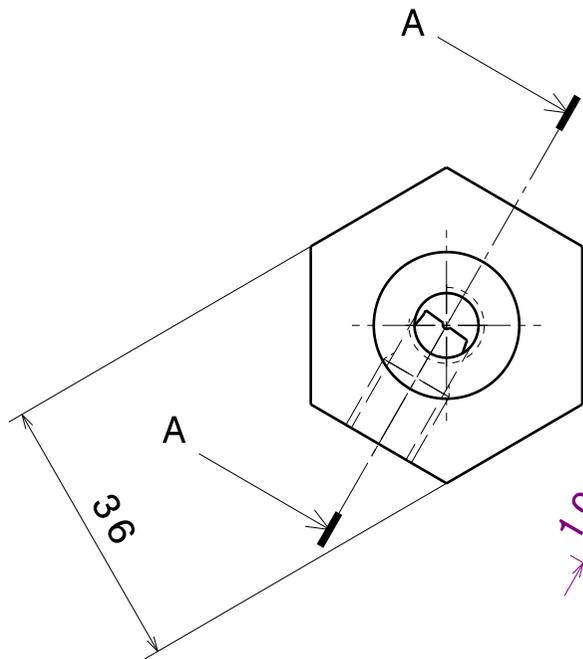
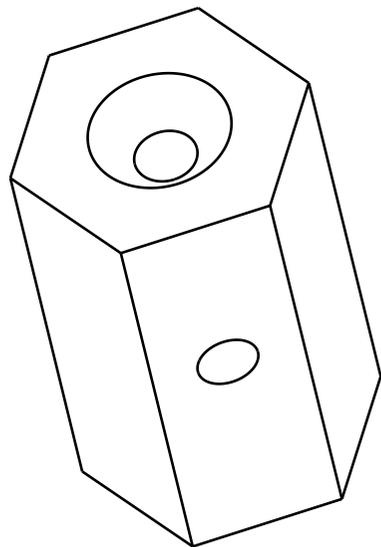
1	EN AW-1050	-	0,24 (Kg)	07/2019	
CANTIDAD	MATERIAL	TRATAMIENTO	MASA	FECHA	
HOJA 1	TRABAJO FIN DE GRADO		PROYECTO	LANZADERA COHETE	M000
DE 1	INGENIERIA MECANICA		CONJUNTO	LANZADERA	M100
A4	UNIVERSIDAD DE VALLADOLID		SUBCONJUNTO	CONJUNTO EJE	M130
E 1:1	ANDRES NIÑO DE LA FUENTE		PIEZA	EJE	M131_A



NOTA:

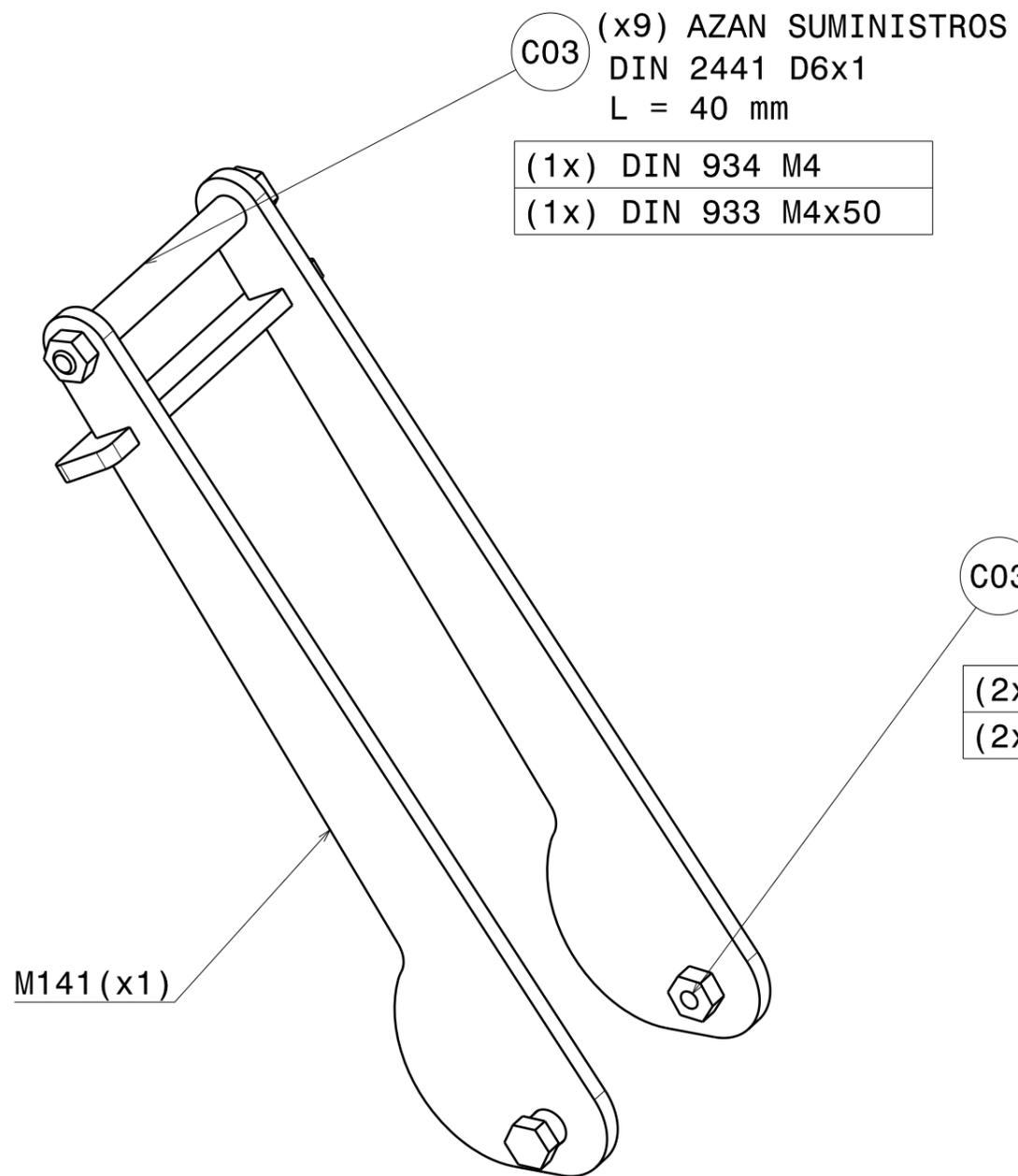
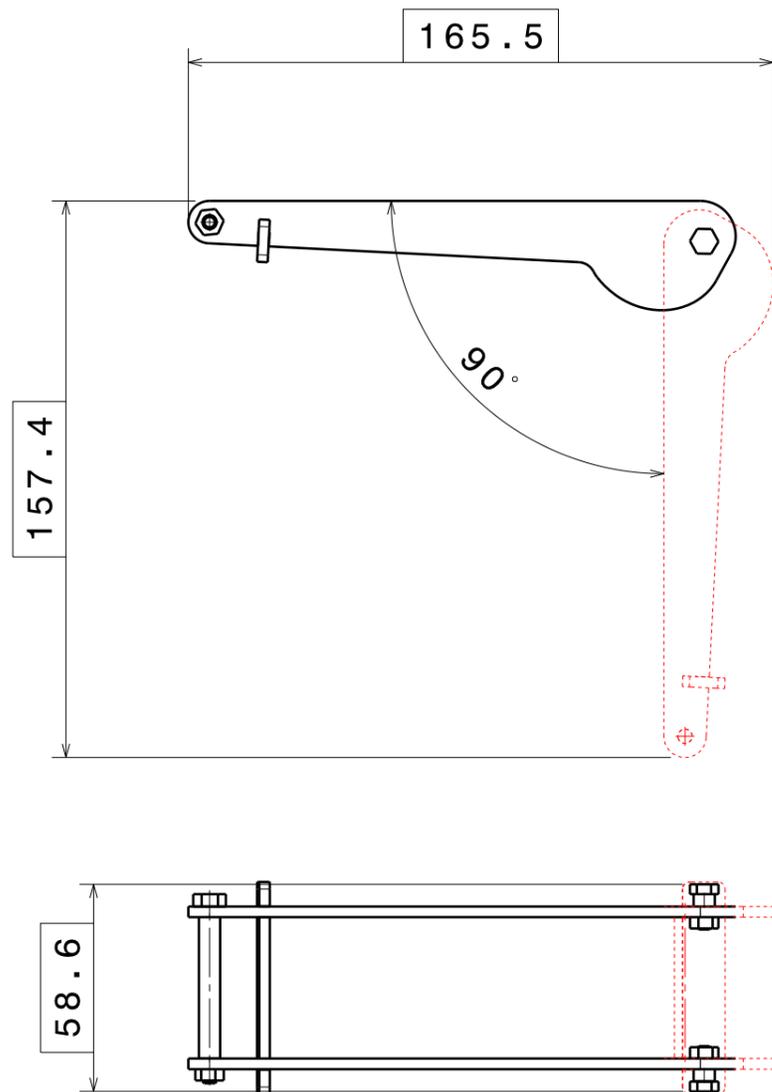
- VERIFICAR COTAS CON TOLERANCIA.
- MATAR ARISTAS VIVAS
- ELEMENTOS SIN INDICACION DE TOLERANCIA PARTICULAR, SEGUN NORMA DIN-7168-mK
- ACABADO SUPERFICIAL  $\nabla 8 / (\nabla 7)$

