



# Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL  
ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL**

### **Grado en Ingeniería Mecánica**

**ALUMNO:** Javier Sánchez-Tembleque Sánchez

**DIRECTORES:** Elena Arce Fariña  
Guillermo Rey González

**CURSO ACADÉMICO:** 2015-2016

Universida<sub>de</sub>Vigo



# Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL  
ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL

**Grado en Ingeniería Mecánica**

Intensificación en Tecnología Naval  
Cuerpo General

Universida<sub>de</sub>Vigo



## **RESUMEN**

La incursión en el deporte de nuevas tecnologías y máquinas está comenzando a modificar la dinámica tradicional de los entrenamientos. Esto induce a implementar nuevos métodos que ayuden a potenciar el desarrollo de los jugadores. En el voleibol, el movimiento con más capacidad de mejora es el remate, debido a la gran complejidad que conlleva su ejecución.

En este Trabajo de Fin de Grado se pretende mejorar el mecanismo de la máquina de Acuspiké, que dispone un balón estático a una altura determinada, con el fin de ser rematado. Para confeccionar su diseño, se analiza exhaustivamente su estructura y funcionamiento. Mediante la utilización de Siemens NX, se desarrolla un mecanismo que permita el giro relativo de las pinzas que sostienen el balón, con el fin de evitar la recolocación de la máquina al querer variar la orientación del remate.

Tras su diseño, se realiza un estudio de su funcionalidad realizando los cálculos pertinentes para ajustar parámetros, tales como el contrapeso, los raíles por los que acceden los balones a las pinzas o la resistencia de la estructura. Finalmente se comienza a fabricar un prototipo de la máquina para transformar los entrenamientos del equipo de voleibol de la Escuela Naval Militar.

## **PALABRAS CLAVE**

Voleibol, entrenamiento, remate, diseño, máquina



## AGRADECIMIENTOS

A mi tutora, Dña. Elena Arce Fariña, por ser un ejemplo de trabajo y esfuerzo, quien me ha ayudado a desarrollar mis ideas, haciéndome pensar y razonar cada paso que se ha dado a lo largo de estos meses. Por su labor como tutora y por su tiempo, habiéndose esforzado al máximo en sacar adelante los otros cinco Trabajos de Fin de Grado de mis compañeros.

A mi tutor, D. Guillermo Rey González por su apoyo en todo lo que he realizado para idear esta máquina. Por rechazar mis malas ideas con ese sentido del humor que le caracteriza y por confiar en que este trabajo saldría adelante. Igualmente, agradecer el tiempo invertido en mí, a pesar de la carga que tiene con sus otros TFG y su apoyo durante los días previos a la entrega de la memoria.

Al CC. Pablo Álvarez Mira de quien partió la idea de este proyecto, por ofrecerme su incesante ayuda, su apoyo y sus ideas. Por hacer posible que este TFG tenga su utilidad, ayudando a coordinar el taller mecánico de la ENM, pudiéndose comenzar la fabricación de la máquina. Por enseñarme a ser mejor persona y mejor militar durante estos años que he estado en su querido equipo de voleibol, el cual podrá disfrutar, si Dios quiere, de esta máquina.

Al AF José Rico López y por aportarme muchas de mis ideas para el diseño, mostrando gran interés en que saliese el trabajo adelante y quien aporta ese toque de humor a la camareta L-3, rompiendo así con la monotonía durante estos dos meses.

Al AF Guillermo Rubiera Quesada, por soportarme, no sólo estos dos meses, sino nuestros 5 años en la ENM, en los que hemos vivido duras etapas, pero en las que hemos disfrutado de infinidad de momentos juntos que hacen que no podamos tratarnos como amigos, sino como hermanos. Espero no tener que vivir más con él... más agobios, como los previos a la entrega de este trabajo.

Especial agradecimiento a D. José Luis Prado, por molestarse tanto en sacar adelante las piezas realizadas con la impresora 3D, para poder incluirlas en la memoria. Pero sobre todo, por el tiempo que ha tenido que invertir en ellas, sin obtener ningún beneficio a cambio.

Por último, agradecer a mi familia, a mis amigos y al resto de mis compañeros que también han estado encima de mí, apoyándome y soportándome.

A todos ellos, gracias.

# CONTENIDO

Contenido .....	1
Índice de Ilustraciones .....	3
Índice de Tablas .....	6
1 Objetivos .....	7
1.1 Objetivos principales .....	7
1.2 Objetivos secundarios .....	7
2 Introducción .....	8
2.1 El remate en voleibol .....	8
2.1.1 El voleibol y su entrenamiento .....	8
2.2 La técnica del remate .....	9
2.2.1 Fases del remate .....	10
2.2.2 Tipos de ejecución .....	12
2.2.3 Trayectorias del remate .....	13
2.3 El voleibol en la Escuela Naval Militar .....	14
3 Estado del arte .....	16
3.1 Las máquinas de entrenamiento de voleibol .....	16
3.2 La máquina de estudio .....	17
3.2.1 El desarrollo de Acuspiké .....	18
3.3 Mejora propuesta .....	20
4 Desarrollo del TFG .....	21
4.1 Dimensiones de la máquina .....	21
4.1.1 IPhotoMEASURE .....	21
4.1.2 Golden Ratio 1.1 .....	22
4.1.3 Metodología .....	23
4.2 Fase de Diseño .....	29
4.2.1 Materiales .....	30
4.2.2 Siemens NX 10 .....	31
4.2.3 Base .....	32
4.2.4 Caja del contrapeso .....	35
4.2.5 Barra fija .....	36
4.2.6 Barra móvil .....	38
4.2.7 Guía superior .....	39
4.2.8 Soporte de raíles .....	41
4.2.9 Raíles .....	42
4.2.10 Cabezal .....	44
4.2.11 Tolva porta-balones .....	59
4.2.1 Elementos comerciales .....	61
5 Cálculos y resultados .....	66
5.1 Sistemas de fuerzas en la máquina .....	66
5.2 Simulación de esfuerzos en la máquina utilizando FEM .....	67
5.2.1 Método de elementos finitos .....	67
5.2.2 MEF aplicado a la máquina para el análisis de solicitaciones .....	69
6 Conclusiones y líneas futuras .....	74
6.1 Conclusiones .....	74

6.1.1 Análisis de resultados .....	74
6.1.2 Cumplimiento de objetivos .....	74
6.2 Líneas futuras.....	75
6.2.1 Diseño y fabricación de la máquina .....	75
Bibliografía .....	78
ANEXO 1: PLANOS .....	80

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1: Objetivos generales	7
Ilustración 2-1: El mintonette (3)	8
Ilustración 2-2: Defensa de campo (5)	9
Ilustración 2-3: Bloqueo (7)	10
Ilustración 2-4: Secuencia del remate (8)	10
Ilustración 2-5: El efecto Magnus (9)	11
Ilustración 2-6: Remate en corta (10)	12
Ilustración 2-7: Remate en semicorta (10)	12
Ilustración 2-8: Remate a línea o paralelo	13
Ilustración 2-9: Remate a la diagonal corta	13
Ilustración 2-10: Remate a la diagonal larga	14
Ilustración 2-11: Pértiga utilizada en el Gimnasio Barrutia de la Escuela Naval Militar	15
Ilustración 3-1: AirCAT Volleyball (11)	16
Ilustración 3-2: Globus Winshot 1000 (15)	17
Ilustración 3-3: Acuspiké (16)	17
Ilustración 3-4: Mecanismo de Acuspiké (17)	18
Ilustración 3-5: Orientación de Acuspiké (18)	20
Ilustración 4-1: IPhotoMEASURE (19)	22
Ilustración 4-2: Golden Ratio 1.1 (16)	22
Ilustración 4-3: Herramientas de Golden Ratio 1.1 (16)	23
Ilustración 4-4: Dimensionamiento de la máquina 1 (16)	23
Ilustración 4-5: Dimensionamiento de la máquina 2	24
Ilustración 4-6: Dimensionamiento de la máquina 3 (16)	24
Ilustración 4-7: Base de Acuspiké (16)	25
Ilustración 4-8: Cabestrante manual y polea	26
Ilustración 4-9: Longitud de barra móvil (23)	27
Ilustración 4-10: Soporte de los raíles (16)	27
Ilustración 4-11: Tolva porta-balones (16)	28
Ilustración 4-12: Mecanismo de las pinzas (16)	29
Ilustración 4-13: Siemens NX 10	31
Ilustración 4-14: Funciones más utilizadas	31
Ilustración 4-15: Tubo transversal de la base	32
Ilustración 4-16: Tubo longitudinal de la base	32
Ilustración 4-17: Primer diseño de la base	33
Ilustración 4-18: Tubo transversal del contrapeso	33
Ilustración 4-19: Tubo longitudinal del contrapeso	33
Ilustración 4-20: Segundo diseño de la base	34
Ilustración 4-21: Perfil en L	34
Ilustración 4-22: Base definitiva	35
Ilustración 4-23: Holgura de la caja del contrapeso	35
Ilustración 4-24: Unión de la caja	36
Ilustración 4-25: Ensamble base-caja	36
Ilustración 4-26: Barra fija	37
Ilustración 4-27: Protector de la polea	37
Ilustración 4-28: Refuerzo de la barra fija	37
Ilustración 4-29: Ensamble hasta barra fija	38
Ilustración 4-30: Guía inferior – Primera opción	38
Ilustración 4-31: Guía inferior – Segunda opción	39
Ilustración 4-32: Ensamble hasta barra móvil	39

Ilustración 4-33: Guía superior	40
Ilustración 4-34: Cara superior – Segunda opción	40
Ilustración 4-35: Ensamble hasta barra móvil con guía superior	41
Ilustración 4-36: Soporte de raíles - Primera opción	41
Ilustración 4-37: Tubo de encaje - Segunda opción	42
Ilustración 4-38: Soporte de raíles definitiva	42
Ilustración 4-39: Distancia mínima entre raíles	43
Ilustración 4-40: Distancia máxima entre raíles	43
Ilustración 4-41: Distancia definitiva entre raíles	44
Ilustración 4-42: Ensamble hasta raíles	44
Ilustración 4-43: Cabezal de Acuspiké	45
Ilustración 4-44: Posiciones del mecanismo de dosificación de Acuspiké	46
Ilustración 4-45: Modelo de disco-raíl	46
Ilustración 4-46: Disco fijo semiabierto	47
Ilustración 4-47: Disco móvil	47
Ilustración 4-48: Pinza móvil	48
Ilustración 4-49: Cabezal con pinzas	48
Ilustración 4-50: Retén de extremo curvo	48
Ilustración 4-51: Ensamble de cabezal	49
Ilustración 4-52: Primer modelo del retén	49
Ilustración 4-53: Segundo modelo del retén	50
Ilustración 4-54: NODOSAFER, S.L.	50
Ilustración 4-55: Rodamiento de NODOSAFER	51
Ilustración 4-56: Segundo modelo de cabezal	51
Ilustración 4-57: Disco móvil	52
Ilustración 4-58: Retén	52
Ilustración 4-59: Pasador del retén	53
Ilustración 4-60: Retén abierto	53
Ilustración 4-61: Retén cerrado	54
Ilustración 4-62: Disco fijo definitivo	54
Ilustración 4-63: Cabezal sin pinzas	55
Ilustración 4-64: Inclinación de las pinzas	56
Ilustración 4-65: Modelo de pinza	56
Ilustración 4-66: Conjunto del cabezal	57
Ilustración 4-67: Datos del retén	57
Ilustración 4-68: Cálculo del contrapeso	58
Ilustración 4-69: Ensamble hasta cabezal	59
Ilustración 4-70: Barras de la tolva porta-balones	59
Ilustración 4-71: Cálculos de las barras de la tolva porta-balones	60
Ilustración 4-72: Ensamble completo	60
Ilustración 4-73: Ruedas delanteras (27)	62
Ilustración 4-74: Ruedas traseras (28)	63
Ilustración 4-75: Cabestrante manual (29)	63
Ilustración 4-76: Cable utilizado en cabestrante manual (31)	64
Ilustración 4-77: Polea escogida (33)	64
Ilustración 4-78: Protector definitivo de la polea	65
Ilustración 5-1: Cálculo del centro de masas en la base	66
Ilustración 5-2: Cálculo de momentos de la estructura	67
Ilustración 5-3: Dominio discreto (38)	68
Ilustración 5-4: Tamaño de malla (39)	68
Ilustración 5-5: Fases de la simulación	69
Ilustración 5-6: Modelo de simulación	70

Ilustración 5-7: Mallado 2D	70
Ilustración 5-8: Refinado de malla	71
Ilustración 5-9: Shell de 10mm	71
Ilustración 5-10: Restricción fija	72
Ilustración 5-11: Aplicación de fuerzas en los extremos	72
Ilustración 5-12: Resultado de simulación	73
Ilustración 6-1: Base fabricada en el taller mecánico de la ENM	75
Ilustración 6-2: División del disco fijo para impresión 3D	76
Ilustración 6-3: Impresora 3D trabajando dos piezas	77
Ilustración 6-4: Primera muestra de pieza impresa	77

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1: Patentes citadas por Acuspiké .....	19
Tabla 4-1: Cálculo de pesos de la máquina.....	62

# 1 OBJETIVOS

## 1.1 Objetivos principales

Este trabajo se ha desarrollado bajo una serie de objetivos, establecidos al comienzo del mismo:

- Dimensionar la estructura de la máquina de Acuspiké haciendo uso de un software de medición de imágenes.
- Diseñar un mecanismo que permita el giro relativo de las pinzas de la máquina, manteniendo las funciones a las que se destina la máquina original.
- Realizar los cálculos y simulaciones relativas a esfuerzos, a partir de Siemens NX.



**Ilustración 1-1: Objetivos generales**

## 1.2 Objetivos secundarios

Los objetivos secundarios se tratan de aquellos que se han establecido más allá de las exigencias de este trabajo:

- Adquirir los materiales de manera económica.
- Realizar la validación haciendo uso de un prototipo que pueda simular el comportamiento del mecanismo diseñado.
- Construir y fabricar la máquina a partir del dimensionamiento, diseño y pruebas de un prototipo, previamente realizados.

## 2 INTRODUCCIÓN

### 2.1 El remate en voleibol

#### 2.1.1 El voleibol y su entrenamiento

El voleibol tiene su origen en febrero de 1895 por William G. Morgan en la ciudad de Holyoke en Massachussets, Estados Unidos, bajo el nombre de mintonette (Ilustración 2-1). El juego consistía en hacer botar el balón en el campo contrario, el cual se encontraba separado del propio por una red de bádminton de 1,98m. En el mintonette no existía restricción del número de jugadores y tampoco por el número de golpes del balón. Fue evolucionando y creciendo gradualmente como deporte desde principios del siglo XX, tanto en el reglamento como en la técnica de juego (1). Tanto es así que aparece como deporte demostración en los Juegos Olímpicos de París en 1924, aunque no se convierte en especialidad olímpica hasta cuarenta años más tarde en los Juegos Olímpicos de Tokio (2).



Ilustración 2-1: El mintonette (3)

Durante sus primeros años, el proceso de formación de jugadores se basaba en el juego, como único medio de entrenamiento. Por tanto, el nivel de cada jugador aumentaba con cada encuentro realizado, tanto en entrenamientos, como en competición (2).

El éxito y la gran aceptación popular del voleibol provocaron la búsqueda de la mejora técnica durante los años venideros produciendo, así, un gran impulso en la investigación y el desarrollo de diferentes formas de perfeccionarla.

Como en la mayoría de deportes, la mejora técnica consiste en la repetición de una acción con el objetivo de automatizar los movimientos del cuerpo. No obstante, no existen ejercicios universales para el entrenamiento del voleibol, sino que existen grandes diferencias entre los realizados por jugadores novatos y expertos, debido a las diferencias técnicas y capacidades de unos y otros. Para los primeros se tratará de repetir movimientos técnicos básicos como el remate, el pase o “toque de dedos”, el saque o servicio, el bloqueo y la recepción de balón. Para los más avanzados es similar en cuanto a la repetición de acciones pero la diferencia principal reside en que la acción será la aproximación a situaciones de juego (2).

Los entrenamientos se divide en cuatro fases diferenciadas (2):

**1) Conocimiento del procedimiento y de las acciones durante el aprendizaje:** El entrenador realiza una demostración explicativa para que el alumno visualice el procedimiento del movimiento y posteriormente ejecuta la acción de manera independiente recibiendo su pertinente explicación, ya sea de forma pausada o a ritmo de juego.

**2) Enseñanza de técnicas en condiciones simplificadas:** Se busca la asimilación de la estructura de los hábitos motores durante la ejecución de las sucesivas acciones en el correspondiente movimiento. En esta fase son de gran ayuda las máquinas de entrenamiento para la realización de ejercicios simples.

**3) Enseñanza de técnicas en condiciones de dificultad aumentada:** Se efectúan en diferentes condiciones una gran variedad de acciones para buscar la automatización de los movimientos. Un ejemplo claro en el caso del remate es realizarlo en distintos puntos a lo largo de la red.

**4) Fortalecimiento del hábito en condiciones cercanas a las del juego:** En esta última fase se pretende dominar el proceso de juego. Se realizan posibles transiciones de juego ofensivo y defensivo, tales como el remate de un jugador mientras otros saltan al otro lado de la red para bloquearlo.

## 2.2 La técnica del remate

El remate es la técnica de carácter ofensivo más importante en el voleibol puesto que se trata de la culminación de la jugada de ataque. Posiblemente, sea la técnica más compleja desde el punto de vista de la ejecución ya que combina carrera, salto y golpeo. Además, la dificultad no reside únicamente en realizarlo de la manera adecuada, sino que el jugador debe ser capaz de superar los diferentes obstáculos a los que se enfrenta, tales como la red, el bloqueo o la defensa de campo (Ilustración 2-2), compuesta por aquellos jugadores en campo contrario susceptibles de recibir el balón, evitando que bote en el suelo (4).

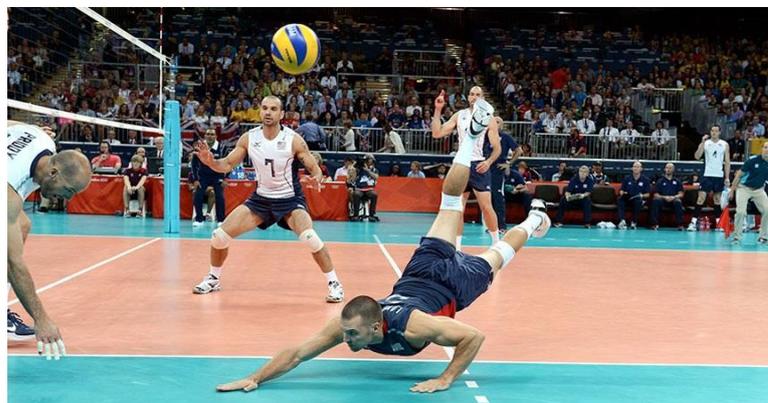


Ilustración 2-2: Defensa de campo (5)

Asimismo, cuando tiene lugar un remate no implica necesariamente que sea un único jugador quien tome parte en la finalización de la jugada. De hecho, el equipo debe apoyar al rematador para que, en caso de que el equipo contrario forme un bloqueo (Ilustración 2-3) e impida que pase el balón al otro lado de la red, se pueda recomenzar una nueva jugada al evitar que el balón bote en campo

propio. Si llegado el caso, tras impactar en el bloqueo, el balón bota fuera del campo, se produce el llamado “block-out” siendo el equipo rematador el vencedor del punto (6).



**Ilustración 2-3: Bloqueo (7)**

La acción de remate implica, por tanto, la participación de todo el equipo y no únicamente del jugador, de ahí la importancia que tiene su entrenamiento tanto individualmente de forma técnica como conjuntamente con la táctica de equipo.

Además, la técnica de remate es considerada por muchos como la que más capacidad de progresión posee en este deporte puesto que no consiste únicamente en golpear el balón sino que consta de diversos pasos.

### *2.2.1 Fases del remate*

Los objetivos principales que contempla la cadena cinética del remate son dos: conseguir la máxima altura de golpeo y la máxima velocidad de salida del balón al golpearlo.



**Ilustración 2-4: Secuencia del remate (8)**

Para llevar a cabo la secuencia del remate (Ilustración 2-4) se ejecuta los siguientes pasos (4):

**1) Carrera de aproximación:** Se realiza de forma oblicua, efectuando el ataque por el lado de la red contrario al brazo ejecutor; o recta, atacando por el lado del brazo que golpea. Se recorren entre tres y cuatro metros realizando tres pasos y finalizando con el pie contrario al brazo rematador.

**2) Batida:** Es el punto de inicio de la transformación de la energía cinética de la carrera en la energía potencial del salto. Ha de hacerse en dos tiempos enlazando el anterior paso: El primero al apoyar el mismo pie que el brazo ejecutor y el segundo colocando el pie contrario adelantado respecto al anterior y orientado hacia dentro para frenar por completo la carrera. A su vez durante el primer apoyo se produce la máxima flexión de piernas y tronco mientras los brazos se proyectan hacia detrás extendidos.

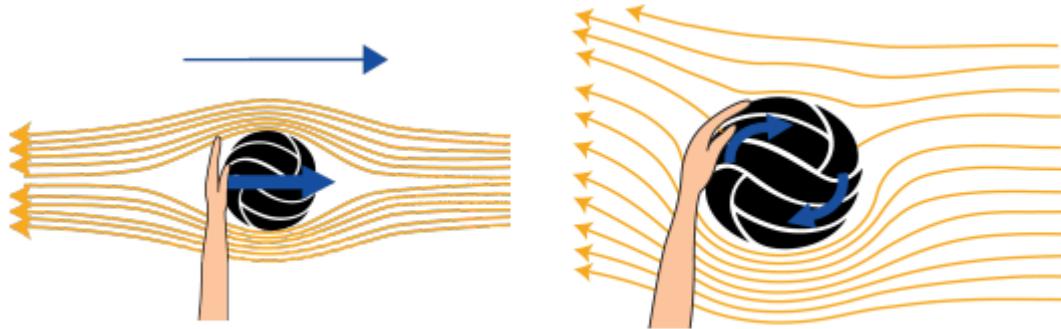
**3) Salto:** Supone el inicio del despegue de los pies al impulsar el cuerpo con las piernas. Busca además el aprovechamiento del impulso de los brazos, que realizan un movimiento pendular y enérgico desde la posición descrita anteriormente hacia delante para elevarlos y disponerlos para el

remate. El brazo ejecutor flexiona hasta la altura del hombro preparándose para descargar la fuerza sobre el balón, mientras que el otro permanece extendido ayudando al equilibrado del cuerpo y manteniendo el centro de gravedad sobre el eje del mismo.

**4) Golpeo:** Es el momento en el que se proyecta el brazo ejecutor hacia el balón deshaciendo la posición previa. Para su mayor aprovechamiento, el balón debe interceptarse en el punto más alto de la trayectoria descrita por el brazo. El brazo contrario realiza un movimiento descendente coordinado con el anterior de acuerdo con su función de compensación del cuerpo. A su vez, la cadera acompaña este movimiento flexionando el cuerpo hacia adelante para aumentar la potencia de remate. se ayuda a conducir el balón a su máxima velocidad tras el remate.

Para que el balón sea capaz de alcanzar su máxima velocidad, hay que tener también en cuenta la rigidez de la mano y la dureza del balón. Si se realiza con la palma de la mano abierta y los dedos separados, se produce una pérdida de energía notable, que no sucede si los dedos se encuentran juntos y la mano describe la forma del balón. La dureza del balón, sin embargo, la determina la presión de inflado, la cual permanece entre los márgenes establecidos por la Federación Internacional de Voleibol (FIVB), comprendida entre 0.30 y 0.325 kg/cm<sup>2</sup> (8).

Si el remate se realiza por encima del eje horizontal del balón acompañándolo a su vez por una ligera flexión de muñeca, se conseguirá imprimirle un giro provocando diferencias de presión debidas al rozamiento entre el balón y las distintas capas del aire por las que se desplaza, produciéndose el denominado efecto Magnus (8), mostrado en la Ilustración 2-5:



**Ilustración 2-5: El efecto Magnus (9)**

Al rematar de esta manera, la rotación del balón genera un incremento de presión en su parte superior debido a que el movimiento se opone a la resistencia que ofrece el aire a su desplazamiento. En la parte inferior ocurre lo contrario ya que el movimiento de rotación y dicha resistencia son en el mismo sentido, generando una reducción de presión.

Estas diferencias de presión hacen que el balón altere su movimiento parabólico desplazándose hacia la zona de menor presión, es decir, hacia abajo. Además, este efecto se acusará más cuanto mayor sea el desplazamiento y giro del balón.

En la parte superior del balón, la rotación hace que su movimiento se oponga al rozamiento con las líneas de aire generando un incremento de presión. Por el contrario, en la parte inferior la fricción con las líneas de aire y la rotación del balón se producen en el mismo sentido provocando una disminución de presión. El resultado de las diferencias de presión entre la parte superior e inferior del balón es que éste se desplace hacia la zona de menor presión lo que implica que el balón botará antes al suelo (8).

**5) Caída:** Debe ser relajada, elástica y amortiguada para evitar la sobrecarga de las articulaciones. Para ello, el primer contacto se realiza con las puntas seguidas de las plantas de los pies y, con las piernas separadas, las rodillas flexionan para finalizar en una postura muy próxima a la del salto (4).

Para conseguir mejorar esta técnica es necesario un entrenamiento constante con el objetivo de automatizar los movimientos previos y posteriores a la acción. Esto se puede llevar a cabo con la ayuda de segundas personas, mediante la colocación del balón, o de manera autónoma con la utilización de máquinas o mecanismos destinados a ello.

### 2.2.2 Tipos de ejecución

El remate se puede realizar de distintas formas según decida el equipo y se desarrolle la jugada. Por tanto, cuenta con diferentes variantes dentro de una misma acción combinando la técnica, habilidad y coordinación del colocador, realizador del pase, y el rematador (10). Se distinguen los siguientes tipos de ejecución del remate:

- **Remate alto:** Se trata de un remate de gran sencillez puesto que el balón describe una parábola lo suficientemente alargada para que, al llegar a su punto más alto, el jugador pueda comenzar la aproximación para rematarlo, tras deducir y calcular su descenso. La gran desventaja de este remate es que el equipo rival tiene tiempo suficiente para formar un bloqueo junto a la red para defender el remate (10).
- **Remate en corta:** Es un remate que pretende sorprender al contrario. El balón es golpeado en su carrera ascendente complicándole a la defensa contraria saltar a tiempo para armar un bloqueo (10) (Ilustración 2-6).

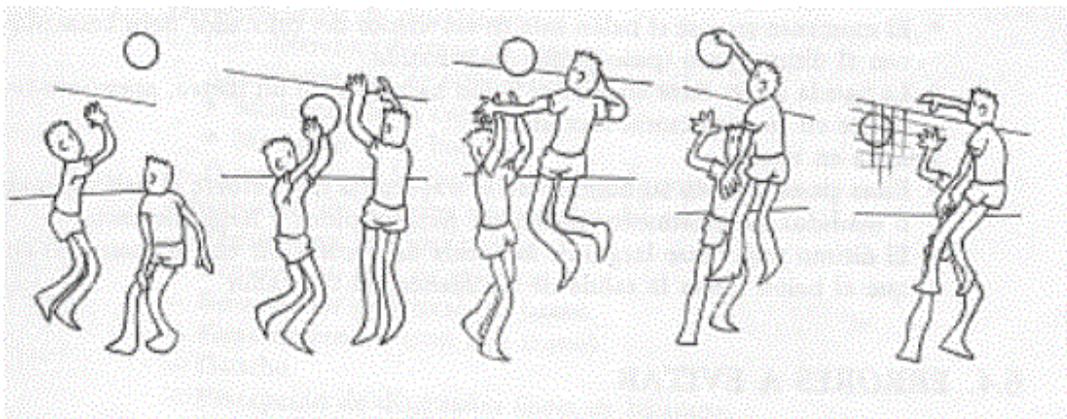


Ilustración 2-6: Remate en corta (10)

- **Remate en semicorta:** Es el remate intermedio entre los dos anteriores de manera que se golpea el balón durante la carrera descendente aunque no describe una parábola tan pronunciada (10) (Ilustración 2-7).

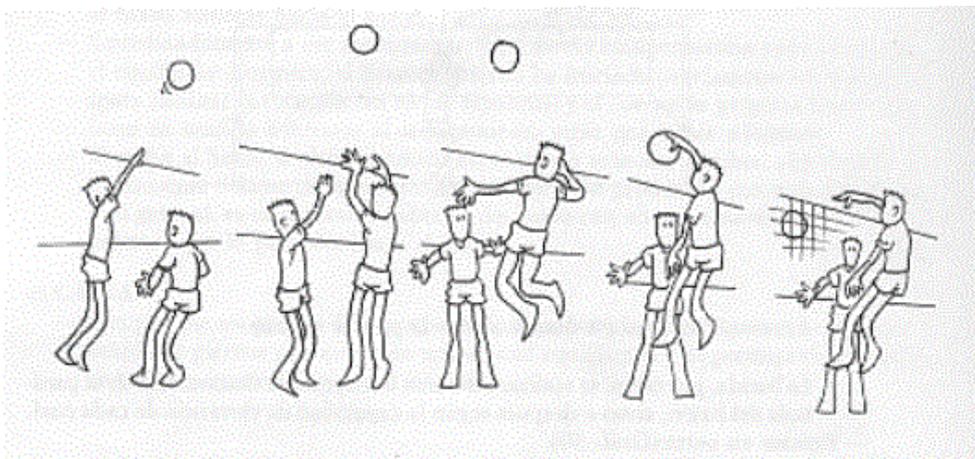


Ilustración 2-7: Remate en semicorta (10)

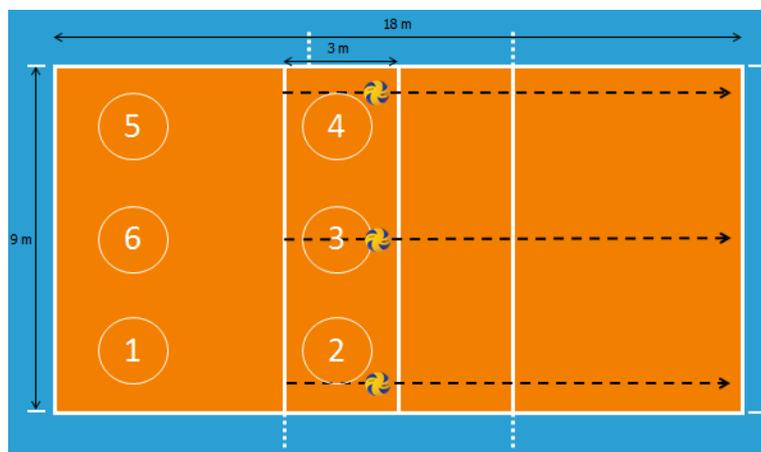
- **Remate en tensa:** Su nombre proviene del mismo que el tipo de pase que se realiza. Se trata de un pase muy rápido y a mayor distancia. La parábola descrita por el balón es, por tanto, muy poco acentuada y más horizontal que en los casos anteriores (10).

### 2.2.3 Trayectorias del remate

Como se ha explicado anteriormente, la finalidad del remate es que el balón bote en campo contrario para así anotar un punto. Sin embargo, el bloqueo del oponente puede errar las intenciones del rematador. Por ello, debe ser capaz de realizar la acción hacia determinados puntos del campo contrario, bien para evitar el bloqueo, o bien para sobrepasar la defensa de campo, consiguiendo que el balón bote en campo contrario. Además, debe ser lo suficientemente hábil y rápido para decidir a donde rematar en los últimos instantes previos a la acción puesto que la posible formación del bloqueo contrario podría imposibilitar el remate buscado.

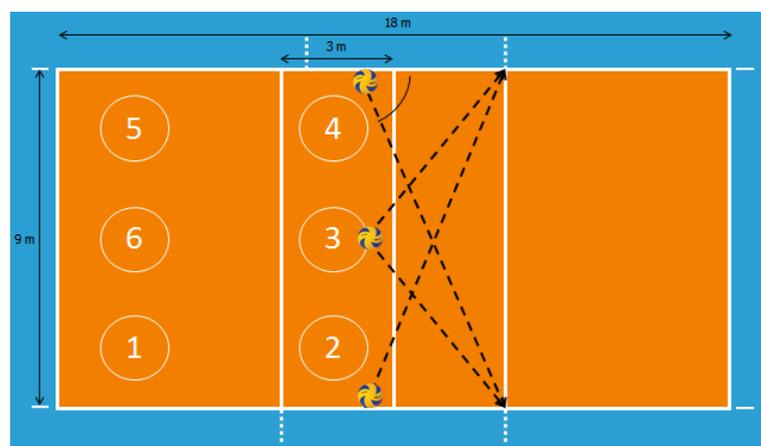
Se definen así las distintas trayectorias que puede seguir el remate:

- **Remate a línea o paralelo:** Se realiza de manera frontal, perpendicularmente a la red (Ilustración 2-8).



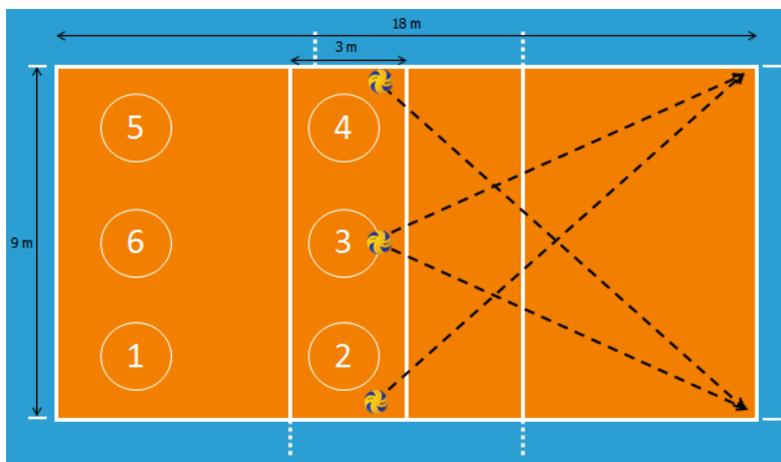
**Ilustración 2-8: Remate a línea o paralelo**

- **Remate a la diagonal corta:** Para realizar un remate a la diagonal corta se debe ejecutar de manera que el balón describa una trayectoria oblicua respecto al plano de la red. La aproximación para rematar de esta manera suele ser en la misma dirección que la trayectoria a describir por el balón. Aun así jugadores más expertos son capaces de dirigir el remate independientemente de por dónde se aproximen (Ilustración 2-9).



**Ilustración 2-9: Remate a la diagonal corta**

- **Remate a la diagonal larga:** Se trata del remate más común realizado en voleibol, puesto que la distancia horizontal que puede recorrer el balón es mayor que en los dos casos anteriores (Ilustración 2-10).



**Ilustración 2-10: Remate a la diagonal larga**

## 2.3 El voleibol en la Escuela Naval Militar

La idea de introducir deportes de equipo dentro del horario lectivo de los alumnos de la ENM posee distintas finalidades como el fomento de valores, destacando el espíritu de equipo, el afán de superación, la búsqueda de la mejora continua, o la realización de actividades deportivas que aporten al alumno una mejora física y mental de cara a su profesión.

Esta institución cuenta con un equipo de voleibol compuesto por alrededor de veinte alumnos, sin formación federativa previa, que se renueva cada año. El equipo lleva a cabo los miércoles una sesión de cincuenta minutos por la mañana y otra de dos horas por la tarde, un tiempo muy limitado para la consecución de los objetivos del equipo. Además, la exigencia académica procedente del nuevo Plan de Estudios vigente en la Escuela Naval, combinando la formación militar con el estudio del grado de ingeniería mecánica, compromete el tiempo que el alumno puede invertir para mejorar la técnica individual. Debido a ello, no suelen acudir más que una pequeña parte del equipo a los entrenamientos de los miércoles por la tarde, impidiendo que se pueda desarrollar de forma efectiva la coordinación y la táctica en el campo del equipo.

La búsqueda del perfeccionamiento de las habilidades de los jugadores se lleva a cabo gracias al material que provee el Departamento de Deportes entrenando en el pabellón del Gimnasio Barrutia bajo la tutela del CC. Álvarez Mira.

Durante las sesiones de entrenamiento, para la mejora del remate y cuando interviene más de un jugador, uno de ellos se sitúa próximo a la red para colocar los balones a los rematadores que se encuentran a una distancia suficiente de ella para comenzar la aproximación al remate.

Con el objetivo de realizar el entrenamiento de manera autónoma se utiliza una pértiga (Ilustración 2-11) que se sostiene atada por un extremo a un banco de arbitraje mediante un cabo. Este, a su vez, y recorriendo longitudinalmente la pértiga, pasa por una polea situada en otro extremo de la pértiga para mantener suspendido un balón que se encuentra en el interior de una bolsa.



**Ilustración 2-11: Pértiga utilizada en el Gimnasio Barrutia de la Escuela Naval Militar**

Las limitaciones que posee este método son:

- 1) La imposibilidad de entrenar otros movimientos simultáneamente, como el bloqueo.
- 2) La falta de continuidad de una posible jugada defensiva tras el remate.
- 3) El desconocimiento de si la trayectoria tras el remate es la deseada por el rematador de si el balón botaría dentro o fuera del campo.
- 4) Si el remate se realiza con fuerza la estructura se desplaza hacia delante.
- 5) El enredo de la cuerda alrededor de la pértiga tras rematar el balón.
- 6) La posible rotura de la bolsa por los sucesivos golpes recibidos de los jugadores.
- 7) La complejidad para ajustar la altura del remate.
- 8) La pérdida de tiempo para corregir o subsanar los puntos 5, 6 y 7.

Se plantea así, adquirir una máquina que permita modificar el entrenamiento, aprovechando el poco tiempo que el equipo puede emplear para practicar este deporte. No obstante, no se contempla invertir una suma importante de dinero por lo que se propone la posibilidad de fabricar un aparato en la Escuela Naval que cumpla las condiciones exigidas, aprovechando la formación académica de los AAFF y AAAA.

## 3 ESTADO DEL ARTE

### 3.1 Las máquinas de entrenamiento de voleibol

Desde finales del siglo XX hasta nuestros días, el desarrollo de nuevas máquinas autónomas de entrenamiento de voleibol ha ido creciendo exponencialmente. Éstas llegan a aportar una enorme comodidad y gran flexibilidad a los entrenamientos, ayudando a aumentar el rendimiento de los jugadores y a mejorar su técnica.

La máquina *AirCAT Volleyball* (Ilustración 3-1) es seguramente la mejor ayuda para el entrenamiento del voleibol. Esta máquina es capaz de suministrar balones con gran precisión, propulsándolos, ya sea a modo de saque, colocación o como un simple ataque. Puede ser controlada manualmente, con control remoto o de forma automática (11). Se trata de la máquina neumática más conocida que, pretendida por muchos, no se encuentra al alcance de cualquiera debido a que su precio es de 3,599,99\$ (12), es decir, 3298,25€ (13). La mayor limitación que posee este modelo es la imposibilidad de simular un remate para el entrenamiento de bloqueo o defensa de campo.



Ilustración 3-1: AirCAT Volleyball (11)

La *Globus Winshot* (Ilustración 3-2) desarrollada por la compañía Globus Italia, Srl (14). Se trata de una máquina electromecánica provista de dos cilindros rotativos que propulsan el balón en un rango de 5 a 140km/h. Se pueden adquirir los modelos Winshot 500, 800, 1000 y 1500, en orden creciente de requerimientos técnicos. Este aparato permite la simulación de saques, colocaciones o, si lo situamos

por encima de la red, remates realizados a la diagonal corta, larga, o directamente en paralelo. Todo ello proporciona una gran variedad de ejercicios para el entrenamiento permitiendo la mejora de prácticamente todos los campos técnicos del voleibol. No obstante, el desgaste de los balones se considera mayor que el AirCAT, puesto que ejerce presión sobre los balones para propulsarlos, desgastando su superficie, algo que no ocurre al realizarlo neumáticamente.



Ilustración 3-2: Globus Winshot 1000 (15)

### 3.2 La máquina de estudio

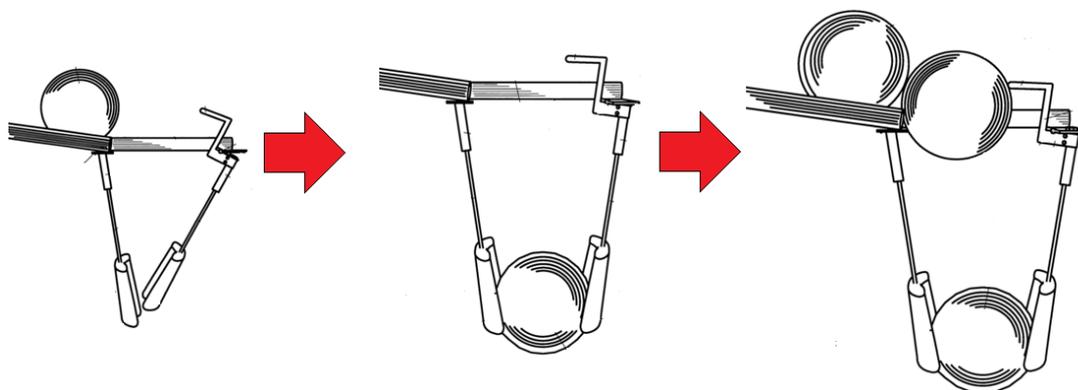
Acuspik es la máquina de dosificación de balones de *Acu-Pac, Inc.* Salió al mercado en 2009 y su finalidad no es impulsar el balón, como los modelos presentados anteriormente, sino mantenerlo estático para la mejora técnica completa del remate, desde la fase de aproximación hasta la caída tras el remate. Su precio es de 2650\$ tanto el modelo de Space Saver como el Coach Box (Ilustración 3-3), en el cual se basará el estudio del proyecto (16).



Ilustración 3-3: Acuspik (16)

Consiste en una barra periscopica orientada verticalmente que soporta unos railes con una inclinación de entre ocho y diez grados. Los balones lanzan en el interior de una tolva para ser

transportados a través de unos raíles. Cuando el primero de ellos rueda hasta el final de los raíles, cae para ser sujetado por unas pinzas. La pinza situada en el extremo, a diferencia de la otra, es móvil y en su parte superior posee una pieza que hace de retén permitiendo que solamente un balón pueda caer a las pinzas. Al golpear dicho balón, la pinza móvil, gracias a un contrapeso que posee, se mueve hacia la pinza fija haciendo que el retén de su extremo superior se separe permitiendo el paso del siguiente balón (Ilustración 3-4), repitiéndose la misma secuencia anterior (17).



**Ilustración 3-4: Mecanismo de Acuspikie (17)**

Mejorar las habilidades de golpeo, el juego de pies, balanceo del cuerpo y de brazos no se domina rápidamente sino que se trata de un largo proceso de entrenamiento en la cancha. Sin embargo, Acuspikie es capaz de acelerar el proceso presentando al cliente un objetivo predecible y ajustable. Con ello, el jugador puede concentrarse únicamente en sus movimientos antes de golpear el balón, puesto que este no variará su posición (16). Una vez que se domine la primera parte, habiendo automatizado correctamente la aproximación, batida y salto, puede concentrarse en el remate observando la potencia y trayectoria una vez lo golpee.

Acuspikie resulta por tanto de gran utilidad para el desarrollo de un jugador inexperto, pero no deja de ser de útil para los más avanzados puesto que les permite mejorar lo ya aprendido mejorando la potencia de salto vertical o la resistencia al poder rematar un gran número de balones dentro de un corto periodo de tiempo hasta el agotamiento simulando el juego de un punto de larga duración (16).

### *3.2.1 El desarrollo de Acuspikie*

Esta máquina de entrenamiento se ha basado en los mismos objetivos que otros muchos aparatos desarrollados anteriormente. Observando su patente, se hace referencia a un gran número de mecanismos, que no provienen únicamente del voleibol, sino también de otros deportes como el fútbol americano, tenis, baloncesto o beisbol. Todas estas ideas han sido desarrolladas en Estados Unidos, cuna del voleibol, para facilitar el desarrollo deportivo de los jugadores de estos deportes. Todas estas patentes se basan en la dosificación de balones o bolas para el entrenamiento de uno de los deportes mencionados (17).

Las patentes a las que hace referencia son las siguientes:

<b>Nº Registro</b>	<b>Fecha de presentación</b>	<b>Fecha de publicación</b>	<b>Solicitante</b>	<b>Título</b>
<a href="#">US2939705</a>	12/07/1957	07/06/1960	Jr Fred McCall	Basketball practice device
<a href="#">US3439916</a>	12/10/1965	22/04/1969	Halko Inc	Football kick training apparatus
<a href="#">US3897950</a>	30/08/1974	05/08/1975	Dennis H. Keller	Volleyball training device
<a href="#">US4021036</a>	05/12/1975	03/05/1977	Nelson David M.	Tennis teching machine with ball protector
<a href="#">US4122822</a>	13/12/1976	31/10/1978	Kurt Scheiwiller	Spring type apparatus for the projecting of footballs and the like
<a href="#">US4548407</a>	30/03/1983	22/10/1985	Kazuhiro Sato	Toss batting trainer
<a href="#">US4798390</a>	08/09/1986	17/01/1989	Dooley James E.	Volleyball spiking tee
<a href="#">US5060946</a>	05/10/1990	29/10/1991	Taylor James E.	Volleyball practice device
<a href="#">US5066010</a>	21/11/1990	19/11/1991	Mark Pingston	Ball dispensing machine
<a href="#">US5097985</a>	31/05/1990	24/03/1992	Jones Kenneth E.	Baseball soft-toss pitching machine and method
<a href="#">US5238251</a>	16/10/1992	24/08/1993	Staka Robert L.	Volleyball training and monitoring apparatus
<a href="#">US5415150</a>	07/09/1993	16/05/1995	Dallas Tech Tools, Inc	Apparatus for projecting a ball
<a href="#">US5470056</a>	08/09/1994	28/11/1995	Dennesen; Christopher F.	Apparatus for impeding the movement of a ball
<a href="#">US5520397</a>	30/03/1995	28/05/1996	Thompson; Lowell H.	Volleyball gravity feed practice apparatus
<a href="#">US5660395</a>	06/05/1996	26/08/1997	Marshall; Jerry	Hand-held volleyball spiking trainer device
<a href="#">US5980399</a>	06/08/1997	09/11/1999	Volleyball Products Int, Inc	Ball toss apparatus
<a href="#">US6171205</a>	12/02/1999	09/01/2001	Larry Hummel	Volleyball training device
<a href="#">US6616555</a>	18/04/2001	09/09/2003	Carl Dwain Bewley	Athletic ball server
<a href="#">US6974396</a>	13/01/2003	13/12/2005	Quickswing, Inc	Batting aid device
<a href="#">US7001289</a>	24/02/2005	21/02/2006	Timothy Polega	Volleyball training apparatus
<a href="#">US7041016</a>	17/08/2004	09/05/2006	David Omtvedt	Volleyball spiking training system
<a href="#">US7393290</a>	14/06/2006	01/07/2008	Swishy, Llc	Sport ball storage and retrieval apparatus
<a href="#">US8042531</a>	20/04/2011	25/10/2011	Batter's Dream, Llc	Portable batting device and method
<a href="#">US20090137349</a>	16/01/2006	28/05/2009	Aleksandr L. Alekseev	Device for training and improving a volleyball spike technique
<a href="#">US20100130312</a>	21/11/2008	27/05/2010	José Fuentes	Sport training apparatus

**Tabla 3-1: Patentes citadas por Acuspike**

### 3.3 Mejora propuesta

La enorme comodidad y flexibilidad que proporciona esta máquina a los entrenamientos es casi inigualable para un aparato con la misma finalidad y similares características. No obstante, se han observado algunas limitaciones por lo que aún es posible realizar alguna modificación para mejorar y explotar su funcionalidad.

