

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Facultad de Ciencias e Ingeniería



**MODELACIÓN DINÁMICA DE LA TÉCNICA DE
RECEPCIÓN BAJA BÁSICA EN EL VÓLEY Y DISEÑO
DE UN MÓDULO EXPERIMENTAL PARA SU
VALIDACIÓN.**

**Tesis para optar por el Título de Ingeniero Mecatrónico,
que presenta el bachiller:**

Jose Gustavo Garcia Sulca

Asesor: Dante Angel Elías Giordano

Lima, marzo del 2019

A mi madre Flor Sulca Zaconetta por todo el apoyo y la guía brindada durante mi etapa universitaria. A mis compañeros de Ingeniería Mecatrónica y a mis compañeros del Laboratorio de Investigación en Biomecánica y Robótica Aplicada por el apoyo y la amistad brindada durante la realización del presente trabajo. Agradezco además a mi asesor, el Dr. Dante Elías, por la orientación brindada a lo largo del desarrollo de la presente tesis, así como en el desarrollo del trabajo realizado en su grupo de investigación. Agradecimiento especial al Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica del Perú por apoyar la realización de este trabajo mediante el proyecto “Caracterización biomecánica del movimiento asociado a la técnica de recepción en el vóley categoría juvenil damas” con contrato N° 206-2015 FONDECYT.

RESUMEN

El presente trabajo presenta un modelo biomecánico del cuerpo en el plano sagital que permite estimar las fuerzas internas presentes durante la ejecución de la técnica de recepción baja básica en el vóley. De igual manera, se presenta el diseño de un módulo de ensayos experimentales que permita realizar la validación del modelo propuesto.

En la etapa inicial se realizó un breve estudio sobre modelos biomecánicos del cuerpo así como métodos para realizar su validación que posean un enfoque deportivo. De esta manera se propuso un modelo biomecánico que cuenta con seis segmentos articulados en cadena y que permite analizar el movimiento deseado.

Luego se procedió a realizar el diseño preliminar del módulo de ensayos, el cual consiste de un sistema de captura de movimiento basado en cámaras y seguimiento de marcadores, de un par de plataformas de fuerza y de un dispositivo lanzador de balones. El dispositivo lanzador de balones permite ajustar tanto la velocidad y el ángulo de lanzamiento del balón. Además, cuenta con un sistema de seguridad que impedirá el lanzamiento ante la presencia de obstáculos frente al dispositivo. El costo de fabricación del lanzador de balones asciende a S/. 4,000 aproximadamente, el cual incluye costos de diseño, fabricación y ensamble.

Por último, se muestra el protocolo de ensayo que permite validar el modelo propuesto. Este protocolo explica la ubicación de los dispositivos para el ensayo, la preparación del sujeto de pruebas y el proceso para la recolección de información. Adicionalmente se explica cómo se procesa la información para obtener las variables deseadas y de esa manera poder realizar la validación deseada.

El resultado del presente trabajo es la propuesta de un modelo biomecánico de seis segmentos articulados, así como el diseño de un módulo de pruebas experimentales para la validación de un modelo biomecánico. Además, se muestran los resultados obtenidos de un ensayo preliminar siguiendo el protocolo detallado utilizando los equipos con los cuales se contaba en el laboratorio LIBRA que muestra una validación preliminar del modelo propuesto. Este ensayo mostró que el modelo permitió estimar las fuerzas internas con un error menor al 20%, el cual se espera pueda ser mejorado al implementar el módulo de ensayos presentado.

**TEMA DE TESIS PARA OPTAR
EL TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO**

Título : MODELACIÓN DINÁMICA DE LA TÉCNICA DE RECEPCIÓN BAJA BÁSICA EN EL VÓLEY Y DISEÑO DE UN MÓDULO EXPERIMENTAL PARA SU VALIDACIÓN

Asesor : Dr. Dante Ángel Elías Giordano

Alumno : José Gustavo García Sulca

Código : 20123095

Tema N° : ~~217~~

Fecha : 29-01-2018

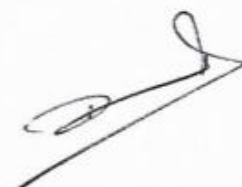


Descripción y Objetivos

Actualmente los países que destacan en deporte realizan estudios cualitativos y cuantitativos sobre el gesto técnico de un deportista para así mejorar su rendimiento o minimizar el riesgo de lesiones. Casualmente la biomecánica deportiva es una herramienta fundamental para estos estudios cuantitativos, pues relaciona el movimiento del cuerpo humano con las fuerzas que se requieren para el gesto técnico. Sin embargo en el Perú este tipo de estudios son escasos, por lo que es necesario iniciar este tipo de investigaciones que conduzcan a mejorar el deporte nacional, o recuperar la competitividad que se mostraba en algunas disciplinas, como es el caso del vóley. Es así que el Grupo de Investigación en Robótica Aplicada y Biomecánica de la PUCP ha iniciado investigaciones para la caracterización biomecánica del movimiento del cuerpo humano en la técnica de recepción en el vóley para la categoría juvenil damas.

Por lo tanto, en el presente trabajo se propone modelar, en el plano sagital, la dinámica de la técnica de recepción baja básica en el vóley para así estimar las fuerzas que interactúan en las articulaciones involucradas en el gesto técnico, y en la interacción pie-piso. Además se propone diseñar un módulo experimental que permita contrastar los resultados del modelo analítico con los experimentales, el cual comprenderá el diseño de un lanzador de balones, la selección y disposición de la instrumentación requerida, y el método de procesamiento de los datos experimentales.





ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
LISTA DE SÍMBOLOS	vii
INTRODUCCIÓN	1
1. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE.....	3
1.1. Técnica de recepción en vóley.....	3
1.2. Modelamiento físico del cuerpo.....	4
1.3. Modelamiento cinético del cuerpo.....	5
1.4. Sistemas de captura de movimiento.....	7
1.5. Equipamiento presente en el laboratorio LIBRA.....	9
1.6. Módulos usados para simular la técnica de recepción.....	11
2. MODELAMIENTO BIOMECÁNICO	14
2.1. Requerimientos del modelo biomecánico	14
2.2. Propuesta de modelo biomecánico.....	15
3. DISEÑO CONCEPTUAL DEL MÓDULO DE PRUEBAS	25
3.1. Requerimientos generales del módulo de pruebas.....	25
3.1.1. Selección del sistema de captura de movimiento	26
3.1.2. Selección del sistema de plataformas de fuerza.....	27
3.1.3. Requerimientos del lanzador de balones.....	27
3.2. Estructura de funciones del módulo de pruebas	28
3.3. Conceptos de solución para diseño de lanzador de balones	31
4. DISEÑO DE DISPOSITIVO PARA LANZAMIENTO DE BALONES.....	37
4.1. Diseño Mecánico	37
4.2. Diseño del sistema electrónico y de control	48
5. LISTA DE PLANOS Y ESTIMACIÓN DE COSTOS	54
5.1. Lista de planos	54
5.2. Estimación de costos.....	55
5.2.1. Costos por materiales y componentes comerciales.....	56
5.2.2. Costos por fabricación y ensamble	57
6. MÓDULO DE PRUEBAS Y ENSAYOS PRELIMINARES	59

6.1. Ubicación de los componentes del módulo de pruebas	59
6.2. Protocolo de ensayo	61
6.3. Procesamiento de información.....	63
6.4. Resultados de ensayos preliminares.....	68
OBSERVACIONES.....	72
CONCLUSIONES	73
BIBLIOGRAFÍA	74
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1: Segmentos según la tabla de Dempster.....	16
Tabla 3.1: Matriz morfológica para colocar balón.....	31
Tabla 3.2: Matriz morfológica para ajuste de ángulo de lanzamiento.....	31
Tabla 3.3: Matriz morfológica para lanzamiento de balón.....	32
Tabla 3.4: Evaluación técnica de la solución 1.....	35
Tabla 3.5: Evaluación técnica de la solución 2.....	35
Tabla 3.6: Evaluación económica de la solución 1.....	35
Tabla 3.7: Evaluación económica de la solución 2.....	36
Tabla 3.8: Comparación de soluciones.....	36
Tabla 4.1: Sección de catálogo de resortes de la empresa HPC.....	39
Tabla 4.2: Tabulación de valores de x y v_2	40
Tabla 4.3: Especificaciones técnicas del servomotor SG90.....	47
Tabla 4.4: Comparación de características de módulos bluetooth.....	50
Tabla 4.5: Comparación de características de sensores ultrasonidos.....	50
Tabla 4.6: Cantidad de pines por componente.....	51
Tabla 4.7: Comparación de módulos de controlador.....	51
Tabla 4.8: Consumo de energía de los componentes electrónicos.....	53
Tabla 5.1: Lista de planos del sistema.....	55
Tabla 5.2: Estimación de costos de pernería.....	56
Tabla 5.3: Estimación de costos de componentes comerciales.....	57
Tabla 5.4: Estimación de costos de materiales.....	57
Tabla 5.5: Estimación de costos de servicios.....	58
Tabla 5.6: Costo directo total.....	58
Tabla 6.1: Posición física de marcadores.....	62
Tabla 6.2: Parámetros estadísticos analizadas.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1.1: Recepción baja básica en el servicio.....	4
Fig. 1.2: Modelo de cadena de eslabones.....	4
Fig. 1.3: Modelo físico de 4 eslabones.....	5
Fig. 1.4: DCL 2D de un segmento del modelo físico.....	6
Fig. 1.5: DCL de un modelo 2D de 4 eslabones.....	6
Fig. 1.6: Modelo musculo-esquelético de miembros inferiores usando OpenSim.....	7
Fig. 1.7: Plataforma de fuerza y Amplificador.....	9
Fig. 1.8: Videocámara Panasonic HC-VX980.....	10
Fig. 1.9: Sensores inerciales myon/aktos-t.....	11
Fig. 1.10: Sistema de ruedas para lanzamiento de balón.....	12
Fig. 1.11: Sistema de lanzamiento de balón usando aire.....	13
Fig. 1.12: a) Sistema de lanzamiento de balón usando resortes. b) Sistema que permite estabilidad en superficies no planas.....	13
Fig. 2.1: Modelo de cadena de eslabones considerado.....	15
Fig. 2.2: Análisis cinético del balón.....	17
Fig. 2.3: Análisis cinético del antebrazo.....	18
Fig. 2.4: Análisis cinético del brazo superior.....	19
Fig. 2.5: Análisis cinético del tronco.....	20
Fig. 2.6: Análisis cinético del muslo.....	21
Fig. 2.7: Análisis cinético de la pierna.....	22
Fig. 2.8: Análisis cinético del pie.....	23
Fig. 3.1: Estructura de funciones.....	30
Fig. 3.2: Esbozo de alternativa de solución 1.....	33
Fig. 3.3: Esbozo de alternativa de solución 2.....	34
Fig. 3.4: Gráfica de comparación de soluciones.....	36
Fig. 4.1: Vista general del diseño a presentar.....	38
Fig. 4.2: Configuración de los resortes.....	38
Fig. 4.3: Fuerzas que actúan sobre el tornillo de potencia.....	40
Fig. 4.4: Ubicación de piezas a analizar.....	42
Fig. 4.5: Análisis de deformaciones para la barra de giro.....	43
Fig. 4.6: Análisis de deformaciones para la placa móvil sobre el tornillo de potencia.....	43
Fig. 4.7: Análisis de deformaciones para el pin soporte de la parte inferior.....	44
Fig. 4.8: Análisis de deformaciones para el elemento trinquete.....	44

Fig. 4.9: Análisis de deformaciones para el soporte del resorte.....	45
Fig. 4.10: Análisis de deformaciones para el pin soporte del trinquete.....	45
Fig. 4.11: Accionamiento del mecanismo de liberación (Vista lateral).....	46
Fig. 4.12: Accionamiento del mecanismo de liberación (Vista frontal).....	46
Fig. 4.13: Servomotor junto con su acople.....	47
Fig. 4.14: Esquema de fuerzas para el torque del servomotor.....	47
Fig. 4.15: Diagrama de flujo.....	48
Fig. 4.16: Diagrama de bloques de componentes electrónicos.....	49
Fig. 4.17: Módulo bluetooth HC-06.....	49
Fig. 4.18: Sensor ultrasonido HC-SR04.....	50
Fig. 4.19: Ubicación de los sensores HC-SR04.....	51
Fig. 4.20: Controlador Arduino UNO.....	52
Fig. 4.21: Batería LiPo Turnigy 3000mAh 3S 20C.....	52
Fig. 4.22: Diagrama esquemático de conexiones.....	53
Fig. 6.1: Ubicación de la cámara sobre el trípode.....	60
Fig. 6.2: Estructura móvil para plataformas de fuerza.....	60
Fig. 6.3: Esquema de ubicación de equipos sobre una cancha de vóley.....	61
Fig. 6.4: Ubicación de marcadores en el cuerpo.....	62
Fig. 6.5: Diagrama de pasos para la captura de información.....	63
Fig. 6.6: Ejemplo de espectro de frecuencia para una señal de entrada.....	64
Fig. 6.7: Comparación entre trayectoria de la cintura antes y después de ser filtrada.....	65
Fig. 6.8: Proceso de sincronización de información.....	67
Fig. 6.9: Proceso de procesamiento de información.....	67
Fig. 6.10: Superposición de fuerzas de contacto pie-piso estimadas vs medidas.....	69
Fig. 6.11: Error relativo entre las fuerzas de contacto pie-piso estimadas y medidas.....	70

LISTA DE SÍMBOLOS

COM: centro de masa

COP: centro de presiones

g : aceleración de la gravedad ($g = 9.81m/s^2$)

m : masa [kg]

I : momento de inercia [kg.m²]

K_{cg} : relación del radio de giro con respecto a la longitud del segmento

\vec{f} : fuerza [N]

M : momento lineal [N.m]

\vec{r} : posición [m]

\vec{v} : velocidad lineal [m/s]

\vec{a} : aceleración lineal [m/s²]

θ : posición angular [rad]

ω : velocidad angular [rad/s]

α : aceleración angular [rad/s²]

t : tiempo [s]

E_P : energía potencial [J]

E_K : energía cinética [J]

k : constante de resorte [N/m]

x : elongación de resorte [m]

T : torque de giro [N.m]

l : paso de rosca [m]

σ : esfuerzo normal [Pa]

τ : esfuerzo cortante [Pa]

μ : coeficiente de rozamiento

η : eficiencia

d : diámetro de eje [m]

P : fuerza de pandeo [N]

E : módulo de elasticidad [MPa]

λ : esbeltez

I/O: pin digital de entrada/salida

fps: cuadros por segundo

RMSE: error cuadrático medio

ρ : coeficiente de correlación de Pearson

INTRODUCCIÓN

Es común observar que cada cierto tiempo, en las diferentes disciplinas deportivas, aparece algún deportista destacado que sobrepasa por un amplio margen a los demás, incluso rompiendo records mundiales. Se pueden mencionar casos de los últimos años como Usain Bolt o Michael Phelps. Esto impulsa a diferentes deportistas a intentar copiar los métodos de entrenamiento o técnicas de estos deportistas destacados para así poder obtener un rendimiento similar [RAMÓN, 2009]. El Perú no es ajeno a estas prácticas, pues es común observar la contratación de entrenadores extranjeros para las diferentes disciplinas deportivas.

En general, en los entrenamientos surge el siguiente problema: la opinión de los entrenadores es subjetiva. Es por ello que se empezaron a hacer estudios cualitativos y cuantitativos sobre los gestos deportivos, con el objetivo de fundamentar las acciones realizadas en los entrenamientos. En el campo de los estudios cuantitativos se inicia la biomecánica deportiva, la cual busca relacionar el movimiento del cuerpo durante una actividad con las fuerzas que lo provocan [GUTIERREZ, 1998].

Actualmente, en el Perú este tipo de estudios son escasos. Es por ello que el Laboratorio de Investigación en Biomecánica y Robótica Aplicada (LIBRA) de la PUCP busca, por medio del proyecto “Caracterización biomecánica del movimiento asociada a la técnica de recepción en el vóley categoría juvenil damas”, iniciar estudios en biomecánica deportiva en el Perú. Un primer análisis de la biomecánica de la técnica de recepción en el vóley será tratado en el presente trabajo de tesis.

Principalmente, se propone modelar la dinámica de la técnica de recepción baja básica en el vóley en el plano sagital para estimar las fuerzas que interactúan en las articulaciones y en la interacción pie-piso. Además en este trabajo se propone diseñar un módulo experimental para contrastar los resultados que se obtengan del modelo analítico. Este módulo comprenderá el diseño de un lanzador de balones, la selección y disposición de la instrumentación requerida y el método de procesamiento de los datos experimentales.

Es por ello que en primera instancia se realizará un estudio sobre modelos del cuerpo existentes, así como ensayos asociados a estos. Como segunda etapa, se procederá a definir el modelo del cuerpo a utilizar. Así mismo, se procederá a definir los requerimientos del módulo de pruebas a desarrollar. Luego, se procederá a diseñar el módulo de pruebas conforme a lo solicitado. Finalmente, se presentará los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas así como los planos y esquemas del diseño propuesto.

Las consideraciones a tener en cuenta para el presente trabajo serán las siguientes:

- El modelo a trabajar será propuesto únicamente en el plano sagital.
- El modelo no considerará la acción de los músculos ni la fricción generada en las juntas de los huesos, por lo que los resultados serán de fuerzas estimadas.
- El módulo de pruebas estará constituido principalmente por equipamiento presente en el laboratorio LIBRA.
- En caso se requiera equipamiento no presente en el laboratorio LIBRA, este será diseñado en el presente trabajo.
- Las simulaciones se realizarán principalmente en el software Matlab.

Al finalizar el presente trabajo se espera obtener un modelo cinético, validado con resultados de la literatura, que permita estimar las fuerzas presentes en la técnica de recepción baja básica en el vóley.

Así mismo, se contará con el diseño de un módulo de pruebas que pueda ser utilizado a futuro en el proyecto “Caracterización biomecánica del movimiento asociada a la técnica de recepción en el vóley categoría juvenil damas”.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

El presente capítulo presentará una revisión del estado del arte sobre estudios en biomecánica deportiva. Primero se explicará el gesto deportivo a estudiar en este trabajo. Luego, se mostrarán modelos biomecánicos utilizados en estudios revisados en la literatura. Asimismo, se analizará el equipamiento usado en dichos estudios, tanto los de captura de información como los de acondicionamiento de ensayo.

1.1. Técnica de recepción en vóley

Esta técnica es utilizada en la defensa para evitar que la pelota toque el piso en la mitad del campo que le corresponde al equipo que está recibiendo el balón. Existen dos tipos de recepción: recepción de ataque y recepción de servicio. Esta separación se genera por el momento en el cual se ejecuta la técnica. El objetivo del presente estudio se enfoca en la técnica de recepción de servicio, la cual presenta diferentes estilos que dependen de la trayectoria y velocidad del balón con respecto al posicionamiento del jugador, y en particular se considerará la técnica de recepción baja básica.

La técnica de recepción baja básica, mostrada en la Figura 1.1, es la técnica más simple en ejecutar para una recepción y por ello es la técnica más usada en el

entrenamiento de principiantes [FIVB,2011]. Se caracteriza por la flexión generada sobre las rodillas, la cual es usada posteriormente para impulsar la pelota.



Fig. 1.1: Recepción baja básica en el servicio [FIVB, 2011]

1.2. Modelamiento físico del cuerpo

El modelo más utilizado en los estudios de carácter biomecánico revisados para el presente trabajo es el modelo de cadena de eslabones. Este modelo considera que cada parte de interés del cuerpo puede ser representada como un segmento rígido, los cuales forman una cadena tal como se observa en la Figura 1.2.

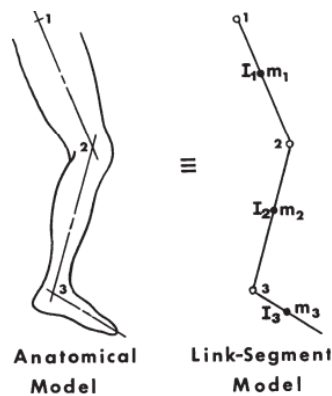


Fig. 1.2: Modelo de cadena de eslabones. [WINTER, 2009]

Las variables que definen un segmento en un modelo de cadena de eslabones son: ubicación de los extremos, ubicación del centro de masa y momento de inercia del segmento. Usualmente el momento de inercia, en el caso 2D, se relaciona con el radio de giro del segmento, y se puede determinar con la ecuación 1.1.

$$I = m * (L * K_{cg})^2 \quad (1.1)$$

Donde: I es el momento de inercia, m es la masa, L es la longitud del segmento y K_{cg} es la relación del radio de giro con respecto a la longitud del segmento.

Como todo modelo, se tienen ciertas consideraciones que deben tomarse en cuenta [WINTER, 2009].

- Cada segmento presenta una masa constante localizada en el centro de masa.
- La ubicación del centro de masa de cada segmento no varía durante el movimiento.
- Las articulaciones son uniones tipo rótula.
- El momento de inercia de cada segmento con respecto al centro de masa no varía durante el movimiento.
- La longitud de los segmentos se mantiene constante durante el movimiento.

Entre los diversos modelos utilizados en estudios biomecánicos es posible mencionar el modelo 2D de 4 eslabones [LOGAR, 2015] y el modelo 3D de 13 segmentos [KINGMA, 1996]. El modelo 2D puede ser apreciado en la Figura 1.3.

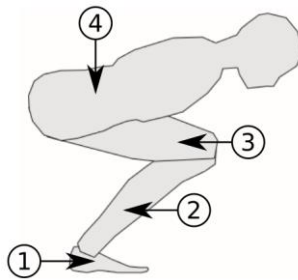


Fig. 1.3: Modelo físico de 4 eslabones [LOGAR,2015]

1.3. Modelamiento cinético del cuerpo

En cuanto a modelamiento cinético, lo que se busca es una relación entre el movimiento de los deportistas y las fuerzas internas relacionadas. En el caso de un modelo físico de cadena de eslabones, se toma información cinemática, cinética y antropométrica como datos de entrada para poder obtener fuerzas de reacción en las

articulaciones, momentos generados por los músculos y energía potencial y cinética presente en el cuerpo. En la Figura 1.4 es posible observar el diagrama de cuerpo libre 2D asociado a un segmento del modelo.

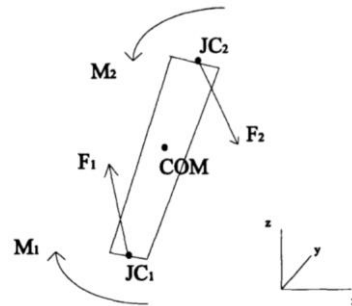


Fig. 1.4: DCL 2D de un segmento del modelo físico [KINGMA, 1996]

De esta manera, usando las ecuaciones de Newton-Euler, es posible obtener las variables dinámicas deseadas. Este método es también válido para modelos 3D, en los cuales se incrementaría la cantidad de ecuaciones y variables por el aumento de grados de libertad. Para el caso del modelo mostrado en la Figura 1.2, el DCL de todos los segmentos puede ser observado en la Figura 1.5.

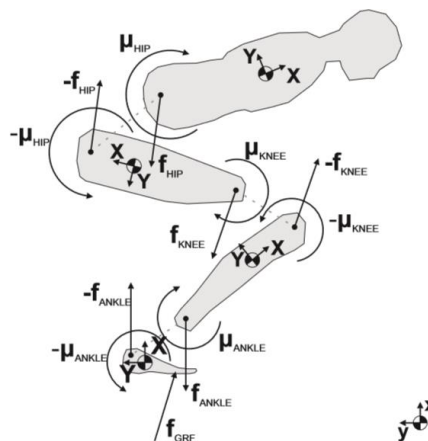


Fig. 1.5: DCL de un modelo 2D de 4 eslabones. [LOGAR, 2015]

Adicionalmente, se pueden mencionar los modelos músculo-esqueléticos. Estos modelos tienen como base a los modelos ya analizados, pero consideran además el efecto de los músculos sobre el cuerpo. Debido a la complejidad del análisis de los músculos, pues para un movimiento se requiere la activación de varios de ellos, este

análisis se realiza con herramientas computacionales. Existen diversos softwares, cada uno con su propio algoritmo. Entre ellos se puede mencionar OpenSim y SIMM [SAUL,2015], MSMS [CHAUHAN,2013], AnyBody [DAMSGAARD,2006] entre otros. En la Figura 1.6 se muestra un modelo músculo-esquelético de miembros inferiores usando el software OpenSim.



Fig. 1.6: Modelo musculo-esquelético de miembros inferiores usando OpenSim.

1.4. Sistemas de captura de movimiento

Estudios sobre biomecánica revisados para el presente trabajo, señalan la importancia del análisis del movimiento, ya sea para análisis cinemático o análisis dinámico. Es por ello que se requiere usar sistemas de captura de movimiento. Estos sistemas obtienen información de manera detallada sobre cómo se mueve algo o alguien. Existen básicamente dos tipos de captura de movimiento: por ubicación de marcadores y sin ubicación de marcadores. El término marcadores viene a representar una señal distintiva que permite obtener información del movimiento.

1.4.1. Sistemas de captura de movimiento con marcadores

Estos sistemas se basan en el seguimiento de marcadores colocados estratégicamente. Las diferentes técnicas de ubicación por marcadores varían la propiedad de dicho elemento lo cual diferencia cómo se adquiere las señales [SHARMA, 2013].

a) Sistema acústico: Este sistema se basa en la ubicación de emisores de sonido sobre la persona u objeto del cual se quiera capturar el movimiento mientras que un grupo de receptores son ubicados en una posición fija. El principio de funcionamiento se basa en el tiempo transcurrido entre la emisión y la recepción de sonido, lo cual puede trasladarse a distancia. Estas distancias son luego usadas para obtener una triangulación tridimensional de la posición de los marcadores.

b) Sistema mecánico: A diferencia del anterior, utiliza una manera más directa de medición. Para ello se usan potenciómetros que registran la variación de ángulos en las articulaciones de una persona. Su principal ventaja es que el sistema no llega a ser afectado por señales externas.

c) Sistema magnético: Estos sistemas permiten obtener la posición y orientación de determinados sensores magnéticos con respecto a una antena. Sus ventajas son que no son tan caros como otros sistemas de captura de movimiento así como la alta precisión de la información. Sin embargo, estos sensores usualmente son conectados por medio de cables a la antena, lo cual dificulta el rango de movimiento.

d) Sistema óptico: Estos sistemas son lo más populares, siendo muy usados en la industria cinematográfica. Consisten en la ubicación de marcadores sobre un traje especial los cuales son grabados por medio de cámaras. Estas cámaras generan información de posición en dos dimensiones y por medio de procesamiento de la información de dos o más cámaras es posible obtener posiciones en tres dimensiones.

1.4.2. Sistemas de captura de movimiento sin marcadores

En cuanto a sistemas de captura de movimiento sin marcadores, estos consisten principalmente en procesamiento de videos. Para ello se generan algoritmos que permitan identificar siluetas de personas y descomponerlas en partes utilizadas para obtener información del movimiento sin necesidad de instrumentación adicional. Un ejemplo conocido es el sistema desarrollado por Microsoft denominado KINECT.

1.5. Equipamiento presente en laboratorio LIBRA

En la sección anterior se mencionó el uso sistemas de captura de movimiento (sistema VICON [WAGNER,2009], sistemas con cámaras digitales [KAPIDZIC,2014]). Adicionalmente, para determinar la reacción del piso sobre el pie se usan plataformas de fuerza [ZAHRADNIK, 2014]. Por lo tanto, se presentarán los equipos con los que se cuenta en el laboratorio LIBRA a ser utilizados para el presente trabajo.

1.5.1. Plataformas de fuerza

En el laboratorio se cuenta con dos plataformas de fuerza AMTI OPT400600, la cual se puede observar en la Figura 1.7. Entre sus características se pueden mencionar:

- Frecuencia de muestreo de 1200Hz
- Detección de fuerzas y momentos en los 3 ejes.
- Precisión del 0.25% de la carga aplicada.
- Medición del COP con precisión de 0.4mm.

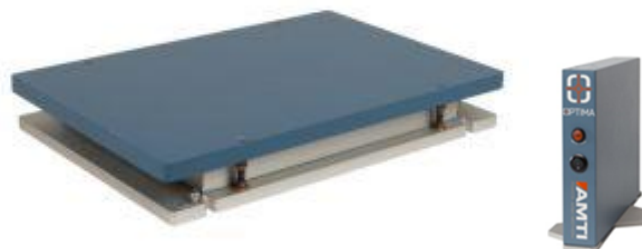


Fig. 1.7: Plataforma de fuerza¹ y Amplificador²

¹Plataforma de fuerza AMTI OPT400600. Consulta: 15 de enero del 2018. <http://www.ami.biz/OPT400600.aspx>

1.5.2. Sistemas de captura de movimiento en LIBRA

En este caso, el laboratorio cuenta con dos sistemas para la captura de movimiento, los que se describirán en los siguientes apartados.

1.5.2.1. Sistema de cámaras de video

Este sistema consiste en una videocámara Panasonic HC-VX980 (Figura 1.8) junto a un conjunto de marcadores que se adhieren al cuerpo con lo cual se obtiene un video que registra el movimiento de los puntos de interés. Este sistema requiere adicionalmente un procesamiento con un software externo para el rastreo de los marcadores en el video. La precisión de este rastreo depende de la resolución a la cual se grabó el video y del tamaño de los marcadores, lo cual usualmente conlleva a un error. Un inconveniente de este sistema viene a ser la colocación de los marcadores. Para ello se requiere conocer previamente como ubicar físicamente determinados puntos del cuerpo para así evitar error en el rastreo. Las características de la cámara son:

- 18.91 Megapíxeles totales.
- Grabación *slow-motion* 240fps.
- Zoom Óptico 20x.
- Pantalla táctil.
- Accionamiento remoto vía celular.
- Conexión Wi-Fi.



Fig. 1.8: Videocámara Panasonic HC-VX980³.

² Amplificador AMTI Optima. Consulta: 15 de enero del 2018. <http://www.amti.biz/optima-sc.aspx>

³ Videocámara 4K Ultra HD HC-VX980. Consulta: 15 de enero del 2018. <http://www.panasonic.com/es/consumer/camaras-y-videocamaras/videocamaras/hc-vx980.html>

1.5.2.2. Sistema de sensores inerciales

Este otro sistema consiste en un conjunto de 16 sensores inerciales myon/aktos-t (Figura 1.9) los cuales adheridos a los diferentes segmentos corporales de interés nos brindan la orientación espacial de estos. La desventaja de este sistema es que dichas orientaciones se miden con respecto a un marco referencial y requiere de algún componente externo para poder obtener información sobre un sistema inercial. Las características de estos sensores son:

- Peso de 5g.
- Transmisión inalámbrica con rango de 30m.
- Soporte de hasta 32 sensores simultáneamente.
- Software propio para procesamiento de datos.
- Batería de 6 horas de duración.
- Frecuencia de muestreo de 286Hz.
- Rango de giroscopio de hasta ± 2000 °/seg.
- Rango de acelerómetro de hasta $\pm 16g$.



Fig. 1.9: Sensores inerciales myon/aktos-t.⁴

1.6. Módulos usados para simular la técnica de recepción

En los entrenamientos, de manera tradicional, para practicar la técnica de recepción se requería de una persona que realice un saque. Esto generaba problemas como imprecisión en el saque y repetibilidad, lo cual dificulta el entrenamiento o las pruebas de laboratorio. Es por ello que se diseñaron equipos que se dediquen a

⁴ Aktos-t. Consulta: 15 de enero del 2018. <http://www.myon.ch/aktos-t>

realizar el lanzamiento de la pelota con mejor precisión para así poder obtener de manera repetitiva un lanzamiento que pueda terminar en una recepción. A continuación se mostrarán tres diseños existentes, de los cuales dos son comerciales y el otro pertenece a un proyecto desarrollado en la Universidad de Twente, Países Bajos.

1.6.1. Attack II Volleyball Training Machine

Este módulo de entrenamiento comercial es distribuido por la compañía ALLVOLLEYBALL. El funcionamiento para el lanzamiento de los balones consta de dos ruedas que giran en sentidos contrarios para, por fricción, brindarle la velocidad a la pelota, tal como se muestra en la Figura 1.10. Cuenta además con un sistema de regulación de altura y de orientación de lanzamiento, para así poder simular diferentes estilos de saque o mate.



Fig. 1.10: Sistema de ruedas para lanzamiento de balón.⁵

1.6.2. AirCAT

Este sistema de lanzamiento es distribuido por la compañía SPORTS ATTACK. El principio de funcionamiento, a diferencia del dispositivo anterior, se encuentra basado en lanzamiento por aire. Una ventaja que presenta es su sistema de seguridad, ya que al no contar con partes móviles externas asegura la seguridad de los usuarios (Ver Figura 1.11). Al igual que el equipo Attack II, cuenta con un sistema que

⁵ Attack II Volleyball Training Machine. Consulta: 31 de marzo del 2018. <http://www.sportsattack.com/attack-ii-2/>

permite orientar el lanzamiento del balón, lo cual permite simular diferentes tipos de lanzamiento.



Fig. 1.11: Sistema de lanzamiento de balón usando aire.⁶

1.6.3. Proyecto de máquina de vóley – Universidad de Twente

Este dispositivo, a diferencia de los dos mencionados anteriormente, fue diseñado como parte de un proyecto universitario. El funcionamiento se basa en resortes que impulsan la pelota (Ver Figura 1.12.a), los cuales son comprimidos manualmente. Al igual que los equipos vistos anteriormente, es posible regular la orientación del lanzamiento del balón. Adicionalmente, este diseño permite que el dispositivo pueda ser colocado en ambientes no planos (Ver Figura 1.12.b), lo cual facilita su uso fuera del campo deportivo.



Fig. 1.12: a) Sistema de lanzamiento de balón usando resortes. b) Sistema que permite estabilidad en superficies no planas⁷

⁶ AirCAT. Consulta: 31 de marzo del 2018. <http://www.aircatvolleyball.com/aircat-drill-machine>

⁷ Volleyball Machine Proyecto A Grupo 4 (Universidad de Twente). Consulta: 31 de marzo del 2018. <https://www.youtube.com/watch?v=nvk8oANCvME>

CAPÍTULO 2

MODELAMIENTO BIOMECÁNICO

En el presente capítulo se presentarán los requerimientos solicitados para el modelamiento y se propondrá un modelo de cadena de eslabones en base a dichos requerimientos.

2.1. Requerimientos del modelo biomecánico

Los requerimientos del modelo a presentar parten de la necesidad de querer obtener un modelo que permita simular la técnica de recepción baja básica en el plano sagital.

En primera instancia, se requiere obtener información de al menos determinados sectores funcionales. Como se mencionó en la sección 1.1, es importante conocer cómo reacciona la rodilla, pues la flexión de esta es la que da el impulso a la pelota. También es necesario conocer cómo funcionan los miembros superiores, pues estos son los que entran en contacto con la pelota.

También, como se mencionó en la sección 1.3, el modelamiento de los músculos es complejo y requiere de herramientas computacionales. Es por ello que para el presente trabajo no serán considerados y se trabajará solamente con un modelo esquelético.

2.2. Propuesta de modelo biomecánico

El modelo a proponer estará basado en la técnica de cadena de eslabones. Por lo mencionado en los alcances del presente estudio, el modelamiento será realizado únicamente en el plano sagital, por lo que la distribución de fuerzas en el cuerpo se considerará de manera simétrica. Los segmentos a considerar serán 6: antebrazo-mano (1), brazo superior (2), cabeza-tronco (3), muslo (4), pierna (5) y pie (6), los cuales se pueden observar en la Figura 2.1. Esto cumple con los requerimientos presentados en la sección anterior, pues con ellos es posible analizar la rodilla que une los segmentos (4) y (5) así como es posible analizar los miembros superiores que fueron descompuestos en los segmentos (1) y (2). El segmento (3) fue considerado para poder unir los miembros superiores con los miembros inferiores. Finalmente, el segmento (6) fue considerado para poder analizar el contacto con el piso. Para este modelo, se asumirá que el pie estará siempre en contacto con el suelo.

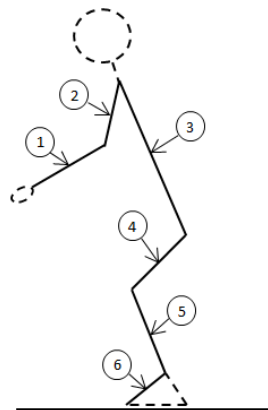


Fig. 2.1: Modelo de cadena de eslabones considerado.

Los extremos de estos segmentos serán definidos según la tabla de Dempster, la cual resume un estudio estadístico sobre proporciones de las partes del cuerpo. En la Tabla 2.1 se pueden observar los extremos físicos de cada segmento considerado y las proporciones importantes para obtener las variables deseadas.

Tabla 2.1: Segmentos según la tabla de Dempster [WINTER, 2009]

Nombre de segmento	Extremo inicial / Extremo final	Masa segmento / Masa del cuerpo	Centro de masa / Longitud del segmento	Radio de giro / Longitud de segmento
Antebrazo- Mano	Eje del codo	0.0220	0.682	0.468
	Estilóide ulnar			
Brazo Superior	Junta glenohumeral	0.0280	0.436	0.322
	Eje del codo			
Tronco- Cabeza	Trocánter mayor	0.5780	0.660	0.503
	Junta glenohumeral			
Muslo	Trocánter mayor	0.1000	0.433	0.323
	Cóndilos femorales			
Pierna	Cóndilos femorales	0.0465	0.433	0.302
	Maleolo medio			
Pie	Maleolo lateral	0.0145	0.500	0.475
	Cabeza del 2do metatarso			

Como con el modelo se busca obtener variables dinámicas a partir de información cinemática, se hará uso de las ecuaciones de Newton-Euler (ecuaciones (2.1) y (2.2)) que permiten obtener una relación entre ellas.

$$\sum \vec{f} = m * \vec{a} \quad (2.1)$$

$$\sum M = I * \alpha \quad (2.2)$$

Con ello, será posible obtener las fuerzas y momentos deseados. Sin embargo, se requiere también la fuerza de contacto brazo-balón, la cual puede ser determinada por medio de la ecuación que relaciona impacto y cantidad de movimiento, como se observa en la ecuación (2.3).

$$\int f_{balón} dt = m_{balón} * (\vec{v}_o - \vec{v}_i) \quad (2.3)$$

Esta fuerza será estimada y para ello se considerará que la fuerza de contacto con el balón se comporta de manera constante durante el contacto y que se trata de un choque totalmente elástico.

A continuación se pasará a desarrollar el DCL de cada segmento y del balón, y se realizará el análisis cinético correspondiente.

2.2.1. Cinética en el balón

El análisis cinético del balón se realizará únicamente para el momento de contacto con el brazo. En la Figura 2.2 se puede observar el DCL del balón para dicho momento.

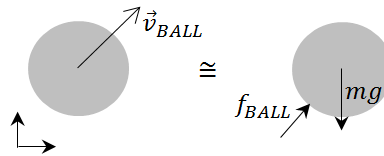


Fig. 2.2: Análisis cinético del balón

Aplicando la ecuación (2.3) y asumiendo que f_{BALL} es constante durante el contacto se obtiene la ecuación vectorial (2.4).

$$(\vec{f}_{BALL} + m_{BALL} * \vec{g}) * \Delta t = m_{BALL} * (\vec{v}_o - \vec{v}_i) \quad (2.4)$$

Donde:

\vec{v}_o : velocidad de salida del balón (m/s)

\vec{v}_i : velocidad de entrada del balón (m/s)

\vec{f}_{ball} : fuerza de contacto balón-brazo (N)

m_{BALL} : masa del balón (kg)

Δt : tiempo de contacto (s)

2.2.2. Cinética en antebrazo

En la Figura 2.3 se puede observar el DCL del antebrazo.

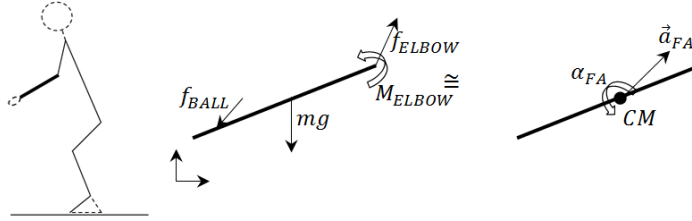


Fig. 2.3: Análisis cinético del antebrazo

Aplicando las ecuaciones (2.1) y (2.2) se obtiene las ecuaciones vectoriales (2.5) y (2.6).

$$\vec{f}_{elbow} = m_{FA} * \vec{a}_{FA} + \frac{1}{2} \vec{f}_{ball} + m_{FA} * \vec{g} \quad (2.5)$$

$$M_{elbow} = I_{FA} * \alpha_{FA} - \vec{r}_{cFA,elbow} \times \vec{f}_{elbow} + \vec{r}_{cFA,ball} \times \frac{1}{2} \vec{f}_{ball} \quad (2.6)$$

Donde:

\vec{f}_{ball} : fuerza de contacto balón-brazo (N)

\vec{f}_{elbow} : fuerza de reacción en el codo (N)

M_{elbow} : momento angular ejercido en el codo (N.m)

m_{FA} : masa del antebrazo (kg)

\vec{a}_{FA} : aceleración lineal del COM del antebrazo (m/s^2)

α_{FA} : aceleración angular del antebrazo (rad/s^2)

I_{FA} : momento de inercia del antebrazo ($kg.m^2$)

$\vec{r}_{cFA,elbow}$: distancia desde el codo hacia el COM del antebrazo (m)

$\vec{r}_{cFA,ball}$: distancia desde el contacto balón-brazo hacia el COM del antebrazo (m)

2.2.3. Cinética del brazo superior

En la Figura 2.4 se puede observar el DCL del brazo superior.