1	EN AW-1050	-	0,08 (Kg)	07/2019	
CANTIDAD	MATERIAL	TRATAMIENTO	MASA	FECHA	
TRABAJO FIN DE GRADO		HOJA 1	PROYECTO	LANZADERA COHETE	M000
INGENIERIA MECANICA		DE 1	CONJUNTO	LANZADERA	M100
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID		A4	SUBCONJUNTO	CONJUNTO EJE	M130
ANDRES NIÑO DE LA FUENTE		E 1:1	PIEZA	EJE	M131_B



NOTA:  
 - VERIFICAR COTAS CON TOLERANCIA.  
 - MATAR ARISTAS VIVAS  
 - ELEMENTOS SIN INDICACION DE TOLERANCIA PARTICULAR, SEGUN NORMA DIN-7168-mK  
 - ACABADO SUPERFICIAL  $\nabla 8 / (\nabla 7)$

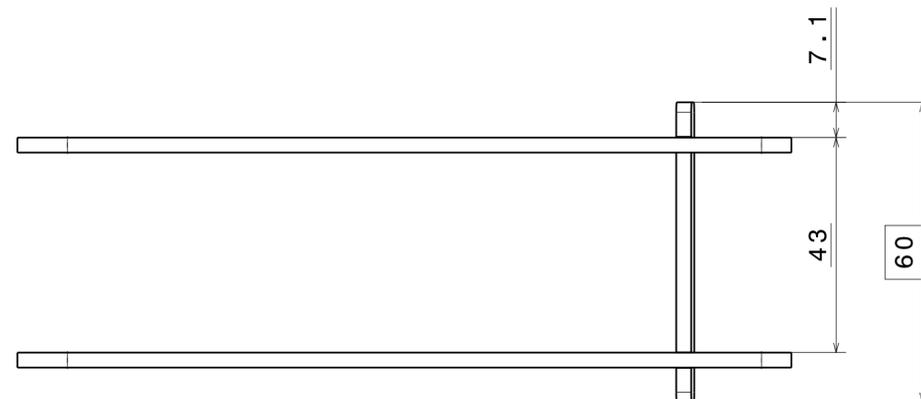
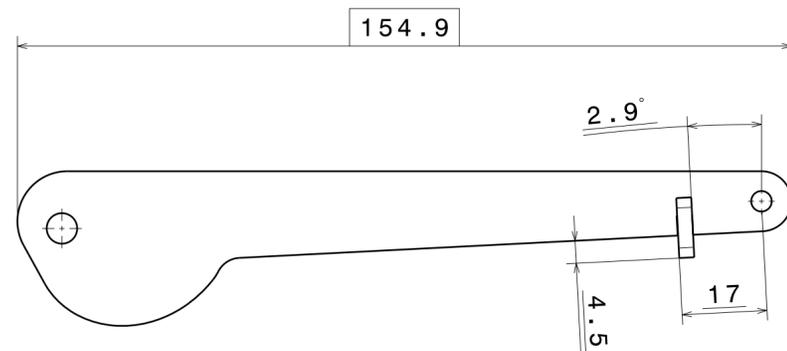
1	EN AW-1050	-	0,18 (Kg)	07/2019	
CANTIDAD	MATERIAL	TRATAMIENTO	MASA	FECHA	
TRABAJO FIN DE GRADO INGENIERIA MECANICA UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ANDRES NIÑO DE LA FUENTE		HOJA 1	PROYECTO	LANZADERA COHETE	M000
		DE 1	CONJUNTO	LANZADERA	M100
		A4	SUBCONJUNTO	CONJUNTO EJE	M130
		E 1:1	PIEZA	CUERPO ADMISION	M132



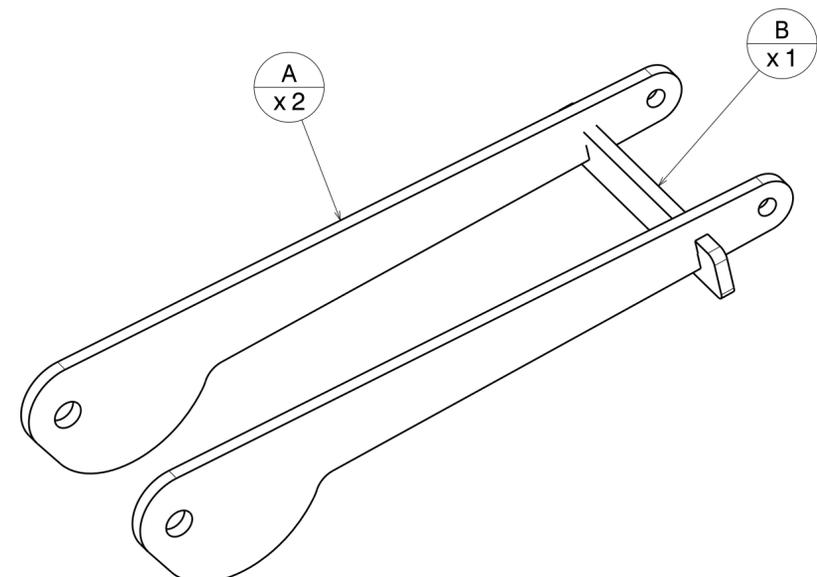
NOTA:  
 - VERIFICAR COTAS CON TOLERANCIA.  
 - MATAR ARISTAS VIVAS  
 - ELEMENTOS SIN INDICACION DE TOLERANCIA PARTICULAR, SEGUN NORMA DIN-7168-mK  
 - ACABADO SUPERFICIAL N8 / (N7)

CANTIDAD	MATERIAL	TRATAMIENTO	MASA	FECHA	
1	-	-	0,47 (Kg)	07/2019	
<b>TRABAJO FIN DE GRADO            INGENIERIA MECANICA            UNIVERSIDAD DE VALLADOLID            ANDRES NIÑO DE LA FUENTE</b>		HOJA 1	PROYECTO	LANZADERA COHETE	M000
		DE 1	CONJUNTO	LANZADERA	M100
		A3	SUBCONJUNTO	MECANISMO DESBLOQUEO	M140
		E 1:1	PIEZA	-	-