En primer lugar, la máquina únicamente permite rematar perpendicularmente a ella debido a la posición relativa de las pinzas.



**Ilustración 3-5: Orientación de Acuspika (18)**

Por ello, en caso de querer realizar las distintas variantes de trayectoria de remate, ya sea a diagonal corta, larga o a línea, hay que reorientarla, quitando el freno de sus ruedas delanteras, modificando su posición para, una vez colocada en la posición deseada, volver a accionar los frenos y seguir practicando. Esto provoca una pérdida de tiempo y esfuerzo innecesaria dentro de determinados márgenes puesto que es posible reducir los periodos de tránsito de un tipo de remate a otro.

La mejora que se propone para ello es el movimiento giratorio del cabezal que sostiene las pinzas para modificar la orientación del remate hacia el punto donde se quiera practicar. La idea es limitarlo una serie de grados para que durante la carrera previa al remate, o tras el mismo, no entorpezca al jugador la propia estructura de la máquina.

## 4 DESARROLLO DEL TFG

Este trabajo se ha desarrollado siguiendo el orden cronológico de los objetivos generales y llevando a cabo los específicos en la medida de lo posible, siendo parte de ellos necesarios para llevar a cabo los primeros. Para llevar a cabo dichos objetivos se han utilizado diferentes herramientas informáticas, tanto para el dimensionamiento inicial como para el diseño, simulaciones y cálculos posteriores.

### 4.1 Dimensiones de la máquina

Durante la fase de dimensionamiento se explican los datos obtenidos y como se han calculado, además de explicar la función de cada uno de los conjuntos de la máquina.

La patente de la máquina de Acuspike y la propia compañía Acu-Pac no facilitan públicamente todos los detalles técnicos de la máquina y, además, no proporcionan ningún dato sobre las proporciones, medidas, cálculos o condiciones que debe cumplir la estructura o el mecanismo de sujeción de los balones.

Esta fase permite así hacernos una idea de la forma y dimensiones que posee la estructura, y de esta manera poder centrar la atención en la pieza más importante de la máquina del proyecto y la que la diferencia de Acuspike otorgándole . Así, para la realización del primero de los objetivos ha sido necesario buscar un software que permita cumplir con lo exigido. Los dos más destacables que se tuvieron en cuenta fueron IPhotoMEASURE y Golden Ratio 1.1.

#### 4.1.1 IPhotoMEASURE

La primera opción que se contempla es una aplicación llamada IPhotoMEASURE (Ilustración 4-1), disponible tanto para Windows como para Mac OS X. Su funcionamiento se basa en proporcionarle al programa una medida en la imagen de 7.5" x 7.5", llamada DigiTarget, de manera que posteriormente acota automáticamente el resto de la fotografía (19).



**Ilustración 4-1: IPhotoMEASURE (19)**

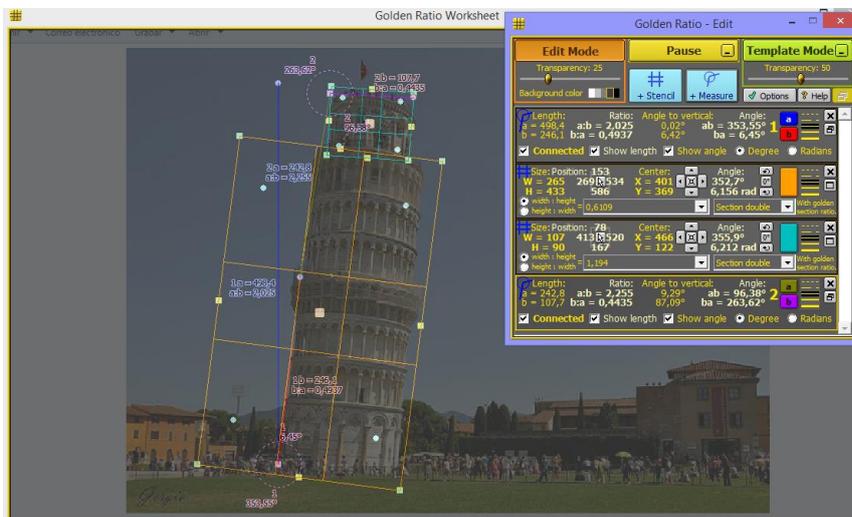
Según las recomendaciones del producto, para aquellas fotografías tomadas junto al objeto de estudio la imagen debe tener 1 megapíxel de resolución, para aquellas que se consideren menos cercanas 2 megapíxeles y para las fotografías tomadas a más de 5 metros de distancia se recomienda que tenga 4 megapíxeles. Esto nos permite medir incluso fotografías tomadas con móviles con una cámara de no muy alta resolución. Sin embargo, su precio aproximado es de 100\$ (19), siendo el gran inconveniente a la hora de adquirir el producto puesto que el uso que se le va a dar no es tan determinante.

Por eso mismo se prosigue la búsqueda de una alternativa, encontrándose el Golden Ratio 1.1.

#### 4.1.2 Golden Ratio 1.1

Se trata de un software gratuito, desarrollado por el alemán Markus Welz. Es una herramienta de medición y composición de imágenes, recorte de fotos con precisión, o análisis de proporciones, ángulos o longitudes de una imagen. Una de sus grandes ventajas reside en que es un programa que consume muy poca memoria (20). Todo ello lo convierte así en un software muy ligero y sencillo, capaz de cumplir con los cometidos a los cuales se destina su utilización.

El programa consta de dos ventanas principales (Ilustración 4-2): La primera de ellas es semitransparente, permitiendo su superposición con la imagen de estudio y en la que podemos manejar las herramientas de rejilla y ejes de medición; la segunda ventana es de tamaño inferior y recoge todas aquellas herramientas que se pretendan utilizar y pudiendo modificar los distintos parámetros de la ventana anterior como por ejemplo el número de rejillas, ejes de medición, estilo de líneas, grosores, entre otros (21).



**Ilustración 4-2: Golden Ratio 1.1 (16)**

En la Ilustración 4-3 se aprecia la herramienta de rejilla (+ Stencil) de la cual toma el nombre este software, “proporción dorada”. Se pueden añadir rejillas de forma indefinida y cada una está compuesta por los recuadros de color amarillo, pudiendo adquirir cierta inclinación como se puede observar en la imagen. Al pulsar sobre uno de sus extremos nos define su tamaño, tanto de su eje vertical como horizontal, y además indica la relación entre uno y otro para poder hacerse rápidamente una idea de la proporción general del objeto medido.

Por otro lado, con la herramienta de medición (+ Measure) se añade un punto de origen que actúa como centro de coordenadas de dos líneas rectas (en las imágenes, azul y roja). Esta permite medir desde el origen hasta el extremo de cada línea y proporciona la relación existente entre ambas distancias. Además cuenta con un medidor de ángulos, representado con un círculo de líneas discontinuas alrededor del centro, que calcula el ángulo que definen ambas rectas.

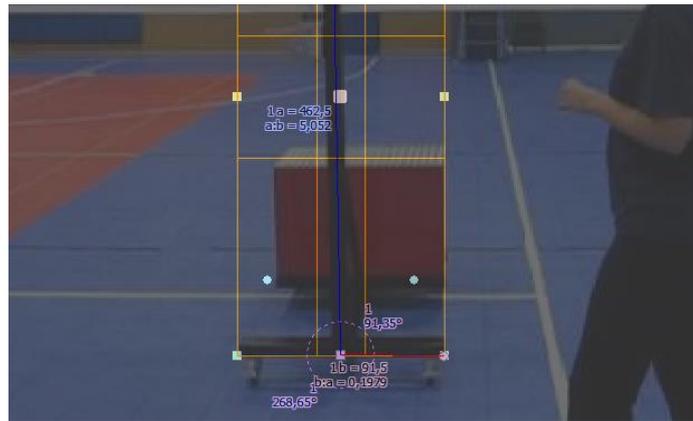


Ilustración 4-3: Herramientas de Golden Ratio 1.1 (16)

El Golden Ratio 1.1 ha sido la herramienta principal para el dimensionamiento de la máquina. Con este programa se han realizado mediciones para la adquisición de proporciones de sus distintas partes y componentes a partir del balón de voleibol, cuyas medidas vienen estandarizadas por la Federación Internacional de Voleibol (FIVB).

### 4.1.3 Metodología

El balón debe tener una longitud de circunferencia de 65-67 cm, lo cual significa que su diámetro debe ser de 20.69 a 21.32 cm (22) según la FIVB. Para realizar los cálculos se ha tomado el diámetro medio (21cm) pudiendo tener un error máximo de 0.32 cm en la medida del balón, que se considera despreciable para los objetivos marcados.

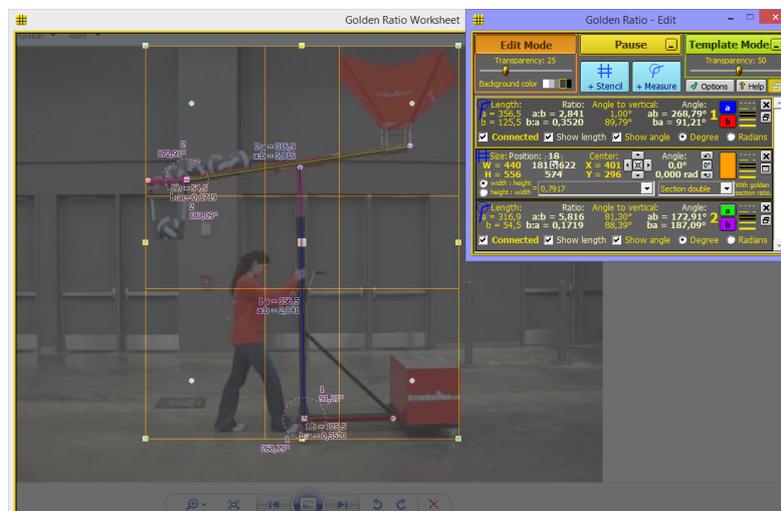
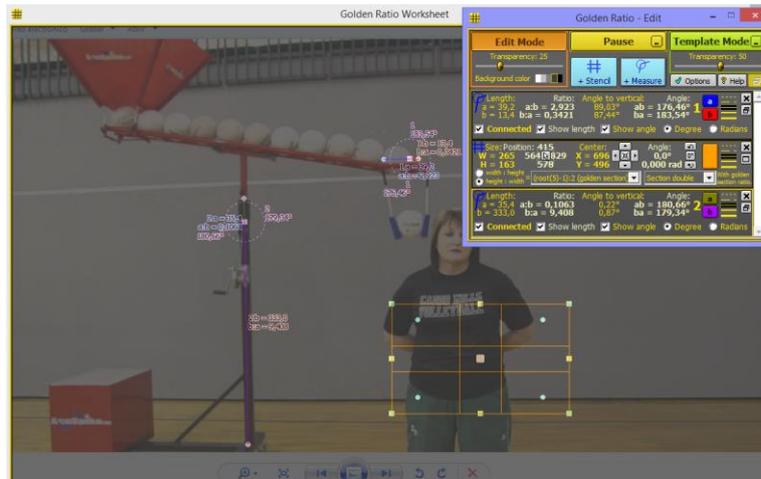


Ilustración 4-4: Dimensionamiento de la máquina 1 (16)

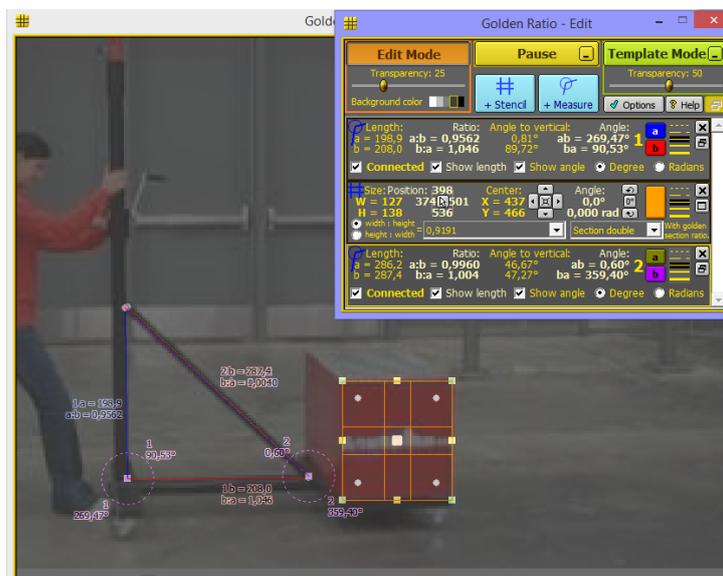
Además del error asumido, las medidas no siempre se han podido realizar con la máxima precisión ya sea por la calidad de imagen o simplemente por el hecho de tomarse proporciones en una fotografía en la que no todos los elementos se encuentran representados en un perfil de proporciones ideales (Ilustración 4-4 e Ilustración 4-5). Aun así no se exige tal exactitud para el dimensionamiento puesto que algunos componentes serán comerciales como el cabestrante manual o winche o las ruedas. Otros, que se pretenden construir, parten del estudio, disponibilidad y cálculos que se realizarán más adelante. Para la consecución del cálculo de medidas se ha realizado el análisis de distintas imágenes observándose los componentes más idóneos para cada una de ellas.

La manera de proceder es hallar la relación entre el diámetro del balón y el resto de elementos. Conociendo las medidas de dichas piezas se podría calcular las de otras piezas. No obstante siempre que aparezca el balón en la imagen es preferible compararlo respecto al mismo puesto que es una medida que no contiene errores.



**Ilustración 4-5: Dimensionamiento de la máquina 2**

Las imágenes utilizadas para el dimensionamiento se han escogido de aquellas que ofrece internet y más concretamente las páginas web pertenecientes a Acu-Pac Inc. Sin embargo, esta ha sido quizás la mayor dificultad que se ha presentado al dimensionar puesto que las imágenes de alzado y perfil de la máquina son muy escasas, así como de planta son inexistentes. Por ello, se trata de utilizar aquellas que se aproximen a estas vistas (Ilustración 4-6)



**Ilustración 4-6: Dimensionamiento de la máquina 3 (16)**

De ahora en adelante se hará referencia a los conjuntos y piezas bajo los nombres relacionados a continuación, dándose por hecho que todos los grosores tanto de barras como de planchas son de 3mm.

#### 4.1.3.1 Base

Hace referencia al conjunto que se encuentra más cercano al suelo y en el que van instaladas las ruedas. Soporta toda la estructura de la máquina además del contrapeso.

El conjunto de la base se determina en un principio que posee una longitud total de 1500mm y un ancho de 700mm. Esta a su vez se descompone en distintas piezas:

1. **Barra transversal de la base:** Sobre ella se eleva el resto de la estructura. Inicialmente se estima una barra de sección 100x50mm, con una longitud de 700mm.
2. **Barra longitudinal de la base:** Une la barra transversal con el soporte de la caja del contrapeso. Posee una sección de 100x50mm, la misma que la anterior, pero tiene una longitud de 900mm.
3. **Soporte de la caja del contrapeso:** Longitudinalmente mide 500mm y transversalmente 700mm, al igual que la barra transversal.

En la Ilustración 4-7 se pueden observar la barra transversal [1], la barra longitudinal [2] y el soporte de la caja del contrapeso [3].

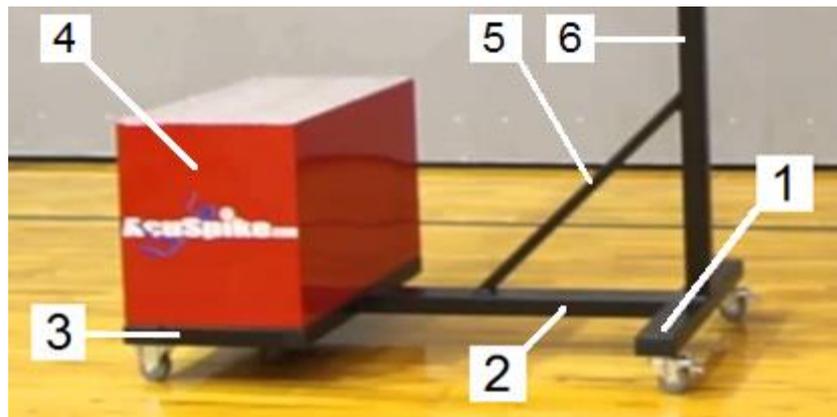


Ilustración 4-7: Base de Acuspika (16)

#### 4.1.3.2 Caja del contrapeso

En la Ilustración 4-7 aparece de color rojo en la parte trasera de la base [4], sobre el soporte del contrapeso. Está compuesta por diferentes planchas metálicas que alojan en su interior el peso que contrarrestará los momentos producidos por el resto de elementos para mantenerla estable. Sus dimensiones son de 700x500mm en su base y 600mm de altura. Por tanto, las caras son de 700x600mm y 600x500mm.

#### 4.1.3.3 Refuerzo de la barra fija

Se trata del tubo que une la base con la barra fija, colocada entre ambas con 45° de inclinación y su función es la reducción de los esfuerzos generados en la unión de ambas. El refuerzo es claramente observable en la Ilustración 4-7 [5] y su longitud es de 850mm.

#### 4.1.3.4 Barra Fija

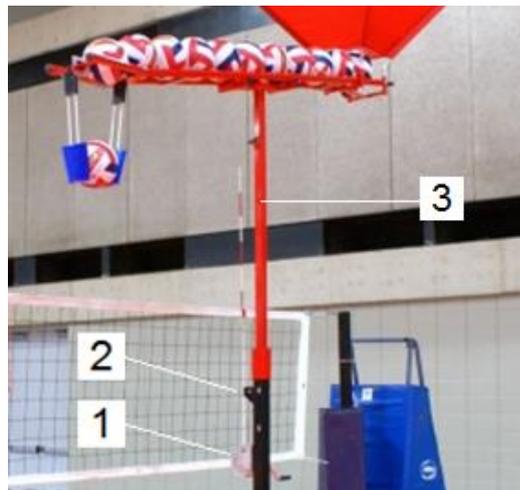
Es la barra de color negro colocada verticalmente sobre la base en la Ilustración 4-7 [6]. Soporta el resto de la estructura de la máquina gracias a la incorporación de un mecanismo compuesto por los siguientes elementos:

1. **Cabestrante manual:** Es un dispositivo compuesto por un rodillo giratorio alrededor de cual se enrolla el cable que soporta en el otro extremo una determinada carga. Este puede ser de acero o material sintético. Suele incluir un dispositivo de trincado para impedir el movimiento el mismo.
2. **Polea:** Se encuentra situada en la parte alta de la barra fija. El cable, proveniente del cabestrante, pasa por ella introduciéndose posteriormente en el interior de la barra fija recorriéndola longitudinalmente hasta la parte baja de la barra móvil donde queda unido el extremo del cable.

Por tanto, la limitación de altura la proporciona la posición de la polea puesto que según se vaya recogiendo el cable, la barra móvil irá ganando altura. En el momento en el que la barra móvil alcance la posición de la polea no podrá recogerse más cable y, por consiguiente, no podrá elevarse más.

Ambas piezas son comerciales y se decidirá cual escoger en la fase de diseño. Aparecen en la Ilustración 4-8 tanto el cabestrante manual [1], como la polea [2].

La barra, por su parte, posee una longitud total de 1800mm y tiene por sección 80x80mm. Desde su extremo inferior el cabestrante se encuentra a 1300mm y la polea está situada junto al extremo superior a una altura de 1700mm.



**Ilustración 4-8: Cabestrante manual y polea**

#### *4.1.3.5 Barra Móvil*

Es la barra que se encuentra alojada en el interior de la barra fija y la recorre longitudinalmente cuando se recoge el cable con el cabestrante. En la Ilustración 4-9 es de color roja y se puede observar como asciende hasta los raíles que recorren los balones [3]. En la parte superior se introduce en el tubo bajo del soporte de los raíles, al que va fijado con una palometa.

La longitud total que posee la barra móvil se desconoce ya que en ningún video ni fotografía que hace referencia a Acuspika aparece fuera de la barra fija. Lo único que se puede deducir fácilmente es que su longitud no es mayor que la de la barra fija (Ilustración 4-10).



**Ilustración 4-9: Longitud de barra móvil (23)**

Las especificaciones de la máquina indican que se puede elevar de 6 a 11 pies (1.8m a 3.3m) lo que equivale a margen de 1,5m. Para no elevarla demasiado provocando una posible inestabilidad al aproximar su extremo inferior a la polea, se le ha querido proporcionar una longitud de 1.7 metros. En cualquier caso, no existe mucha gente capaz de rematar a una altura de 3.3m de altura. Esto significaría superar la altura de la red en más de un metro puesto que esta para categoría masculina es de 2.43m y en femenina 2.24m (22).

No es posible obtener la relación de secciones de la barra fija y la barra móvil por lo que se pospone su cálculo hasta la fase de diseño.

#### *4.1.3.6 Soporte de los raíles*

Se sitúa en la parte superior de la barra móvil y su función se ha querido plasmar en el nombre del conjunto. Es por tanto la unión de la estructura inferior con los raíles y es el encargado de administrarle la inclinación a la máquina, la cual se estima que se encuentra entre  $8^\circ$  y  $10^\circ$ . Consiste en un tubo vertical de sección cuadrada que encaja en la barra móvil, fijadas ambas con una palometa, sobre el que se desarrolla un conjunto de tubos en forma de H (Ilustración 4-10) que permite dos apoyos a cada uno de los raíles.



**Ilustración 4-10: Soporte de los raíles (16)**

Se desconoce la exactitud de la inclinación debido a que no existe ninguna foto realizada desde el perfil de la máquina y a la altura de los raíles. Para que el primer balón introducido en la tolva no adquiriera demasiada velocidad, y pudiendo evitarlo, se le proporciona a los raíles una inclinación de  $8^\circ$  con respecto al suelo.

La longitud del tubo del soporte que encaja con la barra móvil es de 330mm. Sin embargo, su sección se espera a dimensionarse en la fase de diseño puesto que debe ser levemente superior a la de la barra móvil. Sin embargo los tubos superiores que soportan los raíles se calcula que tienen una sección de 50x50mm y longitudes de 380mm, el tubo longitudinal a los raíles, y de 200mm, los dos transversales en los que se apoyan.

#### 4.1.3.7 Raíles

Son los dos tubos de sección circular que se apoyan sobre el soporte. Estos son el medio por el que los balones viajan desde la tolva hasta las pinzas de sujeción de los mismos. Aparte de apoyar sobre el soporte poseen dos pletinas, una a cada lado del soporte, que ayudan a mantenerse fijos y paralelos entre ellos.

Su longitud es de 2 metros mientras que el diámetro de su sección se estima que es de unos 45mm. La separación entre ambas será resuelta en la posterior fase de diseño.

#### 4.1.3.8 Tolva porta-balones

La tolva porta-balones es el objeto por el que se introducen los balones al lanzarlos sobre ella, facilitando la colocación de los mismos sobre los raíles. Consiste en cuatro barras cilíndricas que poseen un ángulo de  $30^\circ$  respecto a la vertical y se encuentran por tanto dobladas. Estas sirven de apoyo y guía para la funda, que en Acuspiké está hecha de nylon. Al entrar los balones en su interior caen a su parte baja y por tanto sobre los raíles a los cuales están fijadas mediante dos palometas.

Las barras en su parte vertical deben tener la longitud suficiente como para permitir el paso de los balones y, tras haberse inclinado  $30^\circ$  con respecto a la anterior, una longitud de 800mm.



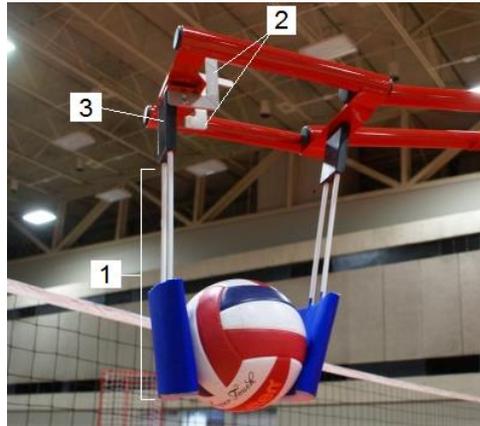
**Ilustración 4-11: Tolva porta-balones (16)**

#### 4.1.3.9 Pinzas

Son las encargadas de mantener estático el balón a la espera de que este sea rematado. Son soportadas por la pieza a la que más tiempo se dedicará el proyecto la cual estudiaremos más adelante. Cada una consiste en dos varillas de fibra de vidrio en cuyo extremo inferior tiene la pieza de espuma de poliuretano, comúnmente denominada gomaespuma.

Se pueden diferenciar en dos pinzas, una fija y una móvil. La fija posee cierta inclinación y se encuentra estática respecto al resto de la estructura. En cambio, la pinza móvil es un conjunto ofrece un mecanismo que la hace bascular permitiendo el paso de balones mientras no hay ningún balón

colocado entre las pinzas e impidiéndolo con un retén cuando ya hay alguno cargado. En dicho mecanismo se diferencian tres partes (Ilustración 4-12):



**Ilustración 4-12: Mecanismo de las pinzas (16)**

1. **Pinza:** Es uno de los apoyos del balón que se encuentra cargado. Las varillas que la componen poseen una longitud de 25mm, sujetas a posibles modificaciones en la fase de diseño.
2. **Retén:** Consiste en dos piezas con forma de Z que se encuentran unidas por su extremo inferior al contrapeso. Son las encargadas de detener los balones antes de que caigan y únicamente actúan cuando ya ha caído un balón sobre las pinzas.
3. **Contrapeso:** Es la pieza más importante del mecanismo del conjunto puesto que permite dos movimientos en la pinza móvil:
  - i. Cuando no hay balón cargado: El contrapeso debe ser el suficiente como para que el conjunto bascule, de manera que el retén no impida el paso del balón, y este pueda caer libremente sobre las pinzas
  - ii. Cuando ya existe un balón cargado: El contrapeso debe ofrecer la fuerza necesaria para que el balón no caiga al suelo, pero a la vez debe permitir que encaje de manera que se pueda realizar un remate cómodo, sin necesidad de golpear alguna de las pinzas.

#### 4.1.3.10 Cabezal

En la Ilustración 4-13, el cabezal corresponde al conjunto de tubos que soportan las pinzas y se encuentran unidos con los raíles. Es la pieza que se pretende diseñar, modificándola totalmente respecto a la de Acuspik, permitiendo el giro de las pinzas por lo que en primera instancia no nos interesa dimensionarlo. Sus dimensiones y forma serán objeto de estudio en la fase de diseño.

## 4.2 Fase de Diseño

Durante la fase de diseño del proyecto se toman como punto de partida los datos extraídos durante el dimensionamiento y se estudia su posible modificación, explicando los pasos seguidos y razonando sus cambios. Así, finalizado el estudio del funcionamiento de la máquina, con la ayuda de un software como es Siemens NX se ha procedido al diseño de la misma, siendo quizás la parte más importante del desarrollo del proyecto.

Además se pretende estudiar más en profundidad los aspectos más importantes de cada conjunto valorando su cambio respecto a Acuspik, haciendo una valoración y viabilidad de fabricación en la Escuela Naval Militar.

### *4.2.1 Materiales*

La máquina se puede fabricar a partir del uso de una gran variedad de materiales, generalmente metálicos. En el caso de la máquina de Acuspik, su estructura está diseñada con acero al carbono. Sin embargo, la viabilidad de construir una máquina similar en la Escuela Naval Militar hace plantearse la elección de un determinado material para fabricarla. Se baraja la posibilidad de utilizar hierro, aluminio y acero inoxidable.

#### *4.2.1.1 Hierro*

El hierro es el cuarto elemento más abundante de la corteza terrestre, aunque normalmente formando parte de minerales. Se trata de un metal barato que posee gran maleabilidad y tenacidad, siendo además el más usado en la producción mundial de metal. Sin embargo, su utilización va normalmente ligada a sus diversas aleaciones como es el acero, la más conocida de ellas (24).

#### *4.2.1.2 Aluminio*

El aluminio es el metal más abundante de la Tierra con un 8,13%. Su principal característica en este conjunto es la ligereza, pero además posee otras útiles características como su su gran conductividad eléctrica, resistencia a la corrosión. Además tiene abundantes aplicaciones debido a su bajo punto de fusión (660,3°C), una larga vida útil y un precio muy estable. Por el contrario, la dificultad de su uso se debe a que se necesita una gran cantidad de energía para su obtención (24).

La resistencia a la corrosión que posee es debido a que en su superficie, al contactar con el oxígeno del aire, se crea una capa de óxido de aluminio que impide que se esta se oxide. Esta película transparente sin embargo, dificulta las operaciones de soldadura sobre este material (24).

#### *4.2.1.1 Acero inoxidable*

El acero es una aleación de hierro con un pequeño porcentaje de carbono, del orden del 1%. Si contiene una pequeña proporción de cromo o níquel adquiere la denominación de “inoxidable” que le proporciona una elevada resistencia a la corrosión al hierro debido a su alta afinidad con el oxígeno. Posee alta resistencia, uniformidad, durabilidad, ductilidad y tenacidad. Además facilita unión entre piezas de acero, ya sea mediante soldadura, tornillos o remaches. Entre sus desventajas se encuentra la corrosión, lo cual puede llegar a suponer un costo de mantenimiento elevado. Por ello, es recomendable aportarle una capa de pintura (25).

La ventaja principal del acero inoxidable frente al hierro para la fabricación de la máquina es su ligereza, lo cual facilita su manejo para situarla en uno u otro lado de la red. Además evita la necesidad de utilizar ruedas de gran resistencia.

La máquina pretende ser utilizada en el interior del Gimnasio Barrutia puesto que el equipo de voleibol de la Escuela Naval acostumbra a realizar los entrenamientos en su interior. Aun así en la zona geográfica en la que se encuentra se generan grandes niveles de humedad por lo que en caso de realizar un entrenamiento en el exterior sería idóneo poder contar con una máquina fabricada con un material de baja corrosión.

Debido a los problemas mencionados en relación a la soldadura del aluminio, se toma la decisión de contar con el acero inoxidable como material principal de la máquina propuesta. Así, entre todos los aceros se opta por el AISI 316, muy utilizado en la náutica debido a que posee unas mayores propiedades frente a la corrosión debida a la humedad.

#### *4.2.1.2 Talleres METACA, S.L.*

El taller mecánico de la Escuela Naval obtiene los materiales a partir de una empresa que se ha convertido en su principal proveedora de material para reparación y repuestos llamada METACA, S.L. Debido a su cercanía facilita el desplazamiento de los operarios del taller mecánico a la empresa y

viceversa. Por este motivo se plantea la posibilidad de realizar un pedido de material para posibilitar la fabricación de la máquina.

METACA, S.L. es una empresa de Marín, creada en 1991 dedicada desde sus comienzos a la actividad metalúrgica, realizando trabajos de fabricación y montaje de estructuras ligeras y pesadas, de depósitos, de túneles de congelación, tuberías, vallado, entre otros. Los materiales con los que más están acostumbrados a trabajar son el hierro, el acero inoxidable C-316 o C-304.

#### 4.2.2 Siemens NX 10

NX 10 es un programa informático de ingeniería de productos que pertenece a Siemens PLM Softwares (Ilustración 4-13) y permite el diseño conceptual en 2D y modelado 3D de una manera sencilla y efectiva para el desarrollo de los mismos (26).



Ilustración 4-13: Siemens NX 10

NX permite trabajar mediante tres modos distintos:

- **NX para diseño:** Es una solución CAD al más alto nivel de integración entre las distintas disciplinas de desarrollo que nos permite la optimización y agilización de la ingeniería de productos. Además ofrece herramientas CAD para dibujo de planos 2D que hacen uso de las normas más importantes (26). La capacidad de modelado 3D y de diseño de conjuntos es idónea para idear la máquina que se pretende construir.

Para el diseño de las piezas de la máquina no han sido necesarias funciones excesivamente complejas de NX (Ilustración 4-14). De hecho, a la hora de modelar, se ha utilizado el croquis, estableciendo los planos necesarios para definir las piezas y puesto que la mayoría se trata de planchas y tubos, ya sean de sección cuadrada o circular. Otras funciones utilizadas han sido la “extrusión” y “revolución”.

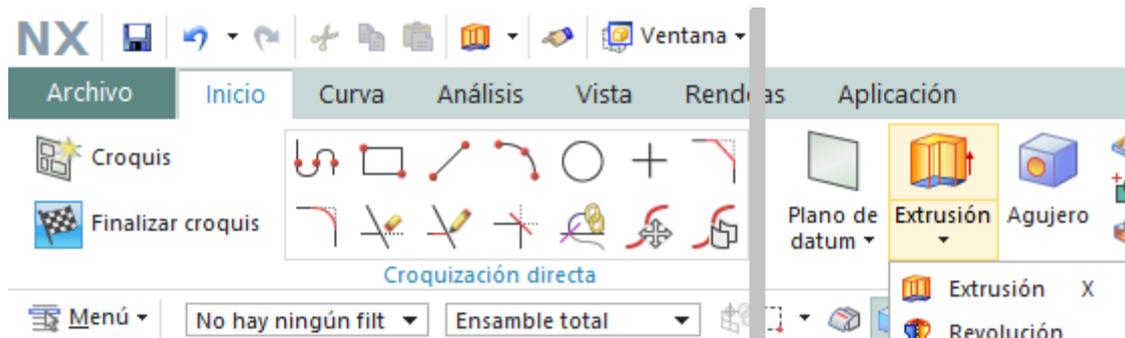
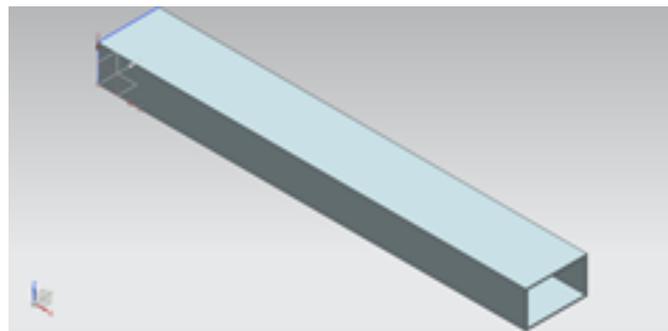


Ilustración 4-14: Funciones más utilizadas

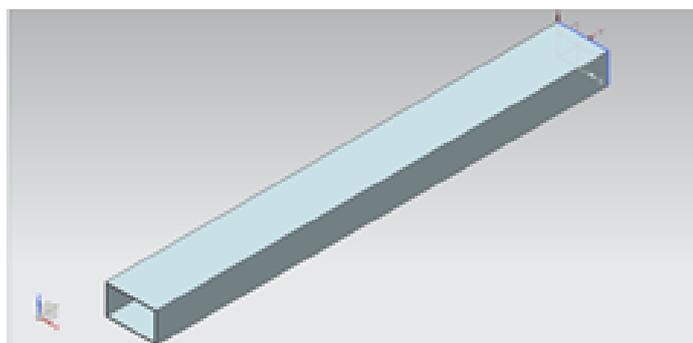
- **NX para simulación:** Incluye NX CAE y NX Nastran. Ambos serán los responsables del análisis estructural de la máquina de voleibol.
  - **NX CAE:** Es un entorno multidisciplinar que integra un modelado de análisis muy avanzado, solucionando problemas complejos rápidamente gracias a unificación de la ejecución de simulaciones y la gestión de datos y facilitando así la toma de decisiones sobre el producto (26).
  - **NX Nastran:** Es un solucionador de elementos finitos muy avanzado, puntero en su campo, debido a su gran rendimiento computacional, precisión, fiabilidad y escalabilidad (26).
- **NX para fabricación:** Es una ayuda muy eficaz para la producción de piezas de gran calidad, optimizando los recursos y reduciendo el tiempo de programación de control numérico y mecanizado. De esta manera se puede conseguir mejorar el rendimiento y la productividad de las máquinas (26) No se pretende utilizar esta opción que ofrece NX debido a que la fabricación de la estructura de la máquina es viable realizarla en el taller mecánico de la Escuela Naval.

### 4.2.3 Base

Los datos recogidos durante la fase de dimensionamiento indican que posee dos tubos de sección 100x50mm y longitudes 700mm (Ilustración 4-16) y 900mm (Ilustración 4-17):

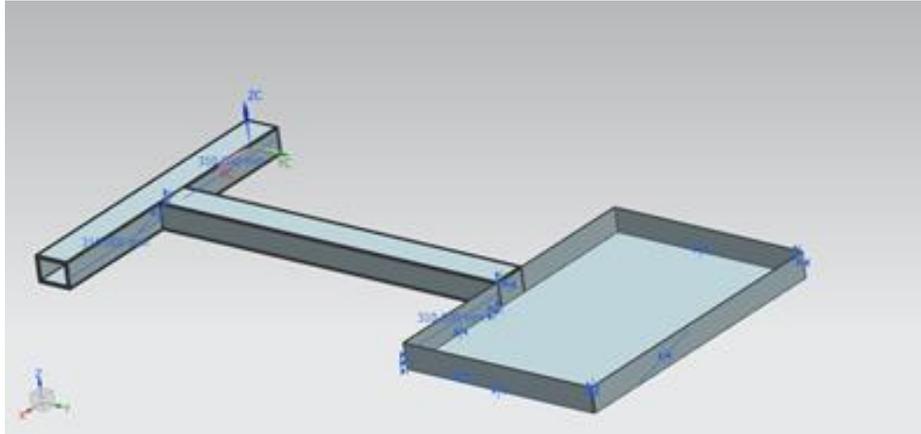


**Ilustración 4-15: Tubo transversal de la base**



**Ilustración 4-16: Tubo longitudinal de la base**

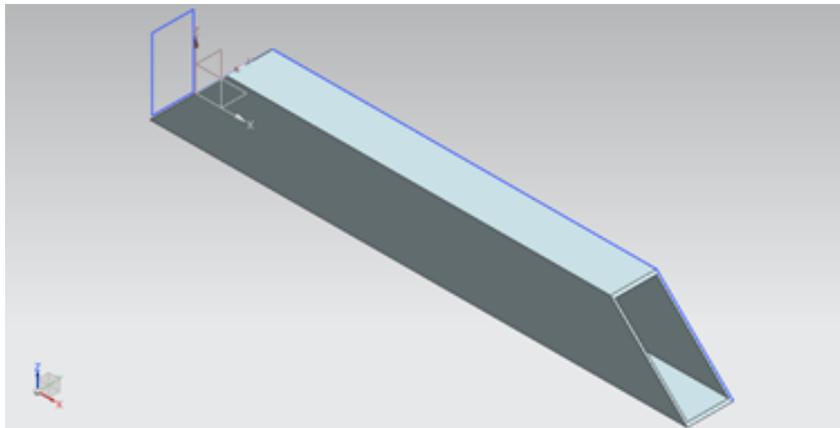
Sin embargo, para la colocación de la caja del contrapeso se realiza inicialmente el diseño ofrecido en la ilustración 4-15:



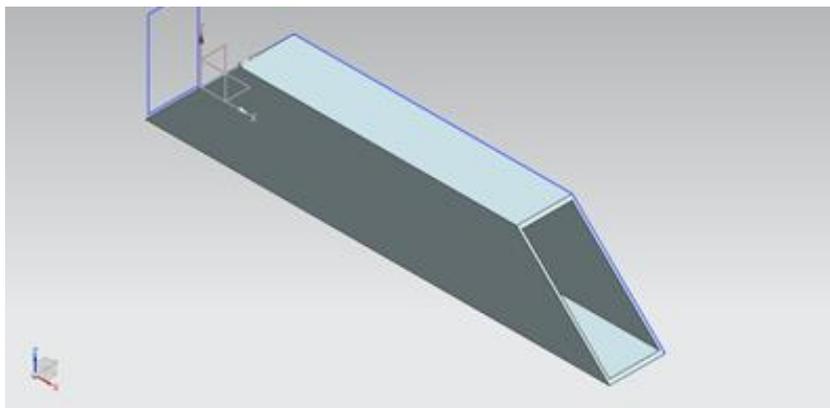
**Ilustración 4-17: Primer diseño de la base**

El alojamiento de la caja se realiza mediante las anteriores planchas rectangulares. Las transversales a la máquina son de 700x50x3mm, las laterales de 500x50x3mm y la inferior de 700x500x3mm, que es la encargada de soportar el contrapeso. Es por esto por lo que se plantea otra opción que asegure que la soldadura soporte el peso del contrapeso, puesto que una plancha es seguramente insuficiente para dicho propósito.

La segunda opción planteada posee mucha mayor rigidez y solidez de manera que puede soportar una mayor carga. Consiste en componer el soporte del contrapeso con tubos de igual sección que los delanteros unidos entre ellos mediante soldadura y tras haber realizado un corte de 45° en sus extremos. La forma de los tubos que componen el soporte del contrapeso se pueden observar en la Ilustración 4-18 e Ilustración 4-19:

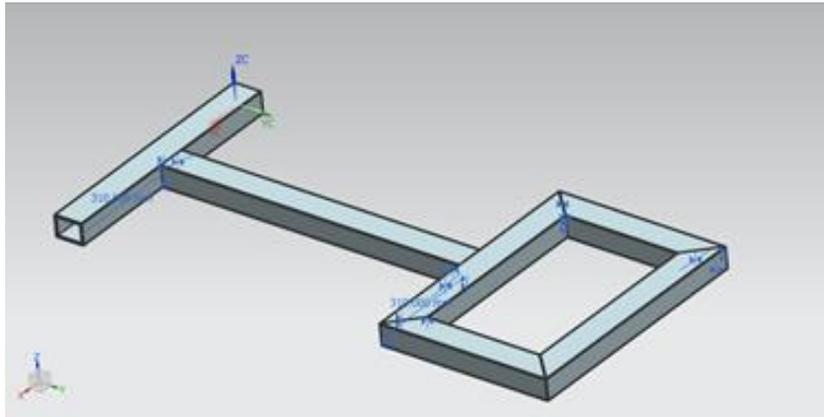


**Ilustración 4-18: Tubo transversal del contrapeso**



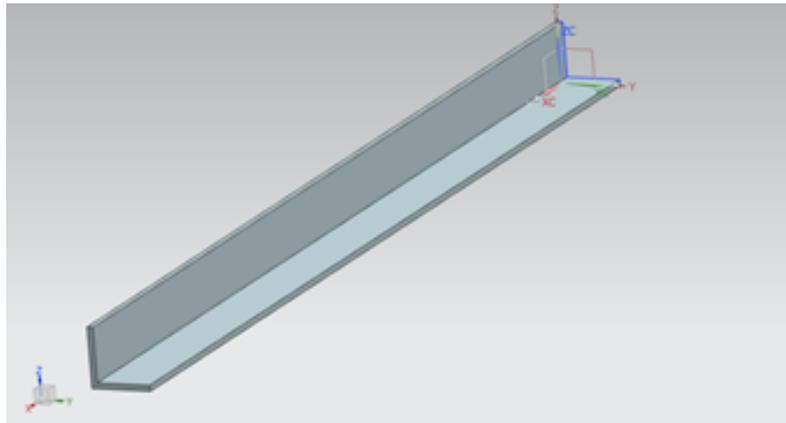
**Ilustración 4-19: Tubo longitudinal del contrapeso**

El resultado de este modelo es el que se muestra en la Ilustración 4-20.



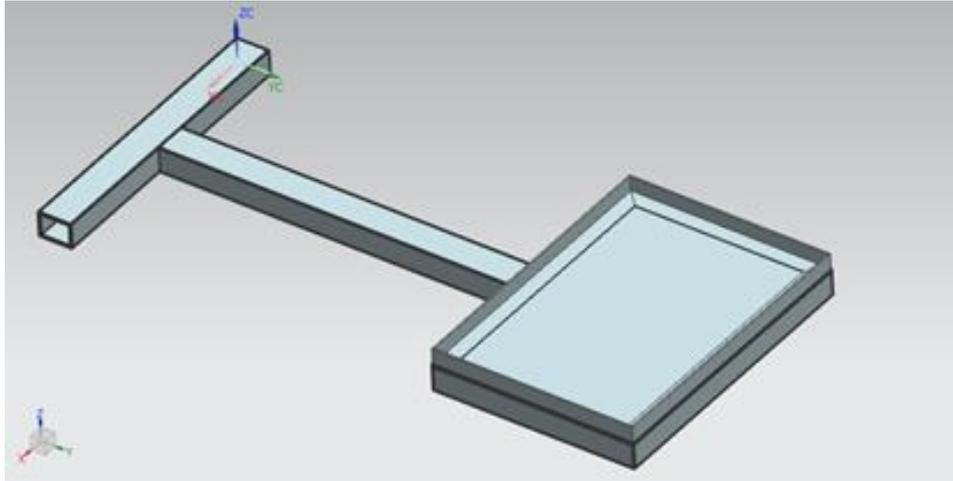
**Ilustración 4-20: Segundo diseño de la base**

Además de esta estructura que se considera definitiva se tiene a bien colocar una plancha de las mismas dimensiones que los tubos que harán de soporte del contrapeso, es decir 70x50mm de 3mm de grosor. La caja debe ir sobre dicha plancha por lo que se idea poner perfiles en L a su alrededor (Ilustración 4-21) para sostenerla. Se observa que en el taller mecánico de la Escuela Naval poseen dichas piezas de dimensiones 40x40mm de 4mm de grosor.



