

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON SISTEMA DE  
POSICIONAMIENTO BÍPEDO PARA PERSONAS PARAPLÉJICAS**

**Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecatrónico**

**AUTOR:**

Camilo Marcelo Carretero Karretero

**ASESOR:**

Dr. Dante Ángel Elías Giordano

Lima, marzo, 2023

### Informe de Similitud

Yo, DANTE ANGEL ELIAS GIORDANO, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis titulada DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON SISTEMA DE POSICIONAMIENTO BÍPEDO PARA PERSONAS PARAPLÉJICAS, del autor Camilo Marcelo Carretero Karretero, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 9%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 22/03/2023.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima, 10 de abril de 2023

Apellidos y nombres del asesor / de la asesora: ELIAS GIORDANO, DANTE ANGEL	
DNI: 10142907	Firma 
ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-5920-9608">https://orcid.org/0000-0001-5920-9608</a>	

## RESUMEN

En el presente trabajo de tesis desarrolla el diseño de una silla de ruedas con sistema de posicionamiento bípedo para personas parapléjicas. Haciendo uso de la metodología de la norma alemana VDI2221, se abarca principalmente el diseño de la silla con movimiento manual y el sistema de elevación mediante un actuador lineal, el cual es activado por el usuario a través de un mando de control diseñado.

Primero se realiza una síntesis del trabajo de investigación previo a este, en el cual se menciona la problemática, el estado del arte y tecnologías previas, los requisitos del sistema a diseñar y la propuesta de solución conceptual tomada como base para comenzar con el desarrollo. Luego, se desarrollan las consideraciones preliminares geométricas, de velocidades y fuerzas, seguido del diseño mecánico de la silla y la selección del actuador a utilizar.

En la sección electrónica y de control se describe la lógica que sigue el sistema durante su funcionamiento, luego se realiza la selección de los componentes electrónicos, el cálculo de potencia junto con la selección de la batería que energiza el sistema y el diseño de la caja electrónica, la caja que contiene el acelerómetro y el mando de control. Para finalizar el diseño se presenta la integración total de la silla, esto es realizado junto con la selección de las partes restantes como las ruedas o los frenos, también se menciona la nomenclatura y presentación de los planos.

Finalmente, se presenta todo lo relacionado a los costos, se hace un cálculo de los costos de diseño, de este se obtiene S/17,200.00 para ello. Luego se realiza el cálculo de los costos de fabricación, el cual es dividido en costos de componentes electrónicos, pernería, materiales y procesos de manufactura, obteniendo de la suma un total de S/20,725.00 necesarios para la fabricación de la silla.



*Para mi tío Ricardo, mis abuelas Graciela y Vera, y mis padres, que siempre me apoyaron.*

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres Marcelino Carretero y Elena Karretero por todo el apoyo incondicional, amor y la motivación que me brindan cada día durante mi vida personal y profesional. De la misma forma, quiero agradecer a mi hermano Arturo Carretero y familiares que siempre creyeron en mis capacidades y me desearon lo mejor en todo lo que me proponía. También quiero agradecer a mi asesor el Dr. Dante Elías por el apoyo en el desarrollo del presente trabajo, los conocimientos, sugerencias y revisiones que fueron de utilidad para poder realizar la tesis de la mejor manera posible. Finalmente, quiero agradecer a las amistades formadas y personas que conocí a lo largo del camino que también fueron de ayuda de una forma u otra para el desarrollo de mi camino profesional.



## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	i
AGRADECIMIENTOS .....	iii
ÍNDICE DE TABLAS .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
INTRODUCCIÓN .....	1
ANTECEDENTES.....	3
1.1. Problemática .....	3
1.2. Análisis de movimiento y modelo biomecánico de las sillas bipedestadoras .....	4
1.3. Estado de la tecnología .....	6
1.4. Diseño conceptual.....	8
DISEÑO MECÁNICO.....	15
2.1. Consideraciones preliminares .....	15
2.1.1. Consideraciones geométricas.....	15
2.1.2. Consideraciones cinemáticas .....	17
2.1.2. Consideraciones de cargas y fuerzas sobre el mecanismo .....	21
2.2. Modelamiento 3D del sistema de posicionamiento bípedo y la estructura de soporte de la silla.....	30
2.3. Definición de uniones móviles del diseño. ....	34
2.4. Análisis de esfuerzos y resistencias en el diseño .....	34
2.5. Selección del actuador lineal .....	38
DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL .....	40
3.1. Esquema general de funcionamiento del diseño de la silla.....	40
3.2. Circuito diseñado y selección de los componentes.....	42
3.3. Cálculo del consumo de energía y selección de batería.....	46
3.4. Diseño de la caja contenedora de dispositivos electrónicos y control del usuario.....	49
INTREGACIÓN DEL SISTEMA.....	53
4.1. Selección de las ruedas y frenos .....	53
4.2. Frenos y reposabrazos.....	55
4.3. Materiales para espaldar y asiento .....	56
4.4. Sistema integrado.....	57
4.5. Planos mecánicos y diagrama esquemático .....	59

ESTIMACIÓN DE COSTOS .....	60
5.1. Costos de diseño .....	60
5.2. Costos de componentes utilizados para el sistema electrónico.....	61
5.3. Costos de pernería y componentes de la silla .....	61
5.4. Costos de materiales .....	62
5.5. Costos de manufactura.....	62
5.6. Costo total de fabricación .....	63
OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES .....	65
CONCLUSIONES .....	66
BIBLIOGRAFÍA .....	67
ANEXOS .....	68



## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Requerimientos del sistema. ....	20
Tabla 2.1. Dimensiones principales y aproximadas para el diseño de la silla.....	27
Tabla 2.2. Valores asignados para las distancias y la velocidad angular. ....	30
Tabla 2.3. Método segmental utilizado para hallar el centro de gravedad en la posición bípeda. ....	33
Tabla 2.4. Método segmental utilizado para hallar el centro de gravedad en la posición sentada. ....	34
Tabla 2.5. Comparación de los distintos actuadores lineales candidatos.....	49
Tabla 3.1: Comparación de los reguladores Buck candidatos. ....	54
Tabla 3.2: Comparación de los microcontroladores candidatos.....	54
Tabla 3.3: Comparación de los controladores candidatos.....	55
Tabla 3.4: Comparación de los acelerómetros candidatos. ....	56
Tabla 3.5: Comparación de los leds candidatos. ....	56
Tabla 3.6: Comparación de los pulsadores candidatos. ....	57
Tabla 3.7: Comparación de los interruptores candidatos. ....	57
Tabla 3.8: Potencia consumida por componente.....	58
Tabla 3.9: Comparación de las baterías candidatas. ....	58
Tabla 3.10: Comparación de los sensores de voltaje candidatos. ....	59
Tabla 3.11: Comparación de los adaptadores de carga candidatos. ....	59
Tabla 3.12: Comparación de los fusibles candidatos. ....	60
Tabla 4.1: Lista de planos. ....	70
Tabla 5.1. Estimación de costos de diseño.....	72
Tabla 5.2: Estimación de costos de componentes. ....	73
Tabla 5.3: Estimación de costos de pernería y componentes de la silla. ....	74
Tabla 5.4: Estimación de costos de materiales.....	75
Tabla 5.5: Estimación de costos de manufactura. ....	75
Tabla 5.6: Estimación de costo total de fabricación. ....	76