VISTAS SOLDADURA  
E 1:1



MARCA	CTDAD	MATERIAL	DIMENSIONES
A	2	AISI 304	E 1:1 
B	1	AISI 304	E 1:1 

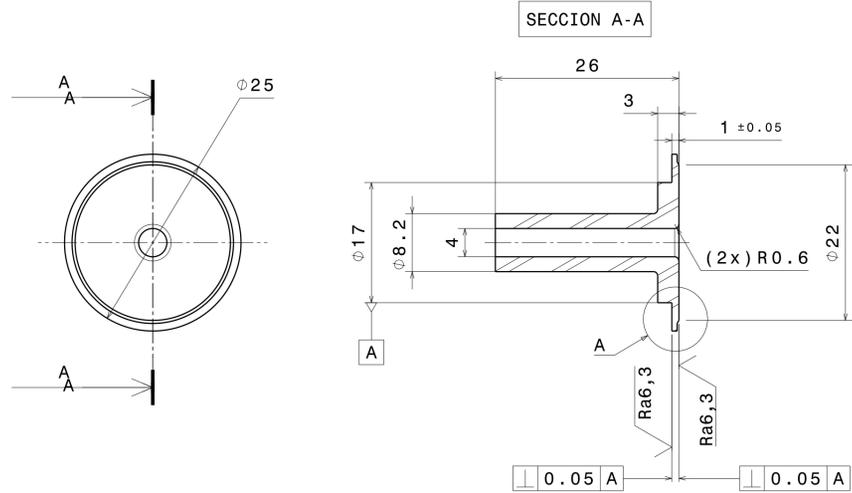


NOTA:  
 - VERIFICAR COTAS CON TOLERANCIA.  
 - MATAR ARISTAS VIVAS  
 - ELEMENTOS SIN INDICACION DE TOLERANCIA PARTICULAR, SEGUN NORMA DIN-7168-mk  
 - ACABADO SUPERFICIAL N8 / (N7)

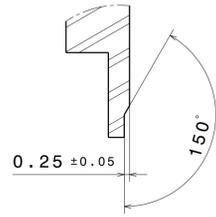
1	AISI 304	-	0,03 (Kg)	07/2019	
CANTIDAD	MATERIAL	TRATAMIENTO	MASA	FECHA	
HOJA 1	PROYECTO	LANZADERA COHETE	M000		
DE 1	CONJUNTO	LANZADERA	M100		
A2	SUBCONJUNTO	MECANISMO DESBLOQUEO	M140		
E 1:1	PIEZA	PALANCA	M141		

TRABAJO FIN DE GRADO  
 INGENIERIA MECANICA  
 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID  
 ANDRES NIÑO DE LA FUENTE

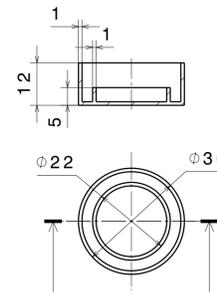
**PRIMERA VERSION M151  
E 2:1**



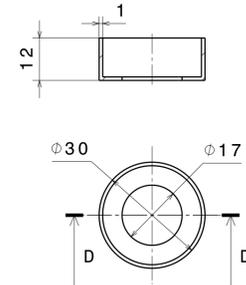
**DETALLE A  
E 8:1  
Rebaje para acople en botella**