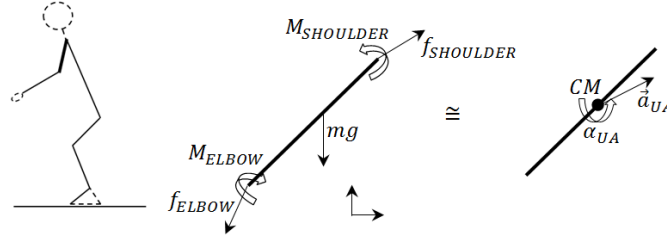


Fig. 2.4: Análisis cinético del brazo superior

Aplicando las ecuaciones (2.1) y (2.2) se obtiene las ecuaciones vectoriales (2.7) y (2.8).

$$\vec{f}_{shoulder} = m_{UA} * \vec{a}_{UA} + \vec{f}_{elbow} + m_{UA} * \vec{g} \quad (2.7)$$

$$M_{shoulder} = I_{UA} * \alpha_{UA} - \vec{r}_{cUA,shoulder} \times \vec{f}_{shoulder} + \vec{r}_{cUA,elbow} \times \vec{f}_{elbow} + M_{elbow} \quad (2.8)$$

Donde:

\vec{f}_{elbow} : fuerza de reacción en el codo (N)

$\vec{f}_{shoulder}$: fuerza de reacción en el hombro (N)

M_{elbow} : momento angular ejercido en el codo (N.m)

$M_{shoulder}$: momento angular ejercido en el hombro (N.m)

m_{UA} : masa del brazo superior (kg)

\vec{a}_{UA} : aceleración lineal del COM del brazo superior (m/s^2)

α_{UA} : aceleración angular del brazo superior (rad/s^2)

I_{UA} : momento de inercia del brazo superior ($kg.m^2$)

$\vec{r}_{cUA,elbow}$: distancia desde el codo hacia el COM del brazo superior (m)

$\vec{r}_{cUA,shoulder}$: distancia desde el hombro hacia el COM del brazo superior (m)

2.2.4. Cinética del tronco

En la Figura 2.5 se puede observar el DCL del tronco.

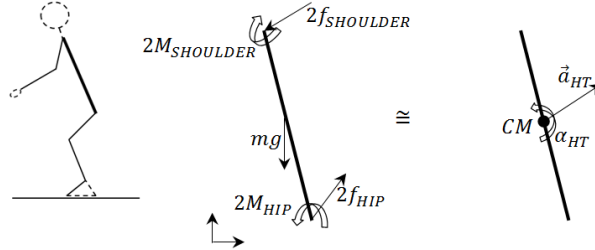


Fig. 2.5: Análisis cinético del tronco

Aplicando las ecuaciones (2.1) y (2.2) se obtiene las ecuaciones vectoriales (2.9) y (2.10).

$$\vec{f}_{hip} = \frac{1}{2}m_{HT} * \vec{a}_{HT} + \vec{f}_{shoulder} + \frac{1}{2}m_{HT} * \vec{g} \quad (2.9)$$

$$M_{hip} = I_{HT} * \alpha_{HT} - \vec{r}_{cHT,hip} \times \vec{f}_{hip} + \vec{r}_{cHT,shoulder} \times \vec{f}_{shoulder} + M_{shoulder} \quad (2.10)$$

Donde:

$\vec{f}_{shoulder}$: fuerza de reacción en el hombro (N)

\vec{f}_{hip} : fuerza de reacción en la cintura (N)

$M_{shoulder}$: momento angular ejercido en el hombro (N.m)

M_{hip} : momento angular ejercido en la cintura (N.m)

m_{HT} : masa del tronco (kg)

\vec{a}_{HT} : aceleración lineal del COM del tronco (m/s²)

α_{HT} : aceleración angular del tronco (rad/s²)

I_{HT} : momento de inercia del tronco (kg.m²)

$\vec{r}_{cHT,shoulder}$: distancia desde el hombro hacia el COM del tronco (m)

$\vec{r}_{cHT,hip}$: distancia desde la cintura hacia el COM del tronco (m)

2.2.5. Cinemática del muslo

En la Figura 2.6 se puede observar el DCL del muslo.

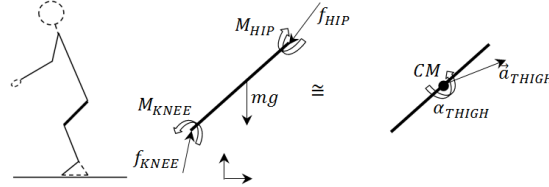


Fig. 2.6: Análisis cinético del muslo

Aplicando las ecuaciones (2.1) y (2.2) se obtiene las ecuaciones vectoriales (2.11) y (2.12).

$$\vec{f}_{knee} = m_{THIGH} * \vec{a}_{THIGH} + \vec{f}_{hip} + m_{THIGH} * \vec{g} \quad (2.11)$$

$$M_{knee} = I_{THIGH} * \alpha_{THIGH} - \vec{r}_{cTHIGH,knee} \times \vec{f}_{knee} + \vec{r}_{cTHIGH,hip} \times \vec{f}_{hip} + M_{hip} \quad (2.12)$$

Donde:

\vec{f}_{hip} : fuerza de reacción en la cintura (N)

\vec{f}_{knee} : fuerza de reacción en la rodilla (N)

M_{hip} : momento angular ejercido en la cintura (N.m)

M_{knee} : momento angular ejercido en la rodilla (N.m)

m_{THIGH} : masa del tronco (kg)

\vec{a}_{THIGH} : aceleración lineal del COM del muslo (m/s^2)

α_{THIGH} : aceleración angular del muslo (rad/s^2)

I_{THIGH} : momento de inercia del muslo ($kg.m^2$)

$\vec{r}_{cTHIGH,hip}$: distancia desde la cintura hacia el COM del muslo (m)

$\vec{r}_{cTHIGH,knee}$: distancia desde la rodilla hacia el COM del muslo (m)

2.2.6. Cinética de la pierna

En la Figura 2.7 se puede observar el DCL de la pierna.

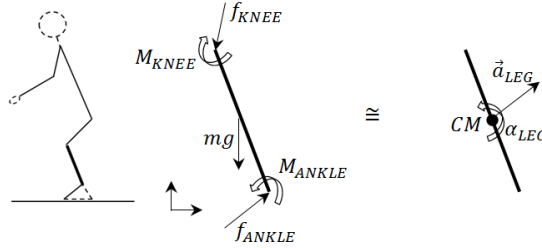


Fig. 2.7: Análisis cinético de la pierna

Aplicando las ecuaciones (2.1) y (2.2) se obtiene las ecuaciones vectoriales (2.13) y (2.14).

$$\vec{f}_{ankle} = m_{LEG} * \vec{a}_{LEG} + \vec{f}_{knee} + m_{LEG} * \vec{g} \quad (2.13)$$

$$M_{ankle} = I_{LEG} * \alpha_{LEG} - \vec{r}_{cLEG,ankle} \times \vec{f}_{ankle} + \vec{r}_{cLEG,knee} \times \vec{f}_{knee} + M_{knee} \quad (2.14)$$

Donde:

\vec{f}_{knee} : fuerza de reacción en la rodilla (N)

\vec{f}_{ankle} : fuerza de reacción en el tobillo (N)

M_{knee} : momento angular ejercido en la rodilla (N.m)

M_{ankle} : momento angular ejercido en el tobillo (N.m)

m_{LEG} : masa de la pierna (kg)

\vec{a}_{LEG} : aceleración lineal del COM de la pierna (m/s^2)

α_{LEG} : aceleración angular de la pierna (rad/s^2)

I_{THIGH} : momento de inercia de la pierna ($kg.m^2$)

$\vec{r}_{cTHIGH,hip}$: distancia desde la rodilla hacia el COM de la pierna (m)

$\vec{r}_{cTHIGH,knee}$: distancia desde el tobillo hacia el COM de la pierna (m)

2.2.7. Cinética del pie

En la Figura 2.8 se puede observar el DCL del pie.

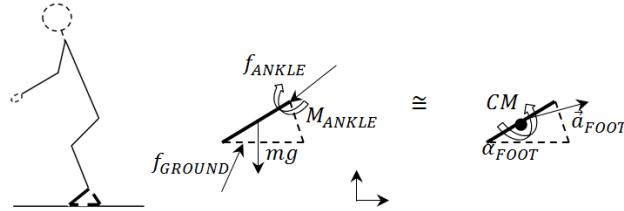


Fig. 2.8: Análisis cinético del pie

Aplicando las ecuaciones (2.1) y (2.2) se obtiene las ecuaciones vectoriales (2.15) y (2.16).

$$\vec{f}_{GROUND} = m_{FOOT} * \vec{a}_{FOOT} + \vec{f}_{ankle} + m_{FOOT} * \vec{g} \quad (2.15)$$

$$0 = I_{FOOT} * \alpha_{FOOT} - \vec{r}_{cFOOT,COP} \times \vec{f}_{GROUND} + \vec{r}_{cFOOT,ankle} \times \vec{f}_{ankle} + M_{ankle} \quad (2.16)$$

Cabe mencionar que el valor “0” que aparece en la ecuación (2.16) se debe a la condición de borde que se tiene en el pie, el cual reposa sobre el suelo.

Donde:

\vec{f}_{ankle} : fuerza de reacción en el tobillo (N)

\vec{f}_{GROUND} : fuerza de contacto pie-piso (N)

M_{ankle} : momento angular ejercido en el tobillo (N.m)

m_{FOOT} : masa del pie (kg)

\vec{a}_{FOOT} : aceleración lineal del COM del pie (m/s^2)

α_{FOOT} : aceleración angular del pie (rad/s^2)

I_{THIGH} : momento de inercia del pie ($kg.m^2$)

$\vec{r}_{cFOOT,ankle}$: distancia desde el tobillo hacia el COM del pie (m)

$\vec{r}_{cFOOT,COP}$: distancia desde el COP hacia el COM del pie (m)

Como es posible observar, las variables determinadas en las ecuaciones de una sección son las variables de entrada de las ecuaciones de la siguiente sección, lo cual

permite resolverlas de manera consecutiva, y de esta manera obtener como resultado final todas las fuerzas y momentos en las articulaciones, así como la fuerza de contacto pie-piso. Esta última variable será usada en el capítulo 5: “Ensayos Preliminares” para realizar una validación preliminar.

CAPÍTULO 3

DISEÑO CONCEPTUAL DEL MÓDULO DE PRUEBAS

En este capítulo se exponen los requerimientos del módulo de pruebas requerido para el diseño del dispositivo. Además, se presentan alternativas de solución a los requerimientos y una evaluación técnico-económica de las alternativas. Finalmente, se elegirá la mejor alternativa y con ello se elaborará la propuesta de diseño conceptual a desarrollar.

3.1. Requerimientos generales del módulo de pruebas

Como se mencionó en la sección 1.4, para realizar un análisis biomecánico es muy importante contar con un sistema de captura de movimiento. En este caso este sistema nos brindaría información cinemática, la cual debe ser pre-procesada por medio de un software, para que pueda ser ingresada al modelo cinético propuesto.

También, como el propósito del presente módulo es validar experimentalmente el modelo propuesto, es necesario contar con algún dispositivo que nos permita comparar los resultados obtenidos usando el modelo con los valores experimentales. Siendo el caso del modelo propuesto, los resultados obtenidos son fuerzas internas y fuerza de contacto pie-piso. Es por ello que se requiere un sistema que permita capturar fuerzas para así poder compararlas.

En cuanto a las condiciones del ensayo, surgen dos necesidades. La primera es la necesidad de acondicionar el ambiente de acuerdo a los requerimientos del sistema

de captura de movimiento. La segunda viene a ser la necesidad de conseguir repetibilidad del ensayo para que se pueda afirmar que los resultados son confiables. Esta repetibilidad puede ser lograda mediante protocolos de ensayo. Sin embargo, estos protocolos deben incluir la forma en la cual el balón es lanzado hacia el sujeto de prueba para simular el gesto requerido. Este lanzamiento podría ser realizado manualmente, pero siempre existe el error humano y se podría perder la repetibilidad deseada. Es por ello que se requiere de un dispositivo que asegure que el balón sea lanzado siempre de la misma manera. Entonces, debido a que no se cuenta con este dispositivo en el laboratorio, en el presente trabajo se procederá a desarrollar un dispositivo que permita lanzar balones de voleibol.

3.1.1. Selección del sistema de captura de movimiento

El sistema de captura de movimiento a utilizar deberá obtener la información a una tasa de al menos 60Hz, siendo este valor el mínimo encontrado en la literatura. Uno de los sistemas de captura de movimiento más usados en los estudios revisados es el sistema VICON, el cual se puede encontrar en el laboratorio LIBRA. Sin embargo, actualmente se encuentra en mantenimiento por lo que no podrá ser tomado en cuenta para el presente trabajo. Por ello el sistema a escoger se encuentra entre los dos mencionados en la sección 1.5.2: por medio de cámaras y por medio de sensores inerciales.

El primer sistema brinda como resultado videos que contienen los puntos de interés del estudio. Por medio de procesamiento de imágenes es posible obtener la trayectoria de estos puntos lo cual brindaría la información cinemática requerida como dato de entrada del modelo a estudiar. En cambio, el segundo sistema brinda como resultado las aceleraciones lineales y angulares de los sensores utilizados. Esto obliga a realizar un modelo matemático que permita reconstruir la cinemática del cuerpo a partir de esos valores obtenidos. Luego, debido a que estos valores son obtenidos en tres dimensiones, es necesario convertirlos a una proyección bidimensional para recién poder ser ingresados al modelo propuesto.

Dado que el estudio de rastreo de puntos en videos es un tema muy estudiado e incluso existen softwares libres que permiten realizarlo, se optará por hacer uso de un sistema de captura de movimiento por medio de cámaras. A futuro, el uso de los sensores inerciales podría ser utilizado para complementar el sistema de cámaras e incluso poder aprovechar su información en tres dimensiones.

3.1.2. Selección del sistema de plataformas de fuerza

Como se mencionó, se requiere un sistema que permita capturar las fuerzas de contacto con el piso que se producen durante el gesto deportivo a analizar. Existen diversas empresas que producen estos sistemas enfocados en análisis biomecánicos, por ejemplo se puede encontrar las plataformas KISTLER [ZAHRADNIK, 2014], AMTI [LOGAR, 2015] entre otros.

Afortunadamente, como se mencionó en la sección 1.5.1, el laboratorio cuenta con dos plataformas AMTI OPT400600, las cuales serán utilizadas para el presente trabajo.

3.1.3. Requerimientos del lanzador de balones

Como se mencionó en la sección 3.1, es necesario conseguir que el diseño de este lanzador de balones asegure que el balón alcance el objetivo siempre de la misma manera. Este diseño debe contar con un mecanismo simple y, posiblemente, con actuadores que cumplan los siguientes requerimientos.

- Como se busca analizar la técnica de recepción en el servicio, el dispositivo deberá regular la velocidad del lanzamiento hasta un valor de 10m/s y el ángulo del lanzamiento entre 30° y 60° (ver ANEXO A) para así poder recrear total o parcialmente un servicio para las condiciones de ensayo deseadas.
- El ambiente de trabajo del dispositivo deberá contar con unas dimensiones mínimas de 8m de largo, 6m de ancho y 4m de alto. Esto debido a que la trayectoria a seguir debe brindarle al sujeto de prueba un tiempo de al menos 1s

para que pueda realizar el gesto requerido. Así mismo, se requiere una separación de al menos 5m entre la cámara escogida y el sujeto de prueba.

- Debido a que los ensayos no podrán ser realizados en el laboratorio LIBRA debido a las dimensiones de este, se requiere que el dispositivo sea móvil o fácilmente transportable por una persona (peso menor a 15 kg⁸).
- Se requiere que el dispositivo se mantenga estable pese a que este sea transportable, esto con el objetivo de mantener constantes las condiciones del ensayo.
- El dispositivo tendrá capacidad para un único balón oficial de vóley (21,4 cm de diámetro, 280 g) el cual será colocado manualmente.
- Como se requiere prescindir de un lanzamiento manual, el lanzamiento será realizado por medio de un mecanismo, el cual podrá ser activado manualmente o de manera remota.
- El dispositivo deberá contar con un sistema de seguridad para evitar accidentes en el lanzamiento del balón.
- En caso el dispositivo requiera suministro de energía, este será proporcionado por baterías portátiles. Esto debido a que el lugar del ensayo podría no contar con tomas de corriente.
- Este dispositivo deberá tener un costo menor a los equipos comerciales mostrados en el Capítulo 1 (\$3000⁹).
- Sería deseable que los componentes de este mecanismo sean de rápida adquisición en el mercado local, esto debido a que se planea realizar la pronta construcción de un prototipo para los fines del proyecto.

3.2. Estructura de funciones del módulo de pruebas

Como se mencionó anteriormente, el objetivo principal del módulo de pruebas es realizar la validación del modelo biomecánico propuesto. Esta validación se lleva a cabo haciendo una comparación entre los resultados obtenidos del modelo y los valores experimentales obtenidos por medio de un sensor. Para ello en la Figura 3.1

⁸ Guía básica de autodiagnóstico en ergonomía para oficinas. Consulta: 31 de marzo del 2018. http://www.mintra.gob.pe/archivos/file/SST/INTERES/guia_autodiagnostico_oficinas_virtual.pdf

⁹ Attack II Volleyball Training Machine. Consulta: 31 de marzo del 2018. <http://www.sportsattack.com/attack-ii-2/>

se identifican las funciones que el presente módulo debe cumplir para obtener el resultado deseado. Estas funciones se encuentran agrupadas de la siguiente manera: pre-ensayo, ensayo, sincronización de datos, procesamiento, energía y lanzamiento de balones. La parte principal del módulo viene a ser la realización de un ensayo para poder obtener la información que se requiere. Sin embargo, previo al ensayo se deben realizar ciertas acciones como acondicionar al sujeto de prueba para la captura de movimiento. Una vez terminado el ensayo y almacenada la información de la captura de movimiento y de las plataformas, se procede a sincronizar esta información para posteriormente realizar la comparación que se requiere para la validación, esta comparación se realiza posterior al procesamiento que requiera la información obtenida. Asimismo en el ensayo es esencial la función de lanzar el balón para obtener el gesto a estudiar. Finalmente, es necesario tener el sistema energizado de principio a fin.

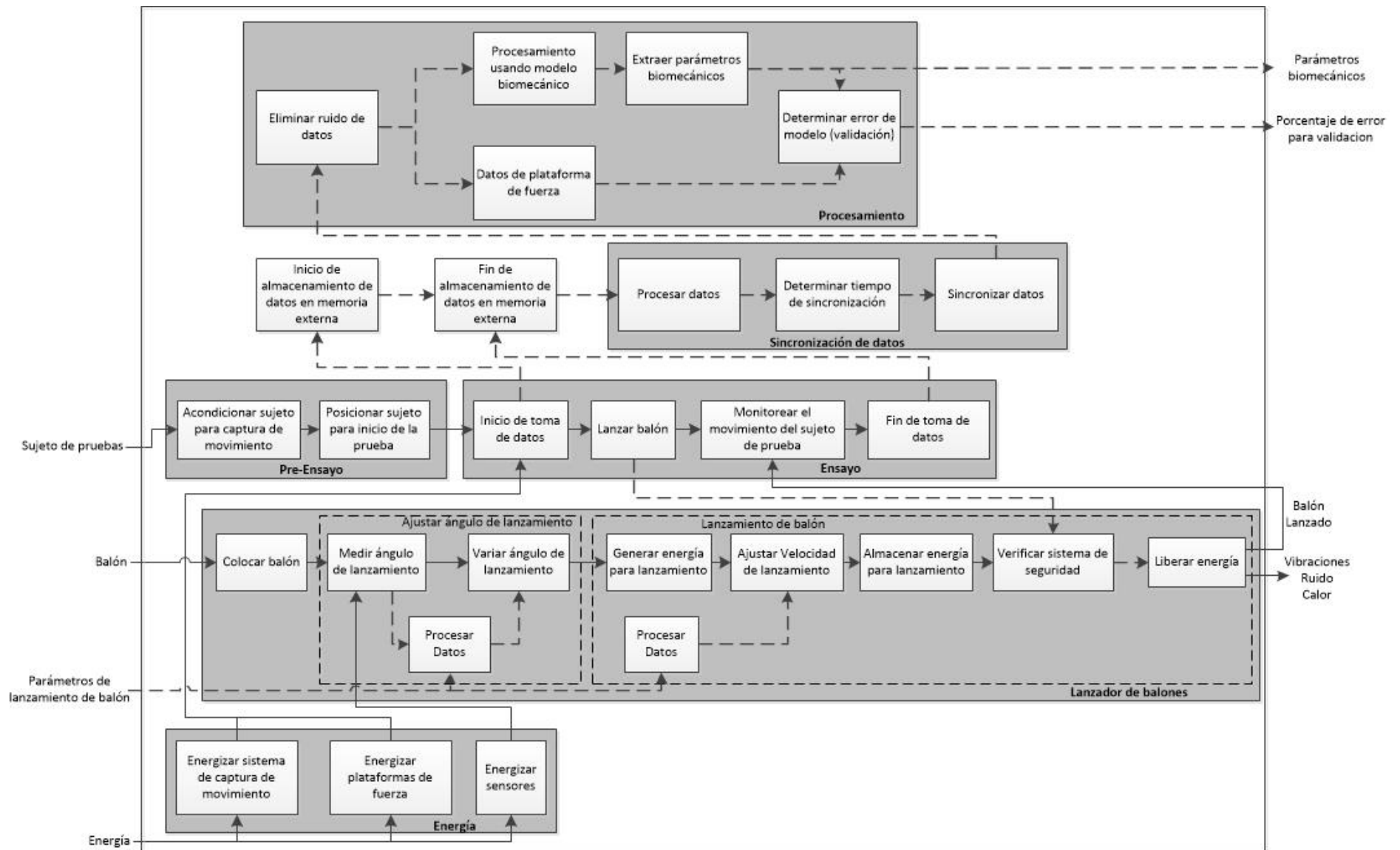


Fig. 3.1: Estructura de funciones

3.3. Conceptos de solución para diseño de lanzador de balones

A continuación se procederá a buscar alternativas de solución a las diferentes funciones que se han presentado para el lanzador de pelotas mencionado.

3.3.1. Matriz Morfológica

Las Tablas 3.1, 3.2 y 3.3 muestran las diferentes soluciones que se proponen para el presente diseño.

Tabla 3.1: Matriz morfológica para colocar balón



Funciones parciales	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Colocar balón	 Manual	 Por medio de riel	

Tabla 3.2: Matriz morfológica para ajuste de ángulo de lanzamiento

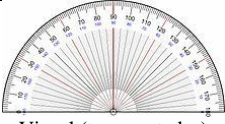
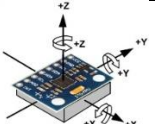



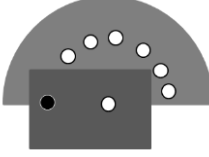
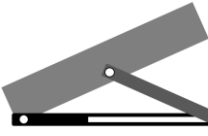











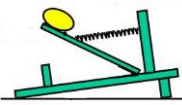


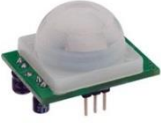



Funciones parciales	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Medir ángulo de lanzamiento	 Visual (transportador)	 Giroscopio	Indirectamente
Procesar datos	 Arduino UNO	 Beaglebone Black	 Manual
Variar ángulo de lanzamiento - Mecanismo			
Variar ángulo de lanzamiento - Accionamiento	 Servomotor	 Motor DC	 Manual

Tabla 3.3: Matriz morfológica para lanzamiento de balón

Funciones parciales	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Generar energía para lanzamiento	 Manual	 Motor dc	 Actuador lineal
Procesar datos	 Arduino UNO	 Beaglebone Black	 Manual
Almacenar energía para lanzamiento	 Resorte	 Ruedas	 Sistema de palanca (catapulta)
Ajustar velocidad de lanzamiento	 Trinquetes	 Giro constante	
Sistema de seguridad	 Sensor de presencia	 Sensor ultrasonido	
Liberar energía	 Manual	 Remoto (bluetooth)	

3.3.2. Conceptos Solución

Se decidió optar solamente por dos diseños basándose en las opciones para el almacenamiento de energía. Si bien se presentaron tres opciones, la tercera requiere un mayor espacio por lo cual no se tomó en cuenta. A continuación se procederá a explicar el funcionamiento de las dos soluciones consideradas.

a) Solución 1: Esta alternativa de solución (Figura 3.2) constará de una estructura que contiene resortes, los cuales almacenarán la energía a ser transferida a la pelota. Estos resortes serán contraídos manualmente y la regulación de la velocidad de salida se realizará de forma discreta por medio de trinquetes, los cuales mantendrán una determinada elongación de los resortes. Estos trinquetes serán accionados por un servomotor para poder liberar la energía almacenada en los resortes. Esta acción se realizará remotamente por medio de transmisión Bluetooth. La regulación del ángulo de lanzamiento se realizará por medio del giro manual de una manivela que moverá un sistema tornillo-tuerca, el cual generará el movimiento de la base de un sistema parcial de elevación de tijeras. El sistema de seguridad se llevará a cabo usando sensores ultrasonidos para detectar la presencia de personas u objetos cercanos en la dirección de lanzamiento. Finalmente, el procesamiento y control se realizará mediante un Arduino UNO, esto debido a la poca capacidad de procesamiento requerida por los dispositivos seleccionados.

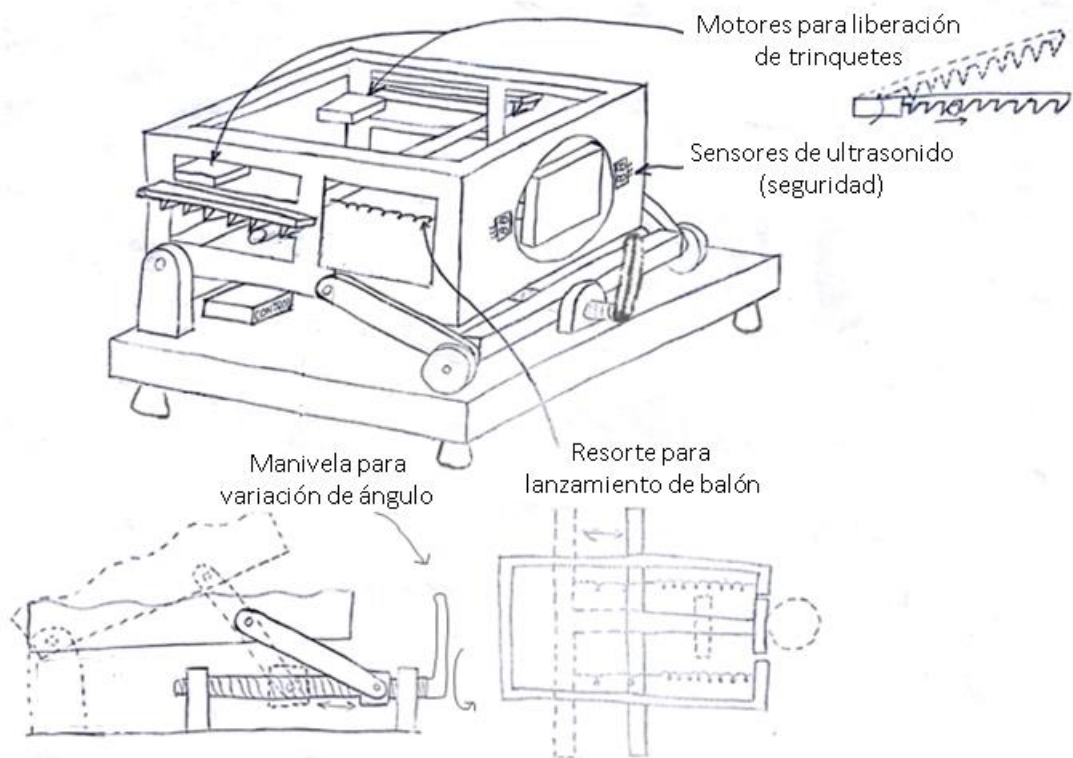


Fig. 3.2: Esbozo de alternativa de solución 1

b) Solución 2: Esta alternativa de solución (Figura 3.3) constará de una estructura que contiene dos ruedas que transmitirán la energía a la pelota por medio de fricción. Estas ruedas se encontrarán girando por medio de motores DC independientes. La velocidad de salida del balón será regulada mediante la velocidad de giro de los motores. Dado que se requiere un pequeño impulso en el balón para que pueda ser lanzado por las ruedas, el accionamiento del mecanismo se realizará manualmente. El ángulo de lanzamiento será regulado continuamente por un servomotor, el cual recibirá una realimentación por medio de la medición de un giroscopio. El sistema de seguridad se llevará a cabo usando un sensor de presencia PIR, el cual indicará la cercanía de una persona al dispositivo. En caso ocurra esto, se cerrarán unas compuertas que impedirán el ingreso del balón. Finalmente, el procesamiento y control se realizará mediante un sistema embebido Beaglebone. Esto debido a que para evitar que se genere efecto en la pelota se debe mantener la velocidad de los motores constante en todo momento, lo cual requiere regular capacidad de procesamiento e incluso programación en tiempo real para resultados más certeros.

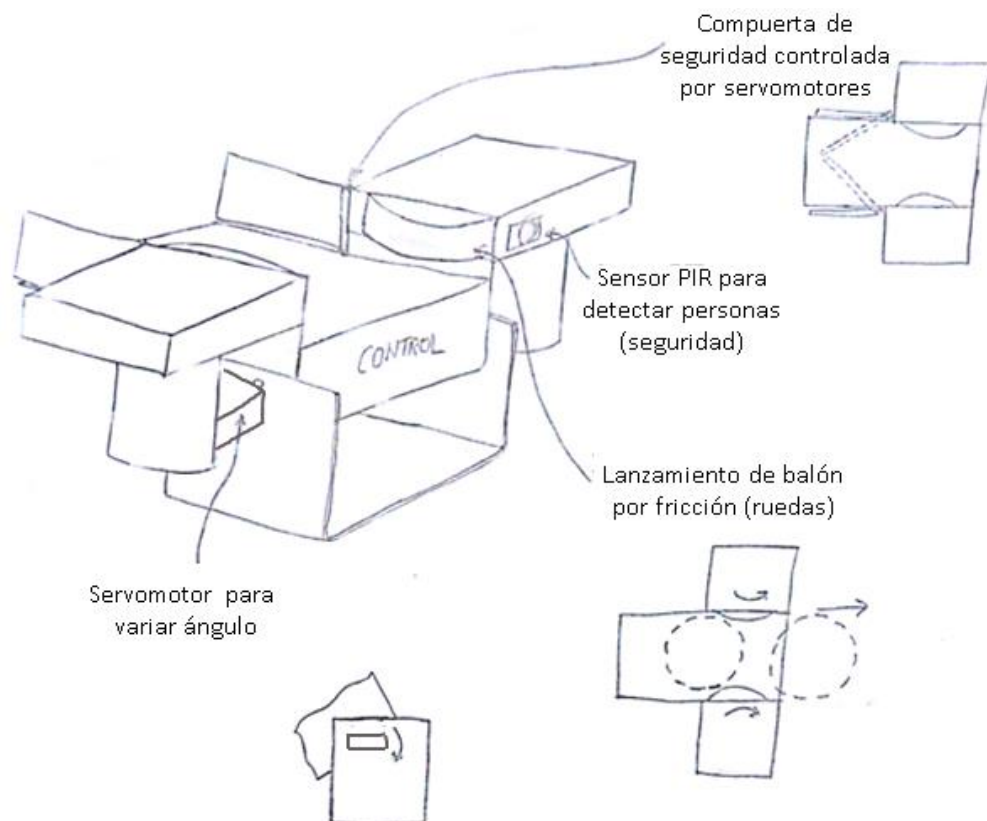


Fig. 3.3: Esbozo de alternativa de solución 2

3.3.3. Evaluación Técnico-Económica de las alternativas de solución

La evaluación de las alternativas de solución se realizará mediante un análisis en los aspectos técnicos y económicos de las mismas, los cuales se detallan a continuación (Tabla 3.4, Tabla 3.5, Tabla 3.6 y Tabla 3.7). Cabe resaltar que la escala a considerar va de 1 a 5, siendo 1 “Nada beneficioso” y 5 “Completamente beneficioso”.

Tabla 3.4: Evaluación técnica de la Solución 1

Aspectos	Peso	Valor obtenido	Peso x Valor
Fabricación (mecanizado)	3	3	9
Fabricación (cant. Piezas)	2	3	16
Precisión de lanzamiento	5	5	25
Movilidad	3	4	12
Resolución en velocidad de salida	2	3	6
Resolución en ángulo de salida	2	5	10
Programación (control)	3	5	15
$\sum \text{Peso Ponderado} / \sum \text{Peso}$			4.15

Tabla 3.5: Evaluación técnica de la Solución 2

Aspectos	Peso	Valor obtenido	Peso x Valor
Fabricación (mecanizado)	3	5	15
Fabricación (cant. Piezas)	2	5	10
Precisión de lanzamiento	5	3	15
Movilidad	3	5	15
Resolución en velocidad de salida	2	4	8
Resolución en ángulo de salida	2	4	8
Programación (control)	3	2	6
$\sum \text{Peso Ponderado} / \sum \text{Peso}$			3.85

Tabla 3.6: Evaluación económica de la Solución 1

Aspectos	Peso	Valor obtenido	Peso x Valor
Costo de fabricación	5	3	15
Costo de componentes electrónicos	5	4	20
Costo de sistema de control	5	5	25
$\sum \text{Peso Ponderado} / \sum \text{Peso}$			4

Tabla 3.7: Evaluación económica de la Solución 2

Aspectos	Peso	Valor obtenido	Peso x Valor
Costo de fabricación	5	5	25
Costo de componentes electrónicos	5	5	25
Costo de sistema de control	5	3	15
$\sum \text{Peso Ponderado} / \sum \text{Peso}$			4.33

En resumen, la comparación entre los aspectos técnicos y económicos de ambas soluciones se puede observar en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8: Comparación de soluciones

Aspecto	Solución 1	Solución 2
Técnico	4.15	3.85
Económico	4	4.33

A partir de la Tabla 3.8, se procede a analizar cuál de las opciones posee un mejor balance entre ambos aspectos. Este análisis se puede observar en la Figura 3.4, en la cual se observa una gráfica que ubica las dos soluciones y se busca la separación entre ellas y la línea ideal. Luego del análisis se concluye que la solución 1 presenta un mejor balance entre los aspectos técnicos y económicos, por lo que esta será nuestra solución a considerar para el diseño a realizar.

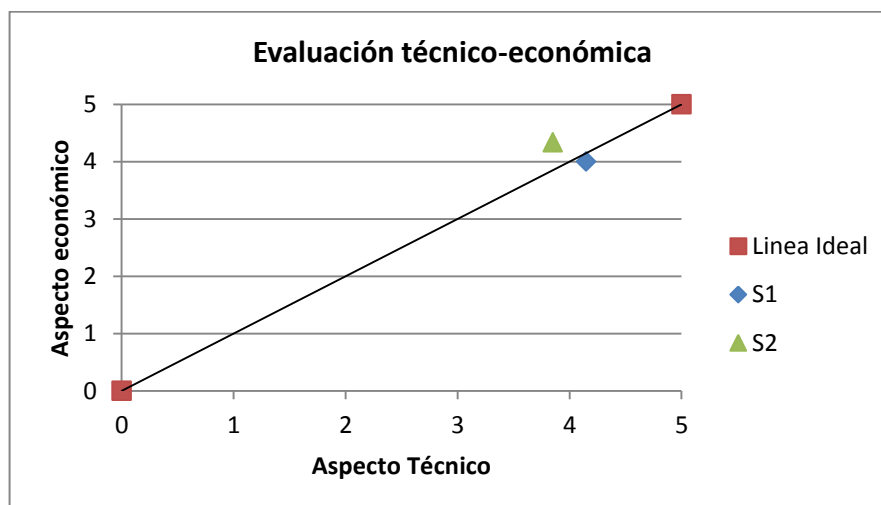


Fig. 3.4: Gráfica de comparación de soluciones

CAPÍTULO 4

DISEÑO DE DISPOSITIVO PARA LANZAMIENTO DE BALONES

En el presente capítulo se describe el desarrollo del diseño mecánico y la selección de componentes del dispositivo para el lanzamiento de balones. Se abordará los cálculos cinemáticos para la selección del resorte a usar así como las dimensiones principales del sistema. Luego se realizará un análisis de resistencia para la selección de los materiales a usar. Finalmente, se detallará la selección de componentes electrónicos a utilizar y el diagrama de flujo para el tratamiento de las señales.

4.1. Diseño Mecánico

Como se mencionó, primero se analizará el diseño de los componentes mecánicos que conformarán el dispositivo para el lanzamiento de balones. En la Figura 4.1, se muestra el diseño a presentar en el presente trabajo, el cual se realizó por medio del software Autodesk Inventor 2015. Los principales componentes a analizar serán los dos resortes que permiten el lanzamiento del balón y el tornillo de potencia que permitirá la variación del ángulo de lanzamiento.

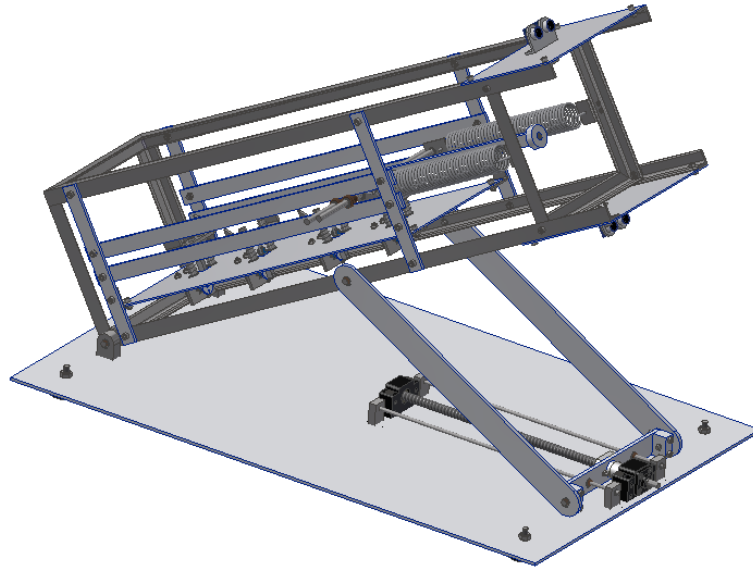


Fig. 4.1: Vista general del diseño a presentar.

4.1.1. Sistema de lanzamiento de balón

El elemento considerado en el diseño conceptual para obtener el lanzamiento deseado es un resorte. La configuración de la posición de los dos resortes se puede observar en la Figura 4.2. Conforme a lo mostrado en el ANEXO B, este resorte deberá contar con una deformación máxima de al menos 365mm y una constante de a los más 0.54N/mm para poder lograr la velocidad de lanzamiento de 10m/s mostrada en el ANEXO A. En este caso se optó por resortes del catálogo de la empresa HPC, los cuales se observan en la Tabla 4.1. De ellos se seleccionó el resorte ET4289.

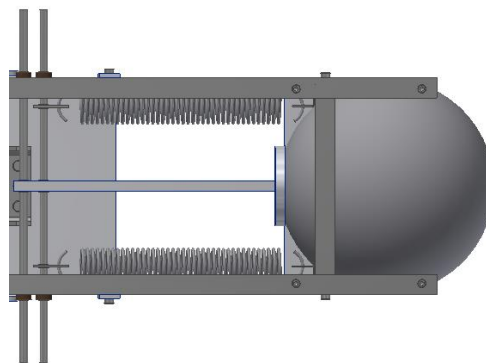


Fig. 4.2: Configuración de los resortes.

Tabla 4.1: Sección de catálogo de resortes de la empresa HPC¹⁰

Part number	Free Wire Ø d	Rate Ø D0	Max. length L0	Max. C N/mm	deflection (mm)	load (N)	Price each 1 to 4
ET4285	3,20	36,00	82,60	2,59	68,40	205,00	9,18 €
ET4286	3,20	36,00	102,00	1,62	109,00	205,00	9,18 €
ET4287	3,20	36,00	131,00	1,04	171,00	205,00	9,47 €
ET4288	3,20	36,00	179,00	0,65	274,00	205,00	9,79 €
ET4289	3,20	36,00	243,00	0,43	410,00	205,00	14,07 €

Con estos resortes se procede a verificar que la velocidad que se puede obtener esta dentro del rango deseado. Las ecuaciones para este cálculo son las mismas que se presentan en el ANEXO B. Se considerarán los valores actualizados de los resortes escogidos y el valor final de la masa del pistón.

$$E_p = 2\left(\frac{1}{2}kx^2\right) \quad (4.1)$$

$$E_k = \frac{1}{2}m_1v_1^2 \quad (4.2)$$

$$m_1v_1 = m_2v_2 \quad (4.3)$$

Donde: k : constante del resorte ($k = 0,43N/mm$)

x : deformación del resorte

m_1 : masa del pistón de lanzamiento ($m_1 = 600g$)

v_1 : velocidad del pistón de lanzamiento

m_2 : masa del pistón de lanzamiento junto con la pelota ($m_2 = 880g$)

v_2 : velocidad de salida del balón

En la tabla 4.2 se muestran valores de x y v_2 obtenidos de las ecuaciones (4.1) a (4.3). Se observa que con el resorte seleccionado se obtiene la velocidad requerida para el lanzamiento deseado (10m/s). Adicionalmente, se pueden obtener velocidades menores las cuales pueden ser utilizadas en ensayos dentro de laboratorio.

