

**DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN EQUIPO FIJO FUNCIONAL PARA EL
ENTRENAMIENTO DE TAEKWONDO**

**ORLAINE CASTILLA PEÑATE
2181646**

**ANDRES FELIPE SAAVEDRA RIAÑO
2194426**

**DIRECTOR
Andrés Gerardo Clavijo Vargas**

**CODIRECTOR
Hugo Alexander Rubio Herrera**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ
2023**

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	4
1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. OBJETIVOS.....	6
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	6
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
3. MARCO TEÓRICO	6
3.1 SISTEMA MECÁNICO	6
3.1.1 PRINCIPIO DE TRANSMISIBILIDAD DE FUERZAS.....	7
3.1.2 CENTRO DE GRAVEDAD.....	7
3.2 SISTEMA ELÉCTRICO	8
3.2.1 LEY DE OHM	9
3.2.2 RESISTENCIA ELÉCTRICA	9
3.2.3 DISPLAY 7 SEGMENTOS.....	10
3.2.4 ARDUINO	11
3.3 CONOCIMIENTOS TÉCNICOS DEL DEPORTE	11
3.3.1 CATEGORÍAS DE PESO (SENIOR).....	11
3.3.2 POTENCIAS DE IMPACTO POR CATEGORÍA DE PESO	12
3.3.3 CONCEPTOS DEL DEPORTE	15
3.4 ESTADO DEL ARTE.....	15
4. METODOLOGÍA.....	20
4.1 DISEÑO CONCEPTUAL	20
4.1.1 REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE	20
4.1.2 REQUERIMIENTOS DE INGENIERÍA	22
4.1.3 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS.....	23

4.1.4	PROPUESTA 1.....	23
4.1.5	PROPUESTA 2.....	25
4.1.6	PROPUESTA 3.....	26
4.1.7	ANÁLISIS FODA PROPUESTA 1.....	27
4.1.8	ANÁLISIS FODA PROPUESTA 2.....	27
4.1.9	ANÁLISIS FODA PROPUESTA 3.....	27
4.1.10	SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	28
4.2	DISEÑO DE DETALLE.....	29
4.2.1	PREDIMENSIONAMIENTO	29
4.2.2	MODELAMIENTO 3D-CAD Y CÁLCULOS	31
4.2.3	DISEÑO FINAL	50
4.2.4	DIAGRAMA DE FLUJO PARA PROGRAMACIÓN EN ARDUINO	58
4.2.5	COSTOS	61
4.3	ENSAMBLAJE FINAL Y PUESTA EN MARCHA.....	62
4.3.1	ENSAMBLE.....	62
4.3.2	PRUEBAS DE COMBATE.....	65
4.3.3	ANÁLISIS DE RESULTADOS	71
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	74
6	BIBLIOGRAFÍA.....	75
7	ANEXOS.....	77

RESUMEN

El presente proyecto consiste en el diseño, fabricación y puesta en marcha de un prototipo portátil funcional para el entrenamiento de taekwondo, diseñado para mostrar los valores numéricos de fuerza en una pantalla, cuando es golpeado por medio de puños y patadas. Como principal motivación para este proyecto, se basa en la necesidad de reportar valores de referencia de los golpes realizados en una superficie real durante los entrenamientos, facilitando conocer la fuerza ejercida y de este modo mejorar el desempeño del deportista en competencias reforzando su memoria muscular.

Tras sondear los requerimientos durante los entrenamientos de asimilación, y proponer diferentes alternativas de diseño, se selecciona la más indicada que pueda equilibrar la manufactura, costos e implementación del prototipo en una situación real. Elementos como el mecanismo y sujeciones se calcularon para que cumplan con las expectativas de funcionamiento. Por último, se realiza la fabricación del prototipo y con la finalidad de verificar el desempeño de este durante pruebas de funcionamiento, se cuenta con el equipo de taekwondo de la Universidad Santo Tomas.

Tras analizar los resultados obtenidos, se pudo identificar las falencias del mecanismo y la estructura, en consecuencia, se proponen modificaciones que permiten mejoras en el funcionamiento y operación del equipo.

1. INTRODUCCIÓN

Con la aparición de diversas artes marciales y el deseo de mejorar más rápido y efectivamente las habilidades físicas y mentales de los deportistas, se han usado dispositivos de entrenamiento con diferentes grados de complejidad (Choy, s/f)(Nexersys Boxing Unit, s/f). En muchos casos, los equipos de entrenamiento van enfocados a desarrollar una parte del cuerpo en particular o promueven un conjunto de habilidades que apoyan al deportista de combate (aquel que se enfrenta cuerpo a cuerpo con un adversario).

Una de esas artes marciales es Taekwondo (El camino del puño y la patada), es un arte marcial coreano y deporte olímpico practicado por aproximadamente 73 millones de personas alrededor del mundo, de los cuales 3.000 están en Colombia según el COI (Comité Olímpico Internacional) (World Taekwondo ABOUT WT, 2023). El Taekwondo hace énfasis en el uso de una gran variedad de patadas de alta velocidad y potencia, dirigidas principalmente a la altura del torso y la cabeza de un adversario. El objetivo en un combate de Taekwondo oficial (vigilado por instituciones reconocidas como ASCUN o CERRROS) es anotar la mayor cantidad de puntos a favor, golpeando a un oponente con el puño o el pie. El taekwondista cuenta con movimientos ágiles de cadera y piernas, por lo que, su fuerza radica mayormente en el tren inferior (piernas y glúteos). Además, posee un buen desarrollo del sistema cardiovascular que le permite dar un gran número de patadas de gran intensidad en un periodo reducido de tiempo.

Las principales variables que pueden ser monitoreadas en la ejecución de una patada son fuerza, velocidad, altura, potencia y técnica. Estas variables pueden ser detectadas mediante el uso de petos y cascos electrónicos, pero en algunas competencias se han presentado algunos inconvenientes a deportistas de todos los niveles (Cho et al., 2020), ya que estos dispositivos cuentan con sensores especiales que registran el punto anotado solo si se logran dos condiciones simultáneamente: debe haber un contacto completo entre el sensor golpeado y el pin (imán) presente en las empeineras (medias de impacto) de protección del deportista, y por otro lado, el impacto de la patada debe contar con la fuerza suficiente para que el sensor registre los datos. Si la patada no cumple con estas dos condiciones no cuenta como punto. Una patada efectiva que genera puntos es aquella que cuenta con potencia, flexibilidad y técnica, estas habilidades se entrenan con frecuencia por los taekwondistas.

El equipo de entrenamiento consta de unos elementos diseñados para recibir impacto tales como; paletas (almohadilla cubierta de cuero, para impactos de precisión), paos (almohada de mayor área para golpes contundentes), vallas de agilidad, sacos de boxeo, muñecos de entrenamiento (maniquí resistente a golpes), petos y cascos convencionales. Sin embargo, en una sesión de entrenamiento de Taekwondo ninguno de los elementos mencionados anteriormente cuenta con algún dispositivo que registre la fuerza y la efectividad de la patada.

Sin el equipo adecuado de entrenamiento, los deportistas se acostumbran a patear sin tener en cuenta un punto de referencia, finalmente llegan a competencias y su patada no logra marcar puntos, lo cual desencadena un desgaste físico y mental, aparición de lesiones y en muchas ocasiones, el bajo desempeño en competencias.

Considerando lo anterior y los altos costos que de un equipo electrónico avalado por la WTF (World Taekwondo Federation) para competencias, el cual puede tener un valor aproximado de 13'000.000 COP para el año 2022. Se propone un dispositivo o equipo que registre la fuerza de la patada, de modo que se puedan visualizar y cuantificar si los golpes son efectivos simulando el contacto que tendría el pie con un peto electrónico real, con el beneficio de brindar cierta libertad al deportista para hacer entrenamiento de asimilación independientemente y de este modo mejorar la memoria muscular y desempeño de los taekwondistas.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un equipo fijo funcional, de tipo entrenador independiente para patadas del taekwondista.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las necesidades del deportista, para realizar el diseño conceptual y de detalle de una estructura capaz de soportar el impacto de la patada, contemplando la ergonomía y antropometría del cuerpo humano.
- Seleccionar los elementos mecánicos y/o electrónicos que registren la zona de contacto y fuerza de la patada por medio de una clasificación de costo y funcionalidad.
- Fabricar un prototipo funcional mediante la integración de sistemas mecánicos y electrónicos para entrenamiento real de deportistas.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 SISTEMA MECÁNICO

Los sistemas mecánicos consisten en el uso de diferentes mecanismos, los cuales consisten en diferentes cuerpos rígidos móviles, que unidos entre sí, se mueven relativamente uno sobre el otro en forma definida, trabajan juntos para transformar energía, transmitir o convertir movimiento y fuerza (Alberro, 2013). El movimiento debe tener un origen o entrada y un final o salida, en este último se verá reflejado la funcionalidad del mecanismo.

Los mecanismos han sido usados desde los comienzos de la humanidad para la solución de diversos problemas, inicialmente empezaron como máquinas simples y fueron evolucionando en

diseño y eficiencia hasta lograr los mecanismos conocidos que se usan hoy en la cotidianidad y la ingeniería.

Para la fabricación de máquinas se usan sistemas mecánicos de todo tipo de dimensiones y formas, además del uso de componentes eléctricos que faciliten la automatización de los procesos. A pesar de que el desarrollo de la electrónica ha desplazado la mecánica, aún se sigue confiando en los sistemas mecánicos debido a su durabilidad, facilidad de fabricación, mantenimiento y accesibilidad.

Las leyes de la mecánica clásica son aplicadas al diseño y comprensión de los sistemas mecánicos, para el desarrollo de este proyecto son mencionadas a continuación junto con otros conceptos relevantes

3.1.1 PRINCIPIO DE TRANSMISIBILIDAD DE FUERZAS

Este principio explica como una fuerza aplicada sobre un objeto rígido es equivalente a otra fuerza sobre la misma línea de acción con las mismas características de magnitud y dirección, aunque aún aplicada sobre el mismo objeto (Hugh D. Young et al., 2013). Realizar el análisis de fuerzas aprovechando el uso de este principio facilita cálculos y su comprensión, ya que brinda una perspectiva diferente pero lógica del problema.

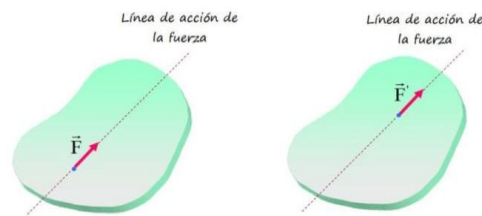


Figura 1. Línea de acción de la fuerza en un objeto sólido. Fuente: <https://www.lifeder.com/principio-transmisibilidad-fuerzas/>

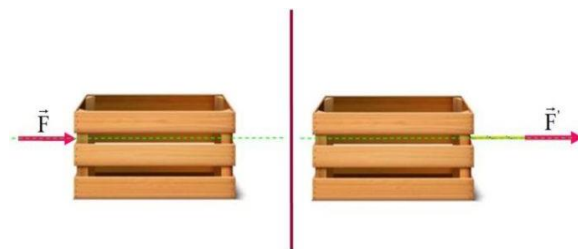


Figura 2. Ejemplo de line de acción en un objeto solido real. Fuente: <https://www.lifeder.com/principio-transmisibilidad-fuerzas/>

3.1.2 CENTRO DE GRAVEDAD

El centro de gravedad es un punto donde se ubica la resultante de la fuerza gravitacional que ejerce la Tierra sobre este, en este punto se considera que toda la masa se concentra. Para cuerpos que consisten en una geometría complicada se recomienda separar el objeto a analizar en figuras más

sencillas, tomar el centro de gravedad de cada sección y por medio de sumatorias hallar el centro de gravedad total (Russell. C. Hibbeler, 2010).



Figura 3. Ejemplo centro de gravedad. Fuente: Estática, Russell. C. Hibbeler

3.1.3 LEY DE HOOKE

Los resortes son elementos elásticos, por lo tanto, al ser deformados vuelven a su forma original, para explicar su comportamiento el científico Robert Hooke desarrollo la siguiente ecuación:

$$F = -k \Delta x \quad (1)$$

$F = \text{Fuerza (N)}$

$k = \text{Constante de resorte } \left(\frac{N}{m}\right)$

$\Delta x = \text{Diferencia de desplazamiento de compresión o extensión del resorte (m)}$

La ecuación anterior establece una proporción directa, entre la fuerza aplicada en el resorte y su desplazamiento junto con su respectivo módulo. Lo anterior será válido mientras el resorte no sea deformado permanentemente (Hugh D. Young et al., 2013).

3.2 SISTEMA ELÉCTRICO

Un sistema eléctrico es la conexión de distintos componentes eléctricos o electrónicos que logran completar un circuito para cumplir ciertas funciones dependiendo de su configuración. Para su correcto funcionamiento los sistemas eléctricos deben contener una fuente de energía y un receptor de esta misma, el cual puede ser un motor, un led, etc (Arboledas Brihuega, 2014b).

Los materiales que realizan las conexiones deben permitir el correcto paso de la corriente eléctrica, por eso es vital emplear materiales conductores que conecten los componentes entre ellos mismos.

Algunos elementos esenciales y conceptos para la construcción de sistemas eléctricos son mencionados a continuación.

3.2.1 LEY DE OHM

La Ley de Ohm es una ley desarrollada por Georg Simon Ohm, es ampliamente usada para el entendimiento de los circuitos eléctricos, esta expresa la relación que existe entre el voltaje, intensidad de corriente y la resistencia. Para poder aplicar la ecuación de la Ley de Ohm es necesario tener como mínimo dos magnitudes (Arboledas Brihuega, 2014a).

$$V = I * R \quad (2)$$

$V = \text{Voltaje (V)}$

$I = \text{Intensidad de corriente (A)}$

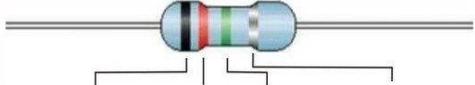
$R = \text{Resistencia } (\Omega)$

3.2.2 RESISTENCIA ELÉCTRICA

Las resistencias eléctricas son aquellos elementos que se oponen al flujo de corriente eléctrica, dependiendo de su material y grosor, el valor de resistencia puede variar, cuanto más se oponga al paso de la corriente, más resistencia tendrá el elemento (Hugh D. Young et al., 2009).

Existe una propiedad que permiten reducir el flujo de corriente eléctrica, es llamada resistividad, a mayor resistividad menos flujo de corriente eléctrica pasará por la resistencia, esto se logra empleando grafito, uno de los elementos más usados en la fabricación de resistencias, debido a su fácil accesibilidad, economía, pero sobre todo por sus propiedades químicas, cuenta con una resistividad de $60,00 \times 10^{-6} (\Omega \cdot m)$, lo que lo hace un material más conveniente frente a otras alternativas.

En el mercado se pueden encontrar distintos tipos de resistencias, las más comunes tienen valores fijos, usualmente representados por bandas de colores en su superficie. También se pueden encontrar otros modelos que permiten cambiar el valor de la resistencia, estos dispositivos son conocidos como “resistencias variables” o “potenciómetros”, es muy común encontrarlos gracias a su versatilidad y fácil funcionamiento, los más comunes, están formados por una perilla que durante su rotación cambia de posición una pequeña pestaña interna que conecta con un camino de grafito, al girar la perilla se alarga o acorta la cantidad de grafito entre la entrada y salida de corriente, estos potenciómetros se asemeja a lo que podría ser una perilla en una estufa de gas, dependiendo de su posición crecen o decrecen las llamas. Para otros propósitos también existen modelos no rotacionales, sino más bien “lineales” o “deslizantes”, su funcionamiento es similar a los “rotacionales” con la única diferencia de que el movimiento necesario para cambiar el valor de la resistencia el completamente lineal.



Color	1ra. Banda	2da. Banda	3ra. Banda Multiplicador	Tolerancia %
Negro	0	0	x1	
Cafe	1	1	x10	
Rojo	2	2	x100	2%
Naranja	3	3	x1000	
Amarillo	4	4	x10000	
Verde	5	5	x100000	
Azul	6	6	x1000000	
Violeta	7	7	x10000000	
Gris	8	8	x100000000	
Blanco	9	9	x1000000000	
				Dorado 5%
				Piata 10%

Circuitos Básicos

Figura 4. Tabla de equivalencia de resistencias. Fuente: <https://www.logicbus.com.mx/blog/codigo-de-colores-de-resistencias/>



Figura 5. Potenciómetros “rotacional” (izquierda) y “deslizante” (derecha). Fuentes: <https://comofunciona.co/un-potenciometro/> (izquierda) y <https://www.ebay.es/itm/351409770511> (derecha)

3.2.3 DISPLAY 7 SEGMENTOS

Es un elemento electrónico usado en la visualización de valores numéricos, se compone de siete segmentos que cuentan con la capacidad de encenderse y de este modo generar la geometría de algún número particular. Cada segmento es representado con una letra para facilitar su manipulación (Óscar Torrente Artero, 2013).

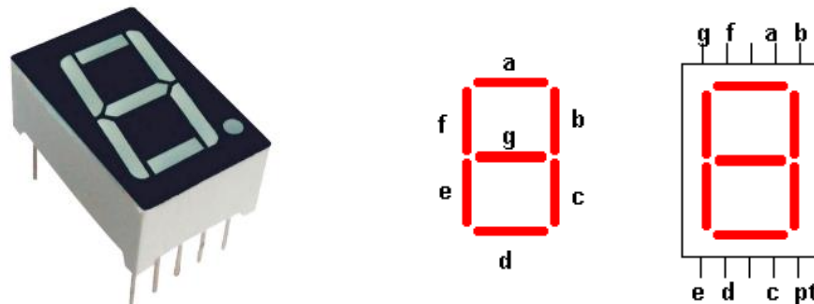


Figura 6. Display 7 segmentos real (izquierda) y esquemático (derecha). Fuente: <https://electronicathido.com/detallesProducto.php?id=MEDlRGZnaTlGU2R6UnF6dHJDUUVTZz09> (izquierda) y <https://wilaebaelectronica.blogspot.com/2017/01/hola-en-display-7-segmentos.html> (derecha)

3.2.4 ARDUINO

Arduino es una plataforma abierta basada en un software y hardware de fácil uso. En su desarrollo son empleados tarjetas Arduino, capaces de leer una gran variedad de datos de entrada, provenientes de sensores, botones, motores, etc. Después de procesar la información recibida con ayuda de un código de programación, Arduino la convierte en una salida, la cual dependerá de las instrucciones previamente programadas, esto es posible gracias al uso de microcontroladores incluidos por defecto. Puesto que Arduino nació como una herramienta para la enseñanza, sus componentes electrónicos suelen ser económicos, profesionales y estudiantes lo usan constantemente para todo tipo de aplicaciones, desde las más sencillas hasta las más complejas (What is Arduino? | Arduino, s/f).



Figura 7. Placa Arduino UNO. Fuente: <https://arduino.cl/producto/arduino-uno/>

3.3 CONOCIMIENTOS TÉCNICOS DEL DEPORTE

Cada arte marcial tiene sus características y particularidades que lo diferencian de otras disciplinas, por lo tanto, se deben tener en cuenta los siguientes parámetros para entender más a profundidad cómo funciona el taekwondo.

3.3.1 CATEGORÍAS DE PESO (SENIOR)

Las instituciones que deseen participar en una competencia oficial con petos y cascos electrónicos deben seguir el reglamento de categorías de peso y género, el sistema más usado son las categorías mundiales, expresadas en la siguiente tabla.

Tabla 1. Categorías de peso

CATEGORÍAS DE PESO	
Masculino	Femenino
-54 kg	-46 kg
-58 kg	-49 kg
-63 kg	-53 kg
-68 kg	-57 kg
-74 kg	-62 kg
-80 kg	-67 kg
-87 kg	-73 kg
+87 kg	+73 kg

Fuente: http://www.worldtaekwondo.org/viewer_pdf/external/pdfs-2.1.266-dist/web/viewer.html?file=http://www.worldtaekwondo.org/wp-content/uploads/2019/08/WT-Competition-Rules-Interpretation-Manchester-May-15-2019.pdf

3.3.2 POTENCIAS DE IMPACTO POR CATEGORÍA DE PESO

Cada categoría de peso debe ejecutar una patada con un mínimo de potencia para que los sensores del peto electrónico la puedan considerar como válida, según la WTF los petos deben ser calibrados de la siguiente forma.

Tabla 2. Potencias por categoría peto electrónico

Senior Masculino								
Categoría	-54	-58	-63	-68	-74	-80	-87	+87
Talla PSS	#2	#3	#3	#3	#3	#4	#4	#4
Nivel de impacto	26	30	31	32	33	34	36	38

Senior Femenino								
Categoría	-46	-49	-53	-57	-62	-67	-73	+73
Talla PSS	#1	#2	#2	#3	#3	#3	#3	#4
Nivel de impacto	22	25	26	27	28	30	31	32

Fuente: https://sw3362.smartweb-static.com/upload_dir/docs/Manual-TK-Strike-Truescore-2014.pdf

A pesar de que los manuales de los petos electrónicos muestran las potencias mencionadas antes, realmente las unidades respectivas jamás son mencionadas, ni por el reglamento de la WTF o el Comité Olímpico Internacional. Para corroborar el tipo de información, se consulta con el codirector de este proyecto, además de miembros de la facultad de cultura física participantes en competencias oficiales de taekwondo de la Universidad Santo Tomás, los cuales confirmaron que las unidades de impacto para el peto electrónico podrían ser Watts (W), ya que las instrucciones de uso que ellos reciben, explican el funcionamiento del peto electrónico con sensores de proximidad además de potencia, sin embargo como la calibración de los niveles de impacto no es algo que ellos puedan cambiar a gusto como usuarios, ni el software que lo controla estos valores

lo permite, lo cual impide que se pueda ahondar más en estos valores. Las marcas como “Daedo” y “KP&P” se guardan la información técnica de los criterios de evaluación de los petos electrónicos por propósitos comerciales. Por lo tanto, se decidió tomar diferentes estudios simplemente como datos de referencia.

La información encontrada revelo discrepancias entre la relación masa-fuerza que existe en las categorías de peso, algunos estudios contradicen y cuestionan las potencias reales generadas por cada categoría. Como es el caso del primer estudio a tener en cuenta, donde las potencias reflejadas en la Tabla3, en su respectivo artículo el autor concluye que, tras su investigación, se pudo observar que las potencias generadas por los deportistas son realmente menores a las que exige cada categoría oficialmente (Chang-Hwan Choi et al., 2021).

Tabla 3. Potencias por categorías primer estudio

Hombres			
Categoría de peso	Grupo de impacto	Grupo efectivo de impacto	Impacto promedio de patada
Menos 58 kg	24,6 ± 7,17	13,6 ± 1,88	18,4 ± 7,37
Menos 63 kg	28,3 ± 8,51	14,7 ± 2,40	20,6 ± 8,93
Menos 68 kg	27,4 ± 7,59	15,1 ± 2,65	19,7 ± 7,82
Menos 80 kg	32,2 ± 8,62	16,1 ± 3,39	21,4 ± 9,44
Mayor 80 kg	30,9 ± 7,70	16,4 ± 3,68	18,7 ± 6,99

Mujeres			
Categoría de peso	Grupo de impacto	Grupo efectivo de impacto	Impacto promedio de patada
Menos 49 kg	19,9 ± 3,41	12,7 ± 1,39	16,1 ± 4,41
Menos 53 kg	21,2 ± 3,95	13,2 ± 1,73	16,0 ± 4,70
Menos 57 kg	25,4 ± 7,67	13,3 ± 1,71	19,1 ± 8,10
Menos 67 kg	25,5 ± 5,82	14,3 ± 2,59	17,3 ± 6,17
Mayos 67 kg	27,3 ± 4,37	15,2 ± 3,29	17,3 ± 5,71

Fuente: <https://link.springer.com/article/10.1186/s13102-021-00340-x#Tab2>

En el segundo artículo se encuentra el extremo opuesto, Tabla 4, donde la potencia generada puede ser incluso el doble de la estipulada por el reglamento (Juan Pablo Díaz Sarmiento & Norris Wason Gutiérrez Vázquez, 2019)

Tabla 4. Potencias segundo estudio

	PC1	PC2	PC3
MEDIA (W)	147,4	153,454	175,347
SD	24,689	31,09	45,142
PC1 = Potencia media desarrollada por las patadas puntuables del combate; PC2 = Potencia media desarrollada por las			

patadas puntuables del combate 2; **PC3** = Potencia media desarrollada por las patadas puntuables del combate 3.

Fuente: <http://repository.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/17355/TE-24179.pdf?sequence=1>

Otros autores deciden ir directamente al análisis de las fuerzas generadas, como se puede ver en el siguiente ejemplo. Donde, tomando los promedios generados por veintiún participantes, únicamente masculinos, se puede comparar los valores obtenidos en la Tabla 5. Contrario a lo que se esperaría, la categoría más pesada genera incluso menos fuerza, que la categoría más liviana (Coral Falco et al., 2011).

Tabla 5. Fuerzas tercer estudio

	Pluma (58-68kg)	Superligero (68-80kg)	Pesado (+80kg)
Fuerza de impacto (N)	2032	2040	2016

Fuente: (PDF) capacidad de generación de fuerzas de golpeo y tiempo de ejecución según la categoría de peso en taekwondo (researchgate.net)

Una vez más, es posible encontrar valores que se contraponen a lo mencionado anteriormente. En la siguiente tabla, los autores comparan a 27 deportistas masculinos medallista y no medallista, de diferentes categorías de peso, desde los 52kg hasta los 98kg, posteriormente promedian estas categorías (Isaac Estevan et al., 2011). Sin embargo, los valores obtenidos son considerablemente inferiores a los mencionados en la Tabla 5.

Fuerzas cuarto estudio

		Mean $\pm$ SD	
		Medallist (n = 13)	Nonmedallist (n = 14)
MIF (N)	ED ₁	1,829 $\pm$ 161 ^{†‡}	1,327 $\pm$ 167
	ED ₂	1,803 $\pm$ 131	1,469 $\pm$ 135
	ED ₃	1,760 $\pm$ 149 ^{†‡}	1,203 $\pm$ 154
ET (s)	ED ₁	0.248 $\pm$ 0.012 ^{†‡§}	0.295 $\pm$ 0.013§
	ED ₂	0.287 $\pm$ 0.023§	0.327 $\pm$ 0.024§
	ED ₃	0.316 $\pm$ 0.018 ^{†‡}	0.385 $\pm$ 0.019
IT (s)	ED ₁	0.023 $\pm$ 0.001	0.022 $\pm$ 0.001§
	ED ₂	0.023 $\pm$ 0.001	0.024 $\pm$ 0.002§
	ED ₃	0.026 $\pm$ 0.002	0.029 $\pm$ 0.002

*ED = execution distance; ED₁ = short; ED₂ = medium; ED₃ = long; MIF = maximum impact force; ET = execution time; IT = impact time.

[†]p < 0.05.

[‡]Significant differences between medallists and nonmedallists.

[§]No significant differences among execution distances (p < 0.05).

^{||}No significant differences among execution distances (p < 0.05).

Fuente: https://journals.lww.com/nsca-jscr/Fulltext/2011/10000/Impact_Force_and_Time_Analysis_Influenced_by.26.aspx

Como consecuencia de las evidentes diferencias de valores en los estudios anteriormente mencionados, estos son considerados meramente informativos, para demostrar la variedad de resultados y su complejidad de análisis. Cabe aclarar debido a las incongruencias entre cada estudio y las potencias necesarias para categoría de peso, los valores se tomaran como referencia para la construcción del prototipo en este proyecto, servirá para mostrar valores de referencia que ayuden a los deportistas a mejorar sus habilidades, mas no son valores definitivos.

3.3.3 CONCEPTOS DEL DEPORTE

Existen algunos conceptos básicos para entender cómo funciona la práctica de una disciplina deportiva, los más destacables, que son mencionados en este proyecto son los siguientes:

Entrenamiento de asimilación: Son diversas técnicas o movimientos específicos, normalmente repetitivos, usados para que los deportistas se acostumbren a ciertos entornos o movimientos. En taekwondo estas rutinas consisten en la ejecución de patadas a un peto real, mientras un compañero de entrenamiento lo lleva puesto (Gonzales & Pedroso, s/f).

Memoria muscular: Es la capacidad que tienen los músculos para realizar ciertas actividades o movimientos con más facilidad una vez que se han hecho anteriormente. Esta “memoria” suele ser más evidente en los deportistas, ya que una vez aprendidos ciertos movimientos, a pesar del paso del tiempo sin emplearlos aún recuerdan cómo ejecutarlos correctamente (Memoria muscular: qué es, cómo funciona, y cuánto dura, s/f).

3.4 ESTADO DEL ARTE

El taekwondo es un deporte que tiene como especialidad el uso de las patadas, es una disciplina parcialmente joven, ya que a diferencia de otras artes marciales se viene practicando oficialmente desde 1955 (Taekwondo | Secretaría de Cultura, Recreación y Deporte, s/f). Gracias a su relativa juventud en comparación con otras artes marciales, ha podido hacer uso de diversos implementos ya existentes, originalmente pertenecientes a otras disciplinas, como lo son los sacos de boxeo, entre otros.

Durante años el entrenamiento de taekwondo ha empleado paos de diferentes tamaños, paletas, sacos de boxeo y maniquís de combate, sin embargo, la única novedad que han tenido estos elementos con el pasar del tiempo son sus materiales, actualmente son más duraderos y estéticos. También se pueden encontrar algunos dispositivos más lúdicos, enfocados principalmente al desarrollo de la elasticidad y precisión, más que en la fuerza, como es la “Multiestación de palchaguis” (Máquinas indispensables para entrenamientos Taekwondo - Solo Artes Marciales, s/f).



Figura 8. “Paos” (izquierda) y “paletas” (derecha). Fuente:
https://www.magisvoh.com/index.php?main_page=product_info&products_id=684386 (izquierda) y
https://www.deportescbm.com/item-pads_paos_focus_paleta_de_velocidad_guanteras_guanteletas_guantes_mma-240648 (derecha)



Figura 9. “Maniqui de combate” (izquierda) y “Multiestacion de palchaguis” (derecha). Fuente:
<https://bytomic.com/century-bob-jacket/> (izquierda) y <https://martialartsgearstore.com/products/blitz-multi-kick-punch> (derecha)

Para el entrenamiento de combate, durante años y hasta el día de hoy se han usado cascos y petos convencionales, los cuales no tienen ninguna particularidad especial excepto ser superficies seguras de golpear sin provocar lesiones, con la capacidad amortiguar los golpes para mayor

seguridad del portador, estos elementos son similares a los usados en los JJOO de Sídney 2000, donde el Taekwondo fue reconocido como deporte olímpico por primera vez. La única diferencia notable entre los petos de los JJOO del 2000 y los actuales convencionales es su diseño visual, los primeros señalaban con círculos los lugares que se debían golpear y de este modo facilitar el trabajo de los jueces en el conteo de los puntos, mientras que los actuales se limitan a ser de una sola tonalidad, no obstante, los cascos no presentan ningún cambio considerable durante todo este tiempo. Cabe mencionar que los lugares de marcación de puntos en el peto siguen siendo los mismos.



Figura 10. Casco y peto de los JJOO Sídney 2000 (izquierda), caso y peto convencionales de entrenamiento actuales (derecha). Fuente: <http://mastkd.com/2009/05/juegos-olimpicos-de-sydney-2000/> (izquierda) y <http://taekwondoenmardelplata.blogspot.com/2008/05/> (derecha)

Para los JJOO de Londres 2012 se decidió usar cascos y petos electrónicos y de este modo eliminar la subjetividad de la visión humana para el conteo de puntos, estos dispositivos se siguen usando hasta el día de hoy siendo cada vez más populares en centros deportivos que pueden asumir su alto costo. El sistema de marcación electrónica de puntos consiste en un sensor en las empeineras (E-Foot Protector), que debe impactar con suficiente fuerza el sensor incluido en el peto (E-Chest Protector), si estos dos sensores coinciden entonces habrá punto, el juez decidirá el valor del punto (Referee Scoring Box) dependiendo de la complejidad de la patada, estas señales de la patada y la del juez son leídas por el receptor (Receiver) y enviadas a un programa que las transformara en el marcador de puntos del combate.