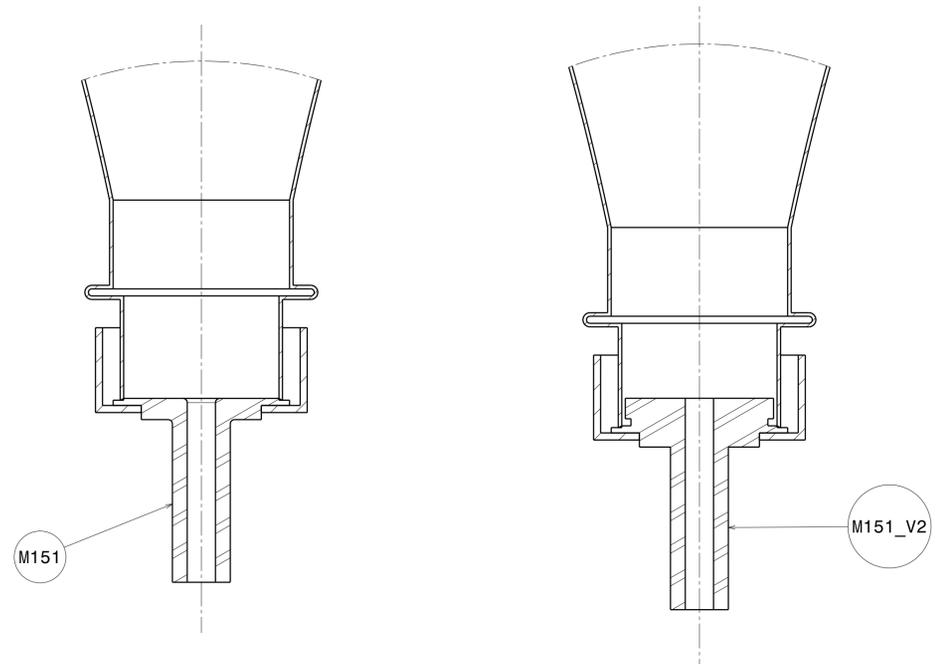
**TAPON COMERCIAL  
E 1:1**



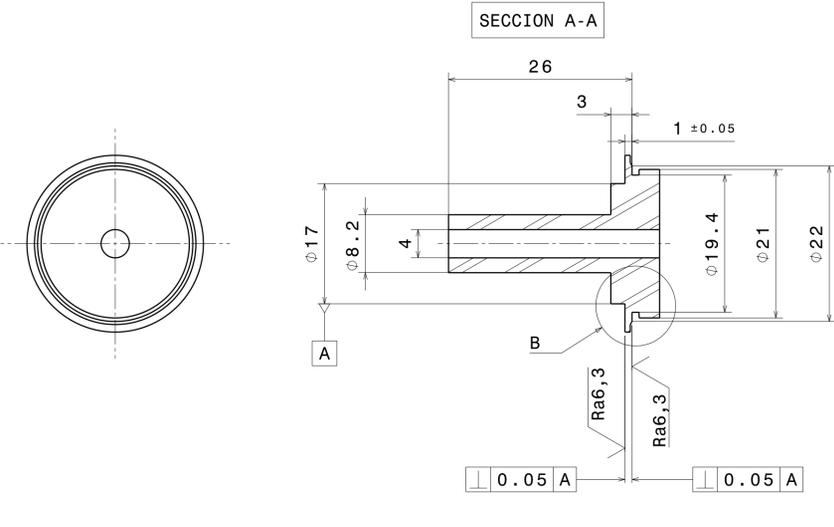
**TAPON COMERCIAL MODIFICADO  
E 1:1**



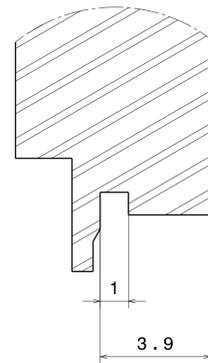
**CONJUNTO COHETE  
E 2:1**



**SEGUNDA VERSION M151  
E 2:1**



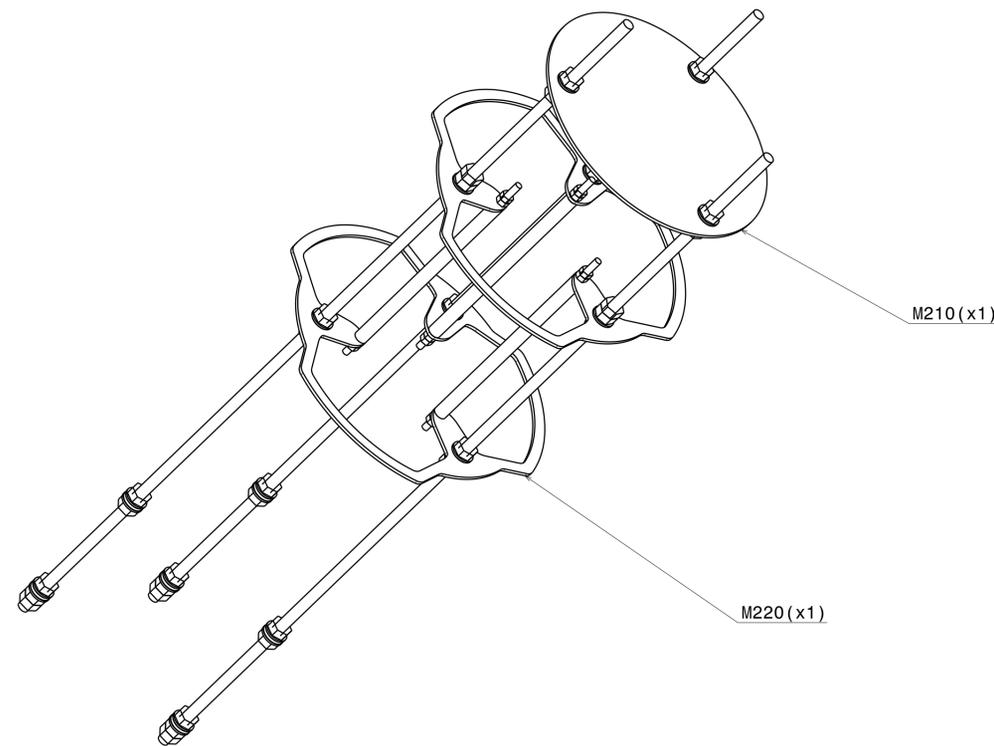
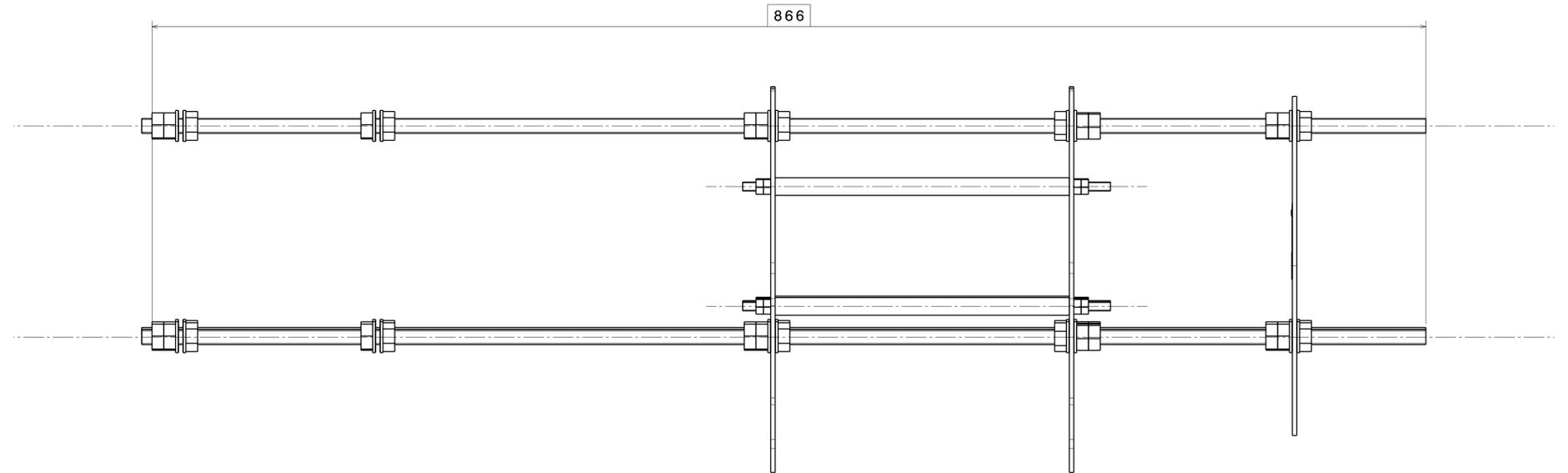
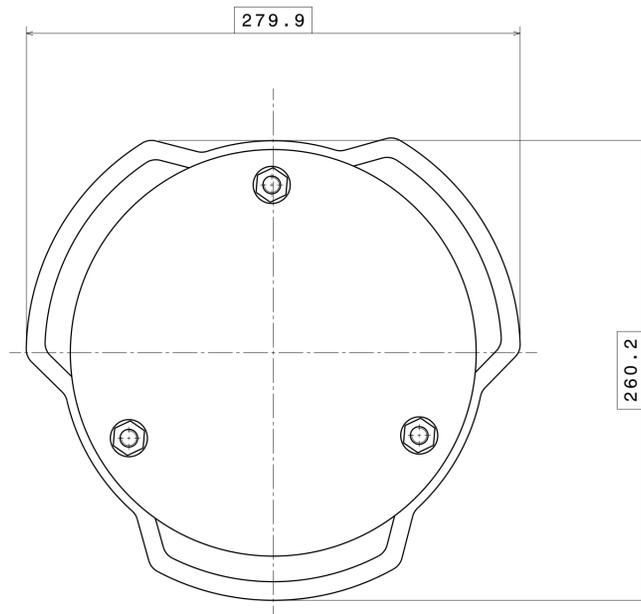
**DETALLE B  
E 8:1**



**NOTA:**

- VERIFICAR COTAS CON TOLERANCIA.
- MATAR ARISTAS VIVAS
- ELEMENTOS SIN INDICACION DE TOLERANCIA PARTICULAR, SEGUN NORMA DIN-7168-mK
- ACABADO SUPERFICIAL  $\nabla 8 / \nabla 7$

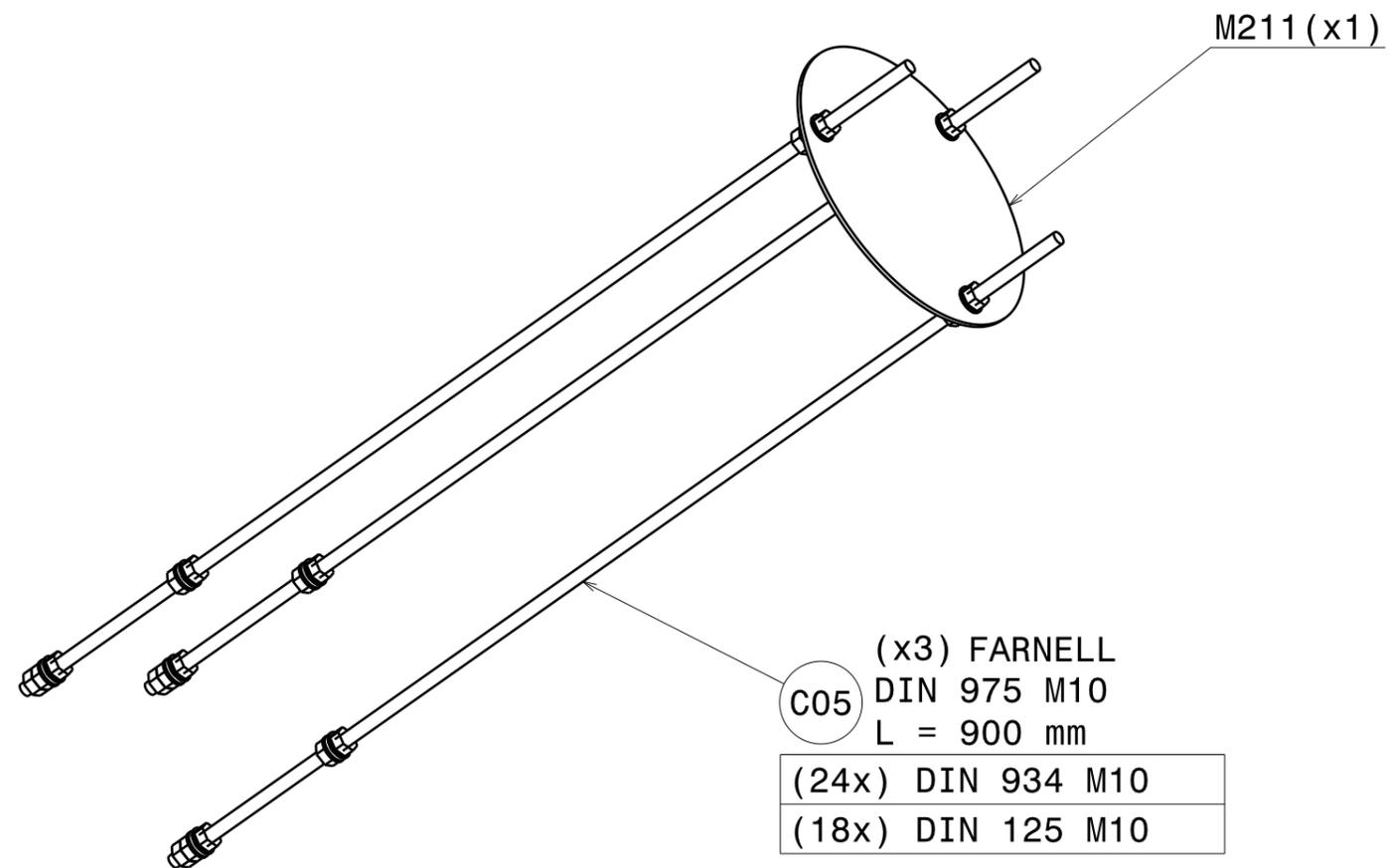
1	EN AW-1050	-	0,003 (Kg)	07/2019	
CANTIDAD	MATERIAL	TRATAMIENTO	MASA	FECHA	
HOJA 1	PROYECTO	LANZADERA COHETE	M000		
DE 1	CONJUNTO	LANZADERA	M100		
A1	SUBCONJUNTO	CONJUNTO COHETE	M150		
E 2:1	PIEZA	-	-		