¹⁰ Extension Springs DIN 2097 Stainless stell piano wire . Consulta: 5 de mayo del 2018. <https://shop.hpceurope.com/pdf/gb/ETGamme.pdf>

Tabla 4.2: Tabulación de valores de x y v₂

x (cm)	v ₂ (m/s)
10	2,58
20	5,16
30	7,74
40	10,32

4.1.2. Sistema de variación de ángulo de lanzamiento

Como se puede observar en el Anexo C, la longitud de trabajo del tornillo de potencia a utilizar es de al menos 29,3cm para lograr ángulos de lanzamiento entre 30° y 60°. Es por ello que se decidió utilizar el tornillo de potencia SFU1204-400mm, el cual cuenta con un diámetro de 12mm, un paso de rosca de 4mm y una longitud total de trabajo de 296mm. Adicionalmente, cuenta con el mecanizado necesario para ser soportado por las chumaceras BK10 y BF10. Las fuerzas principales que actúan sobre el tornillo se aprecian en la Figura 4.3. Se realizará un análisis de resistencia a partir de estas fuerzas siguiendo el manual de selección de tornillos de potencia de la empresa SKF [SKF,2013]. Primero se analiza el torque necesario para realizar el movimiento, el cual viene dado por la ecuación (4.3). Luego se determinan los esfuerzos normal y cortante según las ecuaciones (4.4) y (4.5). Finalmente se determina el esfuerzo normal equivalente según la teoría de Von-Mises según la ecuación (4.6).

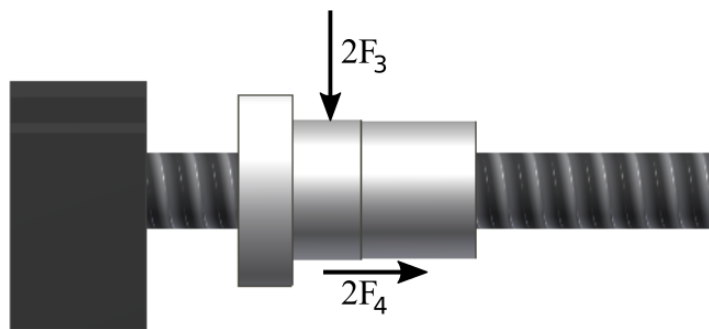


Fig. 4.3: Fuerzas que actúan sobre el tornillo de potencia

$$T = \frac{F_a l}{2000\pi\eta} \quad (4.3)$$

$$\sigma = \frac{4F_a}{\pi d_{tr}^2} \quad (4.4)$$

$$\tau = \frac{16T}{\pi d_{tr}^3} \quad (4.5)$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad (4.6)$$

Donde: T : torque para movimiento (Nm)
 σ : esfuerzo normal sobre el tornillo (MPa)
 τ : esfuerzo cortante sobre el tornillo (MPa)
 σ_{eq} : esfuerzo normal equivalente (MPa)
 μ : coeficiente de rozamiento entre tornillo y tuerca, para efectos de cálculo se considerará $\mu = 0,1$ (generalmente el valor es menor)
 F_a : fuerza de arrastre (N), la cual queda determinada por

$$F_a = 2 \times F_4 + 2 \times F_3 \times \mu = 74,7N \text{ (ANEXO C)}$$

 l : paso de la rosca (mm)
 η : eficiencia
 d_{tr} : diámetro del tornillo de potencia (m)

Reemplazando las ecuaciones (4.3) a (4.5) en la ecuación (4.6) se obtiene la ecuación (4.7).

$$\sigma_{eq} = \frac{4F_a}{\pi d_{tr}^2} \sqrt{1 + \frac{12l^2}{\pi^2 d_{tr}^2 \eta^2}} \quad (4.7)$$

Considerando una eficiencia del 90% (recomendada por el manual) y reemplazando las características del elemento seleccionado se obtiene que el esfuerzo equivalente es $\sigma_{eq} = 0,72MPa$. Considerando que el esfuerzo máximo admisible es de 147MPa, se puede concluir que el tornillo soportará las cargas obtenidas.

De la misma manera, debido a que el tornillo de potencia se encuentra a compresión, se realizará un análisis de pandeo. Para ello se utilizará la teoría de pandeo de Euler, la cual se describe en la ecuación (4.8).

$$P = \frac{\pi^2 EI}{\lambda^2 l_b^2} \quad (4.8)$$

Donde: P : máxima fuerza previa al pandeo
 E : módulo de elasticidad $E = 2 \times 10^{11} Pa$
 I : momento de inercia $I = \frac{1}{4} \pi d_{tr}^4 = 1,63 \times 10^{-8} m^4$
 l_b : distancia entre monturas del tornillo de potencia
 λ : esbeltez según tipo de apoyo. Para este caso, el apoyo será empotrado-articulado, lo cual determina una esbeltez $\lambda = 0,7$

A partir de la ecuación (4.8), considerando $P = F_a = 74,7N$, se obtiene que la longitud máxima entre monturas será $l_b = 29m$ previo al pandeo, por lo que el tornillo de potencia escogido cumplirá con lo requerido.

4.1.3. Análisis de deformaciones

En el análisis de deformaciones de los elementos sometidos a carga del dispositivo, se optó por el método de simulación por elementos finitos del software Autodesk Inventor 2015. En la Figura 4.4 se observa la ubicación de los componentes a analizar. En todas las simulaciones a presentarse, se analizó el caso crítico de cada pieza.

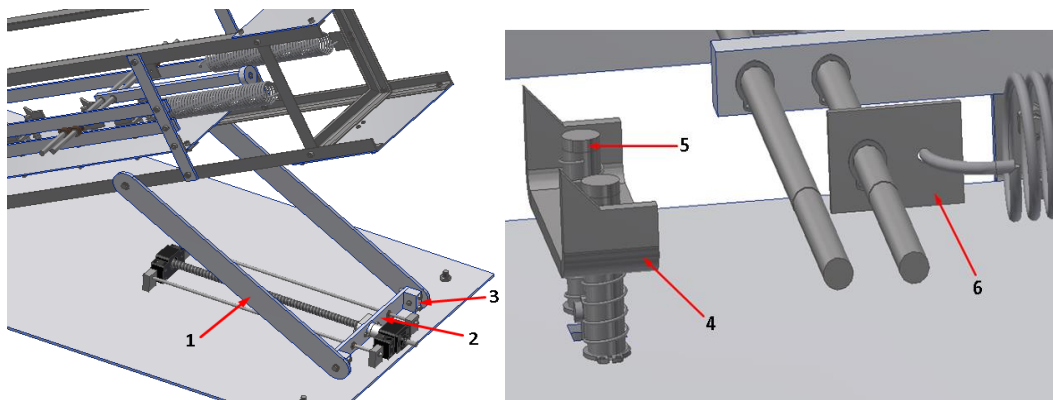


Fig. 4.4: Ubicación de piezas a analizar.

En la Figura 4.5 se puede observar el análisis de deformaciones de la barra que genera la variación del ángulo de lanzamiento. Esta barra siempre se encuentra a compresión y se aprecia que el desplazamiento máximo es de 0.076mm, el cual es un valor aceptable para el diseño propuesto.

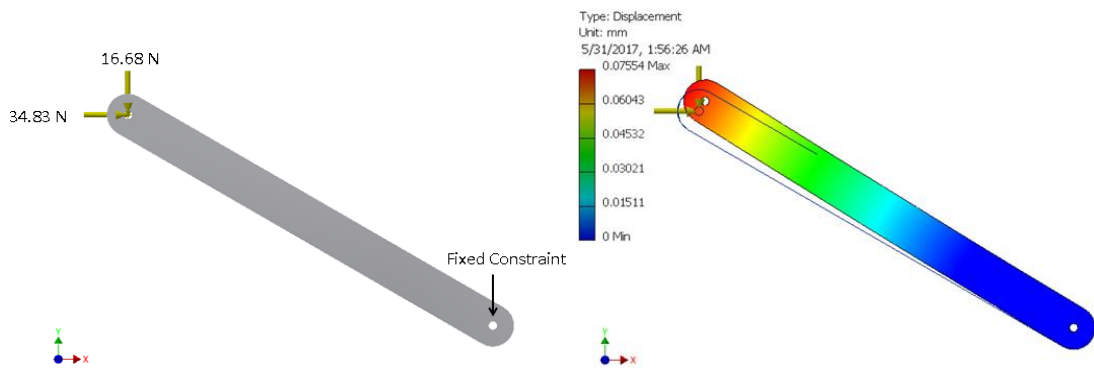


Fig. 4.5: Análisis de deformaciones para la barra de giro.
Izquierda: Ubicación de las fuerzas y restricciones. Derecha: Resultado de la simulación

En la Figura 4.6 se puede observar el análisis de deformaciones de la placa móvil que se fija a la tuerca del tornillo de potencia. Este elemento posee un desplazamiento máximo de 0,115mm, el cual no afecta al desplazamiento horizontal considerado debido a que su resolución será del orden de un centímetro.

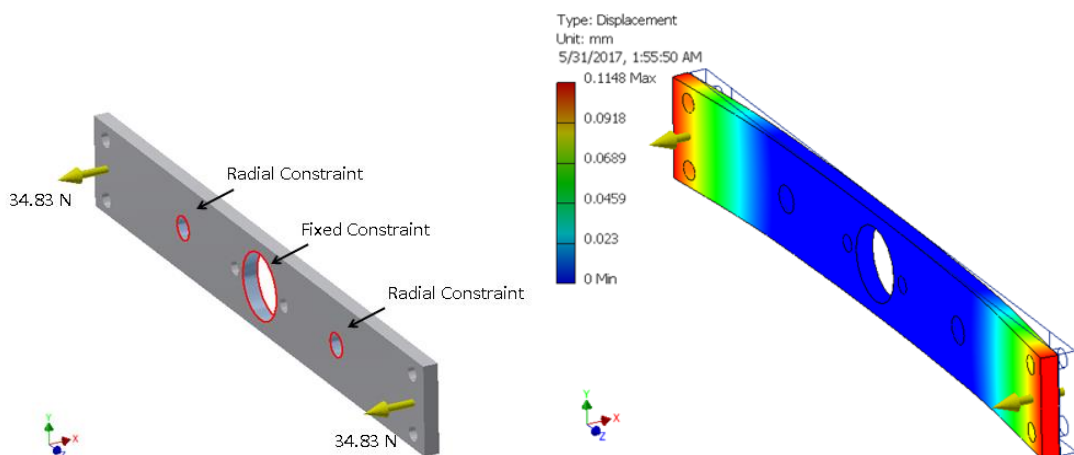


Fig. 4.6: Análisis de deformaciones para la placa móvil sobre el tornillo de potencia.
Izquierda: Ubicación de fuerzas y restricciones. Derecha: Simulación de desplazamiento

En la Figura 4.7 se puede observar el análisis de deformaciones del pin de soporte de la parte inferior del sistema. Este elemento posee un desplazamiento máximo de

5.88×10^{-4} mm, el cual no es considerable con respecto a las dimensiones del sistema.

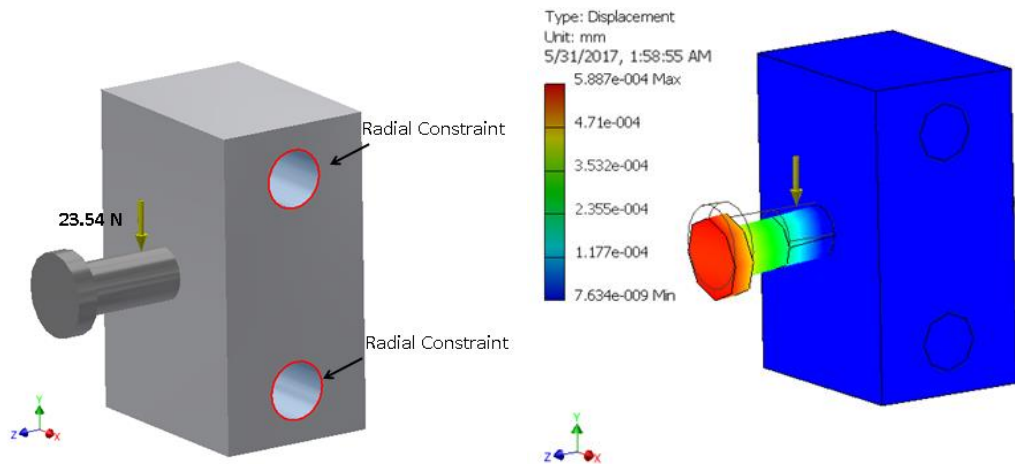


Fig. 4.7: Análisis de deformaciones para el pin soporte de la parte inferior. Izquierda: Ubicación de fuerzas y restricciones. Derecha: Simulación de desplazamiento

En la Figura 4.8 se puede observar el análisis de deformaciones del elemento que realiza la función de trinquete en el mecanismo de lanzamiento. Con las cargas máximas ejercidas por los resortes, el elemento posee un factor de seguridad mínimo de 3,42 lo cual implica que el elemento podrá soportar dicha carga.

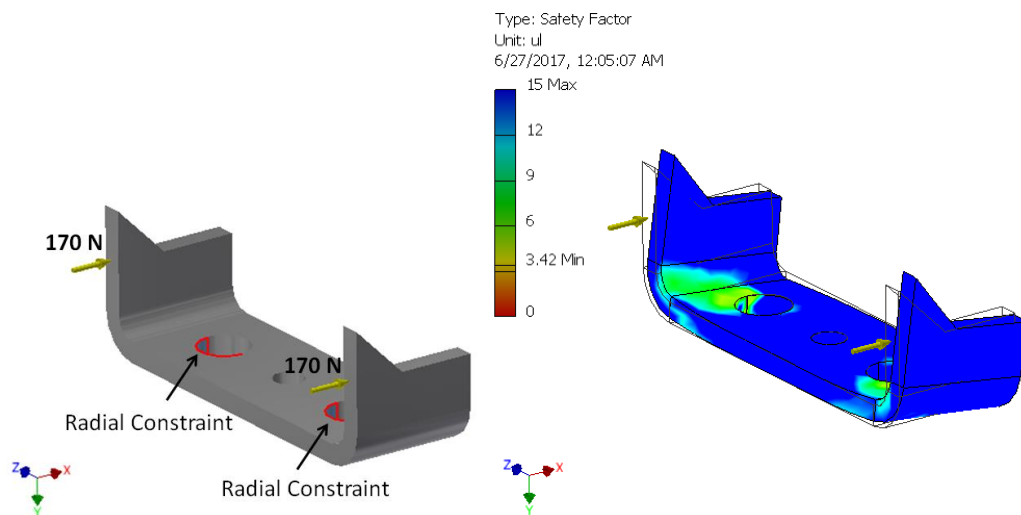


Fig. 4.8: Análisis de deformaciones para el elemento trinquete. Izquierda: Ubicación de fuerzas y restricciones. Derecha: Simulación para factor de seguridad

En la Figura 4.9 se observa el análisis de deformaciones del elemento que soporta los resortes. Con las cargas máximas ejercidas por los resortes, el elemento posee un factor de seguridad mínimo de 7,22 lo cual implica que el elemento soportará dicha carga.

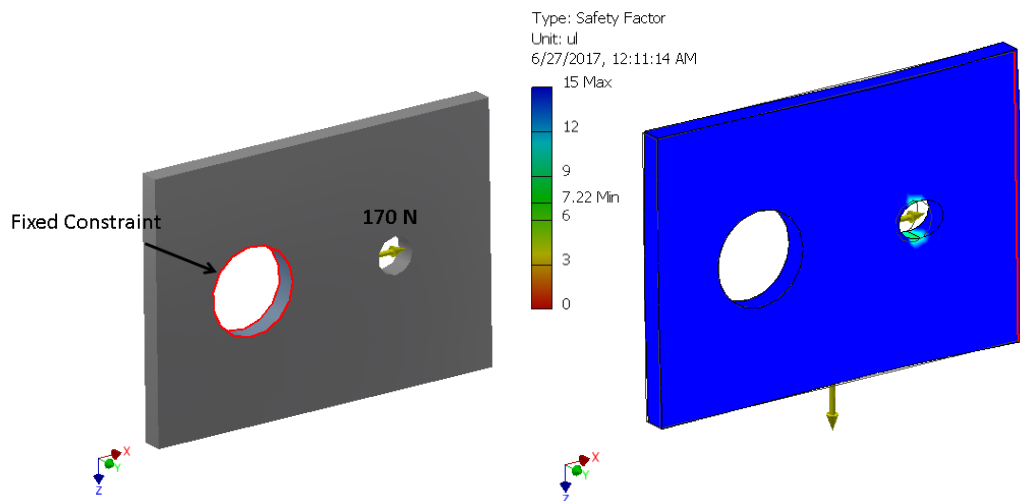


Fig. 4.9: Análisis de deformaciones para el soporte del resorte. Izquierda: Ubicación de fuerzas y restricciones. Derecha: Simulación para factor de seguridad

En la Figura 4.10 se observa el análisis de deformaciones del elemento que soporta los resortes. Con las cargas máximas ejercidas por los resortes, el elemento posee un factor de seguridad mínimo de 2,49 que garantiza que el elemento podrá soportar dicha carga.

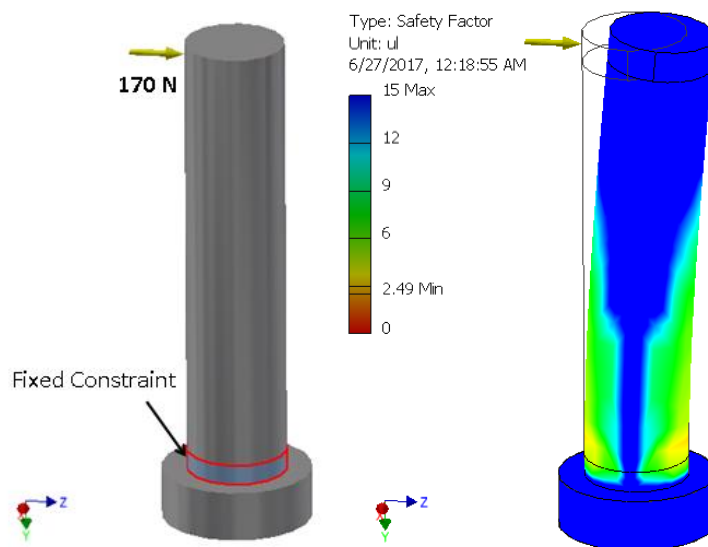


Fig. 4.10: Análisis de deformaciones para el pin soporte del trinquete. Izquierda: Ubicación de las fuerzas y restricciones. Derecha: Resultado de la simulación de factor de seguridad

4.1.4. Análisis de carga para selección de servomotores

El accionamiento del lanzamiento se realizará por medio de la liberación de trinquetes tal como se observa en la Figura 4.11, para ello se usará un servomotor por cada trinquete a usar. Este servomotor utilizará un mecanismo de biela manivela para realizar el movimiento hacia abajo de los trinquetes, mientras que los resortes regresarán el trinquete a su posición original, tal como se observa en la Figura 4.12.

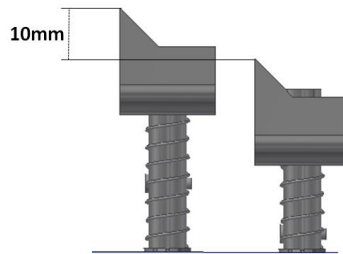


Fig. 4.11: Accionamiento del mecanismo de liberación (vista lateral).

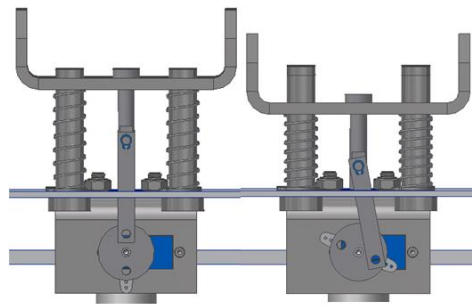


Fig. 4.12: Accionamiento del mecanismo de liberación (vista frontal).

Como se observa en la Figura 4.11, el mecanismo debe ser capaz de mover el trinquete al menos una distancia de 10mm. El servomotor junto con el acople se muestran en la Figura 4.13, mientras que el esquema para determinar el torque del servomotor se muestra en la Figura 4.14.

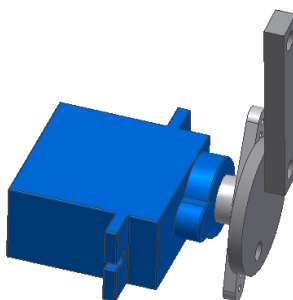


Fig. 4.13: Servomotor junto con su acople.

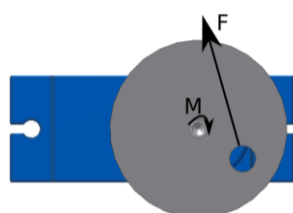


Fig. 4.14: Esquema de fuerzas para el torque del servomotor.

Considerando que la fuerza F es la máxima generada por los dos resortes, los cuales serán considerados con constante de 0.5N/mm (en catálogo suelen ser menores para la aplicación deseada), se tendría una fuerza $F=2 \times 0.5 \times 10=10\text{N}$. Considerando además que esta fuerza se aplica en el diámetro externo del acople, y estimando una distancia de palanca de 15mm (los acoples de servomotores comerciales suelen ser más pequeños) se requeriría un torque de $M=10 \times 15=150\text{ Nmm}$.

Por ello, se decidió utilizar servomotores SG90, los cuales proporcionan un torque máximo de 175Nmm , y además son de bajo costo. Sus características principales se pueden observar en la Tabla 4.3. Dado que se utilizará un servomotor por cada trinquete a considerar y se optó por un sistema que conste de cuatro velocidades, será necesario utilizar cuatro servomotores para los trinquetes asociados.

Tabla 4.3: Especificaciones técnicas del servomotor SG90¹¹.

Alimentación	5V	
Stall Torque	1.8kgf.cm	
Velocidad de operación	60°/0.1s	
Corriente de trabajo ¹²	Reposo	10 mA
	Con carga	360 mA
Número de pines	3 (VCC,GND,PWM)	

¹¹ Servomotor SG90. Consulta: 29 de mayo 2018. <http://akizukidenshi.com/download/ds/towerpro/SG90.pdf>

¹² Servo Motor Micro SG90. Consulta: 15 de julio 2018. <https://protosupplies.com/product/servo-motor-micro-sg90/>

4.2. Diseño del sistema electrónico y de control

Una vez culminado el diseño mecánico del sistema, se procede a definir la estrategia de control a seguir y los elementos electrónicos necesarios para realizarla.

4.2.1. Diagrama de flujo del sistema

El sistema de control será del tipo on/off. Para ello, como se explicó en el concepto solución, primero se requiere realizar operaciones manuales tanto para ajustar la extensión de los resortes como para colocar el balón. Una vez realizadas estas acciones, se procede a activar el sistema de lanzamiento de manera remota. Toda esta secuencia se muestra en la Figura 4.15.

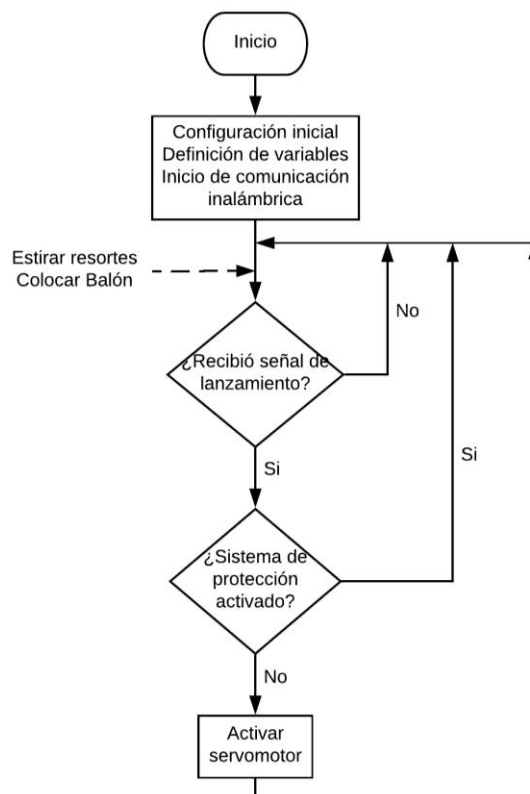


Fig. 4.15: Diagrama de flujo

4.2.2. Selección de componentes electrónicos

De acuerdo al diagrama presentado en la Figura 4.15 y al concepto de solución presentado, será necesario el uso de diferentes componentes electrónicos los cuales cumplen las siguientes funciones: realizar comunicación inalámbrica y detección de presencia para sistema de seguridad. De igual manera, se contará con un dispositivo que realizará el control del sistema, así como una fuente de alimentación. Esto puede apreciarse en el diagrama de bloques mostrado en la Figura 4.16. El actuador ya fue seleccionado en la sección 4.1.4, los demás componentes serán seleccionados en las siguientes secciones.

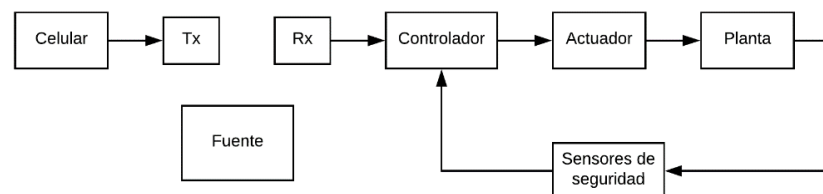


Fig. 4.16: Diagrama de bloques de componentes electrónicos.

4.2.2.1. Selección de dispositivo para recepción inalámbrica (Rx)

El envío de la señal de accionamiento lo realizará un celular por medio de conexión *bluetooth*. Es por ello que el dispositivo a escoger deberá permitir la recepción de una señal *bluetooth* (modo de operación esclavo). Adicionalmente, se requiere que dicho dispositivo pueda conectarse a una distancia de al menos 5m.

En la Tabla 4.4 se muestran las características de dos dispositivos bluetooth que se encuentran de manera comercial. Debido a que ambos cumplen con lo requerido, se escogió el módulo bluetooth HC-06 (Figura 4.17) debido a su fácil programación y su bajo costo.



Fig. 4.17: Módulo bluetooth HC-06.

Tabla 4.4: Comparación de características de módulos bluetooth

Características	HC-06 ¹³	RN-42 ¹⁴
Alimentación	3.6V-6V	3.3V
Modo de operación	Esclavo	Esclavo
Alcance	5m-10m	20m
Corriente de trabajo	30mA-40mA	40-50mA
Número de pines	4	32

4.2.2.2 Selección del sensor de seguridad

Como se mostró en la sección 3.3, el dispositivo a utilizar para detectar la presencia de una persona será un sensor ultrasonido. Se busca evitar que el balón sea lanzado si una persona o algún obstáculo se encuentra frente al dispositivo, por lo que se requiere detectar la presencia a una distancia de al menos 2m. En la Tabla 4.5 se muestra la característica de dos sensores ultrasonidos encontrados de manera comercial. Ambos cumplen con el rango de distancia solicitado, por lo que se escogió el sensor HC-SR04 (Figura 4.18) el cual se puede encontrar en el mercado local y posee un bajo precio. Adicionalmente posee un ángulo de medición de 15°, por lo que ubicando dos de estos sensores en la parte frontal del sistema de lanzamiento (Figura 4.19) será posible realizar la detección deseada.



Fig. 4.18: Sensor ultrasonido HC-SR04.

Tabla 4.5: Comparación de características de sensores ultrasonidos.

Características	HC-SR04 ¹⁵	LV-MaxSonar-EZ ¹⁶
Alimentación	5V	2.5-5.5V
Rango de distancia	2cm – 4m	0-6.45m
Corriente de trabajo	15mA	2mA
Número de pines	4	7

¹³ HC-06. Consulta: 29 de mayo del 2018. <http://www.electronicoscaldas.com/modulos-rf/482-modulo-bluetooth-hc-06.html>

¹⁴ RN-42. Consulta: 20 de enero del 2019. <https://www.sparkfun.com/products/12574>

¹⁵ Ultrasonic Ranging Module HC-SR04. Consulta: 29 de mayo del 2018. <http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>

¹⁶ Ultrasonic Range Finder – LV-MaxSonar-EZ1. Consulta: 20 de enero del 2019. https://www.maxbotix.com/documents/LV-MaxSonar-EZ_Datasheet.pdf

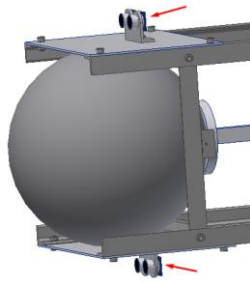


Fig. 4.19: Ubicación de los sensores HC-SR04.

4.2.2.3. Selección de controlador

Debido al uso de componentes electrónicos, es necesario el uso de un controlador que permita enviar y recibir las señales de control. Como cada una de estas señales requerirá una vía diferente para poder realizar el control requerido, el controlador a escoger requerirá de al menos 10 pines digitales, los cuales se encuentran detallados en la Tabla 4.6. Comercialmente existen diversos módulos que pueden servir como un controlador cuyas características se muestran en la Tabla 4.7. Debido a los bajos requerimientos presentados, se propone utilizar un Arduino UNO (Figura 4.20) para realizar las acciones de control necesarias.

Tabla 4.6: Cantidad de pines por componente.

Componente	N° de pines de control
Servomotor (4)	4 (PWM)
Ultrasonido (2)	4 (ECHOx2, TRIGx2)
Bluetooth	2 (TXD,RXD)

Tabla 4.7: Comparación de módulos de controlador.

Características	Arduino UNO ¹⁷	Raspberry Pi 3 ¹⁸
Alimentación (recomendada)	7V – 12V	5V
Pines digitales (I/O)	14 (6 para PWM)	26 (4 para PWM)
Pines analógicos (input)	6	-
Corriente de trabajo (por cada pin I/O)	20mA	16mA

¹⁷ Arduino UNO. Consulta: 29 de mayo del 2018. <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>

¹⁸ Raspberry Pi 3. Consulta: 20 de enero del 2019. <https://components101.com/microcontrollers/raspberry-pi-3-pinout-features-datasheet>



Fig. 4.20: Controlador Arduino UNO.

4.2.2.4. Selección de fuente de alimentación

Como se observa en las características de los diferentes componentes escogidos (Tablas 4.3 a 4.5 y 4.7) la alimentación necesaria para los componentes en general puede ser fijada en 5V, a excepción del Arduino UNO el cual requiere entre 7V y 12V. Por lo tanto se considerará como fuente de alimentación una batería LiPo recargable de 12V, y se usará un regulador de voltaje para conseguir los 5V necesarios. Debido a la gran caída de voltaje que deberá soportar el regulador de voltaje, se considerará un regulador lineal LM7805. Este componente en operación posee un consumo de corriente de 8mA adicionales al consumo del sistema¹⁹. En la Tabla 4.8 se puede observar el consumo de energía de cada componente a utilizar. Con ello se observa que el consumo total de energía viene a ser de 998mAh (como máximo) por cada hora de ensayo. Dado que los ensayos tendrán una duración máxima de 3 horas, será necesario utilizar una batería con una capacidad de al menos 2994mAh. Es por ello que se usará una batería LiPo Turnigy 3000mAh 3S 20C (Figura 4.21), la cual consiste en un sistema de 3 celdas y brinda 11.1V²⁰. Por su capacidad, asegura la energía suficiente para que funcione el sistema durante 3 horas.



Fig. 4.21: Bateria LiPo Turnigy 3000mAh 3S 20C.

¹⁹ LM78XX/LM78XXA 3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator. Consulta: 5 de mayo del 2018. <http://hades.mech.northwestern.edu/images/6/6c/LM7805.pdf>

²⁰ Turnigy 3000mAh 3S Lipo 30C Paquete. Consulta: 5 de mayo del 2018. https://hobbyking.com/es_es/turnigy-3000mah-3s-30c-lipo-pack.html

Tabla 4.8: Consumo de energía de los componentes electrónicos.

Componente	Cantidad	Consumo de energía por unidad	Tiempo accionado por hora de ensayo	Consumo de energía total por hora de ensayo
Servomotor	4	360mA	30min	720mAh
Sensor ultrasonido	2	15mA	1h	30mAh
Módulo bluetooth	1	40mA	1h	40mAh
Arduino	10 pines	20mA (por pin)	1h	200mAh
Reg. De voltaje	1	8mA	1h	8mAh
Total				998mAh

Finalmente, en la Figura 4.22 se muestra el diagrama esquemático de conexiones de los componentes electrónicos ya mencionados.

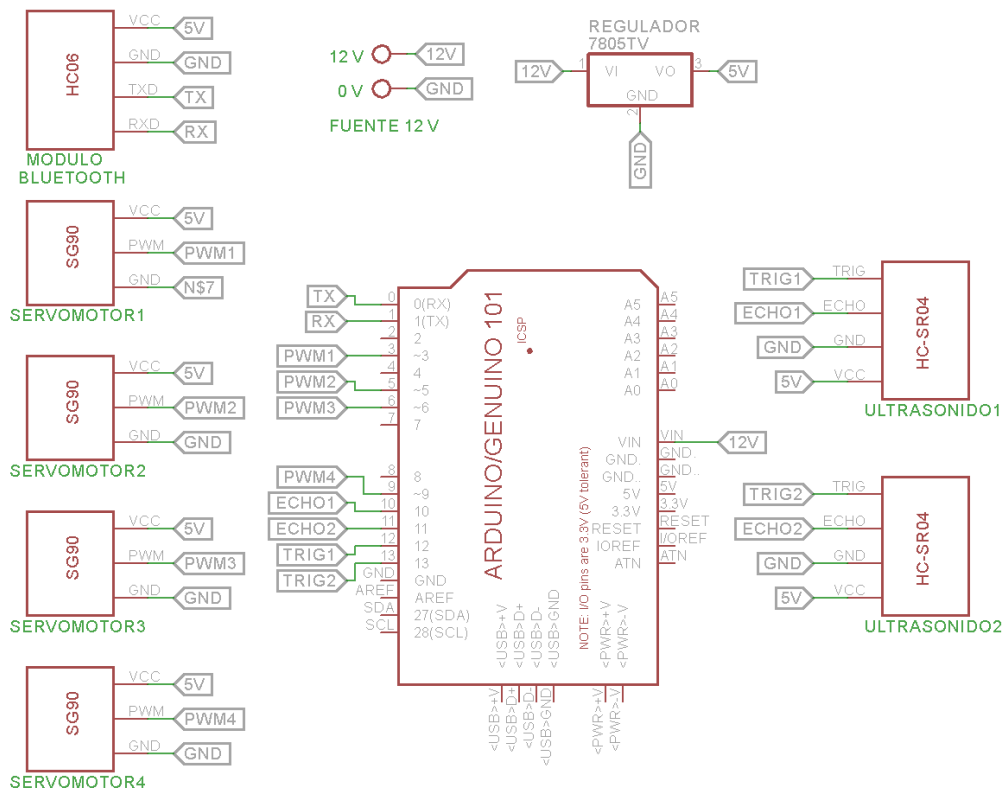


Fig. 4.22: Diagrama esquemático de conexiones

CAPÍTULO 5

PLANOS Y ESTIMACIÓN DE COSTOS

En el presente capítulo se procederá a mostrar la lista de planos de ensamble y despiece del dispositivo diseñado, la cual además servirá para realizar una estimación de los costos de fabricación de dicho dispositivo.

5.1. Lista de planos

El diseño contará con planos, uno de ensamble y 30 de despiece. Estos serán codificados según la siguiente nomenclatura: PXX – AY, donde:

PXX: Plano N° XX

AY: Tamaño de hoja

En la Tabla 5.1 se puede observar la lista de planos según la nomenclatura establecida para el presente trabajo.

Tabla 5.1: Lista de planos del sistema.

Código de plano	Descripción
P00 – A0	Lanzador de balones
P01 – A2	Base
P02 – A4	Chumacera 1
P03 – A4	Chumacera 2
P04 – A4	Eje guía
P05 – A4	Manivela
P06 – A4	Plancha móvil
P07 – A4	Bloque soporte
P08 – A4	Barra de giro
P09 – A3	Armazón 1
P10 – A3	Armazón 2
P11 – A4	Plancha soporte de balón
P12 – A4	Barra rectangular soporte
P13 – A4	Barra rectangular guía
P14 – A4	Platina soporte 1
P15 – A4	Platina soporte 2
P16 – A4	Platina soporte 3
P17 – A4	Platina soporte 4
P18 – A4	Platina soporte 5
P19 – A3	Base soporte
P20 – A4	Trinquete
P21 – A4	Barra rectangular de lanzamiento
P22 – A4	Plataforma de lanzamiento
P23 – A3	Eje de lanzamiento 1
P24 – A3	Eje de lanzamiento 2
P25 – A4	Bocina 12-8x8
P26 – A4	Bocina 12-8x18
P27 – A4	Pin 5x18
P28 – A4	Pin 5x28
P29 – A4	Pin 5x30
P30 – A4	Pin 10x45

5.2. Estimación de costos

A continuación se detallará una estimación de costos para la fabricación del sistema. Cabe resaltar que esta estimación tomará en cuenta los costos directos para la fabricación de una sola unidad. Esto se divide en las siguientes partes: costos de materiales y componentes comerciales, y costos de servicios (mecanizado y ensamble).

5.2.1. Costos por materiales y componentes comerciales

En este apartado se estimará el costo de tanto los componentes comerciales que se usarán así como de los materiales a utilizar en la fabricación de las piezas deseadas.

Primero se estimará el costo de los tornillos, tuercas, arandelas y anillos de retención donde la cantidad de estos se muestra en la Tabla 5.2. Dado que estos elementos se venden al por mayor y que la cantidad de los componentes a usar es relativamente pequeña, se estima que el costo total será de S/. 25, incluido IGV.

Tabla 5.2: Estimación de costos de pernería.

Descripción	Cant.
Tornillo Allen M3x8	8
Tornillo Allen M4x20	2
Tornillo Allen M5x10	24
Tornillo Allen M5x12	21
Tornillo Allen M5x16	12
Tornillo Allen M5x30	4
Tornillo Allen M6x40	4
Tuerca hexagonal M3	8
Tuerca hexagonal M4	2
Tuerca hexagonal M5	48
Tuerca hexagonal M6	4
Arandela ST 6	4
Anillo de retención A3	4
Anillo de retención A5	8
Anillo de retención A8	18
Anillo de retención A10	8

A continuación, se estimará el costo de los componentes comerciales a utilizar. Esto incluye tanto los componentes electrónicos como el tornillo de potencia y los resortes. Cabe resaltar que el costo de los componentes importados fue incrementado en un 80% por gastos de envío. El detalle de los costos se puede observar en la Tabla 5.3. Finalmente, se realizará una estimación de los materiales a utilizar para los procesos de fabricación a realizar. En la Tabla 5.4 se puede encontrar el detalle de estos costos.

Tabla 5.3: Estimación de costos de componentes comerciales.

Desc. De componente	Cant.	Costo unitario	Importación?	Costo total
Arduino UNO R3	1	S/. 79.00	No	S/. 79.00
Bluetooth HC06	1	S/. 22.00	No	S/. 22.00
Ultrasonido HC-SR04	2	S/. 7.00	No	S/. 14.00
Servomotor SG90	4	S/. 9.00	No	S/. 36.00
Batería LiPo	1	S/. 65.45	Si	S/. 117.80
Tornillo de potencia – BK10 – BF10	1	S/. 112.16	Si	S/. 202.00
Resortes ET4289	2	S/. 52.10	Si	S/. 187.60
Resortes de compresión	8	S/. 25.00	No	S/. 200.00
			Subtotal	S/. 858.40
			IGV (18%)	S/. 154.50
			Total	S/. 1,012.90

Tabla 5.4: Estimación de costos de materiales.

Desc. de material	Cant.	Costo unitario	Costo total	
Plancha de aluminio 1m x 1m x 2mm	1	S/. 100.00	S/. 100.00	
Plancha de aluminio 0.5m x 0.3m x 4mm	1	S/. 30.00	S/. 30.00	
Barra circular acero \varnothing 5mm x 1m	1	S/. 5.00	S/. 5.00	
Barra circular acero \varnothing 8mm x 1m	1	S/. 12.00	S/. 12.00	
Barra circular bronce \varnothing 12mm x 1m	1	S/. 12.50	S/. 12.50	
Barra rectangular acero 20mmx10mmx320mm	1	S/. 26.00	S/. 26.00	
Barra rectangular aluminio 30mmx30mmx10mm	1	S/. 3.00	S/. 3.00	
Barra rectangular aluminio 16mmx10mmx260mm	1	S/. 13.00	S/. 13.00	
Perfil angular acero 20x20x1m	2	S/. 22.30	S/. 44.60	
			Subtotal	S/. 246.10
			IGV (18%)	S/. 44.30
			Total	S/. 290.40

5.2.2. Costos por fabricación y ensamble

En los procesos de fabricación se encontraron cuatro procesos para el mecanizado de las piezas: taladrado y doblado en plancha, fresado y taladrado en barras rectangulares, torneado en barras circulares y soldadura de perfiles. Para el primer proceso, se estima un costo de S/. 5 por cada agujero taladrado y por cada doblado realizado. En cuanto a los costos de los demás procesos, se realizó la cotización según plano en talleres locales. En la Tabla 5.5 se muestra los costos de fabricación agrupados por procesos.