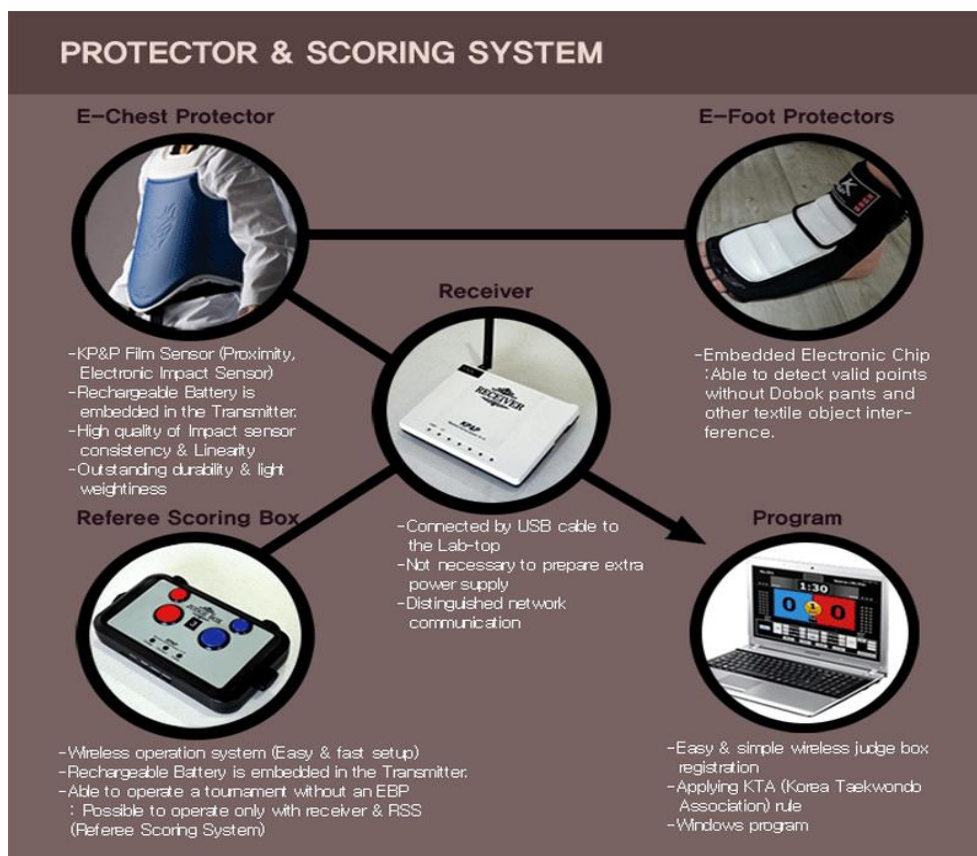


Figura 11. Sistema de marcación de puntos. Fuente: <http://mastkd.com/2013/01/sale-a-la-venta-un-nuevo-peto-electronico-aprobado-por-wtf/>

La aparición de nuevas tecnologías impulsó a la industria del deporte a desarrollar nuevos dispositivos de entrenamiento que usan elementos electrónicos como sensores, luces y sonidos, para recrear un escenario más interactivo y entretenido para los deportistas. Sin embargo estos equipos suelen tener costos elevados, principalmente porque son fabricados en países asiáticos donde las artes marciales son deportes nacionales como lo es el “SSUARABI” coreano (순발력을 길러주는 격투 운동기구 “싸우라비”, s/f), una máquina principalmente dirigida a entrenamiento de taekwondo, es empotrada en el piso y el techo para evitar su desplazamiento, cuenta con una pantalla individual lateral que muestra los valores relacionados con la patada, se pueden realizar golpes a diferentes zonas relevantes similares al cuerpo humano, tiene una altura fija y está recubierta de materiales suaves y seguros de golpear. Mientras que, algunos modelos de este tipo también se pueden encontrar en el mercado estadounidense pero principalmente dirigido al entrenamiento de velocidad y reacción como el “Fit Interactive 3 Kick” (*Fit Interactive 3 Kick - Interactive Kickboxing For All Ages | Exergame Fitness*, s/f), esta máquina está dirigida al entrenamiento de kick boxing, no necesita ser empotrada, pero puede ocupar tres o cuatro metros de ancho, puede ser programada por medio de una pantalla interactiva, consta de tres pilares subdivididos en tres partes, cada una con sensores, los cuales son activados al ejercer fuerza sobre ellos, la cubierta es firme pero segura de golpear, además de contar con luces y su altura es fija. Luego se pueden encontrar máquinas más sencillas, accesibles en cuanto a precio, diseño, tamaño y adaptabilidad a diferentes estaturas de deportista como lo es el “Body Action System” (Rutten, s/f), una máquina dirigida al entrenamiento de artes marciales mixtas, con la desventaja de que no

cuenta con ningún sensor o dispositivo que de un punto de referencia al usuario de cuanta fuerza está empleando en sus golpes.



Figura 12. Máquinas coreana “SSUARABI” (izquierda) y americana “FIT INTERRECTIVE 3 KICK”.
Fuentes: <https://www.km2a.net/martial-arts-facilities-sunnyvale-santa-clara> (izquierda) y <https://www.exergamefitness.com/products/active-floor-games/fit-interactive-3-kick/> (derecha)



Figura 13. Máquina “Body Action System”. Fuente: <https://basbodyactionsystem.com/pages/how-it-works>

Los deportes de contacto no han sido los únicos en usar sensores que les ayuden a contar los puntos, otras disciplinas también los han usado casi desde sus comienzos como deportes de categoría

olímpica, uno de ellos es la esgrima que usa una marcación similar a la usada en las patadas de taekwondo. La esgrima usa un sistema de marcación que consiste en un botón ubicado en la punta del arma, debe ser oprimido contra el oponente con cierta fuerza, el área que debe tocar la punta del arma es de un material conductor que se encuentra energizado y de este modo cierra el circuito, posteriormente un sistema determina cuál de los competidores hizo contacto con el arma primero para otorgarle el punto.

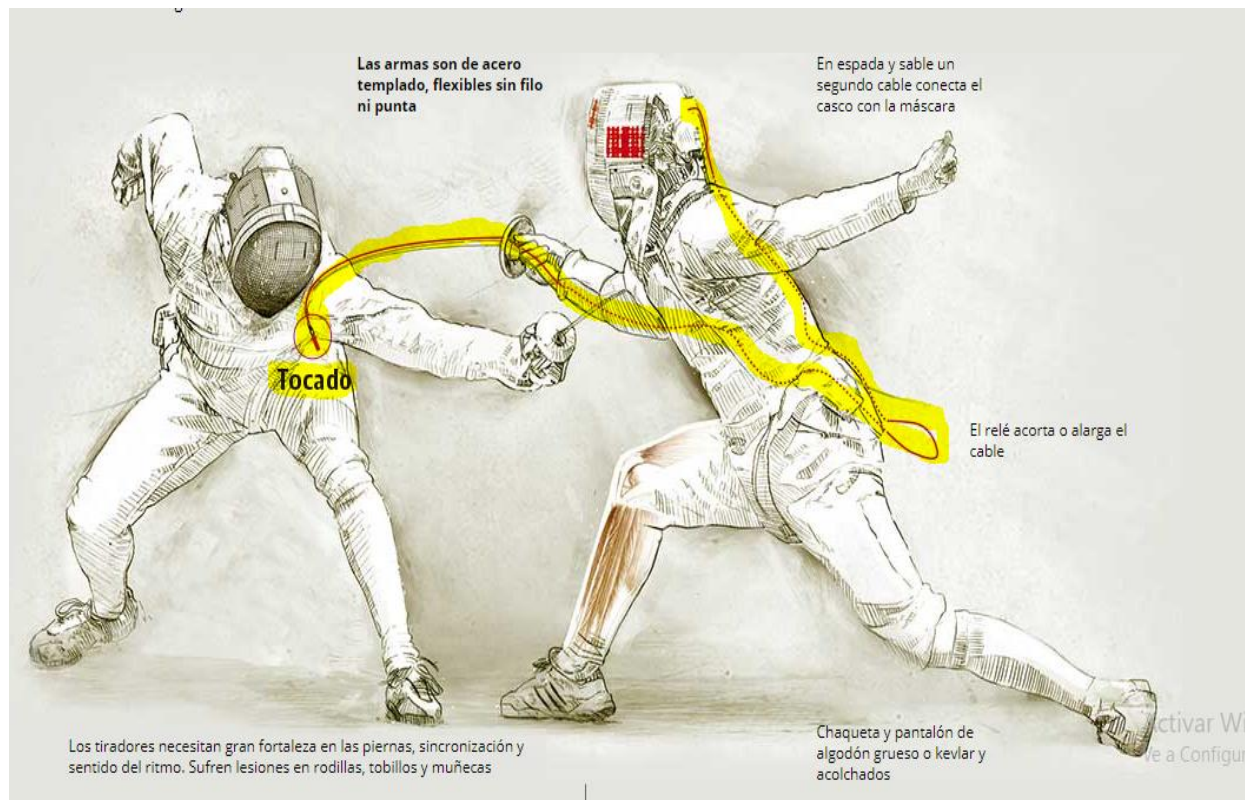


Figura 14. Sistema de marcación en la esgrima. Fuente: <http://especial.elcorreo.com/infografias/olimpiadas/esgrima.html>

4. METODOLOGÍA

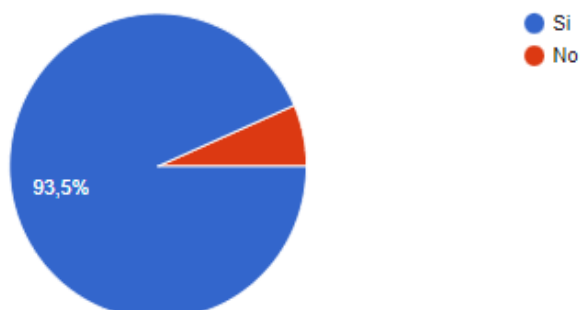
4.1 DISEÑO CONCEPTUAL

4.1.1 REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE

Después de realizar el sondeo de las necesidades de la máquina de entrenamiento a 46 taekwondistas de diferentes centros de formación, incluida la Universidad Santo Tomás, se obtuvieron los siguientes resultados más relevantes.

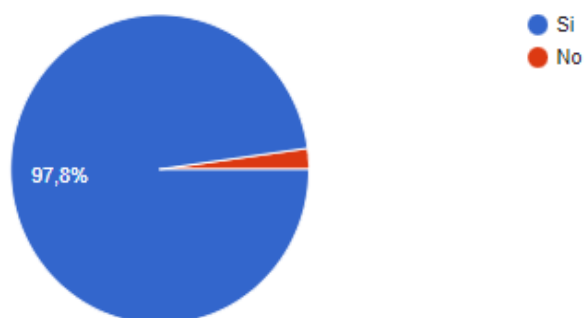
1) ¿Le gustaría entrenar por su propia cuenta sus patadas, teniendo la certeza de que esta anotando correctamente?

46 respuestas



4) ¿Cree usted que entrenando con un dispositivo similar al peto electrónico mejoraría sus resultados en combate?

46 respuestas



7) ¿Cree usted que sabiendo la fuerza aplicada en la patada lo ayude a mejorar su fuerza actual?

46 respuestas

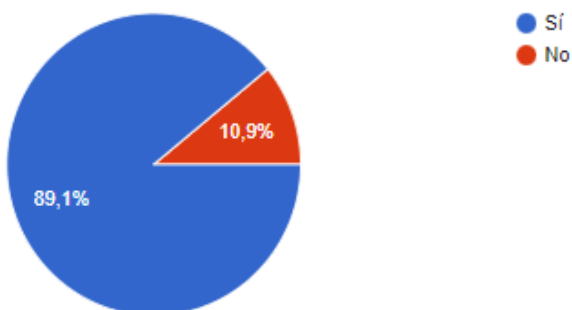


Figura 15. Encuesta, resultados mas relevantes. Fuente: Autores

De la encuesta de 9 preguntas, se logró determinar los requerimientos del cliente y se les dio un valor según su relevancia, donde 10 es el valor de prioridad más alta, 5 prioridad media y 1 prioridad mínima.

Tabla 6. Requerimientos del cliente

REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE	
Ítem	Prioridad
Poder entrenar solo	10
Mas asimilación deportiva (aumentar la experiencia de combate)	10
Saber dónde golpear	10
Mostrar un puntaje	10
Estabilidad (que se sostenga solo)	10
Permite golpear torso	10
Permite golpear la cabeza	10
Seguro	5
Luces	5
Indicador de sonido	5
Costo	5

Fuente: Autores

4.1.2 REQUERIMIENTOS DE INGENIERÍA

Para cumplir las anteriores necesidades expresadas por los deportistas es necesario que se cumplan ciertas especificaciones de ingeniería, las cuales son listadas a continuación. Donde 10 es el valor de prioridad más alta, 5 prioridad media y 1 prioridad mínima.

Tabla 7. Requerimientos de ingeniería

REQUERIMIENTOS DE INGENIERÍA	
Ítem	Prioridad
Bancada pesada para ser estable	10
Variación de altura para diferentes estaturas de deportista	10
Circuito difícil de desconectar	10
Forma externa similar al cuerpo humano (torso y cabeza)	10
Sensor de fuerza	10
Sensor de contacto	5
Pantalla que muestre fuerza	10
Superficie de golpeo blanda	10

Materiales resistentes a golpes	10
Materiales accesibles	10
Fuente de energía sin conexión a tomacorriente	5
Leds que se iluminan con el contacto	5
Generador de sonido con el contacto	5

Fuente: Autores

4.1.3 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

Teniendo en cuenta los requerimientos del cliente y de ingeniería se estudiaron las siguientes tres propuestas y su viabilidad al momento de su construcción.

4.1.4 PROPUESTA 1

Inspirado en el martillo de fuerza visto en las ferias, con el que se mide la fuerza golpeada en una base con un martillo, está a su vez gracias al impacto generado eleva una masa a cierta altura. Manteniendo la idea del mecanismo mencionado se plantea el uso de un sistema electromecánico el cual consta de un componente que es sometido a presión, accionado por la patada del deportista elevando una masa a cierta altura, dependiendo de la fuerza de impacto de la patada. Esta masa es detectada por un sensor de movimiento infrarrojo a su vez conectado con un Arduino, que permite leer la cercanía alcanzada por esa masa. Los datos serán observados en una pantalla de 7 segmentos. La altura alcanzada está directamente relacionada con la fuerza de la patada.

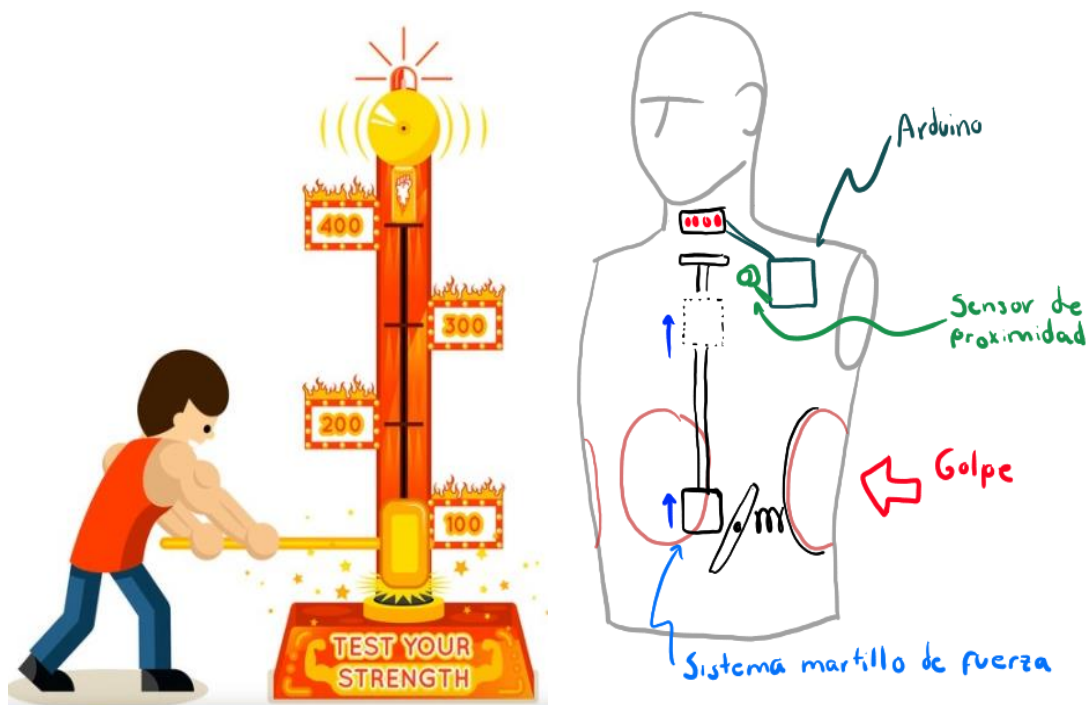


Figura 16. Martillo de fuerza (izquierda) y boceto inicial del mecanismo propuesta 1(derecha).

Fuente: https://www.freepik.es/vector-gratis/pon-prueba-tu-fuerza-strongman-golpeando-maximo-victoria-atraccion_10603281.htm (izquierda) y autores (derecha)

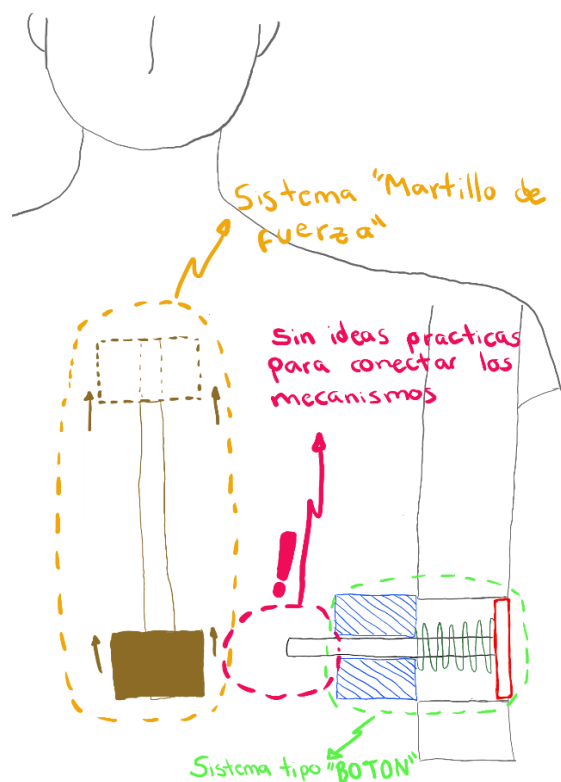


Figura 17. Boceto propuesta 1. Fuente: Autores

4.1.5 PROPUESTA 2

Tomando como inspiración el funcionamiento de un generador eléctrico, el cual logra transformar la energía mecánica a energía eléctrica. Se propone el uso de un sistema generador de energía tipo dinamo eléctrico, que es accionado por la patada del deportista, de este modo mueve un sistema de transmisión de potencia tipo piñón cremallera para finalmente mover el eje del dinamo y generar energía eléctrica. El voltaje de salida del dinamo es leído por la entrada analógica del Arduino y el resultado se observa en la pantalla de 7 segmentos.

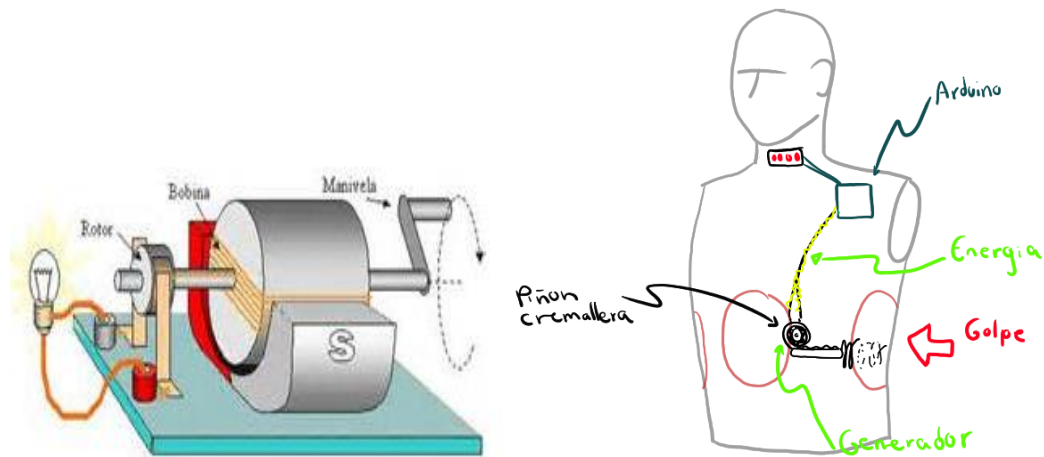


Figura 18. Dinamo (izquierda) y boceto inicial del mecanismo propuesta 2(derecha)Fuentes: <https://deconceptos.com/tecnologia/dinamo> (izquierda) y autores (derecha)

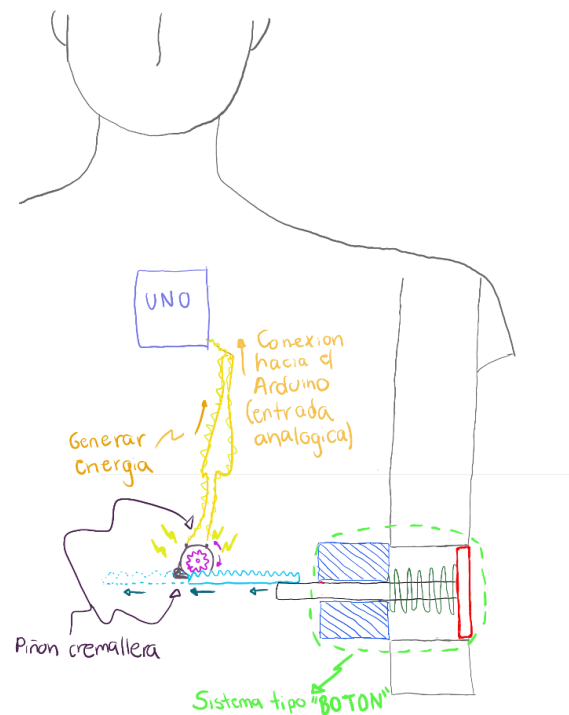


Figura 19. Boceto propuesta 2. Fuente: Autores

4.1.6 PROPUESTA 3

Partiendo del funcionamiento de un potenciómetro el cual es una resistencia variable, se plantea transformar el movimiento mecánico producido por la patada en una resistencia variable de desplazamiento lineal, la patada producirá una variación del voltaje que será leída por la entrada analógica del Arduino y posteriormente se visualiza el resultado en la pantalla de 7 segmentos, la variación de voltaje debe ir relacionada directamente con la fuerza de la patada.

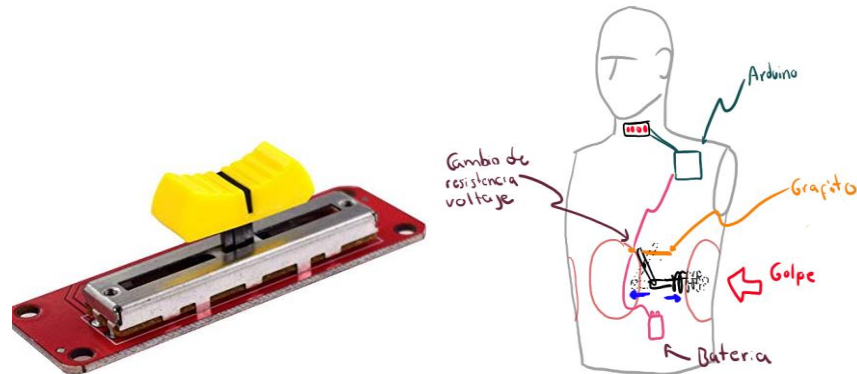


Figura 20. Potenciómetro “deslizante” (izquierda) y boceto inicial del mecanismo propuesta 3 Fuentes: https://www.ibempolnep.com/index.php?main_page=product_info&products_id=281175 (izquierda) y autores (derecha)

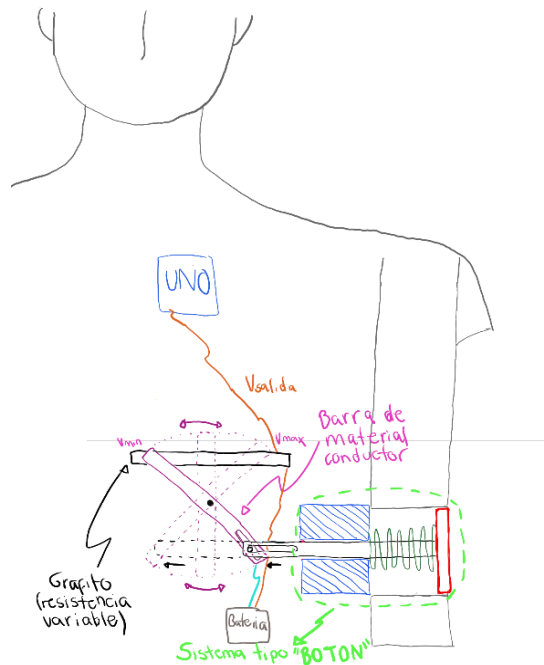


Figura 21. Boceto propuesta 3. Fuente: Autores

4.1.7 ANALISIS FODA PROPUESTA 1

Tabla 8. Propuesta 1 FODA

PROPUESTA 1		
	Positivo	Negativo
Interno	Fortalezas: Fácil fabricación, idea para mecanismo vertical fácil de entender. Código de programación para el Arduino de poca complejidad.	Debilidades: Complejidad en unificar el mecanismo horizontal y vertical. Por su mecanismo puede llegar a ser muy pesado. Problemas de lecturas de datos por el sensor.
Externo	Oportunidades: Problemas de mantenimiento en el mecanismo sencillos de detectar y reparar. Componentes electrónicos económicos.	Amenazas: Imposibilidad de implementar un mecanismo horizontal eficiente. Problemas al cambiar de altura de la máquina por el peso del mecanismo. Componentes electrónicos frágiles.

Fuente: Autores

4.1.8 ANALISIS FODA PROPUESTA 2

Tabla 9. Propuesta 2 FODA

PROPUESTA 2		
	Positivo	Negativo
Interno	Fortalezas: Mecanismo de fácil comprensión. Código de programación sencillo. Reducción de cableado.	Debilidades: Necesidad de calcular más piezas para diseño y maquinado. Complejidad de ensamblaje. Problema en la lectura de datos. Pocas alternativas económicas de mejoras en el mecanismo.
Externo	Oportunidades: Peso reducido, facilita el cambio de altura del torso.	Amenazas: Costo elevados de fabricación. Probabilidades altas de causar fatiga en muchos componentes mecánicos.

Fuente: Autores

4.1.9 ANALISIS FODA PROPUESTA 3

Tabla 10. Propuesta 3 FODA

PROPUESTA 3		
	Positivo	Negativo
Interno	Fortalezas: Mecanismo simplificado. Ensamblaje sencillo.	Debilidades: Requiere conocimientos más avanzados de electrónica.

	Fácil lectura de datos. Diseño y cálculo de piezas simplificado.	
Externo	Oportunidades: Mantenimiento fácil y económico. Reducción de peso en el torso. Fabricación económica.	Amenazas: Posibles problemas en la modificación del código.

Fuente: Autores

4.1.10 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Con la ayuda de la siguiente tabla de evaluación se pudo concretar cual es la propuesta más viable para su fabricación:

- **Costos:** Usando la escala de 1 a 5, siendo 1 muy costoso, 3 costo promedio y 5 económico.
- **Manufactura:** Usando la escala de 1 a 5, siendo 1 muy complicado, 3 dificultad media de construcción y 5 sencillo de fabricar.
- **Resistencia:** Usando la escala de 1 a 5, siendo 1 muy delicado, 3 medianamente resistente y 5 resistente.
- **Ensamble:** Usando la escala de 1 a 5, siendo 1 muy complejo, 3 complejidad media y 5 ensamble amigable.

Tabla 11. Selección de alternativas

Alternativa	Costo	Manufactura	Resistencia	Ensamble	Total
Propuesta 1 (martillo de fuerza)	1	3	5	3	12
Propuesta 2 (Dinamo)	1	1	3	1	6
Propuesta 3 (resistencia variable)	3	5	5	5	18

Fuente: Autores

Observando los resultados de la tabla anterior se decide tomar la “propuesta 3” por ser la más favorable para su construcción.

4.2 DISEÑO DE DETALLE

4.2.1 PREDIMENSIONAMIENTO

Según las alternativas planteadas, la máquina final se debería ver como el siguiente boceto de la Figura 22. El lado derecho muestra sacos en las barras inferiores, las cuales funcionan como contrapesos, para que la máquina no sea ladeada cuando sea impactada.

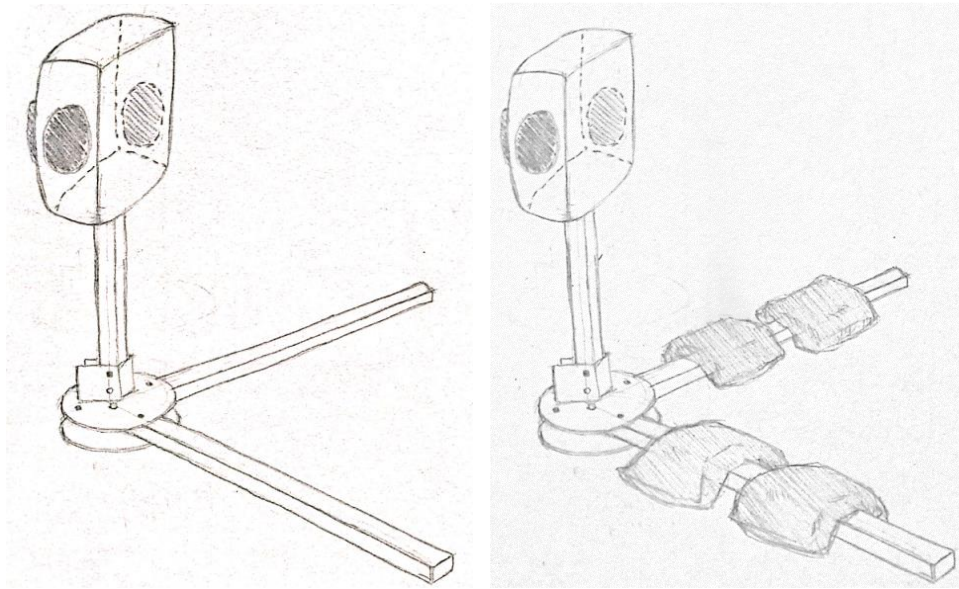


Figura 22. Boceto propuesta 3, con y sin sacos. Fuente: Autores

El mecanismo interno inicialmente se idea con el siguiente funcionamiento por triángulos semejantes (Figura 23). Sin embargo, tras algunas pruebas se encuentra que es fácil de mover. Finalmente, se propone una alternativa que consiste en movimientos proporcionales, como los encontrados en un botón con retorno, el cual sería montado sobre la base de la máquina, Figura 24. El resultado con el mecanismo interno se debería ver como la Figura 25.

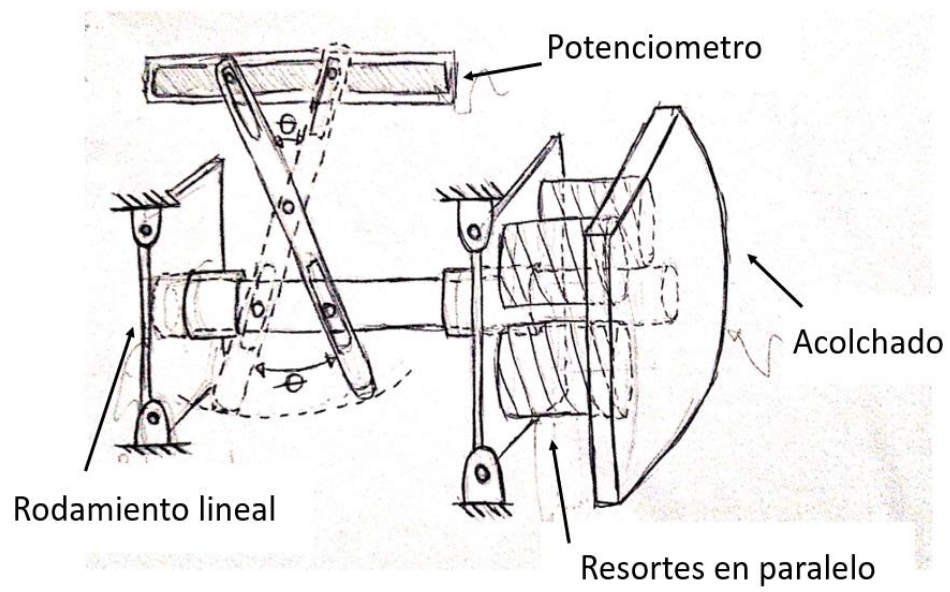


Figura 23. Mecanismo inicial. Fuente: Autores

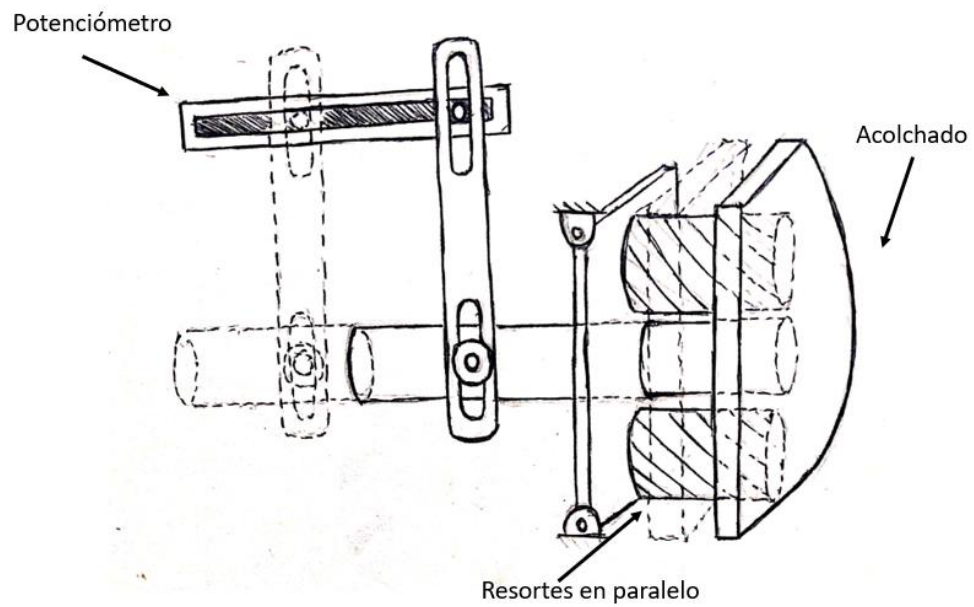


Figura 24. Mecanismo final. Fuente: Autores

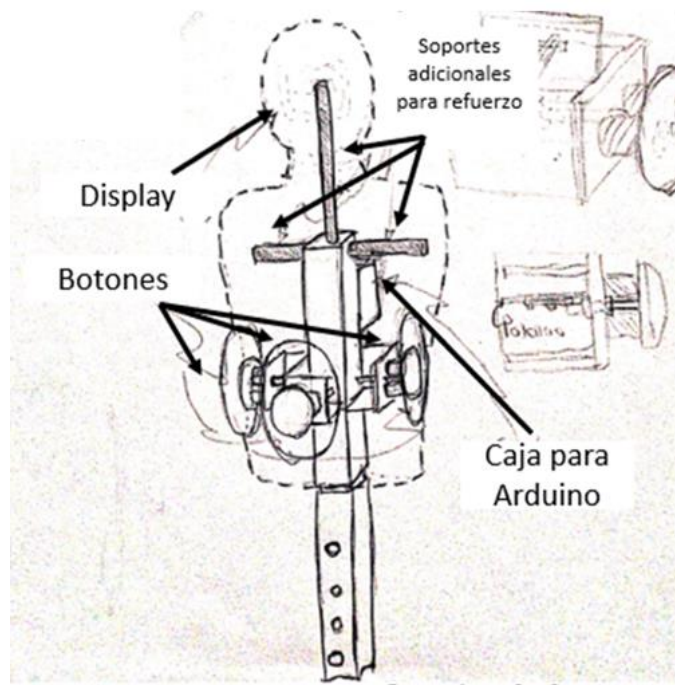


Figura 25. Mecanismo final. Fuente: Autores

4.2.2 MODELAMIENTO 3D-CAD Y CÁLCULOS

Para cumplir con el diseño planteado se realizan diferentes cálculos, los cuales se muestran a continuación. Para más detalles, los procedimientos pueden ser verificados en las memorias de cálculos, anexos a este documento.