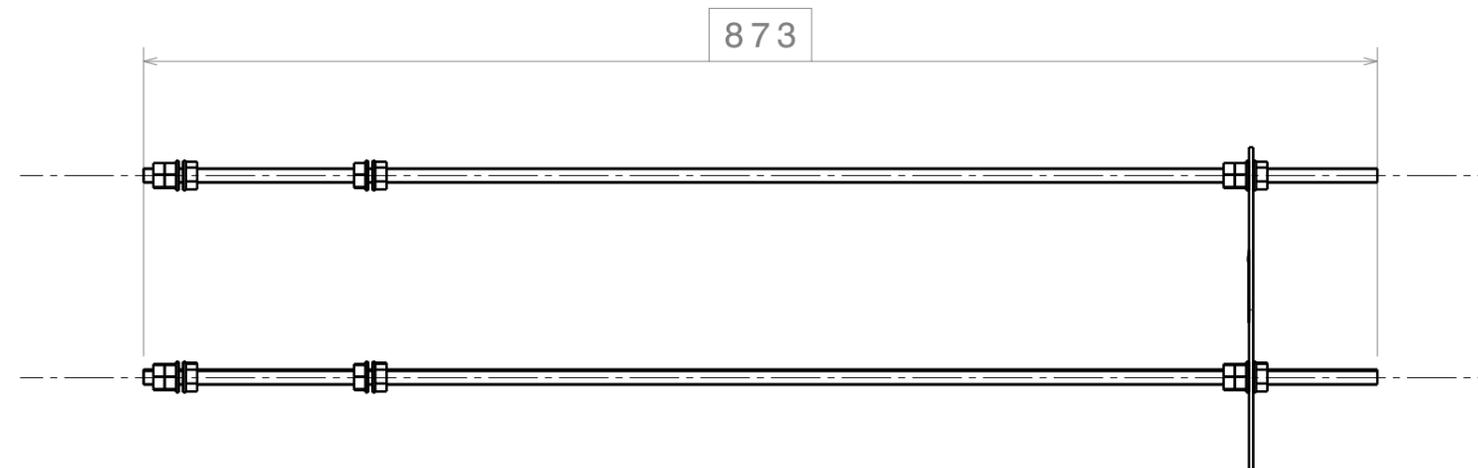
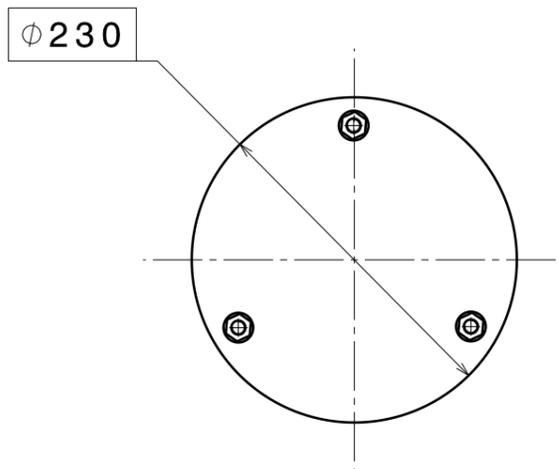
NOTA:

- VERIFICAR COTAS CON TOLERANCIA.
- MATAR ARISTAS VIVAS
- ELEMENTOS SIN INDICACION DE TOLERANCIA PARTICULAR, SEGUN NORMA DIN-7168-mK
- ACABADO SUPERFICIAL  $\nabla_{N8}$  /  $\left( \nabla_{N7} \right)$

1	-	-	4,2 (Kg)	07/2019	
CANTIDAD	MATERIAL	TRATAMIENTO	MASA	FECHA	
1					
TRABAJO FIN DE GRADO INGENIERIA MECANICA UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ANDRES NIÑO DE LA FUENTE		HOJA 1 DE 1	PROYECTO CONJUNTO	LANZADERA COHETE POSICIONADO	M000 M200
		A1	SUBCONJUNTO	-	-
		E 1:1	PIEZA	-	-

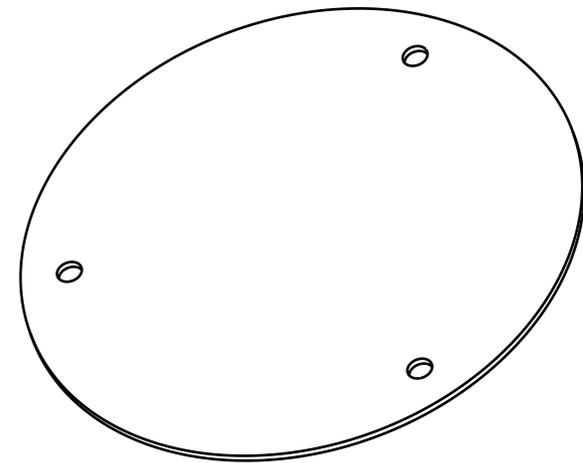
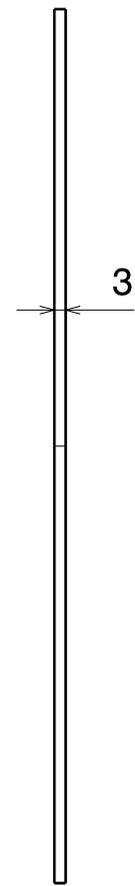
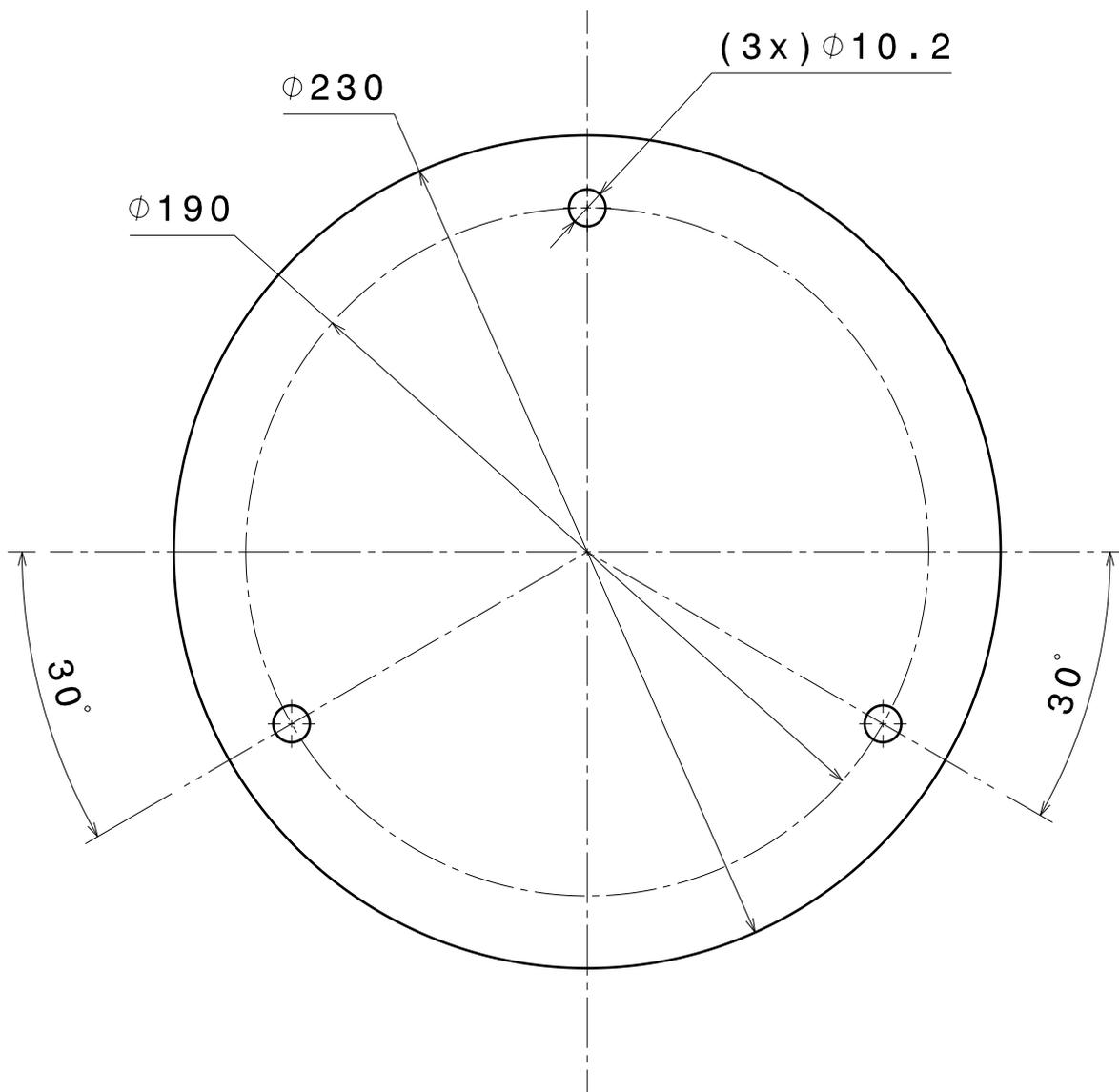