Tabla 5.5: Estimación de costos de servicios.

Desc. de servicio	Cant.	Costo unitario	Costo total
Taladrado y doblado en plancha	171	S/. 5.00	S/. 855.00
Fresado y taladrado en barras rectangulares	1	S/. 470.00	S/. 470.00
Torneado en barras circulares	1	S/. 286.00	S/. 286.00
Soldado de estructura	1	S/. 260.00	S/. 260.00
		Subtotal	S/. 1,611.00
		IGV (18%)	S/. 290.00
		Total	S/. 1,901.00

En cuanto al ensamble, el costo será estimado según el tiempo a utilizar. Se considerará un aproximado de 20 horas-hombre, a un costo de S/. 20 por hora para realizar el ensamble total. Por ello, el costo de ensamble se estima en S/. 400.

De esta manera, en la Tabla 5.6 se observa que el costo directo total del dispositivo asciende a S/. 3,992.20 considerando un monto del 10% para posibles imprevistos.

Tabla 5.6: Costo directo total.

Desc. de servicio	Costo
Pernería	S/. 25.00
Componentes comerciales	S/. 1,012.90
Materiales	S/. 290.40
Fabricación	S/. 1,901.00
Ensamble	S/. 400.00
Subtotal	S/. 3,629.30
Imprevistos (10%)	S/. 362.90
Total	S/. 3,992.20

Al ser un dispositivo desarrollado para uso particular en el proyecto para el cual se diseñó, se omitió el costo por diseño. En caso este dispositivo se distribuya fuera del proyecto, se le añadiría el costo por diseño el cual se estima en 40 horas-hombre, a un costo de S/. 50 por hora. Por ello, el costo por diseño sería de S/. 2000

CAPÍTULO 6

MÓDULO DE PRUEBAS Y ENSAYOS PRELIMINARES

En el presente capítulo se describirá la integración de los componentes seleccionados para los ensayos y el dispositivo diseñado. Primero se detallará la ubicación espacial de los componentes en el ambiente de trabajo. Luego, se explicará el procedimiento para llevar a cabo las pruebas deseadas. Posteriormente, se describirá el tratamiento de la información obtenida de los diferentes dispositivos. Finalmente, se presentarán resultados obtenidos de un ensayo preliminar realizado en el Laboratorio de Investigación en Biomecánica y Robótica Aplicada (LIBRA) de la PUCP.

6.1. Ubicación de los componentes del módulo de pruebas

En esta sección se especifican las dimensiones y ubicación de los componentes a utilizar: sistema de captura de movimiento, sistema de captura de fuerza y el lanzador de balones.

Como se mencionó en la sección 3.1, el sistema de captura de movimiento consistirá en el uso de cámaras Panasonic HC-VX980 en modo *slow-motion* (240fps). Para enfocar todo el movimiento de la persona, se requiere una distancia mínima de 5m y que la cámara se encuentre girada a 90° y ubicada sobre un trípode como se muestra en la Figura 6.1.



Fig. 6.1: Ubicación de la cámara sobre el trípode.

De la misma manera, el sistema de captura de fuerza estará compuesto de dos plataformas de fuerza AMTI OPT400600. Estos componentes requieren ser colocados en alguna configuración especial dependiendo de la acción que se desee estudiar. Actualmente el laboratorio cuenta con una estructura móvil que permite ubicar las plataformas en distintas posiciones, siendo una de ellas la deseada para el presente estudio. Las dimensiones de esta estructura son 1,6m x 1,4m x 15cm y se puede observar en la Figura 6.2.



Fig. 6.2: Estructura móvil para plataformas de fuerza.

De acuerdo al diseño presentado para el lanzador de balones, éste puede estar ubicado entre 5m y 10m de distancia desde la red. Considerando todas las dimensiones mencionadas, en la Figura 6.3, se muestra un esquema de ubicación de los equipos sobre una cancha de vóley.

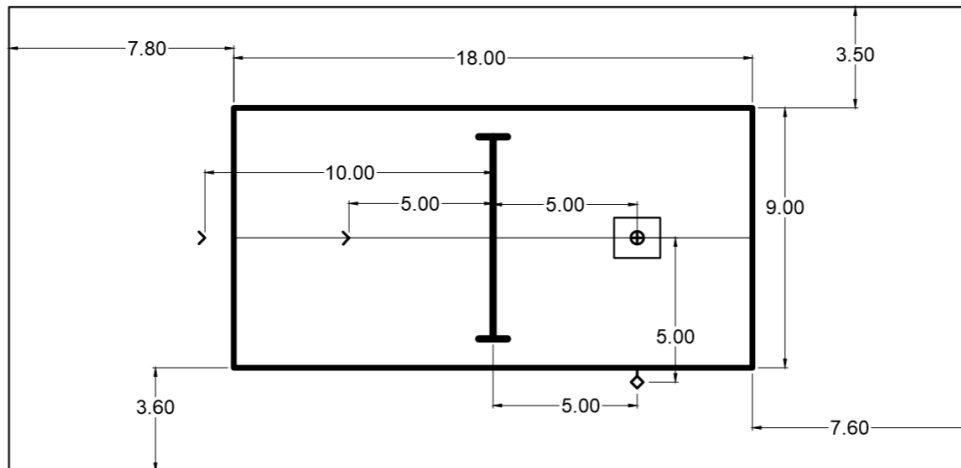


Fig. 6.3: Esquema de ubicación de equipos sobre una cancha de vóley, dimensiones en metros. Leyenda: cámara (⚡), ubicación del lanzador de balones (>), sujeto de pruebas (⊕)

6.2. Protocolo de ensayo

En primer lugar, se ubicarán los componentes tal como se describió en la sección 6.1. Luego, se procederá a informar a los participantes sobre el estudio a realizar, y se les indicará que durante la captura de información realicen sus movimientos lo más simétrico posible para efectos del estudio.

Cuando los participantes se encuentren listos, se realizará la ubicación de los marcadores al sujeto de prueba, se decidió que estos serán ubicados en el lado izquierdo del cuerpo para uniformizar las pruebas. Las posiciones a utilizar se muestran en la Tabla 6.1 [WINTER,2009], quedando finalmente como se muestra en la Figura 6.4. Adicionalmente, se ubican dos marcadores sobre el suelo separados 60cm en el plano de movimiento para tener una referencia fija.

Tabla 6.1: Posición física de marcadores

Nombre de la articulación	Posición física
Muñeca	Estiloides cubital
Codo	Eje del codo
Hombro	Articulación glenohumeral
Cintura	Trocánter mayor
Rodilla	Cóndilo femoral
Tobillo	Maléolo medio
Metatarso	Cabeza del segundo metatarsiano



Fig. 6.4: Ubicación de marcadores en el cuerpo

Posterior a la ubicación de los marcadores sobre el sujeto de prueba, se procede a iniciar la captura de datos tanto con el sistema de captura de movimiento como con el sistema de captura de fuerzas. Una vez iniciada la captura de movimiento, el sujeto de prueba se ubica sobre las plataformas de fuerza y se procede a realizar el lanzamiento del balón que terminará con la realización del gesto técnico de recepción baja que hará el sujeto de prueba. Todo este proceso se muestra en el diagrama de la Figura 6.5.



Fig. 6.5: Diagrama de pasos para la captura de información

6.3. Procesamiento de información

Una vez culminada la fase de captura de información, se procede a procesarla. La información de las plataformas de fuerza puede ser exportada en un archivo en formato (.csv), mientras que la información de la captura de movimiento se obtiene en forma de videos en formato (.mp4). Es por ello que en primer lugar se procede a procesar los videos para obtener información cinemática que pueda ser incorporada al modelo biomecánico.

Este procesamiento se realiza por medio del software Kinovea²¹ el cual permite realizar el seguimiento de puntos claramente diferenciados en un video. En este caso, este software será utilizado para obtener la trayectoria de los marcadores observados en el video. Estas trayectorias luego son exportadas en forma de coordenadas en un archivo en formato (.xml).

²¹ Kinovea. <https://www.kinovea.org/>

Teniendo la información exportada de las plataformas de fuerza y el resultado del procesamiento por el software Kinovea, se procede a realizar un pre-procesamiento a la información antes de ingresarla al modelo biomecánico. Este pre-procesamiento se realiza con el software Matlab y consiste en la eliminación de ruido de la información de entrada, así como la conversión de la información de trayectorias a aceleraciones las cuales son entradas del modelo.

La eliminación de ruido se realiza mediante un filtrado. Dado que el ruido usualmente pertenece a un espectro de alta frecuencia, se utiliza un filtro pasabajos. La frecuencia de corte se determina experimentalmente observando el espectro de frecuencia de las señales obtenidas tal como se muestra en la Figura 6.6, en este caso bastaría con una frecuencia de corte de 2 Hz. Este filtro será considerado del tipo *butterworth* de cuarto orden, siendo éste el más utilizado en los estudios revisados. El filtrado se realizará tanto para la información de las plataformas como para la información de las trayectorias. En la Figura 6.7 se puede observar una comparación entre la trayectoria de la cintura antes y después de ser filtrada.

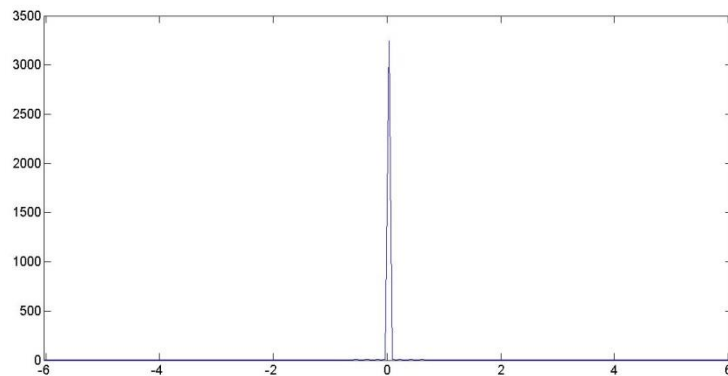


Fig. 6.6: Ejemplo de espectro de frecuencia para una señal de entrada.

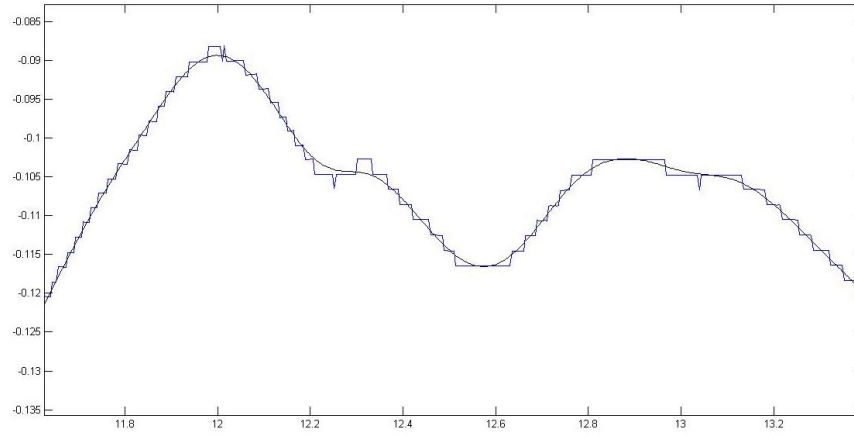


Fig. 6.7: Comparación entre trayectoria de la cintura antes y después de ser filtrada.

Luego, se procede a determinar las trayectorias de los centros de masa de los segmentos a analizar, así como la orientación de estos mismos. Para la ubicación de la trayectoria se utiliza la información brindada en la Tabla 2.1, la cual muestra la ubicación del centro de masa a partir del extremo inicial del segmento en relación a la longitud del segmento. En cuanto a la orientación, se utiliza la función *cart2pol* que brinda tanto la longitud del segmento como su ángulo con respecto a los ejes cartesianos. De esta manera, se procede a obtener tanto la aceleración lineal como la aceleración angular de los segmentos a analizar. Ello se obtiene por una doble derivación y para ello se utiliza las ecuaciones (6.1) a (6.4), las cuales representan la forma de derivar información discreta.

$$v(n) = \frac{r(n+1) - r(n-1)}{2 \times t_s} \quad (6.1)$$

$$a(n) = \frac{v(n+1) - v(n-1)}{2 \times t_s} \quad (6.2)$$

$$\omega(n) = \frac{\theta(n+1) - \theta(n-1)}{2 \times t_s} \quad (6.3)$$

$$\alpha(n) = \frac{\omega(n+1) - \omega(n-1)}{2 \times t_s} \quad (6.4)$$

Donde:

$r(n)$: posición (m)

$v(n)$: velocidad lineal (m/s)

$a(n)$: aceleración lineal (m/s²)

$\theta(n)$: orientación angular (rad)

$\omega(n)$: velocidad angular (rad/s)

$\alpha(n)$: aceleración angular (rad/s²)

Posteriormente, se utilizan las ecuaciones (2.4) a (2.16), que representan el modelo dinámico propuesto, y se ingresan las aceleraciones obtenidas luego de realizar la doble derivación. Con ello se obtiene una estimación de la fuerza de contacto pie-piso a partir de la captura de movimiento.

Por último, se procede a comparar la fuerza obtenida por la estimación con la fuerza medida en las plataformas de fuerza. Dado que estas informaciones fueron obtenidas a diferentes frecuencias de muestreo debido a las características del hardware utilizado, se realiza una interpolación de la fuerza estimada (inicialmente de 240Hz) para así obtenerla a una frecuencia de 500Hz. Luego se realiza una sincronización de la información, para ello se ubica el primer pico que se obtenga en ambas informaciones y se superponen realizando un desfase temporal (Figura 6.8). Una vez superpuestos, los resultados medidos y estimados, se procede a determinar las siguientes variables: error absoluto, error relativo, error cuadrático medio y coeficiente de correlación de Pearson. Con estas variables es posible determinar el grado de similitud entre ambas informaciones comparadas.

Todo este proceso de procesamiento de información se puede observar resumido en el diagrama de flujo mostrado en la Figura 6.9.

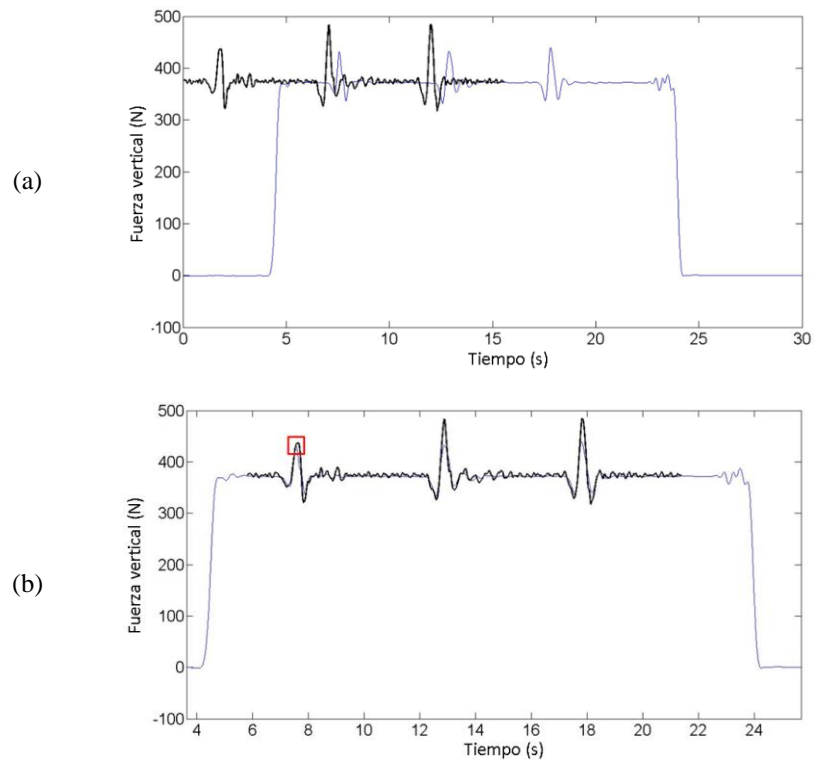


Fig. 6.8: Proceso de sincronización de información. (a) Superposición sin sincronización, (b) Superposición del primer pico en ambas informaciones. Línea azul: fuerza medida en plataformas, línea negra: fuerza estimada por modelo

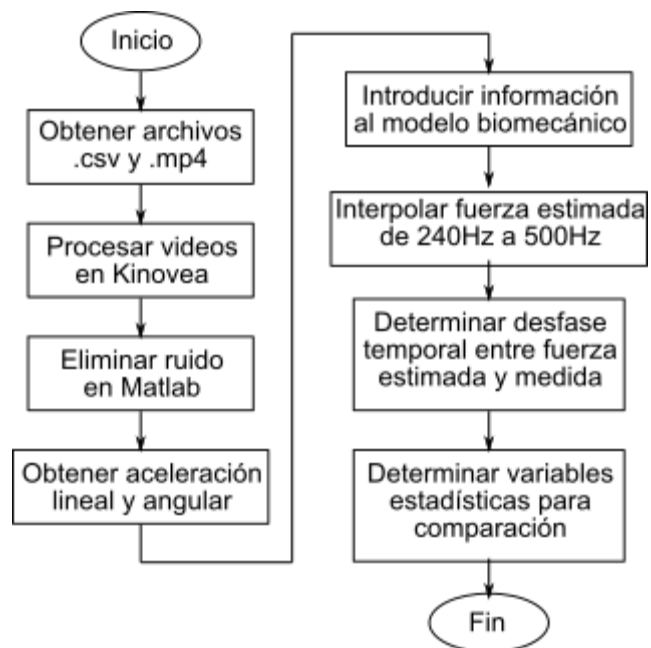


Fig. 6.9: Proceso de procesamiento de información.

6.4. Resultados de ensayos preliminares

De manera preliminar, se realizaron ensayos con el equipo que se contaba en el laboratorio a la fecha de la redacción del documento, el cual consistía de las dos plataformas de fuerza AMTI OPT400600 y de una cámara de un móvil iPhone 6S plus. Se utilizó la cámara de dicho dispositivo móvil puesto que las cámaras Panasonic estaban en proceso de compra. Debido a que no se contaba con un lanzador de balones, este lanzamiento se realizó de manera manual.

En este ensayo se contó con la presencia de 5 jugadoras de la selección de vóley de la PUCP. Se siguió el protocolo descrito en la sección 6.2 y se realizó tres capturas con cada jugadora, donde cada captura consistió en tres lanzamientos de balón. Una vez conseguida la información, se procedió a descartar aquellos videos en los cuales se perdía la simetría en el ensayo. De esta manera la cantidad de ensayos válidos a usar fueron ocho, a los cuales se les realizó el tratamiento de información descrito en la sección 6.3. La comparación de la fuerza medida con la fuerza estimada puede ser observada en la Figura 6.8, mientras que el error porcentual relativo puede ser observado en la Figura 6.9.

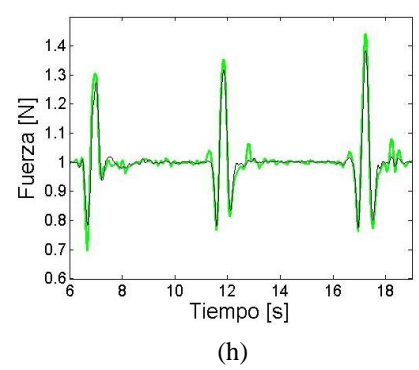
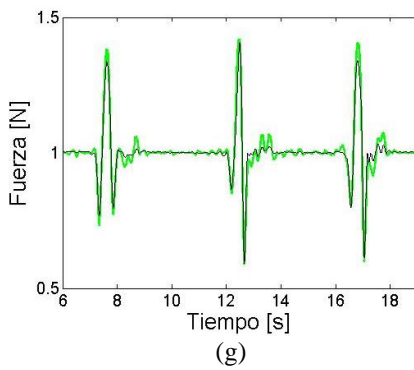
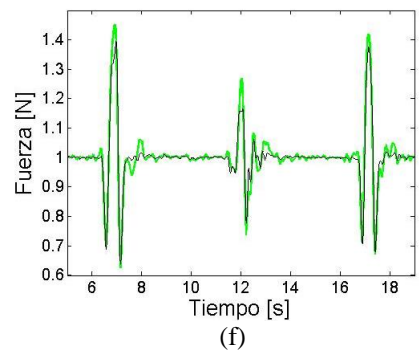
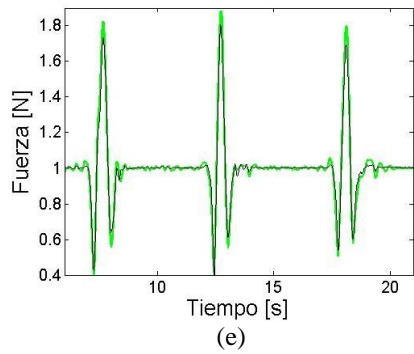
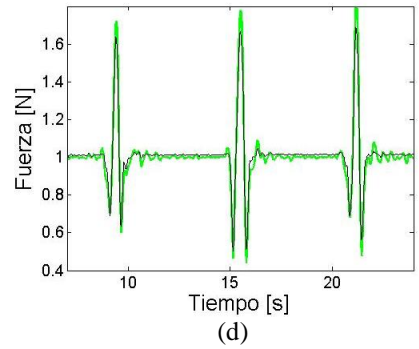
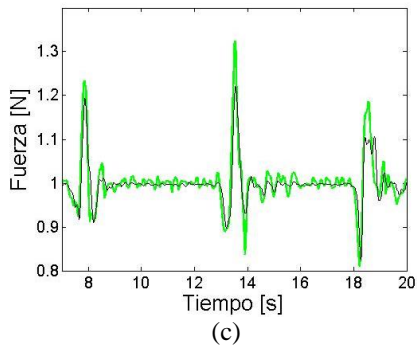
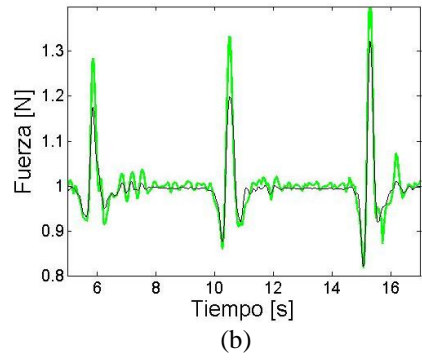
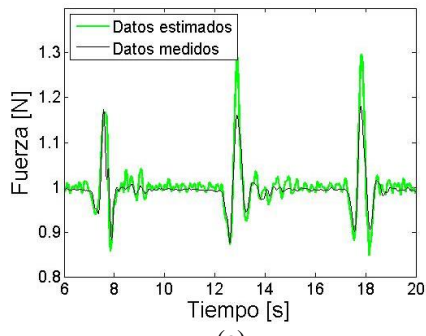


Fig. 6.10: Fuerzas de contacto pie-piso estimadas (línea gruesa) vs medidas (línea delgada).
 (a) S3E1, (b) S3E2, (c) S3E3, (d) S4E2, (e) S4E3, (f) S5E1, (g) S5E2 y (h) S5E3
 (SxEy: Sujeto de ensayo x, ensayo y)

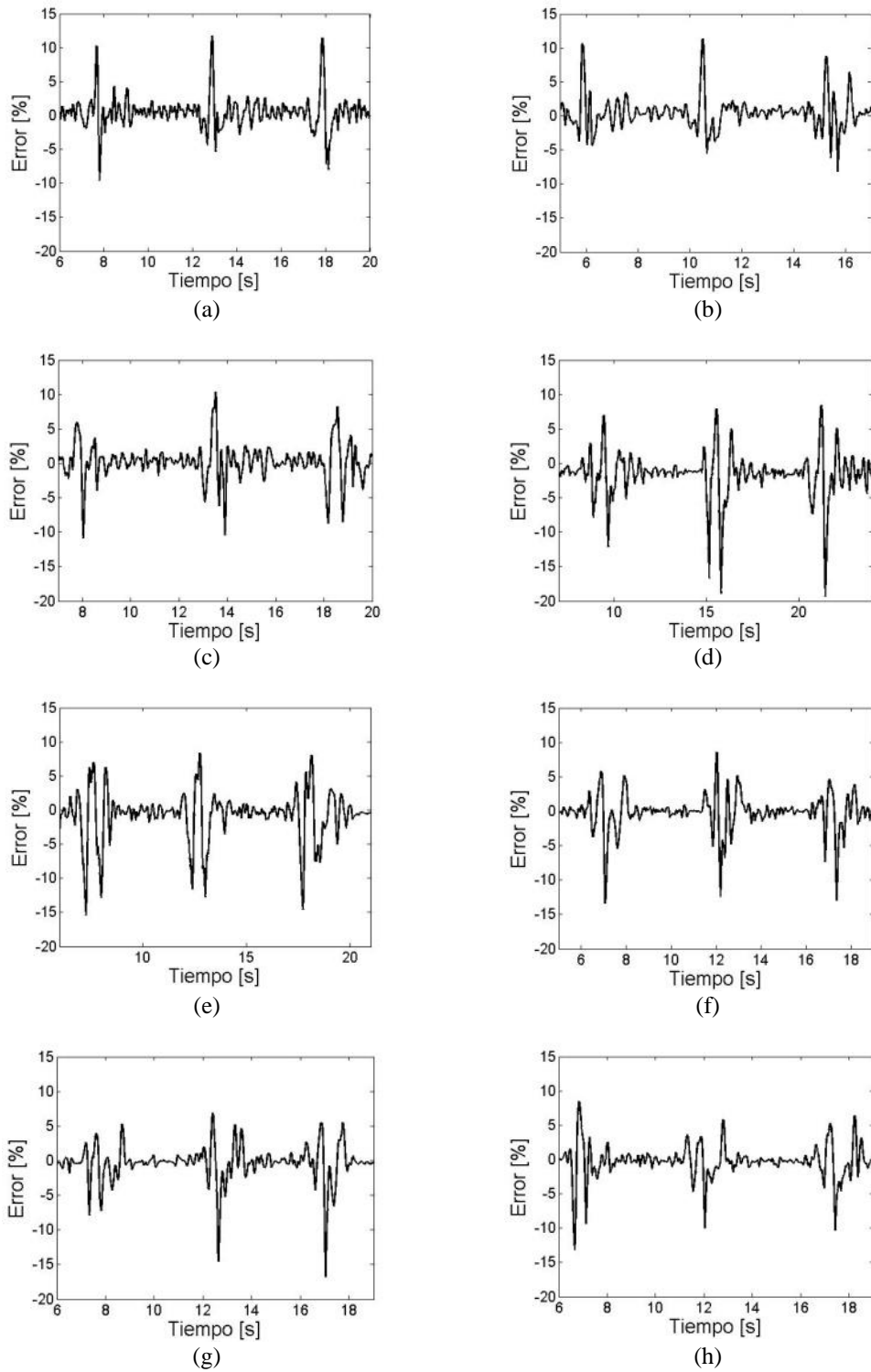


Figura 6.11: Error relativo entre las fuerzas de contacto pie-piso estimadas y medidas
 (a) S3E1, (b) S3E2, (c) S3E3, (d) S4E2, (e) S4E3, (f) S5E1, (g) S5E2 y (h) S5E3
 (SxEy: Sujeto de ensayo x, ensayo y)

Como se describió al término de la sección 6.3, también se analizan parámetros estadísticos que permitan cuantificar el grado de comparación entre ambas informaciones. Estos parámetros se pueden encontrar en la Tabla 6.2.

Tabla6.2: Parámetros estadísticos analizadas

Ensayo	Coef. de corr.(ρ)	RMSE	Media de fuerza estimada (\bar{f}_{est})	Media de fuerza medida (\bar{f}_{med})
S3E1	0.9427	0.0244	0.999	0.995
S3E2	0.9619	0.0258	1.000	0.996
S3E3	0.8996	0.0267	1.001	0.999
S4E2	0.9937	0.0340	1.000	1.014
S4E3	0.9933	0.0342	1.000	1.004
S5E1	0.9742	0.0264	1.000	1.002
S5E2	0.9823	0.0249	1.000	1.003
S5E3	0.9740	0.0247	1.000	1.002

Como se mencionó, este análisis se realizó de manera preliminar. Se espera que una vez construido el dispositivo diseñado en el presente trabajo, se puedan realizar nuevos ensayos que podrían mostrar mejores resultados a los presentados en este documento.

OBSERVACIONES

1. Como se mencionó anteriormente, el modelo biomecánico propuesto abarca solamente movimientos simétricos con respecto al plano sagital. Se deja para futuros estudios la posibilidad de realizar el análisis en movimiento que salgan de dicho plano.
2. Los sistemas escogidos para el análisis de captura de movimiento y captura de fuerzas se basó en la disponibilidad de estos en el laboratorio LIBRA. Esto no impide que se pueda realizar un ensayo similar utilizando otros equipos.
3. Como se mostró en el análisis de la información, la sincronización de los datos obtenidos se realizó de manera manual posterior al ensayo. Esto podría mejorarse con la implementación de un sistema de sincronización online con el cual el tiempo de procesamiento se reduciría notoriamente.
4. Si bien el dispositivo funcionando al 100% de la carga es suficiente para realizar los lanzamientos de balón deseados en una cancha de vóley, se optó por considerar lanzamiento con menor carga para poder realizar los lanzamientos en ambientes más pequeños como un laboratorio.

CONCLUSIONES

1. El modelo biomecánico presentado permitió cumplir el objetivo principal del presente trabajo, el cual consistió en poder estimar las fuerzas internas de una persona y las fuerzas de contacto pie-piso. Esta estimación resultó ser aceptable tal como se puede apreciar en los resultados obtenidos en los ensayos preliminares, los cuales se pudieron llevar a cabo gracias a la integración de equipos propuesta en el módulo de ensayos. Si bien no se llegó a implementar el módulo de ensayos propuesto de manera íntegra, se espera que su pronta implementación permita reproducir de manera más eficaz los ensayos requeridos.
2. Siguiendo la metodología presentada en este trabajo se diseñó un dispositivo lanzador de balones de acuerdo a los requerimientos solicitados.
3. El costo del lanzador de balones resulta más económico con respecto a los ya existentes comercialmente (S/. 3,992.20 vs \$ 3000.00).
4. En el ensayo experimental preliminar se observó que la fuerza de impacto del balón sobre el brazo no era apreciable en las plataformas, al contrario de lo estimado en el presente trabajo. Esto indica que el modelo propuesto aún debe mejorarse para que pueda estimar de manera correcta dicha fuerza de impacto.

BIBLIOGRAFÍA

[CHAUHAN, 2013]

CHAUHAN, Rahulsinh et al. Lower Limb Musculoskeletal for Standing and Sitting Event by using Musculoskeletal Modeling Software. En *International Journal for Scientific Research & Development*, 2013; 1: 97-100.

[DAMSGAARD, 2006]

DAMSGAARD, Michael et al. Analysis of musculoskeletal systems in the AnyBody Modeling System. En *Simulation Modelling practice and Theory*, 2006; 14: 1100-1111.

[FIVB, 2011]

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DE VOLLEYBALL. MANUAL PARA ENTRENADORES. 2011

[GUTIERREZ, 1998]

GUTIERREZ DÁVILA, Marcos. Biomecánica Deportiva. Editorial Síntesis. Madrid, España. 1998

[KAPIDZIC, 2014]

KAPIDZIC, Alen. Kinematic analysis forearm passing in volleyball at different distances. En *Journal of Education and Practice*, 2014; 5: 75-84.

[KINGMA, 1996]

KINGMA, Idsart. Validation of a full body 3-D dynamic linked segment model. En *Human Movement Science*, 1996; 15: 833-860.

[LOGAR, 2015]

LOGAR, Grega. Estimation of Joint Forces and Moments for the In-Run and Take-Off in Ski Jumping Based on Measurement with Wearable Inertial Sensors. En *Sensors*, 2015; 15: 11258-11276.

[RAMÓN, 2009]

RAMÓN SUÁREZ, Gustavo. Biomecánica Deportiva. En *Biomecánica deportiva y control del entrenamiento*. Funámbulos Editores. Medellín, España. 2009

[SAUL, 2015]

SAUL, Katherine et al. Benchmarking of dynamic simulation predictions in two software platforms using an upper limb musculoskeletal model. En *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineerign*, 2015; 13:1445-1458.

[SHARMA, 2013]

SHARMA, Ashish et al. Motion Capture Process, techniques and applications. En *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 2013; 1:251-257.

[SKF, 2013]

SFK. Precision rolled ball screws [Catálogo]. Consultado: 22 de mayo del 2017.
<www.skf.com/binary/21-149715/Precision-rolled-ball-screws---6971_1-EN.pdf>

[WAGNER, 2009]

WAGNER, Herbert et al. Kinematic analysis of volleyball spike jump. En *International Journal of Sports Medicine*, 2009; 30: 760-765.

[WINTER, 2009]

WINTER, David. Biomechanics and Motor Control of Human Movement. Cuarta Edición. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey, Estados Unidos. 2009

[ZAHRADNIK, 2014]

ZAHRADNIK, David. Ground Reaction Force and Valgus Knee Loading during Landing after a Block in Female Volleyball Players. En *Journal of Human Kinetics*, 2014; 40: 67-75

ANEXOS

ANEXO A: Cinemática del balón

Existen estudios estadísticos sobre los saques en el voleibol. En la tabla 4.1 se muestran los resultados obtenidos en un estudio realizado en Escocia sobre la velocidad de lanzamiento en el saque [SHAHBAZI-MOGHADDAM, 2002].

Tabla A.1: Estadísticas de la velocidad de lanzamiento en el saque.

Grupo	Tipo de saque	Velocidad de lanzamiento
Selección Nacional	Sobre cabeza	17,8 +- 0,5 m/s
	Con salto	19,3 +- 1,0 m/s
Selección Universitaria	Sobre cabeza	15,3 +- 1,3 m/s
	Con salto	16,6 +- 0,0 m/s
Principiantes	Sobre cabeza	13,3 +- 0,5 m/s
	Con salto	14,9 +- 0.9 m/s

Adicionalmente, se puede realizar un análisis ideal de la cinemática del balón asumiendo que realiza un movimiento parabólico perfecto. Para ello se asumirá que el lanzamiento se realiza a un metro sobre el piso y que la recepción se realiza a un metro sobre el piso. Por requerimientos de los ensayos, la persona que recepcionará estará ubicada aproximadamente a 5 m de la red, la cual cuenta con 2,43m de altura²². Para facilitar los cálculos, se asumirá que la altura mínima que debe alcanzar el balón al llegar sobre la red será de 2,5 m. Se analizarán cuando el lanzador de balones se ubica a 5 m de la red.

En el caso del lanzador a 5 m de la red, se obtiene un esquema como el de la Figura 4.1. Las posiciones correspondientes al movimiento se muestran en las ecuaciones (4.1) y (4.2).

²² Reglas oficiales de Voleibol 2017. Consulta: 22 de mayo.
http://www.fivb.org/EN/Refereeing-Rules/documents/FIVB-Volleyball_Rules_2017-2020-EN-v06.pdf

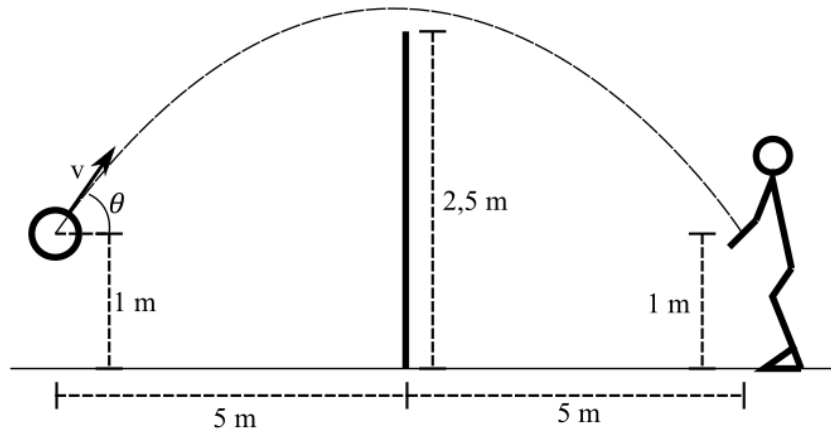


Fig. A.1: Esquema para lanzador a 5 m de la red

$$x(t) = v \cos(\theta) t \quad (\text{A.1})$$

$$h(t) = 1 + v \sin(\theta) t - \frac{1}{2} g t^2 \quad (\text{A.2})$$

Considerando que cuando $x(t) = 5\text{ m}$ se tiene $h(t) = 2,5\text{ m}$ y sabiendo que $x(t_f) = 10\text{ m}$, $h(t_f) = 1\text{ m}$ se obtiene $v = 10,54\text{ m/s}$ y $\theta = 30,96^\circ$

Asumiendo un ángulo de lanzamiento de 45° (máximo desplazamiento horizontal), se obtiene que se requiere un valor de $v = 9,9\text{ m/s}$.

Con estos resultados se concluye que considerando la posición del lanzador sea de 5m de distancia de la red, se requiere un ángulo mínimo de $30,96^\circ$ junto con una velocidad de 10,54m/s con las suposiciones consideradas. Es por ello que se decidió que el mecanismo fuera capaz de alcanzar ángulos entre 30° y 60° , rango que cumple con el límite determinado. Además, se considerará una velocidad de lanzamiento de 10m/s la cual abarcará los lanzamientos deseados sobre la red y en caso se requiera un mayor ángulo de recepción, se puede acercar el dispositivo. En este caso, se puede utilizar un ángulo de lanzamiento de hasta 60° y según las ecuaciones (A.1)-(A.2) se obtiene que es posible acercar el dispositivo hasta una distancia de 1m de la red para que el balón aún pueda pasar sobre la red.

ANEXO B: Requerimientos mínimos de los resortes

El mecanismo de transmisión de energía hacia la pelota consiste en convertir energía potencial almacenada en dos resortes (B-1) a energía cinética de un pistón (B-2) el cual impactará sobre el balón (B-3) generando el lanzamiento.

$$E_p = 2\left(\frac{1}{2}kx^2\right) \quad (\text{B-1})$$

$$E_K = \frac{1}{2}m_1v_1^2 \quad (\text{B-2})$$

$$m_1v_1 = m_2v_2 \quad (\text{B-3})$$

Donde: k : constante del resorte (N/mm)

x : deformación del resorte (mm)

m_1 : masa del pistón de lanzamiento (g)

v_1 : velocidad del pistón de lanzamiento (m/s)

m_2 : masa del pistón de lanzamiento junto con la pelota (g)

v_2 : velocidad de salida del balón (m/s)

Para un cálculo preliminar se considerará una masa de pistón $m_1 = 500g$, lo cual implica que $m_2 = 780g$. Como se observó en el ANEXO A, se requiere poder alcanzar una velocidad de $10m/s$, por lo que se trabajará con $v_2 = 10m/s$.

De (B-3):

$$v_1 = \frac{m_2v_2}{m_1} = 15.6m/s \quad (\text{B-4})$$

De (B-2) y (B-4):

$$E_K = \frac{1}{2}m_1v_1^2 = 60.84N.m \quad (\text{B-5})$$

Igualando (B-1) y (B-5):

$$2 \left(\frac{1}{2} kx^2 \right) = 60.84N.m \quad (\text{B-6})$$

La ecuación (B-6) puede ser expresada como:

$$(kx)(x) = 60.84N.m \quad (\text{B-7})$$

Donde kx representa la fuerza en el resorte y x representa la deformación del resorte. Debido a que el estiramiento de los resortes se realizará de manera manual, se considerará que la fuerza en cada resorte no debe sobrepasar el valor de $200N$. Adicionalmente, como se estimó la masa del pistón para realizar estos cálculos, se considerará un factor de 1.2 para compensar cualquier cambio en la masa final del pistón.

De esta manera se obtiene:

$$200x > (kx)(x) = 60.84N.m * 1.2 \quad (\text{B-8})$$

$$x > 0.365m \quad (\text{B-9})$$

$$200 > kx > 0.365k \quad (\text{B-10})$$

$$k < 0.548N/mm \quad (\text{B-11})$$

De esta manera, se requiere que la máxima deformación del resorte sea mayor a $365mm$ y que la constante del resorte sea menor a $0.548N/mm$.

ANEXO C: Cinemática para regulación de ángulo de lanzamiento

El mecanismo para la regulación del ángulo de lanzamiento se muestra en la Figura 4.4. Por la geometría del mecanismo, se obtiene la ecuación (4.7).