- Resortes

Se evalúa un resorte con una masa de prueba la cual pudiera comprimir en su totalidad el resorte, pero aun soportara una patada regular. El valor de la masa es multiplicado por la gravedad para ser usado como una fuerza.

m_p : Masa de prueba: 51kg

g : Gravedad: $9.81 \frac{m}{s^2}$

F_r : Fuerza aplicada sobre el resorte en maxima compresion

$$F_r = m_p g \quad (3)$$

$$F_r = 51kg * 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_r = 499.8N$$

Las Longitudes bajo compresión debe tenerse en cuenta para hallar la constante del resorte:

L_o : Logitud original: 87mm

L_c : Logitud en compresion total: 40.5mm

x : Desplazamiento del resorte

$$x = L_o - L_c \quad (4)$$

$$x = 87mm - 40.5mm$$

$$x = 46.5mm = 0.0465m$$

Aplicando la Ley de Hooke donde:

k : Constante del resorte

x : Desplazamiento del resorte (en maxima compresion)

$$F_r = kx \quad (5)$$

$$k = \frac{F_r}{x}$$

$$k = \frac{499,8 \text{ N}}{0,0465 \text{ m}}$$

$$k = 10748,39 \frac{N}{m} = 10,74 \frac{kN}{m}$$

Para este proyecto dos resortes en paralelo componen un botón, los cuales se encuentran en los laterales y el frente, tomando en cuenta esta configuración, para la pareja de resortes se deben sumar los módulos, las cuales se comportan como un solo resorte (Robert L. Norton, 2011):

F_{mr} : Fuerza aplicada sobre el resorte en máxima compresión, paralelo

k_{total} : Constante de dos resorte en paralelo

$$k_{total} = 2k \quad (6)$$

$$k_{total} = 21496,77 \frac{N}{m} = 21,49 \frac{kN}{m}$$

$$F_{mr} = k_{total}x \quad (7)$$

$$F_{mr} = 21496,77 \frac{N}{m} * 0,0465m = 999,6N = 0,99kN = 1kN$$

Por lo tanto, los valores quedan del siguiente modo:

$F_{mr}: F_m$: Fuerza máxima tolerada en el boton (resortes en paralelo): 1kN

k_{total} : Constante de dos resorte en paralelo: $21,49 \frac{kN}{m}$

Se puede apreciar que botón debe soporta una fuerza máxima de 1kN.

- Mecanismo

Teniendo en cuenta el funcionamiento del mecanismo, el movimiento del resorte se ve reflejado en el potenciómetro. El movimiento del resorte es igual al del potenciómetro, son proporcionales.

Por la tercera ley de newton la fuerza aplicada por la patada sobre el botón será igual que la fuerza el botón sobre el pie que ejerce la patada. Tener en cuenta que el botón se compone de dos resortes en paralelo. Para su mejor compresión ver el diagrama de cuerpo libre de la Figura 26 y Figura 27.

F_{PB} : Fuerza pie sobre boton

F_{BP} : Fuerza boton sobre pie

F_p : Fuerza de la patada

$F_{PB}: F_{BP}: F_p$

x_v : Desplazamiento generado por la patada

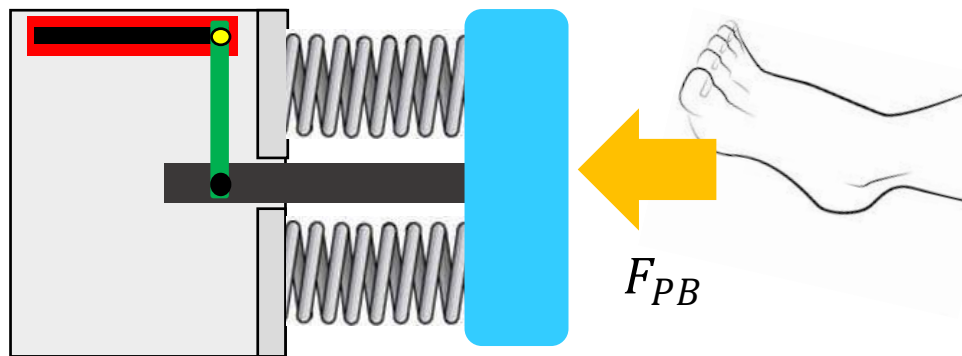


Figura 26. Mecanismo diagrama de cuerpo libre posición inicial, en reposo. Fuente: Autores

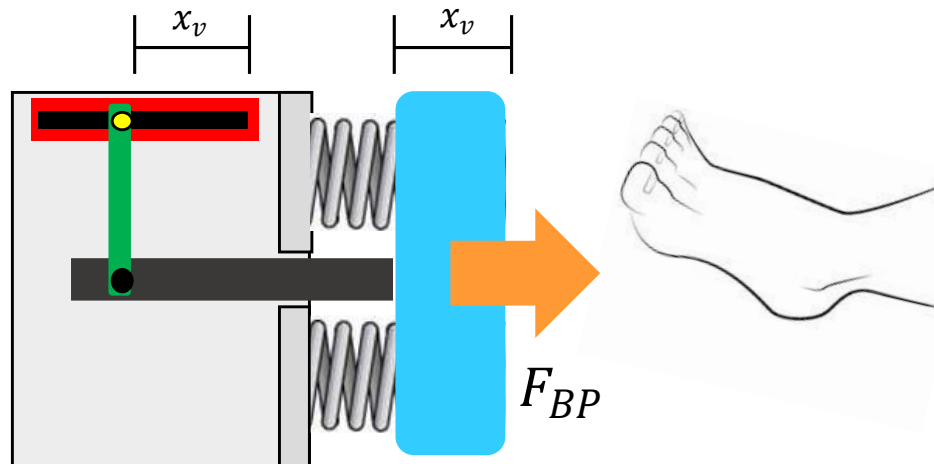


Figura 27. Mecanismo diagrama de cuerpo libre posición final, durante el impacto. Fuente: Autores

Recordando que el sistema sigue la ley Hooke, mencionada anteriormente, teniendo en cuenta el comportamiento de los resortes en paralelo:

$$F_P = k_{total} * x_v \quad (8)$$

Ya que la fuerza de la patada puede variar según cada deportista, y así mismo esta fuerza es directamente proporcional al desplazamiento del resorte. Este comportamiento variable puede ser modelado en la siguiente grafica.

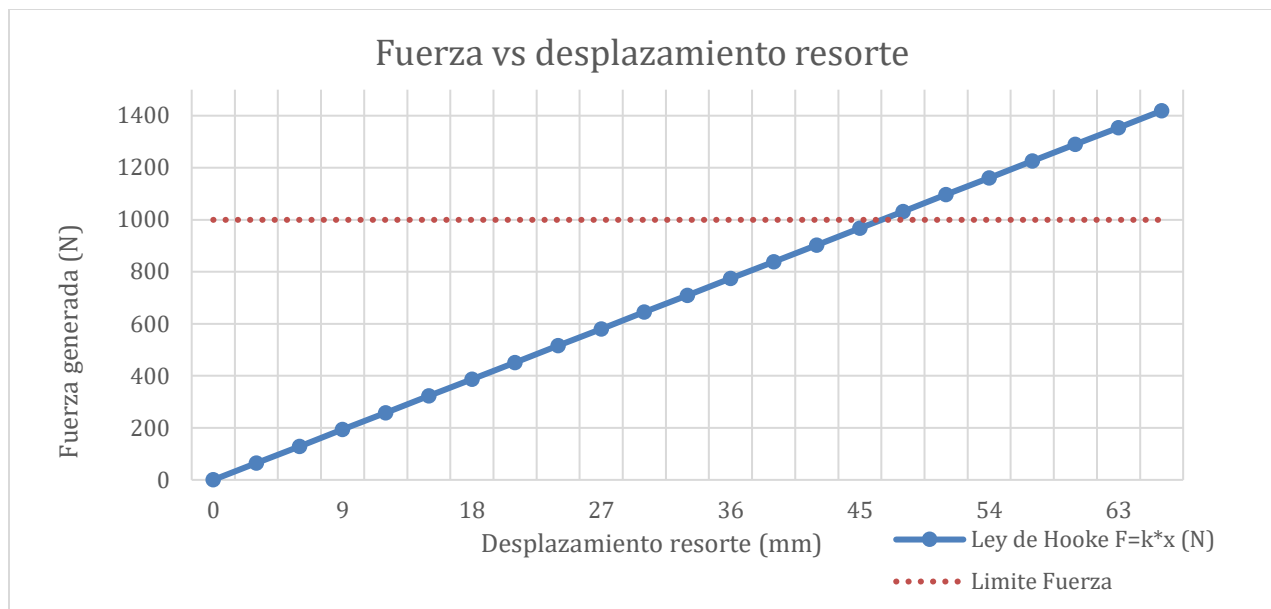


Figura 28. Fuerza vs desplazamiento mecanismo. Fuente: Autores

La línea “Limite Fuerza”, marca el máximo de fuerza de compresión que puede soportar el resorte cuando llega a su compresión total. Aunque el potenciómetro permita un desplazamiento total 66mm el máximo de movimiento en el resorte será de 46.5mm, en este punto se marca el límite.

El potenciómetro se desplaza de la misma forma que el resorte, siendo x_v la misma en el resorte y potenciómetro, como se ve en la Figura 31. Por lo tanto, sigue un comportamiento lineal como se puede ver en la Figura 29.

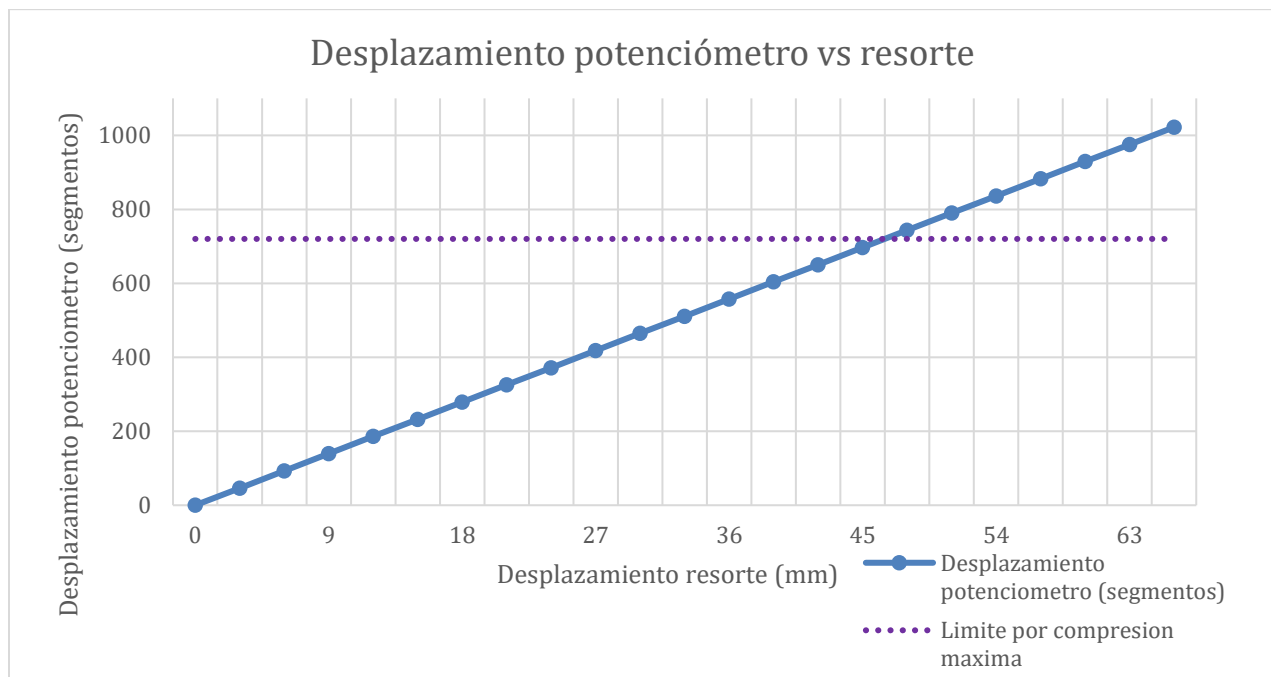


Figura 29. Desplazamiento potenciómetro vs resorte. Fuente: Autores

Ya que el potenciómetro no alcanza a abarcar toda la longitud de movimiento del resorte, la línea morada punteada marca el límite de segmentos en el potenciómetro.

Utilizando los valores obtenidos en la Figura 29, se pueden utilizar la regla de tres para hallar el punto límite de forma exacta. Recordando que el valor máximo posible por alcanzar en el potenciómetro en segmentos es de 1022.

p_{max} : Valor máximo real potenciómetro: 1022 segmentos $\rightarrow x_{vmax} = 66mm$

Fac_p : Factor potenciómetro

$$Fac_p: \frac{p_{max}}{x_{max}} = \frac{1022}{66} = 15.485 \text{ segmentos/mm} \quad (9)$$

Por lo tanto:

x_{limP} : Desplazamiento máximo del resorte: 46.5mm

p_{limite} : Desplazamiento límite por resorte en potenciómetro

$$p_{limite}: Fac_p * x_{limP} = 15.485 \text{ segmentos/mm} * 46.5mm \quad (10)$$

$$p_{limite}: 720.05 \text{ segmentos} \approx 720 \text{ segmentos}$$

Línea límite de marcada por el potenciómetro es de 720 segmentos en 46.5mm.

Ya que los segmentos por si solos no son un dato fácil de interpretar por los usuarios de la máquina, estos valores deben ser transformados en unidades de fuerza. El factor de conversión será utilizado en el código Arduino.

F_m : Fuerza máxima tolerada en los resortes: 1000N $\rightarrow x_{vmax} = 46.5mm$

Fac_f : Factor fuerza

$$Fac_f: \frac{F_m}{p_{limite}} = \frac{1000N}{720 \text{ segmentos}} = 1.388 \text{ N/segmentos} \quad (11)$$

Utilizando el factor de conversión

$F_{equivalente}$: Fuerza equivalente del potencimetro

p_v : valores del potencimetro

$$F_{equivalente}: Fac_f * p_v \quad (12)$$

Utilizando la ecuación (arriba), se grafica con los valores y se obtiene la siguiente grafica

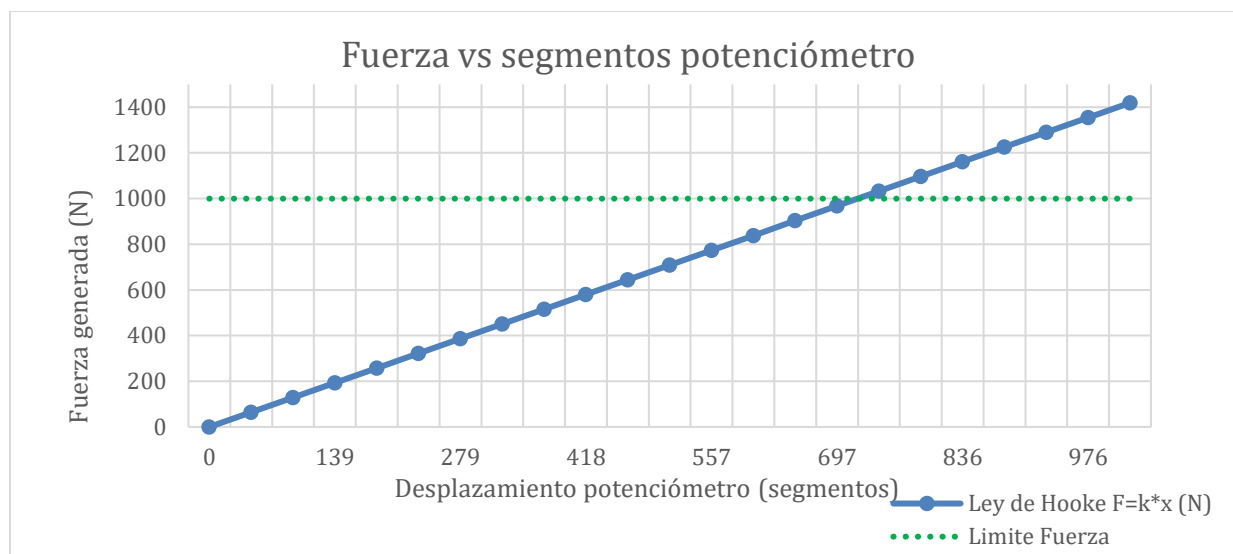


Figura 30. Fuerza vs desplazamiento potenciómetro. Fuente: Autores

Resumen de equivalencias:

Tabla 12. Resumen de equivalencias

RESUMEN EQUIVALENCIAS		
Desplazamiento x (mm)	Ley de Hooke $F=k \cdot x$ (N)	Desplazamiento potenciómetro (segmentos)
0	0	0
3	64	46
6	129	93
9	193	139
12	258	186
15	322	232
18	387	279
21	451	325
24	516	372
27	580	418
30	645	465
33	709	511
36	774	557
39	838	604
42	903	650
45	967	697
46,5	1000	720
48	1032	743
51	1096	790
54	1161	836

57	1225	883
60	1290	929
63	1354	976
66	1419	1022

Fuente: Autores

• Centro de gravedad

El diseño de esta máquina está destinado a ser suficientemente estable para contrarrestar el volcamiento que puede producir un impacto directo. Los golpes pueden ser de diversas magnitudes ya que existen deportistas de todas las tallas y habilidades, por tal razón se decidió agregar masas a la base horizontal para acercar el centro de gravedad al suelo y hacer más difícil ladear la estructura. Tal y como lo menciona la teoría del centro de gravedad (Russell. C. Hibbeler, 2010). También la estructura debe permitir el cambio de alturas ya que las patadas pueden ir dirigidas a la cabeza.

Para una estructura con una adición de peso en la base, se obtienen los siguientes resultados:

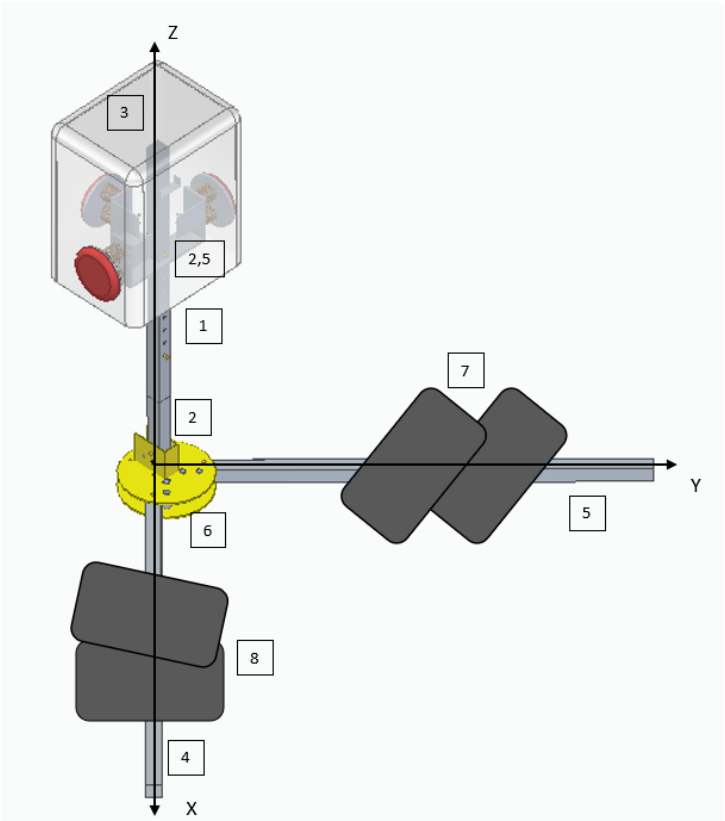


Figura 31. Cálculo del centro de gravedad. Fuente: Autores

Tabla 13. Elementos de la estructura

Tipo	Segmento	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
------	----------	--------	---------	-------	--------

		Peso total del cuerpo	W	31,40	kg
Superior	1	Poste vertical móvil	Wpv	1,7	kg
Superior	2	Poste vertical fijo	Wpvf	1,39	kg
Superior	2,5	Mecanismo	Wmec	15	kg
Superior	3	Espuma	We	1	kg
Inferior	4	Poste horizontal derecho	Wpgd	2,6	kg
Inferior	5	Poste horizontal izquierdo	Wpgi	2,6	kg
Inferior	6	Base superior	Wc	7,11	kg
Inferior	7	Masa de arena derecha	Wad	15, 30 o 45	kg
Inferior	8	Masa de arena izquierda	Wai	15, 30 o 45	kg

Fuente: Autores

$\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$: Coordenadas del centro de gravedad total de la estructura

$\tilde{x}, \tilde{y}, \tilde{z}$: Coordenadas del centro de gravedad de cada pieza que compone la estructura

Σm : sumatoria de todas las masas, masa total de la estructura

$$\bar{X} = \frac{\Sigma \tilde{x}m}{\Sigma m} \quad (13)$$

$$\bar{Y} = \frac{\Sigma \tilde{y}m}{\Sigma m} \quad (14)$$

$$\bar{Z} = \frac{\Sigma \tilde{z}m}{\Sigma m} \quad (15)$$

Las tablas con las que se realizaron los cálculos pueden verse con más detalles en los anexos, ya que cuentan con diferentes iteraciones para hallar las diferentes resultantes de los centros de gravedad bajo suposiciones, como lo son la posición mínima en la altura (1324 mm) y máxima (1624 mm) de la zona de impacto, y la ubicación de las masas, origen (lo más cerca a la base amarilla), o extremos (lo más alejado del centro/base amarilla).

El resumen de iteraciones se ver a continuación:

Tabla 14. Resumen de iteraciones centro de gravedad

CENTRO DE GRAVEDAD RESUMEN DE ITERACIONES BÁSICAS
--

Condición	Posición	$\bar{X} = \frac{\sum \tilde{x}m}{\sum m}$	$\bar{Y} = \frac{\sum \tilde{y}m}{\sum m}$	$\bar{Z} = \frac{\sum \tilde{z}m}{\sum m}$
Sin adición de masa	Mínima	62,15	62,15	555,39
	Máxima	62,15	62,15	724,50
Altura mínima	Origen	92,86	92,86	308,46
	Extremos	373,80	373,80	308,46
Altura máxima	Origen	92,86	92,86	394,94
	Extremos	373,80	373,80	394,94

Fuente: Autores

Tabla 15. Resumen de iteraciones centro de gravedad con masas

CENTRO DE GRAVEDAD RESUMEN DE ITERACIONES ADICIÓN DE MASAS				
Condición	Masa (kg)	$\bar{X} = \frac{\sum \tilde{x}m}{\sum m}$	$\bar{Y} = \frac{\sum \tilde{y}m}{\sum m}$	$\bar{Z} = \frac{\sum \tilde{z}m}{\sum m}$
Extremos altura mínima	15	373,80	373,80	308,46
	30	448,05	448,05	223,62
	45	460,89	460,89	171,83
Extremos altura máxima	15	373,80	373,80	394,94
	30	448,05	448,05	281,72
	45	460,89	460,89	224,46

Fuente: Autores

Como era de esperarse, una menor altura, mayor cantidad de masa en la base y ubicadas en los extremos acercan el centro de gravedad al suelo, lo cual hace la máquina más estable en esas condiciones.

- Elección del perfil

La elección del perfil se hizo por conveniencia, tomando en cuenta costos y accesibilidad, por lo tanto, se usa un acero ASTM A500 grado C, para el cual se hace el análisis de elementos finitos, de este modo hallar áreas problemáticas que puedan fallar. Los cálculos se hacen en la posición más alta del prototipo, ya que es la que más puede presentar flexión, siendo de este modo una altura más riesgosa. En el desarrollo de la simulación se tienen en cuenta los siguientes datos:

Limite elastico ASTM A500 grado C: 317 MPa

W_M : Peso del mecanismo y demas elementos sobre el pin

m_M : masa del mecanismo y demas elementos sobre el pin: 17.7 kg

g : Gravedad: $9.81 \frac{m}{s^2}$

M_p : Par de fuerzas generado por las patadas, laterales y frontales

F_p : Fuerzas maxima generada por las patadas, laterales y frontales: 1000 N

L_p : Longitud del par: 1.170 m

Restricciones de movimientos: Puntos azules

$$W_M = m_M * g = 17.7kg * 9.81 \frac{m}{s^2} = 173.637 N \quad (16)$$

$$M_p = F_p * L_p = 1000 N * 1.170 m = 1170 Nm \quad (17)$$

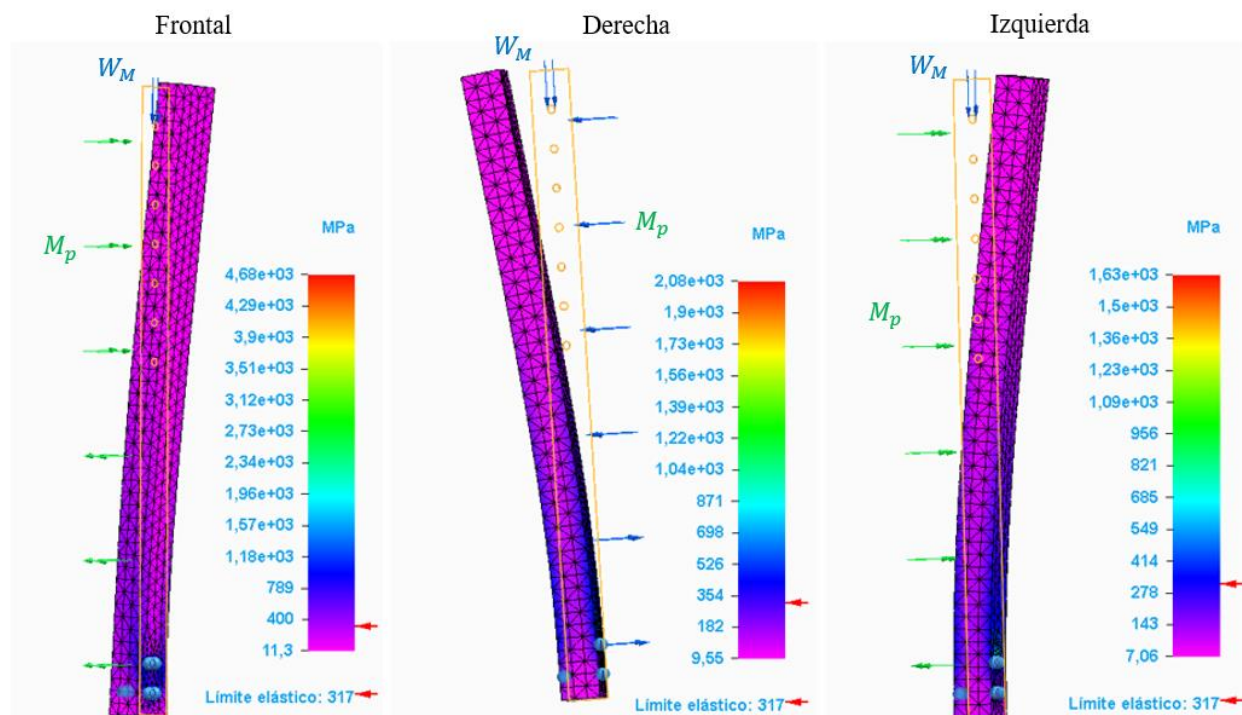


Figura 32. Simulación elementos finitos perfil poste vertical fijo. Fuente: Autores

Se puede observar que gran parte del perfil se encuentra por debajo del límite elástico, sin embargo, las áreas en azul oscuro pueden presentar problemas a futuro, ya que se encuentran justo sobre el límite elástico, esto solo si se alcanza la fuerza máxima registrada por la máquina.

- Fatiga pin retráctil base

De los elementos que soporta más esfuerzos de la estructura, es el pin retráctil donde se apoya toda la estructura vertical, encargado de limitar el movimiento y asegura la estructura verticalmente.



Figura 33. Pin seguro soporte vertical. Fuente: Autores

Por lo tanto, es necesario confirmar por medio del cálculo de fatiga que factor de seguridad puede tener esta pieza. Cabe tener en cuenta que la máquina esta propuesta para un uso definido en una academia de taekwondo, donde la máquina es un apoyo para el entrenamiento deportivo, únicamente sometido a golpes humanos, en consecuencia, el tiempo de operación de la máquina será considerablemente menor al de una máquina de producción.

- ❖ El pin presenta esfuerzos repetidos, lo que quiere decir que previo a los impactos no tiene ningún tipo de carga, ya que existe otro elemento estructural encargado de soportarla. Luego recibe el impacto el cual dura solo unos instantes y vuelve una vez más a cero, esto será un ciclo. Un ejemplo claro de este fenómeno es el esfuerzo “repetido” mostrado en la Figura 33.

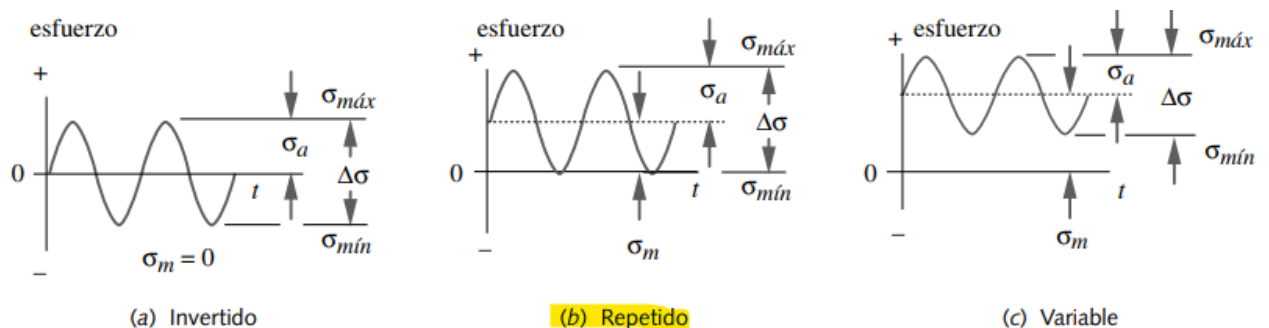


Figura 34. Ciclo de esfuerzo. Fuente: Diseño de máquinas, Pag 243, cuarta edición, Robert L. Norton

Calculando el ciclaje, tomando como referencia que un ciclo ocurre en un segundo, utilizando la regla de tres:

$$\frac{4 \text{ h}}{\text{semana}} * \frac{4 \text{ semanas}}{\text{mes}} * \frac{12 \text{ mes}}{\text{año}} = 192 \frac{\text{h}}{\text{año}} \quad (18)$$

$$\frac{192 \text{ h}}{\text{año}} * \frac{60 \text{ min}}{\text{h}} * \frac{60 \text{ seg}}{\text{min}} * \frac{\text{ciclo}}{\text{seg}} = 691.200 \frac{\text{ciclos}}{\text{año}}$$

En un año la máquina logra llegar superar los 10^3 ciclos, con 691.200 ciclos por año.

- ❖ El pin es de latón y entra en la categoría de aleaciones cobre, cumpliendo las siguientes características para la resistencia a la fatiga sin corregir:

Resistencia a la fatiga, sin corrección

$$\text{aleaciones de cobre: } \left\{ \begin{array}{ll} S_{f@5E8} \equiv 0.4 S_{ut} & \text{para } S_{ut} < 40 \text{ kpsi (280 MPa)} \\ S_{f@5E8} \equiv 14 \text{ kpsi (100 MPa)} & \text{para } S_{ut} \geq 40 \text{ kpsi (280 MPa)} \end{array} \right\}$$

Figura 34. Resistencia a la fatiga, sin corrección. Fuente: Diseño de máquinas, Pag 260, cuarta edición, Robert L. Norton

Tabla E-4 Propiedades mecánicas de algunas aleaciones de cobre fundido y aleaciones de cobre forjado Datos de INCO. * Valores aproximados. Consulte a los fabricantes del material para mayor información							
Aleación de cobre	Condición	Resistencia de fluencia a la tensión (0.2% de deformación remanente)		Resistencia última a la tensión		Elongación en 2 in	Dureza Rockwell o Brinell
		kpsi	MPa	kpsi	MPa	%	
CA270—Latón amarillo	tira recocida	14	97	46	317	65	58HRF
	resorte revenido	62	427	91	627	30	90HRB

Figura 35. Propiedades del latón. Fuente: Diseño de máquinas, Pag 987, cuarta edición, Robert L. Norton

Por lo tanto:

S_f : Resistencia a la fatiga sin corregir: 100 Mpa

S_{ut} : Esfuerzo ultimo e la tensión (tira recocida): 317 MPa

Estos datos servirán más adelante para hallar la resistencia a la fatiga corregida

- ❖ Analizando la geometría del pin se puede suponer que éste fallara por cortante para un pasador simple, como se observa en la Figura 36. Tener en cuenta que la fuerza máxima que puede registrar la máquina es de 1kN.