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1.1: Personas con discapacidad de locomoción y/o destreza según grupo de edad .....	4
Fig. 1.2: Representación del cuerpo humano mediante modelo de tres barras .....	5
Fig. 1.3: Esquema de fuerzas en el cuerpo, sistema bípedo y soportes (plano sagital) .....	5
Fig. 1.4: Angulos de referencia para el modelo estático .....	6
Fig. 1.8: Partes esenciales de una silla de ruedas .....	7
Fig. 1.10: Enfoque del sistema de posicionamiento bípedo de la silla Setonix .....	7
Fig. 1.11: Unión del sistema de cuatro barras junto con el mecanismo paralelo .....	8
Fig. 1.12: Funcionamiento del mecanismo de ayuda para la posición bípeda .....	8
Fig. 1.13: Vista de la propuesta de diseño conceptual en posición bípeda .....	10
Fig. 1.14: Vista lateral del diseño conceptual en posición sentada y bípeda .....	10
Fig. 1.15: Propuesta de uniones y conexiones de la silla para posicionamiento bípedo. ....	11
Fig. 1.16: Propuesta del ensamble para barra de elevación .....	12
Fig. 1.17: Detalle exterior de la caja electrónica .....	12
Fig. 1.18: (a) Vista ampliada del mando con botones y su soporte. (b) Distribución interna de la caja electrónica .....	13
Fig. 1.19: (a) Diagrama de operaciones para la subida del usuario a la silla. (b) Diagrama de operaciones para el inicio del movimiento y cambio de posición del usuario. (c) Diagrama de operaciones para la bajada del usuario de la silla .....	13
Fig. 1.20. Diagrama de bloques del sistema .....	14
Fig. 1.21: (a) Diagrama de flujo para control de: (a) movimiento y (b) nivel de batería. ....	14
Fig. 2.1: Medidas aproximadas y básicas para el diseño de la silla. ....	16
Fig. 2.2: Modelamiento lateral del usuario en la silla durante el movimiento. ....	17
Fig. 2.3: Curva de velocidad del sistema móvil de la silla con tramos de aceleración o desaceleración constantes. ....	19
Fig. 2.4: Gráfica de ángulo vs el valor de coordenada para cada eje de los puntos B y C. ....	20
Fig. 2.5: Curva del módulo de los vectores velocidad de $v_{ab}$ y $v_{ac}$ .....	20
Fig. 2.6: Diagrama del movimiento del asiento desde el reposo hasta la velocidad constante. ....	21
Fig. 2.7: Ubicación del centro de gravedad del usuario. ....	23
Fig. 2.8: Diagrama de cuerpo libre del usuario .....	24
Fig. 2.9: Diagrama de cuerpo libre de la silla de ruedas .....	25
Fig. 2.10: DCL del sistema usuario-silla en el caso genérico. ....	26
Fig. 2.11: DCL del sistema usuario y del sistema silla en el caso genérico. $\Theta$ corresponde al ángulo de elevación del asiento dentro del rango de $0^\circ$ a $60^\circ$ . ....	27
Fig. 2.12: Gráfica del cambio de valor de $R_2$ vs ángulo de inclinación del sistema móvil (primer caso) .....	28
Fig. 2.13: Gráfica del cambio de valor de $R_4$ vs ángulo de inclinación del sistema móvil (primer caso) .....	29
Fig. 2.14: Gráfica del cambio de valor de $R_1$ vs ángulo de inclinación del sistema móvil (segundo caso) .....	29
Fig. 2.15: Gráfica del cambio de valor de $R_4$ vs ángulo de inclinación del sistema móvil (segundo caso) .....	30