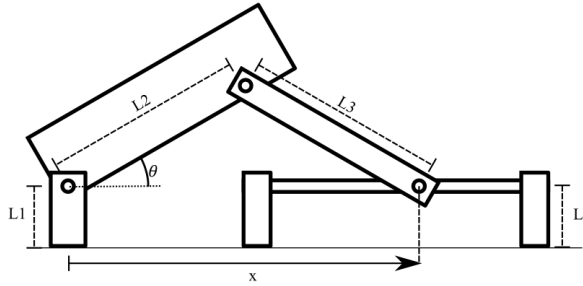


Fig. B.1: Mecanismo para regulación de ángulo de lanzamiento

$$x = l_2 \cos(\theta) + \sqrt{l_3^2 - (l_2 \sin(\theta))^2} \quad (4.7)$$

Con el objetivo de simplificar el dimensionamiento, se considerará que $l_2 = l_3$, con lo cual se obtiene la ecuación (4.8).

$$x = 2l_2 \cos(\theta) \quad (4.8)$$

Como el resorte seleccionado en la sección 4.1.1 cuenta con una longitud natural de 24,3cm y se espera que se extienda 40cm, entonces el mecanismo de lanzamiento medirá al menos 64,3cm. Es por ello que para evitar que la barra l_3 sufra mucha carga, se considerará preliminarmente $l_2 = l_3 = 40\text{cm}$ (un poco mayor a la mitad). La longitud l_1 dependerá de la selección del soporte del tornillo de potencia. De esta manera, considerando que el ángulo de lanzamiento varía entre 30° y 60° , se obtiene que x está entre 40cm y 69,28cm.

Por lo tanto, las posiciones iniciales y finales del sistema de elevación deberán ser como se muestra en las Figura 4.5. A partir de ello, se observa que será necesario considerar un tornillo de potencia de una longitud de trabajo de al menos 29,3cm y el inicio de la zona de trabajo de éste deberá estar a 40cm del soporte trasero del sistema de elevación.

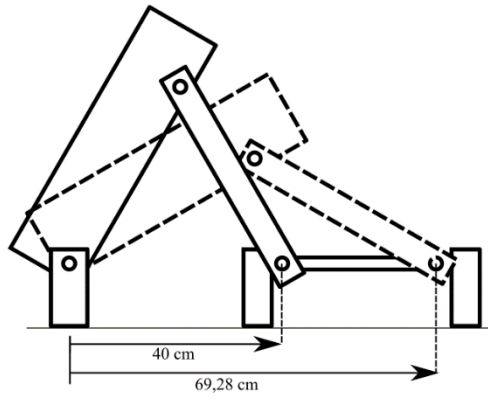


Fig. B.2: Posición inicial y final del mecanismo de regulación de ángulo.

ANEXO D: Cálculo aproximado de cargas en la barra L3

La configuración en la cual se encuentra la barra se muestra en la Figura 4.3 y tanto su DCL como el DCL del mecanismo de lanzamiento se muestran en la Figura 4.6. A partir de dichos DCL's se obtienen las ecuaciones (4.9)-(4.12).

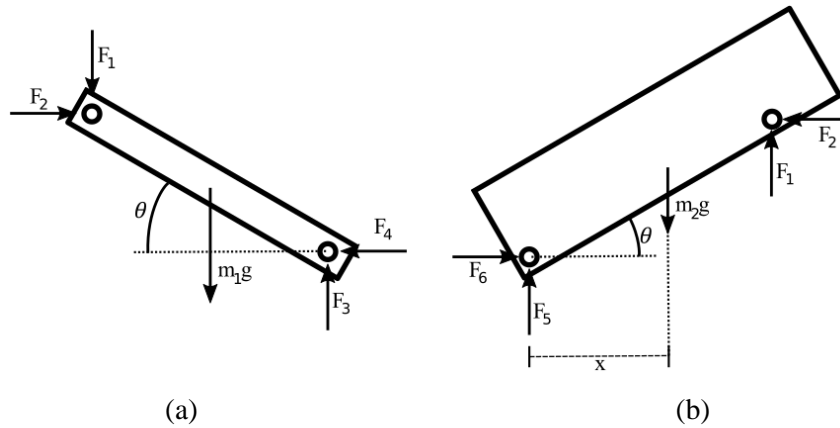


Fig. C.1: Diagramas de cuerpo libre. (a) Barra, (b) Mecanismo de lanzamiento

$$2F_1 + m_1g = 2\text{tan}(\theta)F_2 \quad (4.9)$$

$$F_3 = F_1 + m_1g \quad (4.10)$$

$$F_4 = F_2 \quad (4.11)$$

$$\frac{x}{40} \frac{m_2}{2} g = F_1 \cos(\theta) + F_2 \text{sen}(\theta) \quad (4.12)$$

Considerando que el peso de la barra es aproximadamente $m_1 = 0,7 \text{ kg}$ y que el peso del mecanismo de lanzamiento es aproximadamente $m_2 = 10 \text{ kg}$, y considerando un valor de $x = 30 \cos(\theta)$, y analizando en los extremos $\theta = 30^\circ$ y $\theta = 60^\circ$ se obtiene los resultados mostrados en la Tabla 4.5.

Tabla C.1: Estimación de fuerzas

Fuerza	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 60^\circ$
F_1	16,68 N	16,68 N
F_2	34,83 N	11,61 N
F_3	23,54 N	23,54 N
F_4	34,83 N	11,61 N

ANEXO E: Cotizaciones

A continuación se procederá a mostrar las cotizaciones realizadas para la estimación de costos del dispositivo lanzador de balones. Esto se dividirá en dos secciones: componentes electrónicos y componentes mecánicos.

E.1. Componentes electrónicos

Todos los componentes electrónicos a utilizar pueden ser adquiridos en la empresa CREATIVIDAD AHORA, a excepción de la batería LiPo la cual debe ser importada de la empresa HOBBYKING, ver Figuras E.1-E.2.



The screenshot shows the website interface for 'Creatividad Ahora'. At the top right, there is a shopping cart icon with '151.00', a login button 'Ingresar', and a registration button 'Registrarse'. Below this is a search bar with the text 'Buscar Aquí' and a magnifying glass icon. A navigation menu contains links for 'Inicio', 'Nosotros', 'Productos', 'Evento', 'Descarga', 'Blog', and 'Contacto'. The main heading is 'Tu Carrito de Compra'. Below the heading is a breadcrumb trail: 'INICIO > PRODUCTOS > RESUMEN DE CARRITO'. The cart items are listed in a table with columns for 'Productos', 'Cantidad', 'Precio', 'Total', and 'Acción'.



Productos	Cantidad	Precio	Total	Acción
 Arduino UNO R3	1	S/ 79.00	S/ 79.00	x
 MicroServo SG90	4	S/ 9.00	S/ 36.00	x
 Sensor Ultrasonido HCSR04	2	S/ 7.00	S/ 14.00	x
 Bluetooth HC06	1	S/ 22.00	S/ 22.00	x

Fig. E.1: Costo de componentes electrónicos en mercado local.

Cesta De La Compra

Termine su compra ahora y gane **16** puntos de recompensa por este pedido.
 Aprende más...
 Sólo se aplica a los clientes registrados. Puede variar después de iniciar sesión.

Artículo	Cantidad	Warehouse	Existencias	Descripción Del Producto	Peso	Total
	- 1 +	International (Hong Kong)	Aceptar	T3000.3S.30 Turnigy 3000mAh 3S Lipo 30C Paquete	355g	20,12 \$

SEGUIR SUS COMPRAS

Peso total: 355g
Suma total 20,12 \$

Checkout with **PayPal** **PAGO**

Fig. E.2: Costo de batería LiPo.


E.2. Componentes mecánicos

En cuanto a los componentes mecánicos, se cotizo en mercado extranjero tanto el tornillo de potencia como el resorte de extensión a utilizar, ver Figuras E.3-E.4.

AliExpress Estoy buscando... Todas las categorías

Tienda: **SRF MACHINAL PARTS** Antigüedad: 2 años Sin valoraciones Seguir

Inicio > Todas las categorías > Mejoras para el hogar > Hardware > Hardware mecánico > Guías lineales



1pcs SFU1204-400mm
1pcs ballnut
1set BK/BF10

100% SATISFACTION GUARANTEED

1 unids 12mm 1204 Longitud 400mm C7 Rodó Tornillo de la Bola SFU1204 Ballscrew + 1 unids SFU1204 ballnut + 1 Unidades BK/BF10 ballscrew end soporte

Ver nombre original del producto en inglés

★★★★★ 5.0 (1 votos) 2 vendidos

Precio: ~~US \$34.48 / Set~~
Oferta: US \$32.34 / Set -6% Termina en 9 días

Aún más descuentos en la app

Envío: **US \$25.27 a United States** vía DHL
 Tiempo de entrega: 6-13 días

Cantidad: - 1 + Set (997 Sets disponible)

Precio total: **US \$57.61**

Comprar ahora **Añadir a la cesta**

Fig. E.3: Costo de tornillo de potencia. Incluye soportes y tuerca móvil.

Part number	Free Wire Ø d	Rate Ø D0	Max. length L0	Max. C N/mm	deflection (mm)	load (N)	DISCOUNTS	
							Qty.	Disc. List.
ET4285	3,20	36,00	82,60	2,59	68,40	205,00	1+	9,18 €
ET4286	3,20	36,00	102,00	1,62	109,00	205,00	5+	9,18 €
ET4287	3,20	36,00	131,00	1,04	171,00	205,00	20+	9,47 €
ET4288	3,20	36,00	179,00	0,65	274,00	205,00	50+	9,79 €
ET4289	3,20	36,00	243,00	0,43	410,00	205,00	75+	14,07 €

Fig. E.4: Costo de resorte de extensión.

Con respecto a los materiales y procesos de mecanizado para los demás componentes, se realizó la cotización en talleres locales. Sin embargo, solo fue posible conseguir cotización escrita para la compra de planchas de aluminio en la empresa LG&V asociados s.a.c., ver Figura E.5, y para el mecanizado de las estructuras soldadas a utilizar, ver Figura E.6.

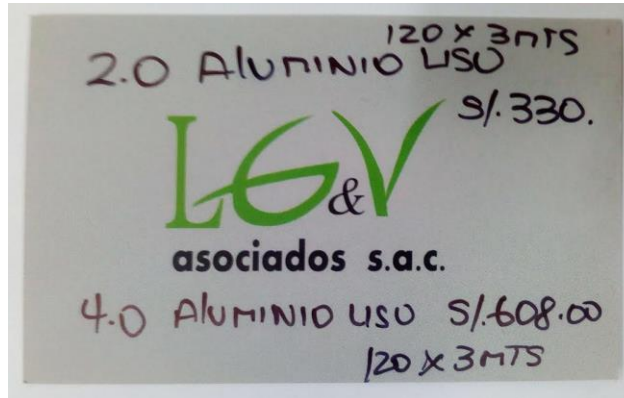


Fig. E.5: Cotización de compra de planchas de aluminio.

MAK MECÁNICA INDUSTRIAL
De: Román Francisco Crispóstomo Torrayo
SERVICIO DE SOLDADURA EN GENERAL Y MECÁNICA DE MANTENIMIENTO
Soldadura en Acero Inoxidable TIG - Argón - Arco - Autógena
Torno - Fresa y Cepillo - Mantenimiento en General
Av. Rep. de Argentina N° 449 - Int. N° 9 y 10 - Cercado de Lima - Lima
Cel.: 94 616-1764 Nextel: 616*1764 E-mail: mak_ing_mecanica@hotmail.com

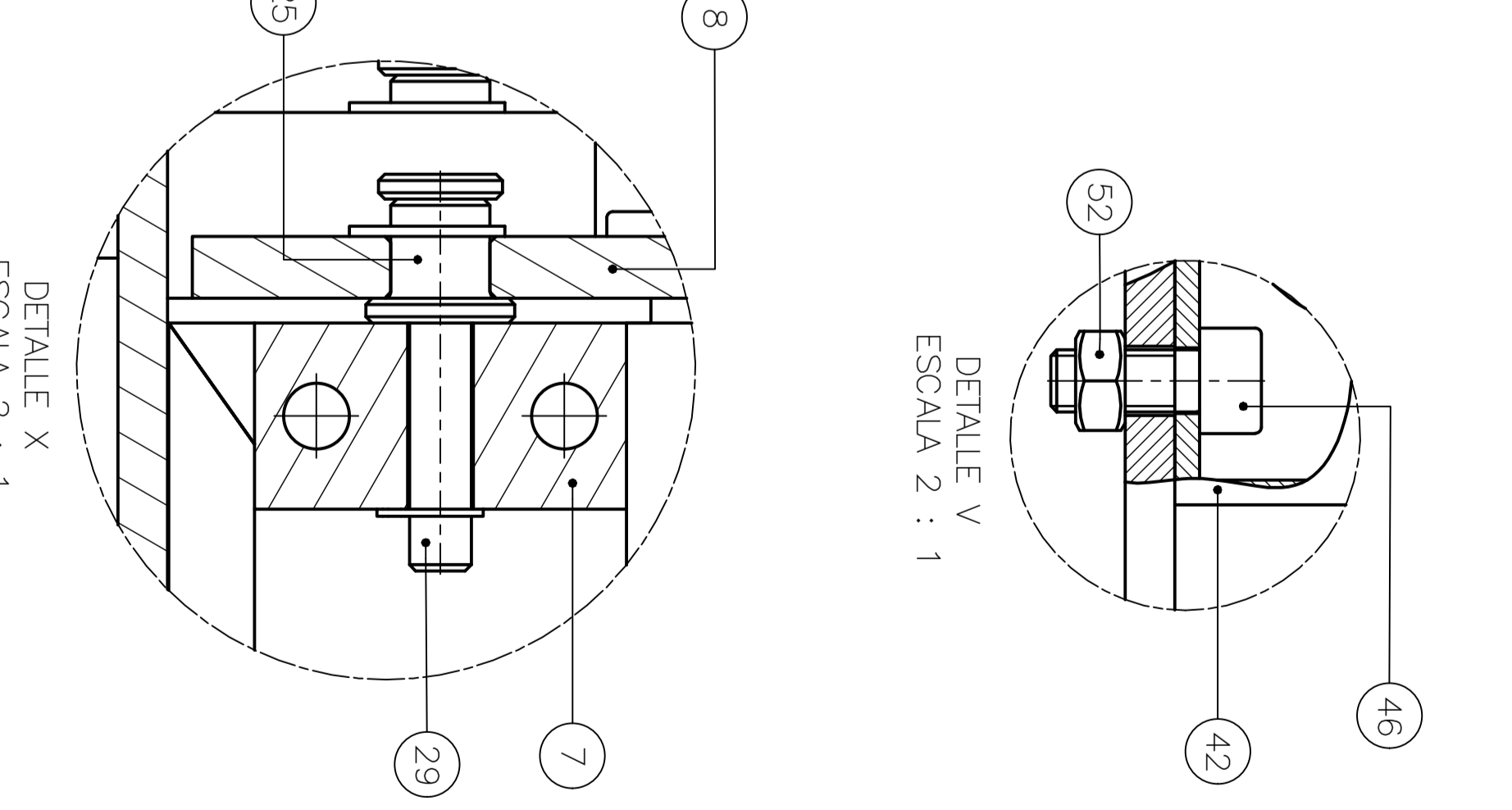
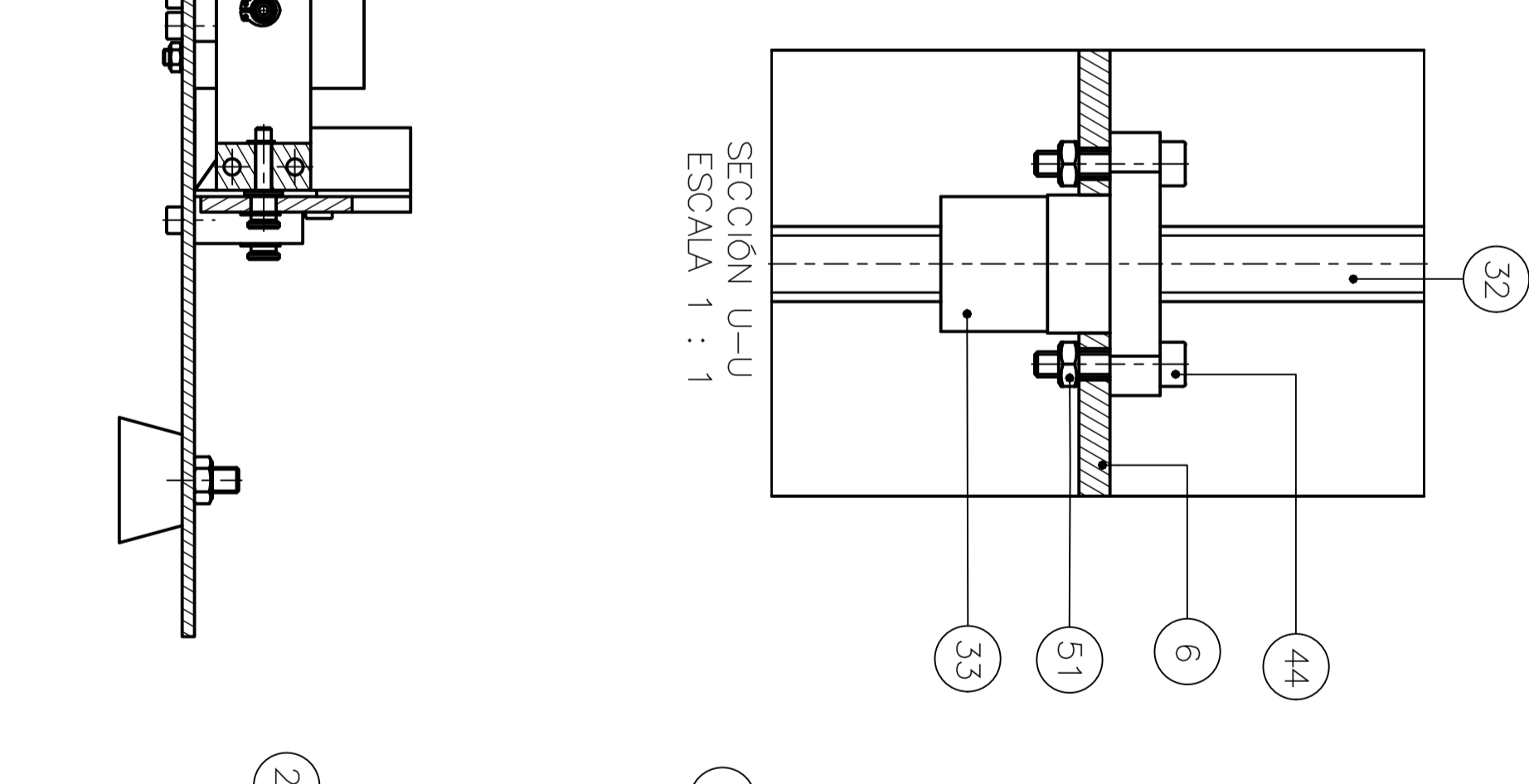
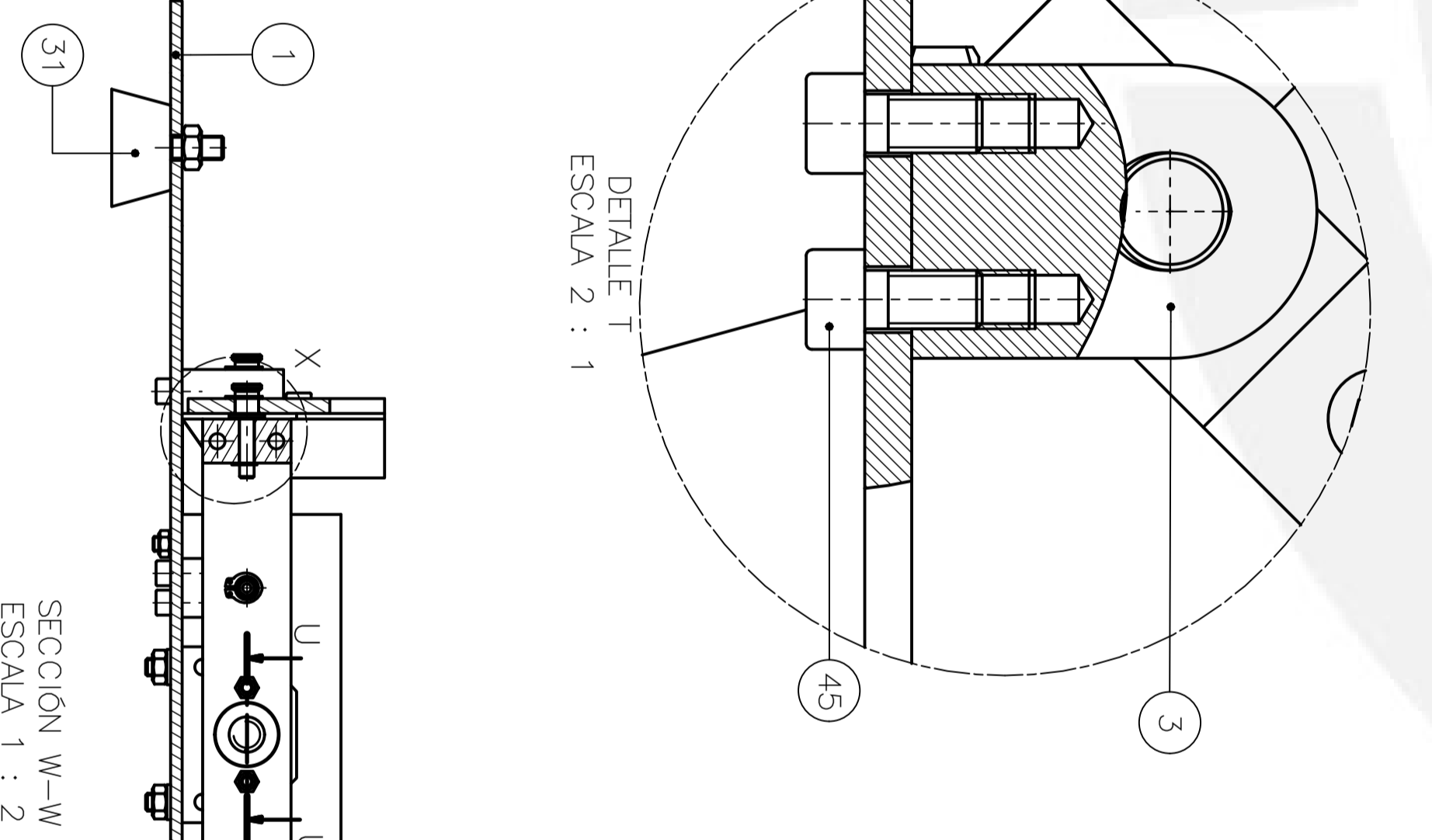
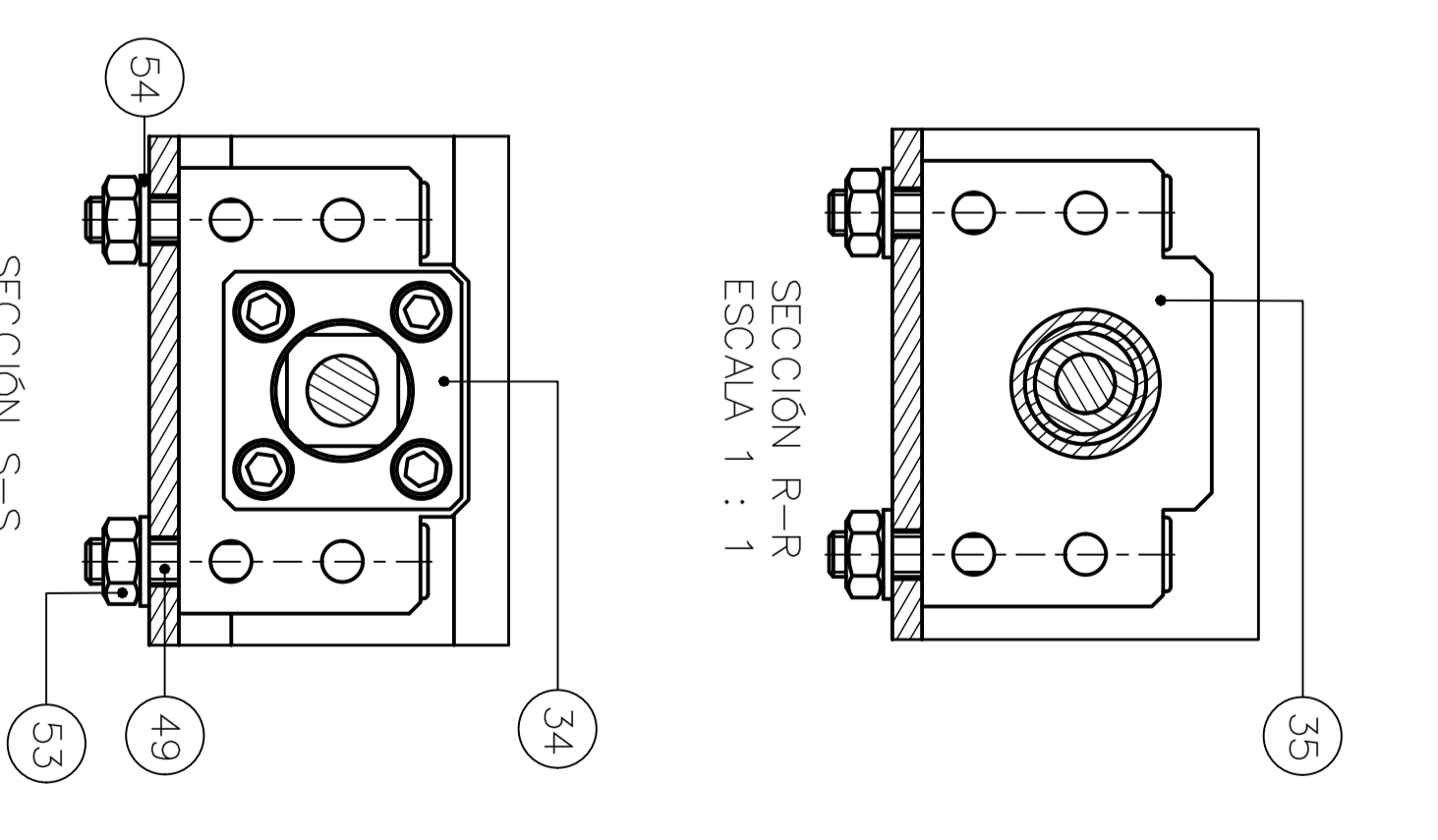
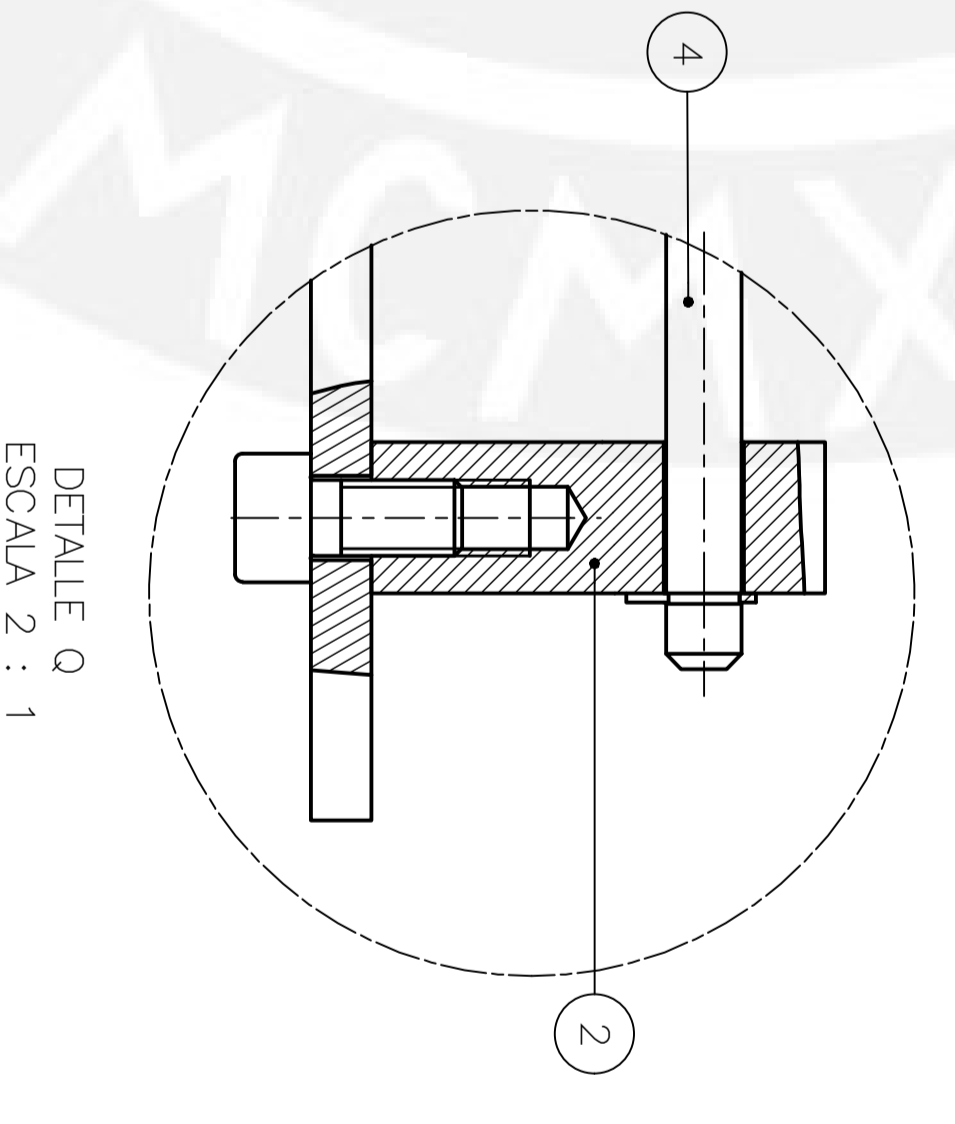
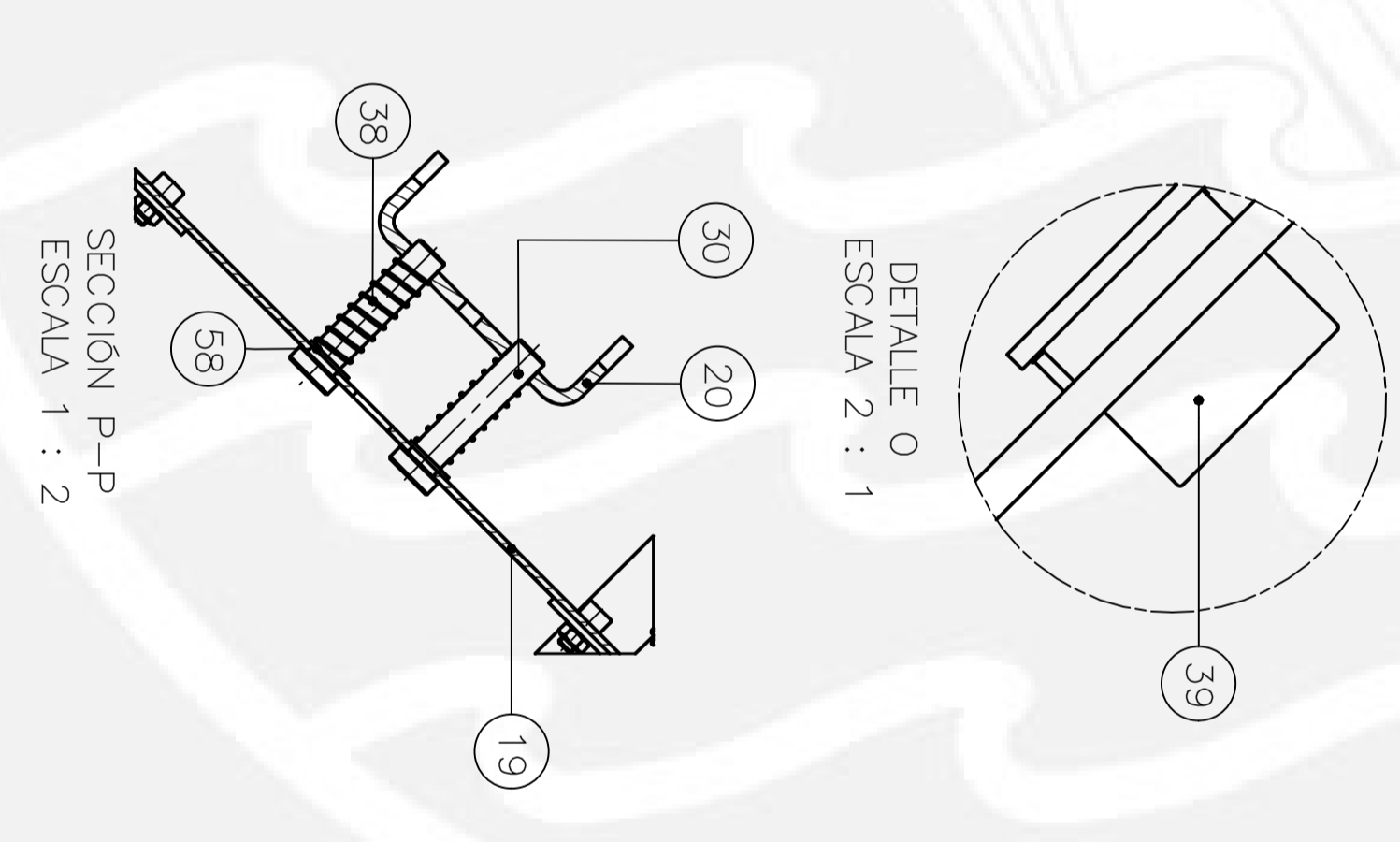
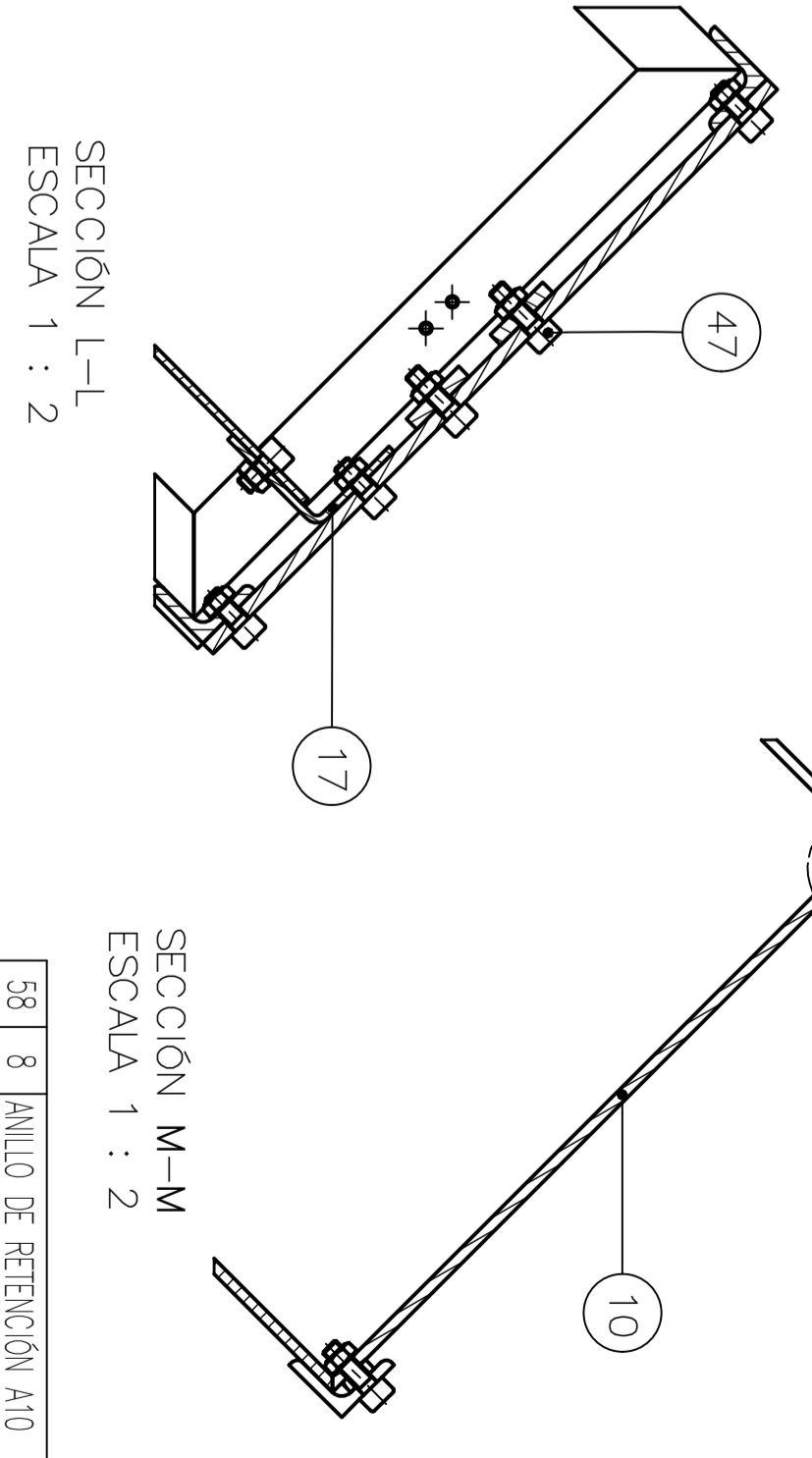
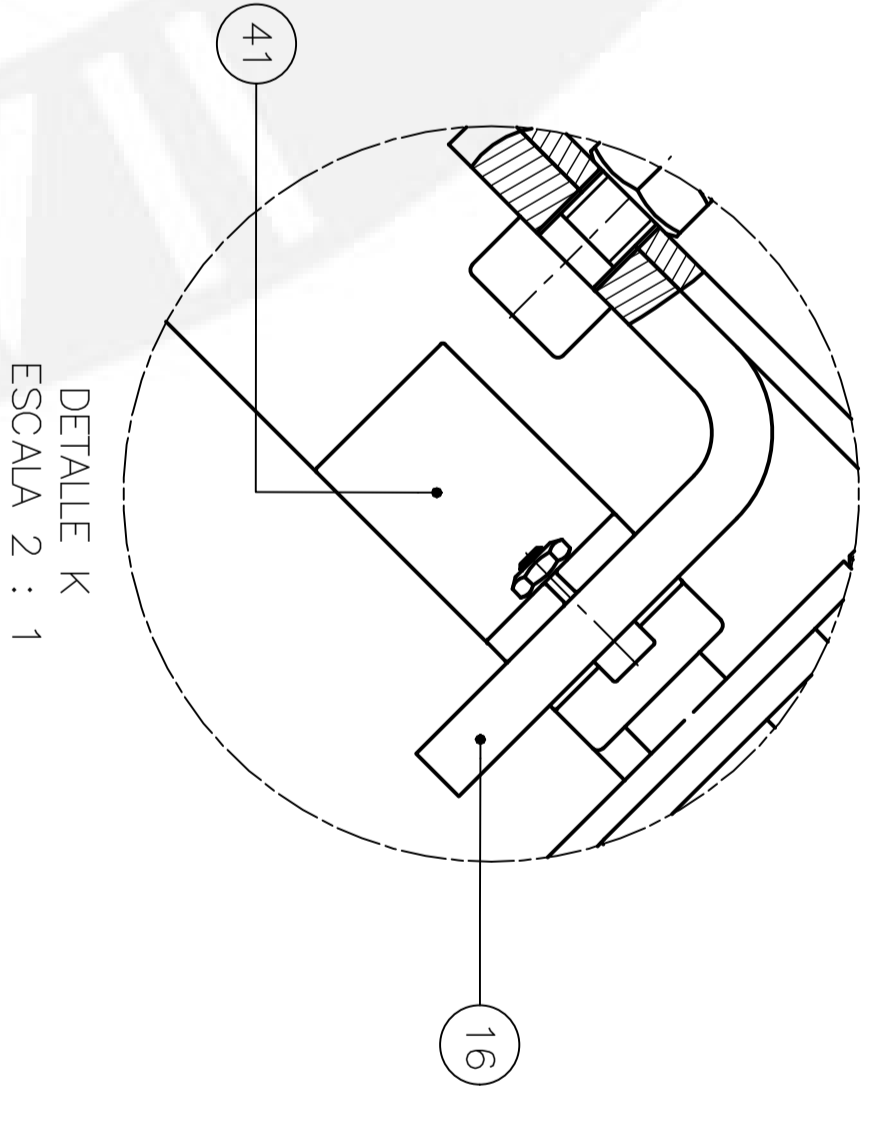
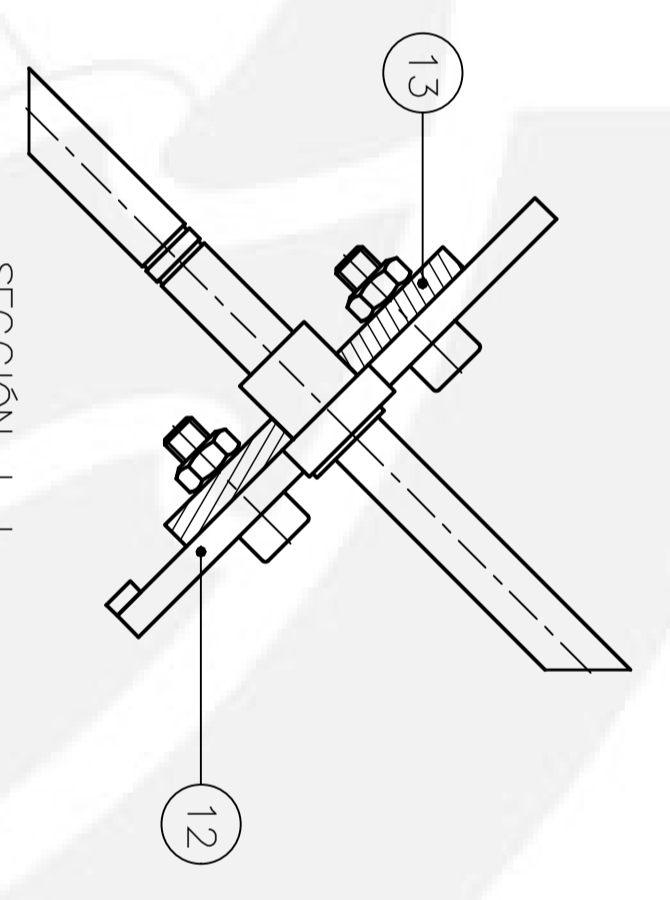
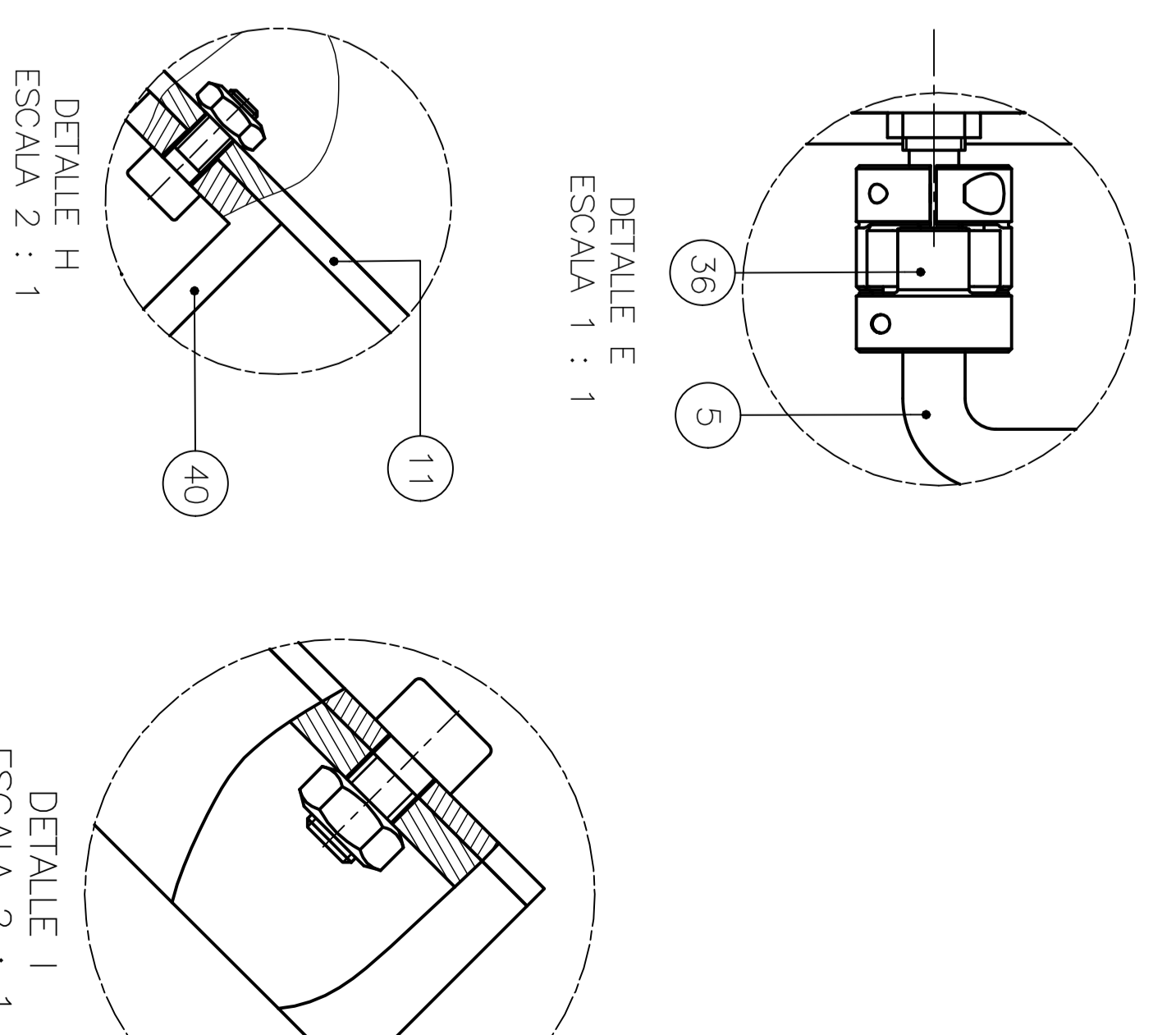
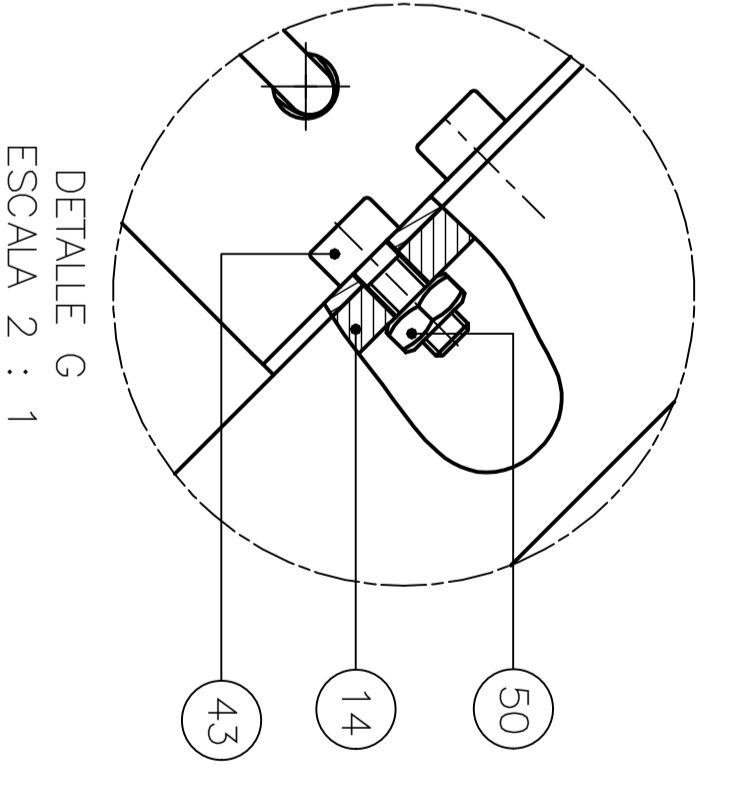
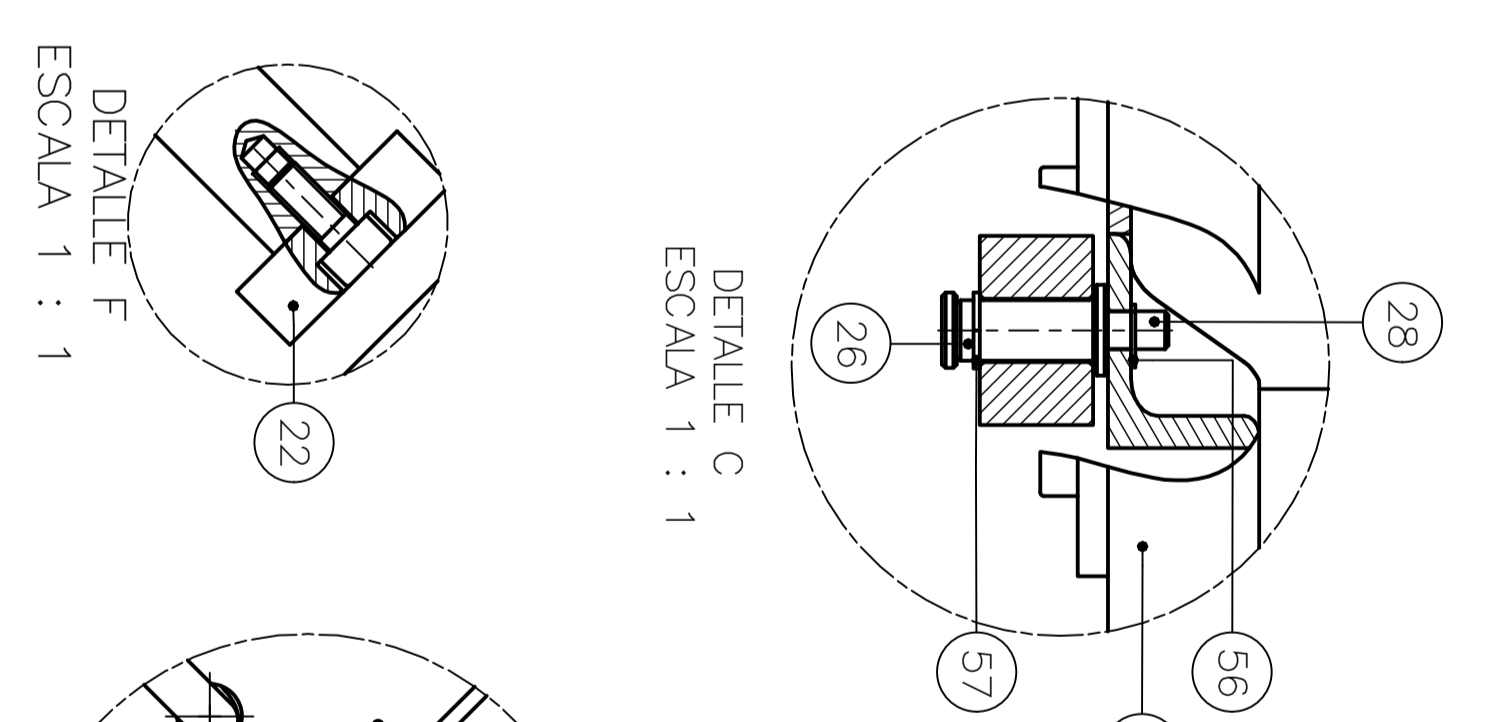
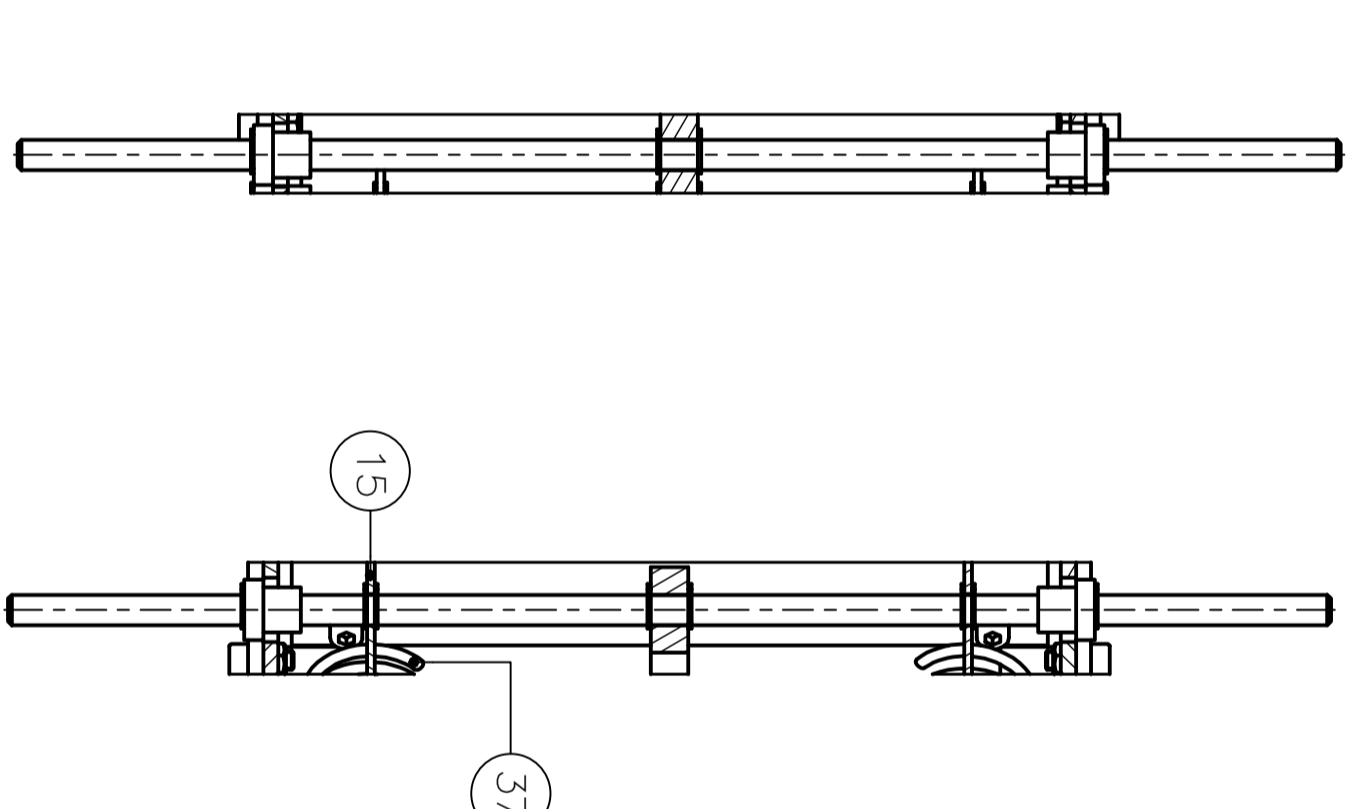
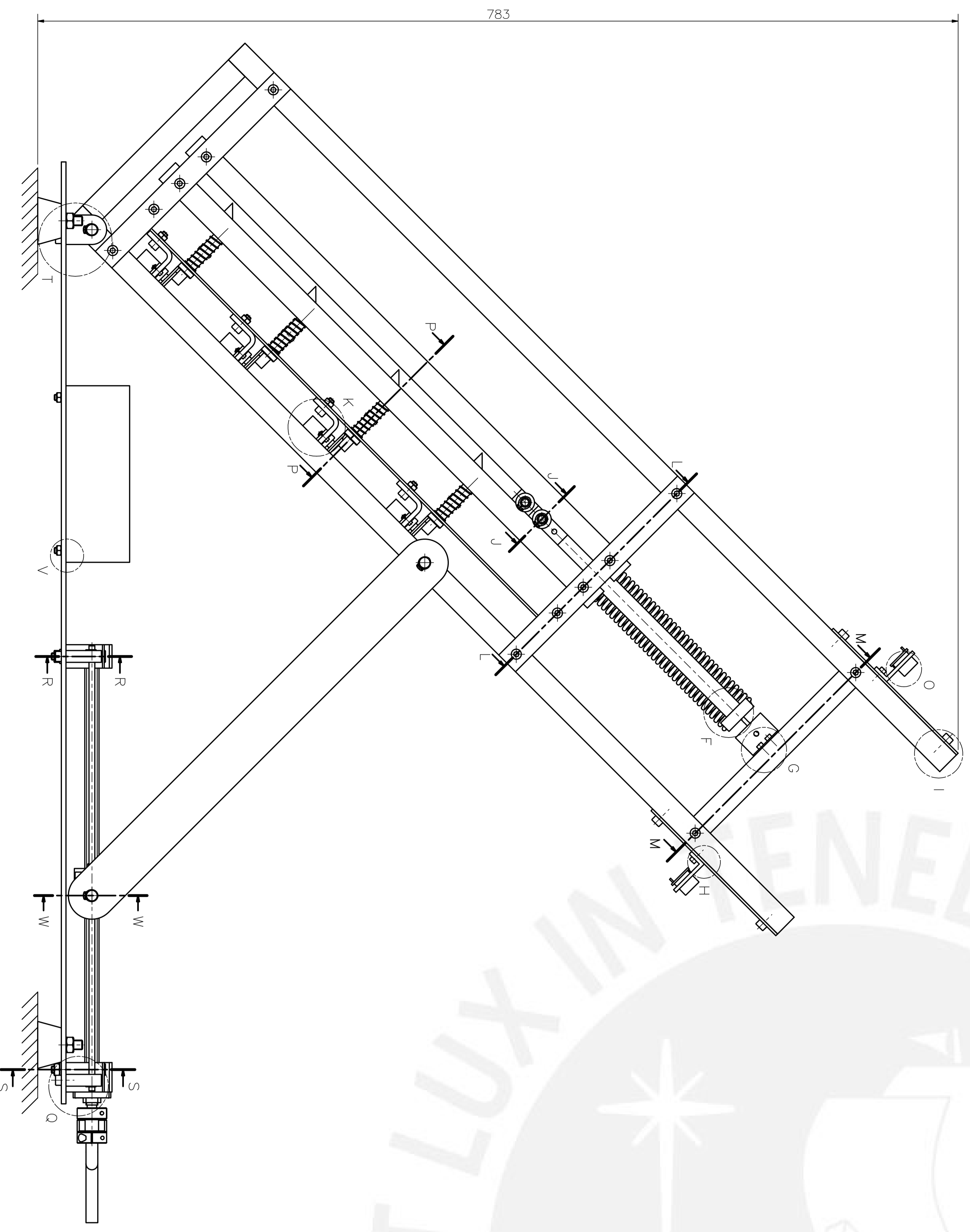
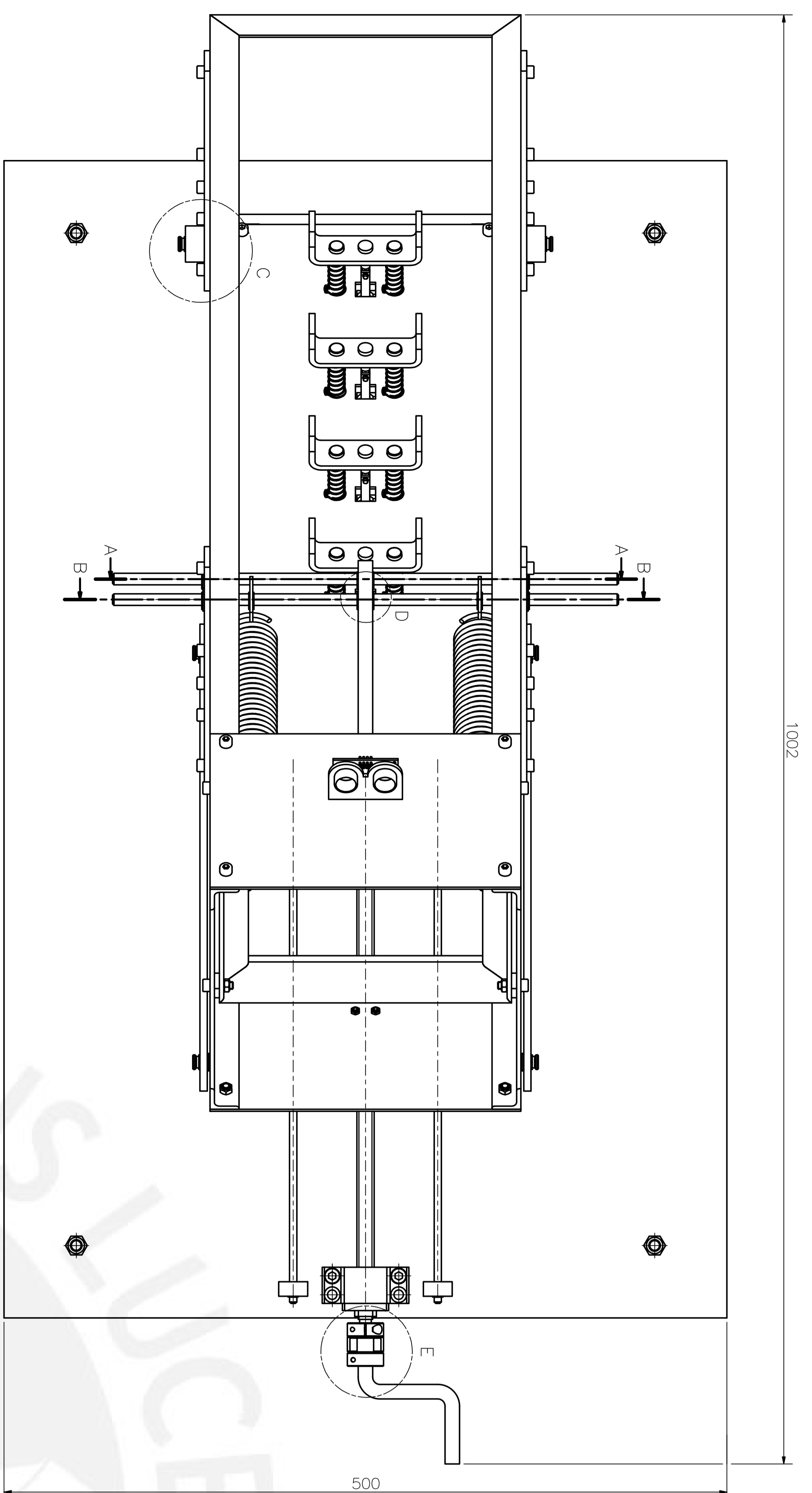
DIA MES AÑO