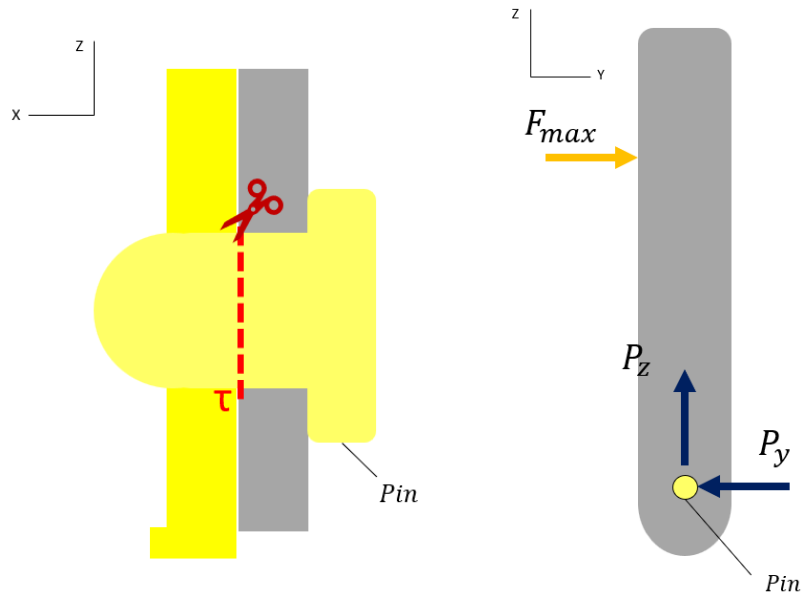


Figura 36. Diagrama cuerpo libre para pin. Fuente: Autores

P_y : Reacción del pin en eje y

P_z : Reacción del pin en eje z

$$\Sigma F_y = 0 \quad (19)$$

$$F_{max} - P_y = 0$$

$$F_{max} = P_y$$

$$P_y = 1000N = 1kN$$

$$\Sigma F_z = 0 \quad (\text{No existen fuerzas verticales}) \quad (20)$$

Mientras que el esfuerzo cortante será:

τ = Esfuerzo cortante en el pin

A = Area transversal del pin

d = Diametro del pin

$$\tau = \frac{P_y}{A} \quad (21)$$

$$\tau = \frac{1000 \text{ N}}{\frac{\pi}{4} * (10\text{mm})^2}$$

$$\tau = 12.73 \text{ MPa}$$

- ❖ Aprovechando el valor del esfuerzo cortante, se procede a calcular los esfuerzos medios y alternantes

F_m : Fuerza media

F_a : Fuerza alternante

F_{min} : Fuerza minima

σ_m : Esfuerzo medio

σ_a : Esfuerzo alternante

σ_{mnom} : Esfuerzo medio nominal

σ_{anom} : Esfuerzo alternante nominal

$$F_m: \frac{F_{max} + F_{min}}{2} = \frac{1000 \text{ N} + 0}{2} = 500 \text{ N} \quad (22)$$

$$F_a: \frac{F_{max} - F_{min}}{2} = \frac{1000 \text{ N} - 0}{2} = 500 \text{ N} \quad (23)$$

$$\sigma_{mnom} = \sigma_{anom} \quad (24)$$

Ya que no hay un cambio de sección relevante sobre el pin, el valor de sensibilidad a la muesca que podría influir en los valores nominales no produce ningún cambio, por lo tanto:

$$\sigma_{mnom} = \sigma_m \quad (25)$$

$$\sigma_{anom} = \sigma_a \quad (26)$$

$$\sigma_a = \sigma_m = \frac{F_a}{A} \quad (27)$$

$$\sigma_a = \sigma_m = \frac{500 \text{ N}}{\frac{\pi}{4} (10\text{mm})^2} = 6.36 \text{ MPa}$$

Estos valores serán relevantes en el cálculo del factor de seguridad.

- ❖ Para la corrección de resistencia de fatiga se hallan los factores de corrección a continuación:

S_f : Resistencia a la fatiga corregida

C_{carga} : Factor de carga

$C_{tamaño}$: Factor de tamaño

d_{equiv} : Diametro equivalente

A_{95} : Area no giratoria

C_{sup} : Factor de superficie

C_{temp} : Factor de temperatura

C_{conf} : Factor de confiabilidad

Para el factor de carga:

$$C_{carga}: 1 \text{ (Flexión)} \quad (28)$$

Fuente: Diseño de máquinas, Pág. 260, Ecu. 4.7, cuarta edición, Robert L. Norton

Para el factor de tamaño:

$$A_{95}: 0.010462 * d^2 = 0.010462 * (10mm)^2 = 1.0402mm^2 \quad (29)$$

$$d_{equiv}: \sqrt{\frac{A_{95}}{0.0766}} = 3.69mm \quad (30)$$

$$C_{tamaño}: 1.189 * d_{equiv}^{-0.097} = 1.04 \approx 1 \quad (31)$$

Fuente: Diseño de máquinas, Pág. 261, cuarta edición, Robert L. Norton

Para el factor de superficie, maquinado:

$$C_{sup}: A * Sut^b = 4.51 * 317^{-0.265} = 0.98 \quad (32)$$

Fuente: Diseño de máquinas, Pág. 263, cuarta edición, Robert L. Norton

Para el factor de temperatura, con una temperatura inferior a los 458 °C:

$$C_{temp}: 1 \quad (33)$$

Fuente: Diseño de máquinas, Pág. 265, cuarta edición, Robert L. Norton

Para una confiabilidad del 99.9%:

$$C_{conf}: 0.753 \quad (34)$$

Fuente: Diseño de máquinas, Pág. 265, Tabla 4-4, cuarta edición, Robert L. Norton

Sensibilidad a la muesca, como no existen cambios de sección que afecten directamente al pin, no serán tomados en cuenta, esto indicaría que los valores nominales serian igual a los valores alternantes y medio respectivamente, como se había mencionado anteriormente.

Hallando la resistencia a la fatiga corregida:

$$S_f: C_{carga} C_{tamaño} C_{sup} C_{temp} C_{conf} S_f' \quad (35)$$

Fuente: Diseño de máquinas, Pág. 260, Ecu. 4.6, cuarta edición, Robert L. Norton

$$S_f: 1 * 1 * 1 * 0.753 * 100 MPa = 75.3 MPa$$

- ❖ Antes de continuar es necesario analizar los valores de esfuerzo ultimo a la tensión, resistencia a la fatiga y esfuerzo cortante sobre el pin. El cortante calculado para este caso, es considerablemente inferior a la resistencia a la fatiga e increíblemente alejado del esfuerzo ultimo a tensión, solo tomando estos valores se supone de antemano que el factor de seguridad cumplirá, incluso puede que sea más alto de lo necesario.

$$S_{ut} = 317 MPa$$

$$\tau = 12.73 MPa$$

$$S_f = 75.3 MPa$$

- ❖ Para el cálculo del factor de seguridad se toma en cuenta que existe un esfuerzo medio diferente de cero, y por el cálculo del círculo Mohr se confirma que existen esfuerzos principales, lo que equivale a la existencia de esfuerzos multiaxiales, por lo tanto, este caso de fatiga cae en la categoría IV (Figura 38).

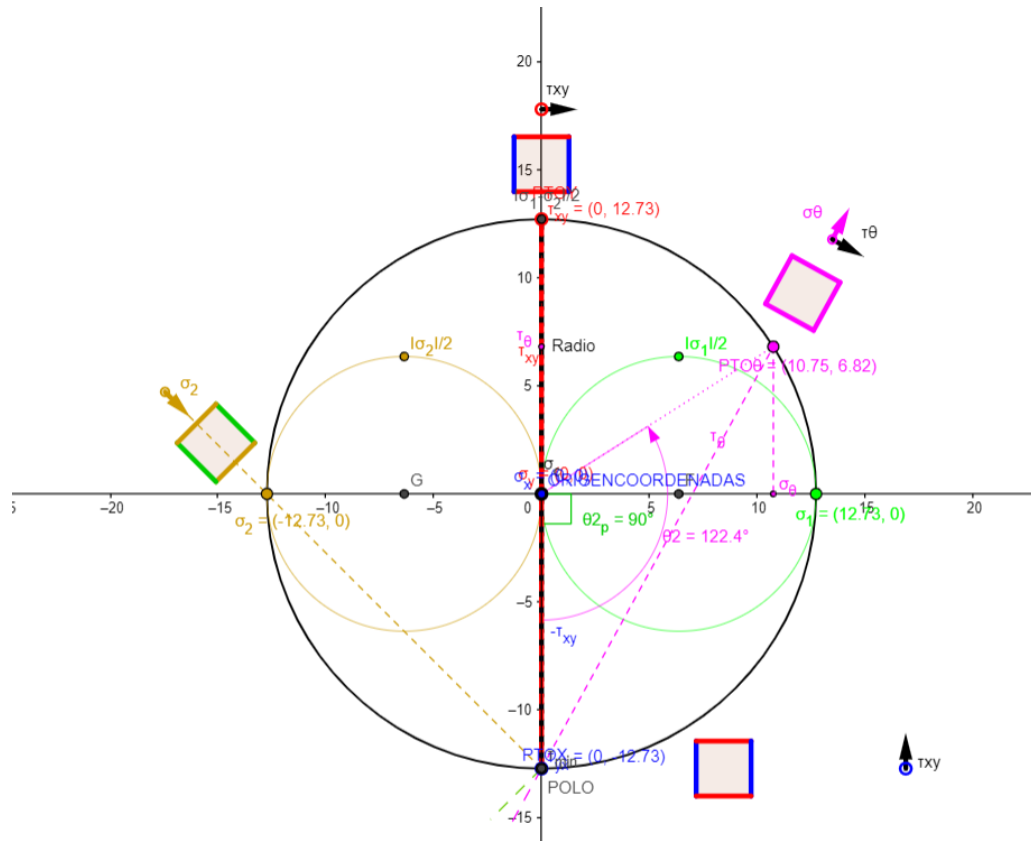


Figura 37. Círculo de Mohr. Fuente: Autores, uso de graficador <https://www.geogebra.org/m/AnYQgH36>

	Ciclo de esfuerzos invertidos ($\sigma_m = 0$)	Esfuerzos fluctuantes ($\sigma_m \neq 0$)
Esfuerzos uniaxiales	Categoría I	Categoría II
Esfuerzos multiaxiales	Categoría III	Categoría IV

Figura 38. Círculo de Mohr. Fuente: Diseño de máquinas, Pág. 283, cuarta edición, Robert L. Norton

Para esta categoría en especial, con las características geométricas del pin se toma la siguiente ecuación:

N_f : Factor de seguridad

S_y : Esfuerzo de fluencia = 97 MPa

$$N_f = \frac{S_y}{\sigma_m} \left(1 - \frac{\sigma_a}{S_y} \right) = \frac{97 \text{ MPa}}{6.36 \text{ MPa}} \left(1 - \frac{6.36 \text{ MPa}}{97 \text{ MPa}} \right) = 14.24 \quad (36)$$

Fuente: Diseño de máquinas, Pág. 297, Ecu. 4.18a, cuarta edición, Robert L. Norton

Si bien, los factores de seguridad suelen ir de 1 a 10, este valor de 14.24 supera esos límites, lo que quiere decir que el pin está sobredimensionado, y puede ser reducido de dimensiones, aunque también se debe considerar si una reducción puede generar complicaciones en la manufactura. Por lo demás es un diseño seguro para el uso de personas.

- Fatiga en base superior

Para la base superior se realiza una simulación de elementos finitos para confirmar que áreas pueden ser críticas y fallen, ya que los cálculos de esta pieza pueden ser demasiado complicados. Esta pieza absorbe impactos laterales y frontales. En el desarrollo de la simulación se tienen en cuenta los siguientes datos:

Limite elastico ASTM A36: 250 MPa

W_M : Peso del mecanismo y demas elementos sobre el pin

m_M : masa del mecanismo y demas elementos sobre el pin: 19.09 kg

g : Gravedad: $9.81 \frac{m}{s^2}$

F_p : Fuerzas maxima generada por las patadas, laterales y frontales: 1000 N

Restricciones de movimientos: Puntos azules

$$W_M = m_M * g = 19.07kg * 9.81 \frac{m}{s^2} = 187.27 N \quad (37)$$

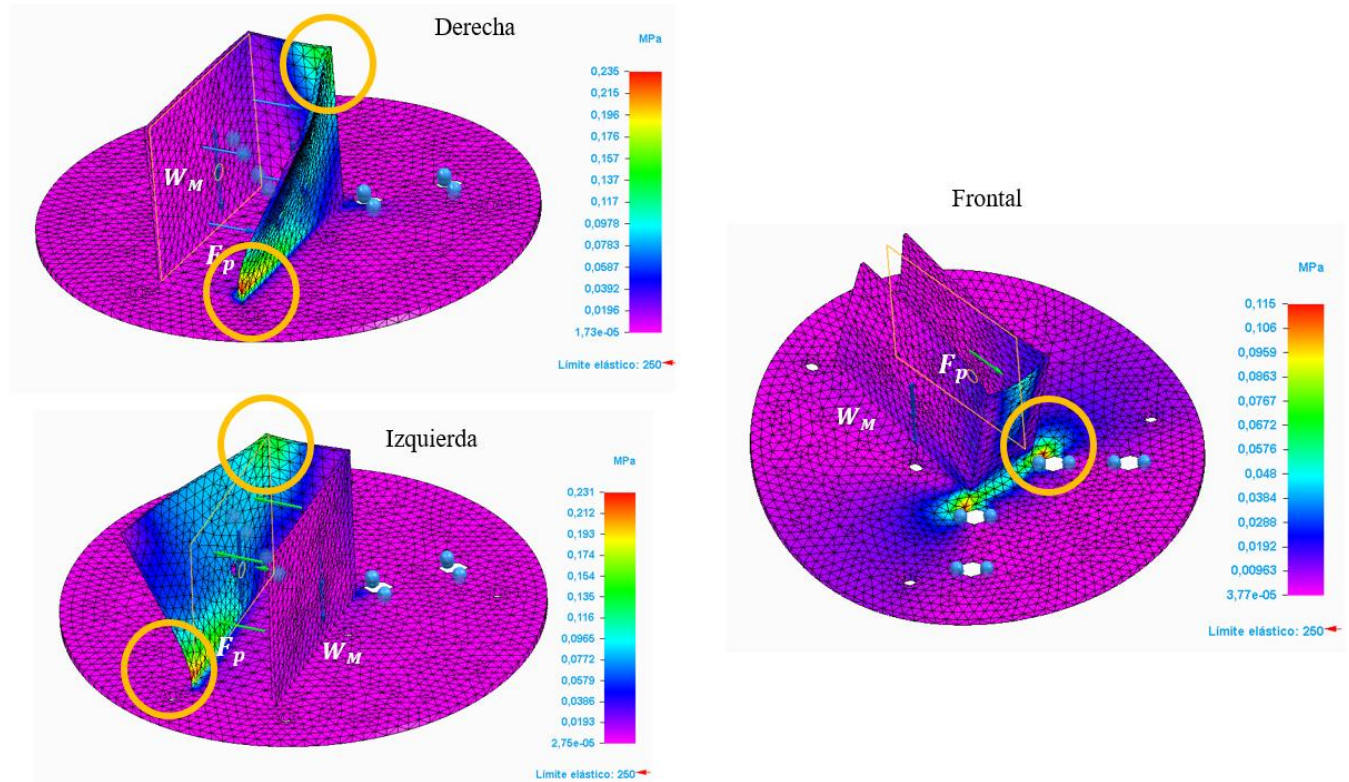


Figura 40. Simulación elementos finitos base superior. Fuente: Autores

Tras observar las áreas señaladas con los círculos naranjas, estas esquinas son las que más tensión presentan, en consecuencia, las que corren con más probabilidad de falla. Los valores muestran que estos puntos críticos siguen estando debajo del límite elástico, pero la simulación se hace bajo una carga estática, así que cabe tener en cuenta que, tras diversos impactos repetidos, la probabilidad de que las esquinas fallen es considerablemente más alta. El uso de refuerzos podría solucionar disminuir la carga en estas áreas.

4.2.3 DISEÑO FINAL

ENSAMBLAJE CAD

En la Figura 39 se observa el resultado final de diseño esperado, con su respectivo explosionado en a Figura 40.

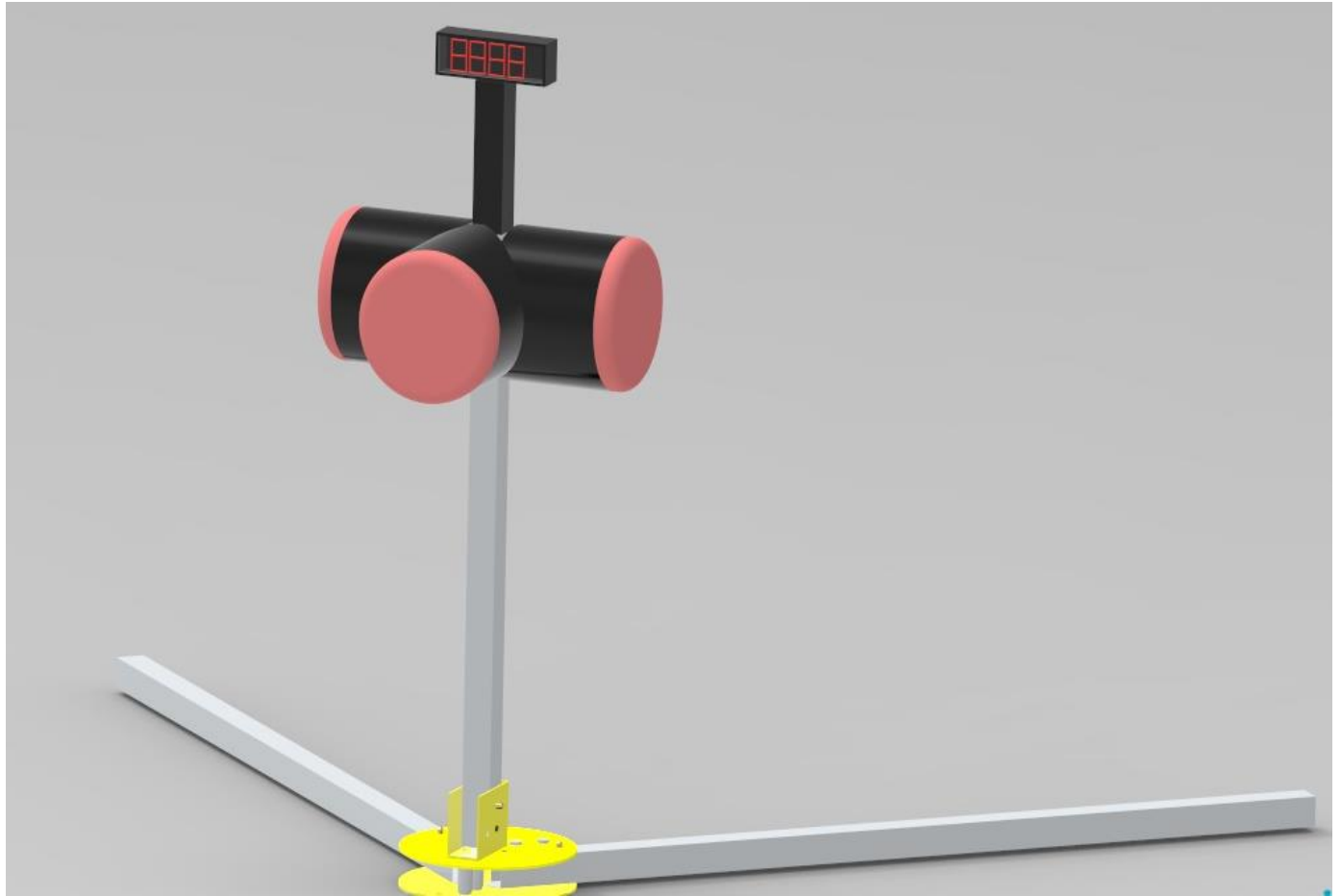


Figura 41. Ensamblaje CAD y explosionado. Fuente: Autores



Figura 42. Ensamble CAD y explosionado Fuente: Autores

SELECCIÓN DE MATERIALES

Tabla 16. Selección de materiales

SELECCIÓN DE MATERIALES		
Elemento	Imagen	Descripción
Barra vertical móvil		Tubería estructural ASTM A500 grado C
Barra vertical fija		Tubería estructural ASTM A500 grado C

Estructura mecanismo		Acero estructural ASTM A36
Barra horizontal derecha		Tubería estructural ASTM A500 grado C
Barra horizontal izquierda		Tubería estructural ASTM A500 grado C
Pines retráctiles		Latón amarillo
Base soporte		Acero estructural ASTM A36
Pasadores en base		Acero al carbono AISI/SAE 1020
Superficie botones		Caucho nitrilo butadieno Dureza 60 Shore
Topes para suelo (se llaman de otro modo)		Nylon Tecamid 66 natural Poliamida 66

Fuente: Autores

SELECCIÓN DE ELEMENTOS COMERCIALES

Tabla 17. Selección de elementos comerciales

SELECCIÓN DE ELEMENTOS COMERCIALES		
Elemento	Imagen	Descripción
Pintura gris		Pintura para metales metalizada
Pintura amarilla		Pintura para metales
Resortes		SAE 1070 8 espiras. 50mm diámetro, 87mm longitud
Eje botón mecanismo		AISI/SAE 1020
Arduino UNO		Microcontrolador
Potenciómetro modulo tipo fader		Deslizante, modulo tipo fader
Cableado/jumpers		Convencionales 26 AWG
Display siete segmentos, cuatro dígitos		Ánodo común

Fuente: Autores

FABRICACIÓN



Figura 43. Base. Fuente: Autores



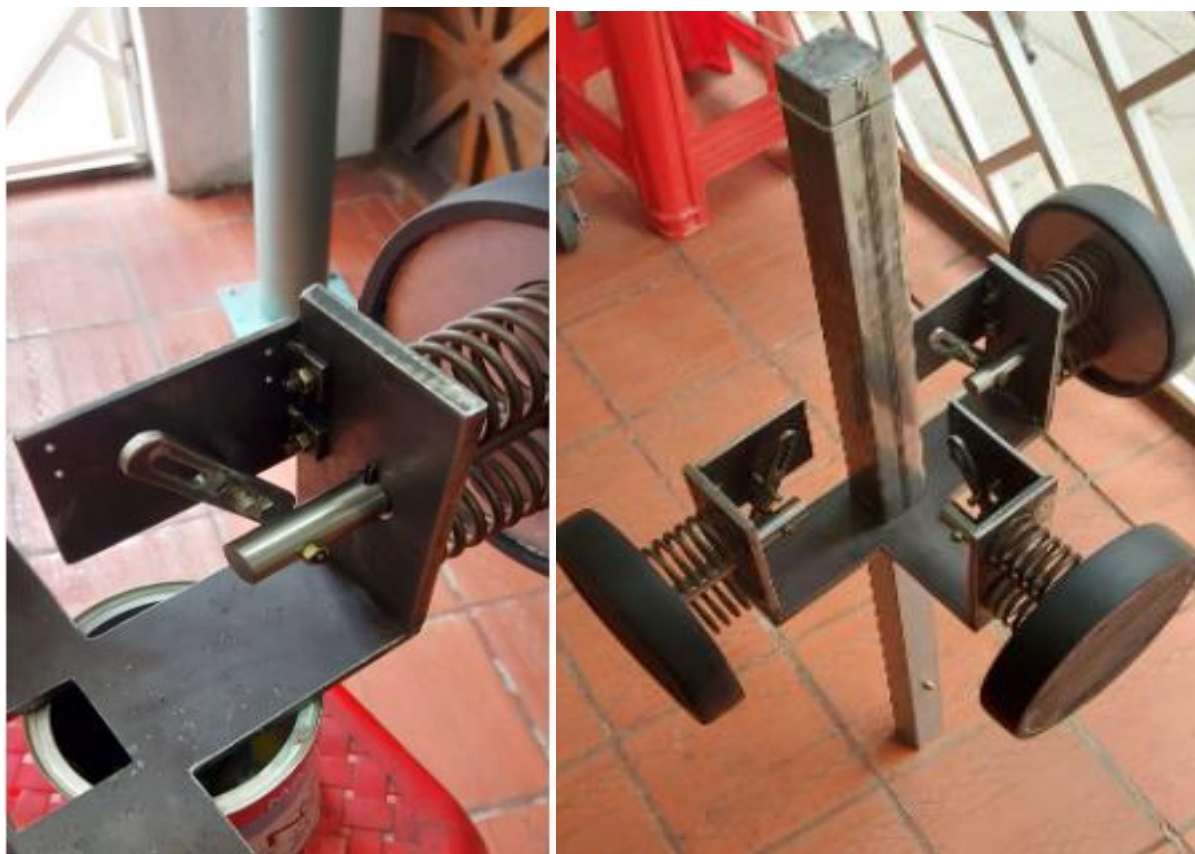


Figura 44. Mecanismo. Fuente: Autores



Figura 45. Ensamble inicial. Fuente: Autores

4.2.4 DIAGRAMA DE FLUJO PARA PROGRAMACIÓN EN ARDUINO

El Arduino es el cerebro de la máquina, por lo tanto, sigue una lógica para ejecutar las órdenes necesarias y de este modo mostrar el cambio de fuerzas en las patadas. En la Figura 44 se observa los diagramas iniciales que explican los procesos lógicos que se querían lograr, el “Flujo Físico” (derecha) muestra el funcionamiento de la máquina desde el punto de vista del deportista, mientras que el “Flujo Arduino/Digital” (Izquierda) explica los pasos que debería realizar el Arduino.

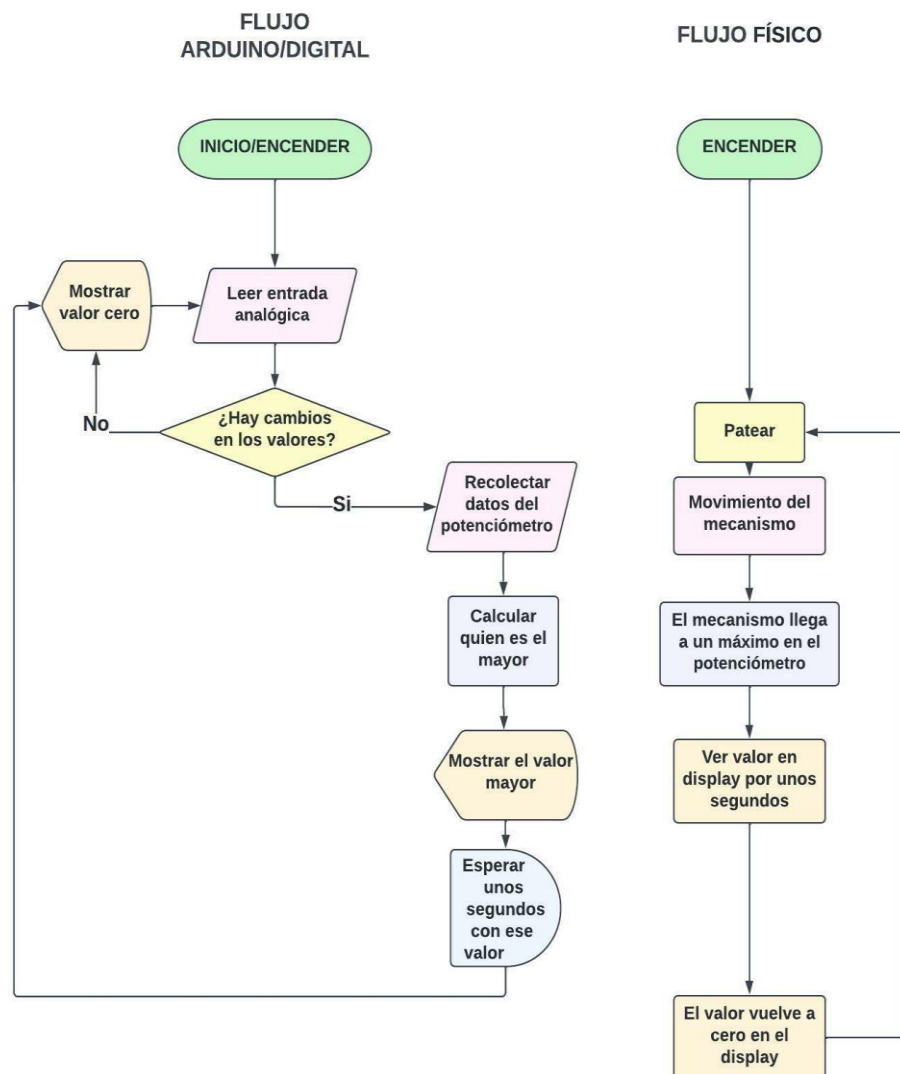


Figura 46. Flujo Arduino/digital, físico. Fuente: Autores

Mientras que el “Flujo Código” explica brevemente el orden y la lógica de las variables dentro de la programación usada para el Arduino. El código original puede ser encontrado en los anexos.

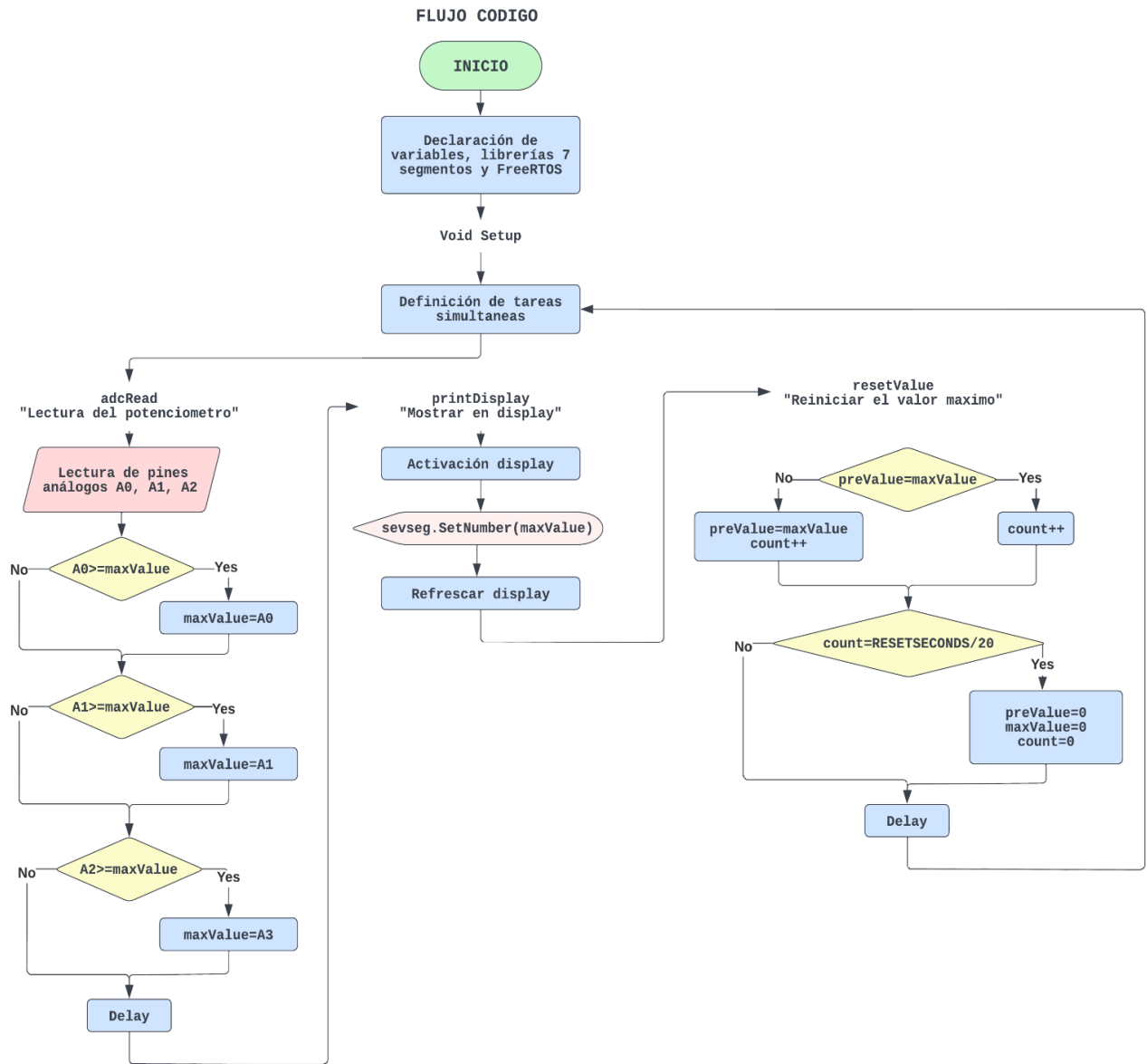
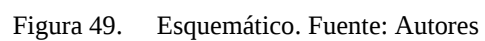
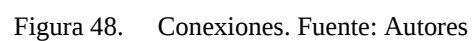


Figura 47. Flujo código. Fuente: Autores

La Figura 46 muestra la conexión del circuito con cada uno de sus elementos, en la Figura 47 se muestra el esquemático respectivo.