**Ilustración 4-21: Perfil en L**

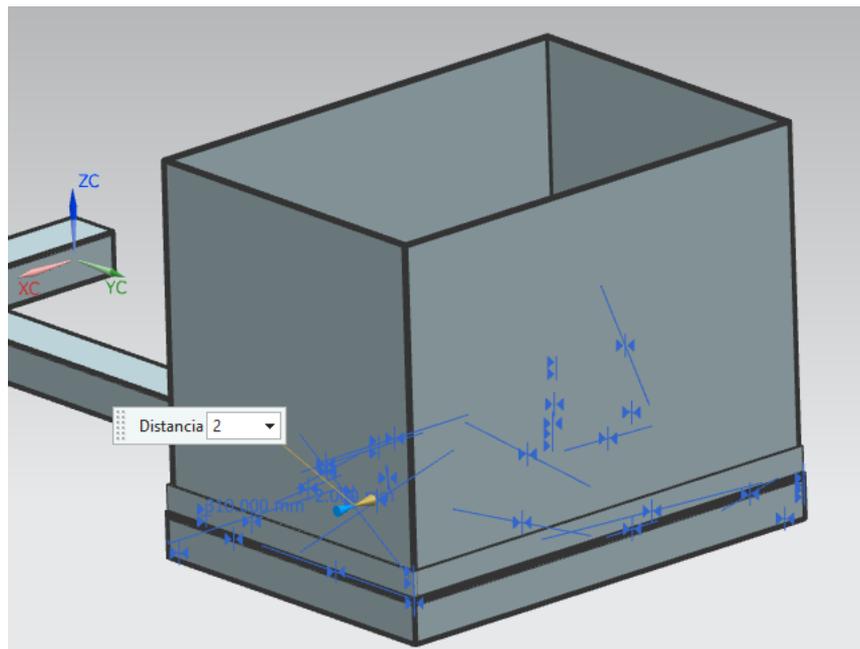
METACA S.L cobra por cantidad de material. Como la barra fija, que va colocada sobre la barra transversal, está inicialmente dimensionada con sección 80x80mm, se decide reducir la sección de las barras de la base a 80x60mm. La base definitiva para la máquina es por tanto la que aparece en la Ilustración 4-22.



**Ilustración 4-22: Base definitiva**

#### 4.2.4 Caja del contrapeso

Las dimensiones de la caja del contrapeso deben ser reducidas respecto a las dimensionadas previamente debido a la inclusión de los perfiles en L colocados para encajarla. Por ello se calcula que tenga una holgura de 2mm longitudinal y transversalmente (Ilustración 4-23). Además, el grosor de las planchas que la componen es de 1mm.

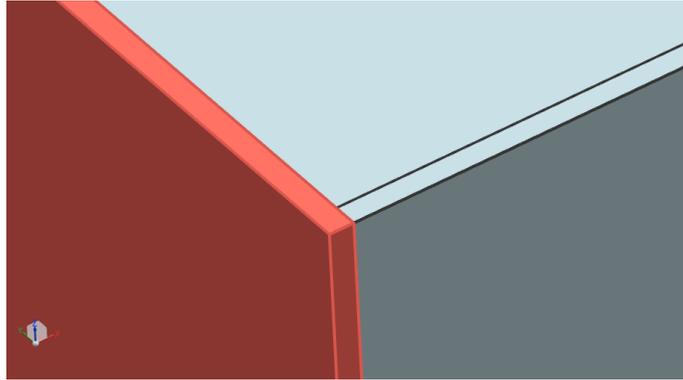


**Ilustración 4-23: Holgura de la caja del contrapeso**

A su vez, las dimensiones definitivas de la caja, son:

- Cara frontal (x2): 690x500mm.
- Caras lateral (x2): 500x484mm.
- Cara inferior: 490x690mm.

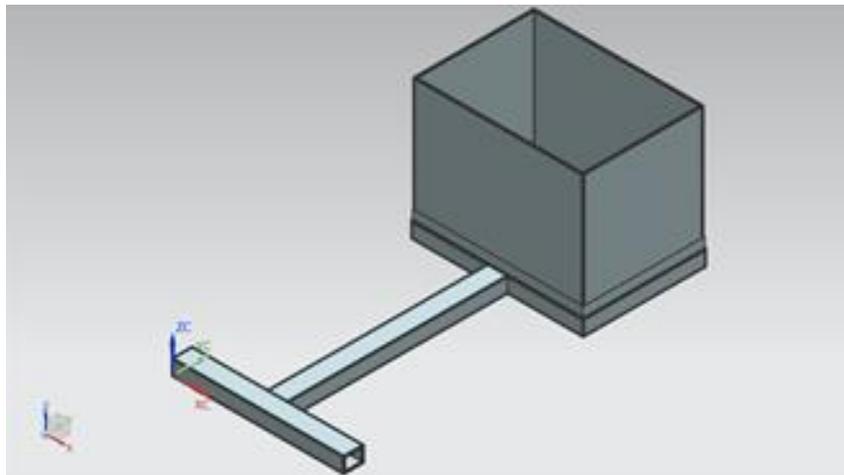
La manera de encajar las caras de la caja es colocando las caras laterales por la parte interior de las frontales (anterior y posterior), uniéndolas mediante soldadura por la parte interior. Se puede observar en la Ilustración 4-24 la forma de hacer coincidir las caras, siendo la cara roja la frontal y la otra la lateral.



**Ilustración 4-24: Unión de la caja**

La capacidad de la caja es de  $169,05\text{dm}^3$  aunque no se pretende introducir un fluido libre que pueda crear momentos al trasladar la máquina. De hecho se recomienda utilizar arena o agua embotellada para ejercer de contrapeso.

Con esto, finalizado el diseño de la caja, ensamblada en la base, puede visualizarse en la Ilustración 4-25:

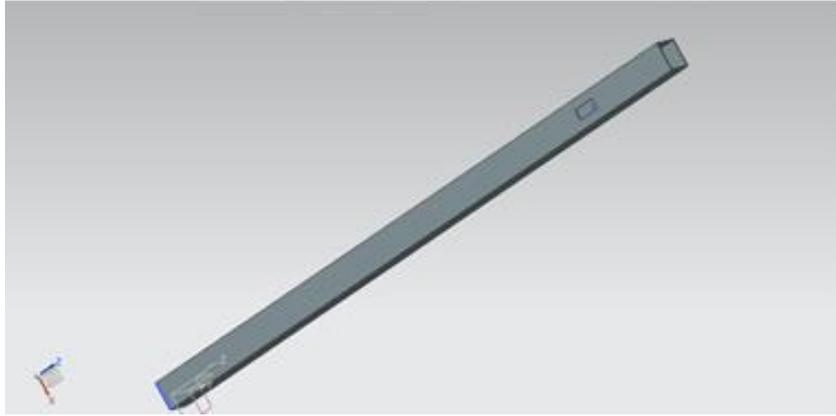


**Ilustración 4-25: Ensamble base-caja**

#### *4.2.5 Barra fija*

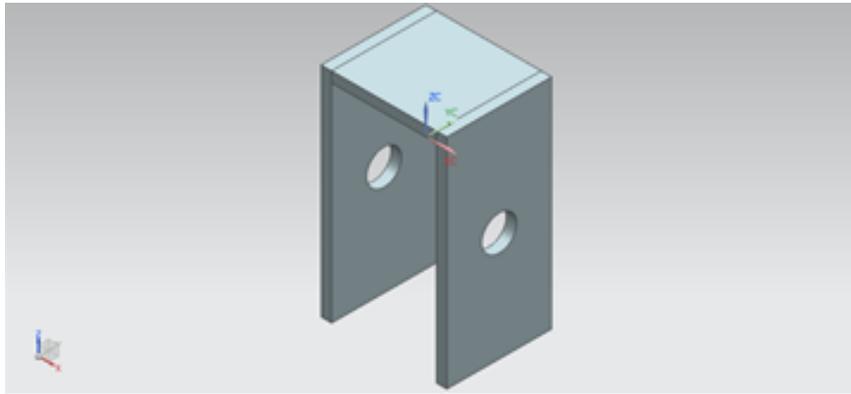
La barra fija se pretende mantener de las mismas dimensiones que las tomadas en la fase de dimensionamiento, es decir,  $80 \times 80\text{mm}$  de sección y  $1800\text{mm}$  de longitud. Su extremo inferior ira soldado a la parte central de la barra transversal de la base.

Se le realiza una obertura de  $60 \times 30\text{mm}$  para incluir la polea a una distancia de  $150\text{mm}$  del extremo superior (Ilustración 4-26).



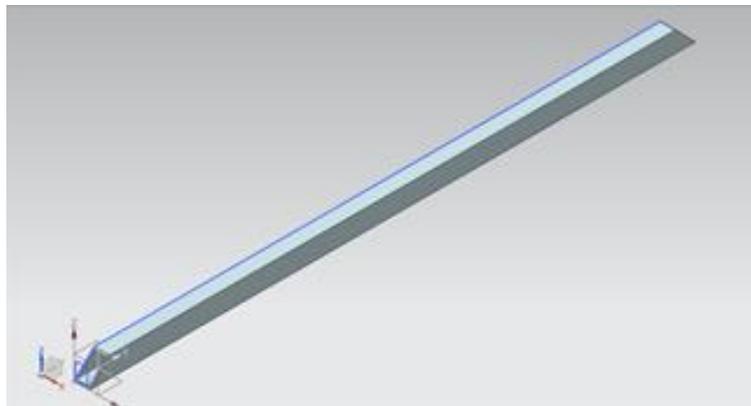
**Ilustración 4-26: Barra fija**

El protector de la polea es muy sencillo y su función es la que su nombre indica. Encaja en la abertura que posee la barra fija y consisten dos paredes laterales y una superior. Las paredes laterales de 63x30mm poseen un orificio para hacer encajar el eje de la polea. La pared superior se encuentra entre ambas según muestra la Ilustración 4-27 y es de 30x30mm y 3mm de grosor.



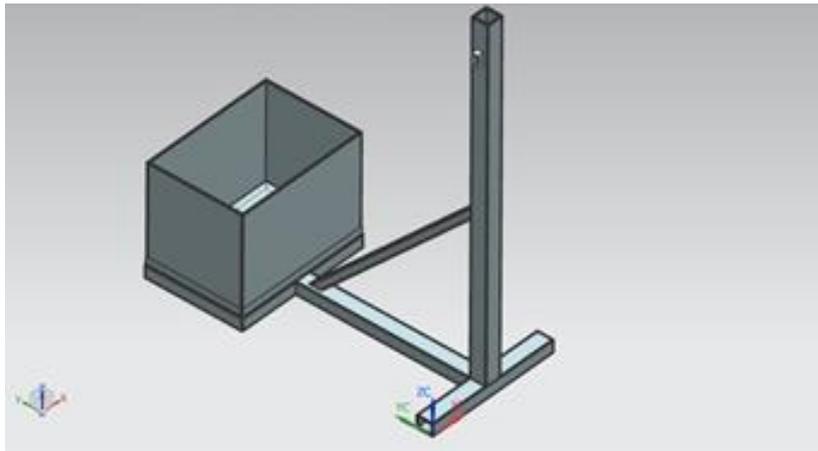
**Ilustración 4-27: Protector de la polea**

Para reducir las tensiones en su parte baja, se hace uso de una barra que hace las veces de refuerzo. En la fase de dimensionamiento no se sabe con exactitud la sección que posee aunque llega a intuir que tiene una sección cuadrada aproximada de 30x30mm. Debido a que en el taller mecánico poseen tubos de sección cuadrada de 40x30mm se decide tomar esta medida de cara a la posible fabricación de la máquina (Ilustración 4-28).



**Ilustración 4-28: Refuerzo de la barra fija**

Hasta este momento, la estructura de la máquina es la correspondiente a la Ilustración 4-29:



**Ilustración 4-29: Ensamble hasta barra fija**

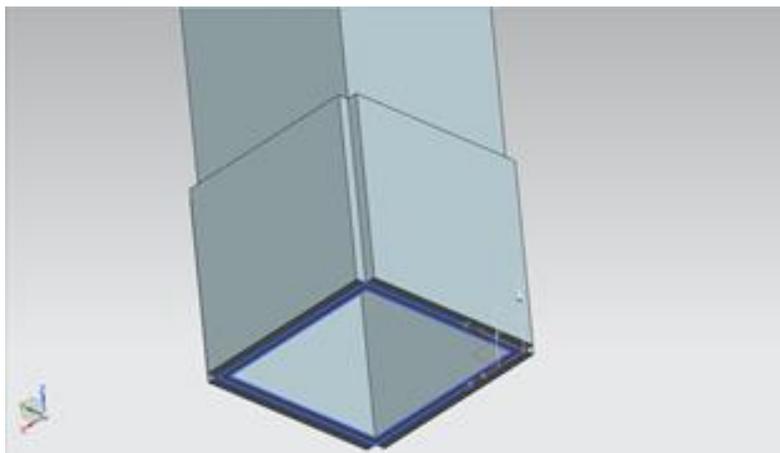
Además de todo, en la parte alta de la barra fija debe ir encajada una guía superior para la barra móvil, como se verá en el punto 4.2.6.

#### *4.2.6 Barra móvil*

El tamaño deducido y establecido en la fase de dimensionamiento es que tiene una longitud de 1700mm. Sin embargo es en este momento en el que hay que decidir que sección tendrá la barra móvil para poder deslizar por el interior de la barra fija.

Teniendo en cuenta que la barra fija tiene una sección de 80x80mm y sus paredes interiores son de 3mm, el espacio disponible que posee es de 74x74mm.

En un principio, se pretende dotarle de una sección de 65x65mm, de manera que tenga holgura suficiente para que el cable procedente del cabestrante no se extienda entre las dos barras de forma ajustada. Para que la barra móvil deslice verticalmente, además de la guía superior, se plantea colocarle en la base la que se denomina guía inferior, utilizando unas planchas de 4mm de grosor en las cuatro caras de la barra móvil (Ilustración 4-30).

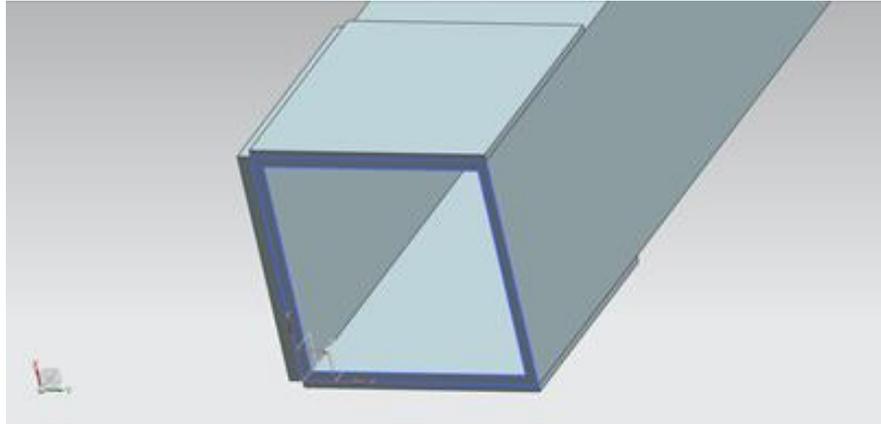


**Ilustración 4-30: Guía inferior – Primera opción**

Sin embargo, tras enviarle a METACA el listado de material necesario para su fabricación (evento posterior al diseño), informa que no puede proporcionar un tubo de sección cuadrada de esas dimensiones puesto que no es considerada como medida estándar. Por ello, ofrece proporcionar un tubo de sección 60x60mm o 70x70mm, siendo los más aproximados a la medida deseada.

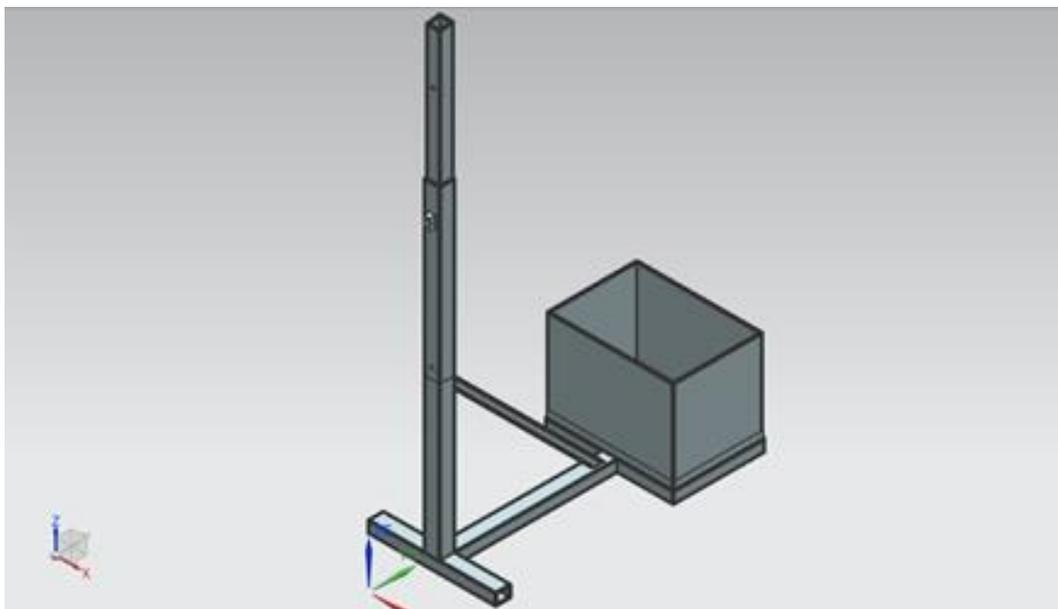
La sección 60x60mm se ve muy reducida en comparación con la barra fija, por tanto, se decide escoger una barra móvil de sección 70x70mm, limitándose la holgura con la que debe contar el cable de acero entre ambas barras a 4mm.

El hecho de que la holgura sea de 4mm hace que la barra móvil por una de sus caras deba ir pegada a la barra fija, permitiendo que el cable pueda circular por el lado opuesto. Por tanto, en este lado no se puede colocar una guía inferior, por lo que pasa a ser de 3mm en el lado del cable y 1mm en los laterales, como muestra la Ilustración 4-31, dejando una mínima holgura para reducir rozamientos.



**Ilustración 4-31: Guía inferior – Segunda opción**

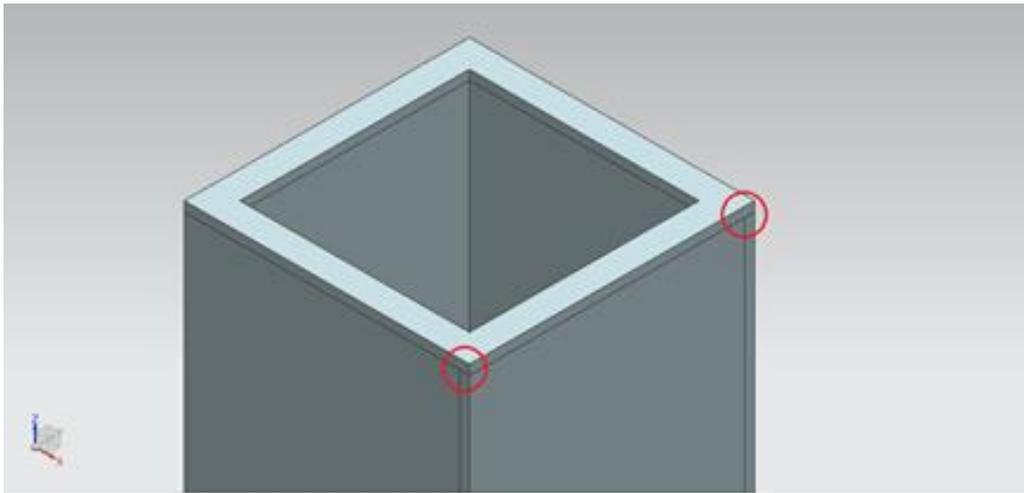
De esta manera la cara que no posee guía inferior debe deslizarse sobre la cara interna de la barra fija. Además, este problema obliga a recolocar el cabestrante, así como el soporte de la polea por la cara frontal. Esta redistribución queda por tanto tal y como indica la Ilustración 4-32, incluyendo la barra móvil y sin saber las dimensiones del cabestrante manual.



**Ilustración 4-32: Ensamble hasta barra móvil**

#### *4.2.7 Guía superior*

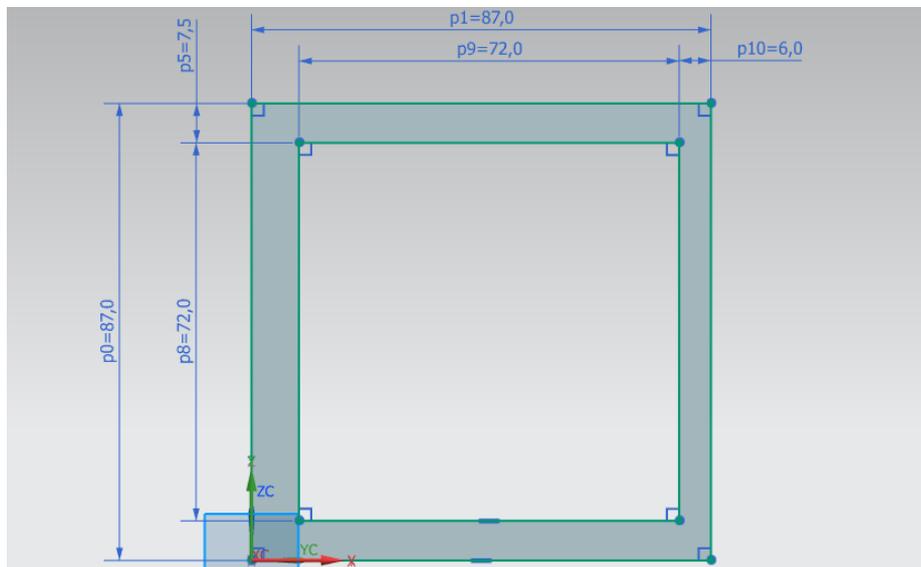
Como ya se ha mencionado, además de la guía inferior resulta necesario instalar una guía superior (Ilustración 4-33). Colocada sobre la barra fija impide que la móvil se desvíe de la vertical, manteniendo la estructura rígida.



**Ilustración 4-33: Guía superior**

El conjunto de la guía superior consiste en un total de cinco caras de las cuales una posee una abertura de sección cuadrada por la que se desliza la barra móvil. Las dimensiones de las caras laterales son de 84x84mm de manera que dejan 2mm de holgura a cada lado con respecto a la barra fija y vienen unidas como indica la Ilustración 4-33.

La simetría de la cara superior se ve afectada posteriormente debido al problema relativo a la sección de la barra móvil explicado anteriormente. Por ello debe modificarse sus dimensiones (Ilustración 4-34) permitiendo que una de las caras de la barra móvil deslice sobre la fija y a su vez respete la holgura decidida que permite que se introduzca el cable entre ambas.



**Ilustración 4-34: Cara superior – Segunda opción**

Tras los sucesivos cambios, se toma la decisión de aumentar además la sección de las caras laterales de la guía a 110x84mm para aumentar su superficie sobre la barra fija (Ilustración 4-35).

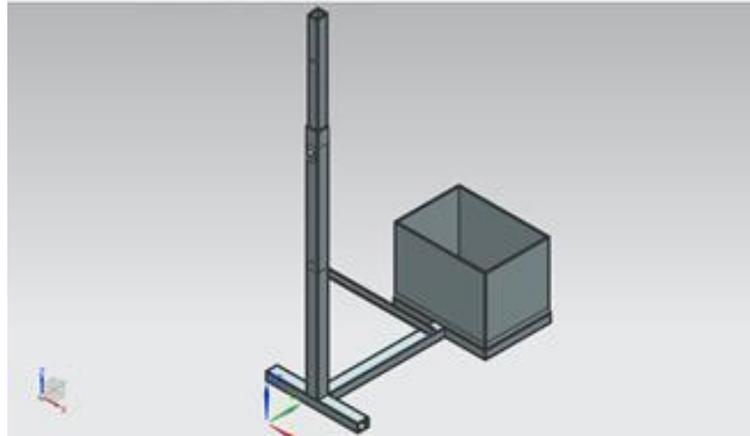


Ilustración 4-35: Ensamble hasta barra móvil con guía superior

#### 4.2.8 Soporte de raíles

El soporte de raíles ha sufrido varias modificaciones a lo largo de la fase de diseño. Para hacer referencia a los distintos elementos que componen este conjunto se nombran a partir de ahora de la siguiente manera:

1. **Tubo de encaje:** Es el tubo vertical que encaja en el extremo superior de la barra móvil. Su unión con el tubo longitudinal posee un recorte que proporciona la inclinación al resto del soporte y por tanto a los raíles.

La sección inicialmente se pretende que sea 75x75mm. Sin embargo, se plantea el mismo problema que con la barra móvil, puesto que METACA no dispone de barras de dicha sección. Por tanto, se modifica posteriormente a 80x80mm manteniendo la misma que la barra fija.

Tiene una longitud de 330mm sin tener en cuenta la inclinación para poder encajar con la barra móvil. Ambas piezas tras encajar se hacen fijas mediante una palometa.

2. **Tubo longitudinal del soporte:** Es un tubo de sección rectangular de 380mm de longitud. Se encuentra unido en su parte central al extremo superior del tubo de encaje. La sección que posee en un principio es la misma que la del tubo de encaje, pero finalmente se opta por utilizar la misma que el tubo de la base, de 80x60mm para ahorrar material puesto que no es una dimensión determinante.
3. **Tubos transversales del soporte:** Se trata de dos tubos de 200mm de longitud que se sitúan en cada extremo del tubo longitudinal y sobre los que se apoyan soldados los raíles.

La primera decisión que se toma respecto al conjunto es dotarle de 10° de inclinación, soldando el tubo de encaje al tubo longitudinal directamente (Ilustración 4-36).

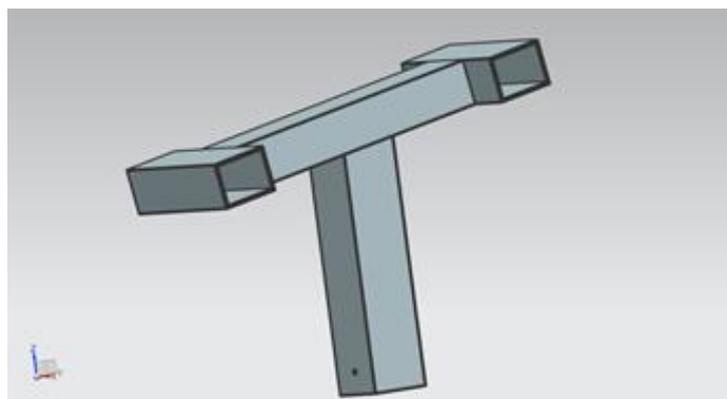
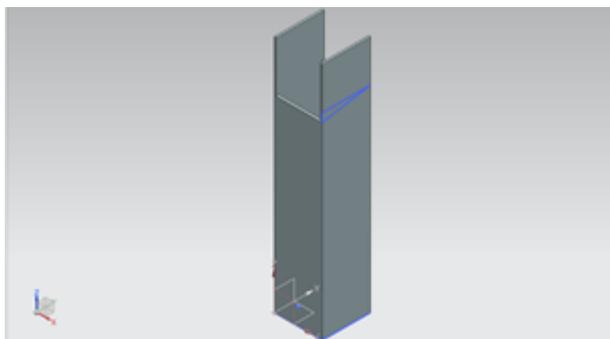


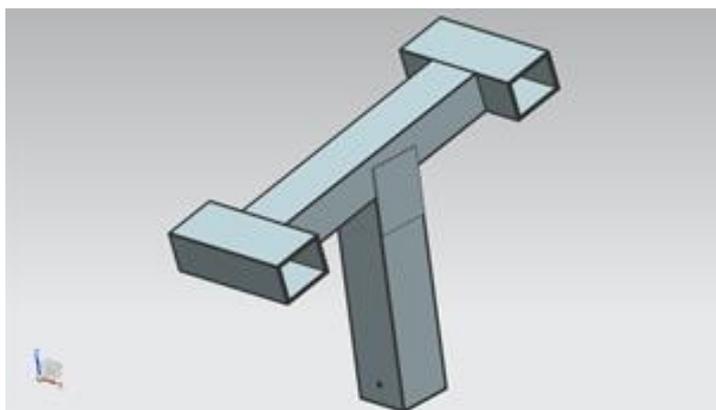
Ilustración 4-36: Soporte de raíles - Primera opción

Este modelo es el utilizado por Acuspik, aunque cierto es que su estructura es más ligera. Por ello, para asegurar la estructura de hierro del proyecto se pretende modificar el tubo de encaje de manera que abrace al tubo longitudinal (Ilustración 4-37), lo cual le aporta mayor rigidez y resistencia al conjunto.



**Ilustración 4-37: Tubo de encaje - Segunda opción**

No obstante, los recursos de los que dispone el taller son algo limitados y por ello se decide realizar un último cambio que facilite a los operarios la tarea de fabricar esta pieza. Por tanto, se decide omitir las dos prolongaciones pasando a ser dos planchas. De esta manera, se cumplirá la primera opción considerada, añadiéndole dichas chapas (Ilustración 4-38) a modo de refuerzo para ofrecerle la rigidez que se buscaba con el segundo modelo.

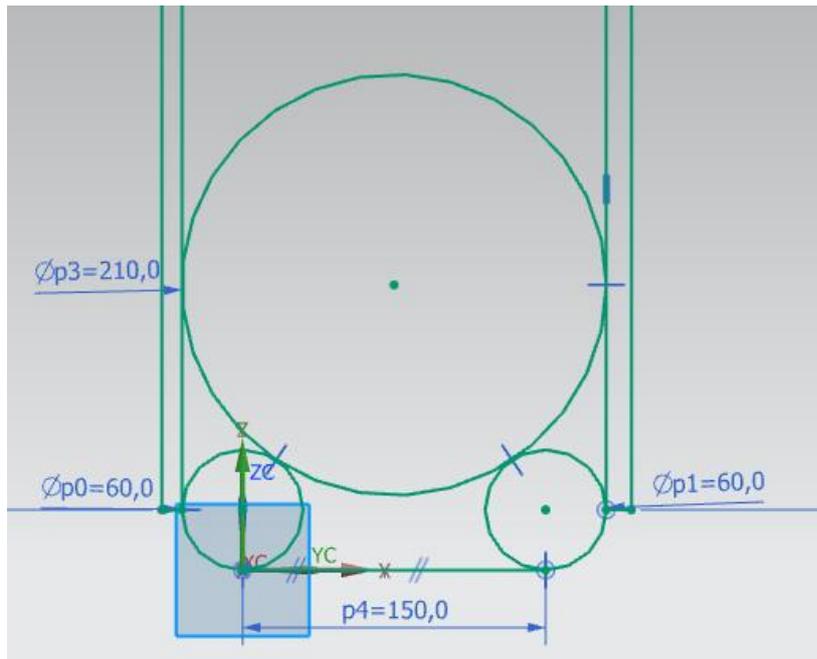


**Ilustración 4-38: Soporte de raíles definitiva**

#### *4.2.9 Raíles*

Los raíles permiten el traslado del balón desde la tolva al cabezal que contiene las pinzas por tanto es una de las partes clave de la estructura de la máquina.

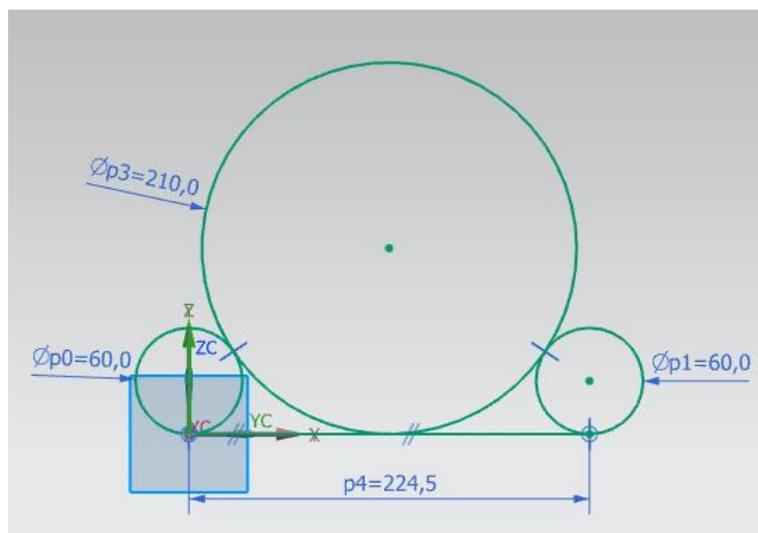
El primer modelo que se plantea es el de colocar dos raíles de 60mm de diámetro. Sin embargo, es importante tener en cuenta la separación entre los raíles de manera que los balones no sean obstaculizados con otras piezas instaladas en la máquina como son la tolva, las pletinas que unen los raíles o el propio soporte de los raíles. Por ello, se establecen unos márgenes máximos y mínimos de separación:



**Ilustración 4-39: Distancia mínima entre raíles**

Para que las barras que sostienen la tolva no obstaculicen los balones, en caso de querer fijarlas a los extremos laterales de los raíles, se puede deducir de la Ilustración 4-39 tomada del Siemens NX que la suma de los radios de ambas barras más la distancia entre ellas debe ser mayor que el diámetro del balón. Por tanto, la distancia entre ellas debe ser menor que 150mm.

Por otro lado, los balones no deben rodar superando los límites inferiores de los raíles. El cálculo lo facilita NX haciendo tangente el balón a la línea que une los extremos inferiores de los raíles tal y como se observa en la Ilustración 4-40. Esta distancia, por tanto, debe ser menor a 224,5mm.

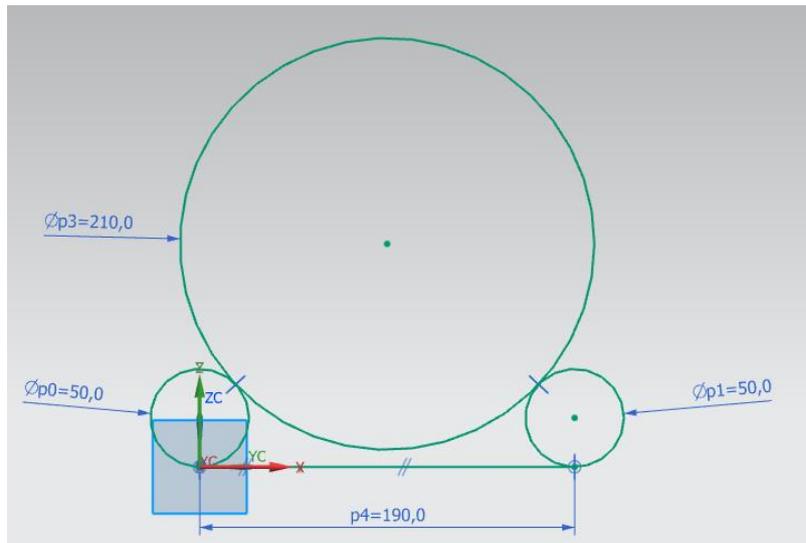


**Ilustración 4-40: Distancia máxima entre raíles**

De esta manera se establece una separación de 220mm. Con este cálculo además, se comprueba que se complica mucho colocar las barras soporte de la tolva porta-balones sobre la vertical de los raíles por lo que se decide colocarlos en los extremos laterales de los mismos.

Debido a que se debe reducir el coste y el peso de la máquina y en mayor medida en la parte superior, se decide más tarde reducir el diámetro de los raíles a 50mm. Mediante cálculos análogos a los realizados anteriormente se llega a la conclusión de que la distancia entre los raíles debe estar

comprendida entre 160mm y 205mm. De esta manera se decide que la separación entre los raíles finalmente sea de 190mm (ilustración 4-41).



**Ilustración 4-41: Distancia definitiva entre raíles**

La distancia que se mantiene de esta manera entre el balón y las pletinas o el soporte es de 8,7mm y lateralmente con las barras de la tolva el margen es de 15mm.

Añadiendo al ensamble anterior los raíles (Ilustración 4-42) se comienza a diseñar el cabezal que irá en el extremo inferior de los mismos.



**Ilustración 4-42: Ensamble hasta raíles**

#### 4.2.10 Cabezal

El cabezal es la pieza que va a diferenciar en mayor medida el diseño de la máquina respecto a la de Acuspik. Integra diversos mecanismos que pretenden proporcionarle la funcionalidad esperada así como las pinzas que sostienen los balones que se rematan.

El diseño de estos mecanismos es la parte más importante de cara al proyecto puesto que debe cumplir los requisitos y objetivos marcados. El cabezal por tanto debe poseer dos mecanismos.

#### *4.2.10.1 Mecanismo de giro del cabezal*

La idea de la que se parte es de la modificación del cabezal de la máquina de Acuspiké, el cual consiste en un conjunto de dos tubos y dos pletinas que forman entre ellos un cuadrado en el plano horizontal (Ilustración 4-43). La pletina más alejada de los raíles porta una bisagra sobre la que pivota el conjunto de la pinza móvil. La pletina más cercana a los raíles únicamente se encarga de unir el cabezal a los raíles portando una pinza fija que mantiene cierto ángulo con respecto a la vertical.

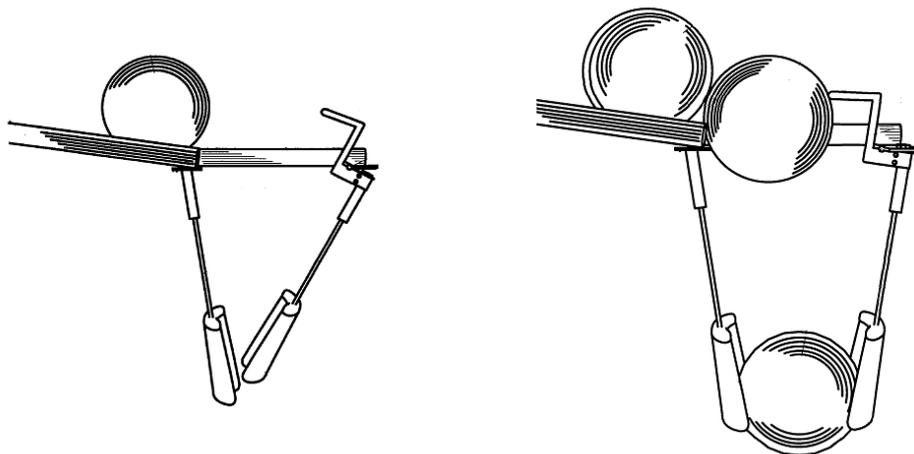


**Ilustración 4-43: Cabezal de Acuspiké**

La mejora propuesta consiste en proporcionarle un grado de libertad a esta pieza de manera que se pueda rematar con distintos ángulos respecto a la red únicamente girando el cabezal, sin necesidad de mover la máquina orientándola hacia la dirección a la que se pretende rematar.

#### *4.2.10.2 Mecanismo de dosificación de balones*

Mientras no exista ningún balón cargado entre las pinzas, un contrapeso metálico de color negro (Ilustración 4-43) hace que la pinza se desplace hacia su homóloga, alejando el retén de los raíles, debido a que este se encuentra fijo a la pinza. Así permite que al llegar un balón al cabezal caiga sobre las pinzas. Al caer las pinzas se separan hasta hacer tope en la pletina, impidiendo que el balón caiga (Ilustración 4-44). El retén por su parte impide que caiga el siguiente balón sobre las pinzas, obligándolo a mantenerse arriba hasta que el primer balón sea rematado, momento en el que se repetirá el ciclo.

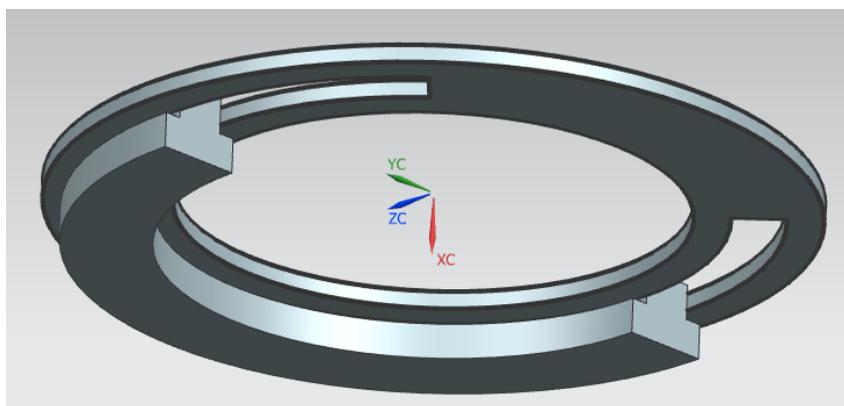


**Ilustración 4-44: Posiciones del mecanismo de dosificación de Acuspike**

Para un cabezal estático resulta un mecanismo sencillo y de gran eficacia. Sin embargo, el hecho de buscar la rotación del cabezal complica este mecanismo debido a que el retén debe ser capaz de detener y permitir el paso de balones aun encontrándose las pinzas desplazadas respecto a su posición de remate natural, es decir, perpendicular a los raíles.

#### 4.2.10.3 Diseño del cabezal

Se comienza su diseño planteando cómo se podría realizar el giro del cabezal de forma sencilla. La primera idea que se propone es utilizar un disco fijo y otro móvil que deslice bajo él mediante un raíl en forma de T, algo similar a lo que se muestra en la Ilustración 4-45:



**Ilustración 4-45: Modelo de disco-raíl**

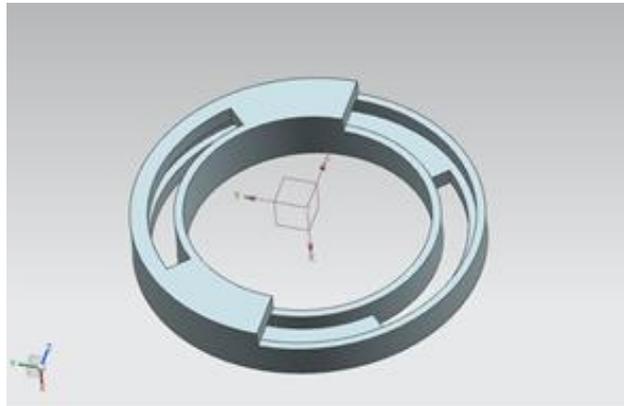
Con esto se conseguiría desplazar la posición relativa de las pinzas. Sin embargo se tiene el problema con el retén de los balones, planteando dos posibilidades:

1. El retén se mantiene en su posición natural y no se desplaza junto a las pinzas, enfrentando los raíles a la espera de la llegada de balones.
2. El retén acompaña al conjunto deteniendo o permitiendo el paso de balones desde cierto ángulo con respecto a la trayectoria de llegada de los mismos al cabezal.

Se comienza planteando el primero de los casos, intentando diseñar una pinza colocada en un raíl y que a su vez lleve consigo algún tipo de pletina curva que, al caer un balón sobre las pinzas mueva la pletina, y esta active el mecanismo de retención.

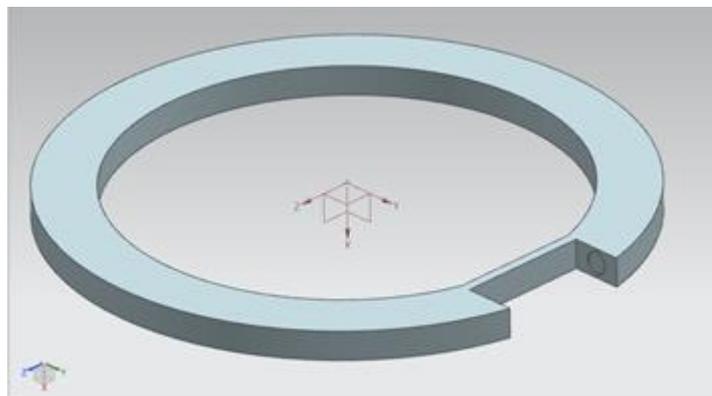
Sin embargo, la complejidad del mecanismo hace desviarse hacia la segunda opción planteada, más sencilla en la activación del mecanismo pero con mayores dificultades a la hora de diseñar un retén efectivo.

Se comienza desarrollando un primer modelo compuesto por dos discos, uno fijo y uno móvil, de manera que uno se mueva dentro del otro que se encuentra unido a los raíles. Las dos piezas vienen definidas en las ilustraciones 4-46 y 4-47.



**Ilustración 4-46: Disco fijo semiabierto**

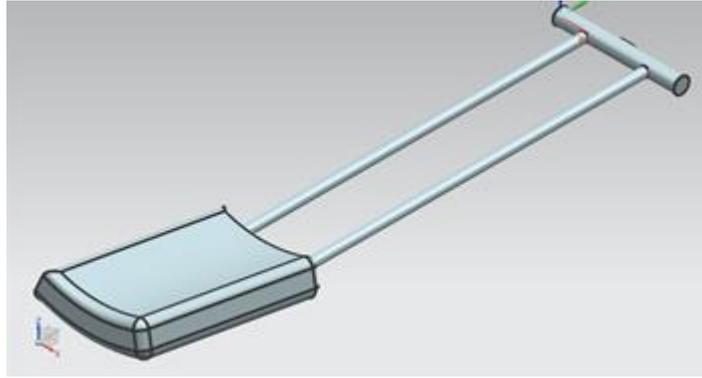
El disco fijo se encuentra cerrado por completo, aunque en la Ilustración 4-46 se muestra abierta una mitad para poder observar el interior del mismo y mejorar la comprensión de la pieza. Se trata de un disco de 400mm de diámetro exterior y 280mm de diámetro interior. Posee unas ranuras de 60mm que permiten el movimiento de las pinzas hasta 45° hacia cada lado, es decir, un giro total de 90°. La distancia radial hueca para alojar al disco móvil es de 80mm, manteniendo así 20mm de margen con la cara externa e interna del disco.



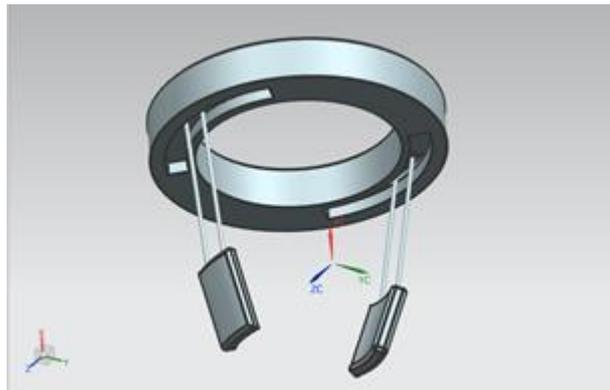
**Ilustración 4-47: Disco móvil**

El disco móvil es un anillo de 380mm de diámetro externo y 300mm de diámetro interno sin tener en cuenta por el momento los problemas de ajuste.