PROFORMA **CONTRATO** **Nº 002892**

Sr.(es): JOSE GARCIA SULCA Telf.: _____
Dirección: _____ R.U.C. _____

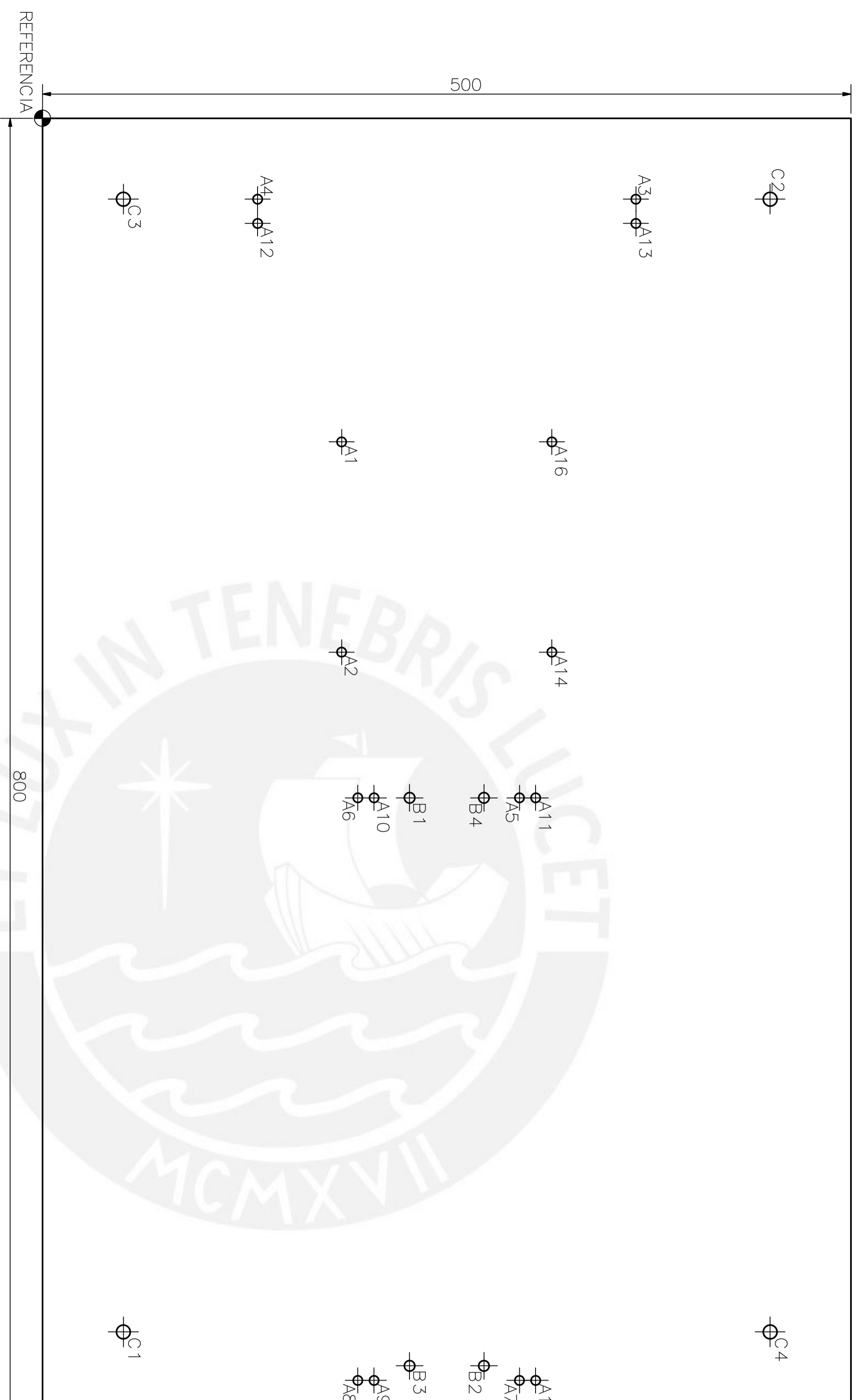
Cant.	DESCRIPCION	P. Unit.	Total
01	FABRICACION DE ESTRUCTURA SEGUN PLANO EN ACERO INOXIDABLE		300.00

Fig. E.6: Cotización de fabricación de estructura soldada.



POS	DESCRIPCION	CANT	MATERIAL	OBSERVACIONES
1	BASE	1	AA6061	
2	CHUMACERIN 1	2	CA45	
3	CHUMACERIN 2	2	CA45	
4	EJE OJIA	2	CA45	
5	MANIVELA	1	CA45	
6	PLANCHILLA DE SOPORTE 3	1	AA6061	
7	BLOQUE SOPORTE	2	AA6061	
8	BARRA DE CRO	2	AA6061	
9	ARMAZON 1	1	AA6061	
10	ARMAZON 2	1	AA6061	
11	PLANCHILLA DE SOPORTE 1	1	AA6061	
12	BARRA RECTANGULAR SOPORTE	1	AA6061	
13	BARRA RECTANGULAR OJIA	1	AA6061	
14	PLATA SOPORTE 2	2	CA45	
15	PLATA SOPORTE 3	2	CA45	
16	PLATA DE SOPORTE 4	1	AA6061	
17	PLATA DE SOPORTE 5	1	AA6061	
18	PLATA DE SOPORTE 6	1	AA6061	
19	BASE SOPORTE	1	AA6061	
20	TRINQUETE	1	CA45	
21	BARRA HEU DE LANZAMIENTO	1	AA6061	
22	PLANCHILLA DE LANZAMIENTO	1	AA6061	
23	EJE DE LANZAMIENTO	1	CA45	
24	EJE DE LANZAMIENTO 2	1	CA45	
25	BLOQUE 12-818	1	SA652	
26	BLOQUE 12-818	1	SA652	
27	PIN 5X18	2	CA45	
28	PIN 5X28	2	CA45	
29	PIN 5X30	2	CA45	
30	PIN 10X45	8	CA45	
31	TRINQUETE DE OJIA	4	CA45	
32	TRINQUETE PDI 50/1024-400mm	2	CA45	
33	TIJERA MUEL	1	CA45	
34	CONDUCTOR CUMPL ELEC	1	CA45	
35	SERVO MOTOR S90	4	CA45	
36	RESORTE ULTRASUAVIO	2	CA45	
37	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
38	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
39	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
40	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
41	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
42	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
43	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
44	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
45	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
46	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
47	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
48	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
49	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
50	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
51	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
52	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
53	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
54	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
55	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
56	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
57	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
58	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
59	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
60	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
61	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
62	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
63	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
64	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
65	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
66	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
67	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
68	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
69	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
70	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
71	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
72	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
73	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
74	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
75	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
76	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
77	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
78	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
79	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
80	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
81	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
82	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
83	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
84	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
85	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
86	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
87	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
88	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
89	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
90	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
91	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
92	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
93	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
94	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
95	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
96	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
97	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
98	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
99	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	
100	RESORTE ULTRASUAVIO HC-S904	2	CA45	

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU
 FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIAL Y MECANICA
 ENSAMBLE DE DISPOSITIVO LANZADOR DE BALONES
 ESCALA 1:2
 FECHA: 09/10/19
 PLAN: PD-040
 ASesor: D. ELIAS
 GARCIA SALICA, JOSE GUSTAVO



ESPESOR 4mm
 Ø5,3X16 PASANTES
 Ø6,4X4 PASANTES
 Ø8,4X4 PASANTES

TOLERANCIAS DIMENSIONALES
 SEGUN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000
FINO	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3

TABLA DE AGUEROS

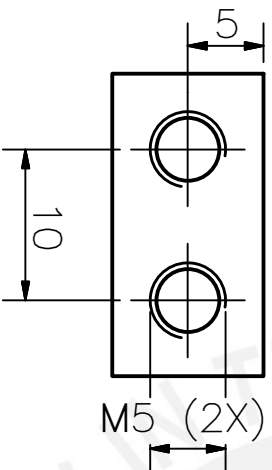
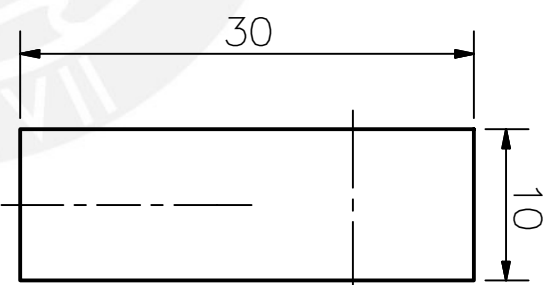
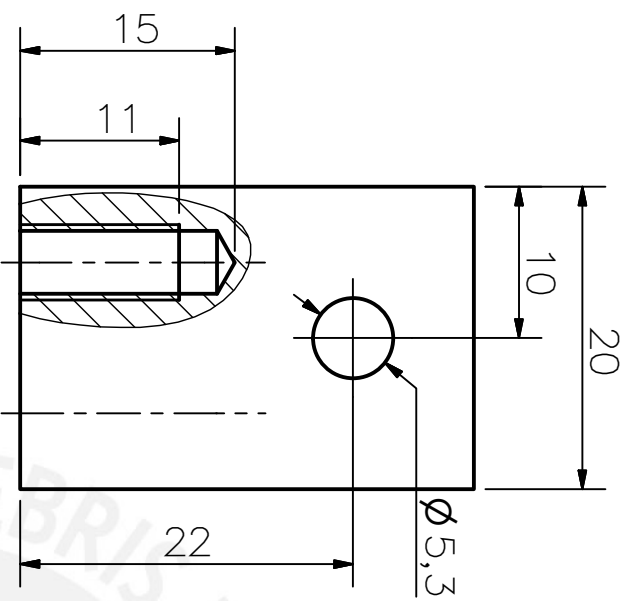
AGUERO	XDIM	YDIM	DIAMETRO
A1	200	185	Ø5,6
A2	330	185	Ø5,6
A3	50	367	Ø5,6
A4	50	133	Ø5,6
A5	420	295	Ø5,6
A6	420	195	Ø5,6
A7	780	295	Ø5,6
A8	780	195	Ø5,6
A9	780	205	Ø5,6
A10	420	205	Ø5,6
A11	420	305	Ø5,6
A12	65	133	Ø5,6
A13	65	367	Ø5,6
A14	330	315	Ø5,6
A15	780	305	Ø5,6
A16	200	315	Ø5,6
B1	420	227	Ø6,6
B2	771	273	Ø6,6
B3	771	227	Ø6,6
B4	420	273	Ø6,6
C1	750	50	Ø8,6
C2	50	450	Ø8,6
C3	50	50	Ø8,6
C4	750	450	Ø8,6

ACABADO SUPERFICIAL
 0,8 / (3,2)
 TOLERANCIA GENERAL
 DIN 7168
 MECANIZADO FINO
 MATERIAL
 AA6061

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU
 FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - INGENIERIA MECATRONICA
 METODO DE PROYECCION
 DISPOSITIVO LANZADOR DE BALONES

DESCIEPE DE BASE
 ESCALA
 1:2

ASESOR: D. ELIAS
 GARCIA SULCA, JOSÉ GUSTAVO
 FECHA:
 2018.09.19
 PLANO:
 P01-A2



TOLERANCIAS DIMENSIONALES

SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL
3.2

TOLERANCIA GENERAL
DIN 7168
MECANIZADO MEDIO

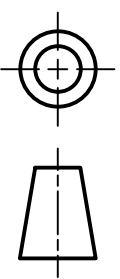
MATERIAL
CK45

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN

DISPOSITIVO LANZADOR DE BALONES

ESCALA



DESPIECE DE

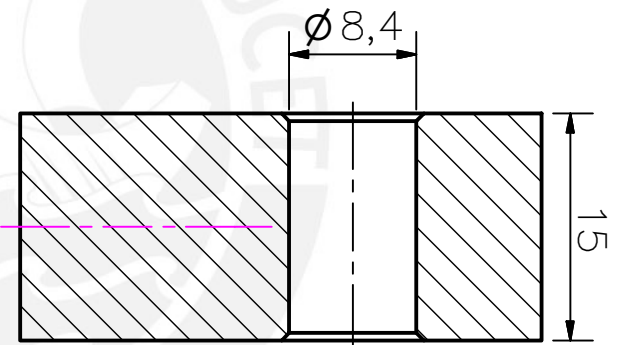
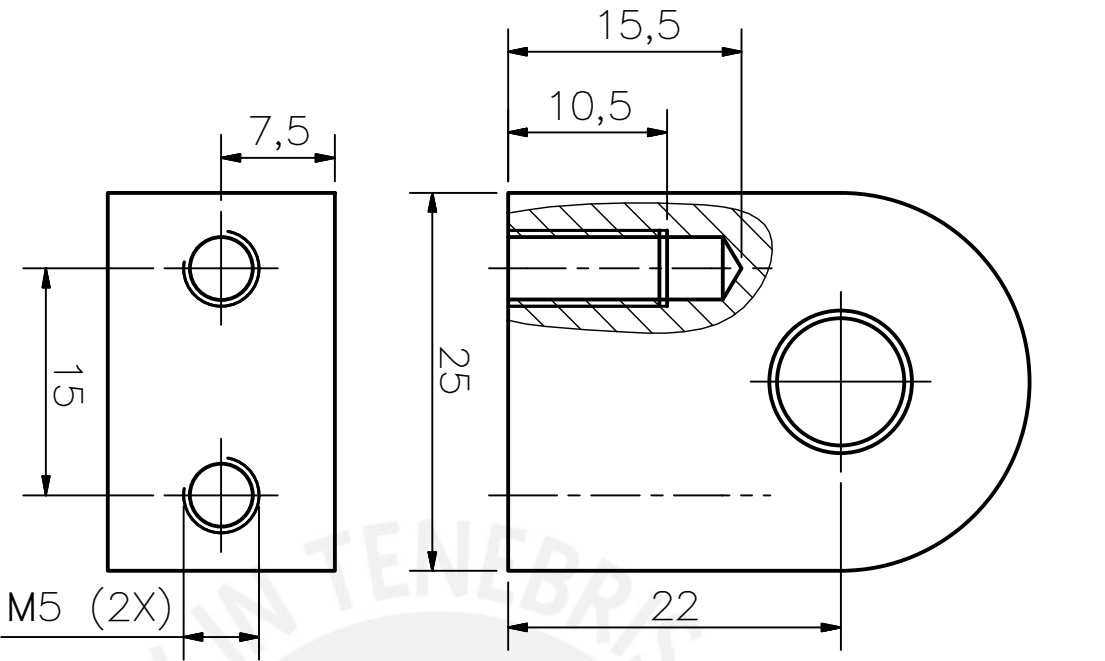
CHUMMACERA 1

2:1

ASESOR:
D. ELIAS

GARCIA SULCA, JOSÉ GUSTAVO

FECHA:
2018.09.19
PLANO:
P02-A4

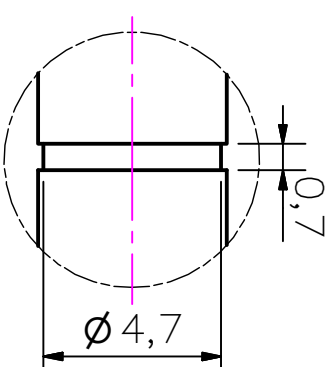
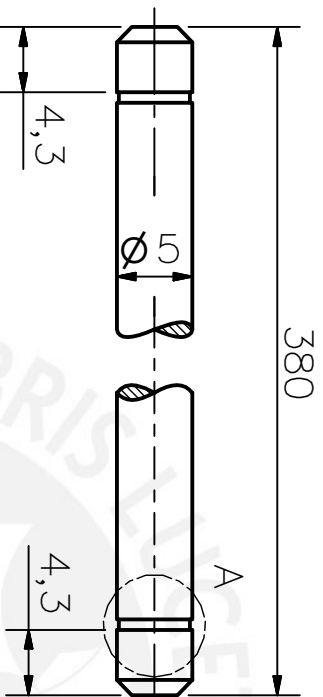


OBSERVACIÓN:
CHAFLANES 0.5X45°

TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL 3.2	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL CK45
<p>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA</p> <p>MÉTODO DE PROYECCIÓN</p> <p>DISPOSITIVO LANZADOR DE BALONES</p> <p>DESPIECE DE CHUMMACERA 2</p> <p>ESCALA 2:1</p>		
ASESOR: D. ELIAS	GARCÍA SULCA, JOSÉ GUSTAVO	FECHA: 2018.09.19
		PLANO: P03-A4



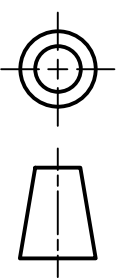
DETALLE A (X2)
 ESCALA 5 : 1

OBSERVACION: CHAFLANES 1X45°

ACABADO SUPERFICIAL 3.2	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL CK45
----------------------------	--	------------------

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
 FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN



DISPOSITIVO LANZADOR DE BALONES

ESCALA

DESPIECE DE EJE

2:1

GUÍA

ASESOR:
 D. ELIAS

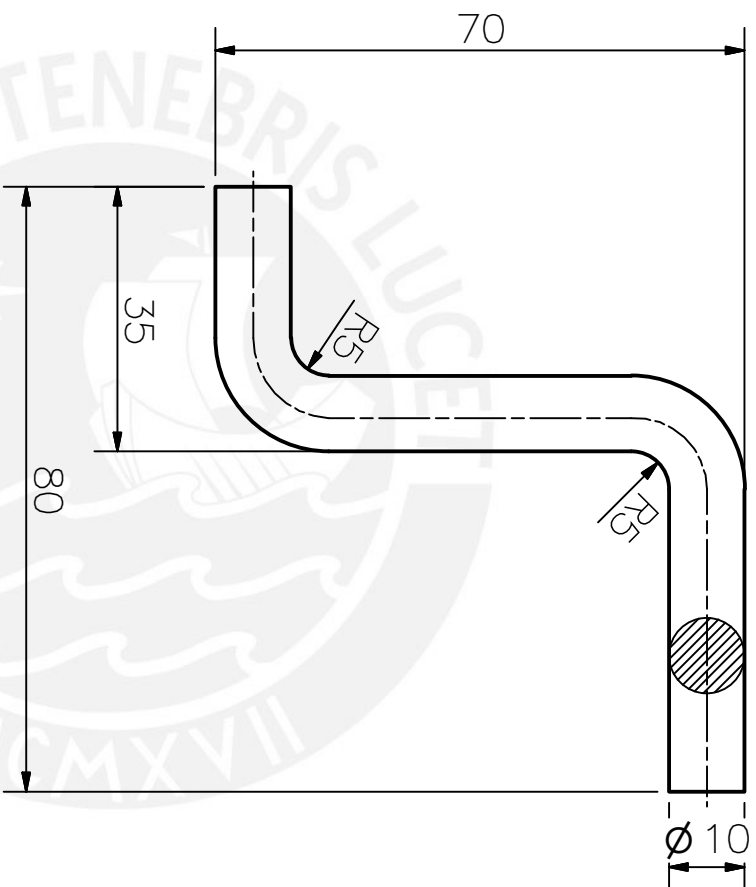
GARCIA SULCA, JOSÉ GUSTAVO

FECHA:
 2018.09.19
 PLANO:
 P04-A4

TOLERANCIAS DIMENSIONALES

SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5



TOLERANCIAS DIMENSIONALES

SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL
1.6

TOLERANCIA GENERAL
DIN 7168
MECANIZADO MEDIO

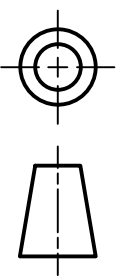
MATERIAL
CK45

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN

DISPOSITIVO LANZADOR DE BALONES

ESCALA



DESPIECE DE MANIVELA

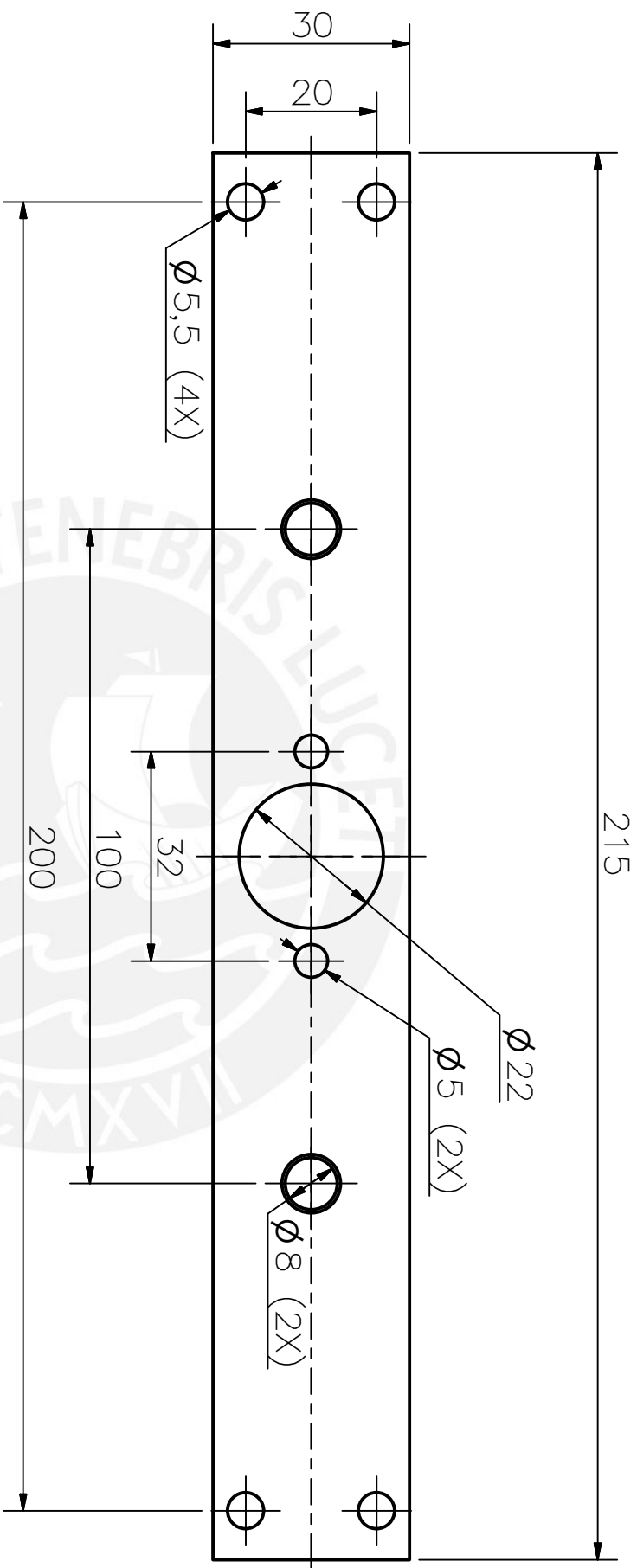
1:1

ASESOR:
D. ELIAS

FECHA:
2018.09.19

GARCIA SULCA, JOSÉ GUSTAVO

PLANO:
P05-A4



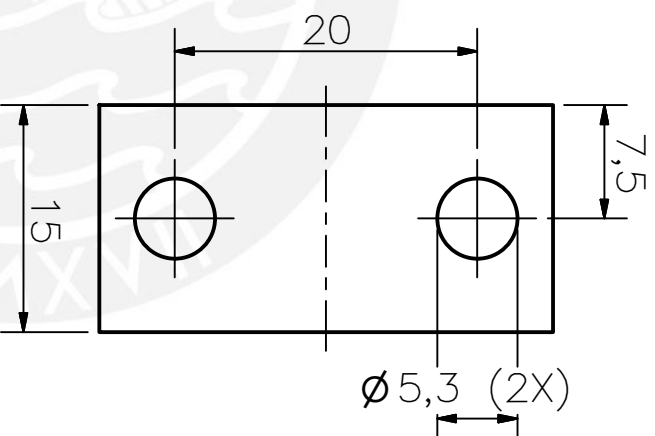
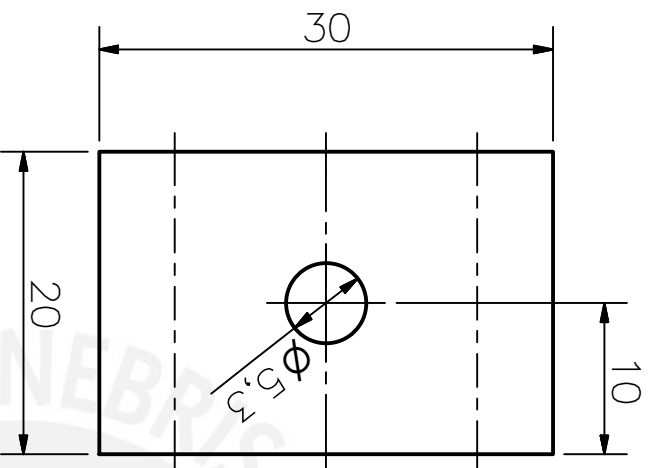
ESPESOR 4mm