PIEZA M212  
NO REPRESENTADA



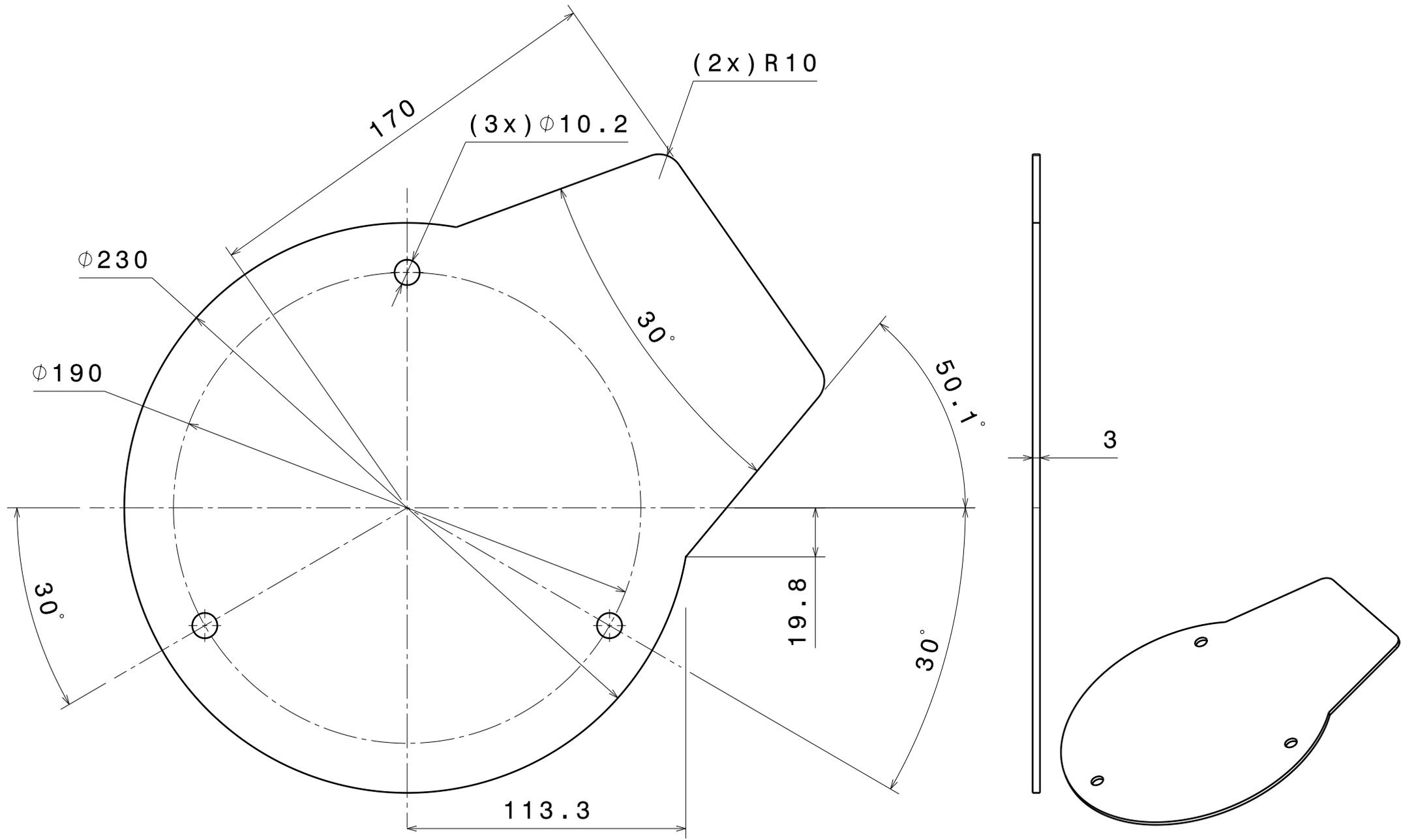
NOTA:  
- VERIFICAR COTAS CON TOLERANCIA.  
- MATAR ARISTAS VIVAS  
- ELEMENTOS SIN INDICACION DE TOLERANCIA PARTICULAR, SEGUN NORMA DIN-7168-mK  
- ACABADO SUPERFICIAL N8 / (N7)

CANTIDAD	MATERIAL	TRATAMIENTO	MASA	FECHA	
1	-	-	2,26 (Kg)	07/2019	
TRABAJO FIN DE GRADO INGENIERIA MECANICA UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ANDRES NIÑO DE LA FUENTE		HOJA 1	PROYECTO	LANZADERA COHETE	M000
		DE 1	CONJUNTO	POSICIONADO	M200
		A3	SUBCONJUNTO	ESTRUCTURA SECUNDARIA	M210
		E 1:1	PIEZA	-	-



NOTA:  
 - VERIFICAR COTAS CON TOLERANCIA.  
 - MATAR ARISTAS VIVAS  
 - ELEMENTOS SIN INDICACION DE TOLERANCIA PARTICULAR, SEGUN NORMA DIN-7168-mK  
 - ACABADO SUPERFICIAL  $\nabla 8 / (\nabla 7)$