4.2.5 COSTOS

Tabla 18. Costos

COSTOS DE PROYECTO			
ELEMENTO	VALOR UNITARIO (\$)	CANTIDAD	COSTO (\$)
MAQUETADO, DISEÑO DE PRUEBA			
Motor pequeño (de prueba)	35.000	1	35.000
Multímetro	16.000	1	16.000
Jumpers x 10	3.000	3	9.000
Estaño metro	500	1	500
Leds (paquete de 10)	1.200	1	1.200
Pantalla 7 seg	5.000	1	5.000
botón on/off	500	1	500
Pila 9v	3.500	1	3.500
Portapila	600	1	600
Potenciómetros deslizantes x2	3.000	1	3.000
Caimanes x2	600	2	1.200
Palos de balsa	2.000	3	6.000
Arduino	25.000	1	25.000
Alfileres	2.000	1	2.000
Pistola de calafeteo	6.600	1	6.600
Cremalleras x3	1.000	3	3.000
Piñones x6	1.000	6	6.000
Resorte de prueba	15.000	1	15.000
PROTOTIPO			
maniquí (para moldes)	15.000	2	30.000
Potenciometro deslizante lineal (Fader)	13.000	6	78.000
Resortes de compresión modulo	12.000	6	72.000
Fabricación base plegable	600.000	1	600.000
Fabricación mecanismo	950.000	1	950.000
Jumpers x10	3.000	5	15.000
Espuma poliuretano	10.000	1	10.000
Mat de yoga (NBR)	35.000	1	35.000

Tela	15.000	1	15.000
Amarra cables cortos	1.500	1	1.500
Amarra cables medianos	1.800	1	1.800
Amarra cables largos	2.000	1	2.000
Estaño	1.000	1	1.000
Masilla epoxica	9.500	1	9.500
Acumulado de transportes			200.000
TOTAL			\$2.159.900

Fuente: Autores

4.3 ENSAMBLAJE FINAL Y PUESTA EN MARCHA

4.3.1 ENSAMBLE

La cubierta de los botones es de franela, la tela tiene las dimensiones suficientes para ser amarrada en la parte posterior, sin interrumpir el funcionamiento de los resortes.



Figura 48. Cubierta botones. Fuente: Autores

El Arduino es ubicado internamente en uno de los extremos del mecanismo, de allí sale el cableado para los potenciómetros y la pantalla de visualización.

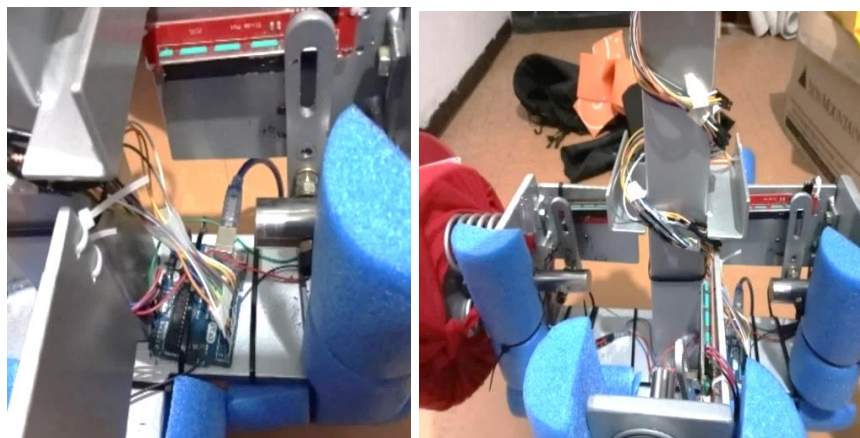


Figura 49. Cableado. Fuente: Autores

Las superficies donde los deportistas podrían golpear por accidente son cubiertas con espuma de poliuretano y sujetadas con amarra cables.

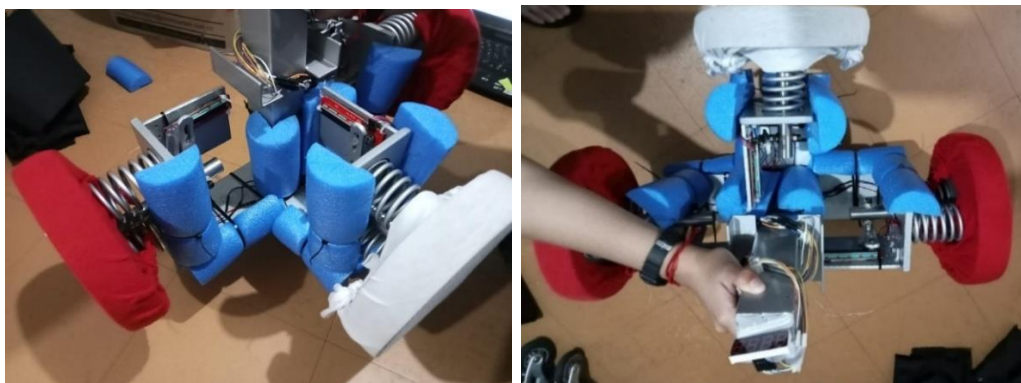
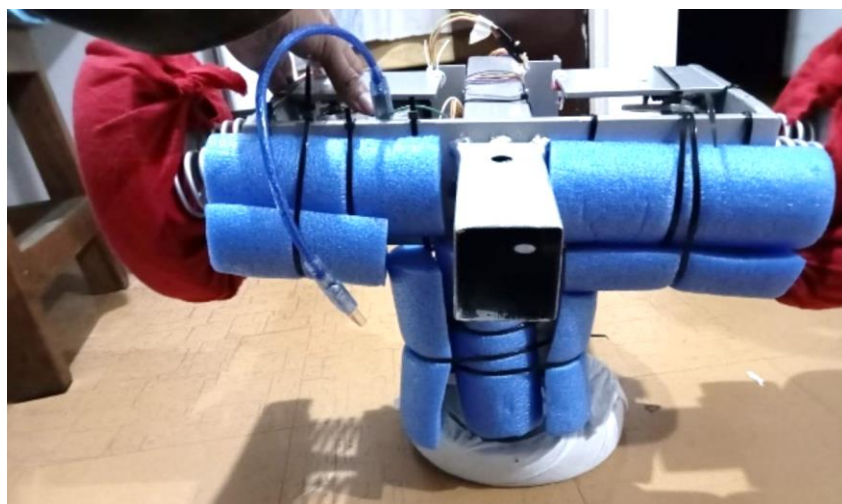


Figura 50. Cubierta de espuma. Fuente: Autores

Como última medida de seguridad, se pone una capa adicional de espuma, cubierta con tela, fácil de remover ya que la solo se debe amarrar en los extremos.



Figura 51. Cubierta de espuma adicional. Fuente: Autores

El ensamblaje completo queda del siguiente modo:



Figura 52. Ensamblaje final. Fuente: Autores

4.3.2 PRUEBAS DE COMBATE

A los deportistas se les pidió golpear la máquina con cinco movimientos diferentes descritos en la Tabla 20.

Tabla 19. Golpes de prueba

GOLPES DE PRUEBA			
Tipo	Nombre	Descripción	Grafica
Patada	Bandal	Impacto al torso con empeine	
Patada	Ap	Impacto de frente con metatarso	
Patada	Yop	Impacto de lado con talón o filo externo	
Patada	Tui	Giro y golpe de talón	
Puño	Jirugui	Puño directo recto al torso	

Fuente: https://www.sportlife.es/deportes/patadas-de-oro-taekwondo-con-joel-gonzalez_195059_102.html,
<https://www.masterkeyver.com/chagi.php>, <https://www.coaching-blackbelt.com/tag/yop-chagi/>,
<https://www.efdeportes.com/efd48/tkd.htm>, <https://www.taekwondo.edu.sg/Tuls/Saju-Jirugi.htm>

Previamente al comienzo de la prueba, los deportistas habían calentado correctamente. Así pues, se les advierte que solo golpeen los botones, pero si fallan la patada y se desvían, golpearan una superficie acolchada.

Por facilidad de transporte en vez de usar los sacos propuestos en el diseño original, para bajar el centro de gravedad, se pide colaboración de los deportistas para que se sienten en los paraleles laterales, y así contrarrestar el volcamiento de la máquina, Figura 54.



Figura 53. Explicaciones a deportistas. Fuente: Autores



Figura 54. Evitar volcamiento. Fuente: Autores



Figura 55. Ejecución de patadas. Fuente: Autores

Los valores obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 21 Golpes de prueba

#	Sexo	Masa (kg)	Cinturón	EXTREMINDAD DOMINANTE		BANDAL (N)		AP (N)		YOP (N)		TUI (N)		JIRUGUI (N)	
				Pierna	Brazo	Der.	Izq.	Der.	Izq.	Der.	Izq.	Der.	Izq.	Der.	Izq.
1	F	58	Negro	Derecha	Derecho	935	495	125	160	359	450	197	266	167	236
2	F	54	Negro	Derecha	Derecho	342	114	112	159	267	322	278	377	45	92
3	F	47	Franja Azul	Derecha	Derecho	358	80	115	150	115	84			138	
4	F	45	Verde	Izquierda	Izquierdo										
5	F	57	Verde	Derecha	Derecho										
6	F	51	Amarillo	Derecha	Derecho										
7	F	51	Blanco	Derecha	Derecho	227	91	113	125	92	155	51	154	51	21
8	M	78	Rojo	Derecha	Derecho										
9	M	54	Rojo	Izquierda	Derecho										
10	M	58	Blanco	Derecha	Derecho										
11	M	61	Franja Verde	Derecha	Derecho										
12	M	64	Blanco	Derecha	Izquierdo										
13	M	64	Blanco	Derecha	Derecho										
14	M	66	Amarillo	Derecha	Derecho										
15	M	80	Negro	Derecha	Derecho	532	483	367							

Fuente: Autores

A medida que se realizan las pruebas, cuando el deportista numero 15 golpea la máquina, la base principal del equipo comienza a presentar un agrietamiento considerablemente (Ver Figura 56), esto conlleva a suspender la prueba por motivos de seguridad. De los quince deportistas participantes, la máquina alcanza a soportar el impacto de cinco de ellos.



Figura 56. Fallas en la estructura, base soporte superior. Fuente: Autores

Por otro lado, el mecanismo interno que absorbe la fuerza de los golpes se desajusta debido a que los golpes ejercen suficiente fuerza para que las tuercas se aflojen, de este modo el eslabón que debe permanecer completamente vertical empieza a desplazarse, Figura 57, lo que provoca que tras algunos intentos los datos mostrados no son los adecuados. Si bien, estos detalles se pueden ajustar rápidamente, consumen tiempo y requieren constaste atención, lo que puede llevar a plantear una mejora del mecanismo o del diseño en detalle de este.



Figura 57. Fallas en la estructura, mecanismo. Fuente: Autores

4.3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tras la lectura de los datos obtenidos se puede apreciar que las patadas suelen ser más fuertes que el “jirugui” (puño), se debe recordar al lector que el deporte se basa principalmente en patadas, por consiguiente, los valores serían congruentes.

La patada “bandal” es de las más usadas, sencillas de realizar y una de las primeras que se les enseña a los deportistas principiantes, se puede apreciar que este tipo de patada particular presenta más fuerza del lado dominante. En cambio, en movimientos de mayor complejidad este valor puede variar, mostrando más fuerza en un lado que no sea el dominante como se esperaría.

Era de esperarse que los cinturones más avanzados, como el negro, tengan un mayor desarrollo de la fuerza en comparación con cinturones inferiores como el blanco.

La comparación entre deportistas de sexo femenino y masculino no es posible, dado la falta de valores, así pues, no es posible realizarla acertadamente.

Analizando los resultados físicos más evidentes, la estructura falla en uno de los costados de la “base superior”, mas no en el pin donde se esperaba un comportamiento de fatiga y se calculaban más esfuerzos.

Con respecto al mecanismo, este logra aflojarse tras diversos impactos, lo que indica que el ajuste de las tuercas no es suficiente para contrarrestarlo. En este orden de ideas hace falta una pieza que sea más segura, donde no exista el desplazamiento de las tuerkas que unen el mecanismo.

Tras ver las falencias anteriores, se hacen diversos cambios a la estructura, como lo son el uso de una tuerca de seguridad para evitar que el mecanismo se afloje, eliminar el juego de los botones de impacto con el uso de rodamientos lineales para tener un resultado más preciso y evitar que el mecanismo deje de presentar valores si se llega a perder el contacto con el potenciómetro.

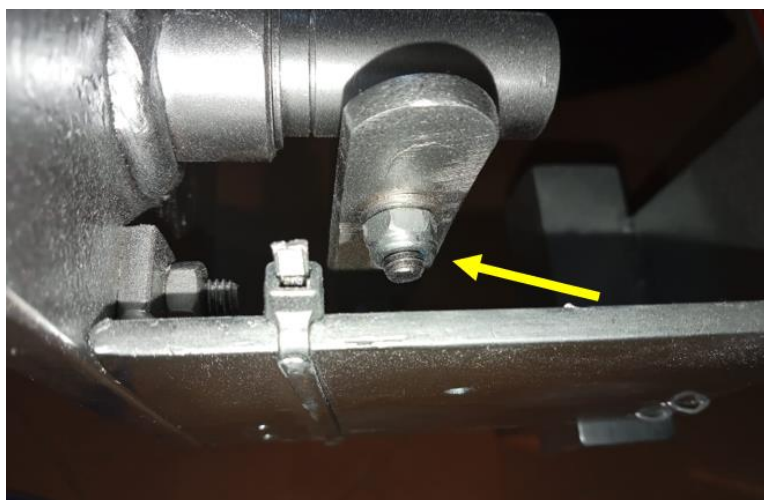


Figura 58. Mejoras en la estructura, mecanismo, tuerca de seguridad. Fuente: Autores

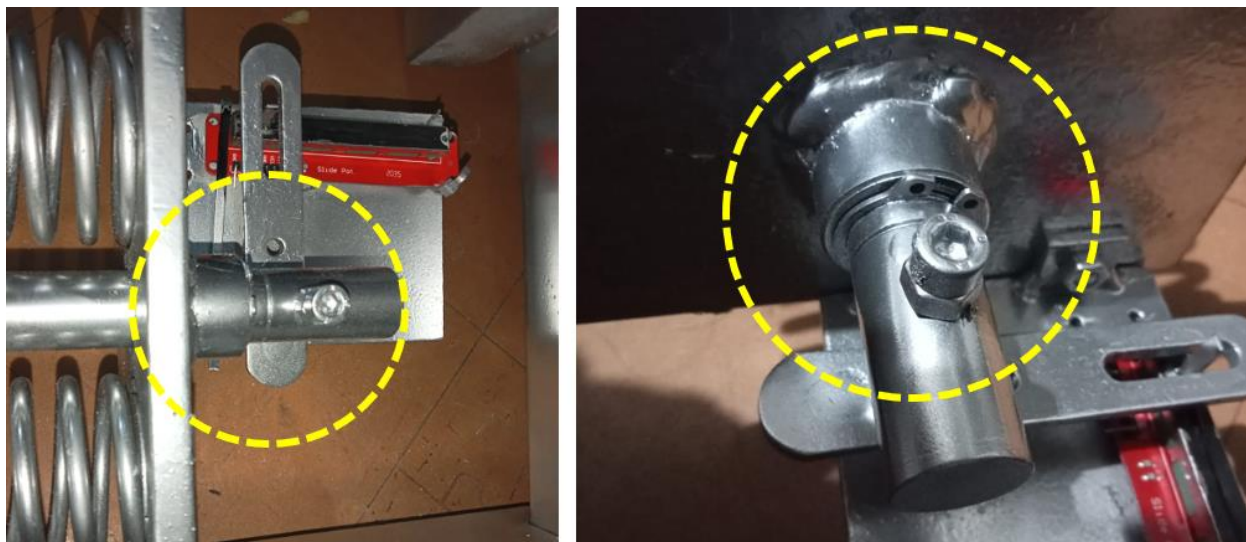


Figura 59. Mejoras en la estructura, mecanismo, rodamiento, eliminación de juego. Fuente: Autores

Por último, se agregan un refuerzo a la “base superior” donde ocurre el agrietamiento, además de soldar un nuevo nervio que contrarresta un poco las cargas en esa zona, como se puede confirmar en la simulación antes y después de los cambios realizados.



Figura 60. Mejoras en la estructura, base soporte superior, nervio y refuerzo. Fuente: Autores

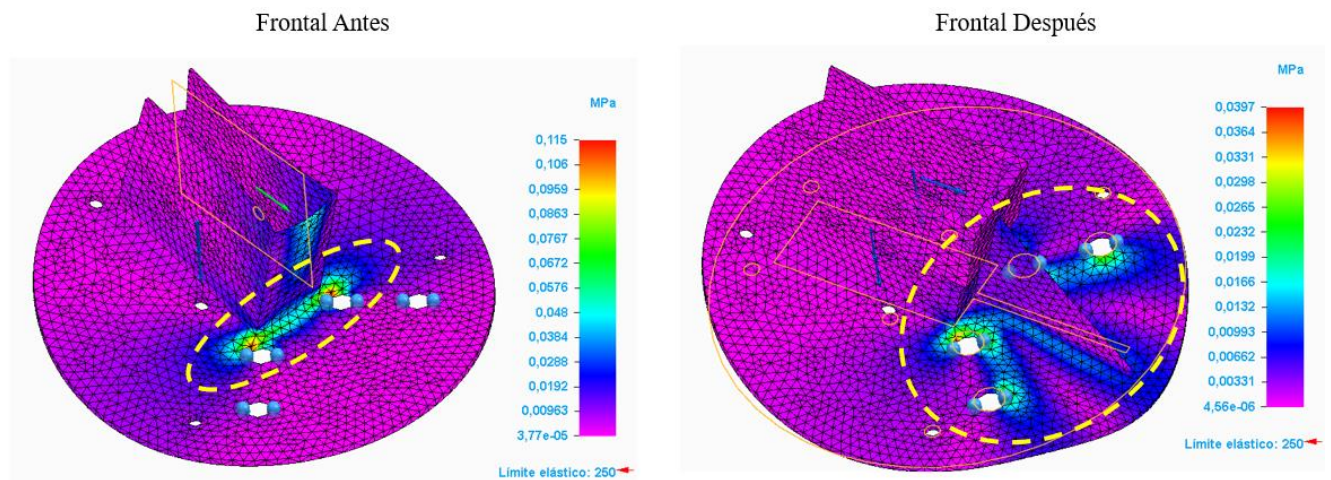


Figura 61. Simulación elementos finitos, mejoras en la base, golpe frontal. Fuente: Autores

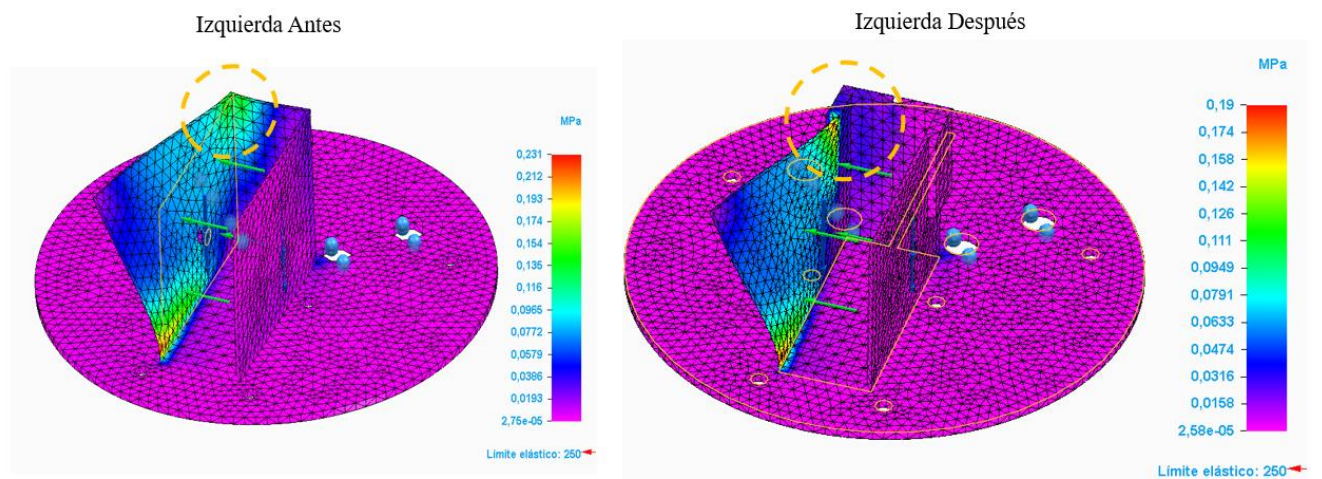


Figura 62. Simulación elementos finitos, mejoras en la base, golpe izquierdo. Fuente: Autores

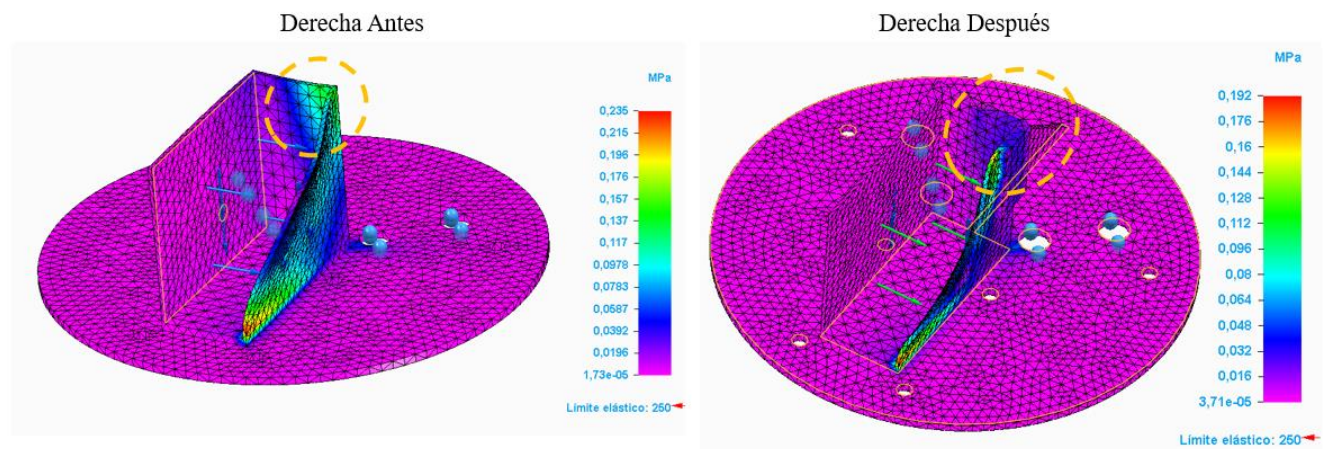


Figura 63. Simulación elementos finitos, mejoras en la base, golpe derecho. Fuente: Autores

Todas estas reparaciones y mejoras incrementan el costo de manufactura de 2'159.900 a 2'619.900.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Durante el desarrollo de este proyecto se obtiene el diseño en detalle de un equipo que cumple con las necesidades y requerimientos de los deportistas, proporcionando un prototipo fácil de transportar, además de ajustable a diferentes alturas para mayor comodidad y una zona de impacto capaz de soportar diversos tipos de golpes de forma segura. Como solución del problema de referencia durante los entrenamientos, se incluye una pantalla que permite visualizar valores en tiempo real de la fuerza aplicada. El mecanismo empleado que absorbe el impacto, prueba cumplir su propósito para entrenamientos reales, aunque aún presenta fallas que son fáciles de arreglar y se puede optimizar para obtener valores más fieles a la realidad.

Tras evaluar la alternativa más viable con respecto a costos y fabricación, el prototipo se construye satisfactoriamente, no sin antes haber diseñado un mecanismo que se descartó por ser demasiado fácil de mover. Si bien fue posible medir fuerzas, el mecanismo aun presenta falencias importantes, de ahí que se recomienda el uso de electrónica que dependa menos de partes móviles que puedan recibir impactos directos y en este sentido puedan golpear los elementos electrónicos. Después de las correcciones realizadas el mecanismo funciona considerablemente mejor, pero podría mejorar con un mecanismo más enfocado en lo digital, como bien un sensor de proximidad, que mida el desplazamiento del mecanismo sin necesidad de contacto físico.

Posterior a la falla en la base principal del equipo, se puede contemplar que la implementación de un nervio posterior contrarresta la fatiga sobre la pieza, aun así, la inclusión de nervios laterales reduciría aún más las cargas sobre la pieza. A pesar de esta falencia, la estructura general de la máquina permite a un adulto moverla y contrarrestar el volcamiento con sacos de arena o con ayuda de los deportistas sin que estos reciban impactos directos.

Para próximas pruebas tener presente que los valores arrojados por los deportistas cinturones negros, ellos cuentan con una mayor experiencia así que la maquina no sería destinada a este grupo, si no mas bien a deportista principiantes o avanzados que necesitan mejorar sus habilidades, de este modo la maquina estaría sometida a menos fuerzas, y por lo tanto a menos riesgo de agrietamiento en la máquina.

Cabe resaltar que, aunque el diseño final mostro fallas importantes para el correcto funcionamiento de la máquina, permite explorar muchas opciones de mejora. El proyecto muestra un breve vistazo de una necesidad real, procesos de diseño y su fabricación, conocimiento indispensable para un ingeniero mecánico y como la teoría puede funcionar, pero su aplicación puede tener diversos inconvenientes, en este caso el rediseño y la improvisación se hacen indispensables.

Como recomendaciones para un futuro prototipo, se pueden agregar más elementos interactivos como luces y sonido, además de la reducción o simplificación del mecanismo, esto permite mejorar las capacidades portables del equipo, por una sola persona hasta alcanzar escalas de un “pao” y que incluso pueda ser adicionado a otros elementos deportivos más estables, como lo es el saco de boxeo.

6 BIBLIOGRAFÍA

- Alberro, A. N. (2013). *Análisis de mecanismos cinemática y dinámica* (Vol. 18, Número 1). Delta Publicaciones. <https://elibro.net/es/ereader/usta/167035>
- Arboledas Brihuega. (2014a). La Ley de Ohm. En *Electricidad Basica* (1a ed., Vol. 1, pp. 44–45). RA-MA, S.A Editorial y Publicaciones.
- Arboledas Brihuega, D. (2014b). ¿Que es la electricidad? En *Electricidad Basica* (1a +ed., Vol. 1, pp. 15–16). RA-MA, S.A. Editorial y Publicaciones.
- Chang-Hwan Choi, Hyeri Oh, & Minsoo Jeon. (2021). Adequacy of setting standards for kick impact in the Taekwondo electronic scoring system: comparison of a reference group model based on empirical data. En *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*. <https://link.springer.com/article/10.1186/s13102-021-00340-x#Tab2>
- Cho, E.-H., Eom, H.-J., & Jang, S.-Y. (2020). Comparison of Patterns of Skill Actions between Analog and Electronic Protectors in Taekwondo: A Log-Linear Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11), 3927. <https://doi.org/10.3390/ijerph17113927>
- Choy, H. (s/f). *Choy Lee Fut wooden dummies, Ching Jong, family secrets, qi gong, chi kung, how to fight, kung fu, choy lee fut, cai li fo, Chen Yong-Fa*. Recuperado el 22 de marzo de 2020, de <http://www.shou-yi.org/qigong-choyleefut/choy-lee-fut-wooden-dummies>
- Coral Falco, Octavio Alvarez, Isaac Estevan, & Javier Molina-García. (2011). *CAPACIDAD DE GENERACIÓN DE FUERZAS DE GOLPEO Y TIEMPO DE EJECUCIÓN SEGÚN LA CATEGORÍA DE PESO EN TAEKWONDO*. https://www.researchgate.net/publication/277735673_CAPACIDAD_DE_GENERACION_DE_FUERZAS_DE_GOLPEO_Y_TIEMPO_DE_EJECUCION_SEGUN_LA_CATEGORIA_DE_PESO_EN_TAEKWONDO
- Fit Interactive 3 Kick - Interactive Kickboxing For All Ages | Exergame Fitness*. (s/f). Recuperado el 16 de septiembre de 2020, de <https://www.exergamefitness.com/products/active-floor-games/fit-interactive-3-kick/>
- Gonzales, A., & Pedroso, C. (s/f). *Teoría y metodología del entrenamiento del taekwondo*. Recuperado el 16 de septiembre de 2020, de [http://edacunob.ult.edu.cu/bitstream/123456789/24/1/Teoría y Metodología del Entrenamiento del Taekwondo.pdf](http://edacunob.ult.edu.cu/bitstream/123456789/24/1/Teoría_y_Metodología_del_Entrenamiento_del-Taekwondo.pdf)
- Hugh D. Young, Roger A. Feedman, & A. Lewis Ford. (2009). *Física Universitaria Volumen 2* (Vol. 2).
- Hugh D. Young, Roger A. Freedman, & A. Lewis Ford. (2013). *Física Universitaria Volumen 1* (Pearson, Ed.; 13a ed., Vol. 1).

Isaac Estevan, Álvarez Octavio, Coral Falco, Javier Molina-García, & Isabel Castillo. (2011). *Impact Force and Time Analysis Influenced by Execution Distance in a Roundhouse Kick to the Head in Taekwondo*. https://journals.lww.com/nsca-jscr/Fulltext/2011/10000/Impact_Force_and_Time_Analysis_Influenced_by.26.aspx

Juan Pablo Díaz Sarmiento, & Norris Wason Gutiérrez Vázquez. (2019). *Relación entre la fuerza potencia de la patada circular y la fuerza isométrica de la Zona Core en deportistas practicantes de Taekwondo a nivel Universitario en la ciudad de Bogotá* [Universidad Pedagógica Nacional]. <http://repository.pedagogica.edu.co/handle/20.500.12209/17355>

Máquinas indispensables para entrenamientos Taekwondo - Solo Artes Marciales. (s/f). Recuperado el 16 de septiembre de 2020, de <https://soloartemarciales.com/blogs/news/maquinas-indispensables-para-entrenamientos-taekwondo>

Memoria muscular: qué es, cómo funciona, y cuánto dura. (s/f). Recuperado el 16 de septiembre de 2020, de <https://psicologiyamente.com/deporte/memoria-muscular>

Nexersys Boxing Unit. (s/f). Recuperado el 22 de marzo de 2020, de <https://www.blessthisstuff.com/stuff/sports/health-fitness/nexersys-boxing-unit/>

Óscar Torrente Artero. (2013). *Arduino Curso práctico de formación*. <https://books.google.com.co/books?id=G4RzEAAQBAJ&pg=PA251&dq=display+7+segmentos+datasheet&hl=en&sa=X&ved=2ahUKEwi4vpzo4fD8AhXBbDABHWbYBgwQ6AF6BAgIEAI#v=onepage&q=display%207%20segmentos%20datasheet&f=false>

Robert L. Norton. (2011). *Diseño de máquinas Un enfoque integrado* (4a ed., Vol. 1). Pearson.

Russell. C. Hibbeler. (2010). *Estática* (Pearson, Ed.; 12a ed.).