TOLERANCIAS DIMENSIONALES

SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL 0.8 / (3.2)	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL AA6061
<p>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA</p> <p>MÉTODO DE PROYECCIÓN</p> <p>DISPOSITIVO LANZADOR DE BALONES</p> <p>ESCALA 1:1</p>		
	<p>DESPIECE DE PLANCHHA</p> <p>MÓVIL</p>	<p>FECHA: 2018.09.19</p> <p>PLANO: P06-A4</p>
ASESOR: D. ELIAS	GARCIA SULCA, JOSÉ GUSTAVO	



TOLERANCIAS DIMENSIONALES

SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL
3.2

TOLERANCIA GENERAL
DIN 7168
MECANIZADO MEDIO

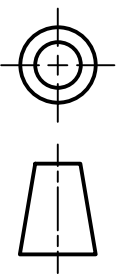
MATERIAL
AA6061

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN

DISPOSITIVO LANZADOR DE BALONES

ESCALA



DESPIECE DE BLOQUE

2:1

ASESOR:

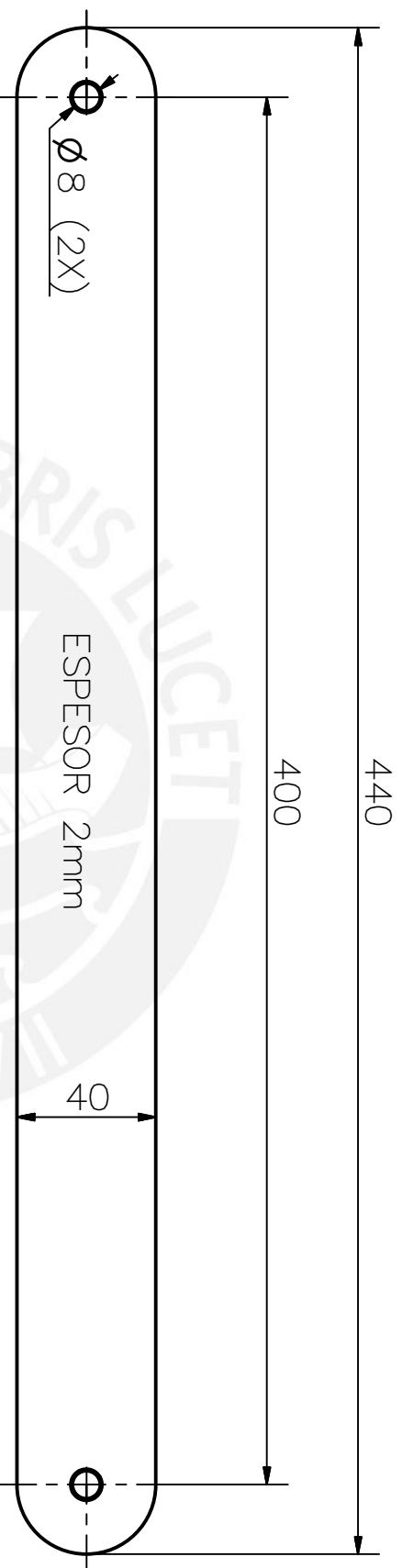
D. ELIAS

SOPORTE

FECHA:
2018.09.19

GARCIA SULCA, JOSÉ GUSTAVO

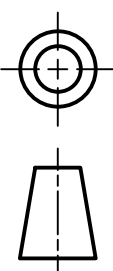
PLANO:
P07-A4

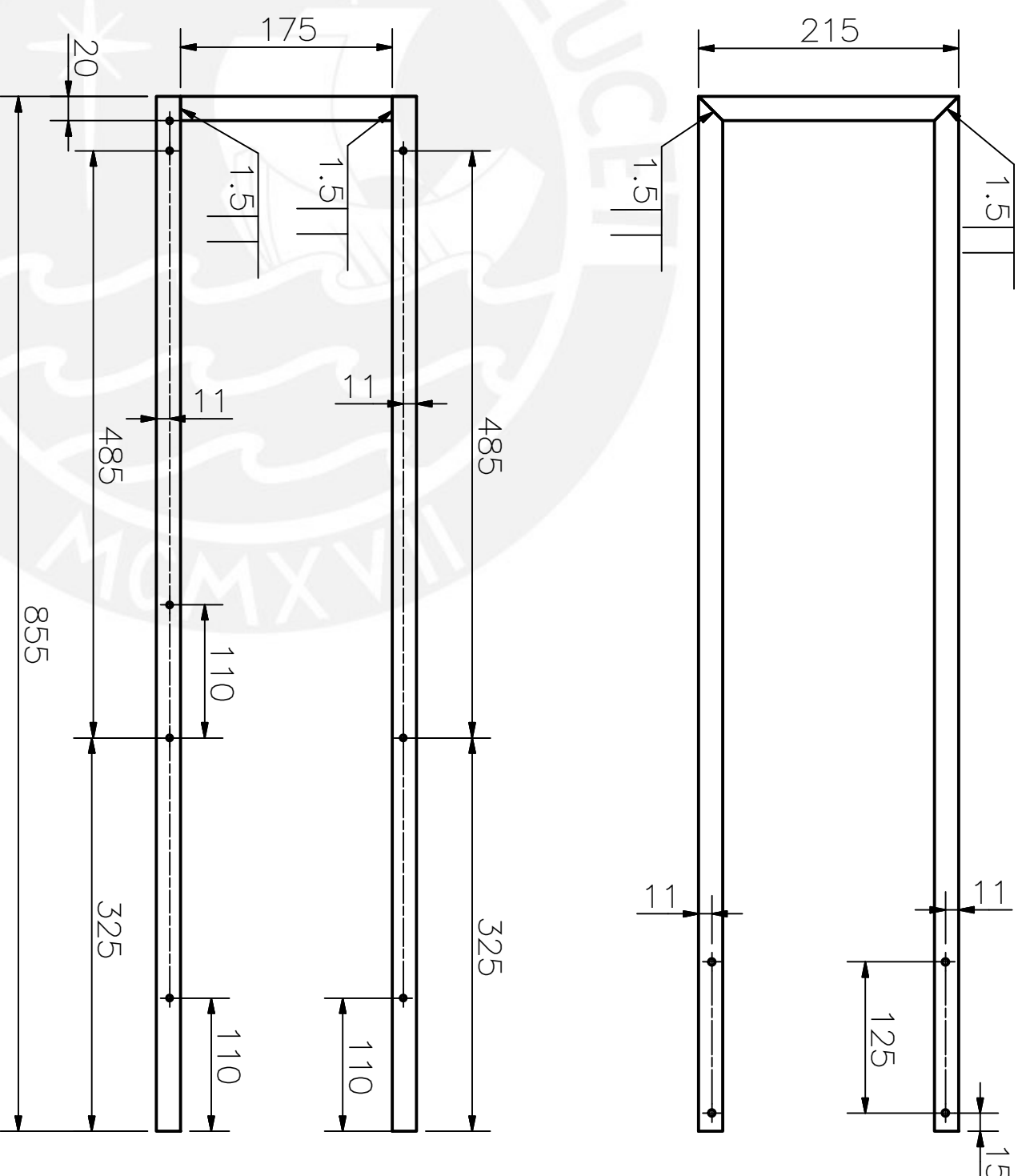
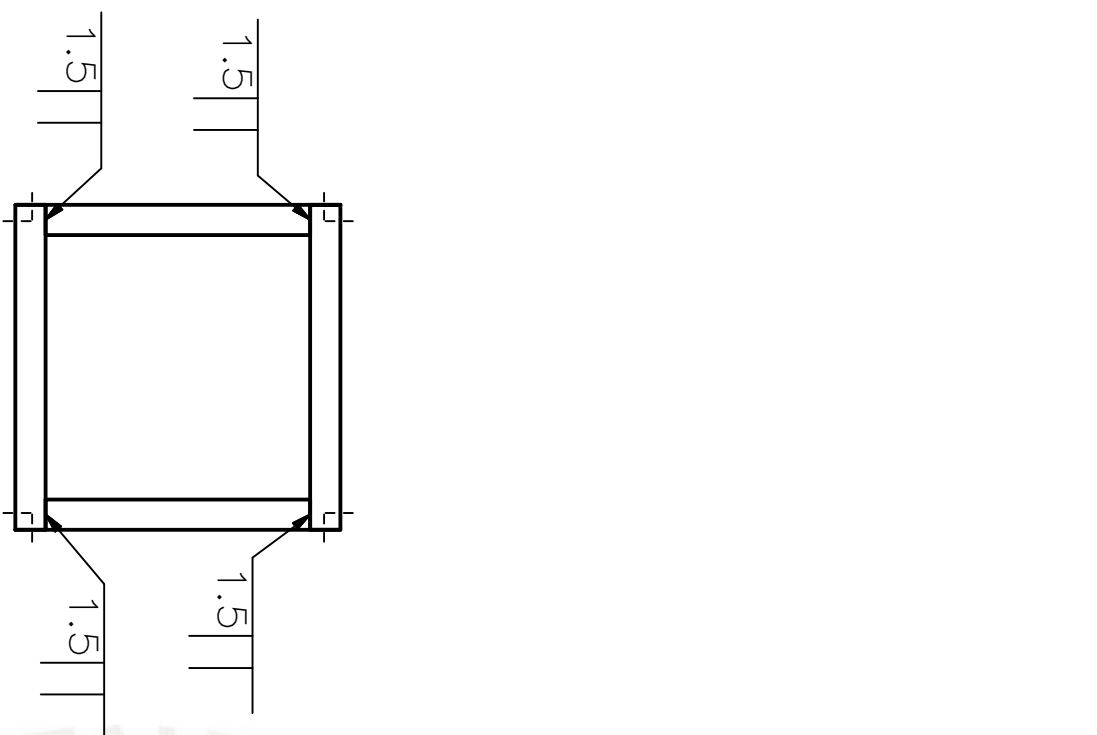


TOLERANCIAS DIMENSIONALES

SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL 3.2	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL AA6061
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISPOSITIVO LANZADOR DE BALONES	ESCALA 1:2
	DESPIECE DE BARRA DE GIRO	
ASESOR: D. ELIAS	GARCIA SULCA, JOSÉ GUSTAVO	
	FECHA: 2018.09.19	PLANO: P08-A4



OBSERVACIÓN:
 AGUJEROS PASANTES $\varnothing 5,3$ CANTIDAD:24
 PERFILES ANGULARES L20X20X3

TOLERANCIAS DIMENSIONALES

SEGUN DIN 7168

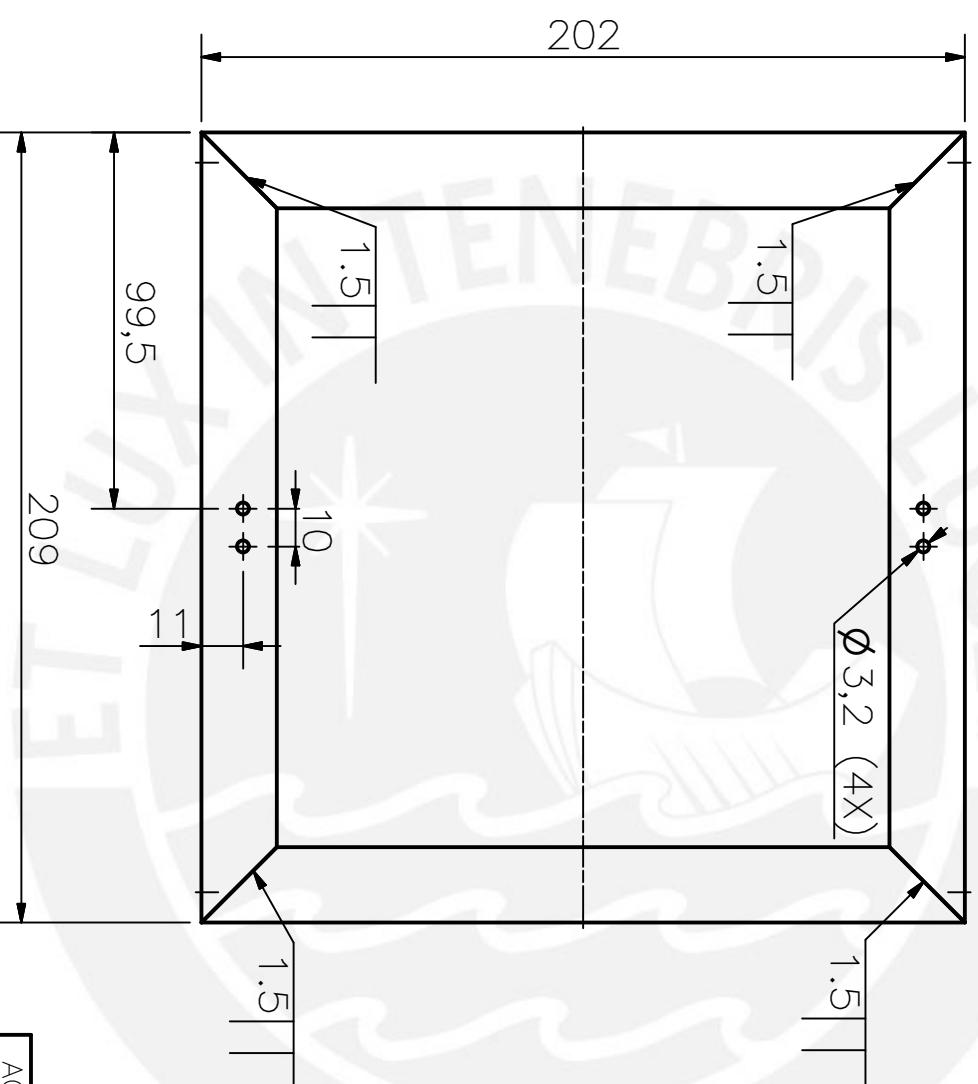
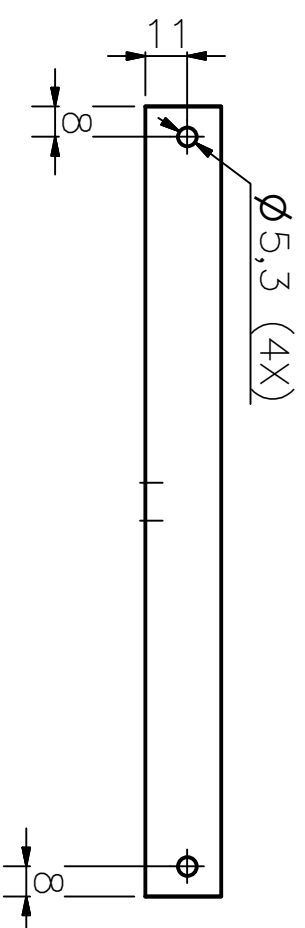
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000
FINO	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,1$	$\pm 0,15$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$

ACABADO SUPERFICIAL 3.2	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 MECANIZADO FINO	MATERIAL A36
----------------------------	---	-----------------

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
 FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA
 MÉTODO DE PROYECCIÓN
 DISPOSITIVO LANZADOR DE BALONES

ASESOR: D. ELIAS	DESPIECE DE ARMAZÓN SOLDADO 1	ESCALA 1:5
---------------------	----------------------------------	---------------

GARCÍA SULCA, JOSÉ GUSTAVO	FECHA: 2018.09.19	PLANO: P09-A3
----------------------------	----------------------	------------------



OBSERVACIÓN:
PERFILES ANGULARES L20X20X3

TOLERANCIAS DIMENSIONALES

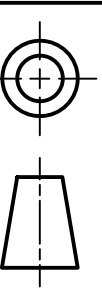
SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL 3.2	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL A36
----------------------------	--	-----------------

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN



DISPOSITIVO LANZADOR DE BALONES

ESCALA

DESPIECE DE

1:2

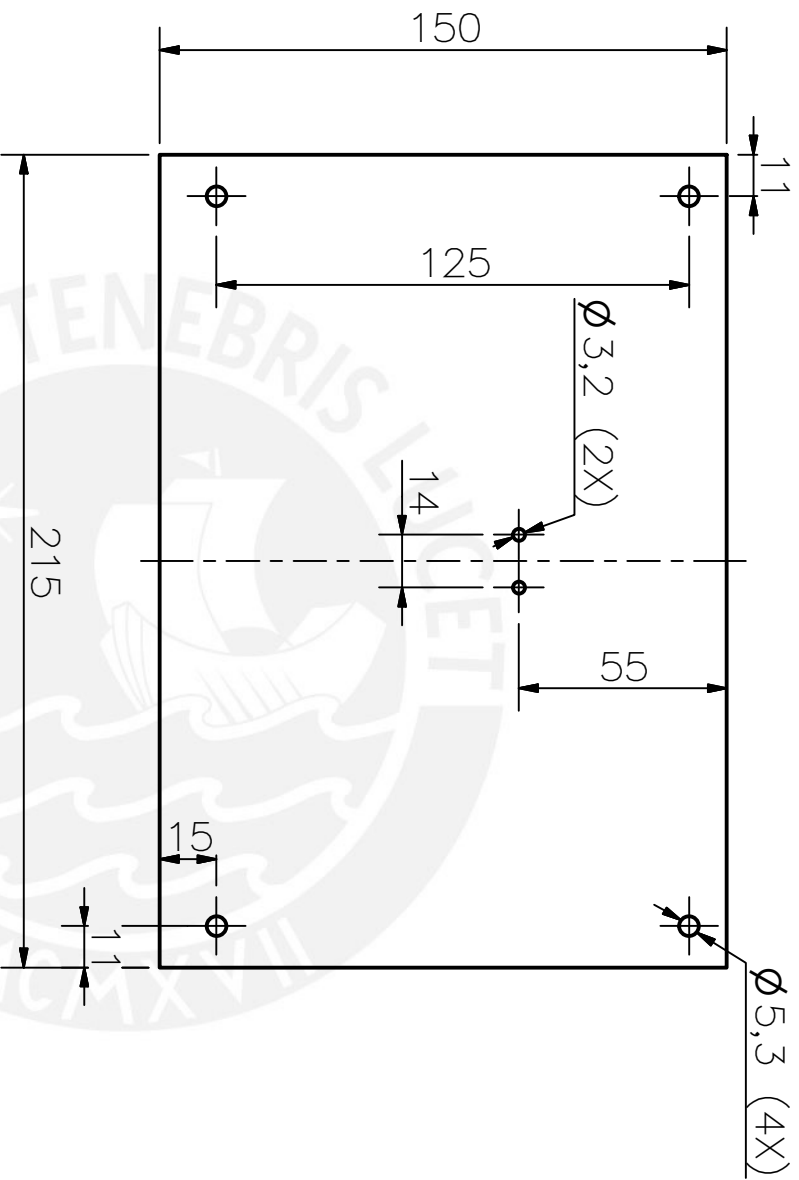
ARMAZÓN SOLDADO 2

ASESOR:
D. ELIAS

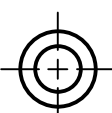
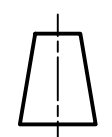
FECHA:
2018.09.19

GARCÍA SULCA, JOSÉ GUSTAVO

PLANO:
P10-A3



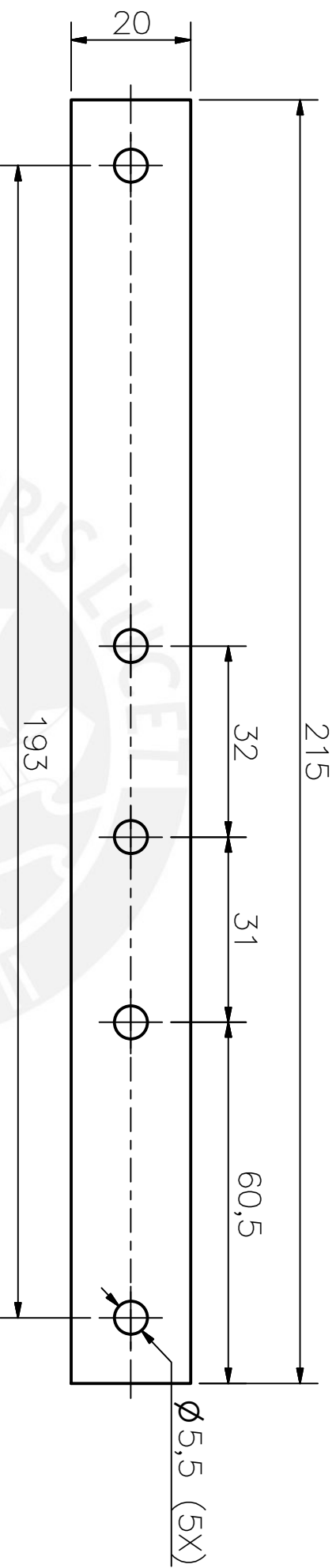
ESPESOR 2mm

ACABADO SUPERFICIAL 3.2	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL AA6061
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISPOSITIVO LANZADOR DE BALONES	ESCALA
	DESPIECE DE PLANCHA	1:2
	SOPORTE DE BALÓN	
ASESOR: D. ELIAS	GARCIA SULCA, JOSÉ GUSTAVO	FECHA: 2018.09.19
		PLANO: P11-A4

TOLERANCIAS DIMENSIONALES

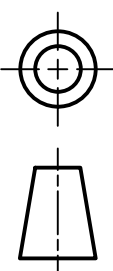
SEGÚN DIN 7168

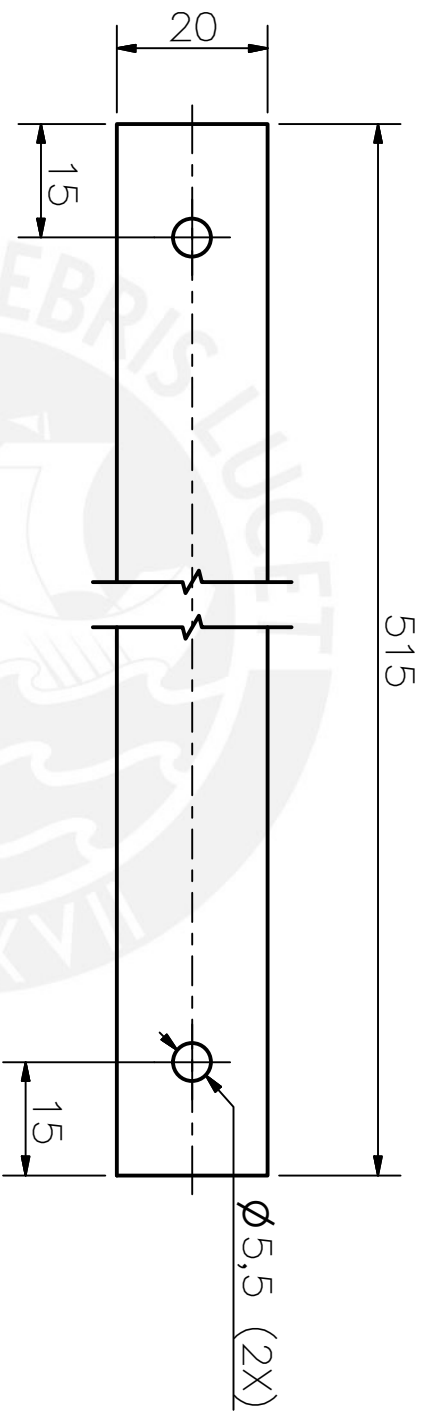
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5



ESPESOR 2mm

TOLERANCIAS DIMENSIONALES					
SEGUN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
FINO	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,1$	$\pm 0,15$	$\pm 0,2$

ACABADO SUPERFICIAL 3.2	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 MECANIZADO FINO	MATERIAL AA6061
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 		
DISPOSITIVO LANZADOR DE BALONES DESPIECE DE BARRA RECTANGULAR DE SOPORTE		
ASESOR: D. ELIAS	ESCALA 1:1	
GARCIA SULCA, JOSÉ GUSTAVO		FECHA: 2018.09.19 PLANO: P12-A4



ESPESOR 2mm

TOLERANCIAS DIMENSIONALES

SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL
3.2

TOLERANCIA GENERAL
DIN 7168
MECANIZADO MEDIO

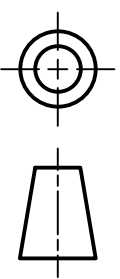
MATERIAL
AA6061

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN

DISPOSITIVO LANZADOR DE BALONES

ESCALA



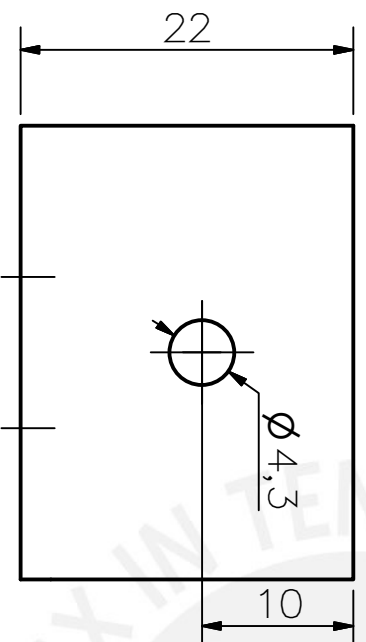
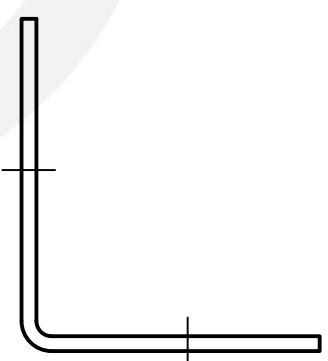
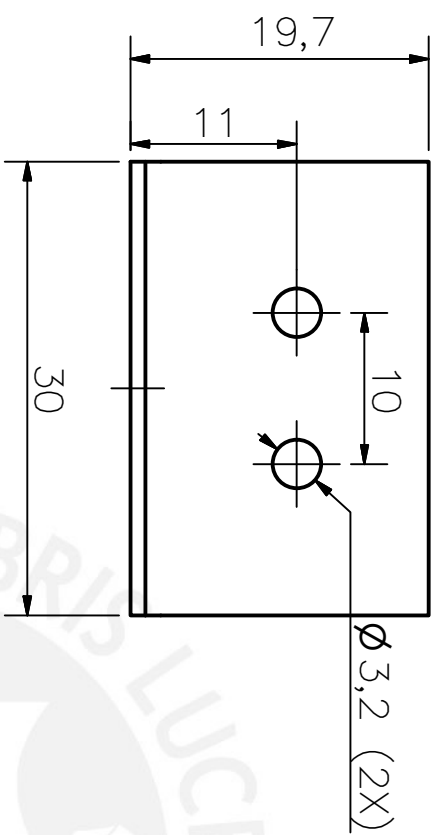
DESPIECE DE BARRA
RECTANGULAR GUÍA

1:1

ASESOR:
D. ELIAS

GARCIA SULCA, JOSÉ GUSTAVO

FECHA:
2018.09.19
PLANO:
P13-A4



ESPESOR 2mm

TOLERANCIAS DIMENSIONALES

SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

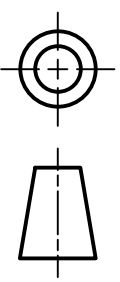
ACABADO SUPERFICIAL
3.2

TOLERANCIA GENERAL
DIN 7168
MECANIZADO MEDIO

MATERIAL
AA6061

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN



DISPOSITIVO LANZADOR DE BALONES

ESCALA

DESPIECE DE PLATINA

2:1

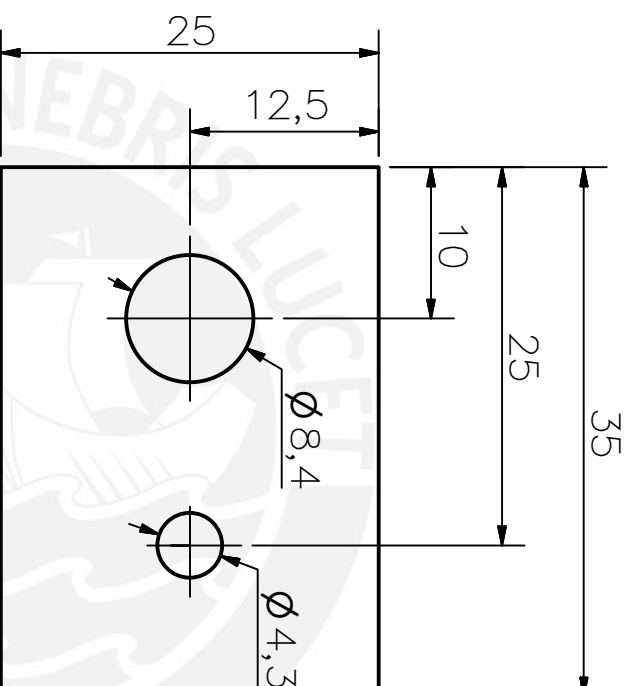
DE SOPORTE 1

ASESOR:
D. ELIAS

FECHA:
2018.09.19

GARCIA SULCA, JOSÉ GUSTAVO

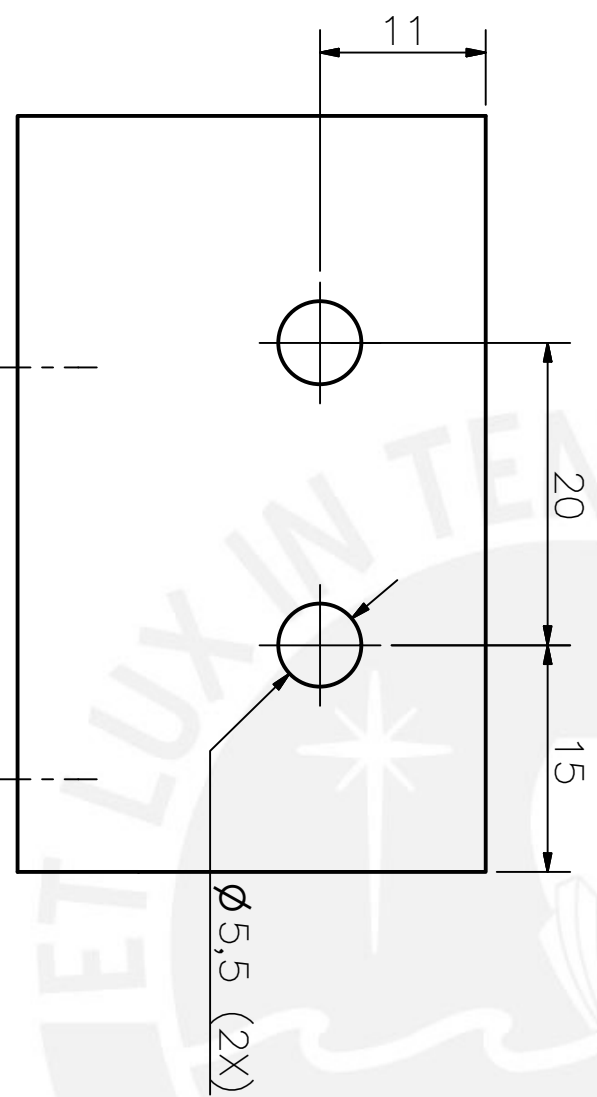
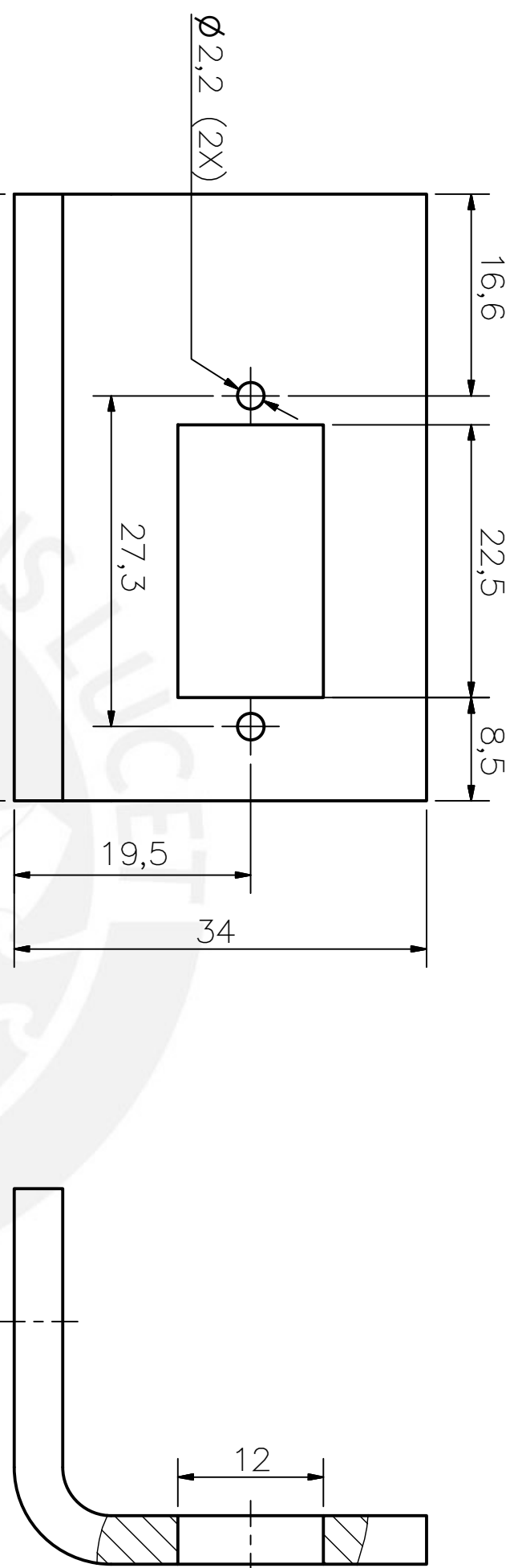
PLANO:
P14-A4



ESPESOR 2mm

TOLERANCIAS DIMENSIONALES					
SEGÚN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL 3.2	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL AA6061
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN		
DISPOSITIVO LANZADOR DE BALONES		ESCALA 2:1
DESPIECE DE PLATINA DE SOPORTE 2		FECHA: 2018.09.19
ASESOR: D. ELIAS	PLANO: P15-A4	
GARCIA SULCA, JOSÉ GUSTAVO		

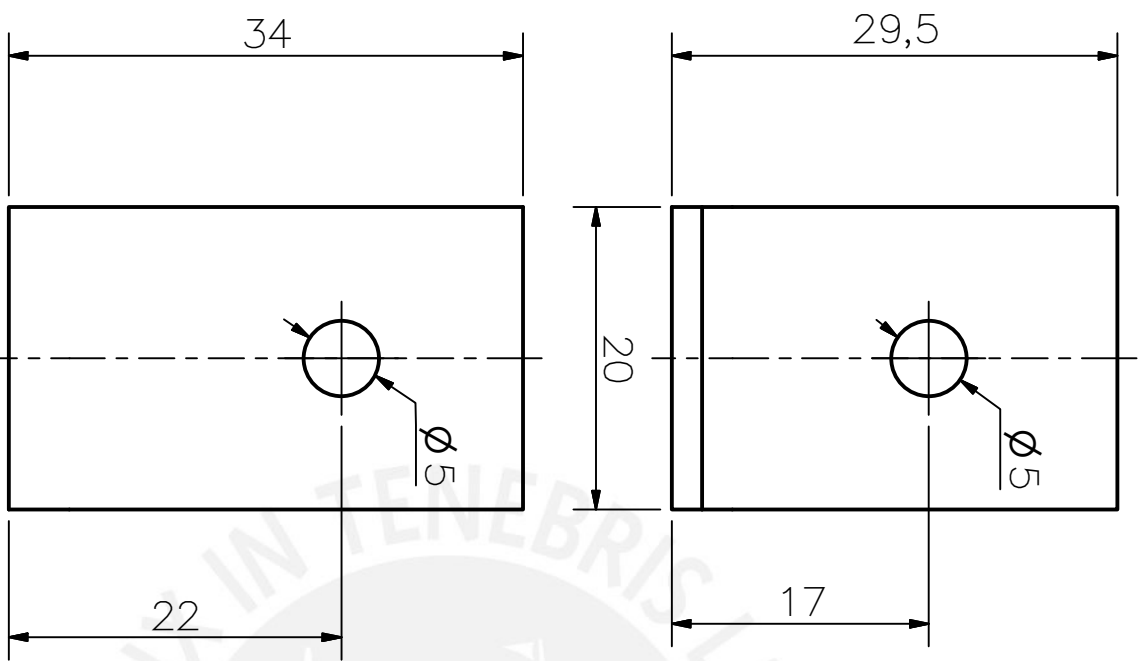


ESPESOR 4mm

TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL 3.2	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL AA6061
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISPOSITIVO LANZADOR DE BALONES	ESCALA
	DESPIECE DE PLATINA DE SOPORTE 3	2:1
ASESOR: D. ELIAS	GARCÍA SULCA, JOSÉ GUSTAVO	FECHA: 2018.09.19
		PLANO: P16-A3