Fig. 2.16: Sistema de movimiento para lograr el bipedismo de la silla en la posición sentada (izquierda) y bípeda (derecha).	31
Fig. 2.17: Posición sentada y bípeda del sistema móvil de la silla en vista lateral.	31
Fig. 2.18: Estructura de soporte de la silla de ruedas.	32
Fig. 2.19: Vista isométrica del diseño mecánico principal de la silla de ruedas en posición sentada y bípeda.	33
Fig. 2.20: Vista lateral del diseño mecánico principal de la silla de ruedas en posición sentada y bípeda.	33
Fig. 2.21: Armado para uniones móviles.	34
Fig. 2.22: DCL del espaldar de la silla.	35
Fig. 2.23: Datos de esfuerzo (a) y factor de seguridad (b) obtenidos de la simulación en el respaldar.	35
Fig. 2.24: DCL del soporte del asiento para la silla.	36
Fig. 2.25: Datos de esfuerzo (a) y valor de seguridad (b) obtenidos de la simulación en el soporte del asiento.	36
Fig. 2.27: DCL de la estructura de soporte de la silla.	37
Fig. 2.25: Datos de esfuerzo (a) y valor de seguridad (b) obtenidos de la simulación en la estructura de soporte de la silla.	38
Fig. 2.28: Dimensiones del actuador lineal elegido K2G10.	39
Fig. 3.1: Diagrama de flujo del movimiento de la silla.	41
Fig. 3.2: Diagrama de bloques de la lógica de control.	41
Fig. 3.3: Diagrama de bloques del sistema.	42
Fig. 3.4: Ubicación del contenedor del acelerómetro en la silla.	50
Fig. 3.5: Tapa del contenedor del acelerómetro (a) y contenedor del acelerómetro (b).	50
Fig. 3.6: Ubicación de la caja contenedora de los componentes electrónicos.	51
Fig. 3.7: Tapa inferior de la caja electrónica (a) y tapa superior (b).	51
Fig. 3.8: Vista del mando de control que utilizará el usuario.	52
Fig. 3.7: Tapa superior (a) y tapa inferior (b) del mando de control del usuario.	52
Fig. 4.1: Ruedas posteriores utilizadas para el diseño.	54
Fig. 4.2: Eje utilizado para acoplar las ruedas posteriores.	54
Fig. 4.3: Ruedas delanteras elegidas para el diseño.	54
Fig. 4.4: Adaptador diseñado para ensamblar las ruedas delanteras al diseño.	55
Fig. 4.7: Cuero sintético, cojín de tapicería y tablas de maderas para la fabricación del respaldar y asiento.	56
Fig. 4.9: Vista isométrica del sistema integrado en posición bípeda (a) y sentada (b).	57
Fig. 4.10: Vista lateral del sistema integrado en posición bípeda(a) y sentada (b).	58
Fig. 4.11: Vista posterior del sistema integrado en posición bípeda (a) y sentada (b).	58

## INTRODUCCIÓN

La falta de autonomía en las actividades de la población discapacitada físicamente sigue siendo, hasta la fecha, una de las mayores problemáticas que esta comunidad enfrenta día a día en lo concerniente para establecer una rutina básica y fundamental de todo ser humano. En el Perú, más del 40% de los individuos que padecen alguna discapacidad física necesitan de asistencia externa para poder desenvolverse en trabajos físicos, mentales o laborales [INEI, 2013]. Siendo así que el 50% de esta sección de la población discapacitada se enfrenta a una realidad donde su calidad de vida se ve obstaculizada por la incapacidad de movilización de sus extremidades inferiores, encontrándose ante la obligación de algunos elementos de asistencia, como una silla de ruedas, lo que conlleva al surgimiento de necesidades fundamentales para este sector vulnerable de la población.

En general, los problemas llegan a ser políticos, debido a la falta de atención por parte de las autoridades a las existentes leyes y normas a favor de las personas con discapacidad en el país<sup>1</sup>; hasta sociales, ya que existen problemas de comunicación y relacionamiento con pares o colegas, al igual que una gran variedad de estigmas sociales. Pero uno de los mayores problemas son las barreras físicas que estos presentan, dado que existe una falta de acceso a diferentes establecimientos, tanto públicos como privados, o la dificultad que conlleva el usar medios de transporte, necesitando una manera de subir y transportar también la silla.

Si bien se han realizado algunos avances para que las personas en silla de ruedas puedan moverse en estas con mayor facilidad, el problema de la dependencia no logra terminar. Ya que los establecimientos siguen estando lejos de conseguir una inclusión que permita al usuario desenvolverse, cosas como alcanzar objetos en gran altitud o alcanzar el aparador de la ventanilla de un banco, son ejemplos cotidianos que aún limitan la independencia del usuario.