Rutten, B. (s/f). *HOW IT WORKS- UFC Body Action System*. Recuperado el 9 de octubre de 2021, de <https://basbodyactionsystem.com/pages/how-it-works>

Taekwondo | Secretaría de Cultura, Recreación y Deporte. (s/f). Recuperado el 16 de septiembre de 2020, de <https://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/es/bogotanitos/recreacion/taekwondo>

What is Arduino? | Arduino. (s/f). Recuperado el 16 de octubre de 2021, de <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>

World Taekwondo ABOUT WT. (2023). <http://www.worldtaekwondo.org/about-wt/about.html>

순발력을 길러주는 격투 운동기구 “싸우라비”. (s/f). Recuperado el 16 de septiembre de 2020, de <http://kr.aving.net/news/view.php?articleId=27994>

7 ANEXOS

7.1 Código del arduino:

```
#include <SevSeg.h> //Libreria para display siete segmentos
#include <Arduino_FreeRTOS.h> // RTOS (Sistema operativo para tareas simultaneas y
rapidas, sin necesidad de usar el "Void Loop")

// Pin ADC
#define PIN_ADC1 A0
#define PIN_ADC2 A1
#define PIN_ADC3 A2
#define RESETSECONDS 7*1000 // milliseconds

// Atributos
SevSeg sevseg; //Instancia objeto siete segmentos
unsigned int maxValue = 0;

void setup() {
    // Iniciar comunicacion serial
    Serial.begin(9600);

    // Inicializar display
    initSevSeg();

    xTaskCreate(adcRead, "Lectura potenciometro", 128, NULL, 1, NULL);
    xTaskCreate(printDisplay, "Mostrar en display", 128, NULL, 0, NULL);
    xTaskCreate(resetValue, "Reinicia el valor maximo", 128, NULL, 3, NULL);
    vTaskStartScheduler(); // Iniciar la programación de tareas
}

void adcRead(void *param)
{
    unsigned int analogReadValue1 = 0, analogReadValue2 = 0, analogReadValue3 = 0;
    while (1)
    {
        analogReadValue1 = analogRead(PIN_ADC1);
        analogReadValue2 = analogRead(PIN_ADC2);
        analogReadValue3 = analogRead(PIN_ADC3);
        if (analogReadValue1 >= maxValue) {
            maxValue = analogReadValue1;
        }
        if (analogReadValue2 >= maxValue) {
            maxValue = analogReadValue2;
        }
        if (analogReadValue3 >= maxValue) {
```

```

    maxValue = analogReadValue3;
}
vTaskDelay(20 / portTICK_PERIOD_MS );
}
}

void printDisplay(void *param)
{
//unsigned int prevValue = maxValue;
while (1)
{
//if (prevValue != maxValue){
    sevseg.setNumber(maxValue*1.388);
    //vTaskDelay(100 / portTICK_PERIOD_MS );
//}else{
    //prevValue = maxValue;
//}
    sevseg.refreshDisplay();
}
}

void resetValue(void *param)
{
    // Reset variable
    unsigned int prevValue = maxValue;
    unsigned int count=0;

    while (1)
    {
        if (prevValue == maxValue){
            count++;
        }else{
            Serial.print("Nuevo valor: ");
            Serial.println(maxValue);
            prevValue = maxValue;
            count=0;
        }

        if(count>=RESETSECONDS/20){
            Serial.print("Valor reiniciado ");
            Serial.println(count);
            prevValue = 0;
            maxValue=0;
            count=0;
        }
        vTaskDelay(20 / portTICK_PERIOD_MS );
    }
}

```

```

    }
}

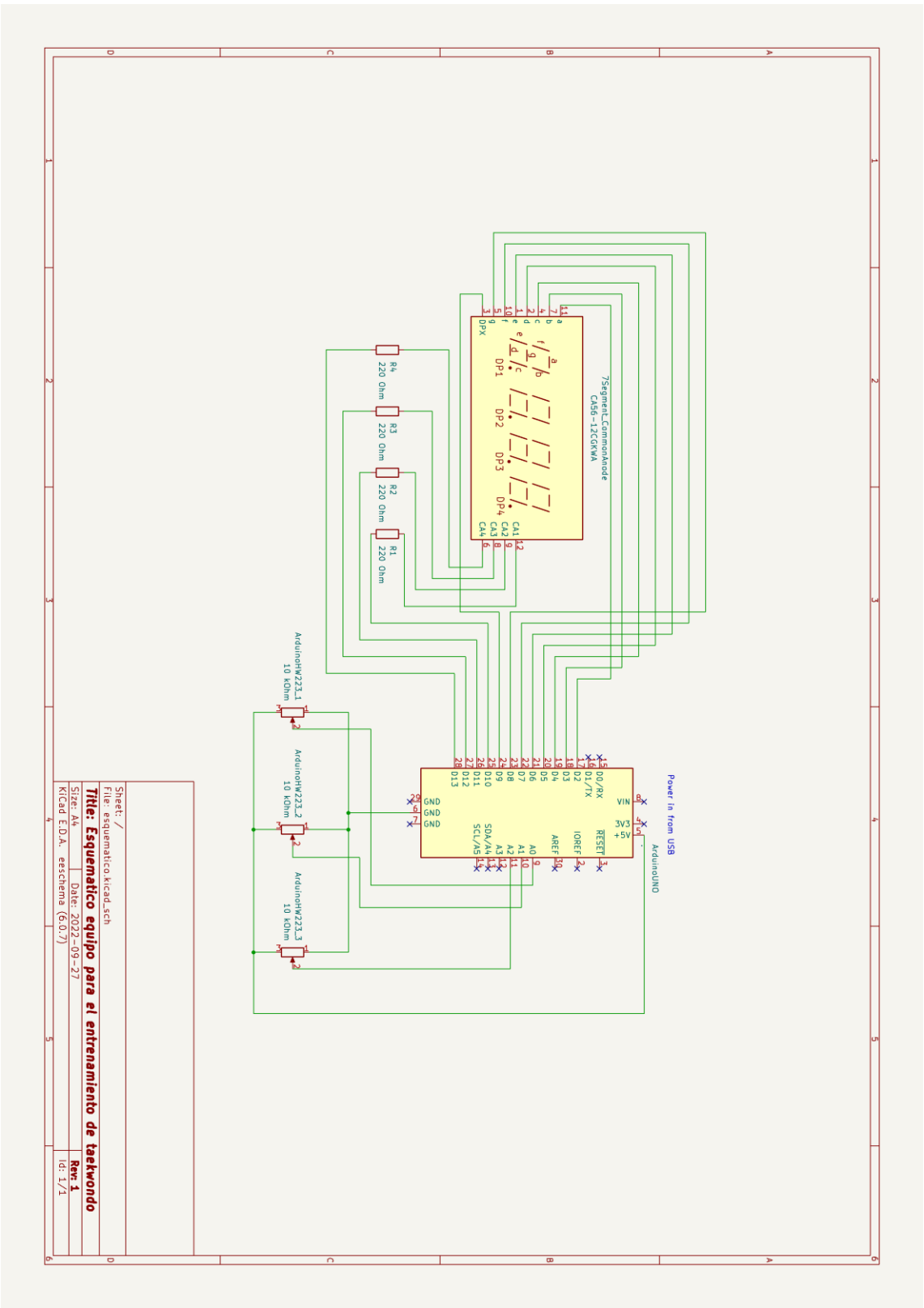
void initSevSeg() {
    byte numDigits = 4;
    byte digitPins[] = {10, 11, 12, 13};
    byte segmentPins[] = {2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9};
    bool resistorsOnSegments = false; // 'false' means resistors are on digit pins
    byte hardwareConfig = COMMON_ANODE; // See README.md for options
    bool updateWithDelays = false; // Default 'false' is Recommended
    bool leadingZeros = true; // Use 'true' if you'd like to keep the leading zeros
    bool disableDecPoint = false; // Use 'true' if your decimal point doesn't exist or isn't
    connected. Then, you only need to specify 7 segmentPins[]
    sevseg.begin(hardwareConfig, numDigits, digitPins, segmentPins, resistorsOnSegments,
        updateWithDelays, leadingZeros, disableDecPoint);
    sevseg.setBrightness(100);
    //sevseg.setNumber(0000, -1);
}

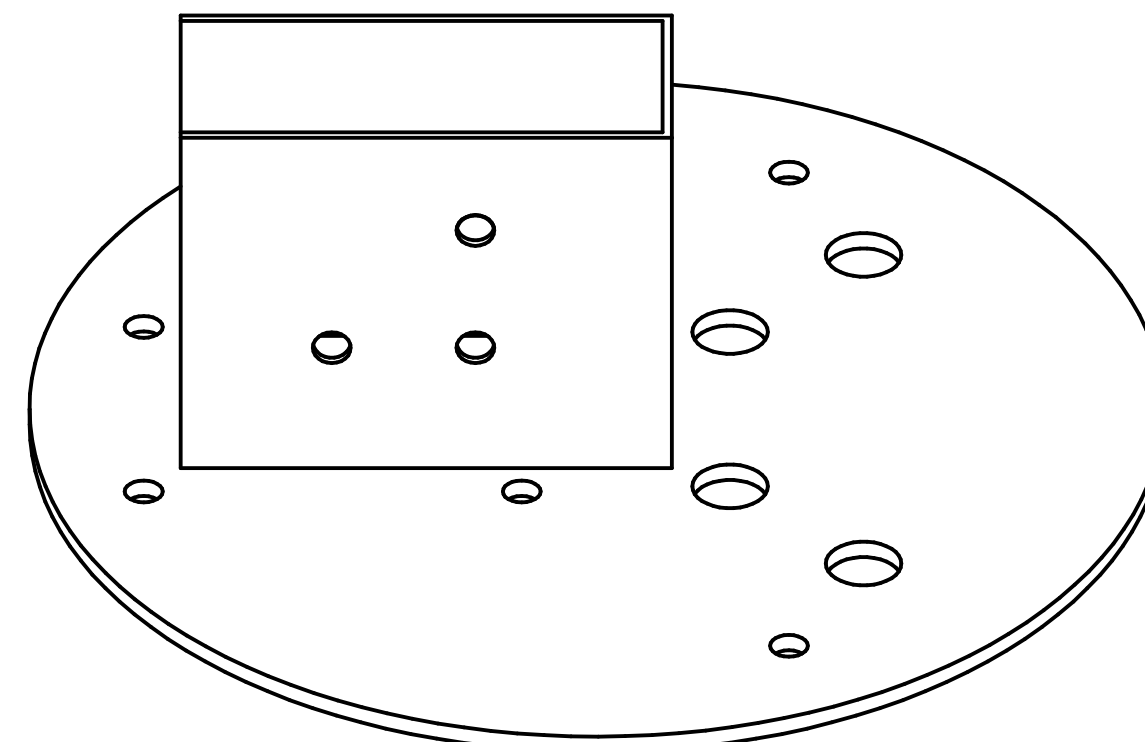
void loop() {

}

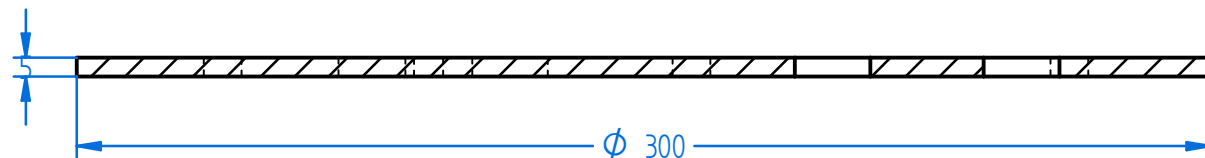
```

7.2 Esquemático conexión Arduino:

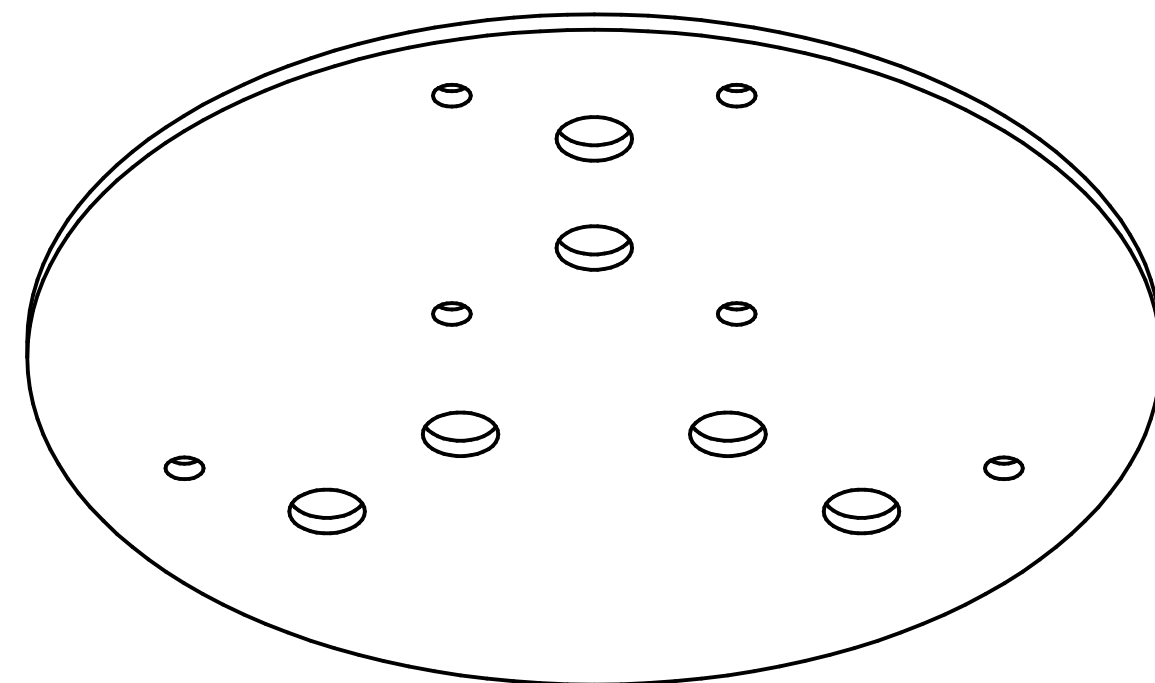
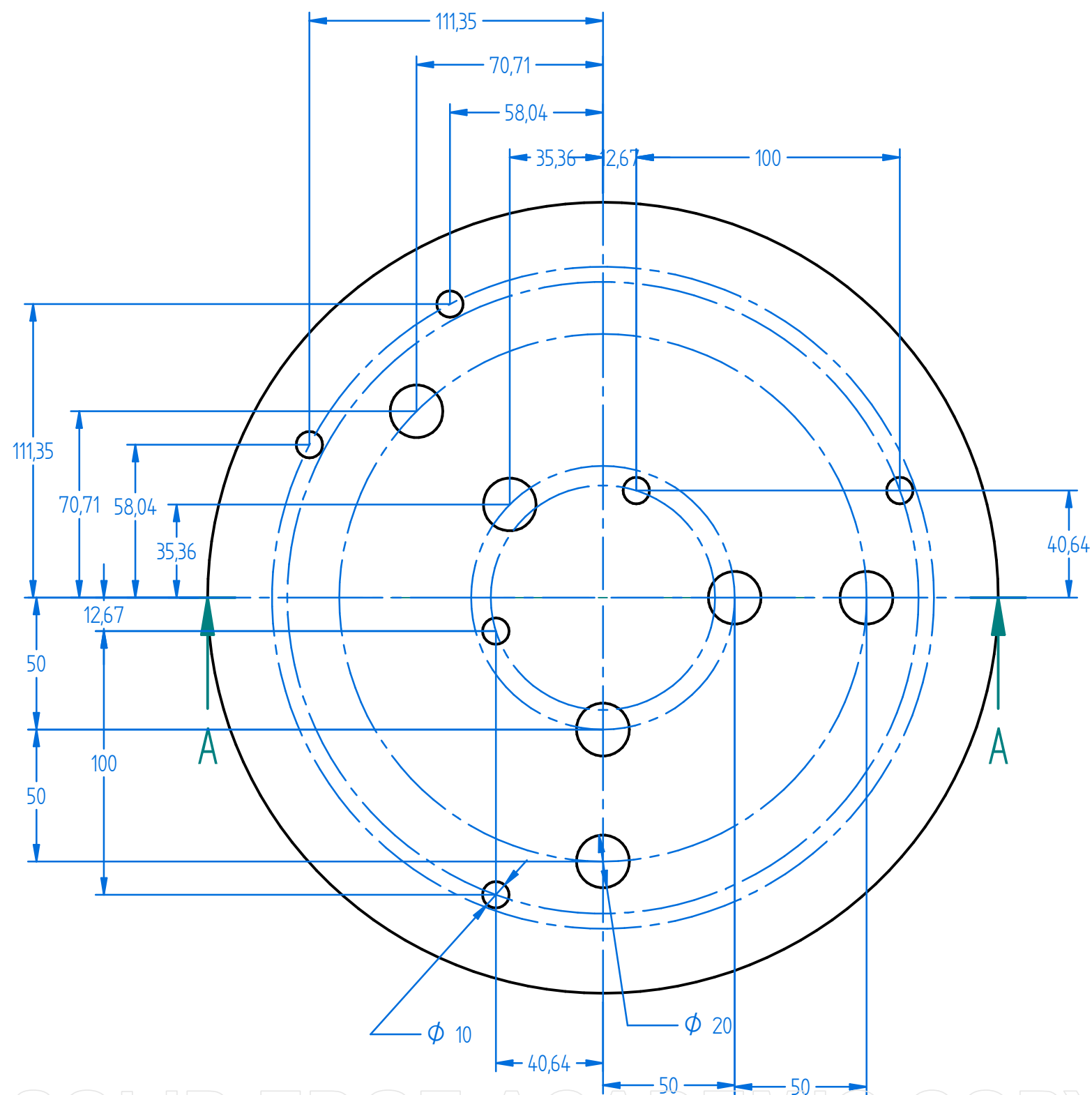


[illegible]

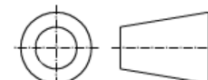
Plano 1 de 15

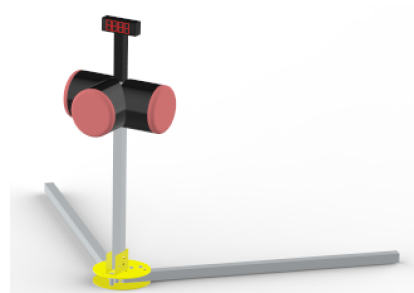


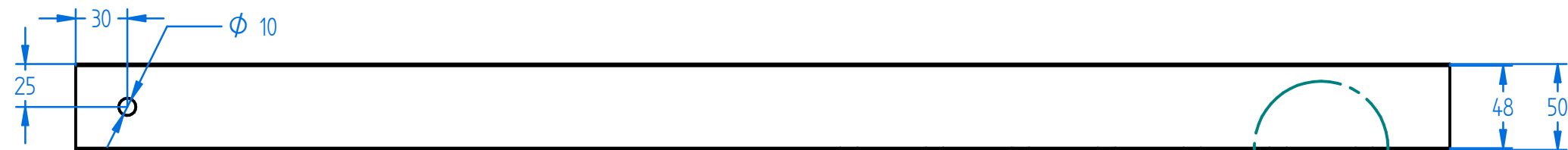
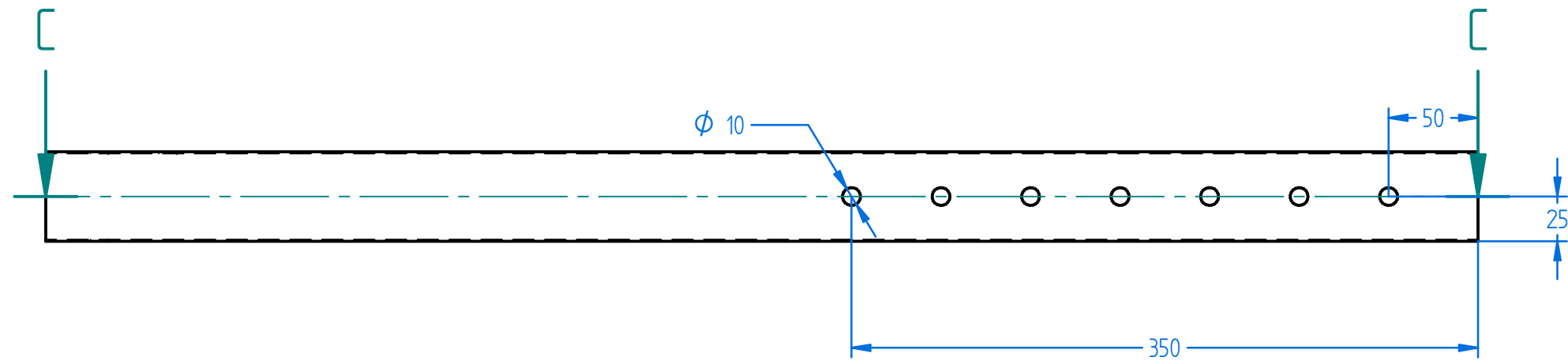
CORTE A-A



 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	
Dibujado	Orlaine Castilla
Dibujado	Andres Saavedra
Cordinador	Andres Clavijo
Jurado	Jesus Villareal
Jurado	Ricardo Forero
cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$	

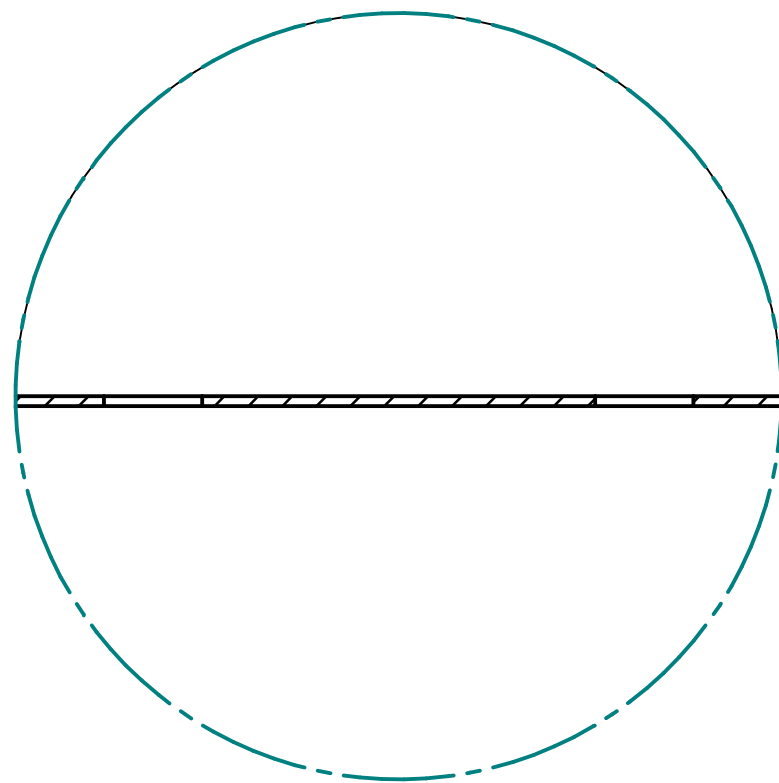
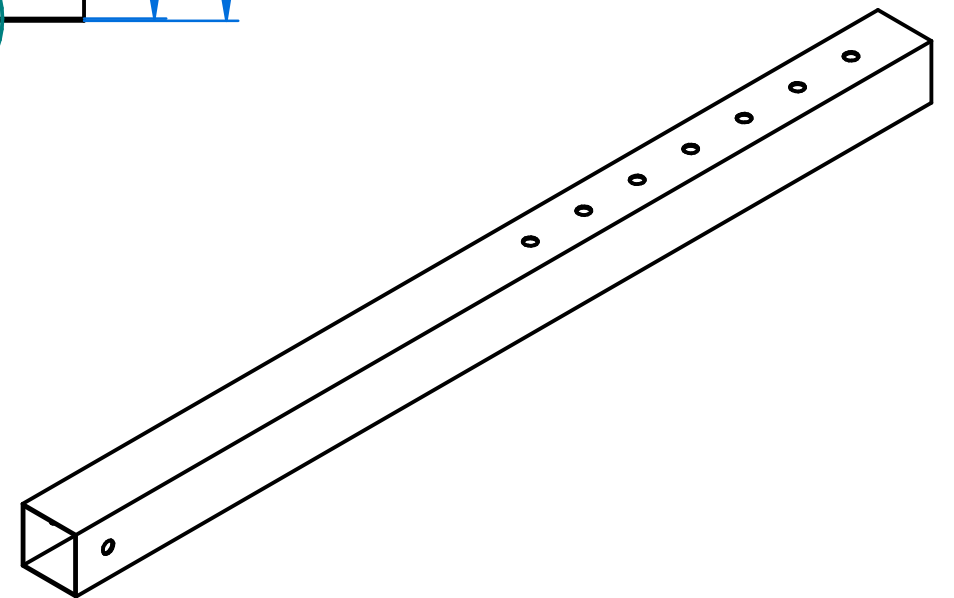


	
A3	Plano: Base inferior
Escala: 1:2	Plano 2 de 15



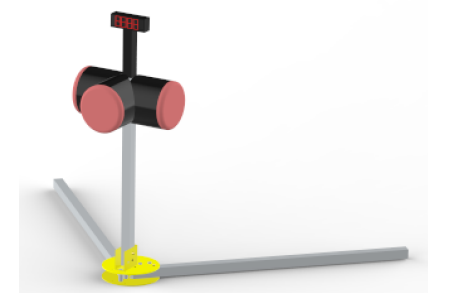
CORTE C-C

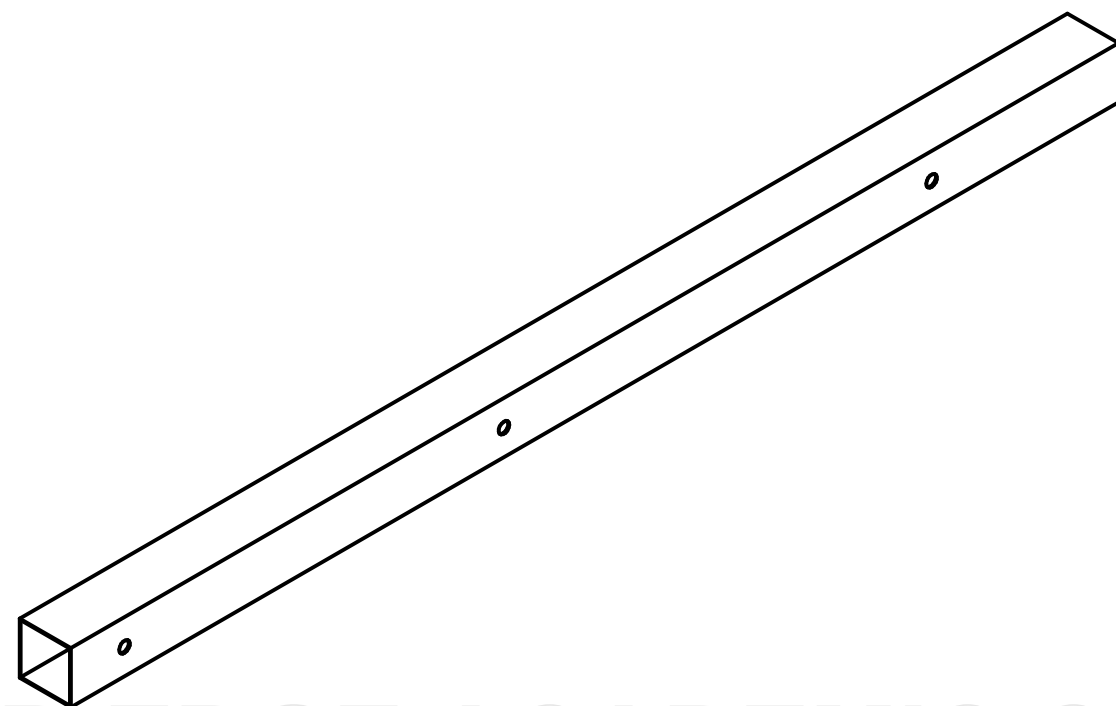
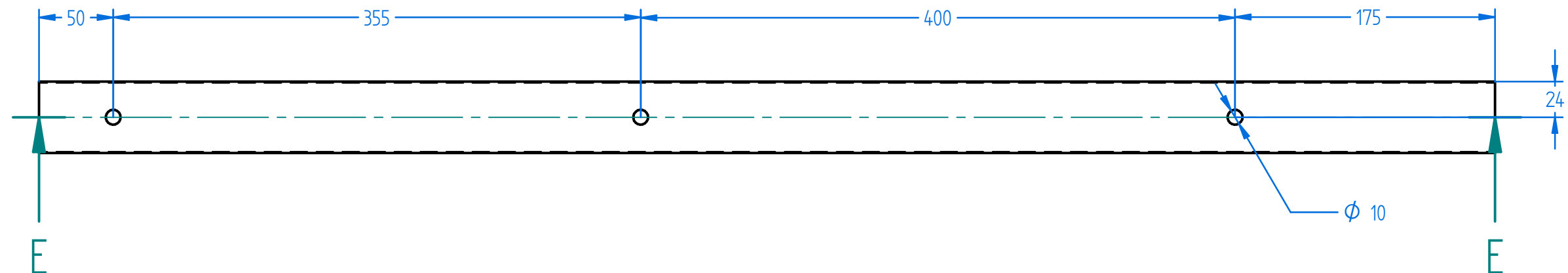
D

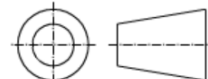


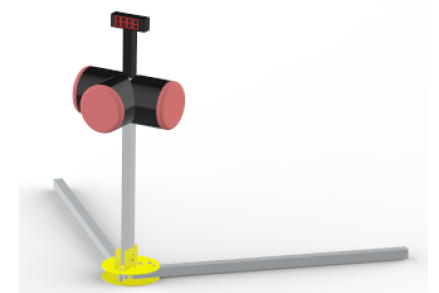
DETALLE D

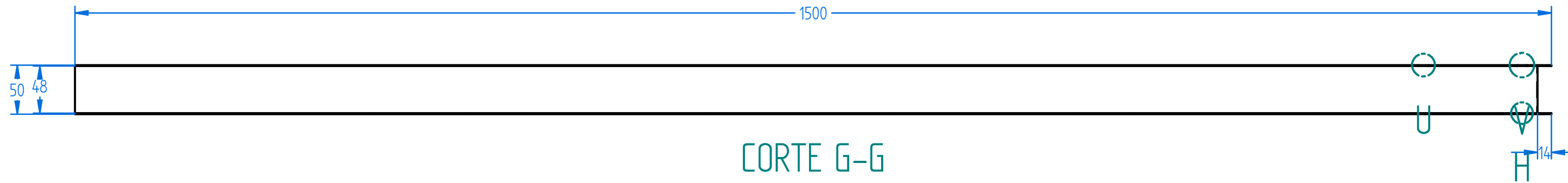
 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	
Dibujado	Orlaine Castilla
Dibujado	Andres Saavedra
Cordinador	Andres Clavijo
Jurado	Jesus Villareal
Jurado	Ricardo Forero
cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$	
	



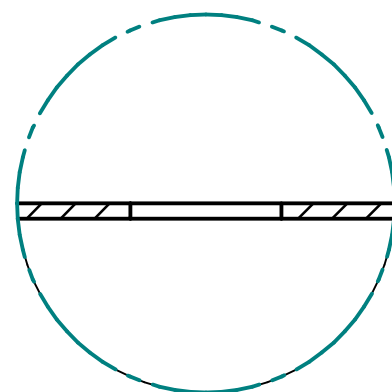


 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	
Dibujado	Orlaine Castilla
Dibujado	Andres Saavedra
Cordinador	Andres Clavijo
Jurado	Jesus Villareal
Jurado	Ricardo Forero
cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°	
	

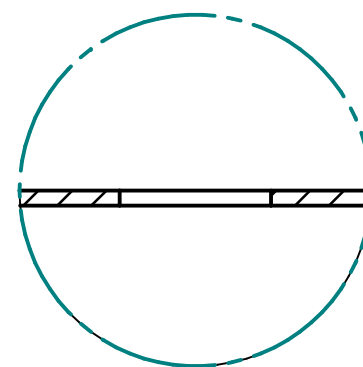




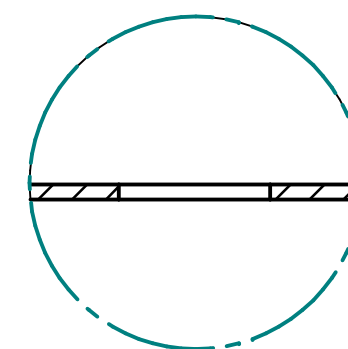
CORTE G-G



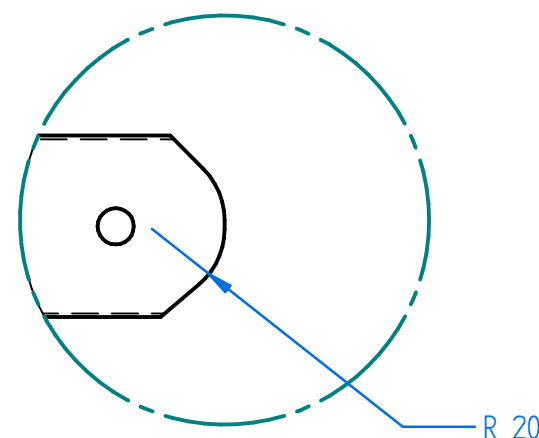
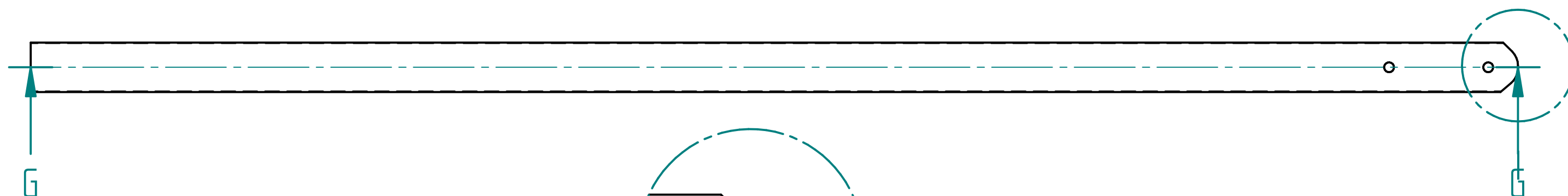
DETALLE V