El diseño del disco móvil es debido a que las pinzas van unidas al mismo. La pinza fija lo hace directamente, en cambio, la móvil lo hace mediante un eje que se coloca en la abertura que aparece en la Ilustración 4-47, encajando en esa zona reducida de su diámetro. Su eje posee un diámetro de 10mm y una longitud de 90mm sobre el que se colocarían las varillas de la pinza. De esta manera el ensamble de ambas piezas utilizando unas pinzas experimentales iniciales (Ilustración 4-48) se muestra tal y como aparece en la Ilustración 4-49:



**Ilustración 4-48: Pinza móvil**



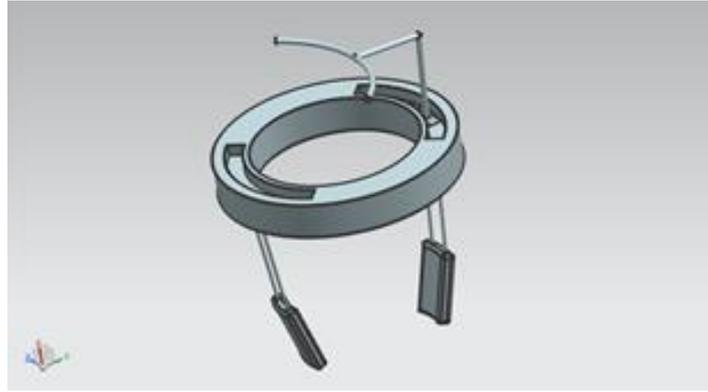
**Ilustración 4-49: Cabezal con pinzas**

Finalizado lo que podría llegar a ser el primer diseño del cabezal, cabe decidir cómo realizará su función el retén. La primera opción pensada para este modelo es un retén que no finalice en una pieza recta como en Acuspik, sino que posea un arco en el extremo que contacta con el balón (Ilustración 4-50) de manera que el giro no le impida frenarlo.

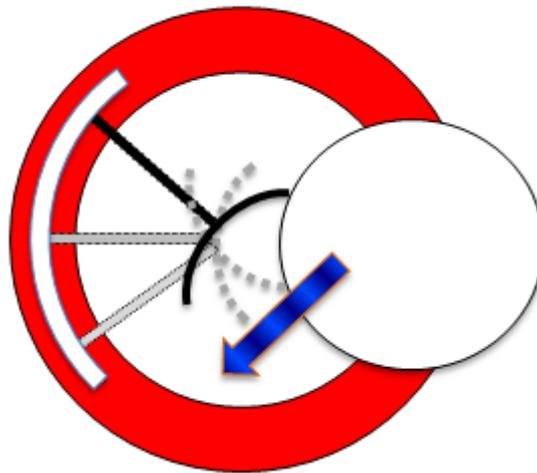


**Ilustración 4-50: Retén de extremo curvo**

Con esto se crea un primer modelo de retén y se ensambla al conjunto del cabezal (Ilustración 4-51):



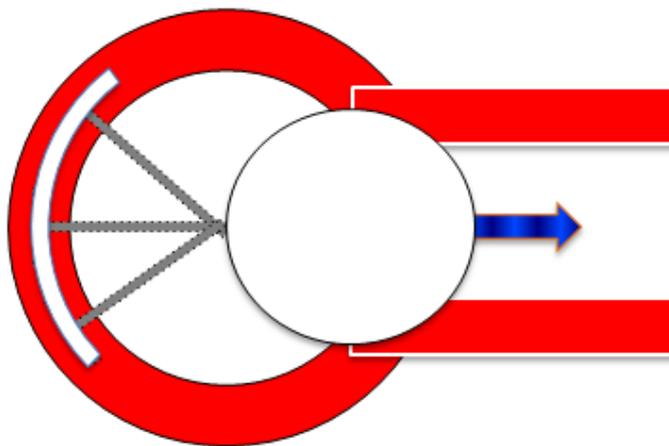
**Ilustración 4-51: Ensamble de cabezal**



**Ilustración 4-52: Primer modelo del retén**

El problema que presenta este modelo de retén es que al llegar un balón con cierta velocidad el retén podría expulsarlo del cabezal (Ilustración 4-52), a pesar de ir guiado por los raíles en su parte baja. De este modo, se busca la manera de modificar el retén para aumentar su efectividad.

Con esto se llega a un segundo modelo que podría solucionar ese problema de desplazamiento del balón. Este consiste en un retén más parecido al de Acuspik, pero con la diferencia de no ser un retén doble como es su caso, sino simple. La clave de esta pieza es que su extremo sobre el que apoya el balón siempre se mantiene en el centro del espacio por el que va a caer sobre las pinzas. Tratándose de una circunferencia actuará por tanto de forma radial (Ilustración 4-53). En este caso en caso de rebotar sobre el retén debido a la velocidad, lo haría en la misma dirección de aproximación pero en sentido contrario por lo que no sería un problema.



**Ilustración 4-53: Segundo modelo del retén**

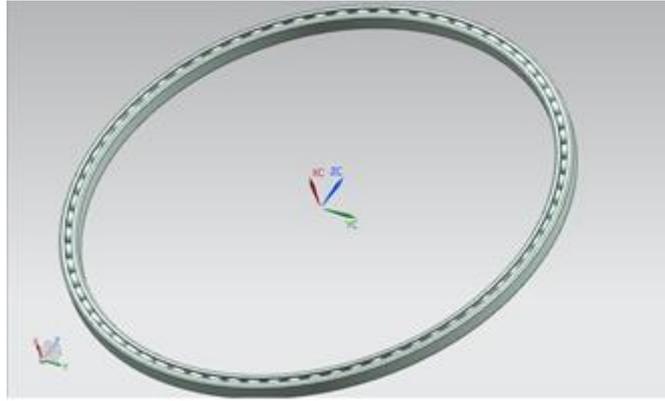
Llegados a este punto del desarrollo del diseño, se comienza a valorar la posibilidad de fabricación del cabezal. Aun así, falta tomar una decisión sobre algo que podría resultar un problema que es el giro relativo entre los discos. La idea es facilitar lo posible en la medida de lo posible para evitar rozamientos entre ellos.

Por este motivo se decide ir a ver las instalaciones de METACA para comprobar si es viable la fabricación del modelo o, al menos, algo que se asemeje a lo diseñado. Sin embargo, surge el primer problema que es que poseen una gran carga de trabajo y se ven incapaces de trabajar en ello hasta mínimo mediados del mes de marzo. Aun así, se propone comprobar si la empresa NODOSAFER, S.L. realizaría este trabajo.



**Ilustración 4-54: NODOSAFER, S.L.**

Una vez en las instalaciones de NODOSAFER (Ilustración 4-54), informan de que se encuentran prácticamente en las mismas condiciones en lo que a carga de trabajo y calendario se refiere. Por ello, en primera instancia, rechazan el proyecto pero ofrecen una alternativa. Esta consiste en un rodamiento de grandes dimensiones (Ilustración 4-55) sobre el que se desarrollaría el resto de la estructura del cabezal.



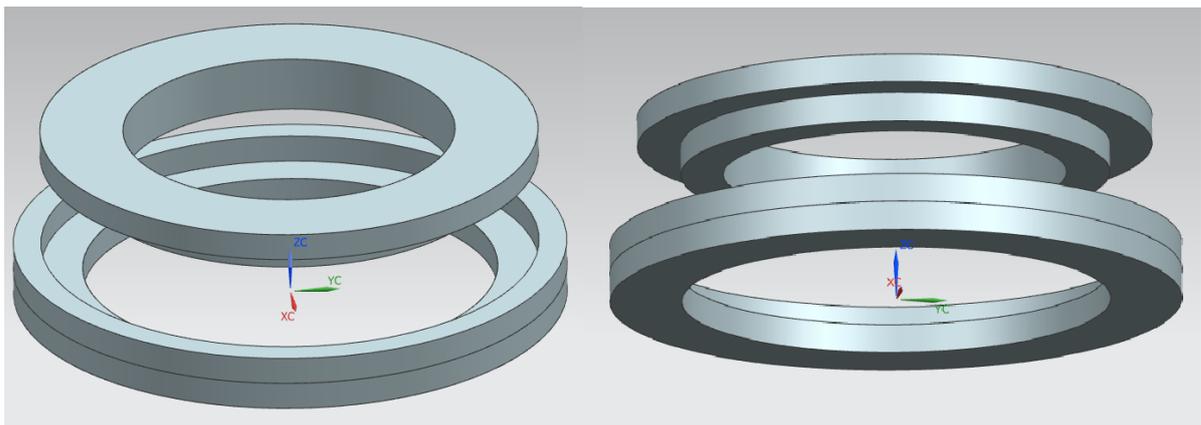
**Ilustración 4-55: Rodamiento de NODOSAFER**

Dicho desarrollo se realizaría hacia el interior, considerando la cara interior del rodamiento móvil mientras que la exterior sería fija y, de alguna manera, unida a los raíles. No obstante, existen dos motivos por los que este modelo se rechaza finalmente.

El primero de ellos es porque el rodamiento está valorado en 700 euros y, a pesar de que NODOSAFER lo ofrece al proyecto a precio de coste, está lejos del presupuesto de la máquina. Ese precio es debido a que poseen un alto stock de este rodamiento debido a su uso en antiguas máquinas. Por este motivo se podría conseguir llegar a un acuerdo para reducir su precio, a pesar de que sus dimensiones no se ajustan adecuadamente a lo requerido.

Sin embargo, bajo esa posibilidad, estos motivos terminan por desechar el modelo. En caso de conseguir reducir el coste, el problema es añadido sabiendo que las dimensiones del rodamiento son grandes respecto a lo que se pretende colocar en la máquina ya que cuenta con un diámetro de 56mm. El modelo del rodamiento de NODOSAFER, por tanto, se termina rechazando.

Sin embargo, a pesar de todo, razonar la viabilidad del uso de un rodamiento como este aporta una idea al proyecto que simplifica el modelo de los discos (Ilustración 4-56). Se trata de colocar un disco fijo exterior y otro móvil interior de radio menor, deslizando uno sobre el otro.



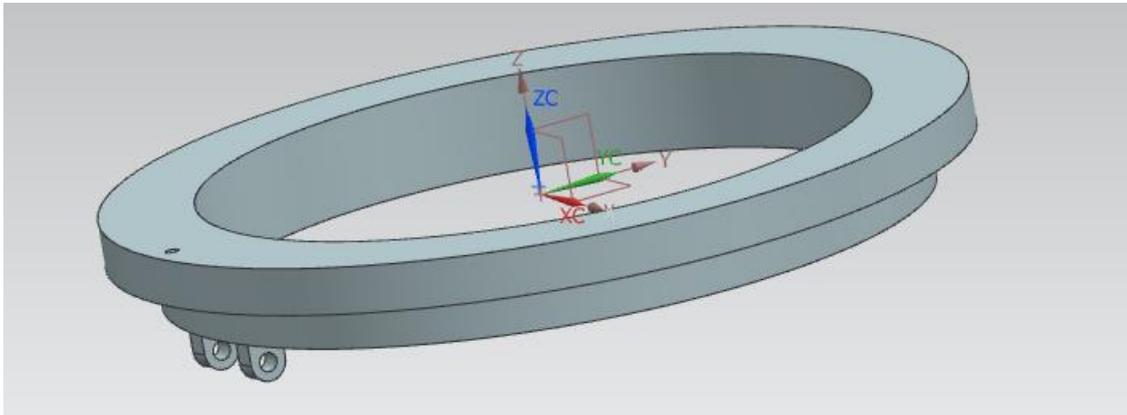
**Ilustración 4-56: Segundo modelo de cabezal**

Este nuevo modelo resulta más sencillo que el anterior pero con características similares. El problema de rozamiento se mantiene, pero termina por asumirse debido a que no es imprescindible que deslice correctamente el disco móvil sobre el disco fijo. Como no está diseñado para realizar un giro continuo, sino que únicamente va a realizar el movimiento durante el reposicionamiento de las pinzas se sigue adelante con el diseño del nuevo modelo.

Una vez establecido el movimiento de los discos para proporcionar el desplazamiento de las pinzas respecto a su posición natural, una vez más hay que diseñar el retén. Partiendo del segundo modelo del

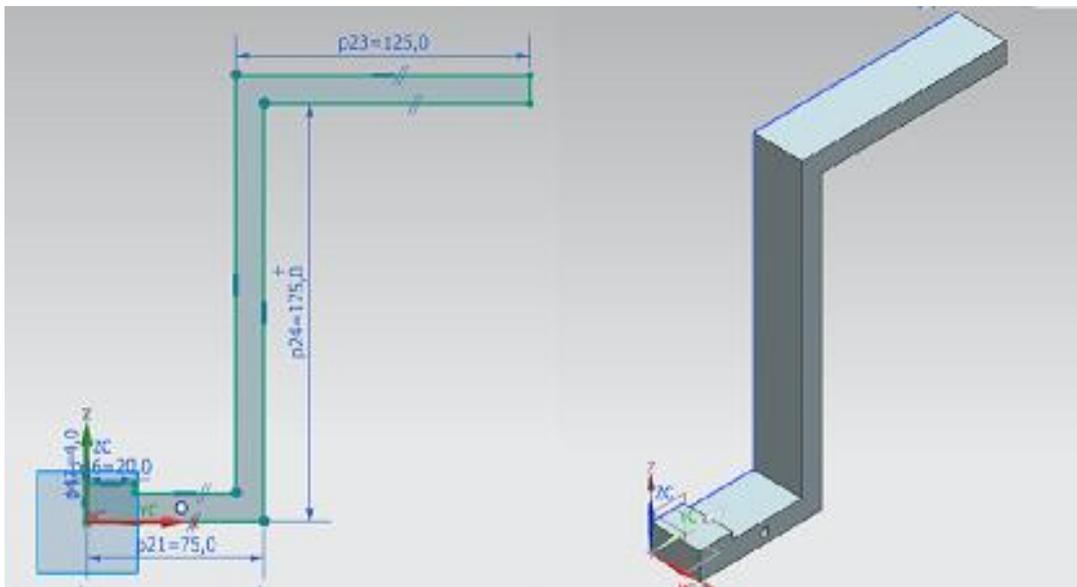
retén, que se ha visto en la Ilustración 4-53, hay que diseñar un punto sobre el que el conjunto pinza-retén pueda realizar el movimiento.

Se plantean dos opciones: Colocar el punto de giro en el interior o debajo del disco móvil. Como colocarlo en el interior complica su diseño y además reduce el espacio de paso del balón, se decide colocarlo debajo, permitiendo el movimiento relativo mediante un eje tal y como aparece en la Ilustración 4-57.



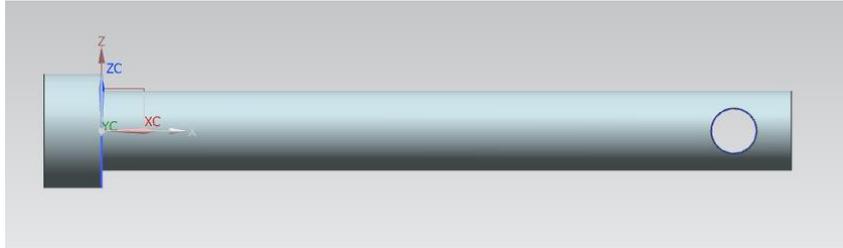
**Ilustración 4-57: Disco móvil**

Por tanto, el retén viene a ser un modelo muy similar al de Acuspiké, con una silueta en forma de Z, pero tratándose de un retén simple en lugar de doble. Posee 12x28mm de grosor además de las dimensiones que aparecen en la Ilustración 4-58:



**Ilustración 4-58: Retén**

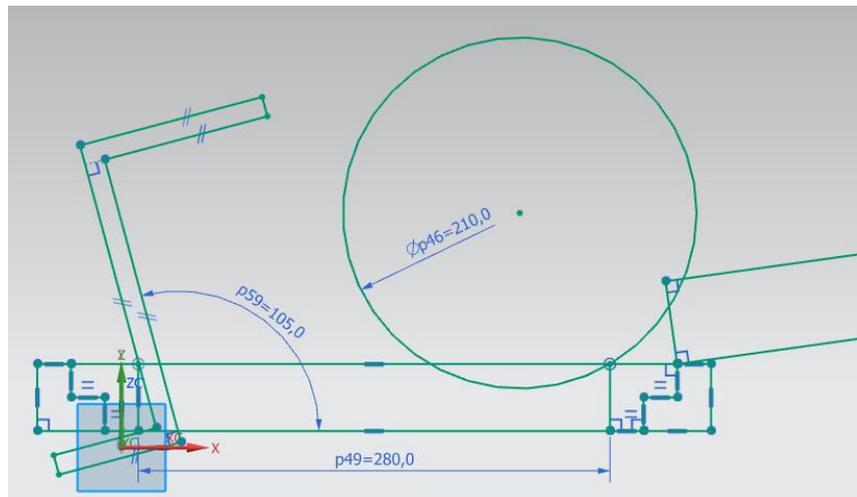
El eje se trata de un pasador que funciona a modo de eje de 7mm que se introduce en un agujero de 8mm realizado en la parte baja del retén.



**Ilustración 4-59: Pasador del retén**

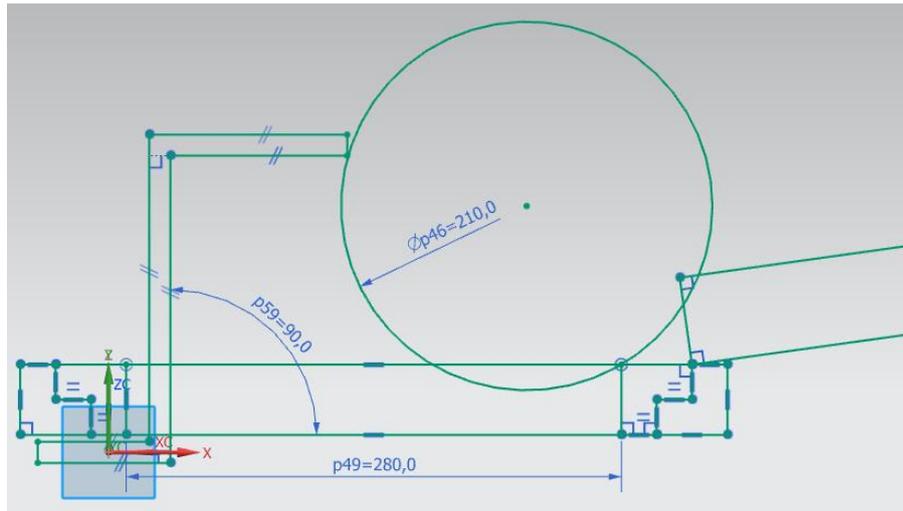
Con este modelo se procede a realizar los cálculos, que se realizan con ayuda del NX pudiendo comprobar que las distancias son suficientes para permitir el paso. Las medidas del retén se han hallado a partir de los croquis donde se han introducido las medidas tanto de los discos y del retén como del balón.

La apertura máxima del retén para permitir el paso del balón es de  $105^\circ$  respecto a la horizontal, y se ha querido ajustar a la cara interna del disco móvil, tanto el borde superior como inferior (Ilustración 4-60). En esta posición, deja un espacio de 25,1cm desde la parte alta del retén hasta el borde superior opuesto del disco móvil permitiendo que tenga un margen de 4,1cm.



**Ilustración 4-60: Retén abierto**

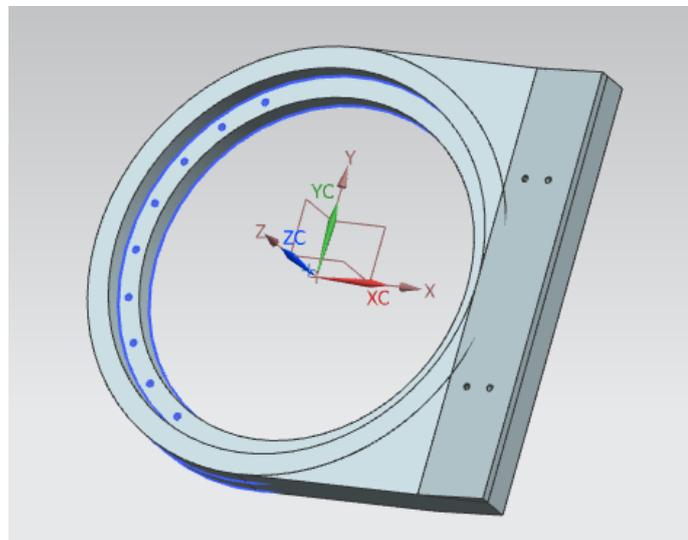
Por otro lado, cuando cae el balón sobre las pinzas el retén cierra el paso de balones colocándose a  $90^\circ$ , posición facilitada por la forma del retén en su parte inferior trasera debido a que hace tope con la parte inferior del disco fijo. Como se puede observar en la Ilustración 4-61, cuando el retén se encuentra en esta posición el balón no tiene suficiente espacio para poder caer sobre las pinzas por lo que se consigue cumplir con los requerimientos del cabezal.



**Ilustración 4-61: Retén cerrado**

Sin embargo, el balón cae con cierta velocidad sobre los raíles de manera que, encontrándose el retén en su posición de “cerrado”, podría rebotar levemente pudiendo caer hacia los laterales en caso de no tener un obstáculo que lo impida. Para evitarlo se decide aproximar lo suficiente los raíles para guiar el balón únicamente hacia adelante, tal y como se observa en las ilustraciones anteriores.

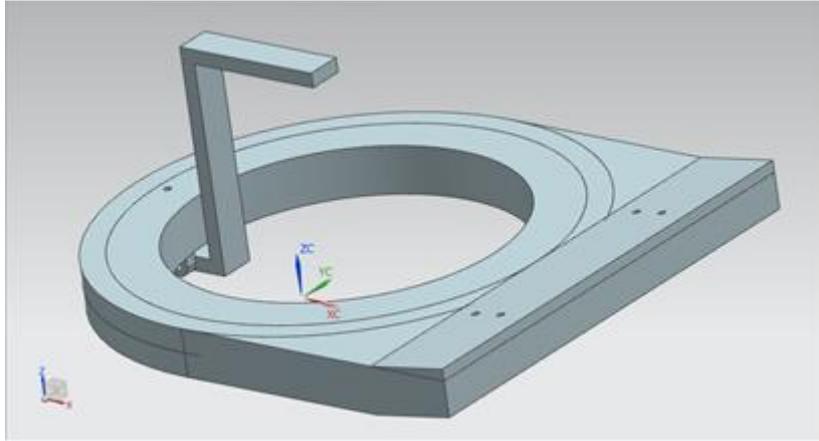
Para la unión de los raíles con el disco fijo se decide prolongar la superficie del mismo añadiéndole un ángulo de  $8^\circ$  que compense la inclinación de los raíles de modo que se recupere la horizontalidad al llegar al cabezal. La unión del cabezal con los raíles se realizará mediante dos tornillos para cada uno de ellos de manera que se pueda desmontar.



**Ilustración 4-62: Disco fijo definitivo**

Como se puede ver en la Ilustración 4-62, se le practican nueve agujeros, separados  $15^\circ$  entre ellos, que serán con los que se fije la posición relativa del disco móvil. Las posiciones que puede tomar por tanto son hacia cada lado  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  y  $60^\circ$ . La posibilidad de que la propia estructura de la máquina pueda entorpecer al jugador durante o tras el remate hace que se limita a  $60^\circ$  la máquina, dejando por tanto un margen de  $120^\circ$  para orientarlo.

El modelo definitivo del cabezal queda finalmente tal y como muestra la Ilustración 4-63:



**Ilustración 4-63: Cabezal sin pinzas**

Una vez finalizada la parte superior del mecanismo falta por idear las pinzas que soportarán los balones.

#### 4.2.10.4 Pinzas.

Las pinzas van unidas ambas al disco móvil, de manera que una de ellas va directamente firme al mismo mientras que la otra va unida a un contrapeso fijado en la parte baja del retén. Lo primero que se debe hacer es calcular la posición que deben tomar las pinzas cuando el retén se encuentra cerrado, es decir, cuando hay un balón colocado entre las pinzas. Con esto volvemos al croquis realizado en NX (Ilustración 4-60 y 4-61) y lo ampliamos de manera que obtengamos un primer modelo de la posición que deberían tomar las pinzas y el ángulo respecto a la vertical.

Se pretende buscar el punto en el que ambas pinzas se prolongan tangentes al balón. El problema es que no parten de una misma distancia respecto al eje de los discos y tampoco se encuentran a la misma altura. Además, el contrapeso de la pinza móvil debe encontrarse lo más alejado posible del eje del retén para crear un momento que haga que la pinza se aproxime a su homóloga. También, la pinza fija se encuentra muy limitada respecto a su punto de origen, pues debe estar sujeta en el disco móvil.

Estas limitaciones junto a la asimetría del modelo impiden que se les otorgue la misma inclinación a ambas pinzas.

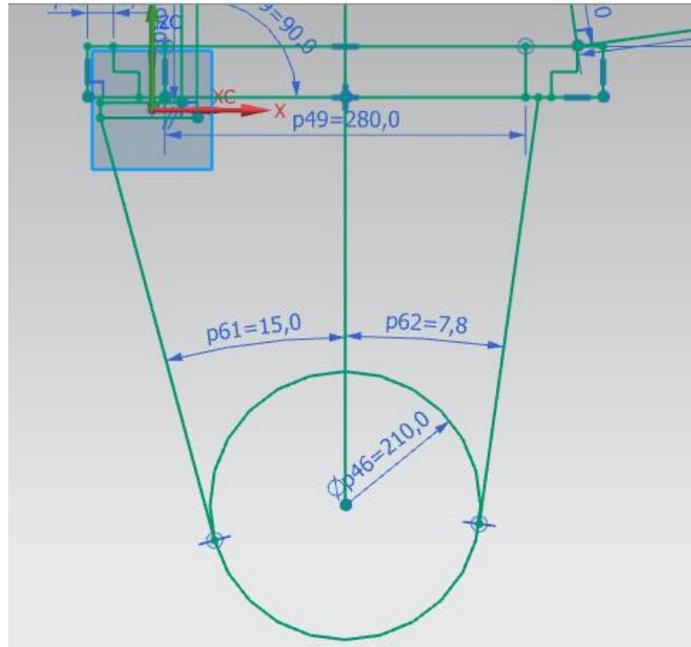
En caso de tener varios balones sobre los raíles y uno cargado en las pinzas, en el momento del remate el balón caerá sin velocidad. Sin embargo cuando se introduce el primer balón en la tolva, tiene que recorrer dos metros en un plano inclinado de  $8^\circ$  hasta llegar al cabezal. Analizando los datos y sin tener en cuenta el rozamiento del balón y los raíles se tiene que:

$$mg \cdot \text{sen}(8) = m \cdot a \quad ; \quad a = g \cdot \text{sen}(8) = 1,36 \text{ m/s}^2$$

$$x = 1/2 \cdot a t^2 \quad ; \quad 2 = 1/2 \cdot 1,36 t^2 \quad ; \quad t = 1,71 \text{ s}$$

$$\text{Como } v_0 = 0: \quad v = a \cdot t = 2,33 \text{ m/s}$$

Por tanto, el balón llega a adquirir unos 2,3m/s al llegar al cabezal, una velocidad suficiente para rebotar en el retén antes de entrar entre los discos. No obstante, esto frenará el balón con lo cual lo podremos asemejar al primer caso. Es por esto por lo que se decide que la pinza móvil tenga mayor inclinación que la pinza fija (Ilustración 4-64)



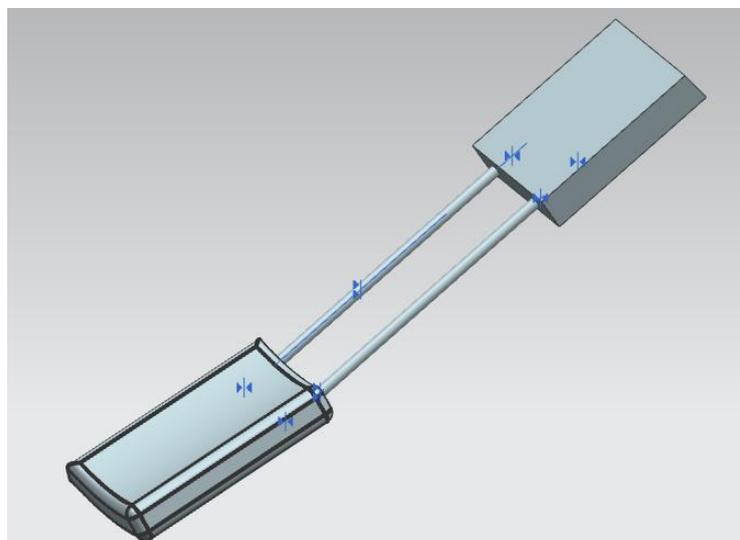
**Ilustración 4-64: Inclinación de las pinzas**

Las inclinaciones por tanto se establecen que son  $15^\circ$  para la pinza fija y  $7,8^\circ$  para la pinza móvil. Con esto pasamos a ver qué materiales necesitamos para las pinzas.

En primer lugar necesitaremos los contrapesos de las pinzas. En la pinza móvil debe tener un peso determinado para ser capaz de mover el conjunto con un movimiento de avance sobre la pinza fija. En esta otra únicamente lo necesitaremos para hacerla fija al disco móvil del cabezal.

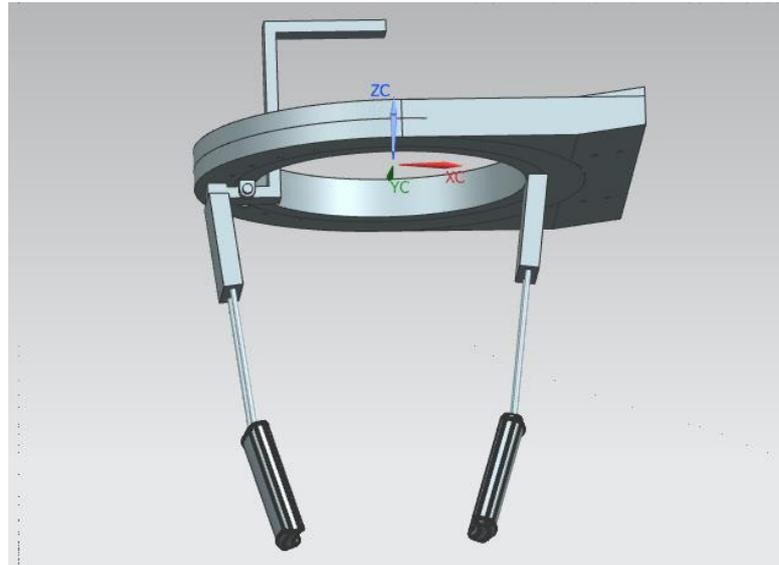
Por otro lado las varillas son recomendables que sean de un material flexible y de baja rigidez debido a que pueden ser golpeadas accidentalmente por un usuario. El material que utiliza Acuspике es la fibra de vidrio que es idónea por sus propiedades por lo que se propone el mismo material de cara a la fabricación de la máquina mejorada.

Para finalizar, el material escogido para el extremo de la pinza, pieza en la que se apoyarán los balones, es la espuma de poliuretano o comúnmente llamada gomaespuma. Esta deberá tener una silueta curva (Ilustración 4-65) en su superficie para evitar que el balón caiga por los laterales de las pinzas.



**Ilustración 4-65: Modelo de pinza**

Con esto finaliza el diseño del cabezal y todos sus componentes. El conjunto definitivo, por tanto, queda tal y como muestra la Ilustración 4-66.



**Ilustración 4-66: Conjunto del cabezal**

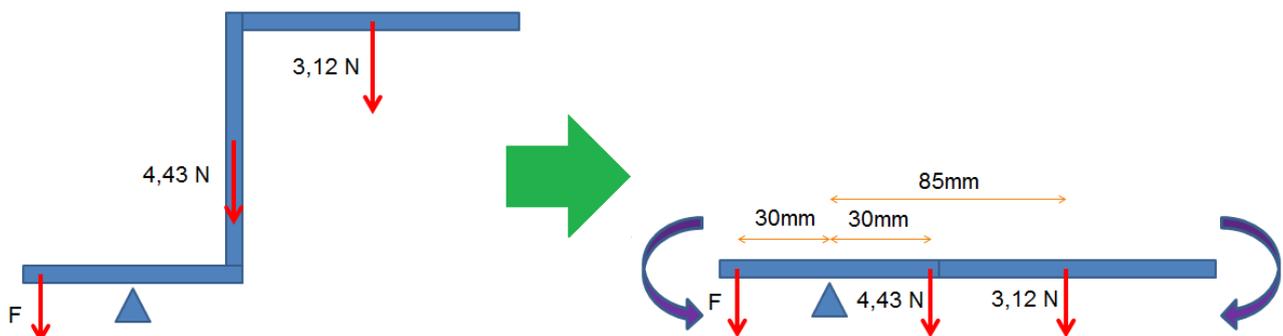
Con la ayuda del NX es posible calcular fácil y rápidamente el volumen, la masa y el área total de las piezas modeladas. En lo que respecta al contrapeso, para calcular qué peso debe tener simplificamos el problema. Los datos de los pesos de las distintas partes del retén son conocidos gracias a sus dimensiones y densidades. Para ello es necesario seguir los siguientes pasos:

1. Asignar material a cada pieza: Pulsando en “Menú / Herramientas / Materiales / Asignar material” se despliega una larga lista de materiales con los que podemos dotar a la pieza deseada las propiedades características de cada uno de ellos, ya sea para simulación o simples datos.

El Siemens NX no cuenta con el material específico del AISI 316, por ello se toma como material el acero AISI 304 debido a que poseen la misma densidad. En el caso de las varillas de fibra de vidrio y los soportes de las pinzas de espuma de poliuretano no se realizan los cálculos con el software. Se ha tomado una densidad de  $2,58 \text{ g/cm}^3$  (27) para una fibra de vidrio clase “E” para las varillas y una densidad de  $0,4 \text{ g/cm}^3$  (28).

2. Recoger las medidas: Para realizar los cálculos una vez establecido el material pulsamos en “Menú / Análisis / Medir los cuerpos”, abriéndose una ventana. Seleccionando la pieza que se quiere medir, en la opción de “Requerimientos” establecemos “Nuevo” y aceptamos.

La Ilustración 4-67 recoge los datos adquiridos sobre la pieza del retén:



**Ilustración 4-67: Datos del retén**

Esto es lo que ocurriría al encontrarse en reposo. Sin embargo, para permitir el paso de un balón debe inclinarse como hemos visto anteriormente  $15^\circ$ . La pinza móvil forma otros  $15^\circ$  con respecto a la vertical y, más adelante, se demuestra que su peso es de  $0,15\text{kg}$  (Tabla 4-1). Por tanto, se estudia la situación límite, mostrada en la Ilustración 4-68:

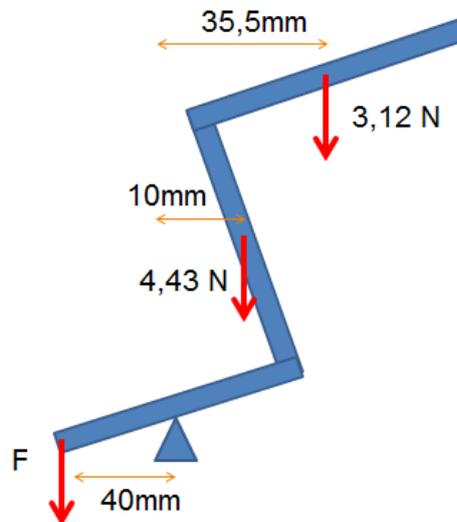


Ilustración 4-68: Cálculo del contrapeso

Para calcular  $F$ , buscaremos su punto de equilibrio, haciéndolo coincidir con la máxima inclinación que puede adquirir el retén debido a que toca con el disco móvil, como se vio anteriormente en la Ilustración 4-60:

$$\sum M = 0$$

$$\sum M = F \cdot 0,04 - 4,43 \cdot 0,01 - 3,12 \cdot 0,035 = 0$$

Sabiendo que  $F = F' + f$ , es decir, es la suma del peso del contrapeso y de la pinza. Siendo  $f$  la componente  $y$  del peso de la pinza ( $f$ ), se puede hallar el peso del contrapeso ( $F'$ ).

$$\text{Como; } P = f' \cdot \cos(30^\circ) = 0$$

$$f' = \frac{P}{\cos(30^\circ)} = \frac{0,15}{\cos(30^\circ)} = 0,17$$

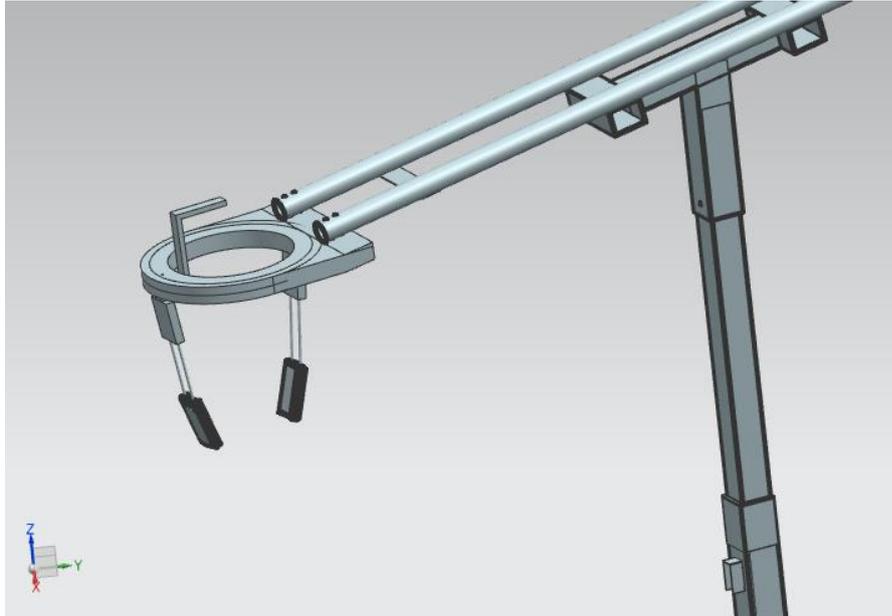
$$\sum M = (F' + f) \cdot 0,04 - 4,43 \cdot 0,01 - 3,12 \cdot 0,035 = 0$$

$$\sum M = (F' + 0,17) \cdot 0,04 + 4,43 \cdot 0,01 + 3,12 \cdot 0,035 = 0$$

$$F' = 3,6\text{ N}$$

El contrapeso por tanto deberá ser de  $0,37\text{kg}$ , es decir, de **370gr** para que la pinza al no tener un balón cargado se aproxime hasta su posición límite asegurando el paso del siguiente balón.

Con todo ello y ensamblando el cabezal sobre el resto de la máquina la máquina se encuentra tal y como aparece en la Ilustración 4-69.



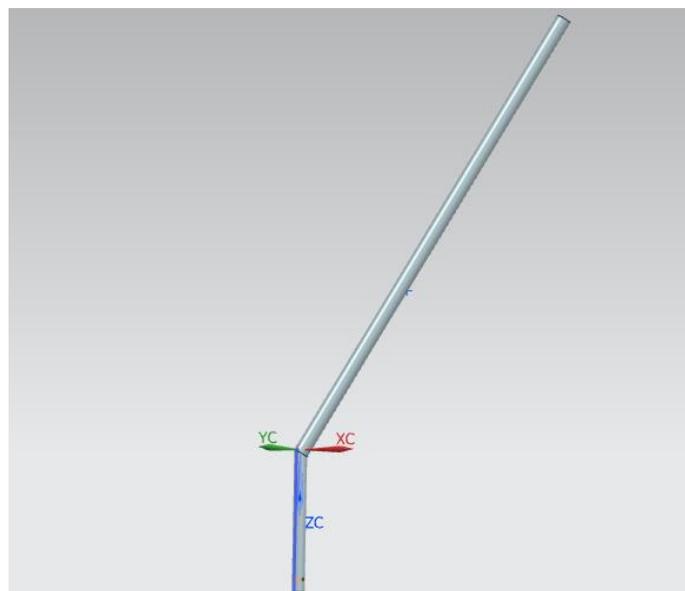
**Ilustración 4-69: Ensamble hasta cabezal**

#### 4.2.11 Tolva porta-balones

La tolva porta-balones es el último conjunto para finalizar el diseño de la máquina. Ha sido necesario apartar su diseño hasta el final debido a la relación que tienen sus dimensiones con respecto a los raíles, y estos a su vez con el cabezal.

Las posibilidades de material que se tienen son en primer lugar el acero, al igual que el resto de la máquina. Se plantea la posibilidad de instalar barras de PVC pero se descartan por miedo a no ser un material lo suficientemente resistente como para poder soportar debidamente las cargas soportadas al lanzar los balones sobre la tolva.

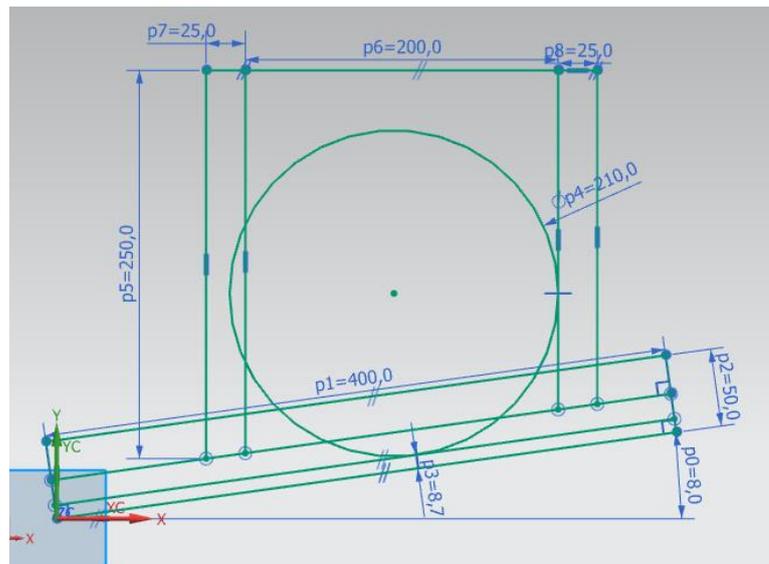
En primer lugar se busca la manera de colocar las barras por la parte superior pero debido a que los cálculos de los raíles observados anteriormente en la Ilustración 4-39 del punto 4.2.9 indican que es imposible colocarlos en esos puntos por lo que pasa a unirse por los laterales de los raíles. Colocando las barras de ese modo las que se encuentran más cerca de los extremos de los raíles quedan a desnivel por lo que no tendrán las mismas dimensiones las traseras que las delanteras.



**Ilustración 4-70: Barras de la tolva porta-balones**

En la Ilustración 4-70 se puede observar la forma de las barras de la tolva. Las delanteras, por tanto, son más largas que las traseras.

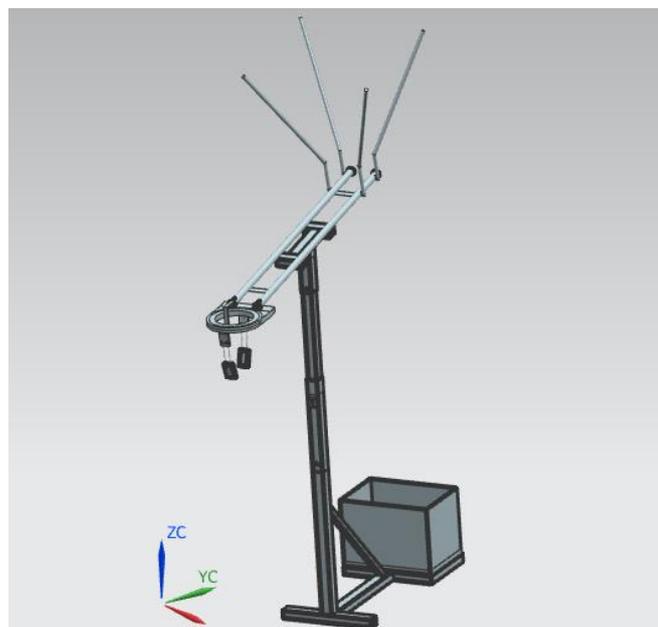
Conocida la distancia a la que el balón pasa respecto a la parte baja de los raíles, para saber la longitud que deben tener las barras de la tolva, se ha estimado con NX que la parte baja de las barras delanteras sea de 250mm y, tras un ángulo de 30°, se prolonguen 1m, mientras que las barras traseras sean 214,9mm, desarrollándose de igual manera tras dicho ángulo. La separación, medida longitudinalmente a los raíles, se fuerza a que sea menor que el diámetro del balón para que, al caer dentro de la tolva y posteriormente sobre los raíles, no pueda rebotar y caer fuera de la estructura. Se mide por tanto, una separación horizontal de 200mm como se puede observar en la Ilustración 4-71.



**Ilustración 4-71: Cálculos de las barras de la tolva porta-balones**

La los agujeros de la unión no deben separarse del extremo inferior de las barras más de 35mm, por tanto, se colocan a 15mm, de manera que tengan los balones holgura suficiente para caer por los raíles si tocar su parte superior con la lona de la tolva porta-balones.

Con todo ello al ensamblar las barras de la tolva, ya modeladas, sobre los raíles queda según la Ilustración 4-72.



**Ilustración 4-72: Ensamble completo**

### 4.2.1 Elementos comerciales

Finalizado el diseño de las piezas es posible realizar los cálculos pertinentes para escoger las piezas que nos hacen falta, ya sea el cabestrante, la polea, las ruedas o materiales para la fabricación de las pinzas.