---

<sup>1</sup> “Existe estadística realmente dramática respecto a la accesibilidad para discapacitados”.  
[https://www.youtube.com/watch?v=OEb0DxnLw0&ab\\_channel=TVPer%C3%BANoticias](https://www.youtube.com/watch?v=OEb0DxnLw0&ab_channel=TVPer%C3%BANoticias) 21/04/21

Por ello existe el interés de realizar desarrollos que ayuden a las personas que usan sillas de ruedas a poder movilizarse y desenvolverse de una manera más cómoda, fluida y autónoma. A pesar de que en el Perú existe una gran necesidad, hay muy poca inversión y trabajos relacionados con el desarrollo de estos y la gran mayoría son realizados en el extranjero, lo que hace que sea mucho más difícil llegar a adquirirlos.

En consecuencia, se propone el diseño de una silla de ruedas con un sistema de posicionamiento bípedo que ayude a los usuarios a simular la posición de una postura erecta y le permita una mayor autonomía. Para alcanzar el objetivo propuesto se elaboró, en un trabajo previo, el estado del arte sobre la biomecánica de bipedestación, con énfasis en el cambio de la posición sentada a la de pie y viceversa, así como sobre las técnicas y tecnologías relacionadas con mecanismos y sillas de ruedas para bipedestación. Luego, se establecieron los requerimientos de diseño y, usando la metodología de diseño VDI 2221 (Norma Alemana) para el desarrollo de sistemas técnicos y productos, se elaboró la propuesta de diseño conceptual. Este trabajo presenta una síntesis de lo desarrollado previamente por el autor [Carretero, 2022], lo que será usado como base para realizar las consideraciones preliminares, el cálculo y la selección de los componentes de los diferentes subsistemas del sistema mecatrónico, con énfasis en el mecanismo para el cambio de posición de sentado a parado y viceversa. Finalmente, se presenta la solución diseñada, se elaboran los planos de ensamble y de despiece, y se estiman los costos de diseño y de fabricación.

Con este trabajo se espera inspirar o servir de guía a futuros esfuerzos en el desarrollo tecnológico del país proporcionando información útil y estructurada, al igual que una distribución de ideas y razonamiento para cualquier persona o grupo de personas que muestren interés en la investigación, en especial para las personas con discapacidades motoras.

## **CAPÍTULO 1**

### **ANTECEDENTES**

En primer lugar, en el presente capítulo se realiza una síntesis del trabajo realizado previamente por el autor [Carretero, 2022], donde se mencionará la problemática a tratar, con datos estadísticos y gráficas, las secciones del estado del arte más destacadas, los requerimientos del sistema, la propuesta de diseño conceptual, diagramas de bloques, flujo y operaciones. Todo esto será la base para el inicio del diseño del sistema mecatrónico,

#### **1.1 Problemática**

De acuerdo con lo realizado en el trabajo previo por el autor, se destacaron datos importantes relacionados a las personas con discapacidad y la población usuaria de sillas de ruedas gracias a los informes del Instituto Nacional de Estadística de Informática (INEI). Estos informes ayudaron a definir como población objetivo a personas parapléjicas entre 15 a 64 años, ya que estos ocupan el 36.5% de los usuarios de sillas de ruedas, tal como se observa en la Figura 1.1.