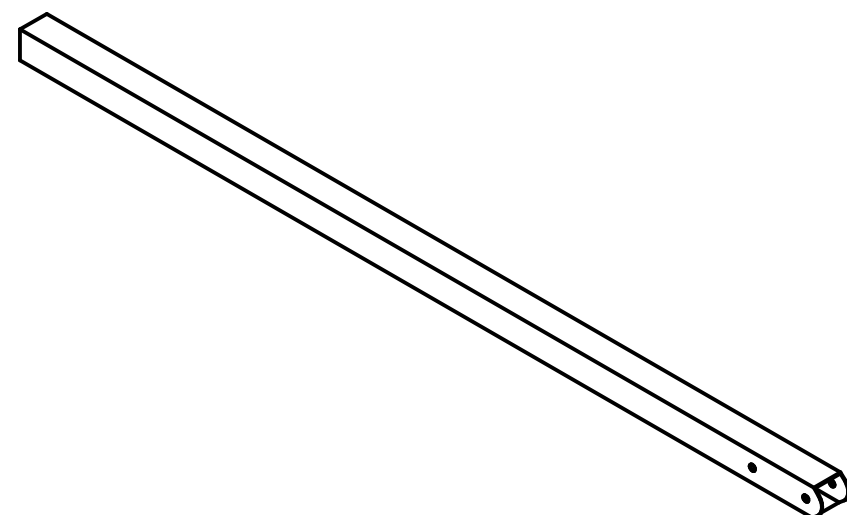
DETALLE U



DETALLE H

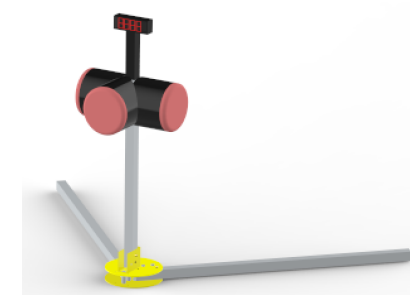


DETALLE I



 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	
Dibujado	Orlaine Castilla
Dibujado	Andres Saavedra
Cordinador	Andres Clavijo
Jurado	Jesus Villareal
Jurado	Ricardo Forero

cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$

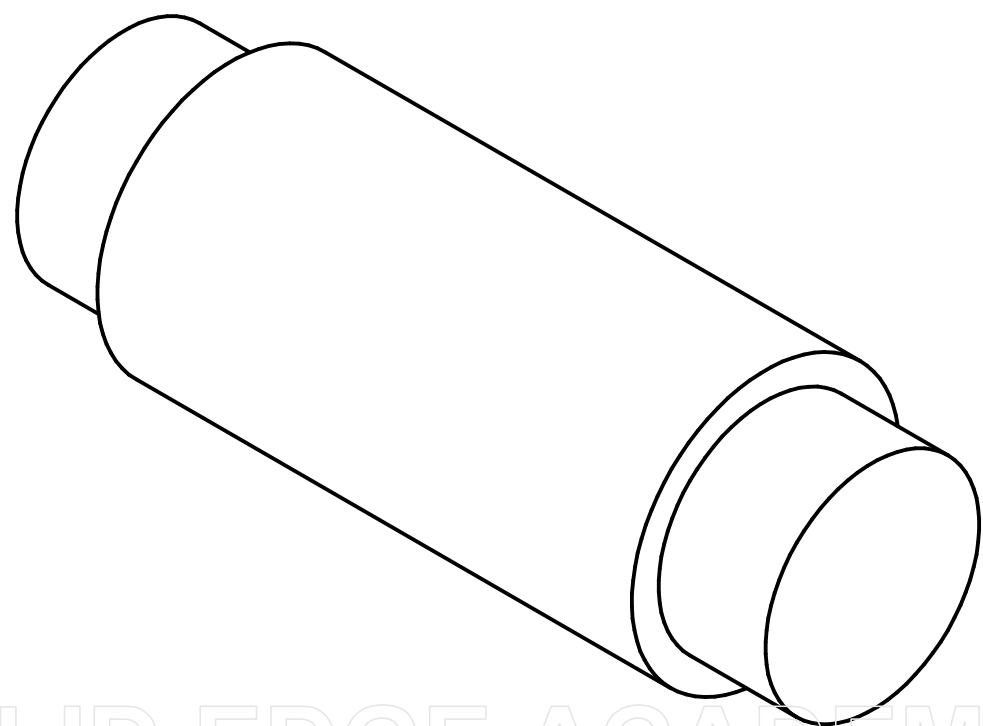
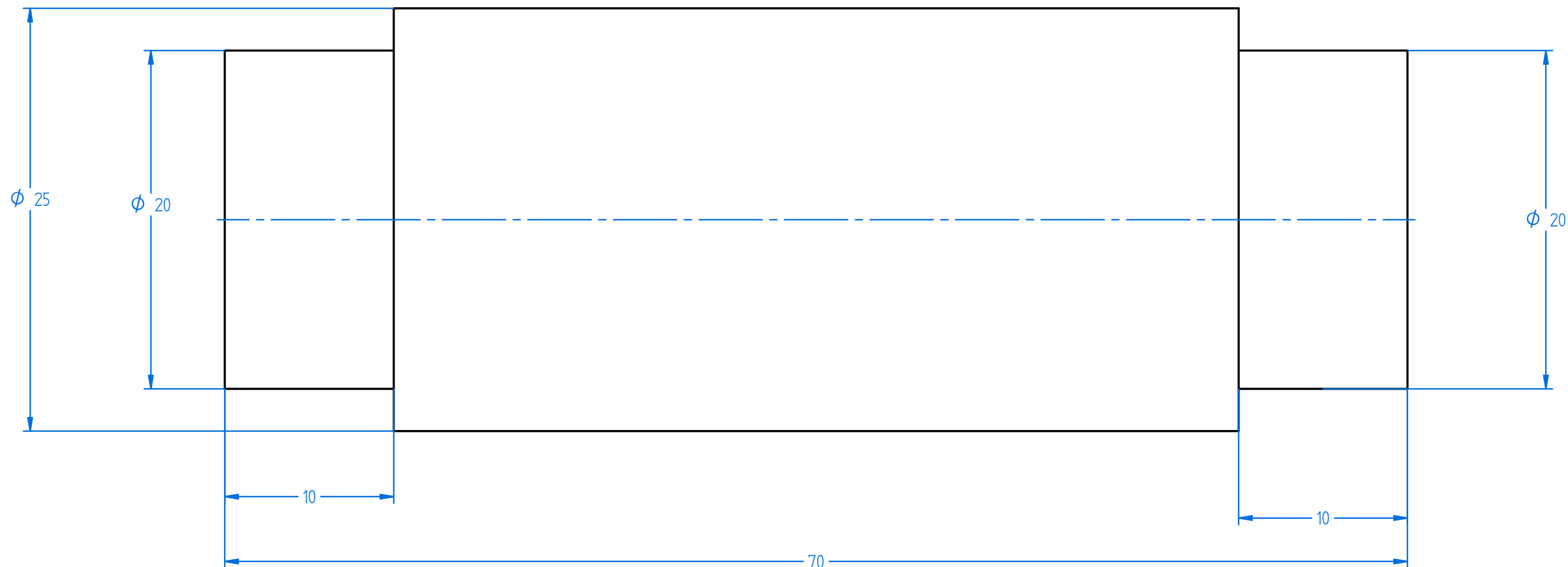


A3 Plano: Paral piso X2

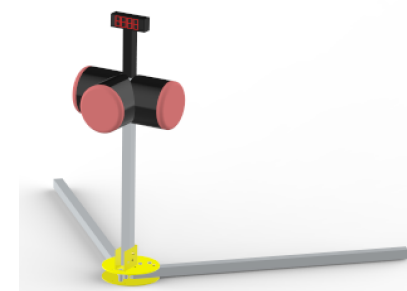
Escala: 1:4

Plano 5 de 15

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



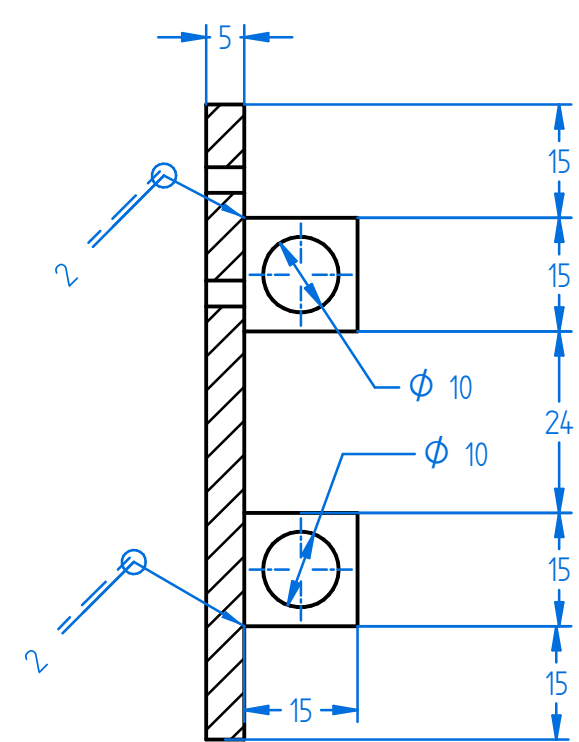
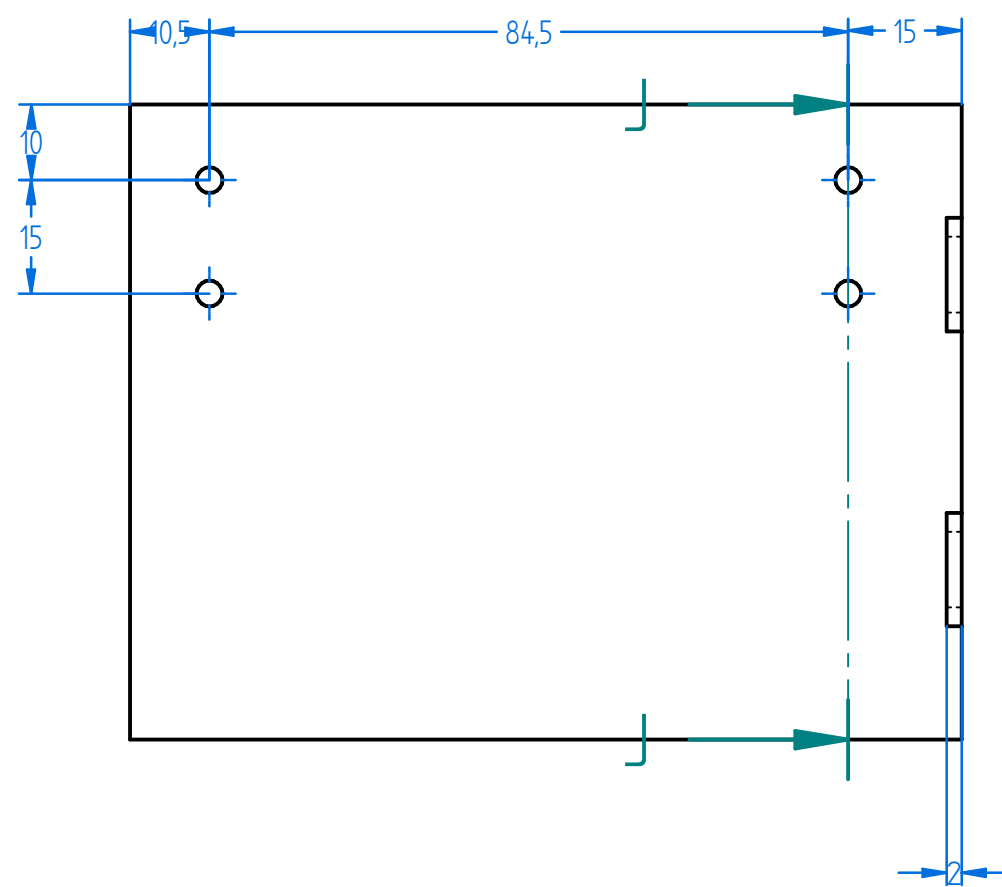
 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	
Dibujado	Orlaine Castilla
Dibujado	Andres Saavedra
Cordinador	Andres Clavijo
Jurado	Jesus Villareal
Jurado	Ricardo Forero
cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$	
	



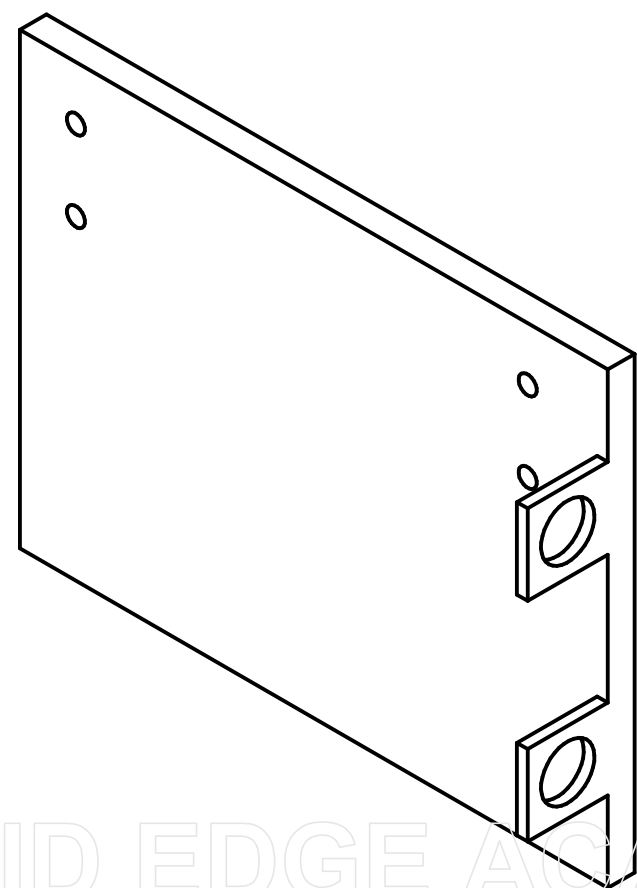
A3 Plano: Pasador de ajuste base

Escala: 1:2

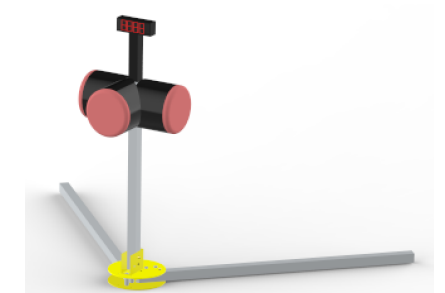
Plano 6 de 15

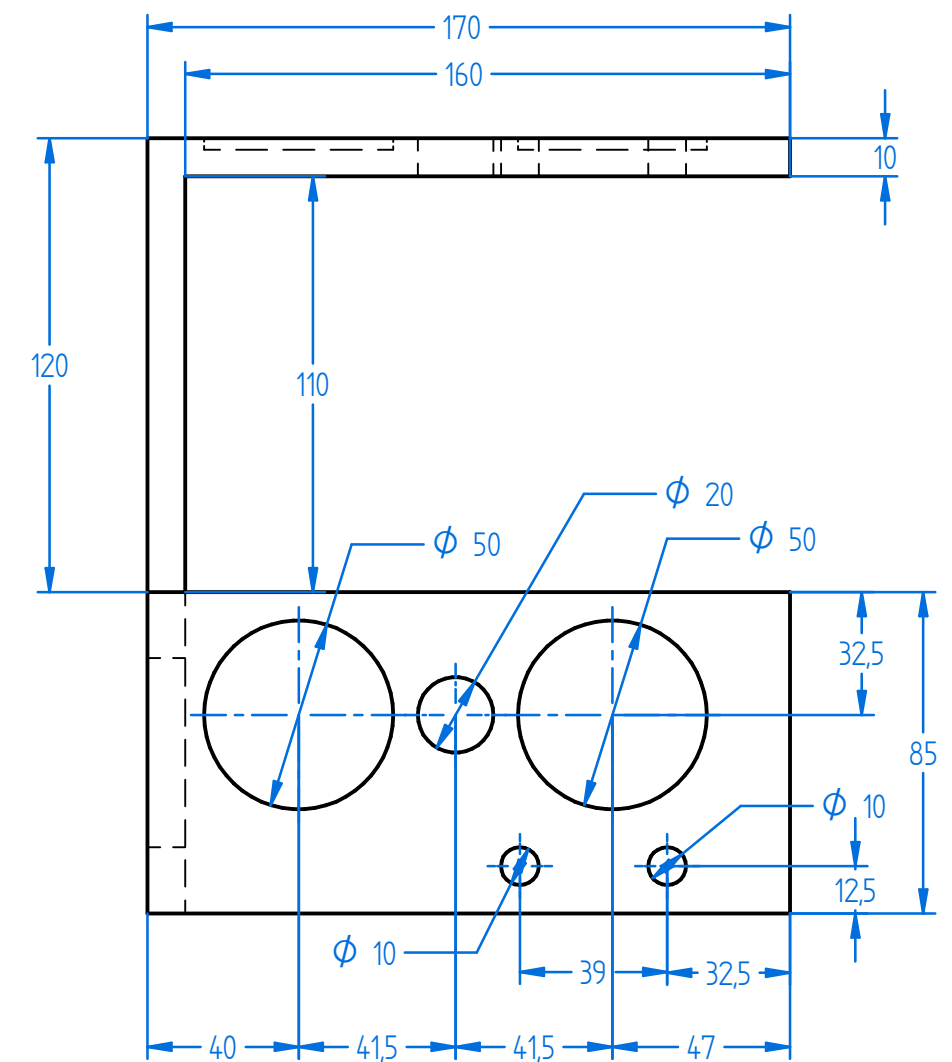
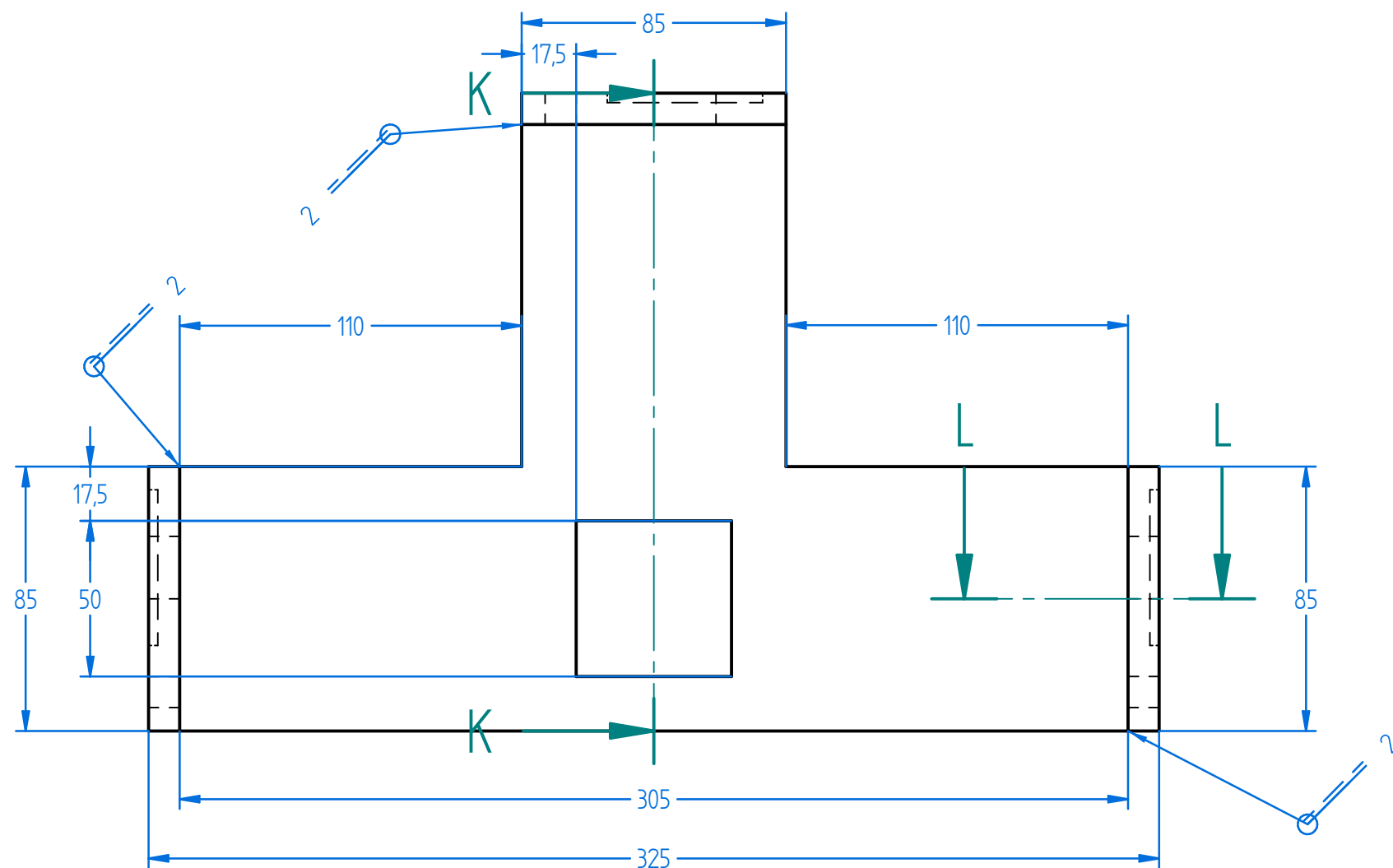


CORTE J-J

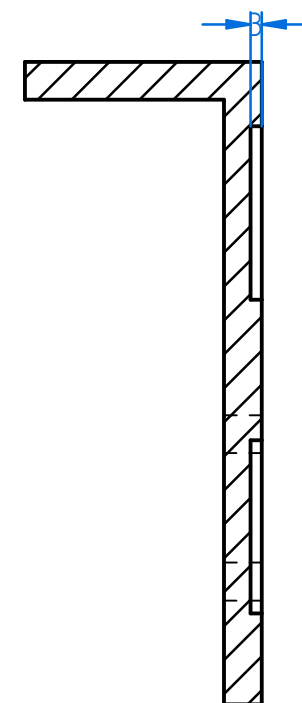
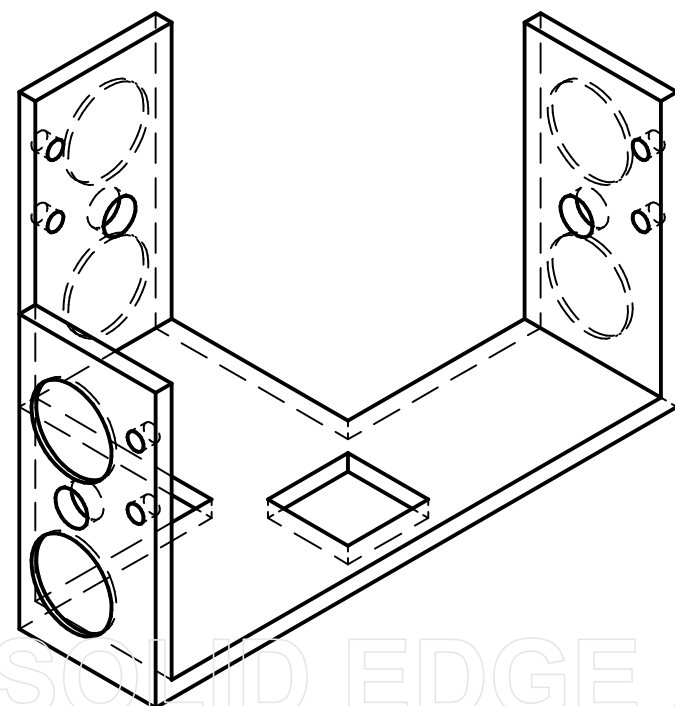


 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	
Dibujado	Orlaine Castilla
Dibujado	Andres Saavedra
Cordinador	Andres Clavijo
Jurado	Jesus Villareal
Jurado	Ricardo Forero
cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$	
	



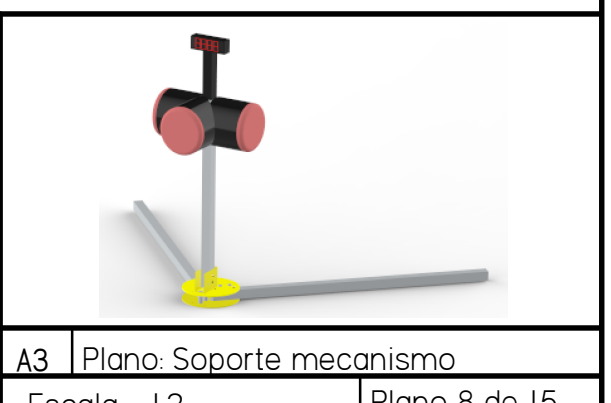


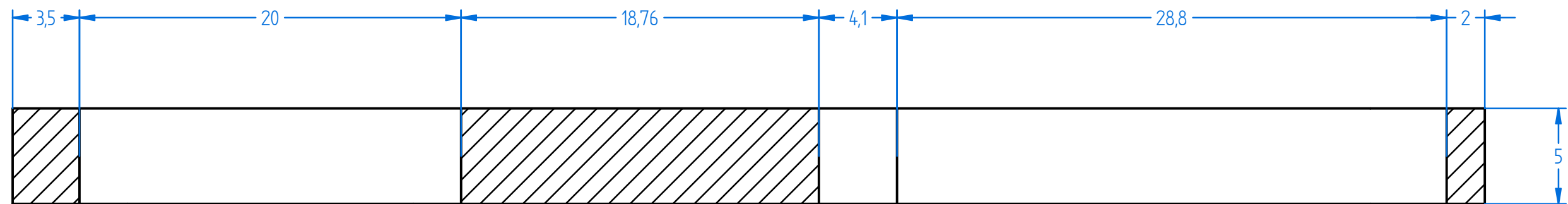
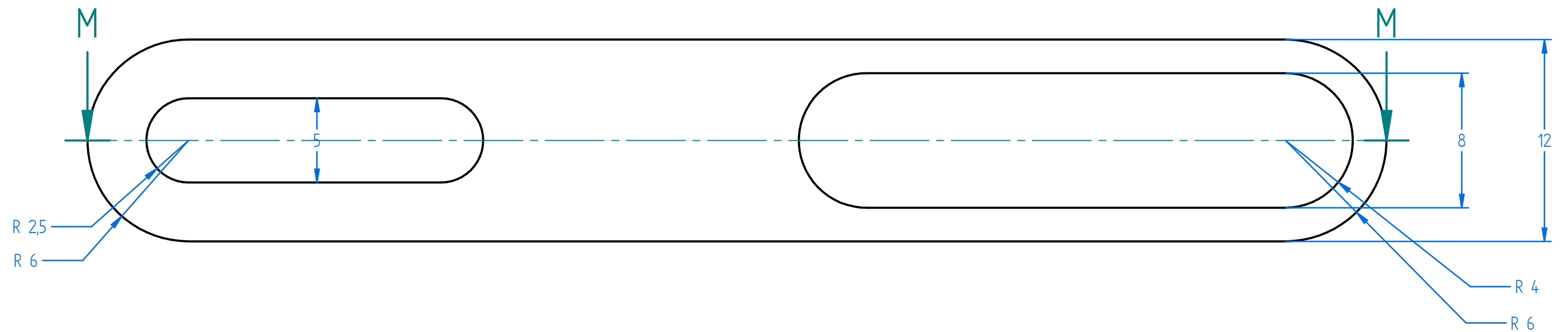
CORTE K-K



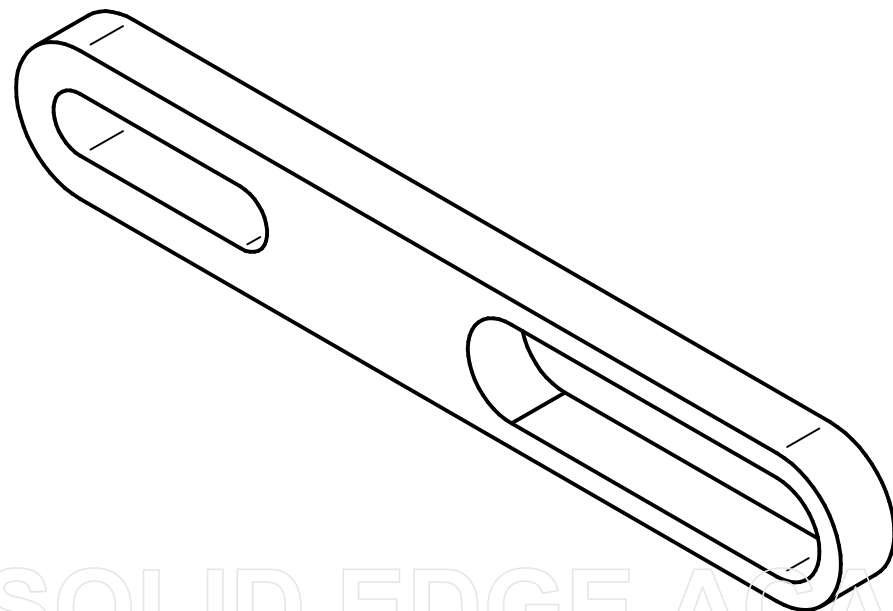
CORTE L-L

 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	
Dibujado	Orlaine Castilla
Dibujado	Andres Saavedra
Cordinador	Andres Clavijo
Jurado	Jesus Villareal
Jurado	Ricardo Forero
cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$	

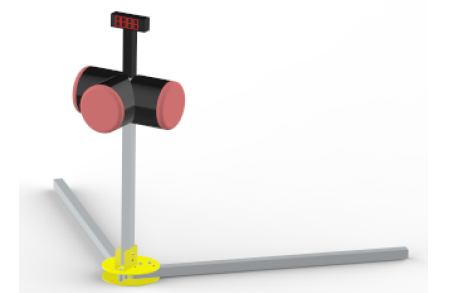
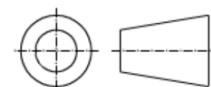




CORTE M-M



 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	
Dibujado	Orlaine Castilla
Dibujado	Andres Saavedra
Cordinador	Andres Clavijo
Jurado	Jesus Villareal
Jurado	Ricardo Forero
cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$	

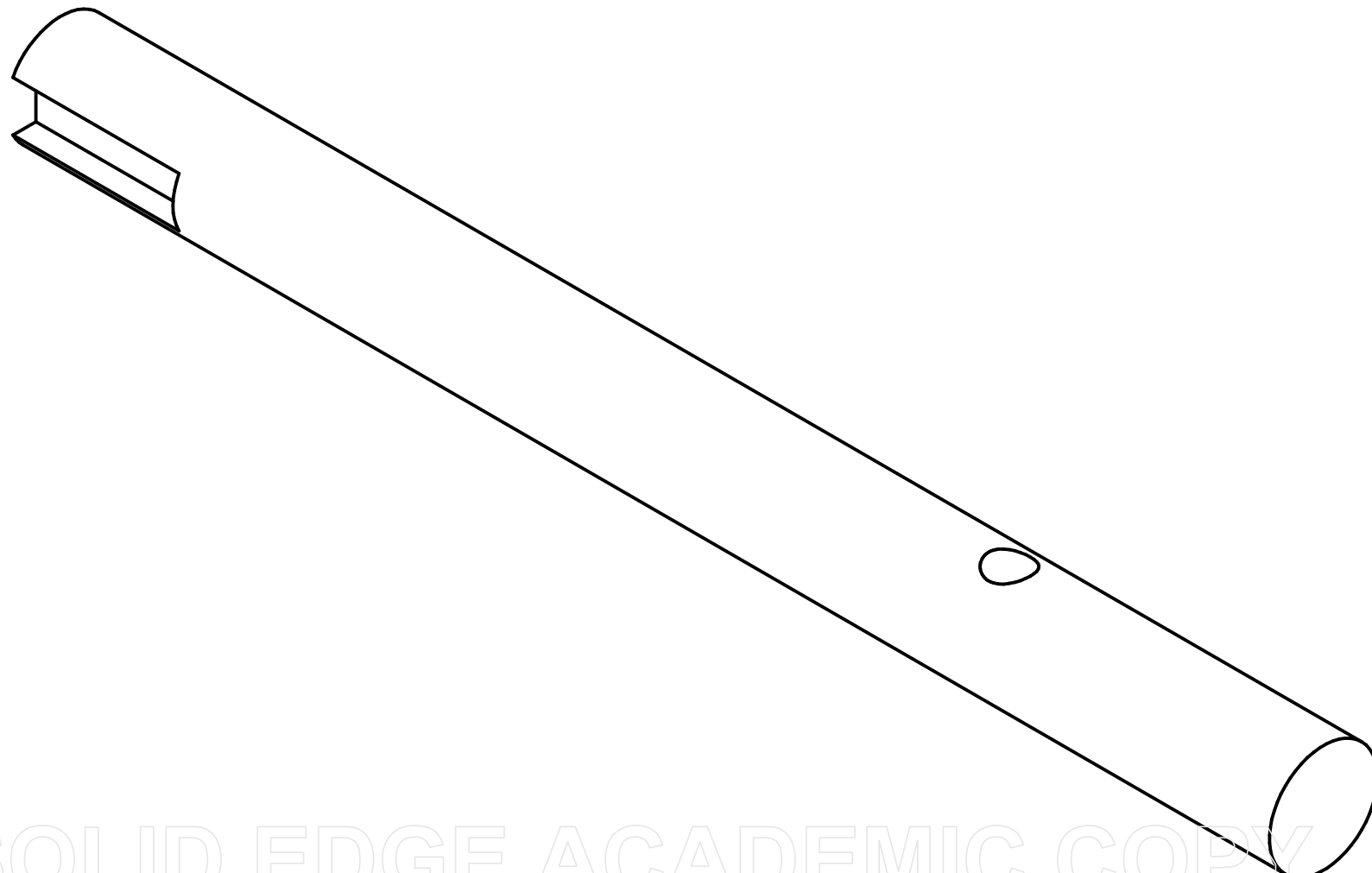
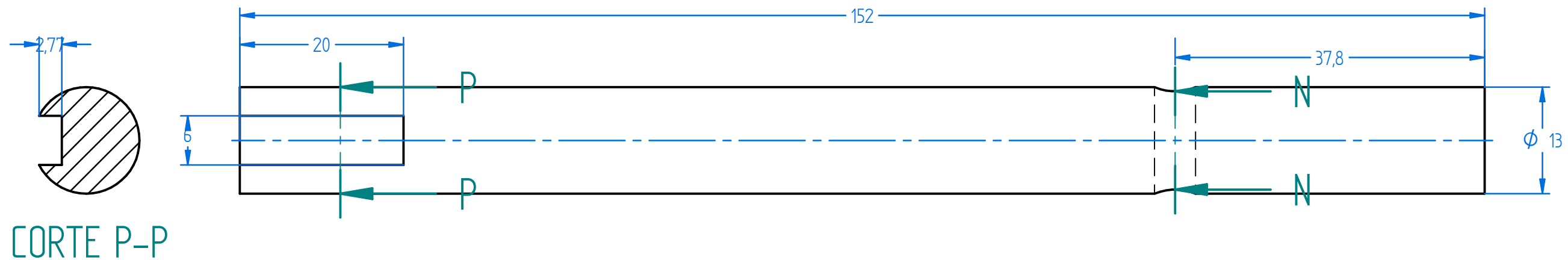