Mediante la utilización del Siemens NX, siguiendo los pasos recogidos en el punto anterior, con cada pieza podemos obtener las medidas que se muestran a continuación en la Tabla 4-1:

Nombre	Nº Piezas	Volumen (mm <sup>3</sup> )	Área (mm <sup>2</sup> )	Masa (kg)	Masa Total (kg)	Peso Total (N)
<b>BASE</b>					37.21	365.05
Tubo trans. de la base	1	562800	376808	4,45	4.45	43.62
Tubo long. de la base	1	723600	484008	5,72	5.72	56.08
Tubo trans. del contrapeso	2	498480	334594	3,94	7.88	77.26
Tubo long. del contrapeso	2	337680	227394	2,67	5.34	52.34
Plancha del contrapeso	1	1050000	707200	8,30	8.30	81.37
Perfil en L trans.	2	205824	109052	1,63	3.25	31.90
Perfil en L long.	2	145024	77052	1,15	2.29	22.48
<b>CAJA</b>					11.95	117.19
Cara frontal	2	345000	692380	2,72	5.45	53.47
Cara lateral	2	242000	485968	1,91	3.82	37.51
Cara inferior	1	338100	678560	2,68	2.67	26.20
<b>BARRA</b>					16.62	163.00
Barra 1	1	1657800	1107588	13,10	13.10	128.48
Refuerzo de barra fija	1	445440	298046	3,52	3.52	34.52
Guía superior	1	34875	26322	0,93	0.93	9.15
Protector de la polea	1	8134	6435	0,09	0.09	1.05
<b>BARRA MÓVIL</b>					10.83	106.24
Barra 2	1	1362439	910116	10,76	10.76	105.59
Guía inferior anterior	1	8400	6260	0,07	0.07	0.65
Guía inferior lateral	2	2800	5820	0,02	0.04	0.43
<b>SOPORTE DE LOS RAÍLES</b>					7.69	75.43
Tubo de encaje	1	298233	200797	2,36	2.36	23.11
Tubo de soporte long.	1	305520	205288	2,41	2.41	23.68
Tubo de soporte trans.	2	160800	108808	1,27	2.54	24.92
Refuerzo del soporte	2	24000	17080	0,19	0.38	3.72
<b>RAÍLES</b>					14.46	141.89
Tubo de sección circular	2	885418	591506	6,99	13.99	137.24
Pletina	2	30000	21500	0,24	0.47	4.65

<b>CABEZAL</b>					<b>32.44</b>	<b>318.25</b>
Disco fijo	1	2862109	428298	21,38	21.38	209.71
Disco móvil	1	1184596	161412	9,36	9.36	91.80
Retén	1	122015	31013	0,96	0.96	9.46
Pasador del retén	1	2618	1688	0.02	0.02	0.20
Varilla de pinza móvil	2	5654	3770	0,00	0.00	0.02
Varilla de pinza fija	2	5937	3958	0,01	0.02	0.15
Sujeción de gomaespuma	2	162203	23406	0,01	0.13	1.28
Contrapeso	2			0.37	0,74	7.26
<b>TOLVA PORTA-BALONES</b>					<b>21.76</b>	<b>213.47</b>
Barra anterior	2	699944	108746	5,52	11.04	108.30
Barra posterior	2	679172	105422	5,36	10.72	105.16
Total Soportado por cable					87.18	855.28
Total Soportado por ruedas					154.00	1510.71

**Tabla 4-1: Cálculo de pesos de la máquina**

#### 4.2.1.1 Ruedas

Se pretende buscar cuatro ruedas, de mismas características, cuya principal diferencia es que las delanteras incluyan frenos de manera que se pueda mantener estática la máquina y no se desplace al rematar.

Teniendo en cuenta la masa total de la máquina podemos proceder a escoger unas ruedas cuya capacidad máxima sea considerablemente superior manteniendo un margen de seguridad. A pesar de que el peso se distribuye entre las cuatro ruedas, las delanteras como es obvio soportan más carga puesto que sobre ellas se aplica la suma de todos los componentes instalados en la vertical de la barra fija.

Se han escogido cuatro ruedas chapadas en zinc de la marca *Tente*, resistentes a la corrosión y que poseen conexiones universales para facilitar su cambio y montaje. Ofrecen una gran movilidad y movimiento permitiendo que el objeto soportado sea muy fácil de empujar. Además, están hechas de nylon con lo que se impide dañar el suelo.



**Ilustración 4-73: Ruedas delanteras (27)**

El diámetro de las ruedas es de 125mm y cada una posee una capacidad de carga de 250kg así que supera enormemente el peso de la máquina (27). En la Ilustración 4-73 se puede observar que las ruedas delanteras poseen el freno mencionado, mientras que las ruedas traseras que aparecen en la Ilustración 4-74 no los tienen.



**Ilustración 4-74: Ruedas traseras (28)**

#### 4.2.1.2 Cabestrante manual

El principal problema a la hora de recomendar un cabestrante manual ha sido las dimensiones en relación a su capacidad de carga puesto que pocos poseen un ancho de 8cm para ajustarse a la barra fija. Es por esto que se ha buscado entre un gran número hasta dar con uno que puede cumplir con lo requerido.

El cabestrante manual *Ribimex 1101* (Ilustración 4-75) se ha escogido debido a que sus dimensiones son 21,8x16x12, 6cm refiriéndose los 12,6cm al ancho. Sin embargo, se puede observar que posee diversos agujeros sobre los que podría atornillarse fácilmente (29).



**Ilustración 4-75: Cabestrante manual (29)**

Posee dos posiciones de bloqueo que permite maniobrar el cable en ambas direcciones girando la maneta, además de un pestillo de seguridad de 5mm de sencillo accionamiento.

Su peso total es de 3,2kg y su capacidad 540kg por lo que supera considerablemente el peso de la estructura superior de la máquina (29).

#### 4.2.1.3 Cable

Como se ha mencionado, el cable debe trabajar en el interior de la barra fija, pero la holgura que esta mantiene con la barra móvil es únicamente de 4mm. Para que el cable sea capaz de trabajar

cómodamente y a su vez soportar los casi 90kg de la estructura superior se plantean las siguientes opciones:

- Cable de acero galvanizado de diámetro 3mm, carga de rotura 539kg: Con este cable el coeficiente de seguridad con el que trabajaría sería muy elevado, del orden de 6,0. Sin embargo, podría tener problemas de rozamiento con la barra fija y móvil puesto que solamente mantiene 1mm de margen entre ambas (30).
- Cable de acero galvanizado de diámetro 2mm, carga de rotura 239kg: En este caso, se reduce el coeficiente de seguridad a 2,6 el cual se considera que es suficiente. Además se consigue aumentar a 2mm la holgura con las barras (30).

Por tanto, se decide coger un cable de un grosor de 2mm como el de la Ilustración 4-76 para poder soportar los 87,12kg de la máquina.



**Ilustración 4-76: Cable utilizado en cabestrante manual (31)**

#### 4.2.1.1 Polea

La polea escogida que se observa en la Ilustración 4-77 es de la marca italiana *Viadana* cuyo precio oscila los 16 euros. Consiste en una roldana de radio 16mm que posee una capacidad de 500kg lo que supone un coeficiente de seguridad de 5,74. El diámetro de sus agujeros es de 5mm, distanciados 55mm entre ellos y el diámetro máximo del cable es de 4mm por lo que es capaz de soportar la estructura utilizando el cable escogido anteriormente (32) (Ver 4.2.1.3).

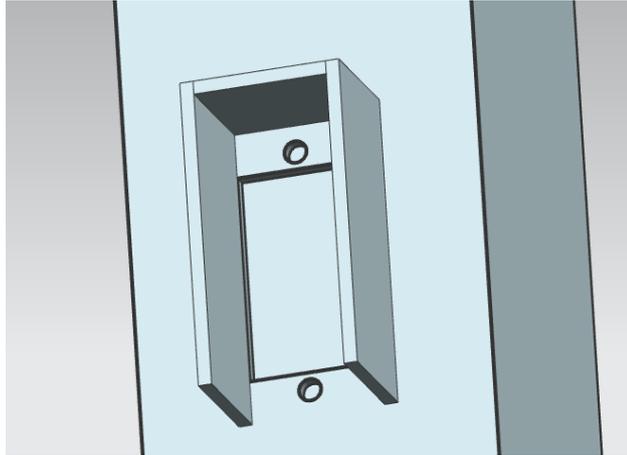


**Ilustración 4-77: Polea escogida (33)**

La elección de esta polea hace modificar los parámetros de la abertura realizada sobre la barra fija (ver punto 4.2.5). De esta manera, dicha abertura pasa a ser de 60x30mm a ser de 47x30mm. Además, debido al diseño de esta polea se realizan dos modificaciones en las caras laterales del protector:

- Los agujeros practicados se eliminan debido a que el eje de la roldana va integrado en el conjunto.
- Sus dimensiones se modifican para no entorpecer con la unión de la polea con la barra fija, pasando de ser 63x30 mm, a ser de 70x30.

Por tanto su protección pasa a ser la mostrada en la Ilustración 4-78:



**Ilustración 4-78: Protector definitivo de la polea**

En caso de ser necesario, se colocaría una pletina para ajustar el paso del cable por dentro de la barra fija, debido a la poca holgura que existe entre ella y la barra móvil.

Con esto, se da por finalizado el diseño de la máquina y se ultiman los cálculos que quedan por resolver.

## 5 CÁLCULOS Y RESULTADOS

El objetivo del análisis de estructuras es determinar su respuesta ante los diferentes esfuerzos a los que se ven sometidas y que deben soportar durante su vida útil (34).

En los siguientes apartados se detallan los cálculos realizados y los resultados obtenidos para el análisis de cargas en la máquina. Este tipo de estudios resultan clave para validar lo diseñado, ya que en caso de detectar que la estructura no puede soportar las solicitaciones a las que va a ser expuesta, habría que redefinir el diseño de la misma.

### 5.1 Sistemas de fuerzas en la máquina

Para calcular el centro de masas de la estructura es necesario hallar primero el del conjunto de la base de la máquina. La repartición de peso se puede ver en la Ilustración 5-1. Se han tomado los pesos de la barra longitudinal y transversal, así como la suma de los pesos de las que componen el contrapeso, junto a los perfiles en L y la caja del contrapeso. Como cabe suponer, se tuvo en consideración el material en el que va a ser construido el sistema.

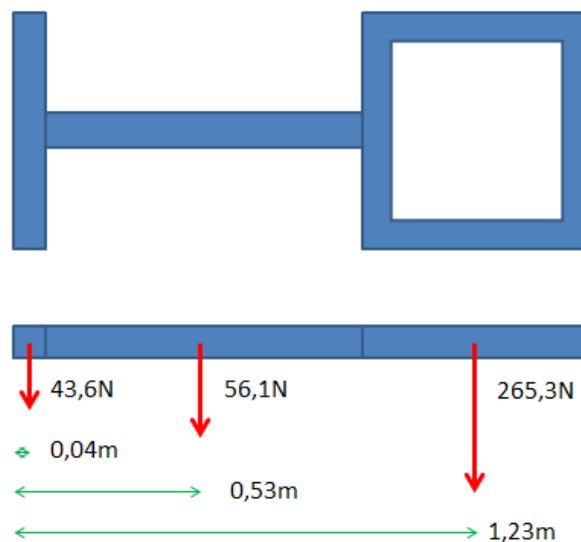
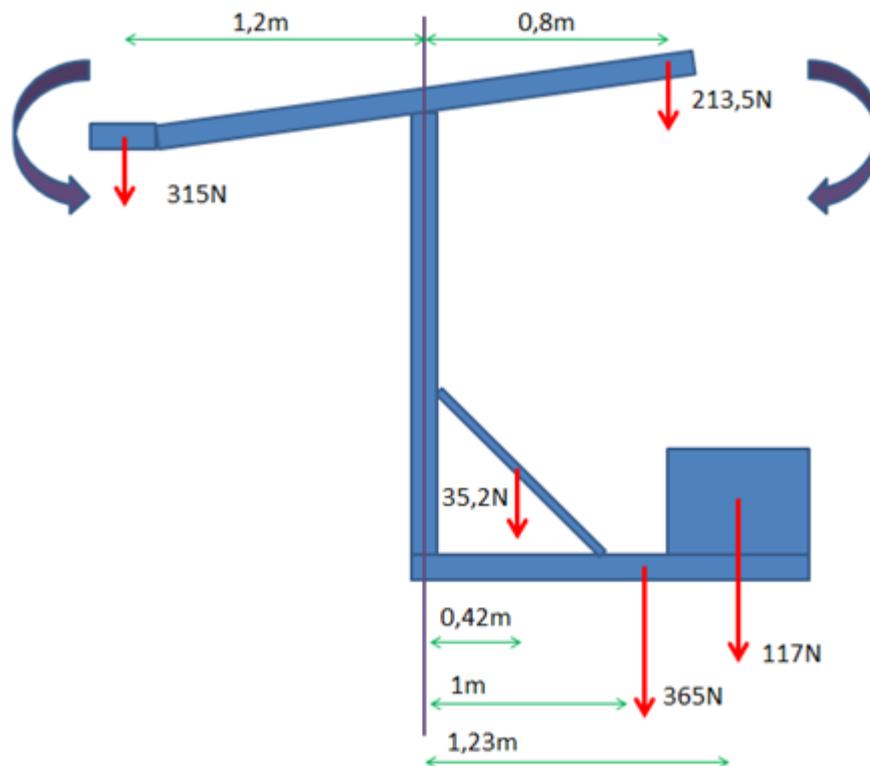


Ilustración 5-1: Cálculo del centro de masas en la base

Tomando momentos desde el extremo izquierdo de la pieza, se obtiene:

$$d = \frac{\sum M}{\sum F} = \frac{43,6 \cdot 0,04 + 56,1 \cdot 0,53 + 265,3 \cdot 1,23}{43,6 + 56,1 + 265,3} = 0,979m \cong 1m$$

La distancia a la que se encontraría el centro de masas del extremo de la base es de aproximadamente 1m. Por tanto, si ahora se analiza el resto de la estructura (Ilustración 5-2), y se toman momentos en el eje de la barra fija, se observa que coincide que éste es a su vez el eje de acción de las fuerzas másicas de la barra móvil, del soporte de los raíles y de los propios raíles, despreciando el efecto del resto de elementos, como son: el cabestrante manual, soporte de polea, entre otros.



**Ilustración 5-2: Cálculo de momentos de la estructura**

Analizando ahora la estructura en todo su conjunto, se obtiene lo siguiente:

$$x' = \frac{\sum M}{\sum F} = \frac{35,2 \cdot 0,42 + 365 \cdot 1 + 117 \cdot 1,23 + 213,5 \cdot 0,8 - 315 \cdot 1,2}{35,6 + 365 + 117 + 213,5 + 315} = 0,3m$$

Este resultado indica que el centro de masas de la estructura se encuentra a 30cm de la barra fija hacia la parte trasera de la máquina por lo que en teoría no sería necesario colocar un contrapeso en el interior de la caja. Igualmente, por seguridad ante posibles golpes en el extremo delantero u otras fuerzas externas se recomendaría colocar un contrapeso en el interior de la caja.

Introduciendo un contrapeso de 30kg, el centro de masas se desplazaría 20cm hacia la parte trasera de la máquina quedando, por tanto, a 50cm de distancia de la barra fija.

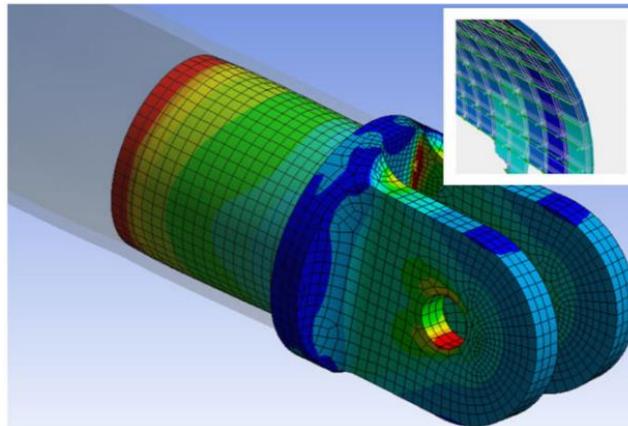
## 5.2 Simulación de esfuerzos en la máquina utilizando FEM

El software Siemens NX (versión 10) se utilizó para realizar la simulación de los esfuerzos generados en la máquina. Para ello, se ha empleado el método de elementos finitos.

### 5.2.1 Método de elementos finitos

El método de elementos finitos (MEF) consiste en dividir un espacio geométrico continuo en una serie de elementos interconectados. Éstos, se denominan dominio continuo y discreto respectivamente

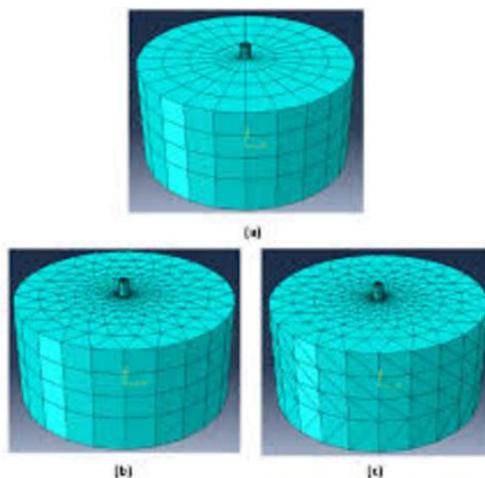
(Ilustración 5-3). De esta manera, se convierte un sistema complejo de infinitos grados de libertad, regido por una o varias ecuaciones diferenciales, en otro sistema finito, más sencillo basado en ecuaciones lineales o no lineales. El MEF permite por tanto realizar un cálculo estructural aproximado de tensiones y deformaciones o un análisis térmico, de fluidos o incluso electromagnético (35).



**Ilustración 5-3: Dominio discreto (38)**

La representación del dominio con elementos unidos entre sí mediante nodos es conocida como el modelo. En él se pueden distinguir:

- Diferentes tipos de elementos: Pueden ser elementos sólidos (tetraedros y hexaedros) o planos (triángulos y rectángulos), con una relación de aspecto cercana a 1 (regulares) para obtener gran precisión y con nodos en los vértices o, además, a mitad de los lados para adecuarse mejor a las curvas.
- Diferente mallado: Puede ser gruesa, fina o fina localizada (5-4), según la precisión que se busque. Hay que tener en cuenta que a mayor precisión, mayor tiempo de computación.



**Ilustración 5-4: Tamaño de malla (39)**

La aplicación del MEF al cálculo estructural permite el conocimiento de:

- Tensiones: matriz de tensiones, tensiones principales, tensión de Von Mises, coeficiente de seguridad frente a rotura o plasticidad según distintos criterios...
- Deformaciones unitarias.
- Desplazamientos: según cada eje, total (módulo).

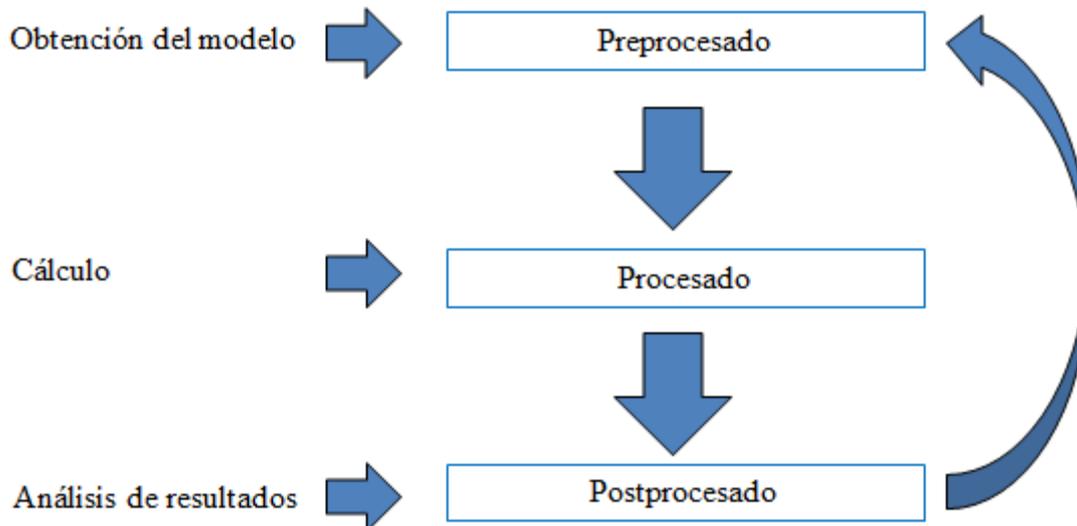
Según su uso, se distingue además distintos tipos de malla existen los siguientes modelos:

- 3D con volúmenes: Posee un coste computacional elevado a cambio de proporcionar los detalles de lo que ocurre en cada nodo.
- 3D con superficies: Es un mallado más sencillo y rápido computacionalmente pero en cambio se pierde información acerca del reparto de tensiones a lo largo del espesor.
- 2D con superficies: Se utiliza cuando a lo largo de la dimensión no existe variación en las propiedades a determinar o se pretenden aproximar.
- 3D con elementos viga: Posee mallado y cálculos sencillos que hace que pierda información. Es utilizado para sólidos formados por vigas esbeltas.
- Mixtos: Ajustan el estudio a las necesidades de cada parte

Además se puede mejorar en el mallado utilizando malla basada en curvatura definiendo el tamaño de los arcos proporcional al nº de elementos deseados; un mallado iterativo, tipo p (eleva tipo de polinomio cuando la solución no es buena) o tipo h (reduce el tamaño de malla cuando la solución no es buena); o con el control de malla definiendo su tamaño en regiones específicas.

Las condiciones de contorno son las variables conocidas que condicionan al sistema desde el exterior, ya sean los tipos y posición de los apoyos o variables como la temperatura o la presión. Por otro lado, las incógnitas son las variables a conocer en los nodos, halladas mediante el cálculo matricial.

Por último, aplicando el método de elementos finitos, la simulación mediante CAE se puede dividir en tres fases (Ilustración 5-5): Obtención del modelo o preprocesado, cálculo o procesado y análisis de resultados o postprocesado.

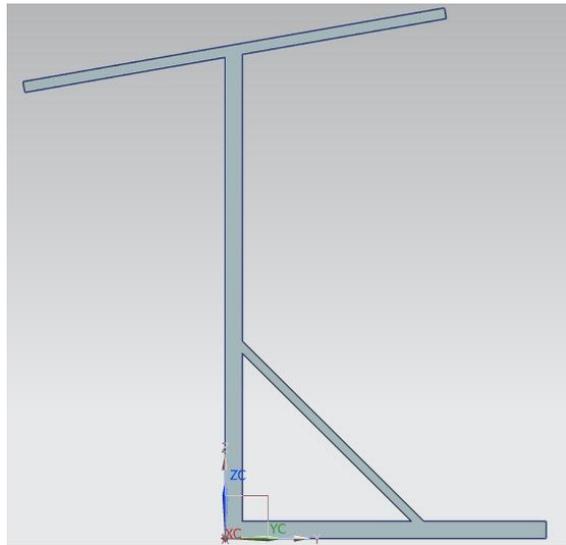


**Ilustración 5-5: Fases de la simulación**

### 5.2.2 MEF aplicado a la máquina para el análisis de solicitaciones

Para aplicar el Método de Elementos Finitos a la estructura de la máquina, se ha simplificado el modelo de la misma. Esto se hizo con el objetivo de disminuir el tiempo de procesado del mallado, así como las dificultades de computación que esto pueda generar.

De este modo, la figura sobre la que realizó el análisis fue la siguiente (Ilustración 5-6):

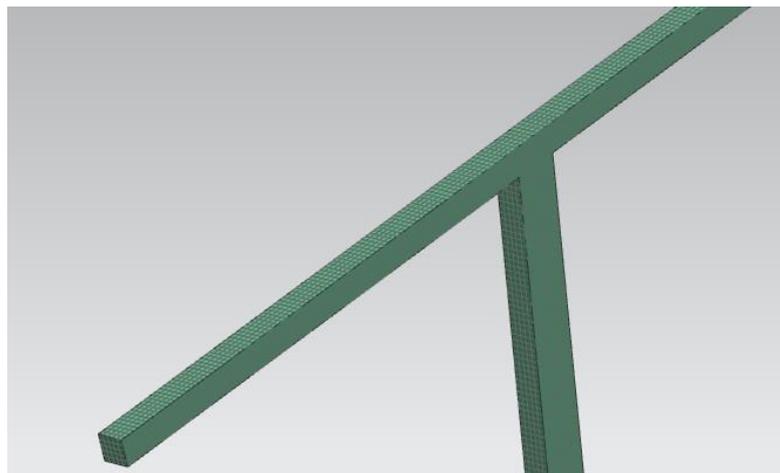


**Ilustración 5-6: Modelo de simulación**

Para comenzar la simulación, lo primero que se asigna es el material de la estructura, en este caso, acero AISI 304, el más cercano al AISI 316, que nos proporciona Siemens NX, de la misma manera que se mencionó en el punto 4.2.10.2: “Menú / Herramientas / Materiales / Asignar material”: Seleccionando AISI 304 Annealed.

Una vez seleccionado el material, la secuencia de trabajo es la siguiente: “Archivo / Iniciar: Simulación avanzada” y se selecciona “FEM y Sim nuevos”, aceptando todas las opciones que aparecen en las ventanas emergentes, y generándose tres archivos: archivo\_sim1.sim, archivo\_fem1\_i.prt y archivo\_fem1.fem.

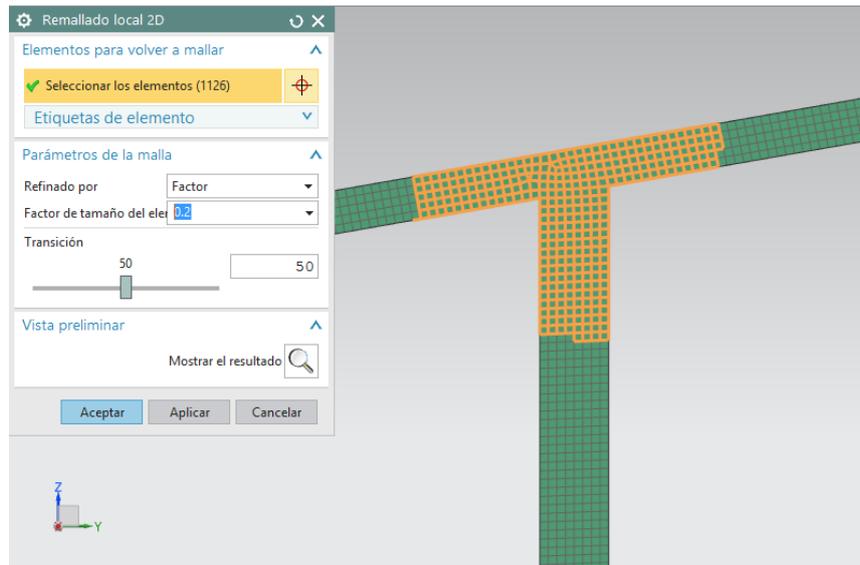
En el archivo\_fem1.fem, se pulsa en “malla 2D”, seleccionando tipo “CQUAD4” y tamaño del elemento 10mm, que se aplica sobre todas las superficies del modelo. Al aceptar, se obtiene lo siguiente (Ilustración 5-7):



**Ilustración 5-7: Mallado 2D**

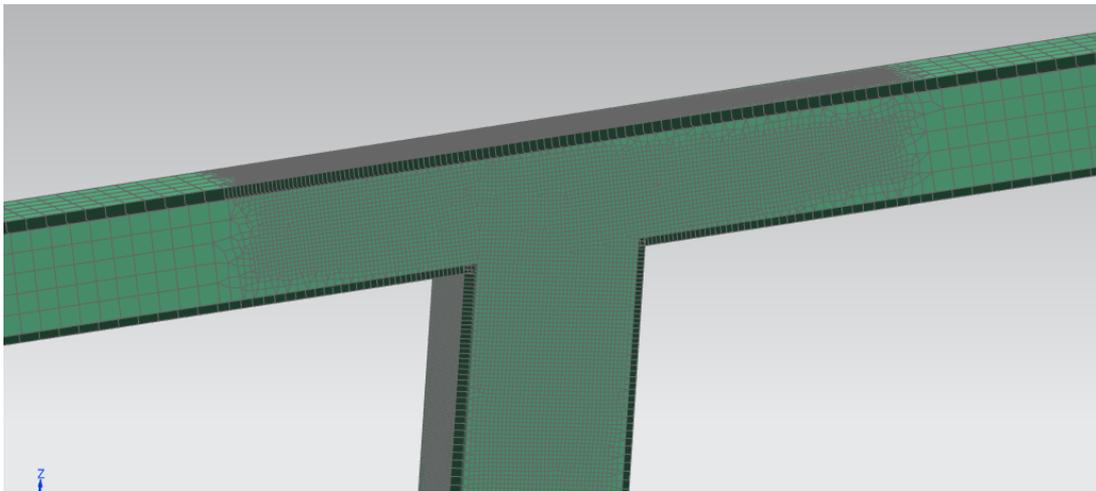
Se estima que los puntos de máximos esfuerzos sean en la unión de los raíles con el soporte, debido a los momentos generados por las fuerzas en los extremos. Por tanto, se crea un refinado de malla en esas zonas siguiendo la siguiente secuencia:

En el menú de malla pulsamos en “Mas / Remallado local 2D” y seleccionamos esa zona. Se utiliza un factor de tamaño de elementos igual a 0,2 (Ilustración 5-7):



**Ilustración 5-8: Refinado de malla**

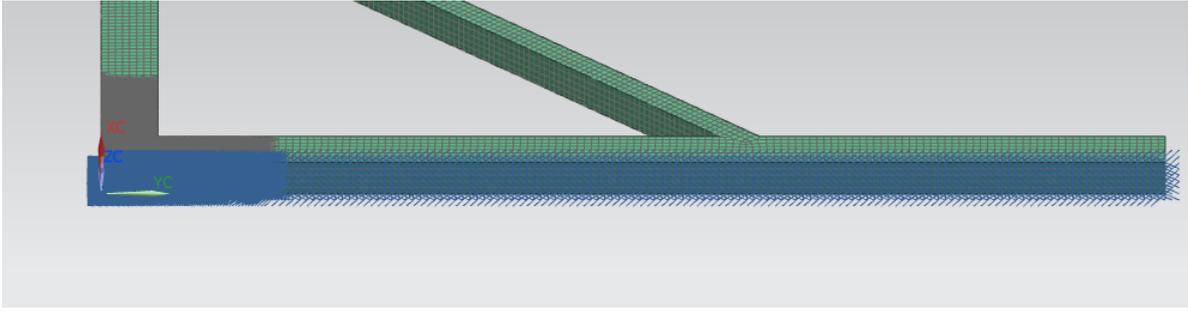
Además de este refinado, realizado para aumentar la precisión en estos puntos, se procede a utilizar elementos “Shell” utilizados en superficies planas. Para ello, en el “Navegador de simulación”, abriendo la pestaña de “Recolectores 2D” pulsamos en “Thin Shell / editar” y le aplicamos un grosor predeterminado de 10mm. Para visualizarlo, se puede pulsar en “Thin Shell / editar visualización” y activamos la visualización del grosor y desplazamiento del elemento (Ilustración 5-9).



**Ilustración 5-9: Shell de 10mm**

De esta manera, solo falta colocar las fuerzas y restricciones pertinentes que se han visto con los cálculos de los momentos (Ilustración 5-2), pero añadiendo los 10 balones que pueden llegar a encontrarse a la vez sobre los raíles más el que sostienen las pinzas. Se selecciona el “archivo\_sim1.sim” y se ejecuta lo siguiente en el menú de la barra superior:

“Tipo de restricción / Restricción fija” y la aplicamos sobre la base de la estructura (Ilustración 5-10).



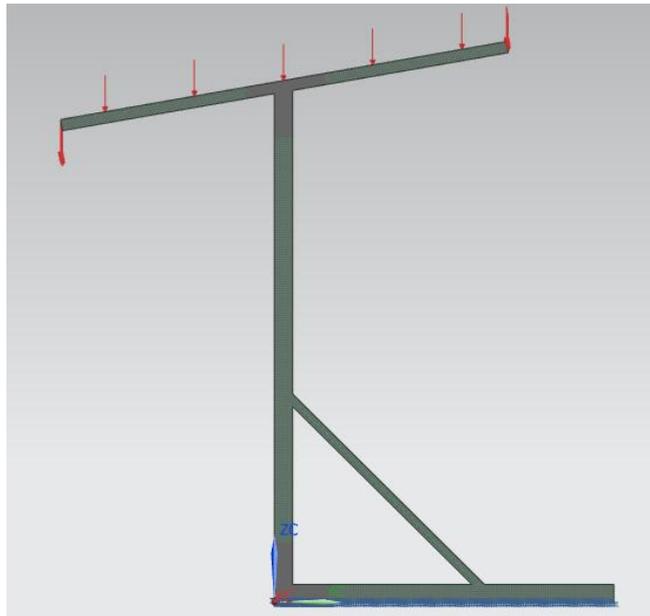
**Ilustración 5-10: Restricción fija**

Si cada balón pesa 0,27kg:

$$0,27 \cdot 11 = 2,97 \text{ kg}$$

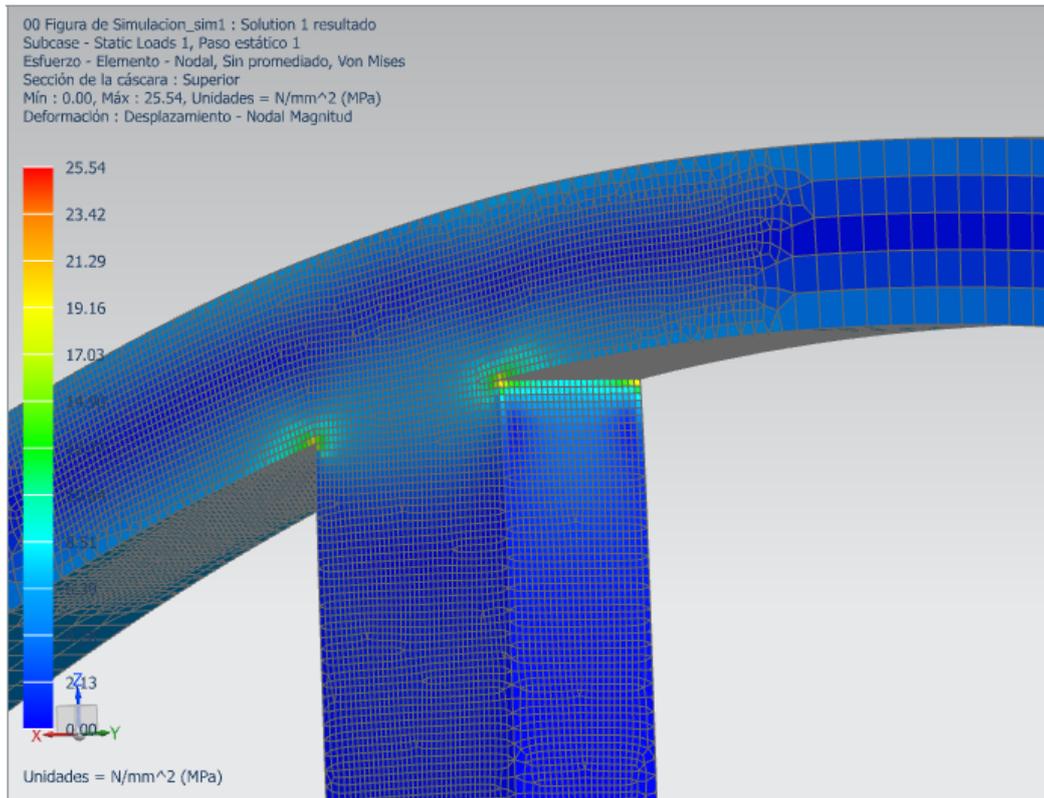
$$P = m \cdot g = 2,97 \cdot 9,81 = 29,13 \text{ N}$$

Este peso se aplica en la cara superior de la estructura, pulsando en “Tipo de carga / Fuerza”. Además se colocan las cargas de 218N en el extremo inferior y 213,5 N en el extremo superior, sobre las respectivas caras, en dirección hacia el suelo (Ilustración 5-11):



**Ilustración 5-11: Aplicación de fuerzas en los extremos**

De esta manera, seleccionando el comando “Resolver” se ejecuta la simulación de esfuerzos, obteniéndose lo siguiente (Ilustración 5-12).



**Ilustración 5-12: Resultado de simulación**

Los resultados se pueden observar en el “Navegador de postprocesamiento” seleccionando la opción “Estructural”. Para conocer la tensión en la estructura se desplegó el menú “Esfuerzo-Elemento Nodal” y dentro de este menú se seleccionó el criterio de Von Mises, que se explicará en el siguiente apartado del presente trabajo.

La tensión máxima de Von Mises, como se muestra en la Ilustración 5-12, es de 25,54MPa. La estructura es prácticamente simétrica, de forma que también lo es la carga.

#### 5.2.2.1 Criterio de máxima tensión de Von Mises

El criterio de máxima tensión de von Mises, es conocida también como la teoría de la energía de cortadura o teoría de la energía de distorsión máxima. La teoría indica que cuando la tensión de von Mises es igual a su límite de tensión, un material dúctil sufre un fallo elástico (36).

La tensión de von Mises, viene dada por las tensiones principales en un punto, de la siguiente manera:

$$S_{\text{vonMises}} = \left\{ \frac{(s_1 - s_2)^2 + (s_2 - s_3)^2 + (s_1 - s_3)^2}{2} \right\}^{(1/2)}$$

Como siempre se busca que el límite elástico sea mayor que la tensión de von Mises ( $S_{\text{vonMises}} \leq S_{\text{lim}}$ ), el factor de seguridad vendrá dado por la relación que existe entre ambas tensiones, de esta manera (36):

$$\text{Factor de seguridad (FDS)} = S_{\text{lim}} / S_{\text{vonMises}}$$

Para el caso estudiado en el que  $S_{\text{vonMises}} = 25,54\text{MPa}$ , es necesario conocer la  $s_1$  para asegurar que no existirán problemas de fatiga en la estructura. A 20°C el límite elástico del acero AISI 316 se encuentra en un intervalo que comprende de 205 a 410MPa.

De este modo, se sabe que el factor de seguridad mínimo de las zonas críticas de la estructura es:

$$\text{FDS} = 205 / 25,54 = 8,03$$

## 6 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

En este apartado detallan las conclusiones extraídas de la realización del presente Trabajo de Fin de Grado, a la vez que se analiza qué se pretende hacer con el diseño y estudio realizado de esta máquina de dosificación y remate de balones de voleibol.

### 6.1 Conclusiones

#### 6.1.1 Análisis de resultados

En términos teóricos, observando los cálculos, se establece que es viable la fabricación de la máquina, ya sea de hierro, acero o aluminio. El diseño realizado modifica la actual máquina de voleibol de Acuspik, de tal forma que se mejora la funcionalidad de la misma, al permitir el giro del cabezal y, de esta manera, posibilitar el remate en diversas direcciones sin necesidad de mover toda la máquina.

De los resultados del análisis de cargas en la estructura, se deduce que el peso de los elementos de la misma, y los momentos que éstos generan, no van a suponer ningún problema de cara a su vida útil. Esta afirmación se apoya en los resultados obtenidos de la simulación llevada a cabo con Siemens NX. En esta simulación se observó que la zona de la estructura que soporta un mayor esfuerzo de sollicitación es la que une los raíles con el brazo vertical de elevación. La tensión de Von Mises máxima en esta zona de 25,4MPa, insuficiente para poner en riesgo la estructura, debido a que el límite elástico del material es mucho mayor, lo que supone un factor de seguridad superior a 8.

#### 6.1.2 Cumplimiento de objetivos

Tras la realización de este Trabajo de Fin de Grado, se considera que se han completado satisfactoriamente los siguientes objetivos principales, establecidos al comienzo del planteamiento del mismo:

- ☑ *Dimensionar la estructura de la máquina de Acuspik haciendo uso de un software de medición de imágenes.*
- ☑ *Diseñar un mecanismo que permita el giro relativo de las pinzas de la máquina, manteniendo las funciones a las que se destina la máquina original.*
- ☑ *Realizar los cálculos y simulaciones relativas a esfuerzos, a partir de Siemens NX.*

En lo referente a los objetivos secundarios, solamente se han cumplido parcialmente, por lo que se procede a analizar lo realizado:

- *Adquirir los materiales de manera económica:* Debido a la falta de presupuesto, empleado hierro en lugar de en acero. Las únicas piezas que faltarían por montar serían las correspondientes a la tolva porta-balones, además elementos comerciales (e.g. ruedas, cabestrante), con excepción de la polea.
- *Realizar la validación del diseño haciendo uso de un prototipo que pueda simular el comportamiento del mecanismo diseñado:* El prototipo se ha comenzado a fabricar mediante impresión 3D (ver apartado 6.2 Líneas futuras).
- *Construir y fabricar la máquina a partir del dimensionamiento, diseño y pruebas de un prototipo, previamente realizados:* Realizados tanto el dimensionamiento, como el diseño, se finaliza este TFG a la espera de finalizar la fabricación del prototipo.

## 6.2 Líneas futuras

### 6.2.1 Diseño y fabricación de la máquina

Tal y como se ha indicado, uno de los objetivos de Trabajo de Fin de Grado era fabricar la máquina en los talleres METACA S.L, empresa proveedora de piezas y materiales para el taller mecánico de la Escuela Naval Militar. El alto coste de fabricación ha constituido uno de los principales impedimentos para la su fabricación en acero. Por lo anterior, se optó por realizar la estructura en hierro y reutilizar material sobrante del taller mecánico de la ENM. En la Ilustración 6-1 se muestra la base de la máquina finalizada. Los perfiles y chapas de los que no se disponía en el taller, se encargaron a METACA. Es más, parte de las ideas del diseño de la estructura, vienen motivadas por la pretensión de fabricarla con los materiales proporcionados por dicha empresa.



**Ilustración 6-1: Base fabricada en el taller mecánico de la ENM**

Sin embargo, al fabricar la estructura en hierro, muchos parámetros se vieron modificados, debido, principalmente, a que los pesos de las distintas partes de la máquina generan momentos distintos a los que se han incluido en los cálculos reflejados en esta memoria. Estructuralmente, y a la vista de los resultados obtenidos, todos los elementos y piezas propuestas siguen soportando la estructura superior, incluyendo los raíles, tolva porta-valones y cabezal.

Si se tiene en cuenta que la densidad del hierro es  $7,86 \text{ gr/cm}^3$  (37) y del AISI 316 es de  $7,96 \text{ gr/cm}^3$  (38), la relación de densidades es de 0,987. O lo que es lo mismo, la densidad del hierro es 1,3% inferior a la del AISI 316, dato que, desde el punto de vista estructural nos beneficia, pues

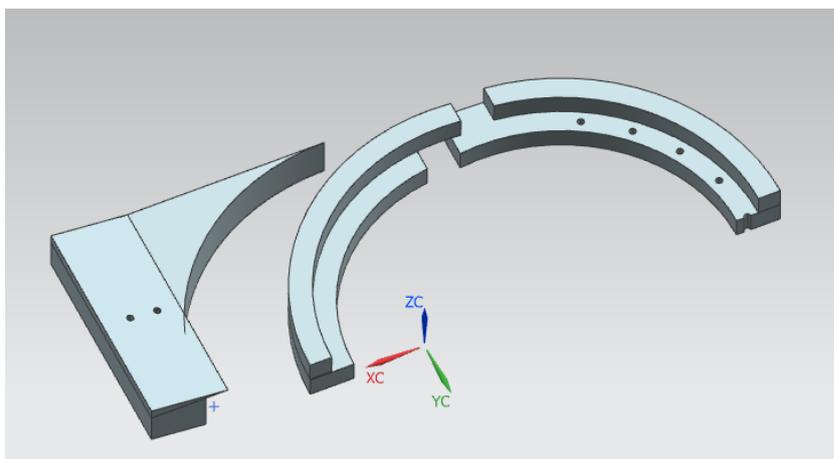
supone una disminución de las tensiones. Además, como  $m = V \cdot \rho$ , y el volumen no varía, las masas y, por tanto, los pesos de las piezas son directamente proporcionales a dicha relación de densidades. Por ello, sería sencillo recalculer los momentos para ajustar los parámetros a la máquina fabricada de hierro.

De esta manera, se espera proseguir con la fabricación de la máquina en el taller mecánico, a la espera de conseguir algo de presupuesto para los elementos restantes, puesto que hasta el momento, solo se dispone, para cortar y soldar a la estructura, de las siguientes piezas:

- Perfiles en L para finalizar la soldadura de la base.
- Caja del contrapeso.
- Barra fija, incluyendo la guía superior.
- Barra móvil, incluyendo las guías inferiores.
- Soporte de raíles.
- Raíles.

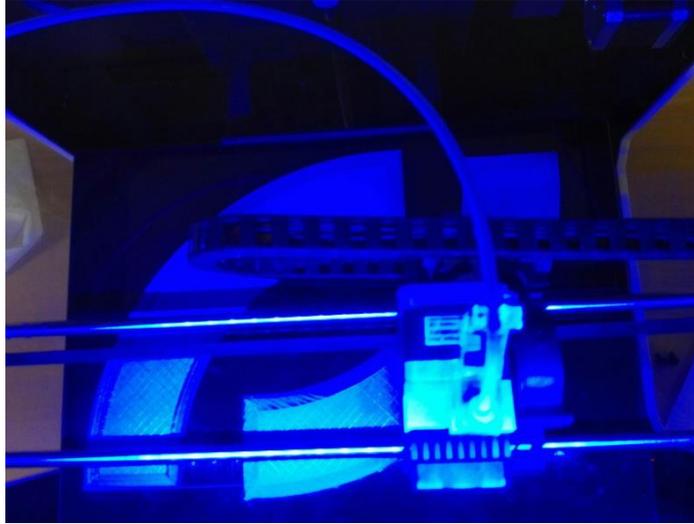
Por tanto, faltaría por conseguir las barras de la tolva porta-balones, incluyendo la tela que las une, y fabricar el cabezal. Sin embargo, antes de fabricar el cabezal definitivo se ha iniciado la construcción de un prototipo a escala, de tal forma que se valide físicamente la funcionalidad del nuevo diseño de la máquina.

De esta manera, está fabricando un prototipo del cabezal con una impresora 3D. En concreto, con el modelo Witbox de la marca Bq (39). El hilo de aporte a la impresora fue Ácido Poliláctico (40) (Poly-Lactic Acid, PLA) de 1,75 mm de diámetro. Por imposibilidad temporal de realizarlo en el CUD, su fabricación se ha iniciado en el I.E.S Politécnico de Vigo. Debido a las restricciones dimensionales de la impresora (su base es del tamaño de un DIN A4), fue necesario dividir el cabezal en múltiples piezas. En concreto, el disco fijo se ha dividido en 6 piezas, cuatro del propio disco y dos de la parte que se une con los raíles (Ilustración 6-2). El disco móvil, se dividió en cuatro. Así, incluyendo el retén y el perno-eje la construcción del cabezal se va a realizar con un total de 12 piezas.



**Ilustración 6-2: División del disco fijo para impresión 3D**

En la Ilustración 6-3 se muestra un momento de la construcción con la impresora 3D. En la Ilustración 6-4 se puede ver una pieza del cabezal finalizada.