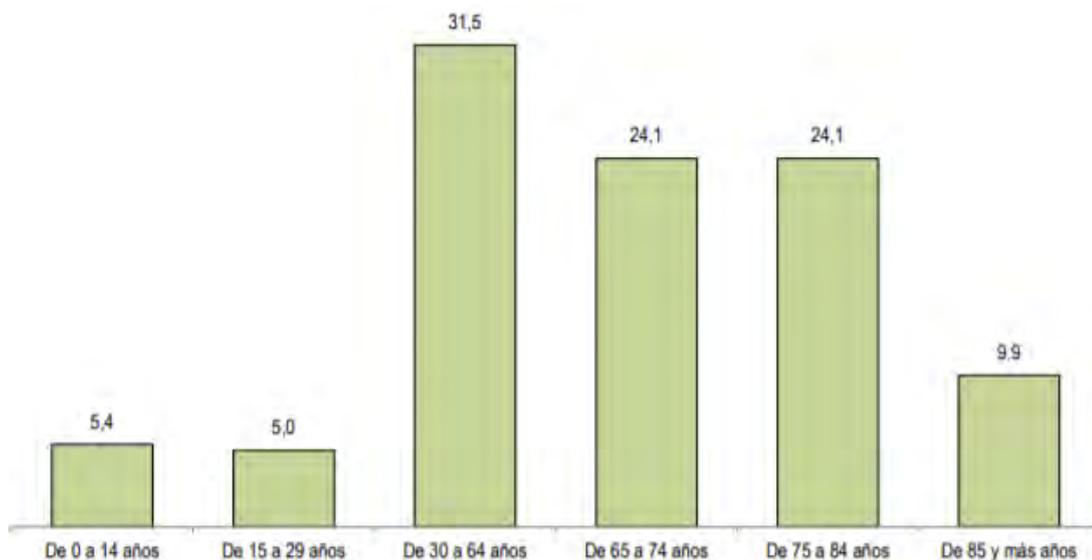


Fig. 1.1: Personas con discapacidad de locomoción y/o destreza según grupo de edad. [INEI, 2013]

Asimismo, se mencionó la falta de independencia que poseen los usuarios de sillas de ruedas en sus actividades diarias o laborales debido a diversos factores como físicos, políticos, psicológicos, etc. Por ello, se llegó a la conclusión de que los usuarios tienen una gran necesidad de autonomía, la cual puede ser reforzada con la ayuda de la tecnología, en este caso, una silla de ruedas que les permita cambiar desde una posición sentada a una bípeda y viceversa. Siendo uno de los requisitos principales, el hecho de que pueda ser fabricada en el país, y de esta forma, apoyar en la escasa investigación y desarrollo de tecnología en la salud realizada hasta la fecha en el Perú.

## 1.2 Análisis de movimiento y modelo biomecánico de las sillas bipeDESTADORAS

La búsqueda de información relevante al movimiento del ser humano para lograr la bipeDESTACIÓN, así como el comportamiento de las fuerzas en sillas bipeDESTADORAS fue realizada al detalle en el trabajo anterior. Dicha búsqueda logró obtener las ecuaciones que serán necesarias de tomar en cuenta al momento del diseño de la silla. En la Figura 1.2 se modela el movimiento realizado por una persona al levantarse junto con sus ecuaciones dinámicas.

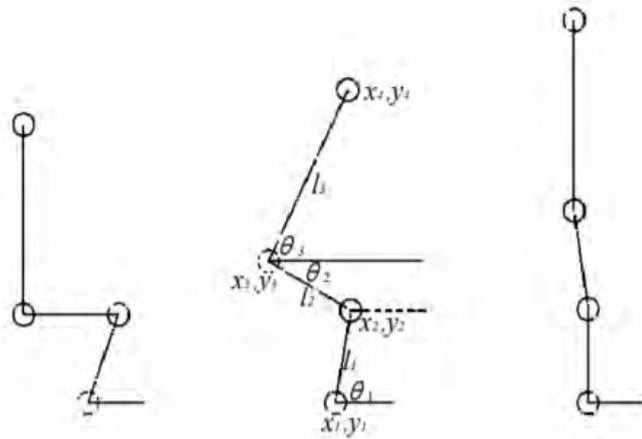


Fig. 1.2: Representación del cuerpo humano mediante modelo de tres barras. [Shi, 2019]

$$\begin{cases} x_2 = x_1 + l_1 \cos \theta_1 \\ y_2 = y_1 + l_1 \sin \theta_1 \end{cases} \quad (1.1)$$

$$\begin{cases} x_3 = x_1 + l_1 \cos \theta_1 - l_2 \cos \theta_2 \\ y_3 = y_1 + l_1 \sin \theta_1 + l_2 \sin \theta_2 \end{cases} \quad (1.2)$$

$$\begin{cases} x_4 = x_1 + l_1 \cos \theta_1 - l_2 \cos \theta_2 + l_3 \cos \theta_3 \\ y_4 = y_1 + l_1 \sin \theta_1 + l_2 \sin \theta_2 + l_3 \sin \theta_3 \end{cases} \quad (1.3)$$