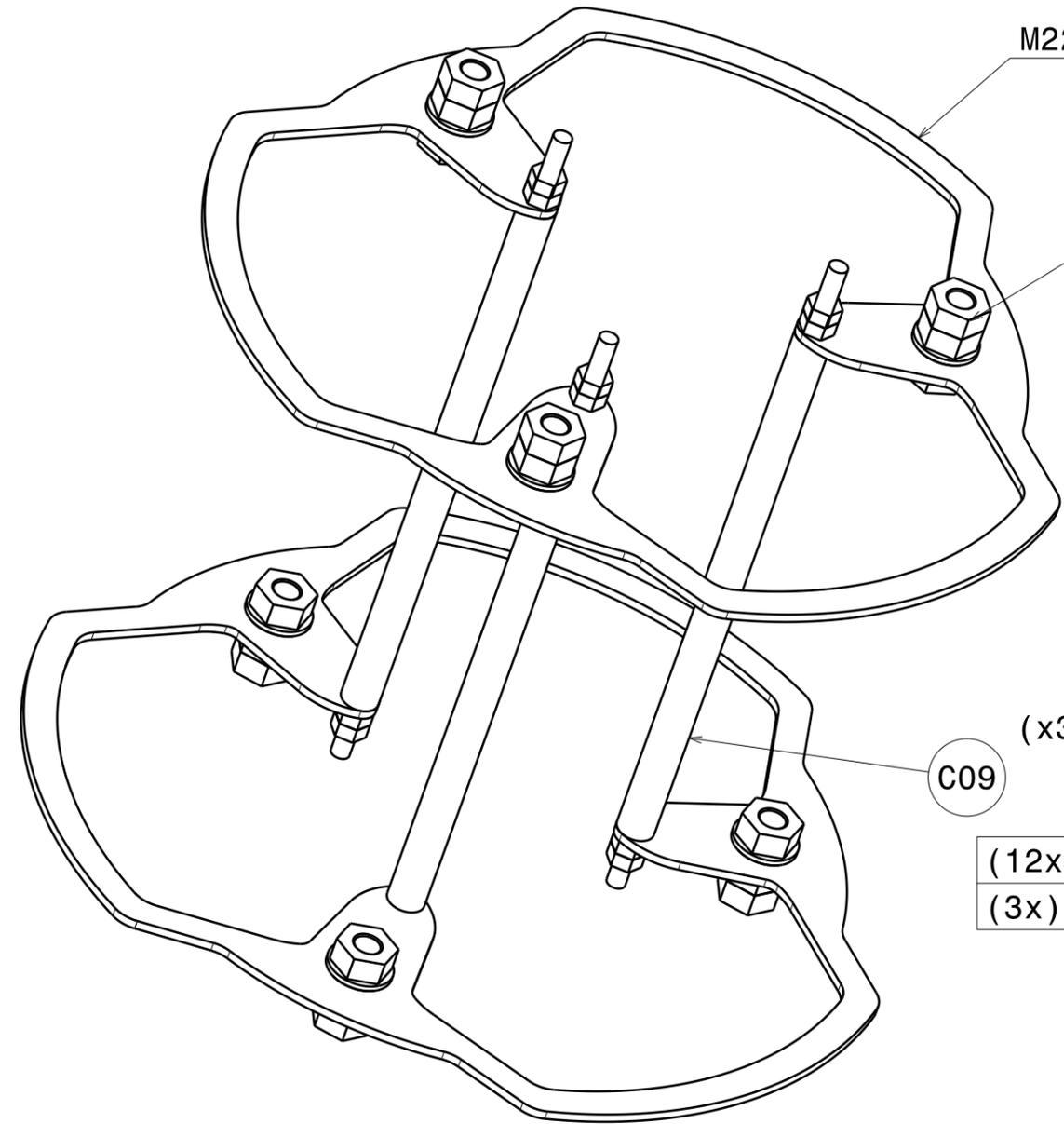
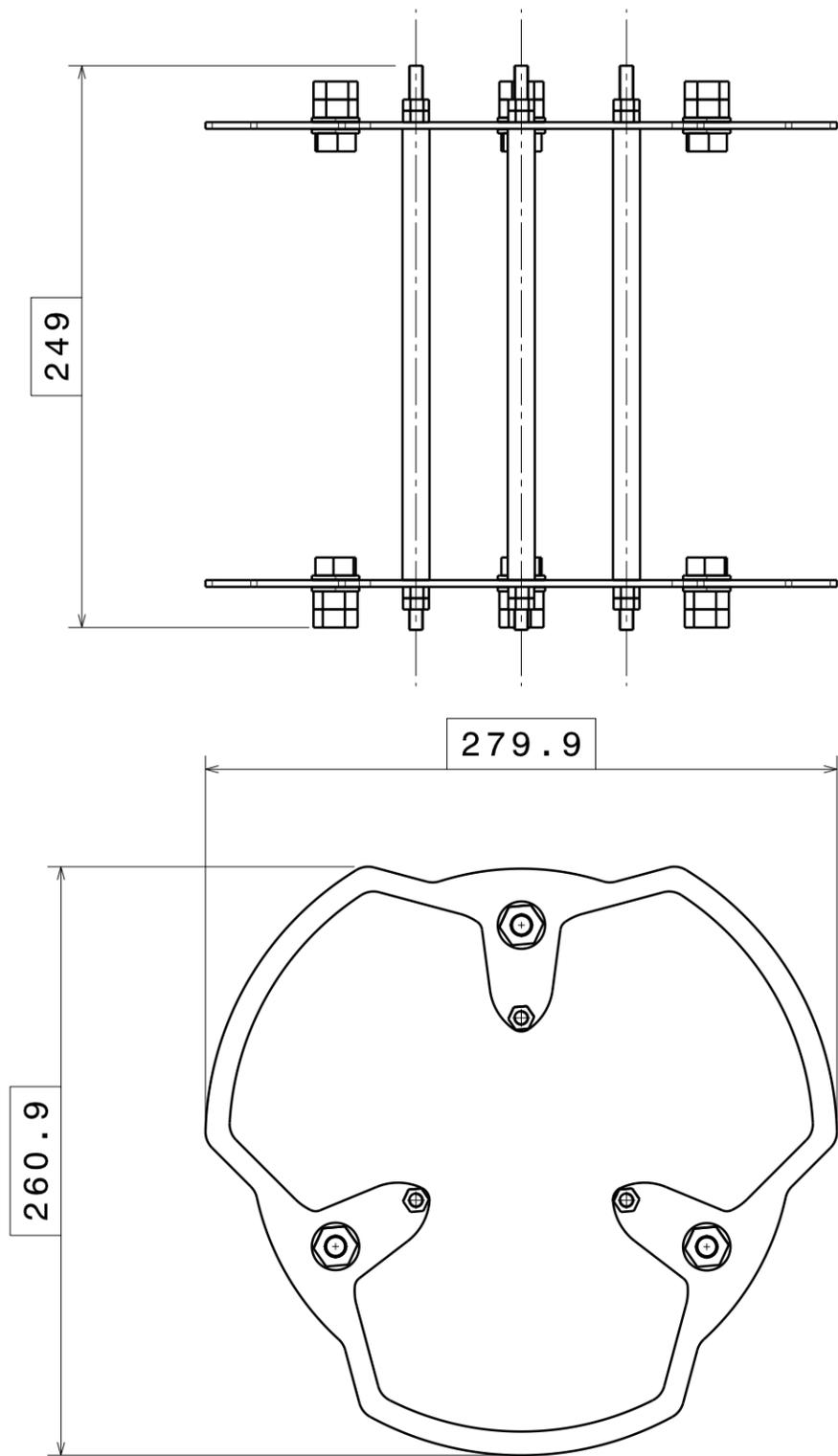
1	AISI 304	-	0,124 (Kg)	07/2019	
CANTIDAD	MATERIAL	TRATAMIENTO	MASA	FECHA	
TRABAJO FIN DE GRADO INGENIERIA MECANICA UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ANDRES NIÑO DE LA FUENTE		HOJA 1	PROYECTO	LANZADERA COHETE	M000
		DE 1	CONJUNTO	POSICIONADO	M200
		A4	SUBCONJUNTO	ESTRUCTURA SECUNDARIA	M210
		E 1:2	PIEZA	PLACA TOPE	M211



NOTA:  
 - VERIFICAR COTAS CON TOLERANCIA.  
 - MATAR ARISTAS VIVAS  
 - ELEMENTOS SIN INDICACION DE TOLERANCIA PARTICULAR, SEGUN NORMA DIN-7168-mK  
 - ACABADO SUPERFICIAL  $\nabla 8 / (\nabla 7)$

1	AISI 304	-	0,15 (Kg)	07/2019	
CANTIDAD	MATERIAL	TRATAMIENTO	MASA	FECHA	
HOJA 1	PROYECTO	LANZADERA COHETE	M000		
DE 1	CONJUNTO	POSICIONADO	M200		
A4	SUBCONJUNTO	ESTRUCTURA SECUNDARIA	M210		
E 1:2	PIEZA	PLACA TOPE CON OREJA	M212		