**Ilustración 6-3: Impresora 3D trabajando dos piezas**



**Ilustración 6-4: Primera muestra de pieza impresa**

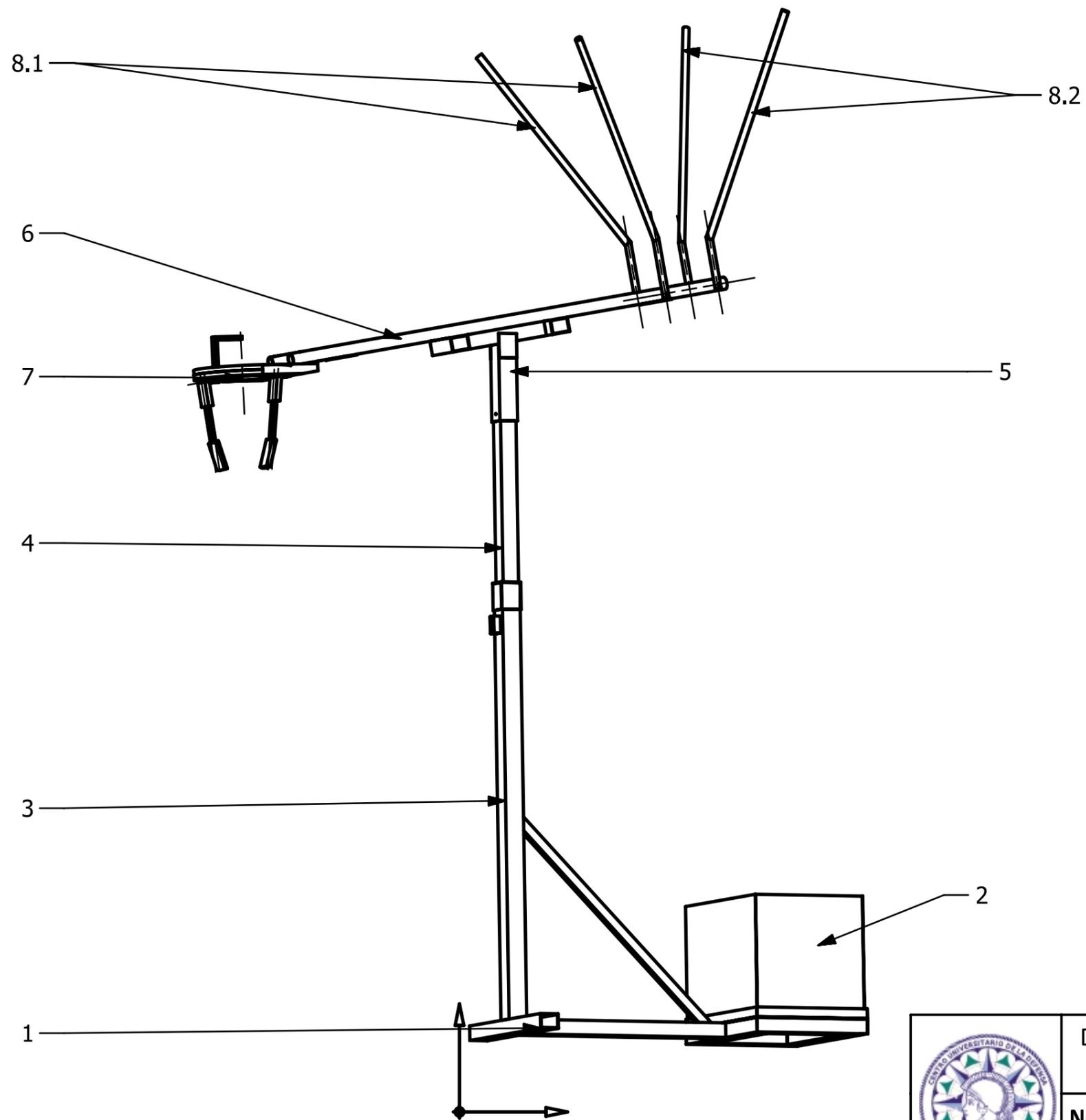
Las imperfecciones de las piezas impresas hacen que sea necesario lijarlas, para obtener mejores resultados y, además, poder unir las entre ellas, y de este modo fabricar el cabezal. Con ello, se pretende incluir próximamente la máquina de entrenamiento de remates de voleibol en el Gimnasio Barrutia, en favor de la formación física de los alumnos de la ENM.

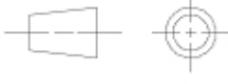
## BIBLIOGRAFÍA

1. **Rother, R..** *La historia del voleibol y su relevancia en la futura acción profesional*. 2006.
2. **Pimenov, Mikhail Pavlovich.** *Voleibol – Aprender y progresar (más de 500 ejercicios del servicio, pase, remate y bloqueo)*. 2006.
3. Weebly. [En línea] <http://jaimemartinvoleibol.weebly.com/historia.html>.
4. **Aurelio Ureña, Julia León Rodríguez.** *Enseñanza de los deportes: Voleibol*. 2007-2008.
5. Voleibol Mexico. [En línea] <http://voleibolmexico.com/noticias-internacionales/estados-unidos-venezuela-en-voleibol-de-sala-varonil>.
6. **Lucas, Jeff.** *El voleibol*. 1993.
7. VOLEIBOL: Desplazamientos. [En línea] <http://deporvolei.blogspot.com.es/p/desplazamientos-los-desplazamientos.html>.
8. **VALADÉS, D.** *Análisis de la técnica básica del remate de voleibol*. 2004.
9. Voley por el mundo. [En línea] <http://voleyportelmundo.com/2015/11/02/efecto-magnus-en-voleibol-y-voley-playa-como-utilizar-la-fisica-a-nuestro-favor/>.
10. **Maria Mercedes Iglesias González, Tatiana Novoa Álvarez, Luis Otero Desentre, Patricia Regueiro Sousa.** *El remate en voleibol*. [En línea] <http://www.efdeportes.com/efd121/el-remate-en-voleibol.htm>.
11. Wordpress. [En línea] <https://tecnovoley.wordpress.com/>.
12. AIRCAT. [En línea] <http://www.aircatvolleyball.com/aircat-volleyball>.
13. XE. [En línea] <http://www.xe.com/es/currencyconverter/convert/?Amount=3600&From=USD&To=EUR>.
14. Globus. [En línea] <http://www.globuscorporation.com/sporttechnology/eng/technical-data-2463.asp?idPage=2118>.
15. Cardio Vibe. [En línea] <http://www.cardiovibe.de/winshot-volleyball-ballmaschinen-infos-75>.
16. Acuspike. [En línea] <http://acuspikes.com/>.
17. **Jason N. Jones, Thomas M. Snody.** *Volleyball spiking training device*. 2013.
18. Volleyball Mag. [En línea] <http://www.volleyballmag.com/articles/42807-product-spotlight-acuspikes>.
19. Gizmos. [En línea] <http://gizmos.republica.com/programas-y-aplicaciones/iphotomeasure-para-medir-automaticamente.html>.
20. Softonic. [En línea] [Citado el: ] <http://golden-ratio.softonic.com/>.
21. Markus Welz. [En línea] <http://www.markuswelz.de/software2/index.html>.
22. Federación Internacional de Voleibol. [En línea] [Citado el: ] <http://www.fivb.org/EN/Refereeing-Rules/documents/Reglas%20de%20Juego%202015-1016%20-%20Espa%C3%B1ol%20FINAL.pdf>.
23. Youtube. [En línea] [Citado el: ] <https://www.youtube.com/watch?v=eqNyoKjOzro>.
24. Arquba. [En línea] [Citado el: ] <http://www.arquba.com/diccionario-arquitectura-construccion/hierro/>.

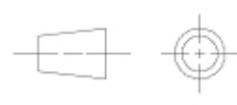
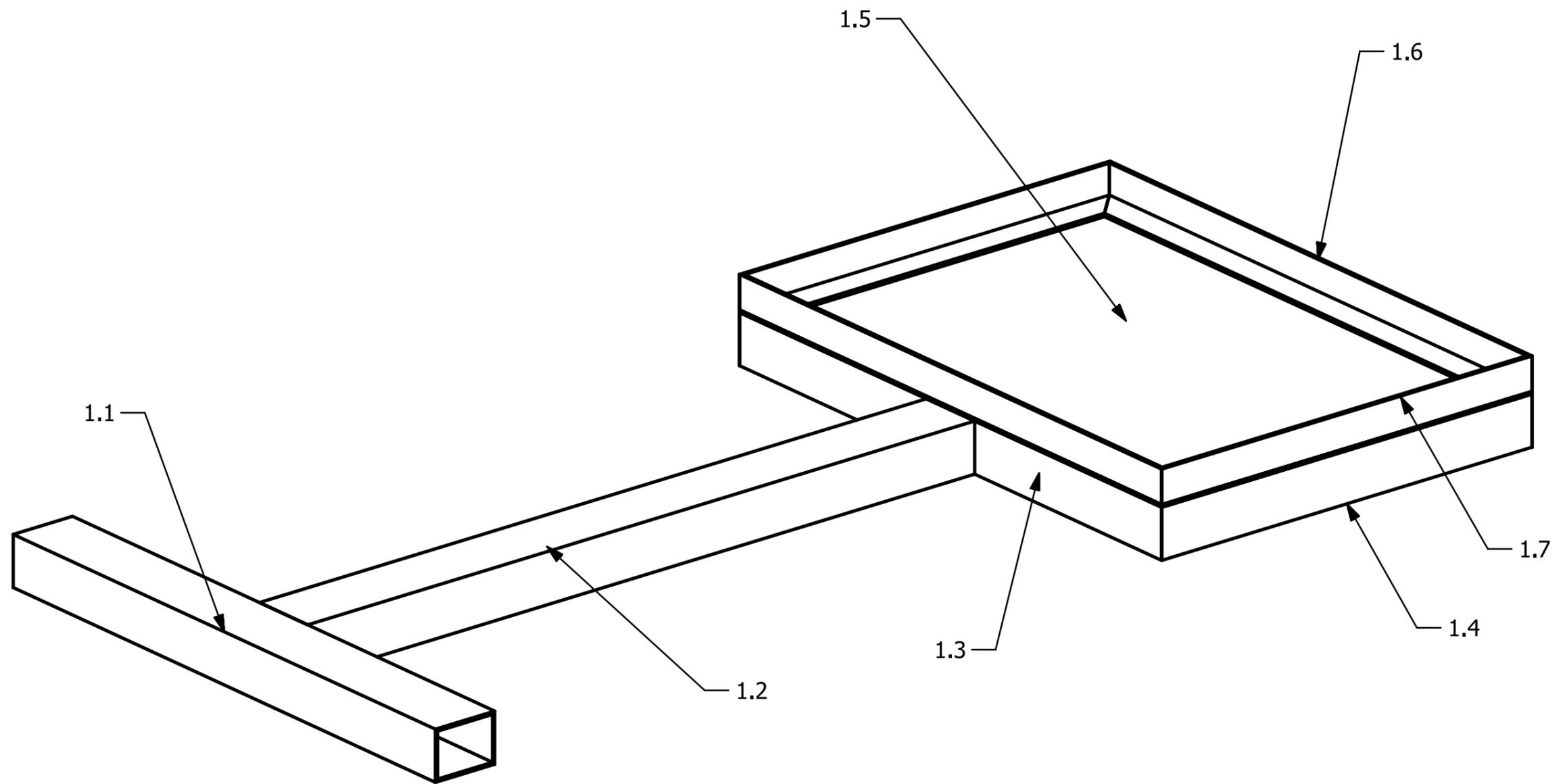
25. Academia. [En línea] [http://www.academia.edu/15707372/ACERO\\_Y\\_ALUMINIO](http://www.academia.edu/15707372/ACERO_Y_ALUMINIO).
26. PLM. [En línea] [Citado el: ] [http://www.plm.automation.siemens.com/es\\_es/products/nx/](http://www.plm.automation.siemens.com/es_es/products/nx/).
27. Fibra de vidrio UNO. [En línea] <http://fibradevidriouno.com/propiedades-de-la-fibra-de-vidrio/>.
28. Espatentes. [En línea] [http://www.espatentes.com/pdf/2117036\\_t3.pdf](http://www.espatentes.com/pdf/2117036_t3.pdf).
29. RS Online. [En línea] [Citado el: ] <http://es.rs-online.com/web/p/ruedas-giratorias-con-placa/7871345/>.
30. RS Online. [En línea] [http://es.rs-online.com/web/p/ruedas-giratorias-con-placa/7871341/?origin=PSF\\_432958|acc](http://es.rs-online.com/web/p/ruedas-giratorias-con-placa/7871341/?origin=PSF_432958|acc).
31. Amazon. [En línea] [http://www.amazon.es/Cogex-70216-Torno-elevador-manivela/dp/B005GY2ZEE/ref=sr\\_1\\_1?ie=UTF8&qid=1456163400&sr=8-1&keywords=cabestrante+manual](http://www.amazon.es/Cogex-70216-Torno-elevador-manivela/dp/B005GY2ZEE/ref=sr_1_1?ie=UTF8&qid=1456163400&sr=8-1&keywords=cabestrante+manual).
32. Rational Stock. [En línea] [Citado el: ] <http://www.rationalstock.es/s/es/cable%20de%20acero/1/?gclid=CMPK5-zCjcsCFcsW0wodxU4GBA>.
33. Rational Stock. [En línea] [Citado el: ] <http://www.rationalstock.es/s/es/cable%20de%20acero/1/?gclid=CMPK5-zCjcsCFcsW0wodxU4GBA>.
34. Francobordo. [En línea] [Citado el: ] <https://www.francobordo.com/viadana-polea-simple-empotrable-cable-metalico-p-336327.html?osCsid=6507fcbe7137f9d2c007be2729a3ea4e>.
35. Francobordo. [En línea] <https://www.francobordo.com/viadana-polea-simple-empotrable-cable-metalico-p-336327.html?osCsid=6507fcbe7137f9d2c007be2729a3ea4e>.
36. **M. C. Ruiz, E. B. Díaz.** *Mecánica de estructuras: Métodos de análisis. L. 2 (Vol. 2)*. . s.l. : Univ. Politèc. de Catalunya., 2009.
37. IIT. [En línea] [Citado el: ] [http://www.iit.upcomillas.es/~carnicero/Resistencia/Introduccion\\_al\\_MEF.pdf](http://www.iit.upcomillas.es/~carnicero/Resistencia/Introduccion_al_MEF.pdf).
38. Engineers. [En línea] [Citado el: ] <http://ar-engineers.com/english/experience.php>.
39. Monografias. [En línea] [Citado el: ] <http://www.monografias.com/trabajos105/modelacion-pilotes-aislados-carga-horizontal/modelacion-pilotes-aislados-carga-horizontal.shtml>.
40. Dassault Systemes. [En línea] [Citado el: ] [http://help.solidworks.com/2011/spanish/SolidWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/Checking\\_stresses/prot\\_vonm.html](http://help.solidworks.com/2011/spanish/SolidWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/Checking_stresses/prot_vonm.html).
41. Lenntech. [En línea] <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/fe.htm>.
42. Goodfellow. [En línea] <http://www.goodfellow.com/S/Acero-Inoxidable-AISI-316.html>.
43. BQ. [En línea] <http://www.bq.com/es/witbox-2>.
44. Store BQ. [En línea] <https://store.bq.com/es/bobina-pla-bq>.
45. **M.C. Ruiz, E.B. Díaz.** *Mecánica de estructuras: Métodos de análisis L.2 (Vol 2)* . s.l. : Universidad Politécnica de Cataluña, 2009.

# **ANEXO 1: PLANOS**



  
 ALL DIMENSIONS IN mm

	DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL			
	<b>NOMBRE DE PIEZA</b>		Máquina dispensadora de balones	
<b>AUTOR</b>		JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ		
	<b>FECHA DE EMISIÓN</b>	25/02/2016	<b>Nº PLANO</b>	GENERAL
	<b>FORMATO</b>	A3	<b>MATERIAL</b>	ACERO AISI 316
	<b>ESCALA</b>	1:20	<b>Nº COPIAS</b>	1

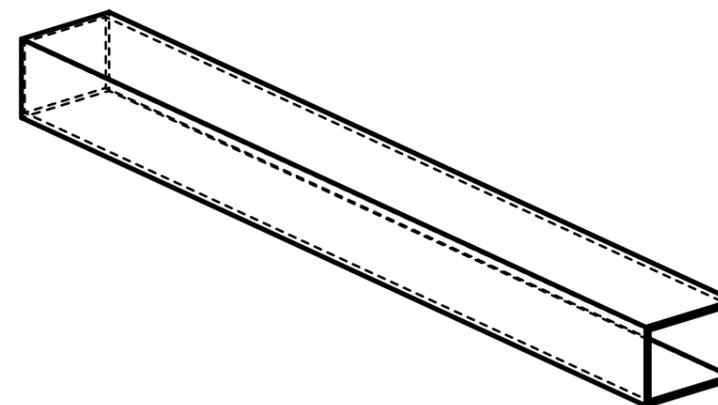
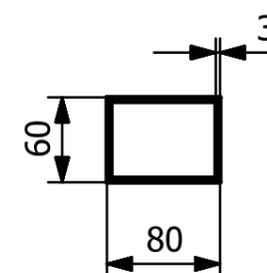
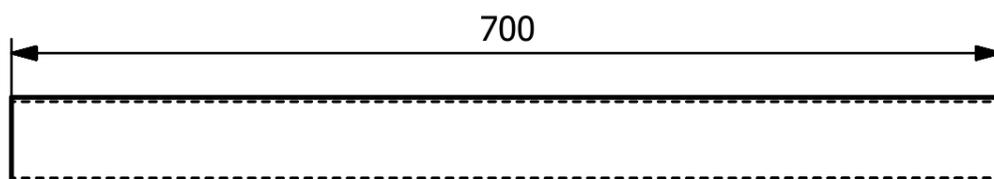


ALL DIMENSIONS IN mm

	DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL			
	<b>NOMBRE DE PIEZA</b>		Base	
<b>AUTOR</b>		JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ		
	<b>FECHA DE EMISIÓN</b>	25/02/2016	<b>Nº PLANO</b>	1
	<b>FORMATO</b>	A3	<b>MATERIAL</b>	ACERO AISI 316
	<b>ESCALA</b>	1:5	<b>Nº COPIAS</b>	1

1 2 3 4 5 6 7 8

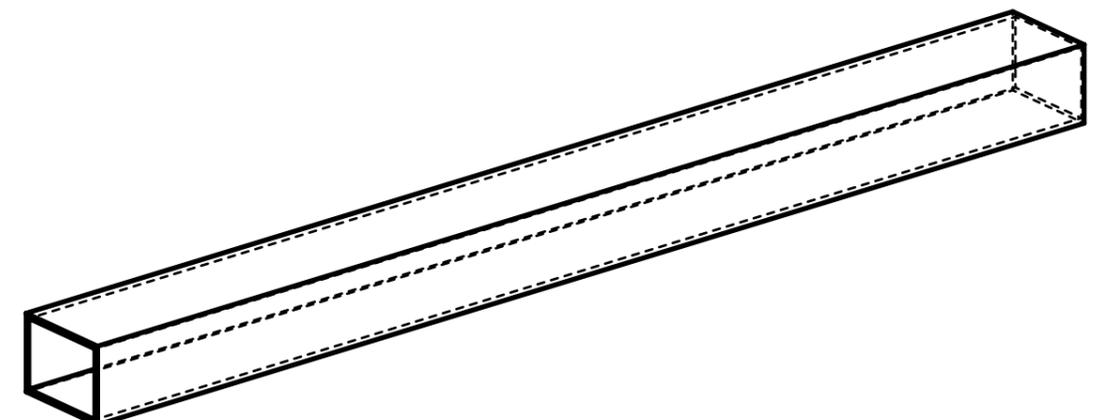
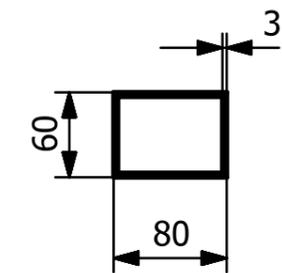
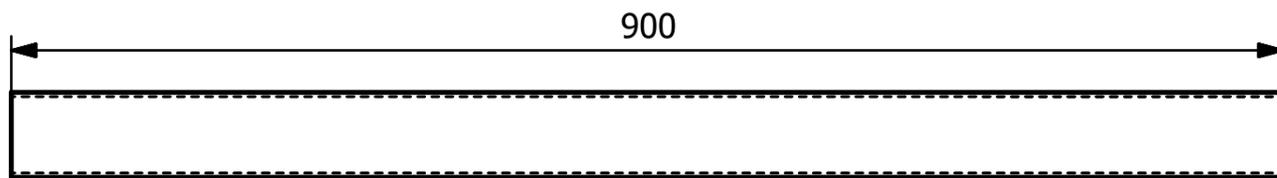
A  
B  
C  
D  
E  
F



ALL DIMENSIONS IN mm

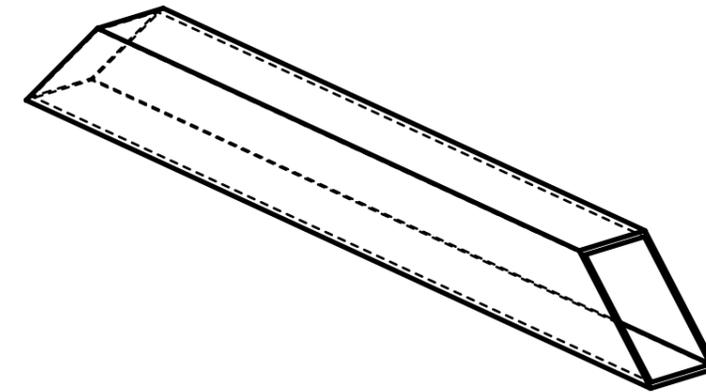
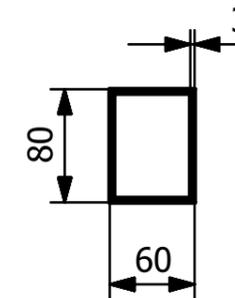
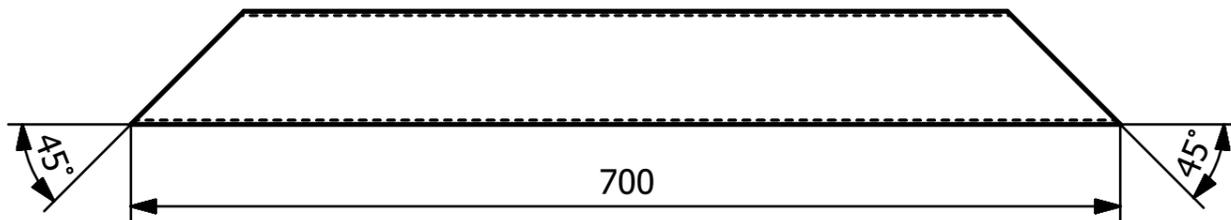
	DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL			
	<b>NOMBRE DE PIEZA</b>	Tubo transversal de la base		
<b>AUTOR</b>	JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ			
	<b>FECHA DE EMISIÓN</b>	25/02/2016	<b>Nº PLANO</b>	1.1
	<b>FORMATO</b>	A3	<b>MATERIAL</b>	ACERO AISI 316
	<b>ESCALA</b>	1:5	<b>Nº COPIAS</b>	1

1 2 3 4 5 6 7 8 A3



ALL DIMENSIONS IN mm

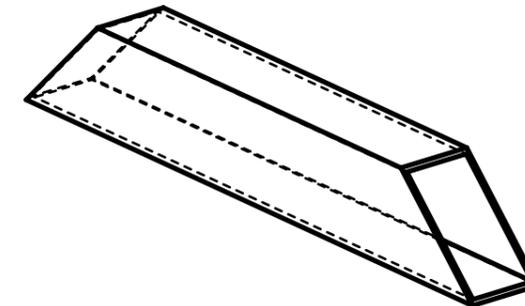
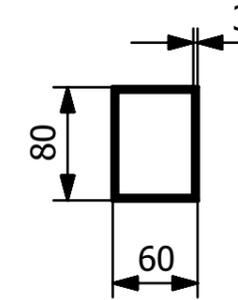
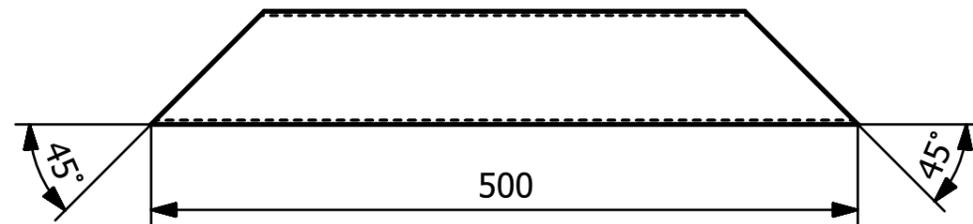
	DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL			
	NOMBRE DE PIEZA		Tubo longitudinal de la base	
AUTOR		JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ		
	FECHA DE EMISIÓN	25/02/2016	Nº PLANO	1.2
	FORMATO	A3	MATERIAL	ACERO AISI 316
	ESCALA	1:5	Nº COPIAS	1





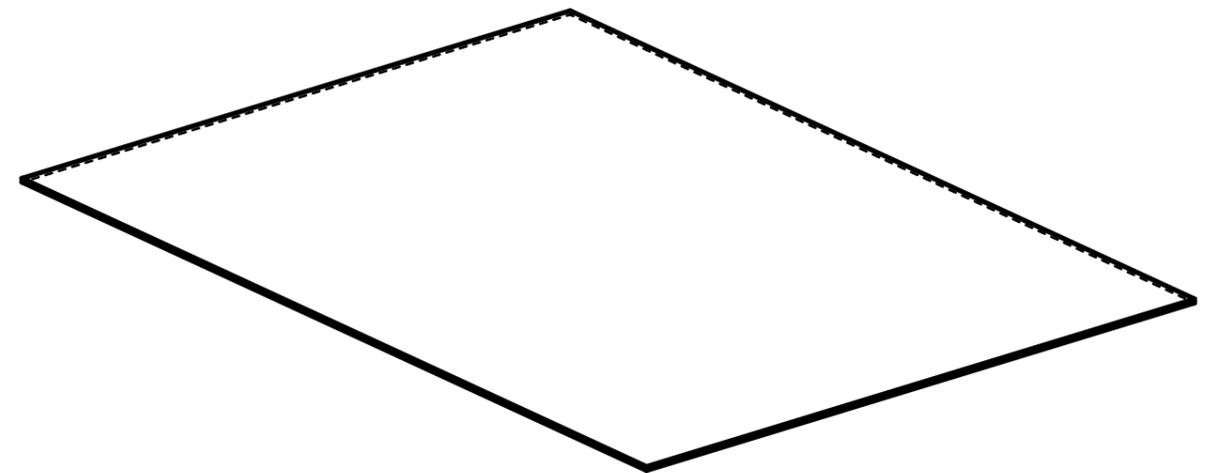
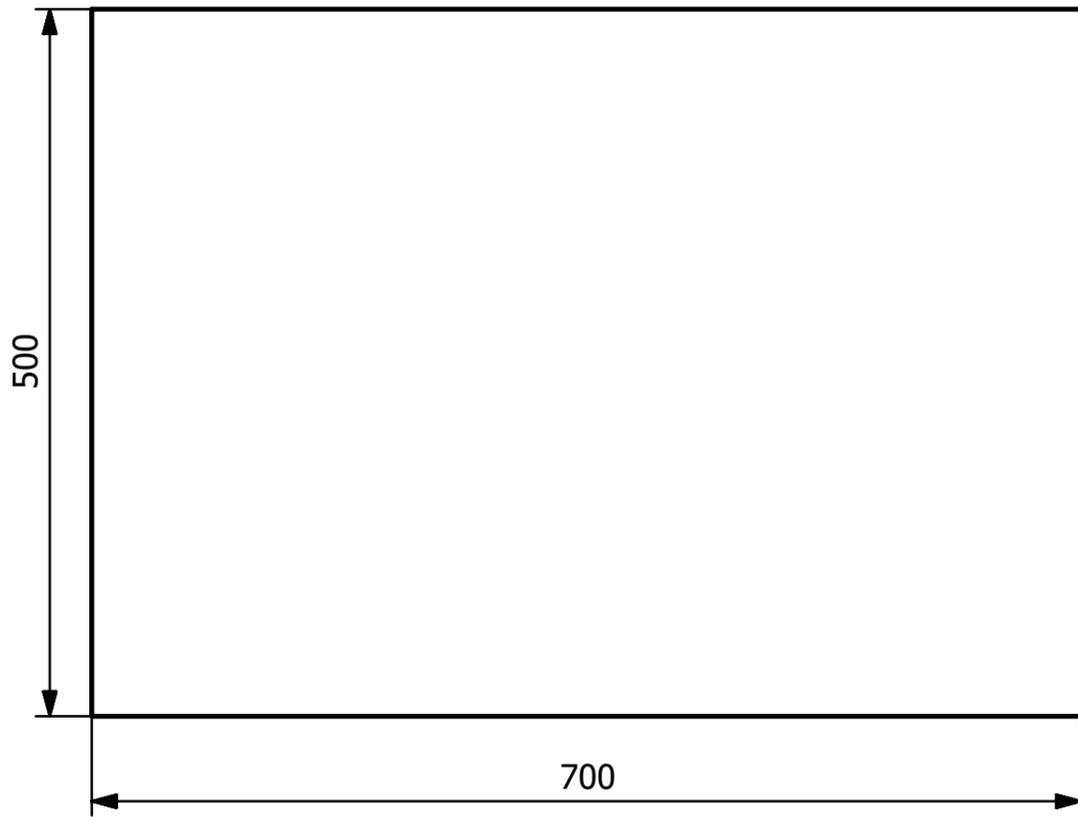
  
 ALL DIMENSIONS IN mm

	DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL			
	<b>NOMBRE DE PIEZA</b>		Tubo transversal del contrapeso	
<b>AUTOR</b>		JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ		
	<b>FECHA DE EMISIÓN</b>	25/02/2016	<b>Nº PLANO</b>	1.3
	<b>FORMATO</b>	A3	<b>MATERIAL</b>	ACERO AISI 316
	<b>ESCALA</b>	1:5	<b>Nº COPIAS</b>	2



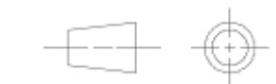
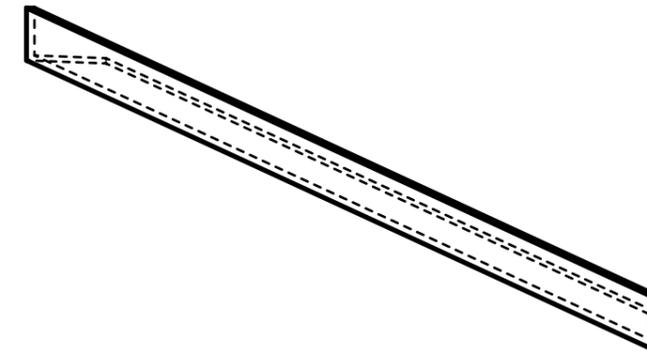
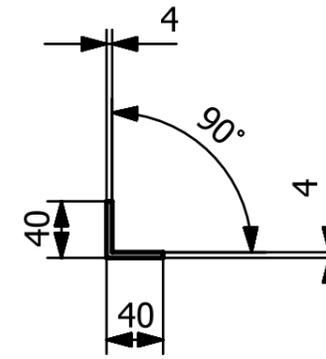
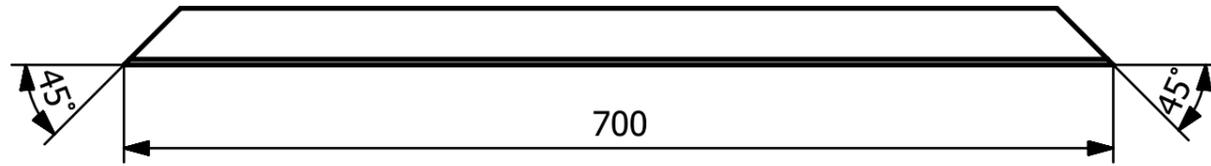
ALL DIMENSIONS IN mm

	DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL			
	<b>NOMBRE DE PIEZA</b>		Tubo longitudinal del contrapeso	
<b>AUTOR</b>		JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ		
	<b>FECHA DE EMISIÓN</b>	25/02/2016	<b>Nº PLANO</b>	1.4
	<b>FORMATO</b>	A3	<b>MATERIAL</b>	ACERO AISI 316
	<b>ESCALA</b>	1:5	<b>Nº COPIAS</b>	2



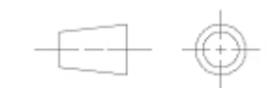
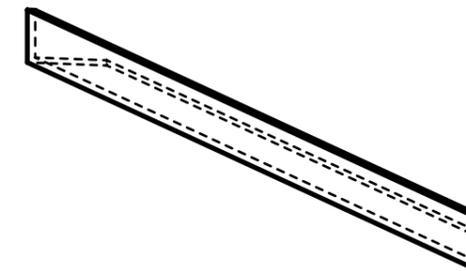
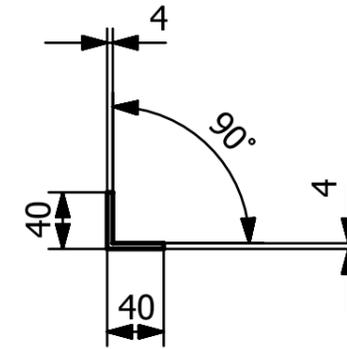
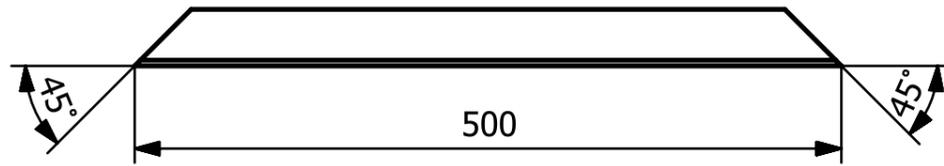
ALL DIMENSIONS IN mm

	DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL			
	<b>NOMBRE DE PIEZA</b>		Plancha del contrapeso	
<b>AUTOR</b>		JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ		
	<b>FECHA DE EMISIÓN</b>	25/02/2016	<b>Nº PLANO</b>	1.5
	<b>FORMATO</b>	A3	<b>MATERIAL</b>	ACERO AISI 316
	<b>ESCALA</b>	1:5	<b>Nº COPIAS</b>	1



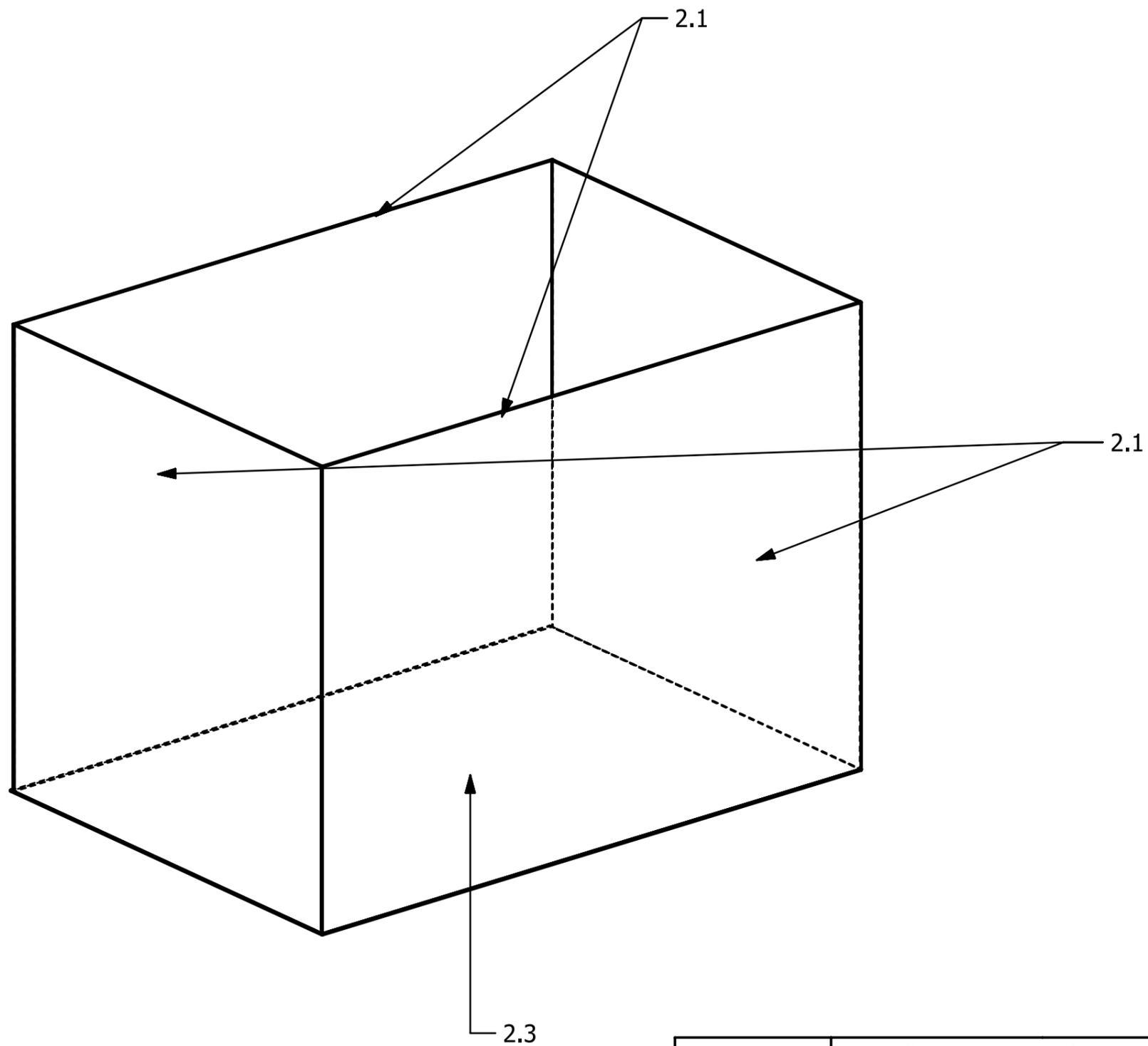
ALL DIMENSIONS IN mm

	DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL			
	NOMBRE DE PIEZA		Perfil en L transversal	
AUTOR		JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ		
	FECHA DE EMISIÓN	25/02/2016	Nº PLANO	1.6
	FORMATO	A3	MATERIAL	ACERO AISI 316
	ESCALA	1:5	Nº COPIAS	2



ALL DIMENSIONS IN mm

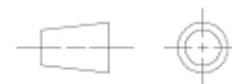
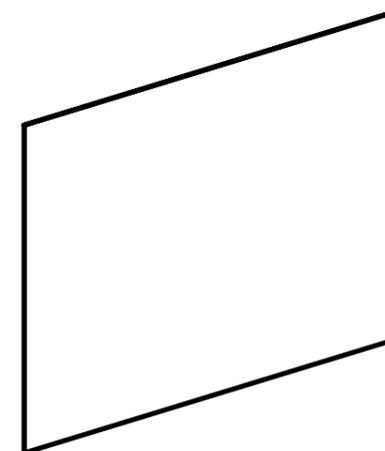
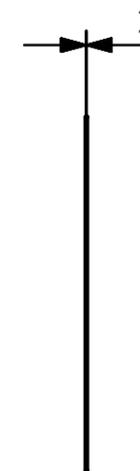
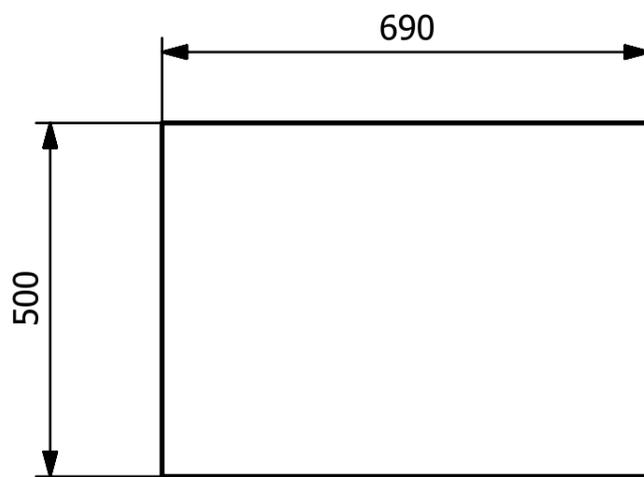
	DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL			
	NOMBRE DE PIEZA		Perfil en L longitudinal	
AUTOR		JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ		
	FECHA DE EMISIÓN	25/02/2016	Nº PLANO	1.7
	FORMATO	A3	MATERIAL	ACERO AISI 316
	ESCALA	1:5	Nº COPIAS	2



ALL DIMENSIONS IN mm

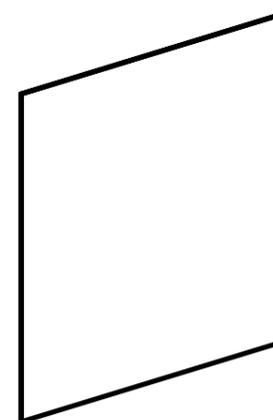
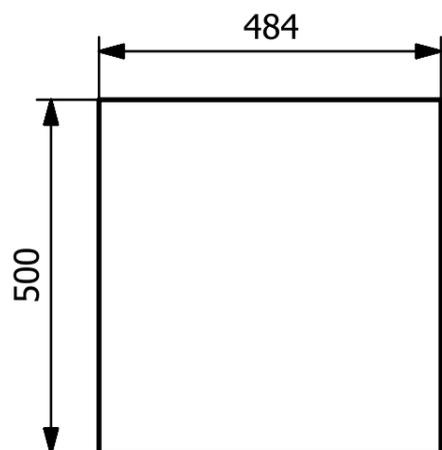


DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL			
<b>NOMBRE DE PIEZA</b>		Caja del contrapeso	
<b>AUTOR</b>		JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ	
<b>FECHA DE EMISIÓN</b>	25/02/2016	<b>Nº PLANO</b>	2
<b>FORMATO</b>	A3	<b>MATERIAL</b>	ACERO AISI 316
<b>ESCALA</b>	1:5	<b>Nº COPIAS</b>	1



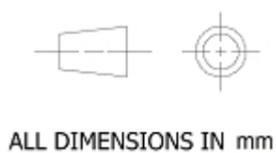
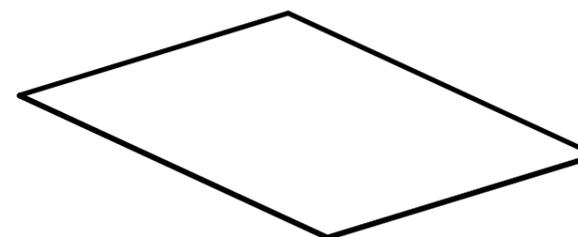
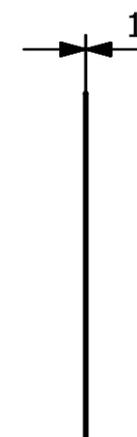
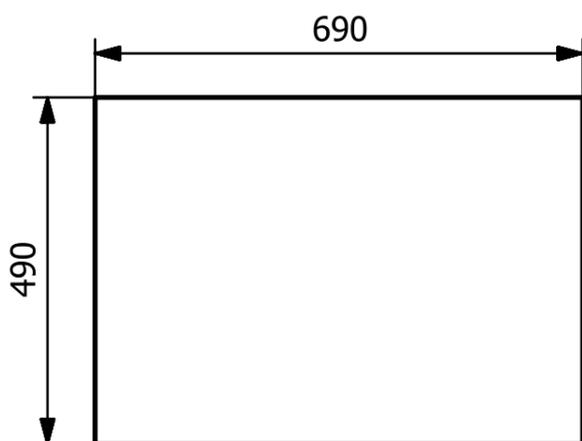
ALL DIMENSIONS IN mm

	DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL			
	<b>NOMBRE DE PIEZA</b>		Cara frontal de la caja	
<b>AUTOR</b>		JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ		
	<b>FECHA DE EMISIÓN</b>	25/02/2016	<b>Nº PLANO</b>	2.1
	<b>FORMATO</b>	A3	<b>MATERIAL</b>	ACERO AISI 316
	<b>ESCALA</b>	1:10	<b>Nº COPIAS</b>	2



ALL DIMENSIONS IN mm

	DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL			
	<b>NOMBRE DE PIEZA</b>	Cara lateral de la caja		
<b>AUTOR</b>	JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ			
	<b>FECHA DE EMISIÓN</b>	25/02/2016	<b>Nº PLANO</b>	2.2
	<b>FORMATO</b>	A3	<b>MATERIAL</b>	ACERO AISI 316
	<b>ESCALA</b>	1:10	<b>Nº COPIAS</b>	2

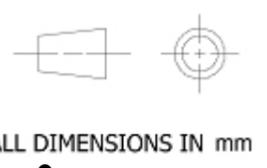
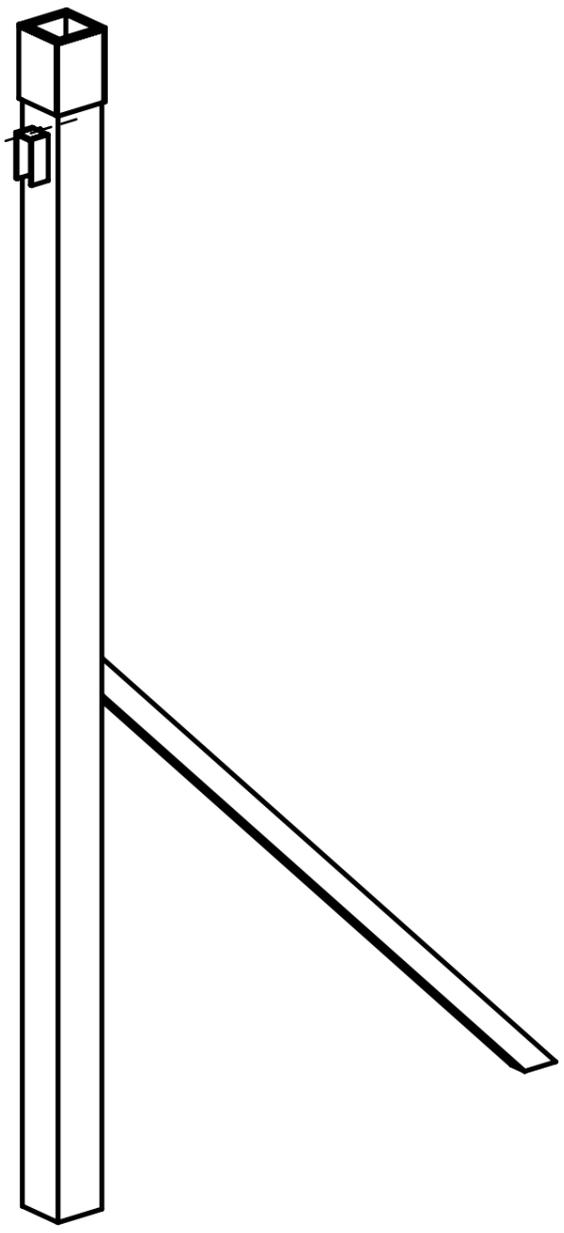