De la misma forma, en la Figura 1.3 y 1.4 se observa el comportamiento de las fuerzas sobre el usuario de una silla bipedestadora y los ángulos de referencia, así como las Ecuaciones 1.4 a 1.6 que se derivan de estas figuras.

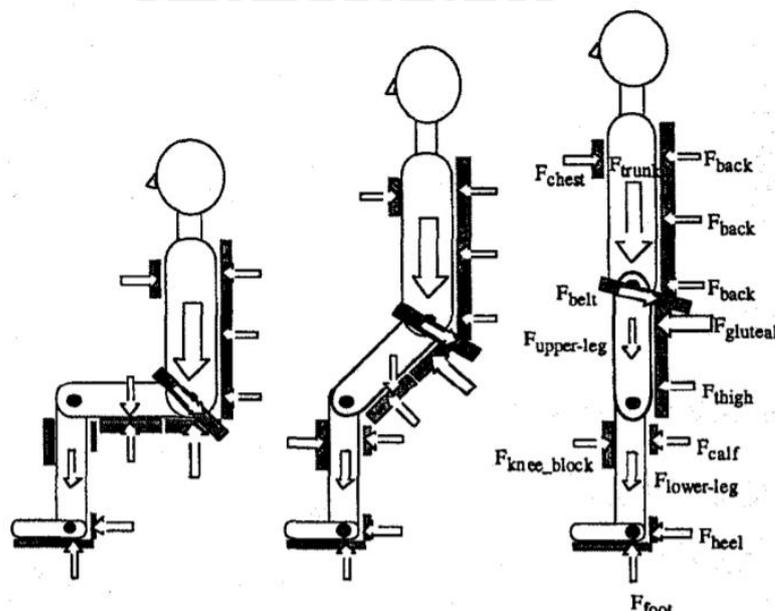


Fig. 1.3: Esquema de fuerzas en el cuerpo, sistema bípedo y soportes (plano sagital) [Cooper, 1995].

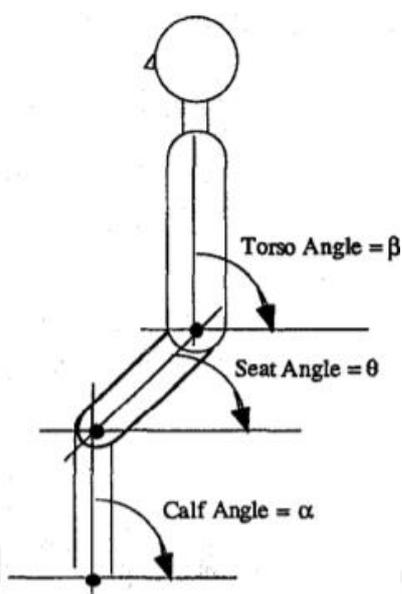


Fig. 1.4: Ángulos de referencia para el modelo estático [Cooper, 1995].