TRABAJO FIN DE GRADO  
 INGENIERIA MECANICA  
 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID  
 ANDRES NIÑO DE LA FUENTE



M221 (x1)

(18x) DIN 934 M10  
(10x) DIN 125 M10

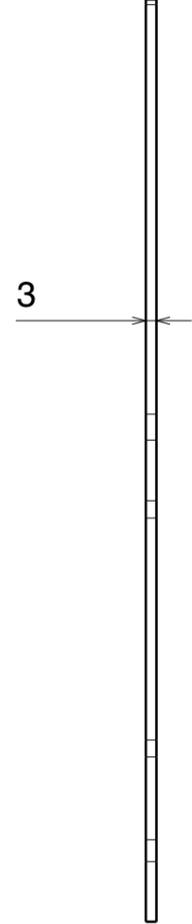
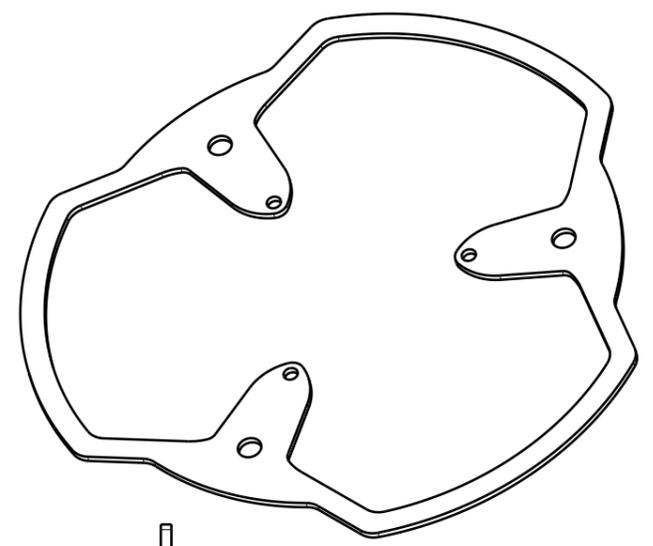
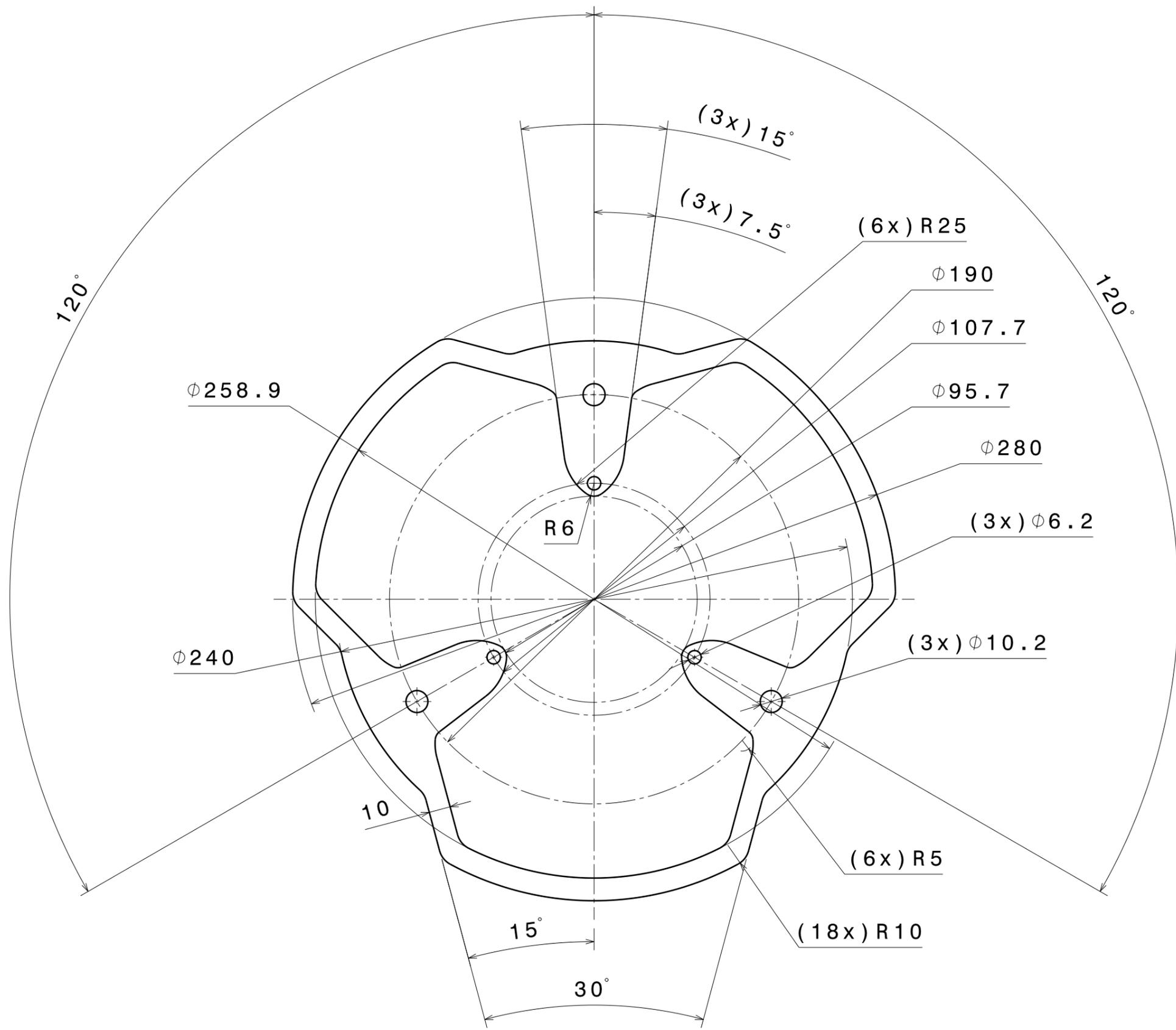
(x3) AZAN SUMINISTROS  
DIN 2441 D12x1  
L = 200 mm

(12x) DIN 934 M6  
(3x) DIN 975 M10

PIEZA M222  
NO REPRESENTADA

NOTA:  
- VERIFICAR COTAS CON TOLERANCIA.  
- MATAR ARISTAS VIVAS  
- ELEMENTOS SIN INDICACION DE TOLERANCIA PARTICULAR, SEGUN NORMA DIN-7168-mK  
- ACABADO SUPERFICIAL N8 / (N7)

1	-	-	1,9 (Kg)	07/2019	
CANTIDAD	MATERIAL	TRATAMIENTO	MASA	FECHA	
HOJA 1	TRABAJO FIN DE GRADO	PROYECTO	LANZADERA COHETE	M000	
DE 1	INGENIERIA MECANICA	CONJUNTO	POSICIONADO	M200	
A3	UNIVERSIDAD DE VALLADOLID	SUBCONJUNTO	SISTEMA GUIADO	M220	
E 1:1	ANDRES NIÑO DE LA FUENTE	PIEZA	-	-	



**NOTA:**  
 - VERIFICAR COTAS CON TOLERANCIA.  
 - MATAR ARISTAS VIVAS  
 - ELEMENTOS SIN INDICACION DE TOLERANCIA PARTICULAR, SEGUN NORMA DIN-7168-mK  
 - ACABADO SUPERFICIAL  $\nabla_{N8}$  /  $\left( \nabla_{N7} \right)$

2	AISI 304	-	0,34 (Kg)	07/2019		
CANTIDAD	MATERIAL	TRATAMIENTO	MASA	FECHA		
TRABAJO FIN DE GRADO INGENIERIA MECANICA UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ANDRES NIÑO DE LA FUENTE			HOJA 1	PROYECTO	LANZADERA COHETE	M000
			DE 1	CONJUNTO	POSICIONADO	M200
			A3	SUBCONJUNTO	SISTEMA GUIADO	M220
			E 1:2	PIEZA	REGULADOR POSICION	M221