ALL DIMENSIONS IN mm

	DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL			
	<b>NOMBRE DE PIEZA</b>	Cara inferior de la caja		
<b>AUTOR</b>	JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ			
	<b>FECHA DE EMISIÓN</b>	25/02/2016	<b>Nº PLANO</b>	2.3
	<b>FORMATO</b>	A3	<b>MATERIAL</b>	ACERO AISI 316
	<b>ESCALA</b>	1:10	<b>Nº COPIAS</b>	1

1 2 3 4 5 6 7 8

A  
B  
C  
D  
E  
F



DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES  
PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL

**NOMBRE DE PIEZA** Barra 1

**AUTOR** JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ

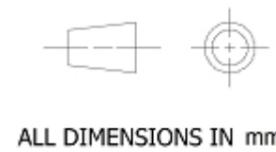
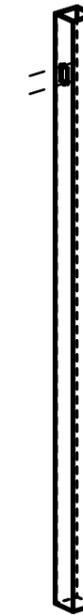
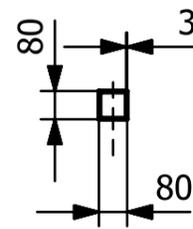
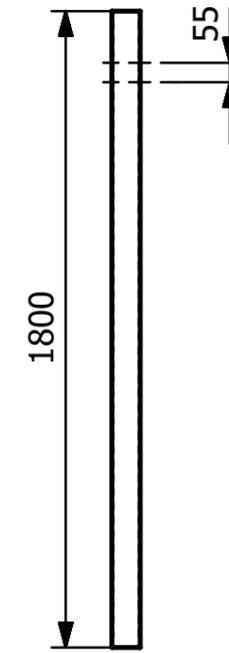
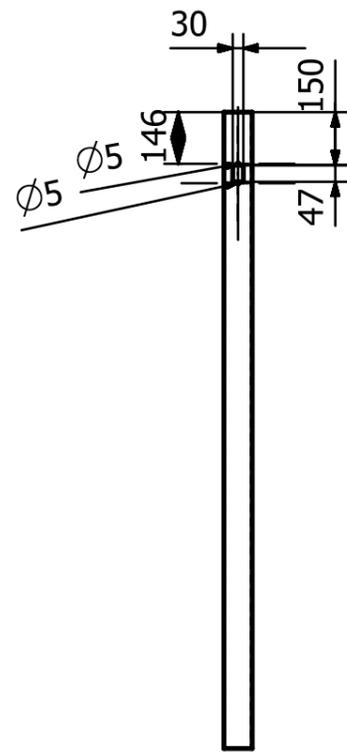


**FECHA DE EMISIÓN** 25/02/2016 **Nº PLANO** 3

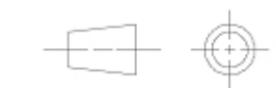
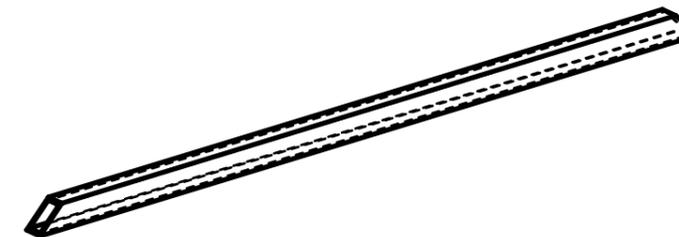
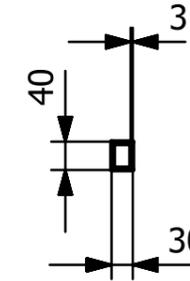
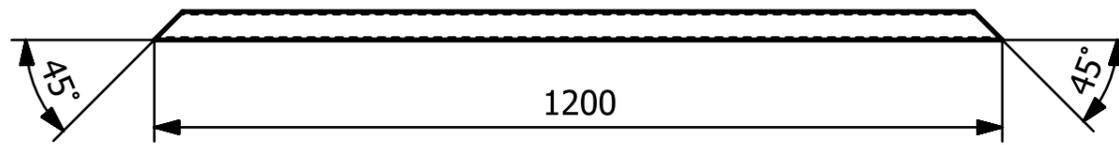
**FORMATO** A3 **MATERIAL** ACERO AISI 316

**ESCALA** 1:10 **Nº COPIAS** 1

1 2 3 4 5 6 7 8 A3

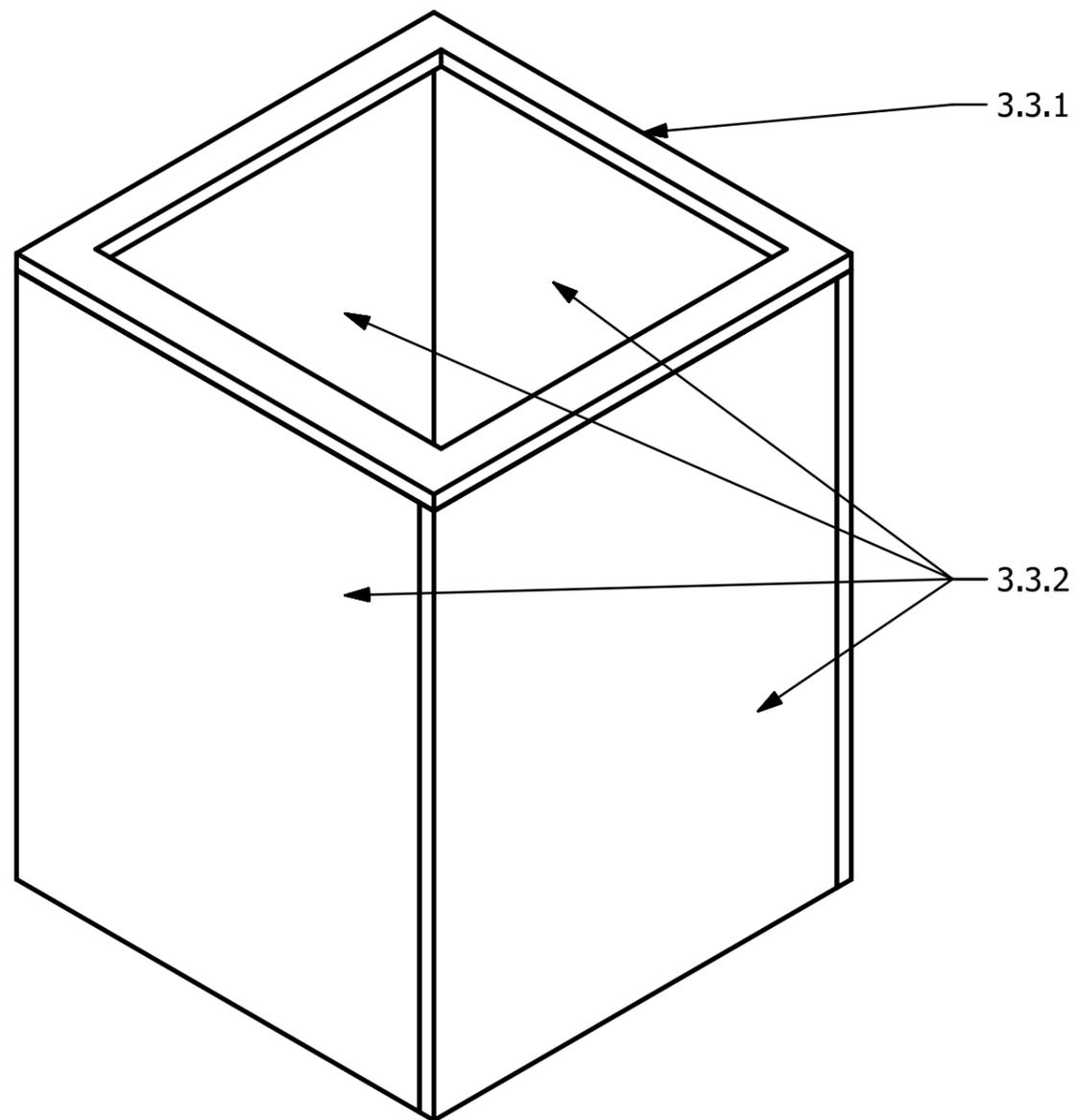


	DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL			
	NOMBRE DE PIEZA		Barra 1	
AUTOR		JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ		
	FECHA DE EMISIÓN	25/02/2016	Nº PLANO	3.1
	FORMATO	A3	MATERIAL	ACERO AISI 316
	ESCALA	1:20	Nº COPIAS	1



ALL DIMENSIONS IN mm

	DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL			
	<b>NOMBRE DE PIEZA</b>		Refuerzo de la barra fija	
<b>AUTOR</b>		JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ		
	<b>FECHA DE EMISIÓN</b>	25/02/2016	<b>Nº PLANO</b>	3.2
	<b>FORMATO</b>	A3	<b>MATERIAL</b>	ACERO AISI 316
	<b>ESCALA</b>	1:10	<b>Nº COPIAS</b>	1



DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES  
PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL

**NOMBRE DE PIEZA** Guía superior

**AUTOR** JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ



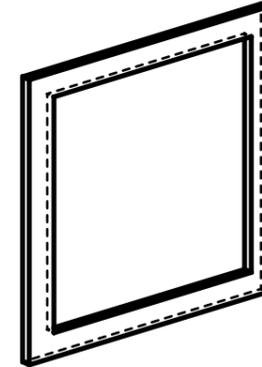
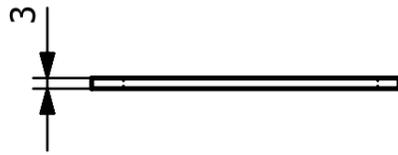
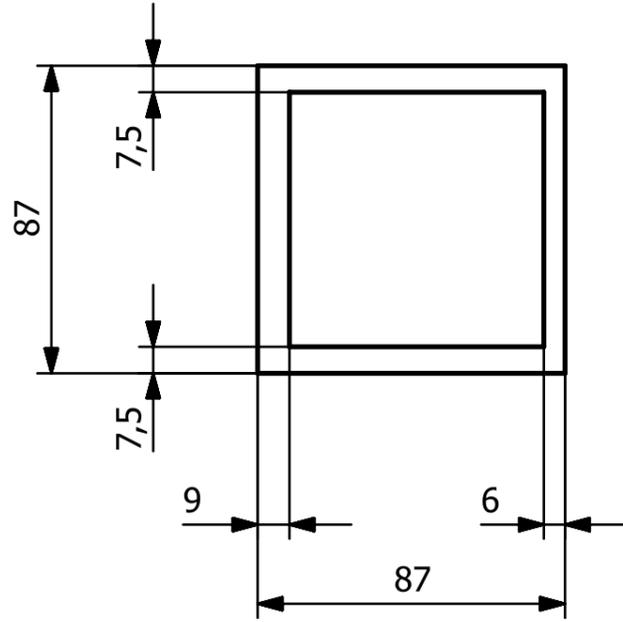
**FECHA DE EMISIÓN** 25/02/2016 **Nº PLANO** 3.3

**FORMATO** A3 **MATERIAL** ACERO AISI 316

**ESCALA** 1:2 **Nº COPIAS** 1



ALL DIMENSIONS IN mm



ALL DIMENSIONS IN mm



DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL

**NOMBRE DE PIEZA** Cara superior de la guía

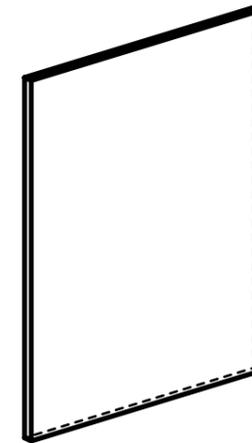
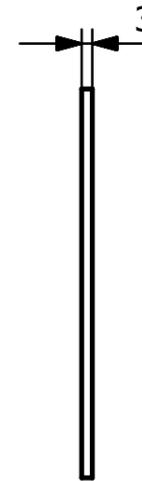
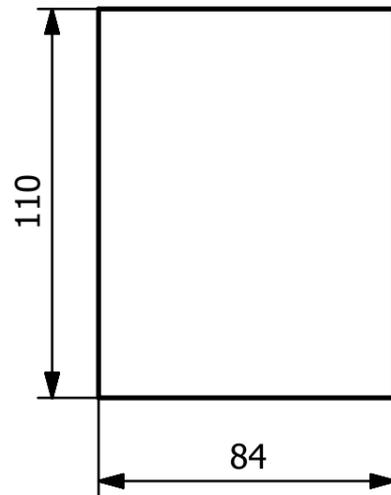
**AUTOR** JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ

**FECHA DE EMISIÓN** 25/02/2016 **Nº PLANO** 3.3.1

**FORMATO** A3 **MATERIAL** ACERO AISI 316

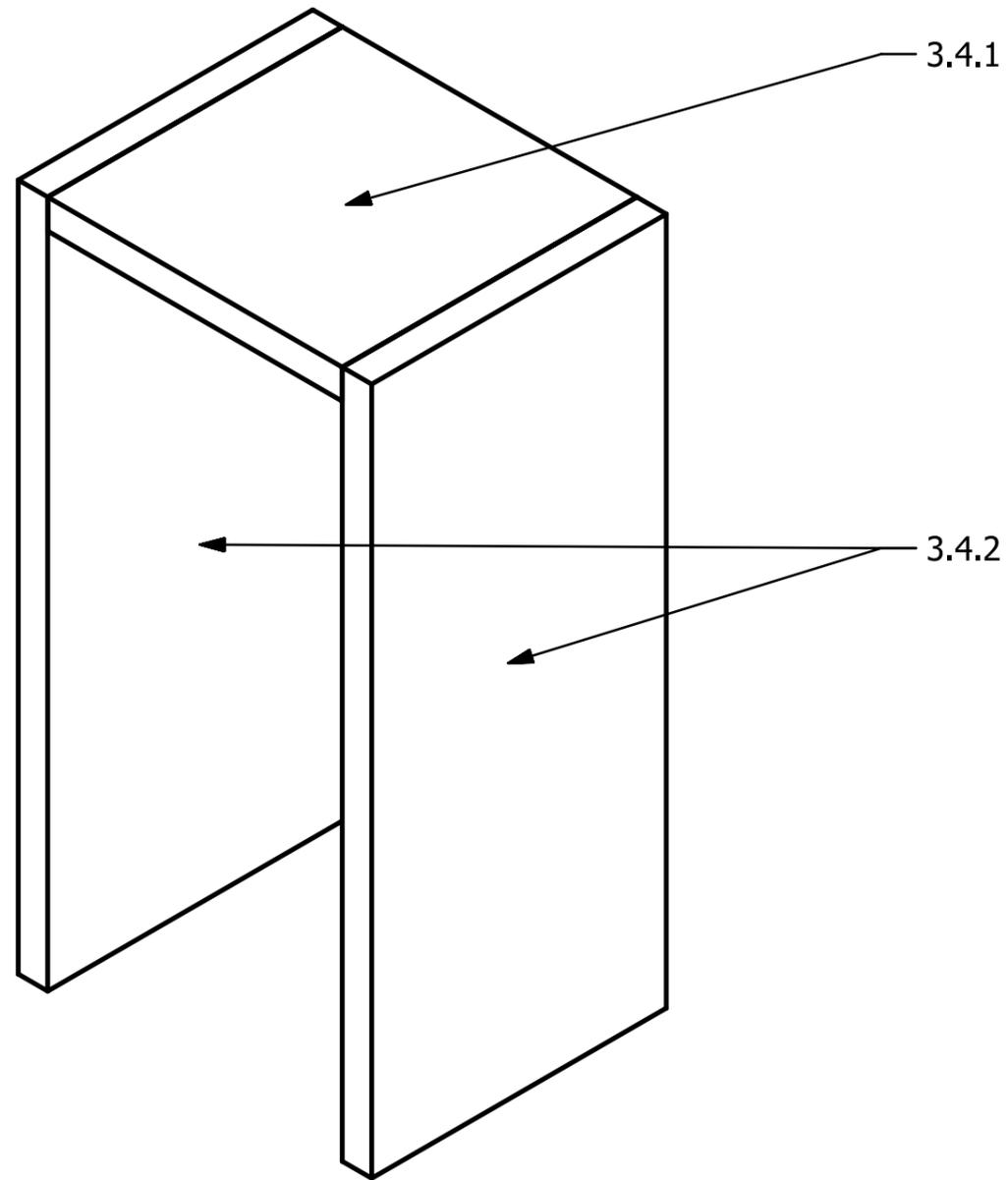
**ESCALA** 1:2 **Nº COPIAS** 1





ALL DIMENSIONS IN mm

	DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL			
	<b>NOMBRE DE PIEZA</b>	Cara lateral de la guía		
<b>AUTOR</b>	JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ			
	<b>FECHA DE EMISIÓN</b>	25/02/2016	<b>Nº PLANO</b>	3.3.2
	<b>FORMATO</b>	A3	<b>MATERIAL</b>	ACERO AISI 316
	<b>ESCALA</b>	1:2	<b>Nº COPIAS</b>	4



DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES  
PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL

**NOMBRE DE PIEZA** Protector de la patea

**AUTOR** JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ



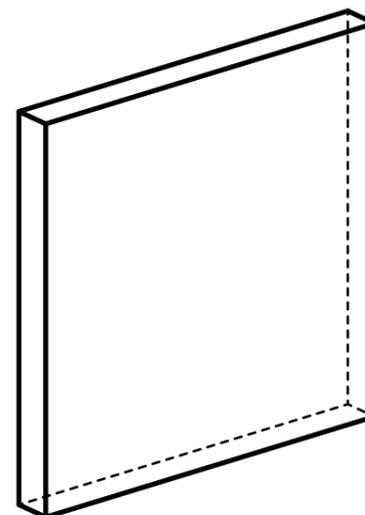
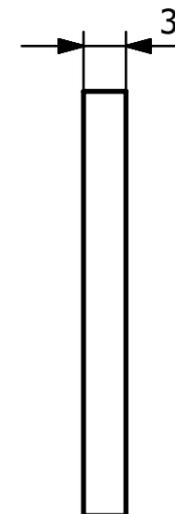
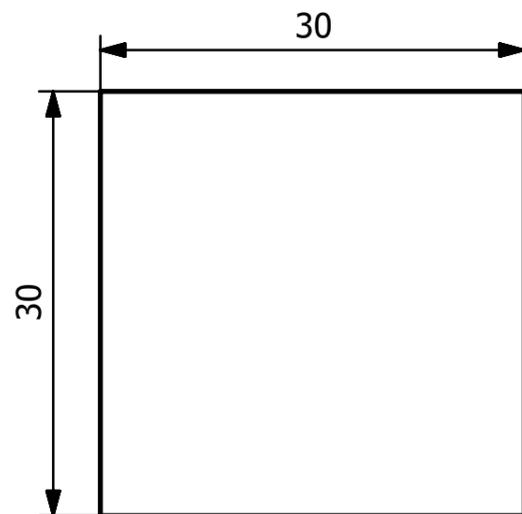
**FECHA DE EMISIÓN** 25/02/2016 **Nº PLANO** 3.4

**FORMATO** A3 **MATERIAL** ACERO AISI 316

**ESCALA** 2:1 **Nº COPIAS** 1

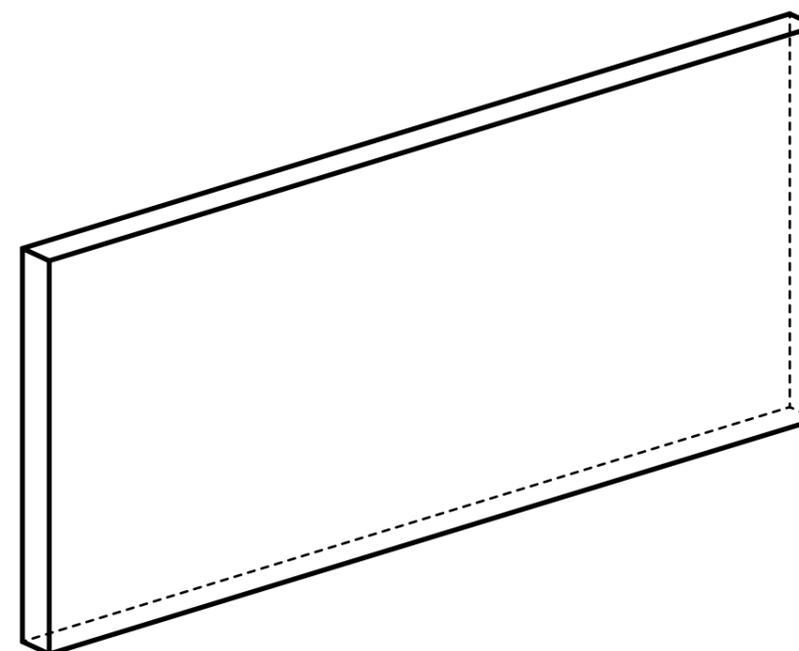
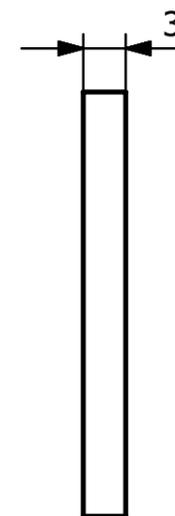
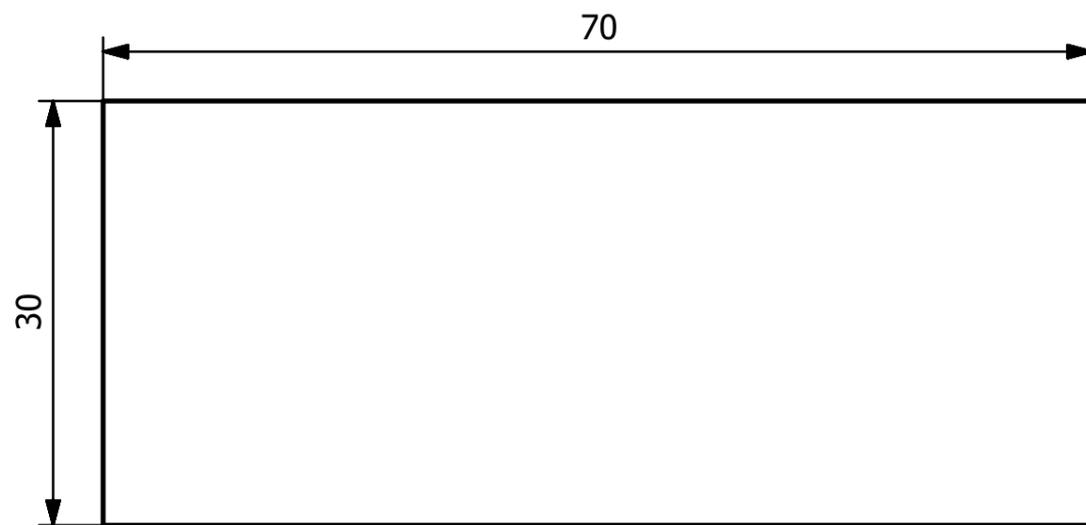


ALL DIMENSIONS IN mm



ALL DIMENSIONS IN mm

	DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL			
	<b>NOMBRE DE PIEZA</b>	Cara superior del protector de la polea		
	<b>AUTOR</b>	JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ		
	<b>FECHA DE EMISIÓN</b>	25/02/2016	<b>Nº PLANO</b>	3.4.1
	<b>FORMATO</b>	A3	<b>MATERIAL</b>	ACERO AISI 316
	<b>ESCALA</b>	2:1	<b>Nº COPIAS</b>	1

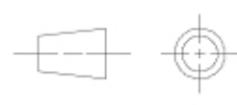
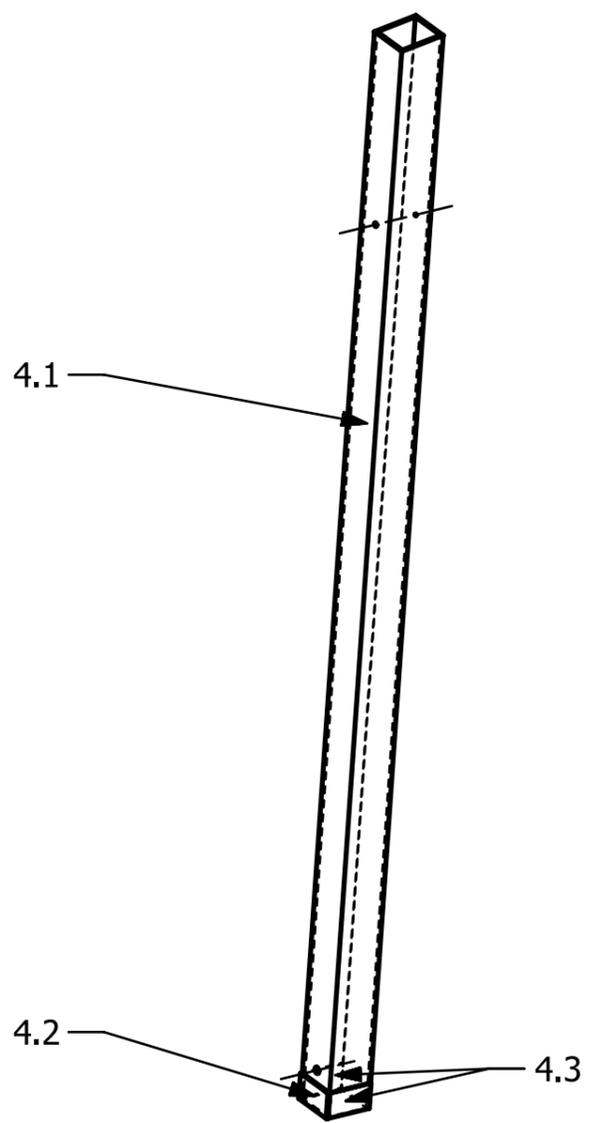



  
 ALL DIMENSIONS IN mm

	DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL			
	<b>NOMBRE DE PIEZA</b>	Cara lateral del protector de la polea		
<b>AUTOR</b>	JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ			
	<b>FECHA DE EMISIÓN</b>	25/02/2016	<b>Nº PLANO</b>	3.4.2
	<b>FORMATO</b>	A3	<b>MATERIAL</b>	ACERO AISI 316
	<b>ESCALA</b>	2:1	<b>Nº COPIAS</b>	2

1 2 3 4 5 6 7 8

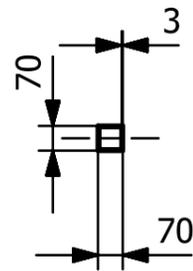
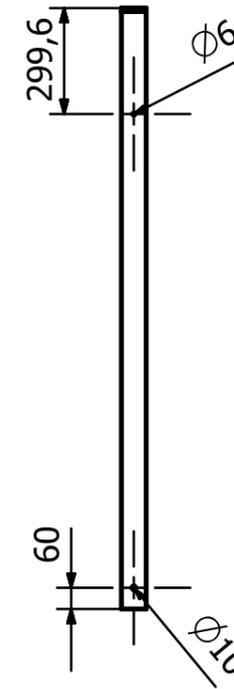
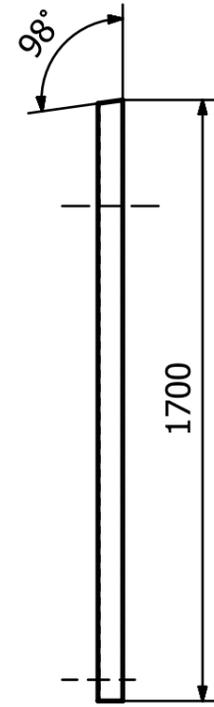
A  
B  
C  
D  
E  
F



ALL DIMENSIONS IN mm

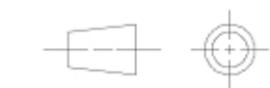
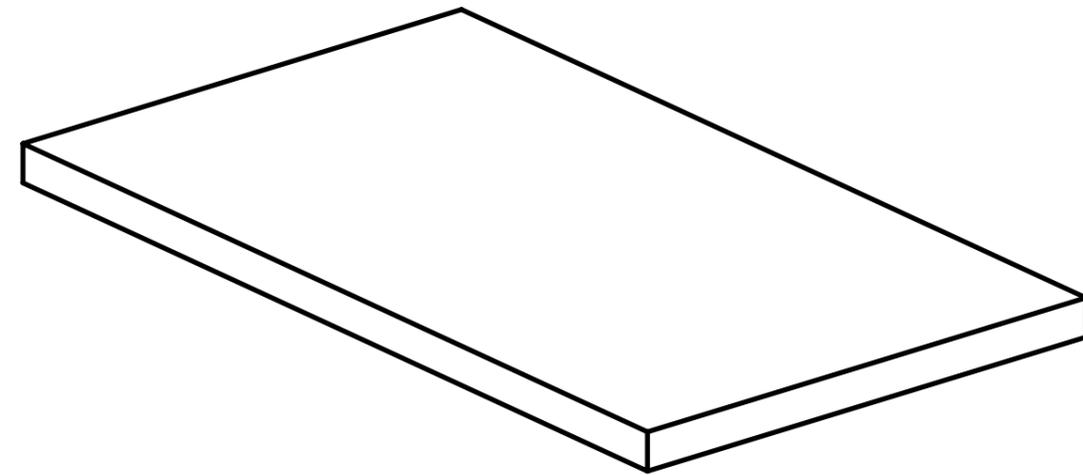
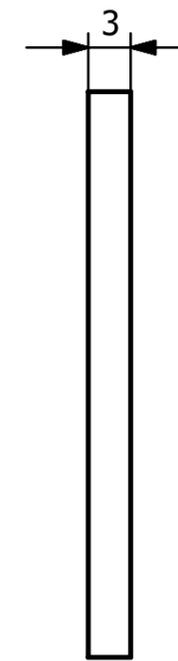
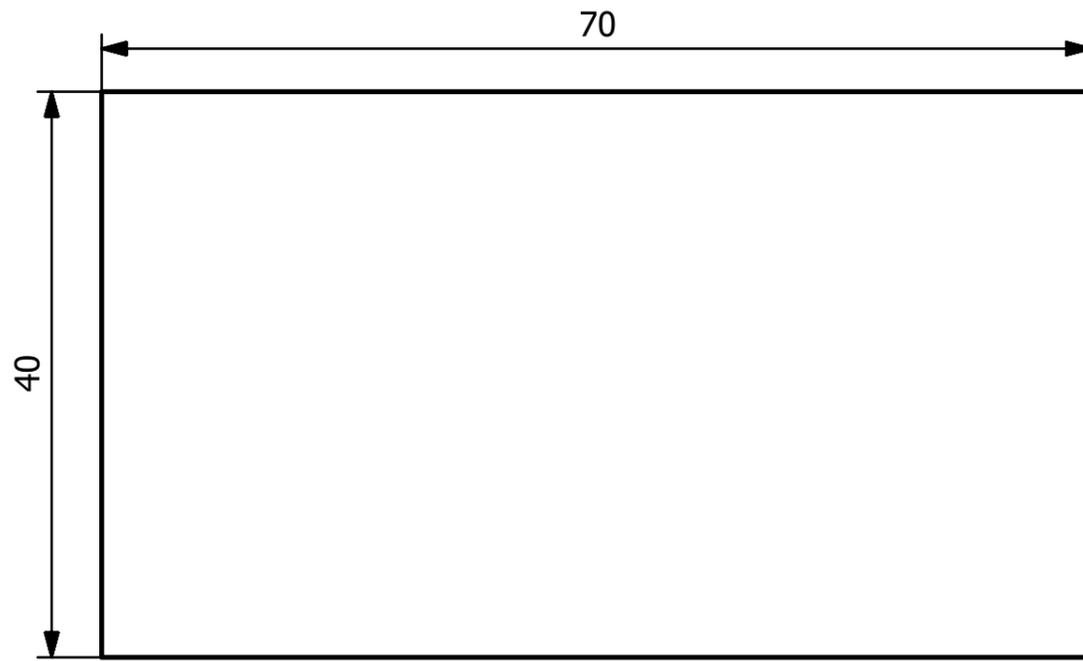
	DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL			
	<b>NOMBRE DE PIEZA</b>		Barra móvil	
<b>AUTOR</b>		JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ		
	<b>FECHA DE EMISIÓN</b>	25/02/2016	<b>Nº PLANO</b>	4
	<b>FORMATO</b>	A3	<b>MATERIAL</b>	ACERO AISI 316
	<b>ESCALA</b>	1:10	<b>Nº COPIAS</b>	1

1 2 3 4 5 6 7 8 A3



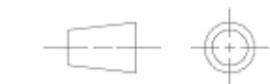
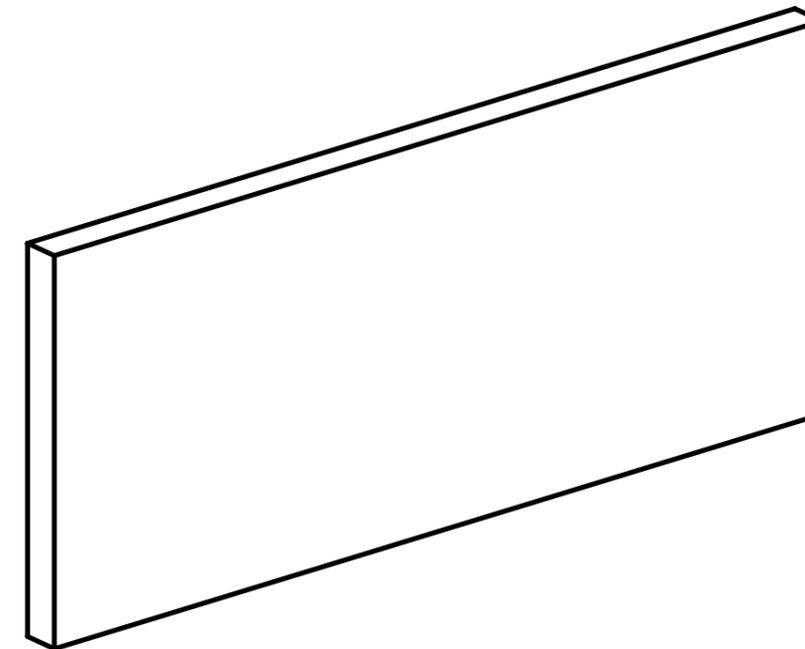
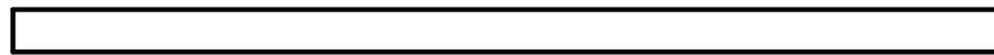
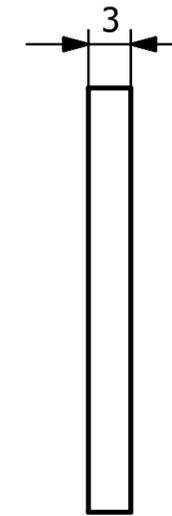
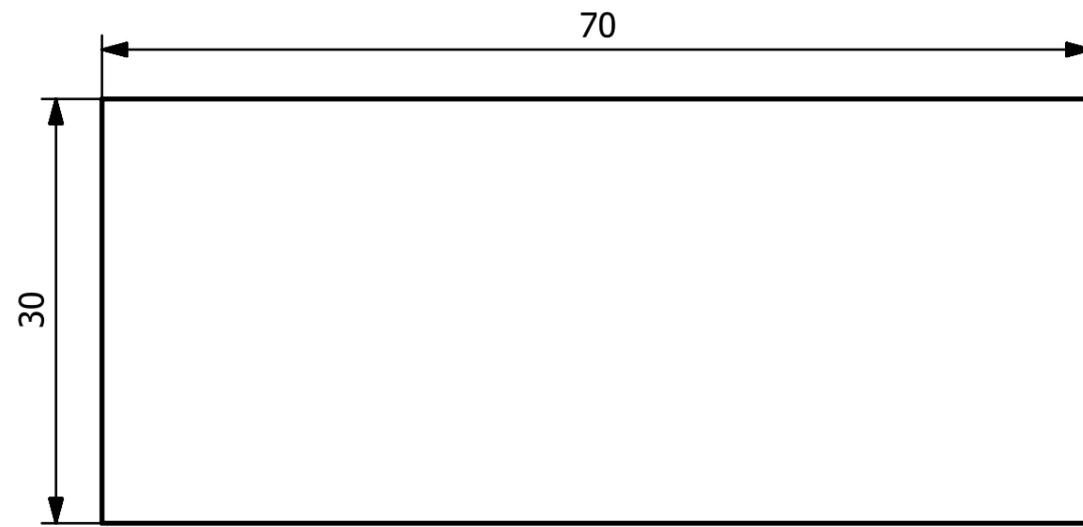
ALL DIMENSIONS IN mm

	DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL			
	NOMBRE DE PIEZA		Barra 2	
AUTOR		JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ		
	FECHA DE EMISIÓN	25/02/2016	Nº PLANO	4.1
	FORMATO	A3	MATERIAL	ACERO AISI 316
	ESCALA	1:20	Nº COPIAS	1



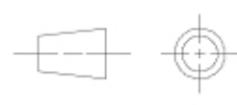
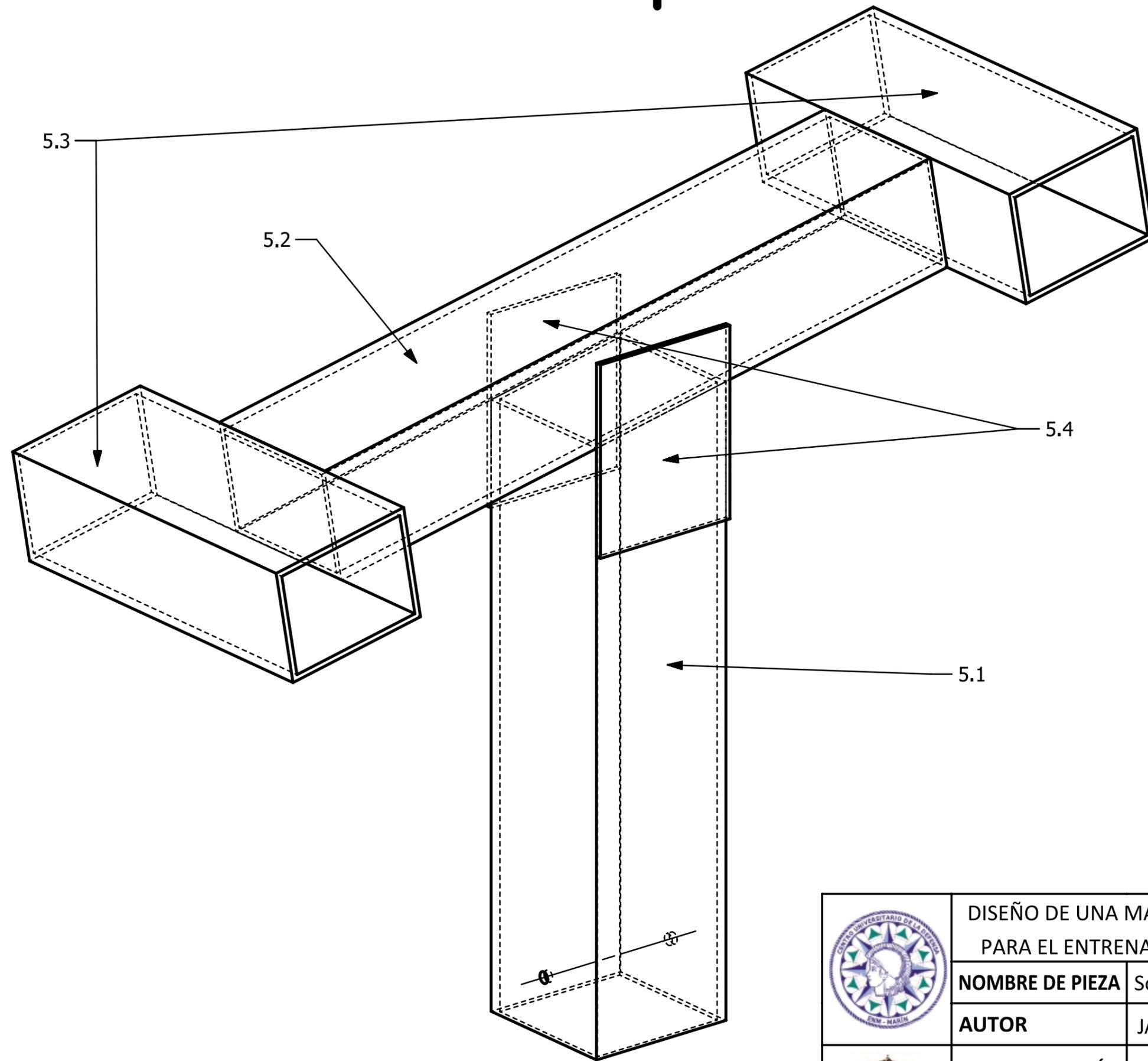
ALL DIMENSIONS IN mm

	DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL			
	NOMBRE DE PIEZA		Guía inferior anterior	
AUTOR		JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ		
	FECHA DE EMISIÓN	25/02/2016	Nº PLANO	4.2
	FORMATO	A3	MATERIAL	ACERO AISI 316
	ESCALA	2:1	Nº COPIAS	1



ALL DIMENSIONS IN mm

	DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL			
	<b>NOMBRE DE PIEZA</b>	Guía inferior lateral		
<b>AUTOR</b>	JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ			
	<b>FECHA DE EMISIÓN</b>	25/02/2016	<b>Nº PLANO</b>	4.3
	<b>FORMATO</b>	A3	<b>MATERIAL</b>	ACERO AISI 316
	<b>ESCALA</b>	2:1	<b>Nº COPIAS</b>	2



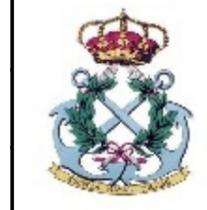
ALL DIMENSIONS IN mm



DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL

**NOMBRE DE PIEZA** Soporte de los raíles

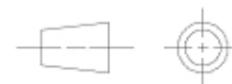
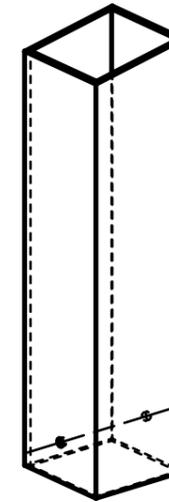
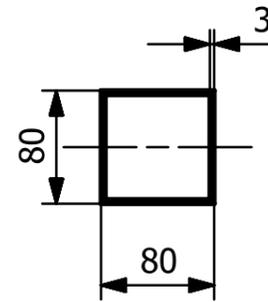
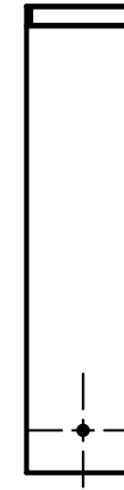
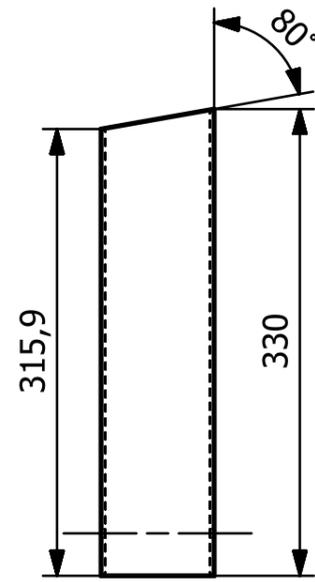
**AUTOR** JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ



**FECHA DE EMISIÓN** 25/02/2016 **Nº PLANO** 5

**FORMATO** A3 **MATERIAL** ACERO AISI 316

**ESCALA** 1:2 **Nº COPIAS** 1



ALL DIMENSIONS IN mm

	DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL			
	NOMBRE DE PIEZA		Tubo de encaje	
AUTOR		JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ		
	FECHA DE EMISIÓN	25/02/2016	Nº PLANO	5.1
	FORMATO	A3	MATERIAL	ACERO AISI 316
	ESCALA	1:5	Nº COPIAS	1

1 2 3 4 5 6 7 8

A

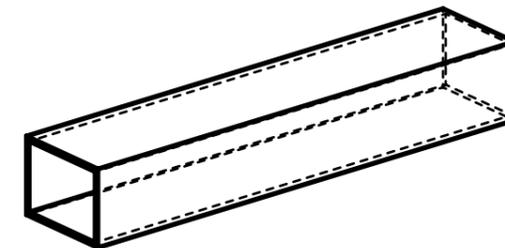
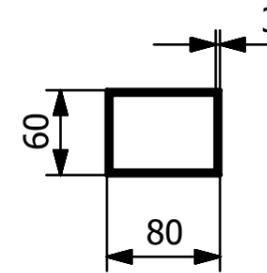
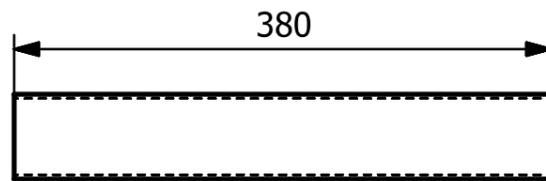
B