ESPESOR 2mm

TOLERANCIAS DIMENSIONALES

SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL
3.2

TOLERANCIA GENERAL
DIN 7168
MECANIZADO MEDIO

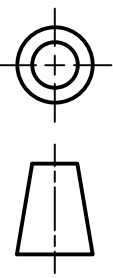
MATERIAL
AA6061

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN

DISPOSITIVO LANZADOR DE BALONES

ESCALA



DESPIECE DE PLATINA
DE SOPORTE 4

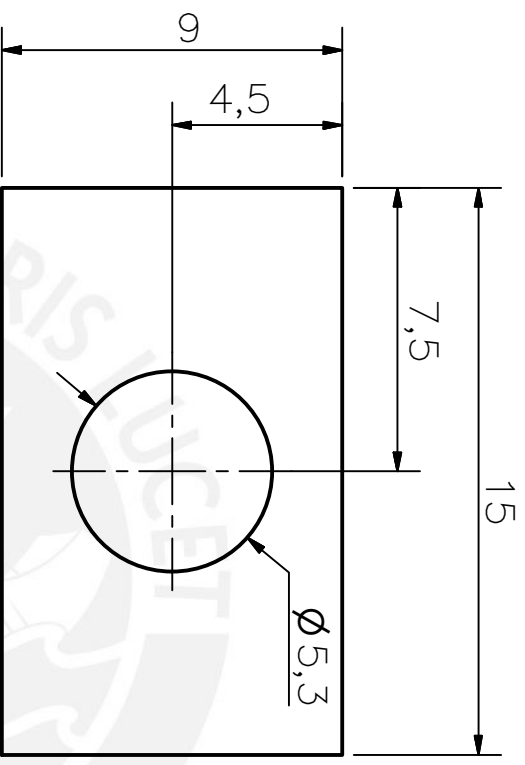
2:1

ASESOR:
D. ELIAS

FECHA:
2018.09.19

GARCIA SULCA, JOSÉ GUSTAVO

PLANO:
P17-A4



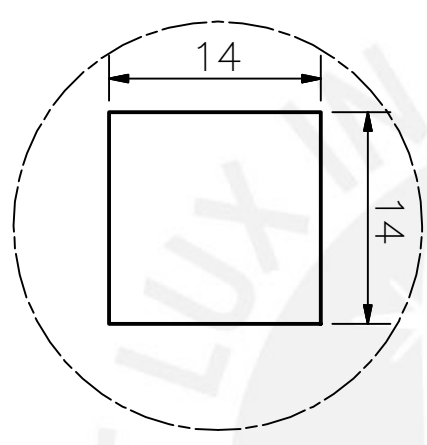
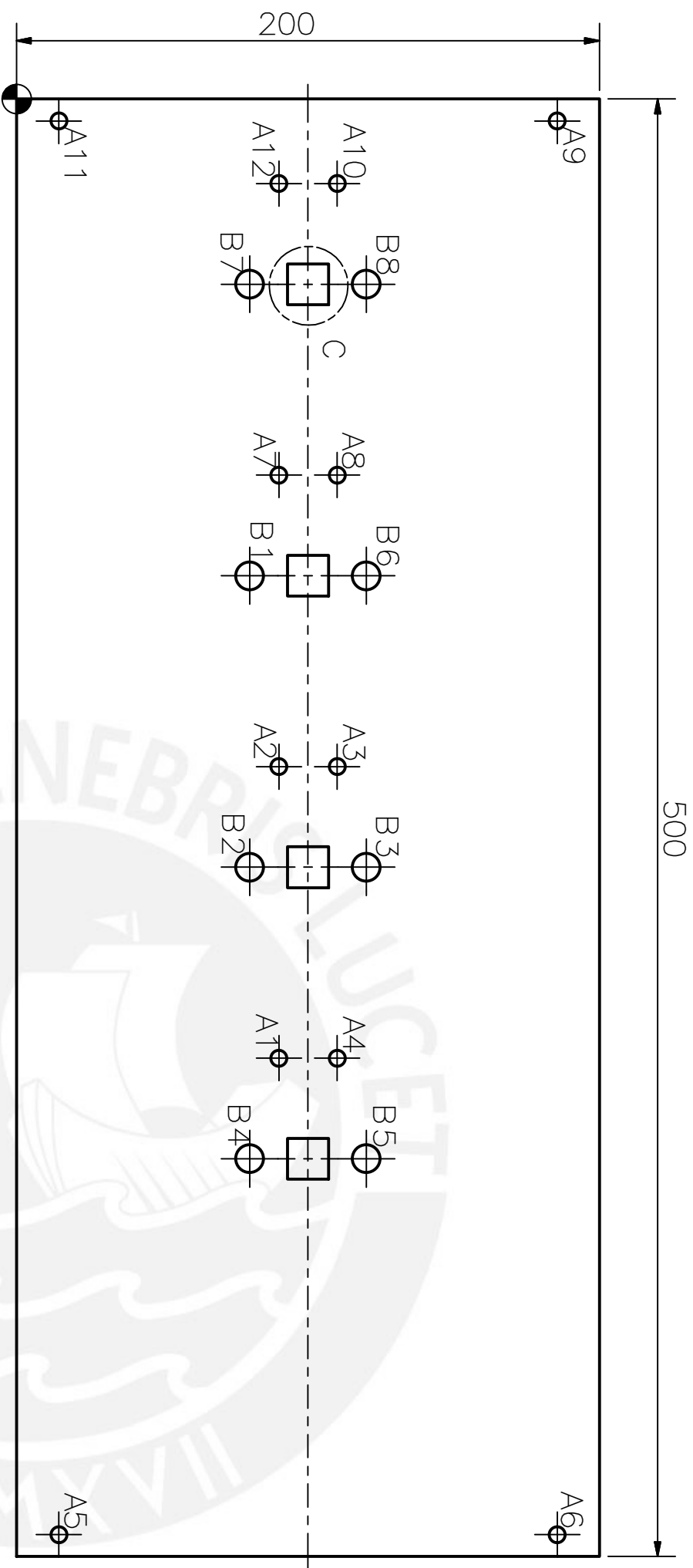
ESPESOR 3.5mm

TOLERANCIAS DIMENSIONALES

SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL 3.2	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL AA6061
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISPOSITIVO LANZADOR DE BALONES	ESCALA 5:1
	DESPIECE DE PLATINA DE SOPORTE 5	FECHA: 2018.09.19
ASESOR: D. ELIAS	GARCIA SULCA, JOSÉ GUSTAVO	PLANO: P18-A4



DETALLE C (x4)
ESCALA 2 : 1

TABLA DE AGUJEROS			
AGUJERO	XDIM	YDIM	DIAMETRO
A1	329	90	Ø 5,5
A2	229	90	Ø 5,5
A3	229	110	Ø 5,5
A4	329	110	Ø 5,5
A5	493	15	Ø 5,5
A6	493	186	Ø 5,5
A7	129	90	Ø 5,5
A8	129	110	Ø 5,5
A9	8	186	Ø 5,5
A10	29	110	Ø 5,5
A11	8	15	Ø 5,5
A12	29	90	Ø 5,5
B1	164	80	Ø 9,5
B2	264	80	Ø 9,5
B3	264	120	Ø 9,5
B4	364	80	Ø 9,5
B5	364	120	Ø 9,5
B6	164	120	Ø 9,5
B7	64	80	Ø 9,5
B8	64	120	Ø 9,5

ACABADO SUPERFICIAL 3.2	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 MECANIZADO FINO	MATERIAL AA6061
----------------------------	---	--------------------

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN
DISPOSITIVO LANZADOR DE BALONES

DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA
DESPIECE DE BASE DE SOPORTE

ESCALA
1:2

ASESOR: D. ELIAS

FECHA:
2018.09.19

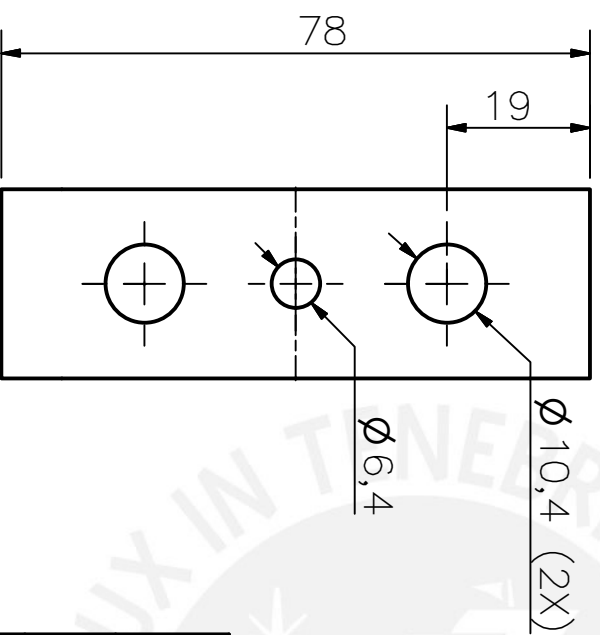
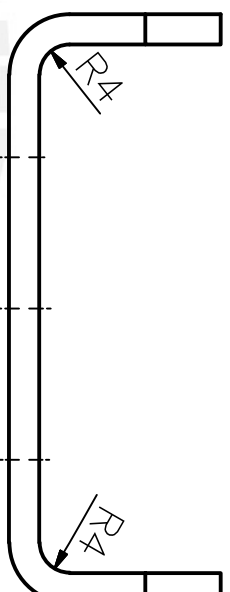
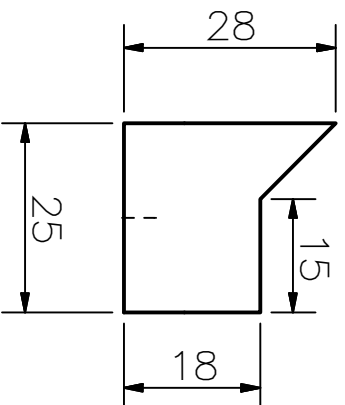
GARCÍA SULCA, JOSÉ GUSTAVO

PLANO:
P19-A3

TOLERANCIAS DIMENSIONALES

SEGUN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
FINO	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2



ESPESOR 4mm

TOLERANCIAS DIMENSIONALES

SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL
3.2

TOLERANCIA GENERAL
DIN 7168
MECANIZADO MEDIO

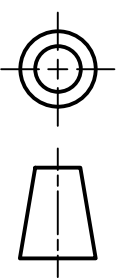
MATERIAL
CK45

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN

DISPOSITIVO LANZADOR DE BALONES

ESCALA



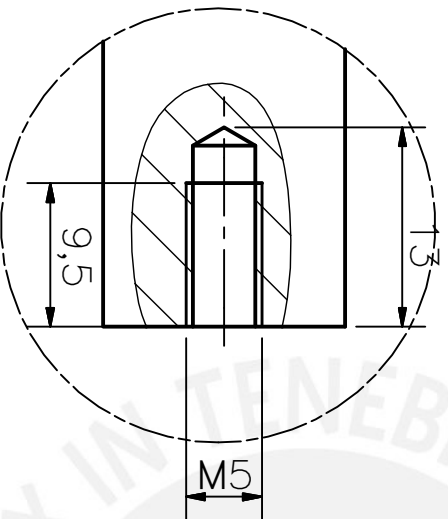
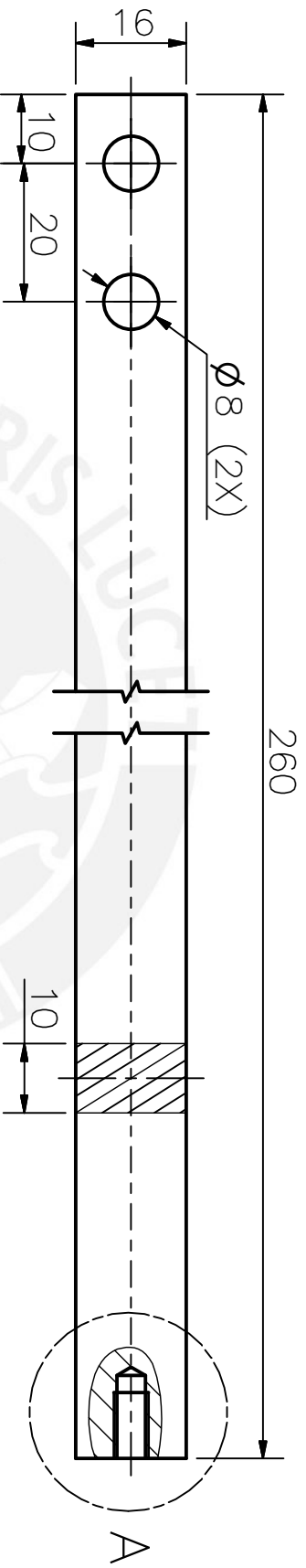
DESPIECE DE
TRINQUETE

1:1

ASESOR:
D. ELIAS

GARCIA SULCA, JOSÉ GUSTAVO

FECHA:
2018.09.19
PLANO:
P20-A4



DETALLE A
 ESCALA 2 : 1

TOLERANCIAS DIMENSIONALES

SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

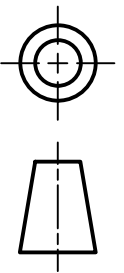
ACABADO SUPERFICIAL
 3.2

TOLERANCIA GENERAL
 DIN 7168
 MECANIZADO MEDIO

MATERIAL
 AA6061

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
 FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN



DISPOSITIVO LANZADOR DE BALONES

DESPIECE DE BARRA
 RECTANGULAR DE
 LANZAMIENTO

ESCALA

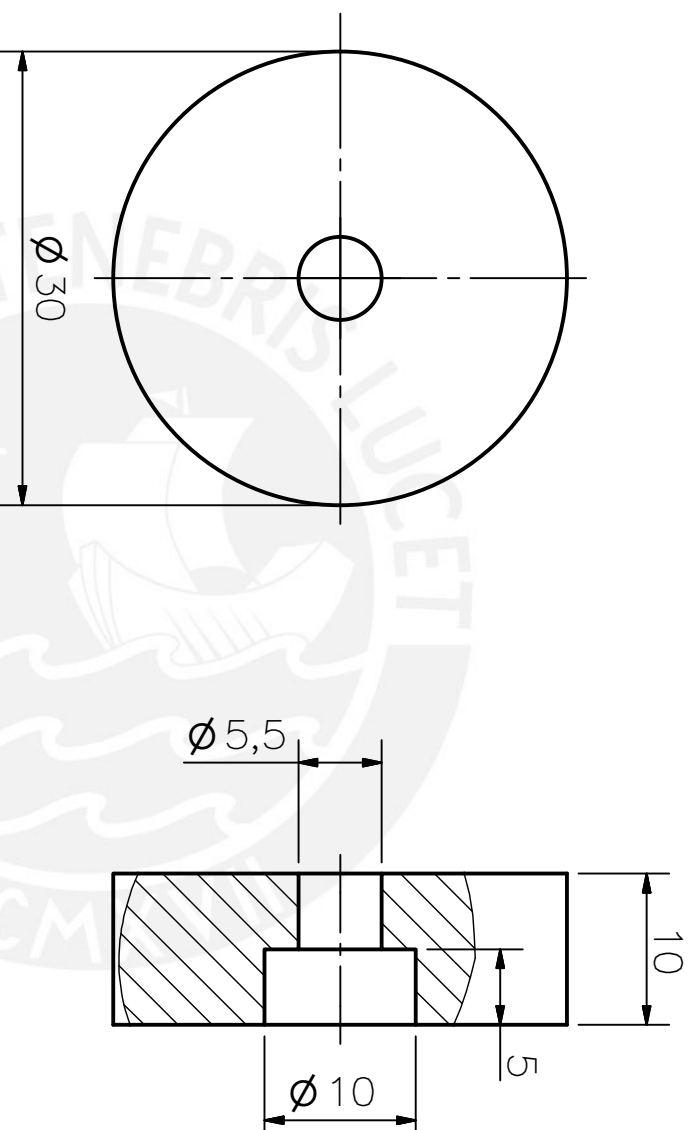
1:1

ASESOR:
 D. ELIAS

GARCÍA SULCA, JOSÉ GUSTAVO

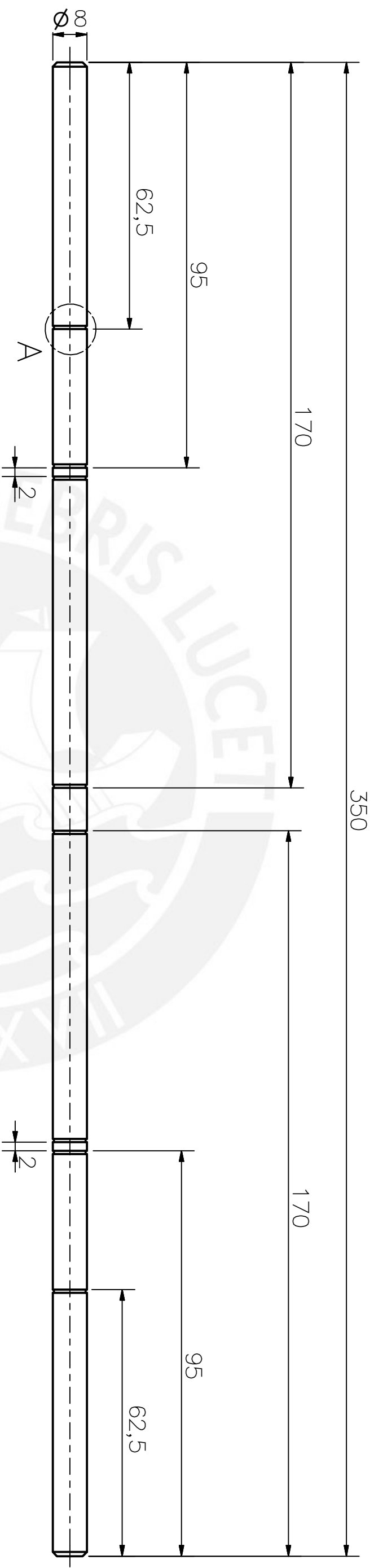
PLANO:
 P21-A4

FECHA:
 2018.09.19



TOLERANCIAS DIMENSIONALES					
SEGÚN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL 3.2	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL AA6061
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISPOSITIVO LANZADOR DE BALONES	ESCALA 2:1
	DESPIECE DE PLATAFORMA DE LANZAMIENTO	FECHA: 2018.09.19
ASESOR: D. ELIAS	GARCIA SULCA, JOSÉ GUSTAVO	PLANO: P22-A4



DETALLE A (X8)
 ESCALA 5 : 1

OBSERVACIÓN:
 CHAFLANES 1X45°

TOLERANCIAS DIMENSIONALES

SEGUN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
FINO	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2

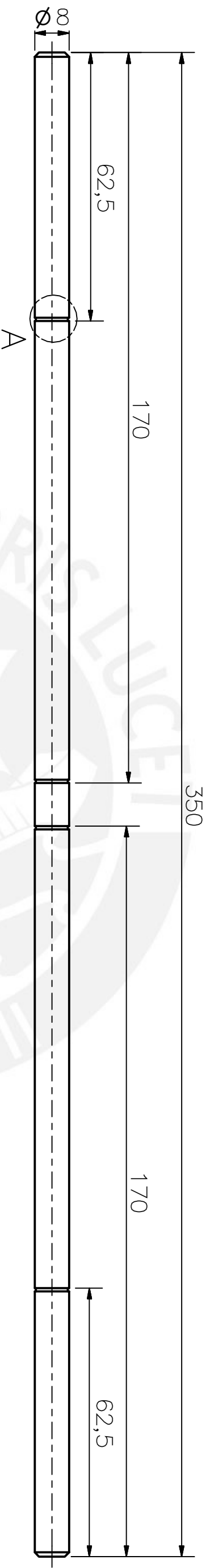
ACABADO SUPERFICIAL 3.2	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 MECANIZADO FINO	MATERIAL CK45
----------------------------	---	------------------

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
 FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISPOSITIVO LANZADOR DE BALONES	ESCALA 1:1
----------------------	---------------------------------	---------------

ASESOR: D. ELIAS	DESPIECE DE EJE DE LANZAMIENTO 1	FECHA: 2018.09.19
---------------------	----------------------------------	----------------------

GARCÍA SULCA, JOSÉ GUSTAVO		PLANO: P23-A3
----------------------------	--	------------------



DETALLE A (X4)
 ESCALA 5 : 1

OBSERVACIÓN:
 CHAFLANES 1X45°

TOLERANCIAS DIMENSIONALES

SEGUN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
FINO	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2

ACABADO SUPERFICIAL 3.2	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 MECANIZADO FINO	MATERIAL CK45
----------------------------	---	------------------

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
 FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

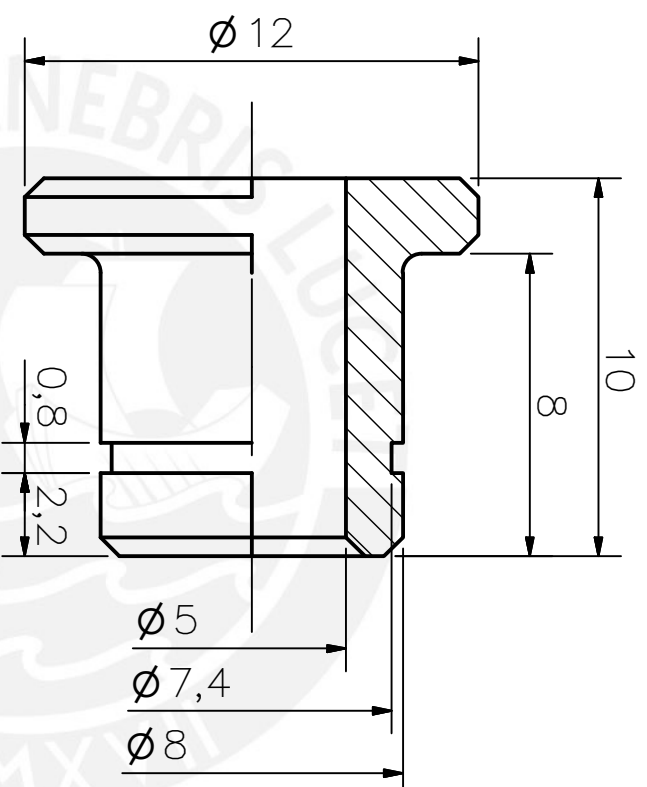
MÉTODO DE PROYECCIÓN
 DISPOSITIVO LANZADOR DE BALONES

DESCRIPCIÓN DE PROYECCIÓN	ESCALA 1:1
---------------------------	---------------

ASESOR: D. ELIAS
 LANZAMIENTO 2

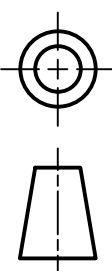
FECHA: 2018.09.19

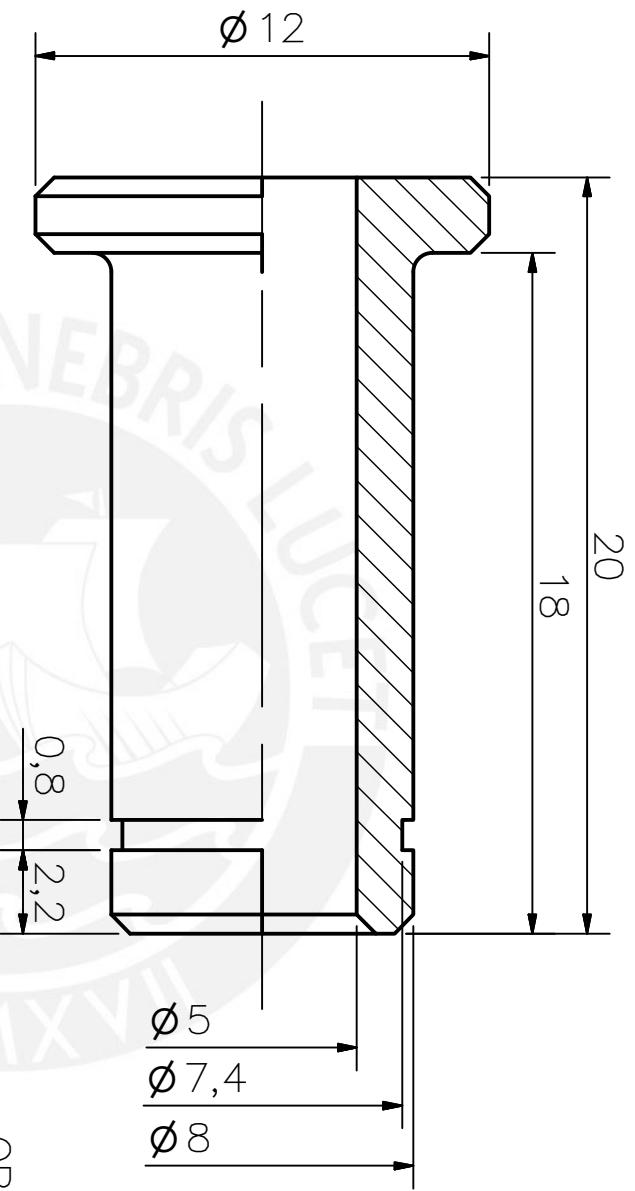
GARCÍA SULCA, JOSÉ GUSTAVO
 PLANO: P24-A3



OBSERVACIÓN:
 REDONDEOS 0.5mm
 CHAFLANES 0.5X45°

TOLERANCIAS DIMENSIONALES					
SEGÚN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

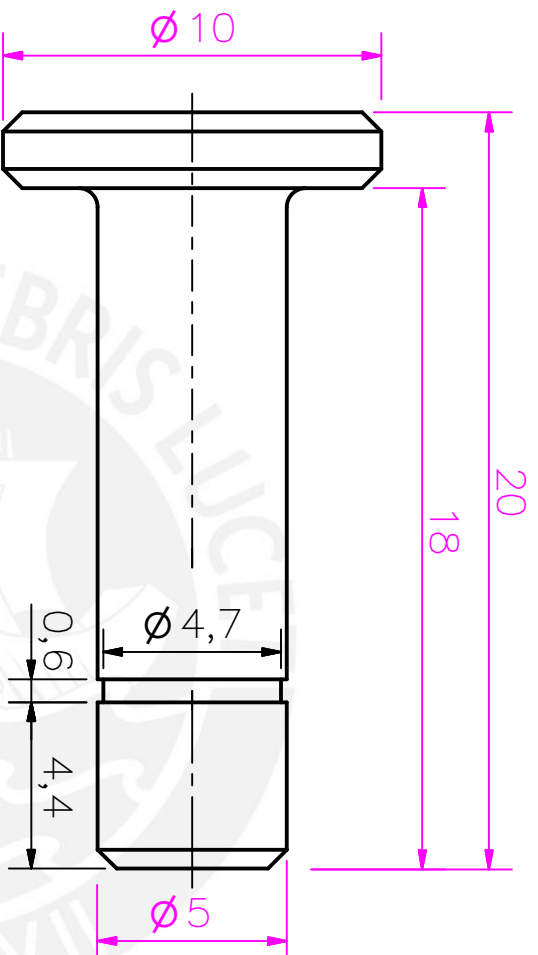
ACABADO SUPERFICIAL 3.2	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL SAE62
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISPOSITIVO LANZADOR DE BALONES	ESCALA 5:1
	DESPIECE DE BOCINA 12-8X8	FECHA: 2018.09.19
ASESOR: D. ELIAS	GARCIA SULCA, JOSÉ GUSTAVO	PLANO: P25-A4



OBSERVACIÓN:
 REDONDEOS 0.5mm
 CHAFLANES 0.5X45°

TOLERANCIAS DIMENSIONALES				
SEGÚN DIN 7168				
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
3.2	DIN 7168 MECANIZADO MEDIO	SAE62
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISPOSITIVO LANZADOR DE BALONES	ESCALA
	DESPIECE DE BOCINA	5:1
ASESOR: D. ELIAS	12-8X18	FECHA: 2018.09.19
GARCIA SULCA, JOSÉ GUSTAVO		PLANO: P26-A4



OBSERVACIÓN:
 REDONDEOS 0.5mm
 CHAFLANES 0.5X45°

ACABADO SUPERFICIAL
 3.2

TOLERANCIA GENERAL
 DIN 7168
 MECANIZADO MEDIO

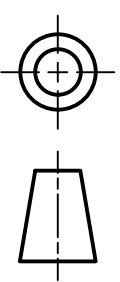
MATERIAL
 CK45

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
 FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN

DISPOSITIVO LANZADOR DE BALONES

ESCALA



DESPIECE DE PIN

5:1

ASESOR:
 D. ELIAS

5X18

FECHA:
 2018.09.19

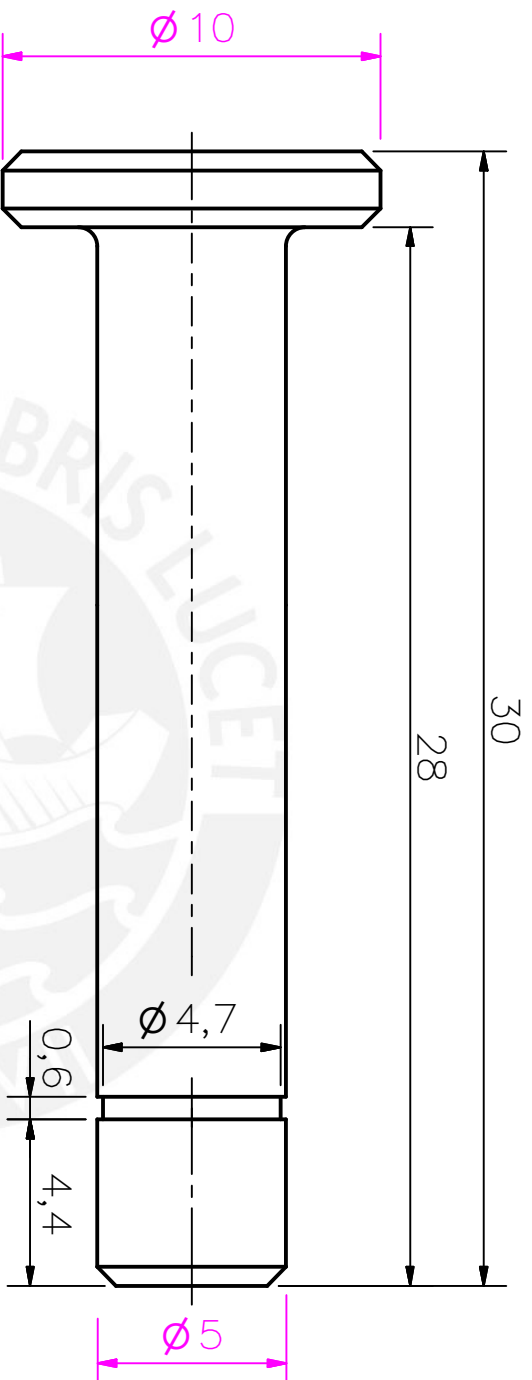
GARCÍA SULCA, JOSÉ GUSTAVO

PLANO:
 P27-A4

TOLERANCIAS DIMENSIONALES

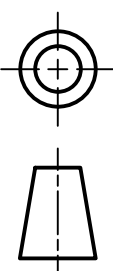
SEGÚN DIN 7168

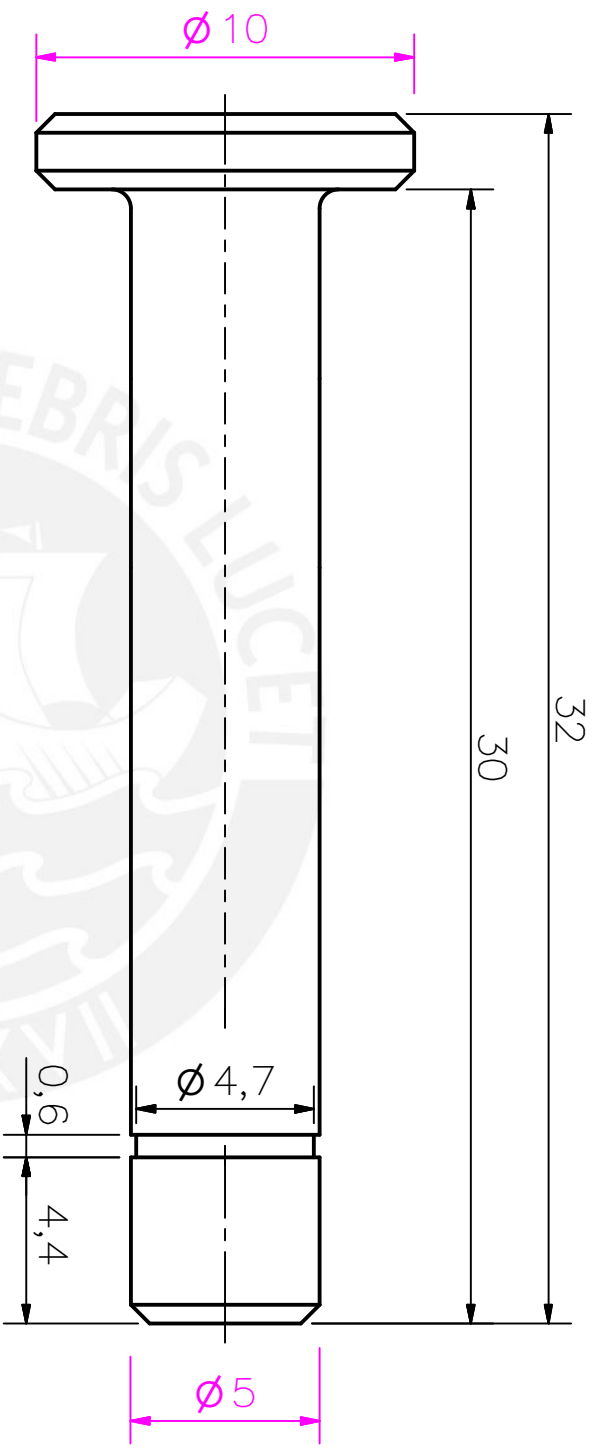
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5



OBSERVACIÓN:
 REDONDEOS 0.5mm
 CHAFLANES 0.5X45°

TOLERANCIAS DIMENSIONALES					
SEGÚN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL 3.2	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL CK45
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISPOSITIVO LANZADOR DE BALONES	ESCALA 5:1
	DESPIECE DE PIN 5X28	FECHA: 2018.09.19
ASESOR: D. ELIAS	GARCIA SULCA, JOSÉ GUSTAVO	PLANO: P28-A4



OBSERVACIÓN:
 REDONDEOS 0.5mm
 CHAFLANES 0.5X45°

ACABADO SUPERFICIAL 3.2	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL CK45
----------------------------	--	------------------

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
 FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISPOSITIVO LANZADOR DE BALONES	ESCALA 5:1
----------------------	---------------------------------	---------------

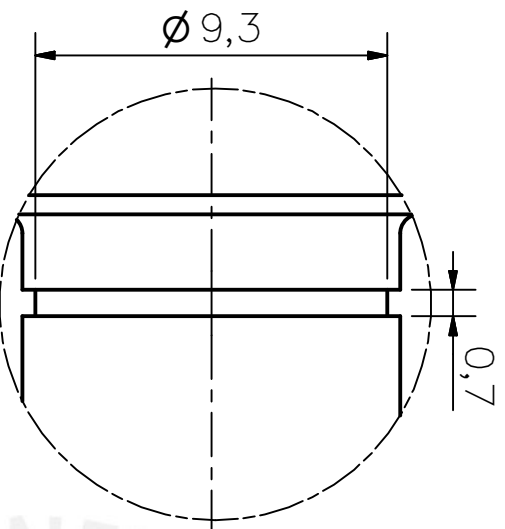
ASESOR: D. ELIAS	DESPIECE DE PIN 5X30	FECHA: 2018.09.19
---------------------	-------------------------	----------------------

GARCIA SULCA, JOSÉ GUSTAVO	PLANO: P29-A4
----------------------------	------------------

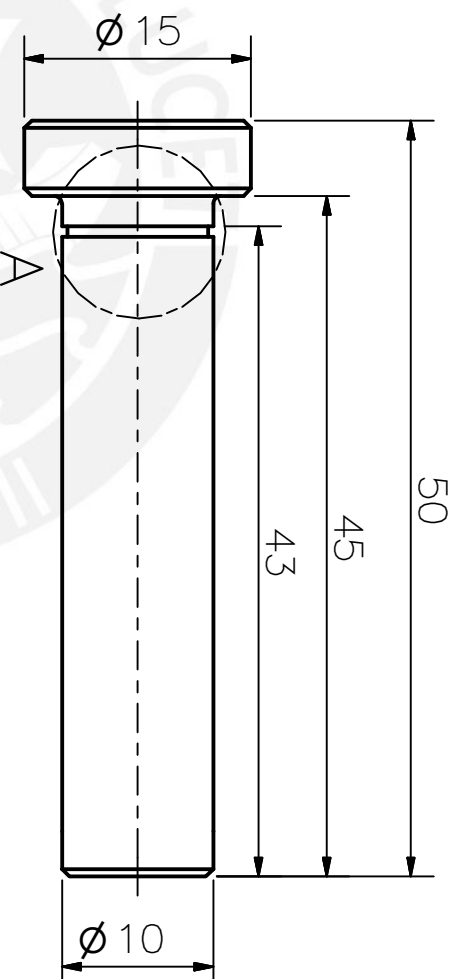
TOLERANCIAS DIMENSIONALES

SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5



DETALLE A
 ESCALA 5 : 1

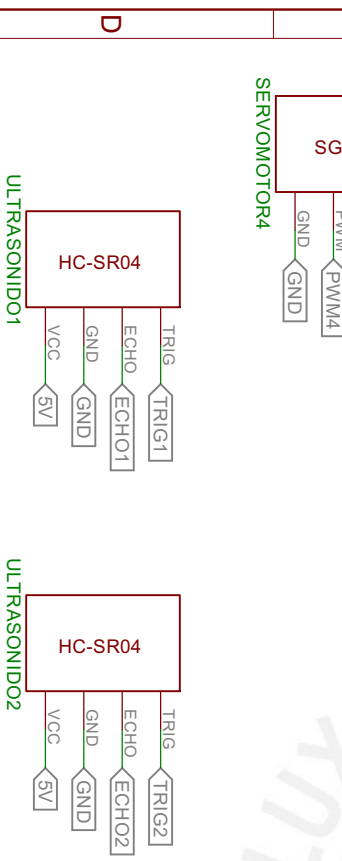
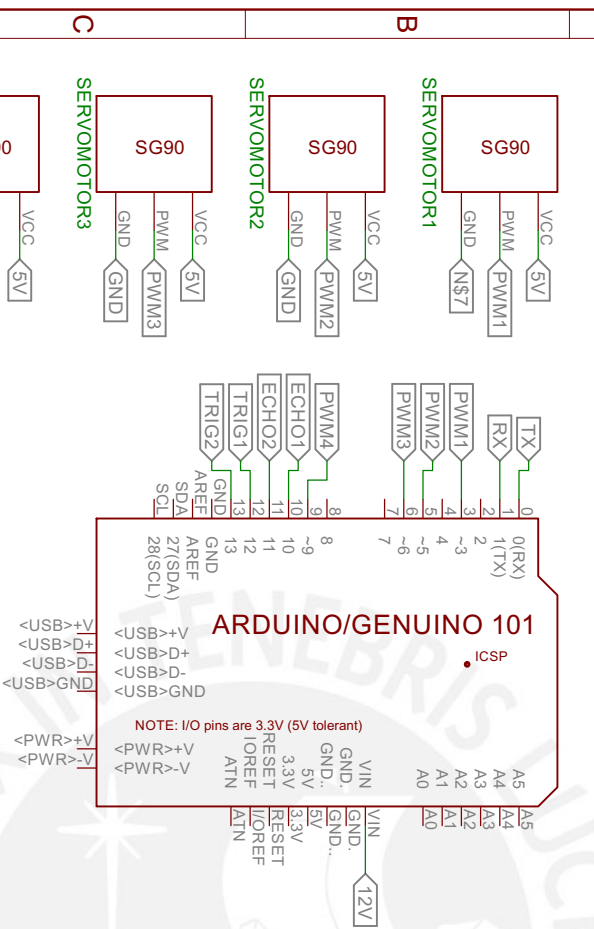
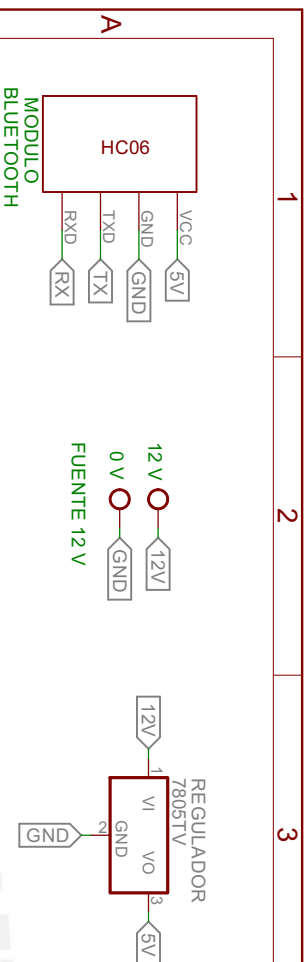


OBSERVACIÓN:
 REDONDEOS 0.5mm
 CHAFLANES 0.5X45°

TOLERANCIAS DIMENSIONALES
 SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL 3.2	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL CK45
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN		
DISPOSITIVO LANZADOR DE BALONES		
DESCRIPCIÓN DESPIECE DE PIN 10X45		
ASESOR: D. ELIAS	GARCIA SULCA, JOSÉ GUSTAVO	PLANO: P30-A4
FECHA: 2018.09.19		ESCALA 2:1



1	Regulador de voltaje LM7805	-	A3
1	Bateria LiPo 12V 3000mAh	Turnigy	A2
2	Sensor Ultrasonido HC-SR04	-	D1-D3
1	Módulo Bluetooth HC06	-	A1
4	Servomotor SG90	Tower Pro	B1-C1
1	Arduino UNO	Arduino	B2
	Componente	Fabricante	Ubicación

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
 FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - ESPECIALIDAD ING. MECATRÓNICA
 TRABAJO DE FIN DE CARRERA
DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE DISPOSITIVO LANZADOR DE BALONES

ALUMNO: GARCIA SULCA, JOSE GUSTAVO FECHA: 2017.28.06
 ASESOR: ELIAS GIORDANO, DANTE LÁMINA A4