A3 Plano: Enlace

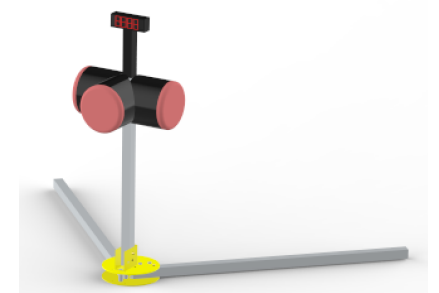
Escala: 4:1

Plano 9 de 15

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



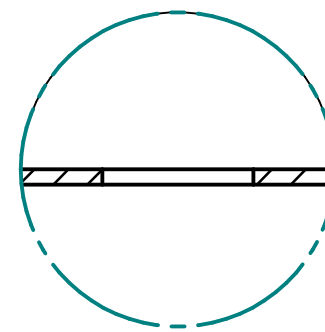
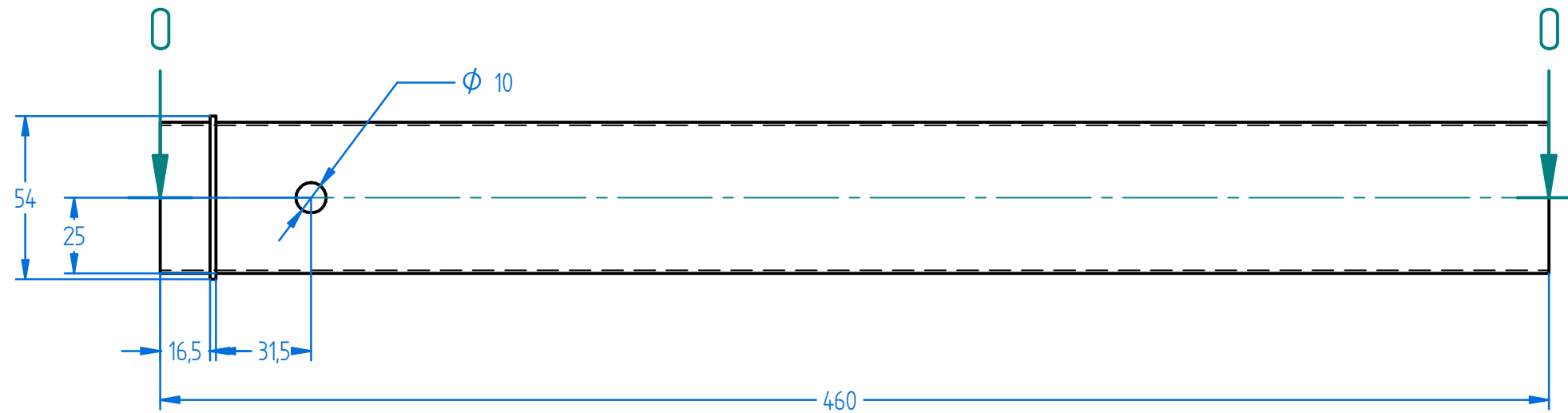
 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	
Dibujado	Orlaine Castilla
Dibujado	Andres Saavedra
Cordinador	Andres Clavijo
Jurado	Jesus Villareal
Jurado	Ricardo Forero
cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$	
 	



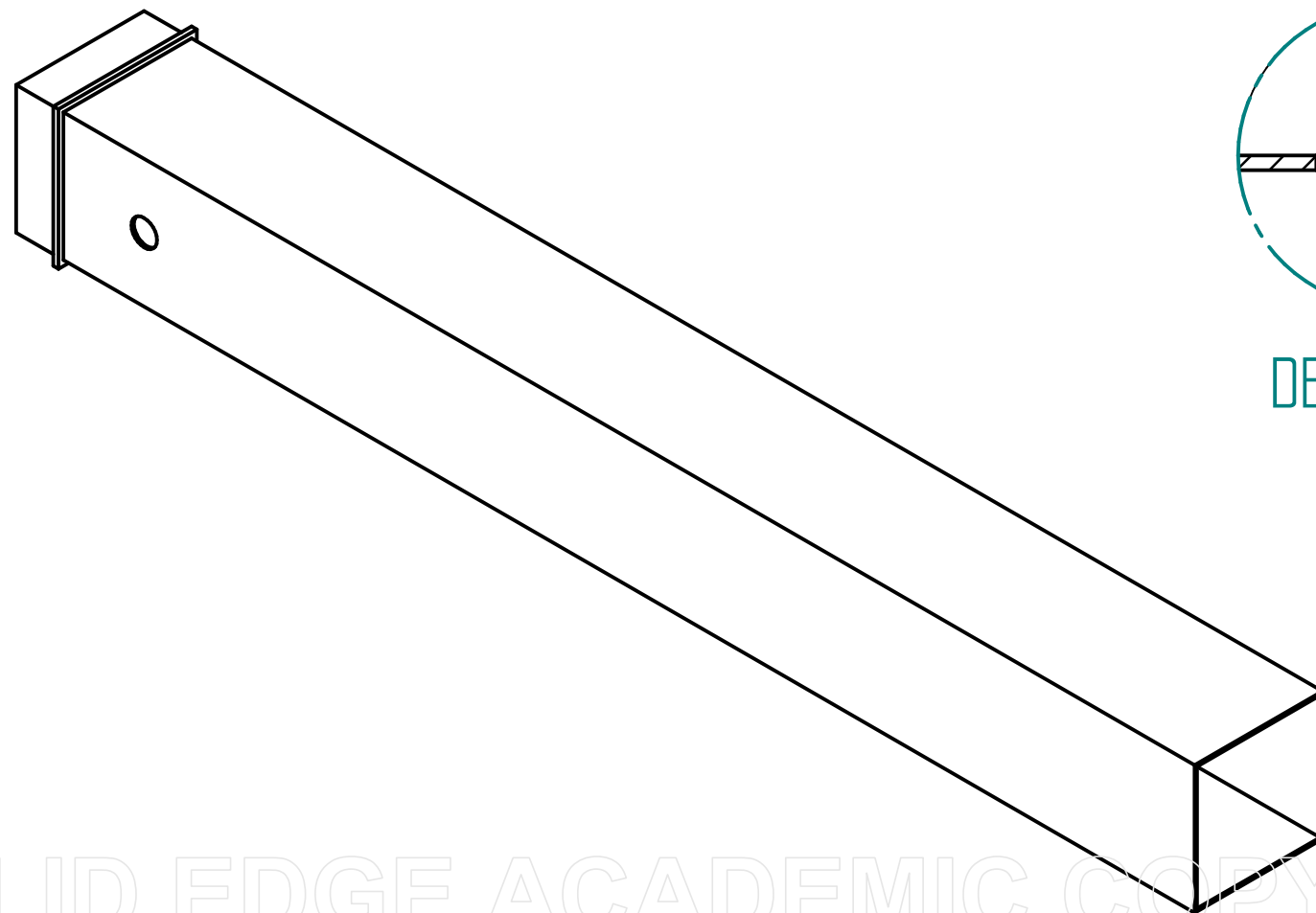
A3 Plano: Eje rodamiento

Escala: 1:8

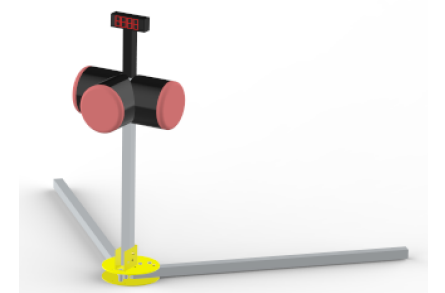
Plano 10 de 15

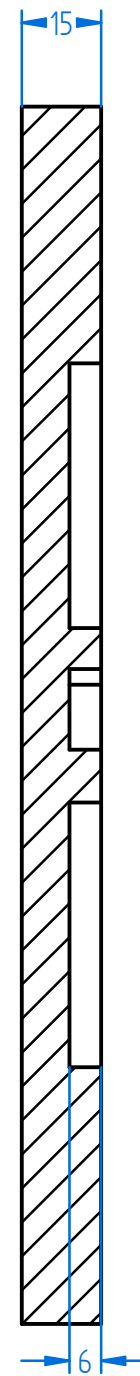
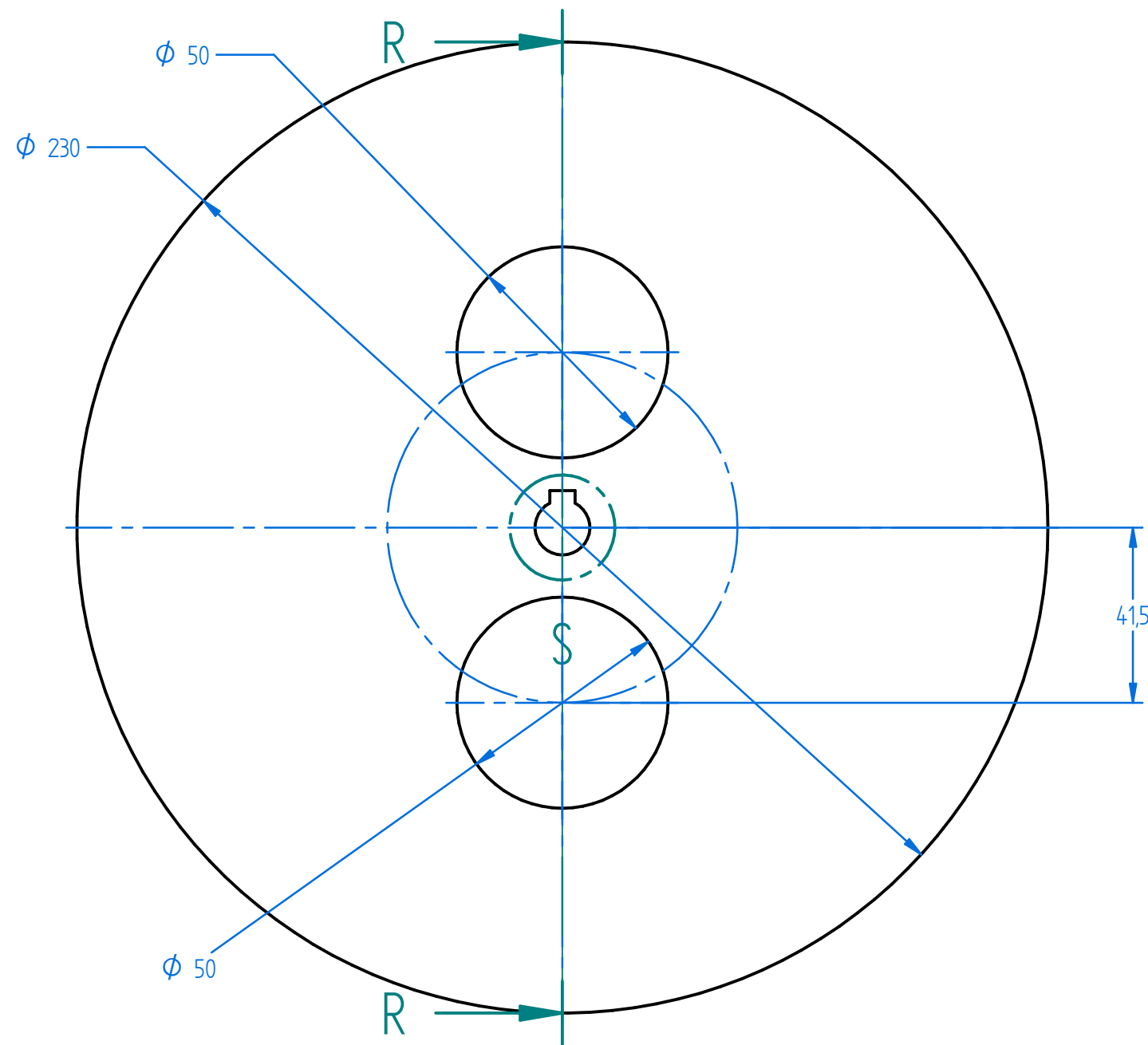
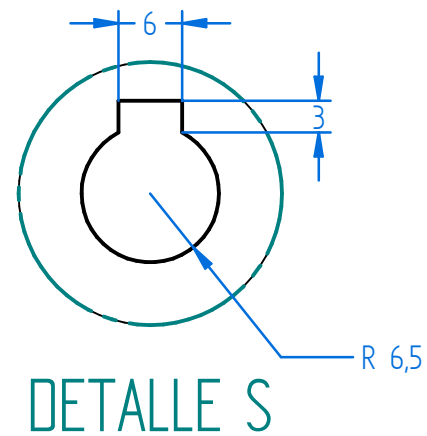


DETALLE Q

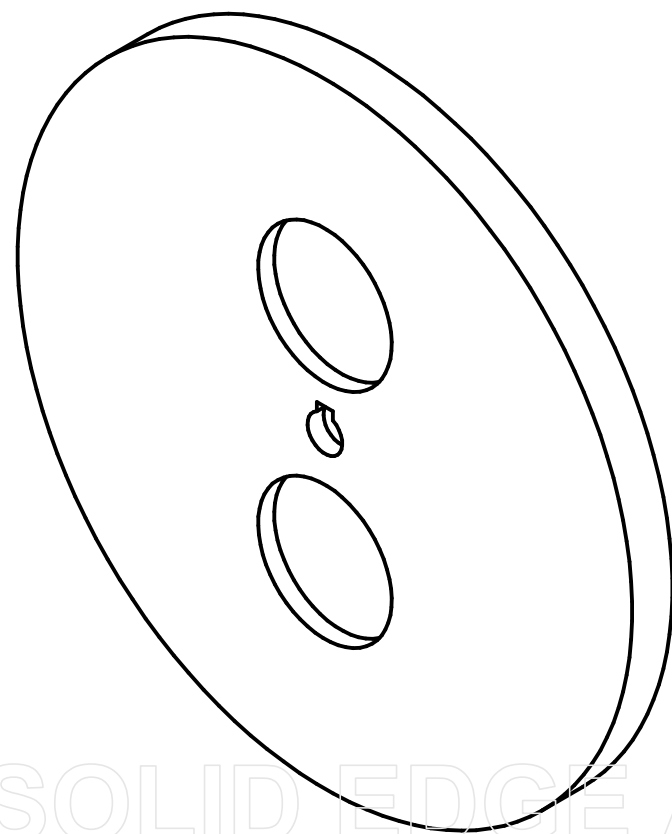


 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	
Dibujado	Orlaine Castilla
Dibujado	Andres Saavedra
Cordinador	Andres Clavijo
Jurado	Jesus Villareal
Jurado	Ricardo Forero
cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$	
	



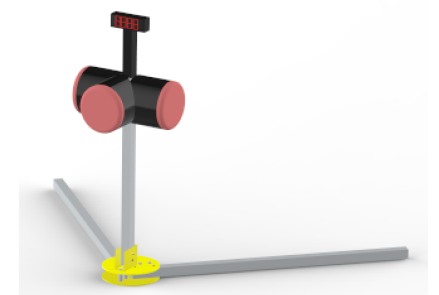
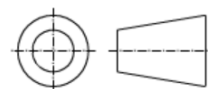


CORTE R-R

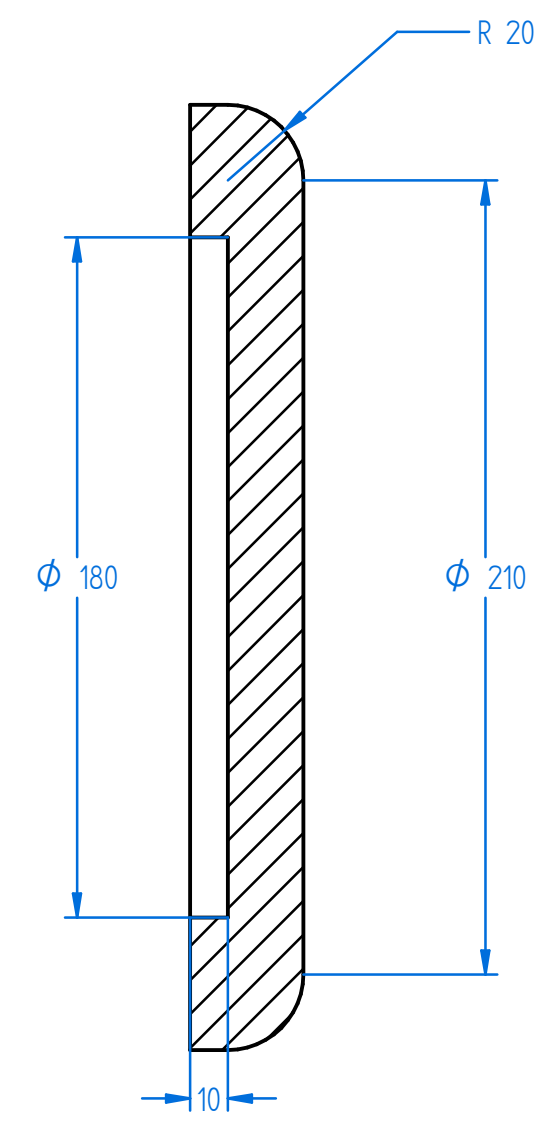
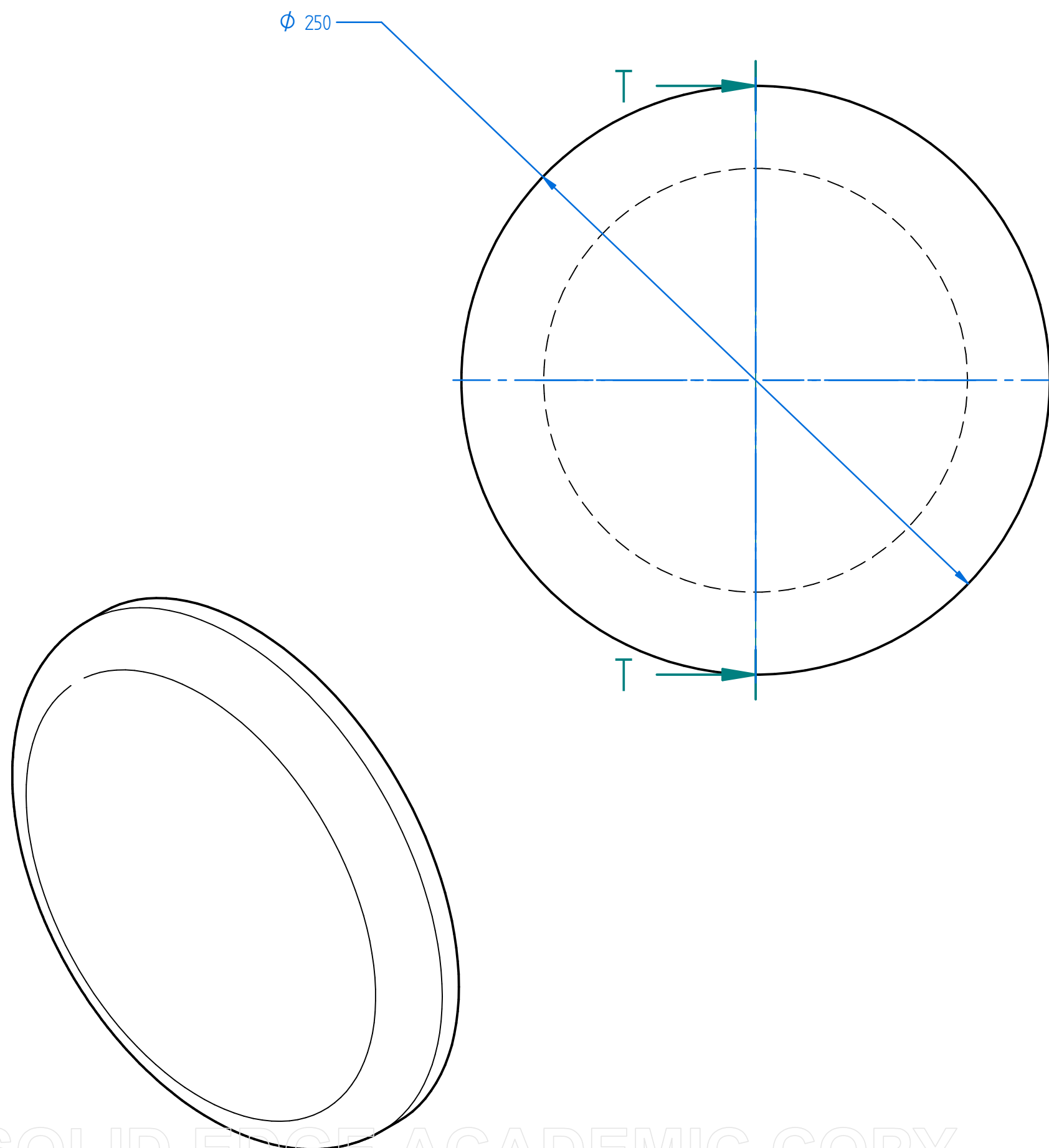


 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	
Dibujado	Orlaine Castilla
Dibujado	Andres Saavedra
Cordinador	Andres Clavijo
Jurado	Jesus Villareal
Jurado	Ricardo Forero

cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$



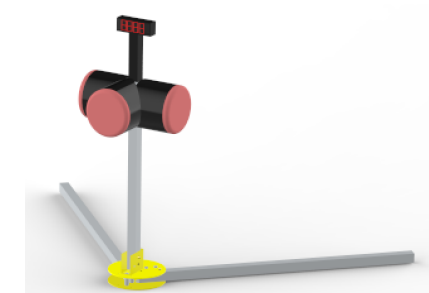
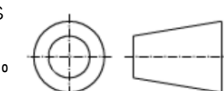
A3 Plano: Placa del boton de accion
Escala: 1:1
Plano 12 de 15



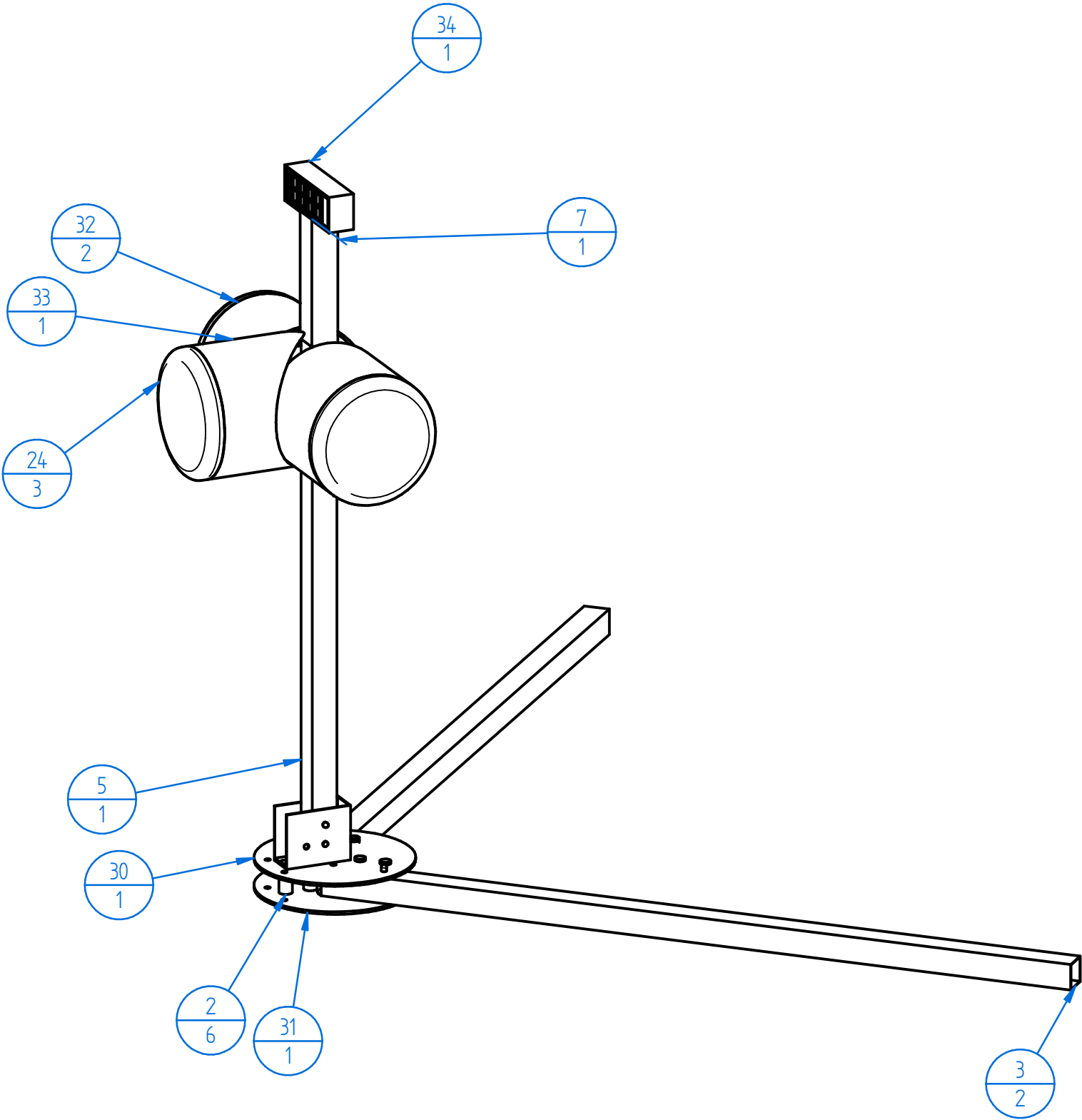
CORTE T-T

 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	
Dibujado	Orlaine Castilla
Dibujado	Andres Saavedra
Cordinador	Andres Clavijo
Jurado	Jesus Villareal
Jurado	Ricardo Forero

cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias ±0,5 y ±1°

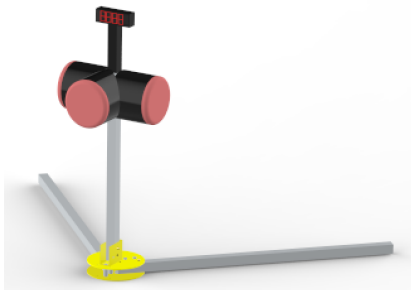
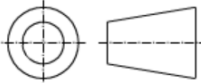


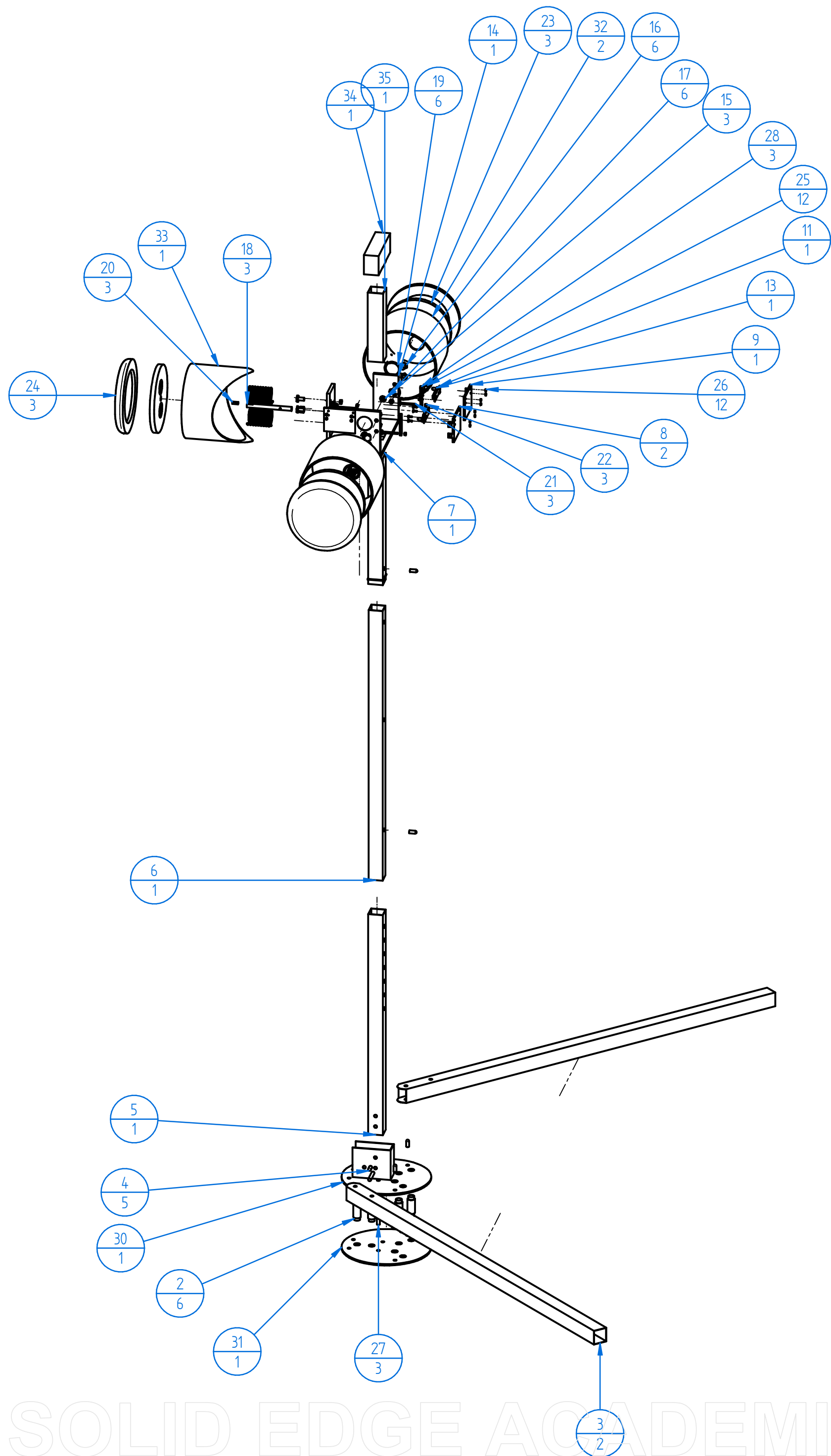
Número de elemento	Nombre archivo (sin extensión)	Autor	Cantidad
2	pasador ajuste	Andres S / Orlaine C	6
3	paral piso x2	Andres S / Orlaine C	2
5	paral de graduacion estatico	Andres S / Orlaine C	1
7	paral cuerpo	Andres S / Orlaine C	1
21	boton de accion	Andres S / Orlaine C	3
27	Base	Andres S / Orlaine C	1
28	Base x2.	Andres S / Orlaine C	1
29	cobertor de golpes.	Andres S / Orlaine C	2
30	cobertol de golpes frontal	Andres S / Orlaine C	1
31	LCD	Andres S / Orlaine C	1



 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	
Dibujado	Orlaine Castilla
Dibujado	Andres Saavedra
Cordinador	Andres Clavijo
Jurado	Jesus Villareal
Jurado	Ricardo Forero

cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias ±0,5 y ±1°



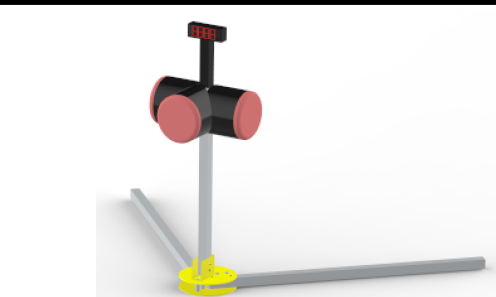


Número de elemento	Nombre de piezas	Autor	Cantidad	Número de elemento	Nombre de piezas	Autor	Cantidad
1*	ajustes	Andres S / OrLaine C	1	12*	pin potenciometro	Andres S / OrLaine C	1
2	pasador ajuste	Andres S / OrLaine C	6	13	pin pala potenciometro	Andres S / OrLaine C	1
3	paral piso x2	Andres S / OrLaine C	2	30	Base	Andres S / OrLaine C	1
4	pin de graduacion	Andres S / OrLaine C	5	31	Base x2.	Andres S / OrLaine C	1
5	paral de graduacion estatico	Andres S / OrLaine C	1	32	cobertor de golpes.	Andres S / OrLaine C	2
6	paral de graduacion movil	Andres S / OrLaine C	1	33	cobertol de golpes frontal	Andres S / OrLaine C	1
7	paral cuerpo	Andres S / OrLaine C	1	34	LCD	Andres S / OrLaine C	1
8	placa potenciometro	Andres S / OrLaine C	2	35	cobertor deslizante	Andres S / OrLaine C	1
9	placa potenciometro - copia	Andres S / OrLaine C	1				
10	ensamble potenciometro - copia	Andres S / OrLaine C	1				
11	potenciometro	Andres S / OrLaine C	1				
12*	pin potenciometro	Andres S / OrLaine C	1				
13	pin pala potenciometro	Andres S / OrLaine C	1				
14	soporte mecanismo	Andres S / OrLaine C	1				
15	rodamiento.	Andres S / OrLaine C	3				
16	tornillo placa	Andres S / OrLaine C	6				
17	tuerca placa	Andres S / OrLaine C	6				
18	eje rodamiento	Andres S / OrLaine C	3				
19	resorte	Andres S / OrLaine C	6				
20	pin eje	Andres S / OrLaine C	3				
21	tornillo enlace rodamiento	Andres S / OrLaine C	3				
22	tuerca enlace rodamiento	Andres S / OrLaine C	3				
23	placa del boton de accion	Andres S / OrLaine C	3				
24	boton de accion	Andres S / OrLaine C	3				
25	tornillo potenciometro	Andres S / OrLaine C	12				
26	tuerca potenciometro	Andres S / OrLaine C	12				
27	pin de rotacion.	Andres S / OrLaine C	3				
28	enlace	Andres S / OrLaine C	3				
29	ensamble potenciometro	Andres S / OrLaine C	2				
11	potenciometro	Andres S / OrLaine C	1				

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	
Dibujado	Orlaine Castilla
Dibujado	Andres Saavedra
Cordinador	Andres Clavijo
Jurado	Jesus Villareal
Jurado	Ricardo Forero

cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias ±0,5 y ±1°



A2 Plano: Explosionado

Escala: 1:1

Plano 15 de 15