C

D

E

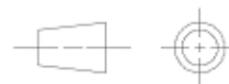
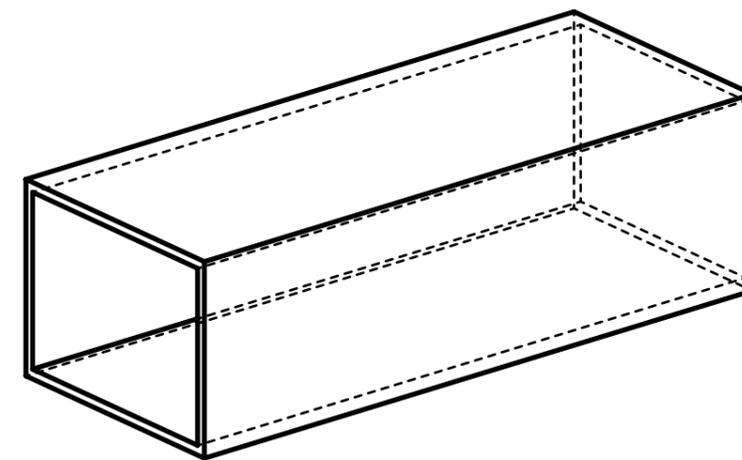
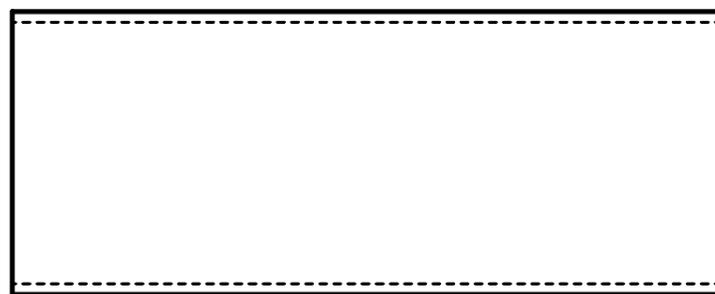
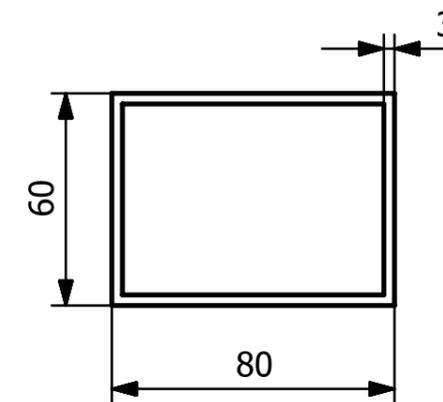
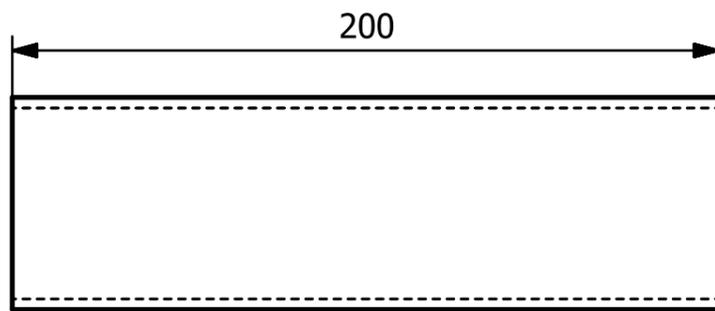
F



ALL DIMENSIONS IN mm

	DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL			
	NOMBRE DE PIEZA		Tubo de soporte longitudinal	
AUTOR		JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ		
	FECHA DE EMISIÓN	25/02/2016	Nº PLANO	5.2
	FORMATO	A3	MATERIAL	ACERO AISI 316
	ESCALA	1:5	Nº COPIAS	1

1 2 3 4 5 6 7 8 A3

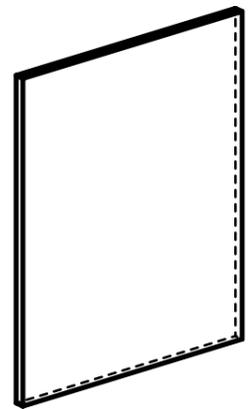
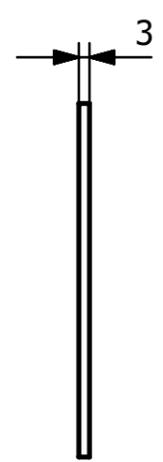
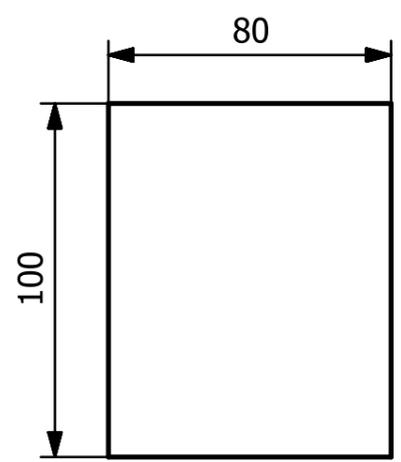


ALL DIMENSIONS IN mm

	DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL			
	NOMBRE DE PIEZA		Tubo de soporte transversal	
AUTOR		JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ		
	FECHA DE EMISIÓN	25/02/2016	Nº PLANO	5.3
	FORMATO	A3	MATERIAL	ACERO AISI 316
	ESCALA	1:2	Nº COPIAS	2

1 2 3 4 5 6 7 8

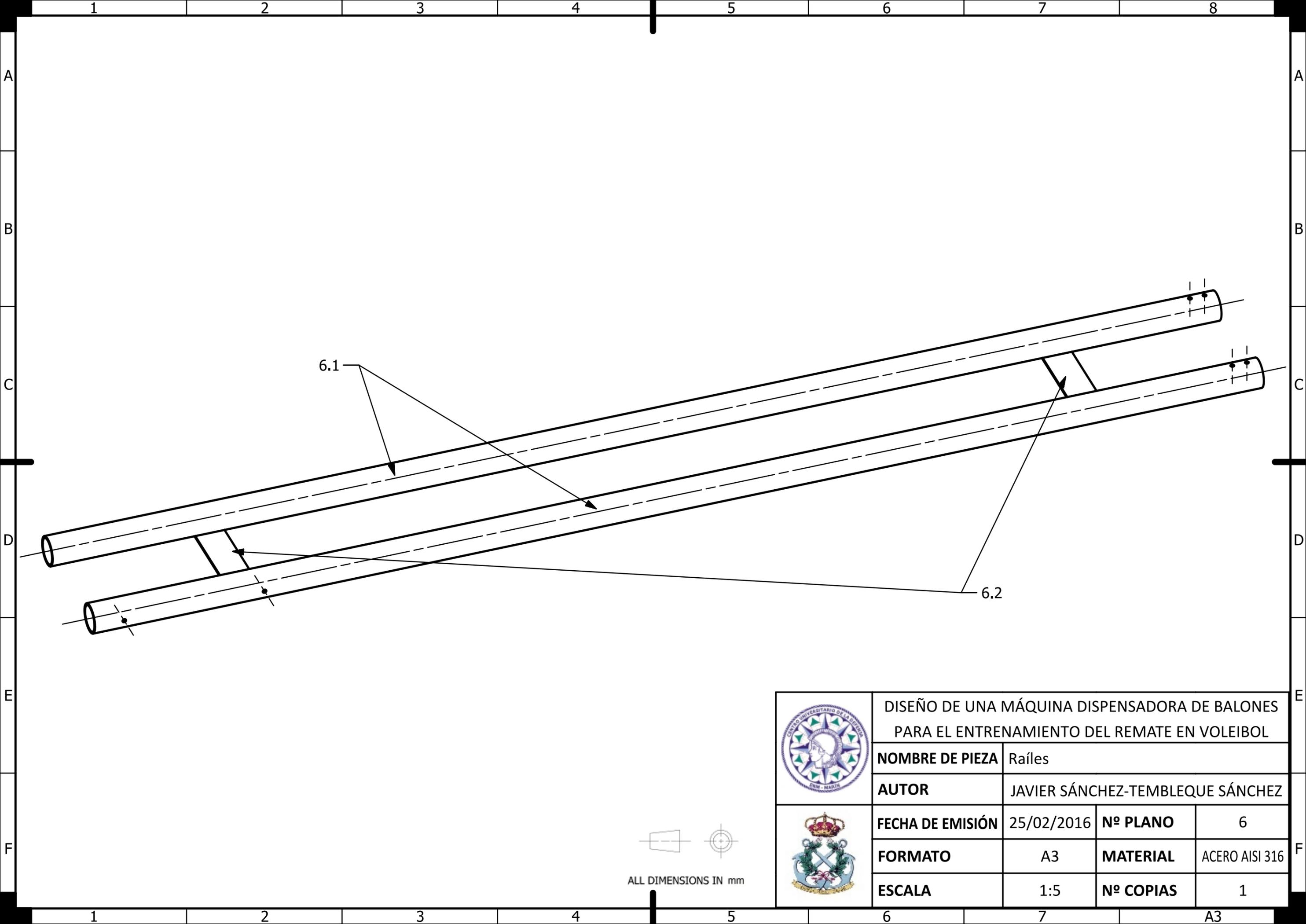
A  
B  
C  
D  
E  
F



ALL DIMENSIONS IN mm

	DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL			
	<b>NOMBRE DE PIEZA</b>	Refuerzo del soporte		
<b>AUTOR</b>	JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ			
	<b>FECHA DE EMISIÓN</b>	25/02/2016	<b>Nº PLANO</b>	5.4
	<b>FORMATO</b>	A3	<b>MATERIAL</b>	ACERO AISI 316
	<b>ESCALA</b>	1:2	<b>Nº COPIAS</b>	2

1 2 3 4 5 6 7 8 A3



DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES  
PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL

**NOMBRE DE PIEZA** Raíles

**AUTOR** JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ



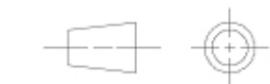
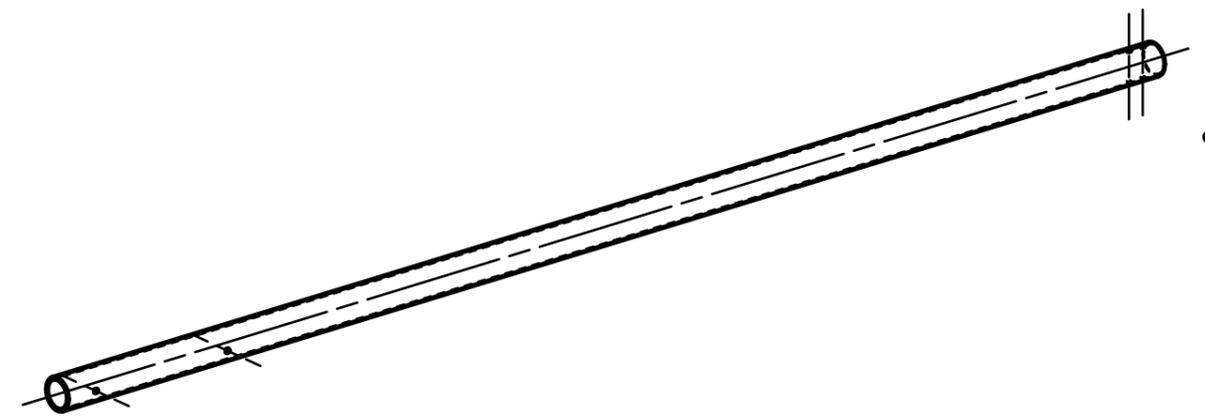
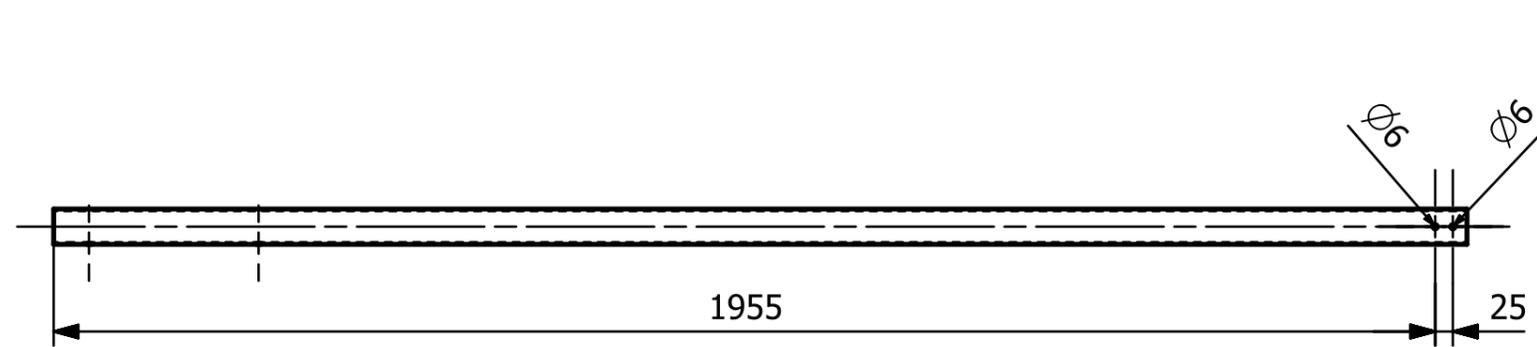
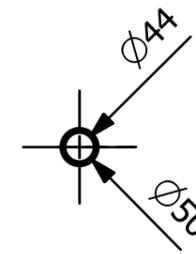
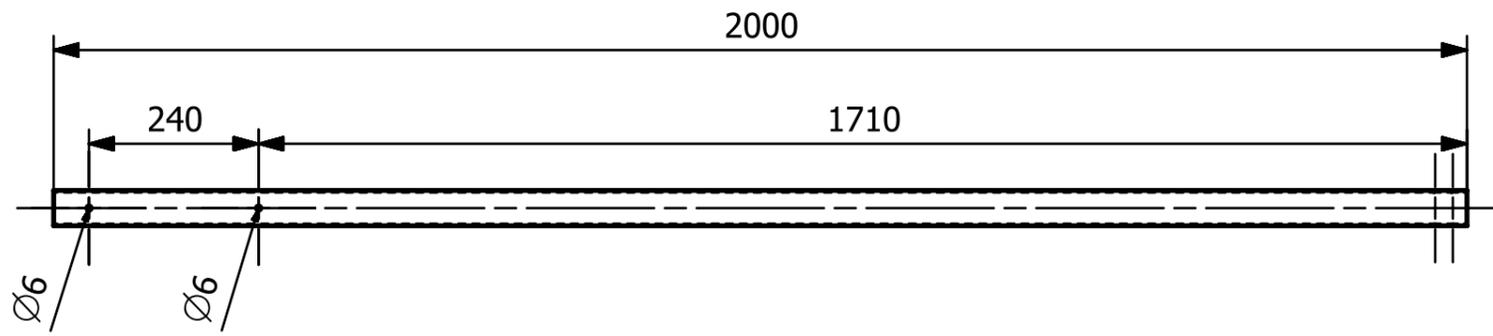
**FECHA DE EMISIÓN** 25/02/2016 **Nº PLANO** 6

**FORMATO** A3 **MATERIAL** ACERO AISI 316

**ESCALA** 1:5 **Nº COPIAS** 1



ALL DIMENSIONS IN mm

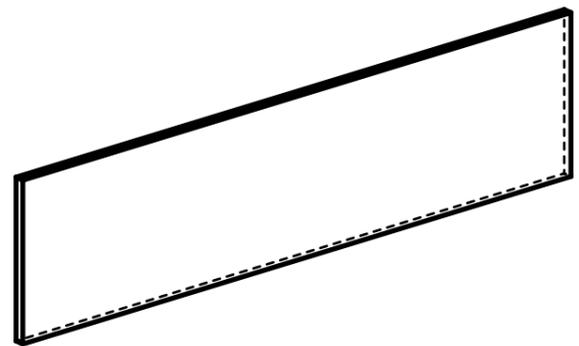
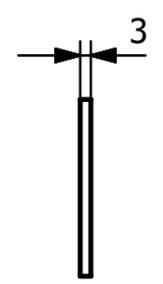
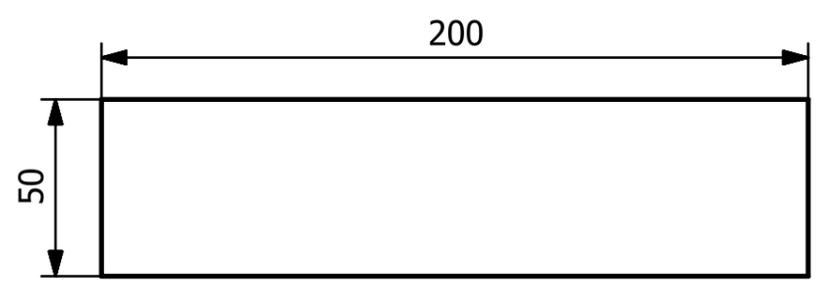


ALL DIMENSIONS IN mm

	DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL			
	NOMBRE DE PIEZA		Raíl	
AUTOR		JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ		
	FECHA DE EMISIÓN	25/02/2016	Nº PLANO	6.1
	FORMATO	A3	MATERIAL	ACERO AISI 316
	ESCALA	1:10	Nº COPIAS	2

1 2 3 4 5 6 7 8

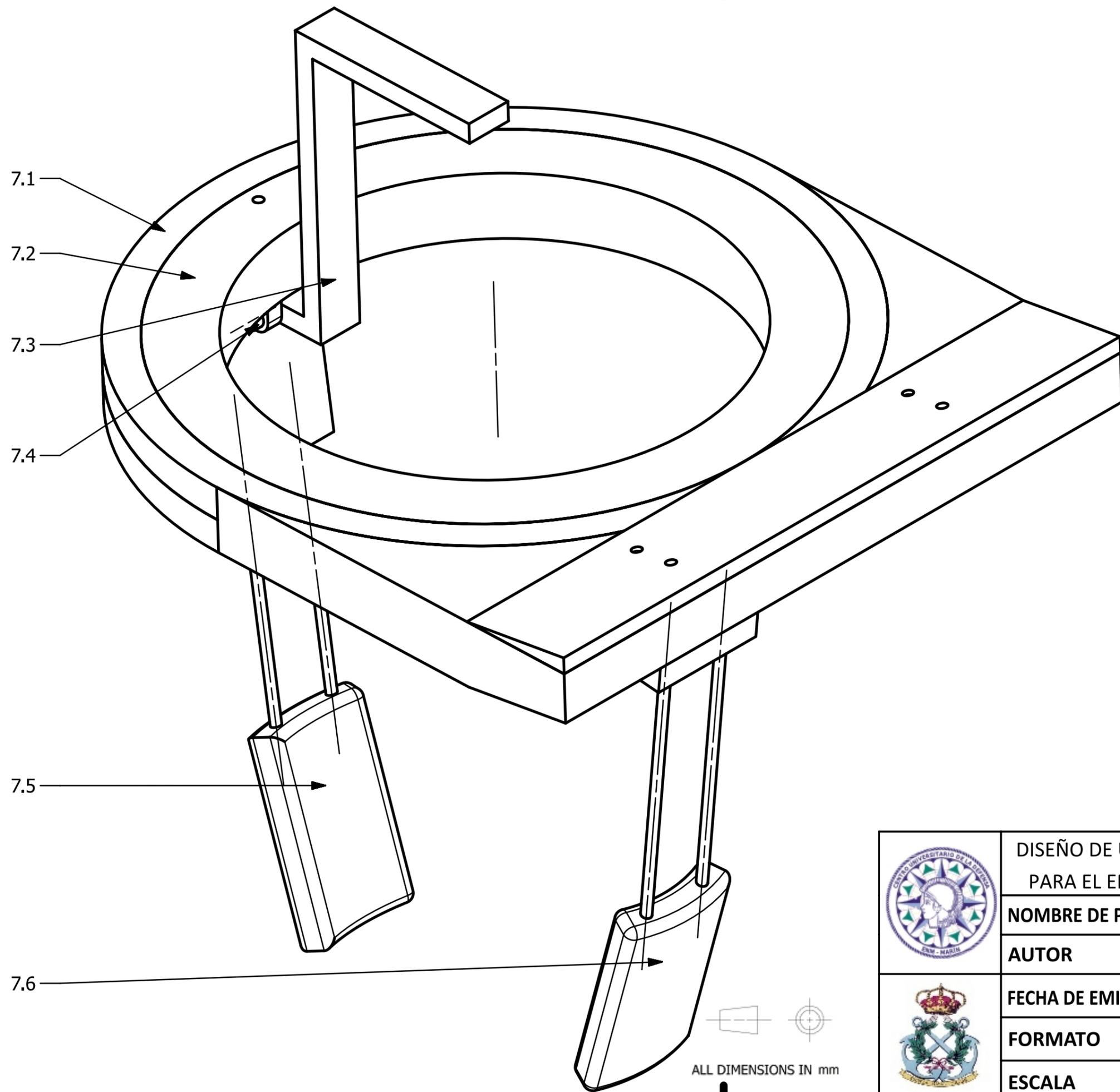
A  
B  
C  
D  
E  
F



ALL DIMENSIONS IN mm

	DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL			
	<b>NOMBRE DE PIEZA</b>	Pletina		
<b>AUTOR</b>	JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ			
	<b>FECHA DE EMISIÓN</b>	25/02/2016	<b>Nº PLANO</b>	6.2
	<b>FORMATO</b>	A3	<b>MATERIAL</b>	ACERO AISI 316
	<b>ESCALA</b>	1:2	<b>Nº COPIAS</b>	2

1 2 3 4 5 6 7 8 A3



DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL

**NOMBRE DE PIEZA** Cabezal

**AUTOR** JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ

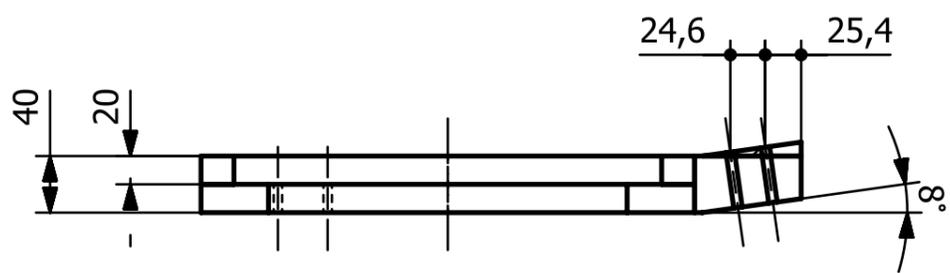
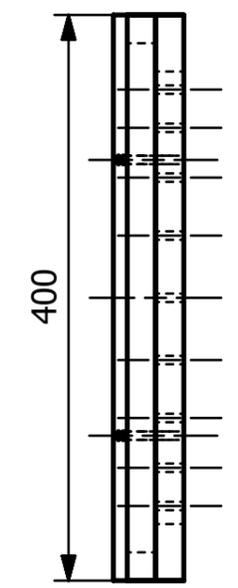
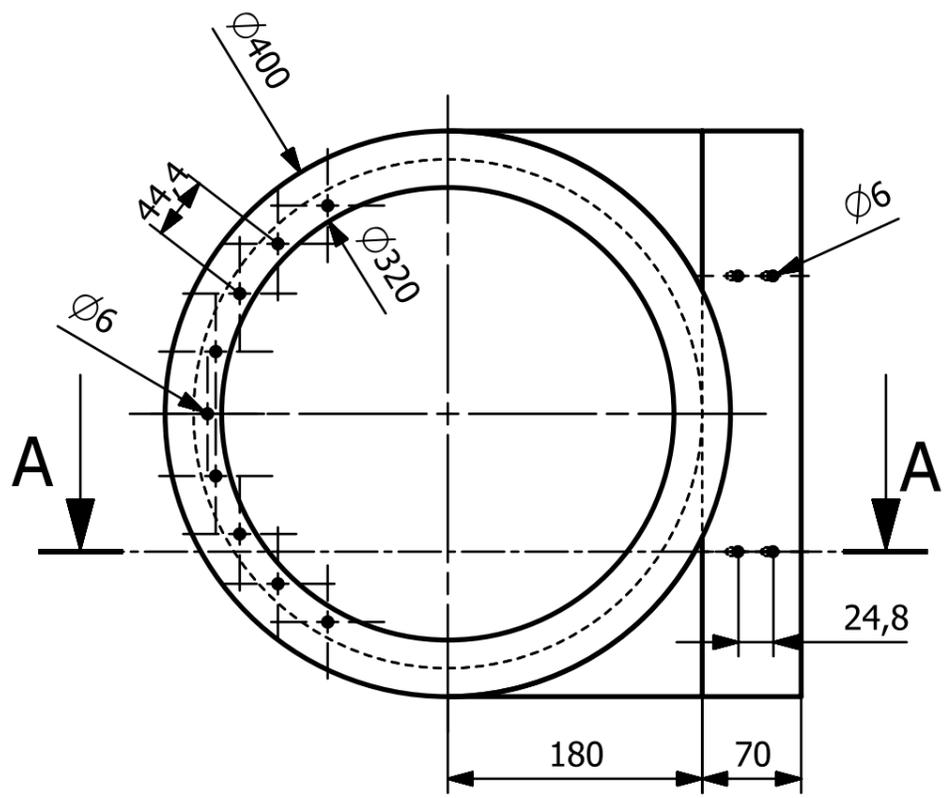
**FECHA DE EMISIÓN** 25/02/2016 **Nº PLANO** 7

**FORMATO** A3 **MATERIAL** ACERO Aisi 316

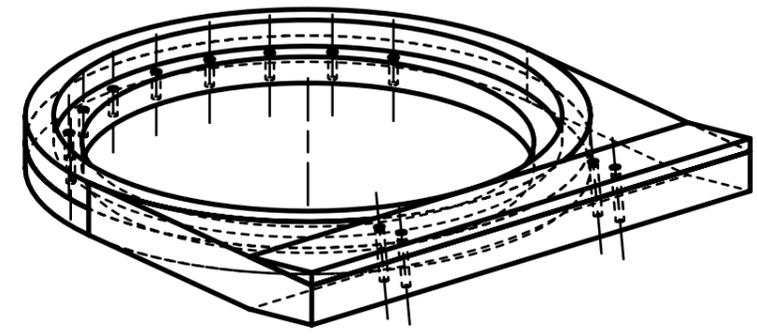
**ESCALA** 1:2 **Nº COPIAS** 1



ALL DIMENSIONS IN mm

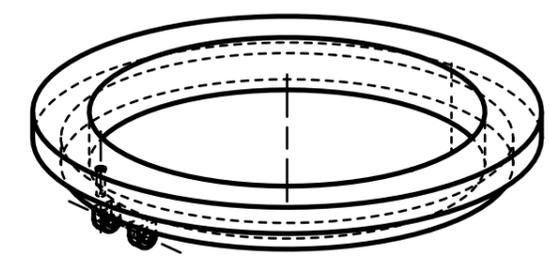
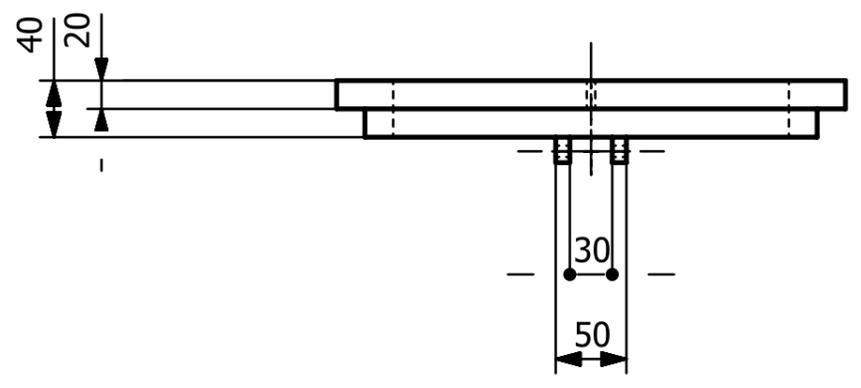
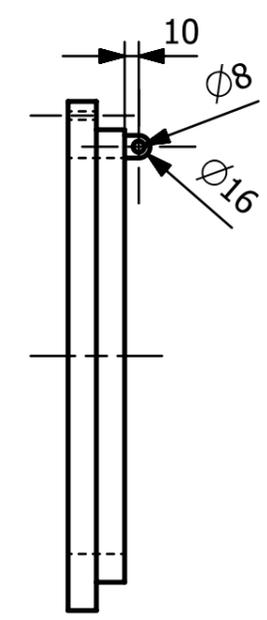
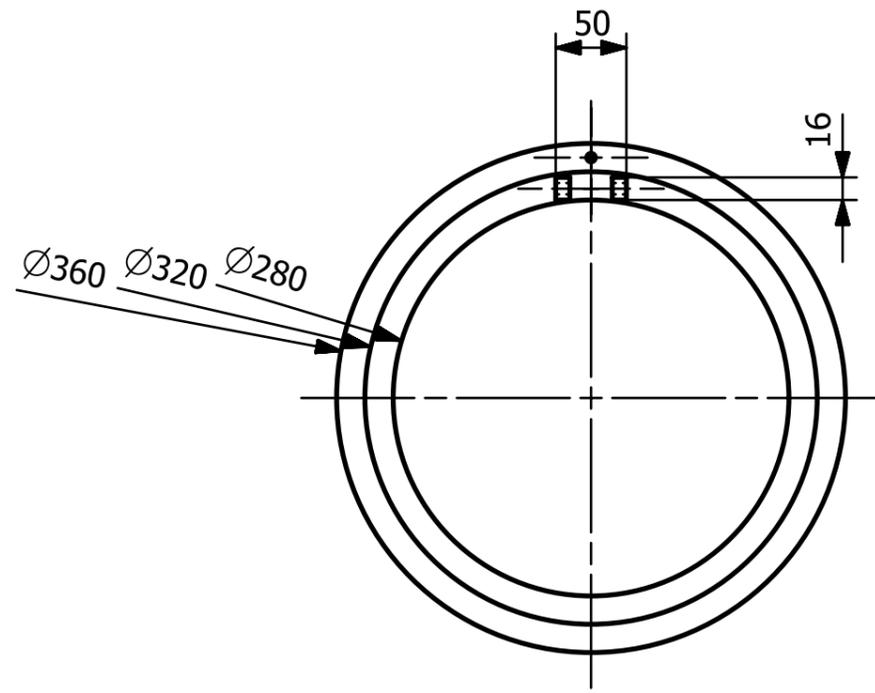


SECTION A-A



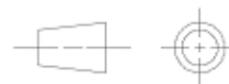
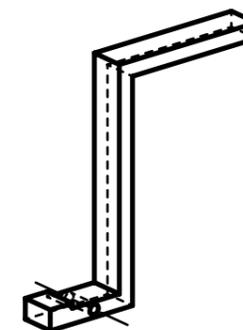
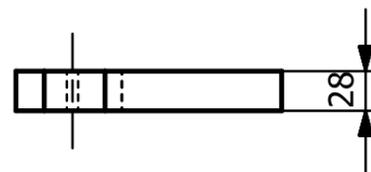
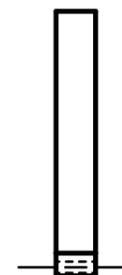
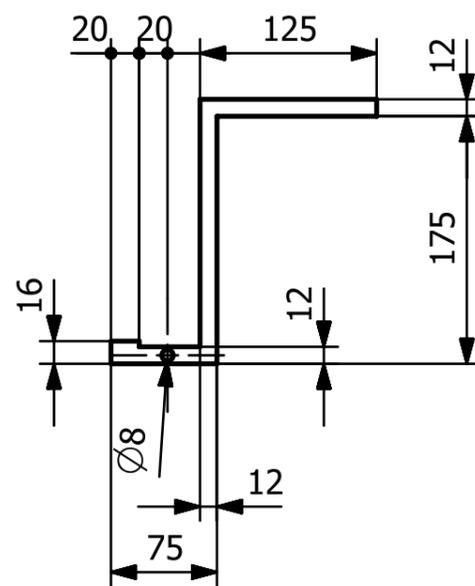
ALL DIMENSIONS IN mm

	DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL			
	NOMBRE DE PIEZA		Disco fijo	
AUTOR		JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ		
	FECHA DE EMISIÓN	25/02/2016	Nº PLANO	7.1
	FORMATO	A3	MATERIAL	ACERO AISI 316
	ESCALA	1:5	Nº COPIAS	1



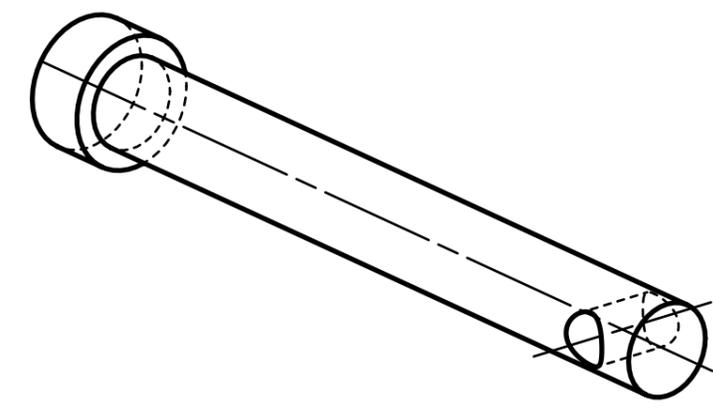
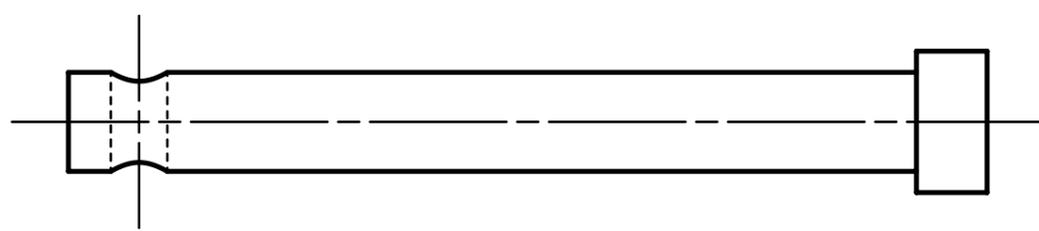
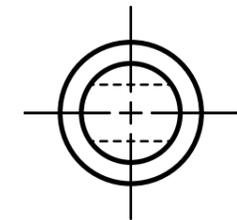
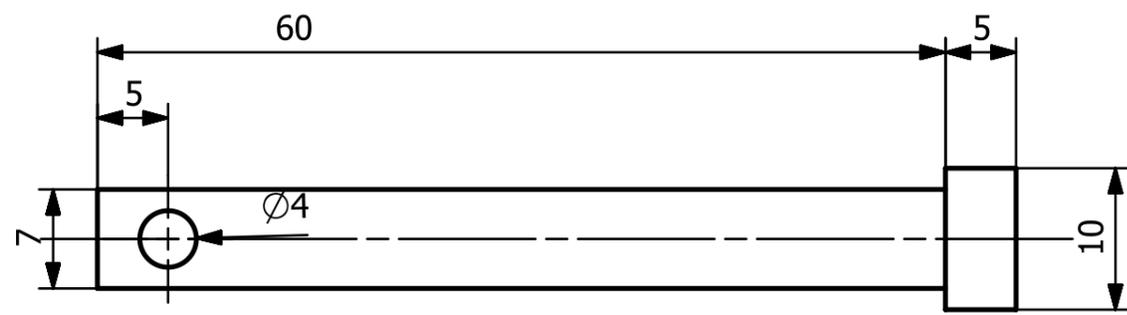
ALL DIMENSIONS IN mm

	DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL			
	NOMBRE DE PIEZA		Disco móvil	
AUTOR		JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ		
	FECHA DE EMISIÓN	25/02/2016	Nº PLANO	7.2
	FORMATO	A3	MATERIAL	ACERO AISI 316
	ESCALA	1:5	Nº COPIAS	1

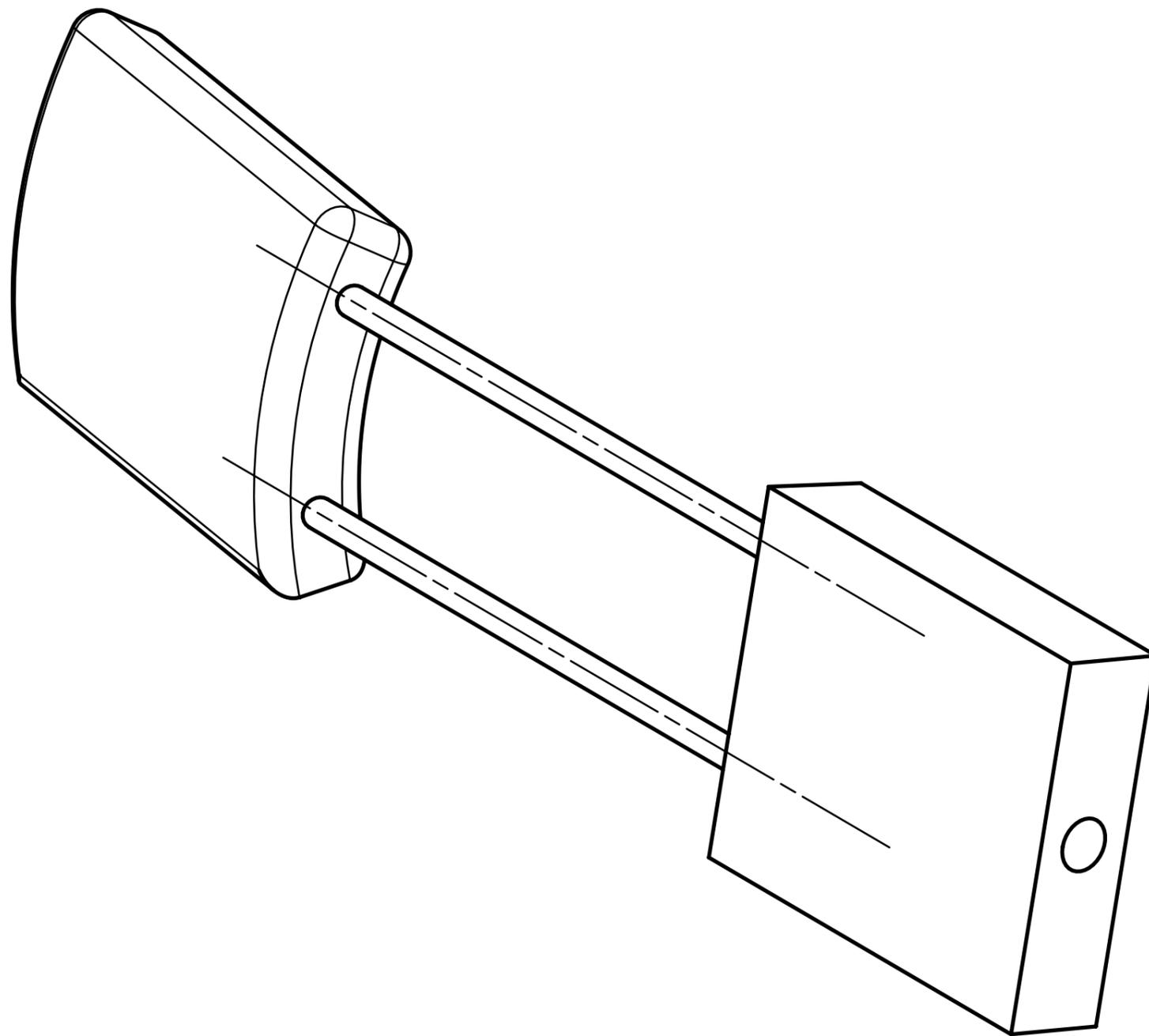


ALL DIMENSIONS IN mm

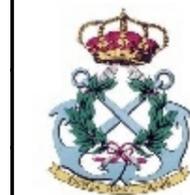
	DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL			
	NOMBRE DE PIEZA		Retén	
AUTOR		JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ		
	FECHA DE EMISIÓN	25/02/2016	Nº PLANO	7.3
	FORMATO	A3	MATERIAL	ACERO AISI 316
	ESCALA	1:5	Nº COPIAS	1



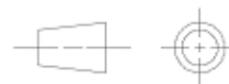
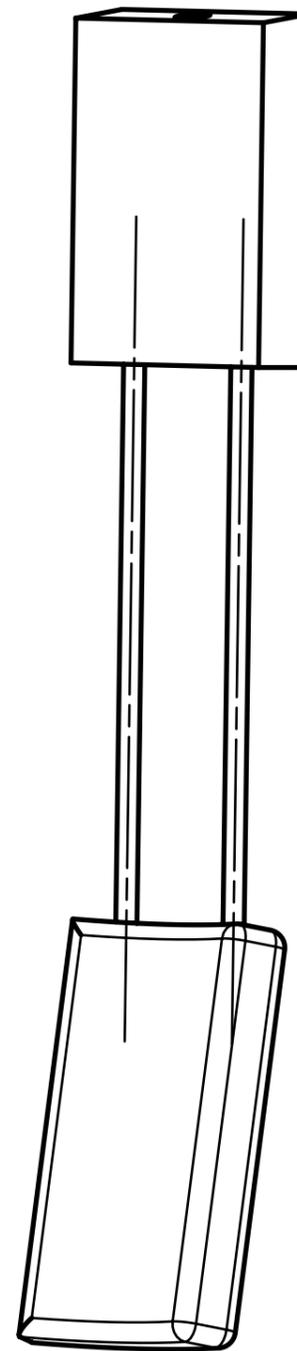
	DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL			
	NOMBRE DE PIEZA		Pasador del retén	
AUTOR		JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ		
	FECHA DE EMISIÓN	25/02/2016	Nº PLANO	7.4
	FORMATO	A3	MATERIAL	ACERO AISI 316
	ESCALA	2:1	Nº COPIAS	1



ALL DIMENSIONS IN mm

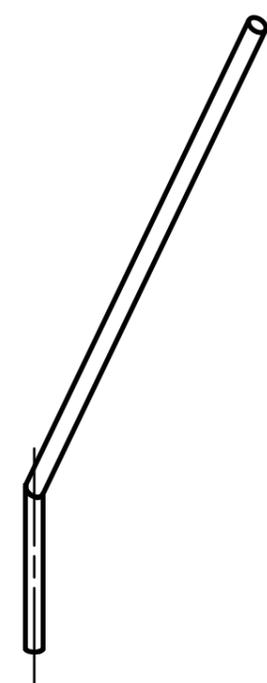
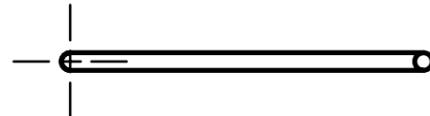
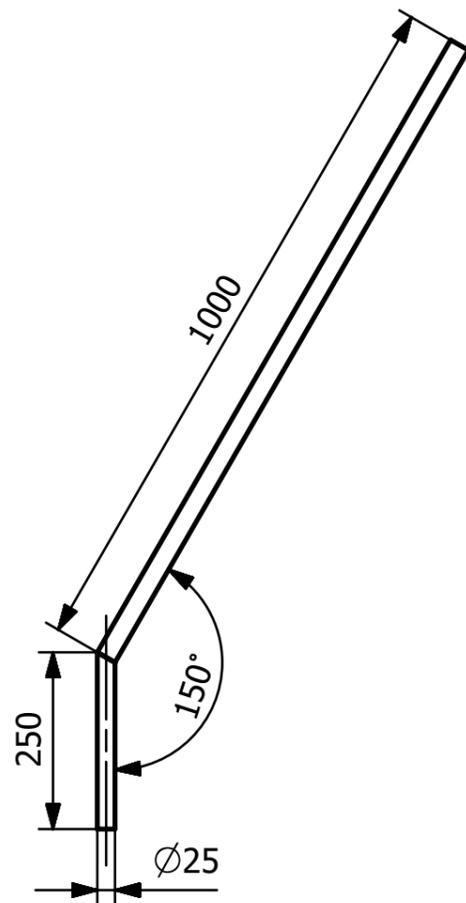


DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL			
<b>NOMBRE DE PIEZA</b>	Pinza móvil		
<b>AUTOR</b>	JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ		
<b>FECHA DE EMISIÓN</b>	25/02/2016	<b>Nº PLANO</b>	7.5
<b>FORMATO</b>	A3	<b>MATERIAL</b>	ACERO AISI 316
<b>ESCALA</b>	1:1	<b>Nº COPIAS</b>	1



ALL DIMENSIONS IN mm

	DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL			
	<b>NOMBRE DE PIEZA</b>		Pinza fija	
<b>AUTOR</b>		JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ		
	<b>FECHA DE EMISIÓN</b>	25/02/2016	<b>Nº PLANO</b>	7.6
	<b>FORMATO</b>	A3	<b>MATERIAL</b>	ACERO AISI 316
	<b>ESCALA</b>	1:2	<b>Nº COPIAS</b>	1



ALL DIMENSIONS IN mm



DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL

**NOMBRE DE PIEZA** Barra delantera de la tolva porta-balones

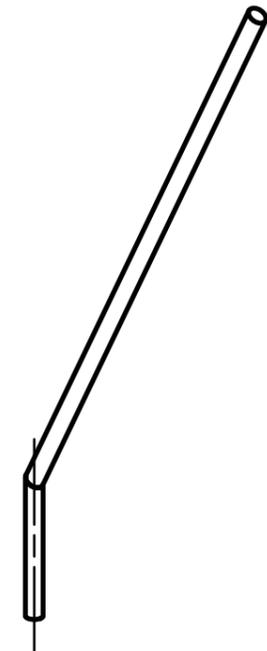
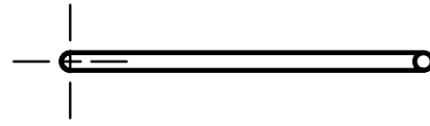
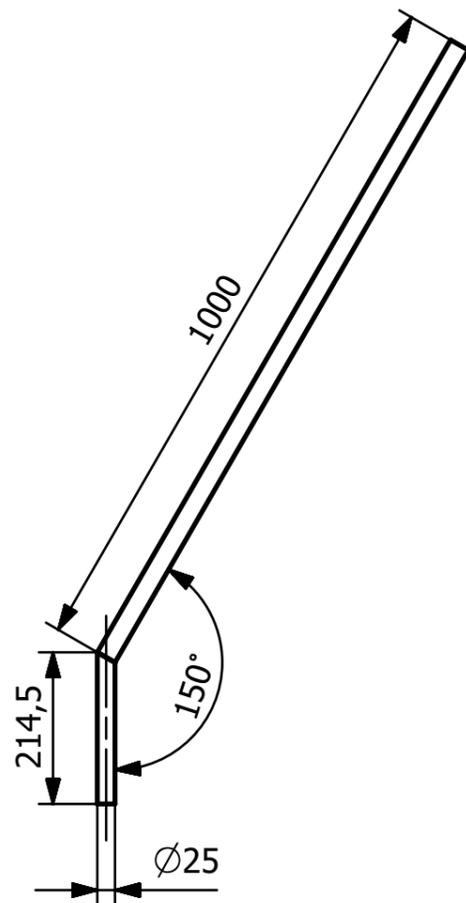
**AUTOR** JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ



**FECHA DE EMISIÓN** 25/02/2016 **Nº PLANO** 8.1

**FORMATO** A3 **MATERIAL** ACERO AISI 316

**ESCALA** 1:10 **Nº COPIAS** 2



ALL DIMENSIONS IN mm



DISEÑO DE UNA MÁQUINA DISPENSADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DEL REMATE EN VOLEIBOL			
<b>NOMBRE DE PIEZA</b>	Barra trasera de la tolva porta-balones		
<b>AUTOR</b>	JAVIER SÁNCHEZ-TEMBLEQUE SÁNCHEZ		
<b>FECHA DE EMISIÓN</b>	25/02/2016	<b>Nº PLANO</b>	8.2
<b>FORMATO</b>	A3	<b>MATERIAL</b>	ACERO AISI 316
<b>ESCALA</b>	1:10	<b>Nº COPIAS</b>	2