En el tobillo:

$$\begin{aligned} \text{En x: } F_{\text{heel}} - F_{\text{ankle}} \cos\alpha &= 0 \\ \text{En y: } 0.43 * M_{\text{lower\_leg}} g + F_{\text{ankle}} \sin\alpha &= F_{\text{foot}} \end{aligned} \quad (1.4)$$

En la rodilla:

$$\begin{aligned} \text{En x: } F_{\text{ankle}} \cos\alpha - F_{\text{knee}} \cos\theta + F_{\text{knee\_block}} &= 0 \\ \text{En y: } F_{\text{ankle}} \sin\alpha + F_{\text{knee}} \sin\theta &= 0.57 * M_{\text{lower\_leg}} g + 0.44 * M_{\text{upper\_leg}} g \end{aligned} \quad (1.5)$$

En la cadera:

$$\begin{aligned} \text{En x: } F_{\text{knee}} \cos\theta - F_{\text{hip}} \cos\beta &= 0 \\ \text{En y: } F_{\text{knee}} \sin\theta + F_{\text{hip}} \sin\beta &= 0.56 * M_{\text{upper\_leg}} g + M_{\text{trunk}} g \end{aligned} \quad (1.6)$$

### 1.3 Estado de la tecnología

En el presente apartado es necesario entrar en más detalle acerca de las partes esenciales de una silla de ruedas. Por último, se realiza un repaso a través de las tecnologías comerciales e investigaciones más destacadas que serán de utilidad para el desarrollo de este trabajo [Carretero, 2022].

De acuerdo con lo destacado previamente por el autor, basado en un manual de la OMS, al analizar una silla de ruedas se deben considerar los siguientes elementos:

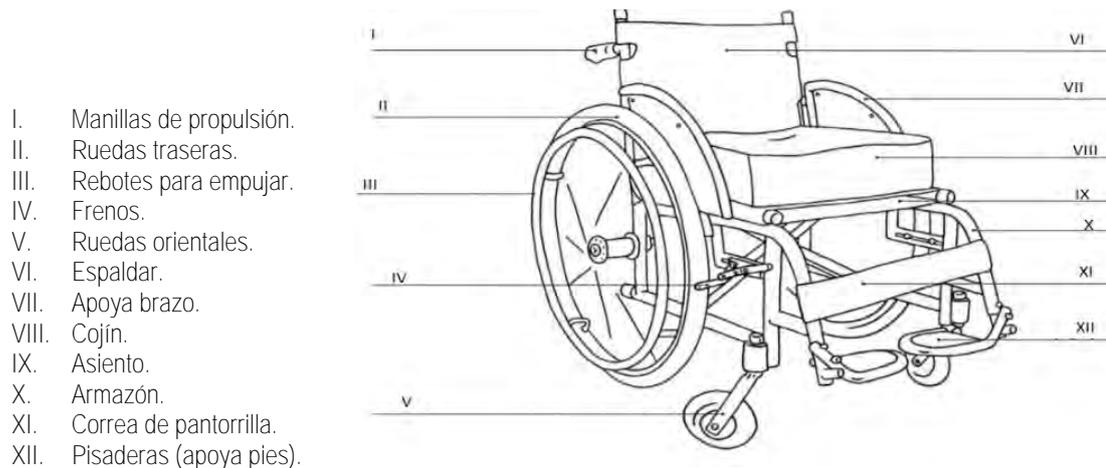


Fig. 1.8: Partes esenciales de una silla de ruedas. [Armstrong, 2008]

También se revisaron artículos y productos comerciales de los cuales se tomó como uno de los más resaltantes a la silla bipedestadora Setonix, del cual se destaca principalmente su movimiento realizado con la ayuda de un actuador lineal que une la parte inferior del asiento con el armazón de la silla, así como los soportes ajustables para el pecho y rodillas que mantienen al usuario seguro y pegado a la silla y hacen del producto más adaptable a distintas anatomías. Ver Figura 1.9.



Fig. 1.10: Enfoque del sistema de posicionamiento bípodo de la silla Setonix. [Loh Medical, 2019]

Entre los artículos académicos revisados, se observó el desarrollo de una silla desarrollada para ayudar a los ancianos a subir y bajar las escaleras, la cual cuenta con un sistema que ayuda a los usuarios a ponerse de pie, este sistema es la combinación de un mecanismo de barras paralelas con uno de cuatro barras, lo que permite un movimiento vertical del

espaldar, mientras que el asiento gira para impulsar al usuario. Dichos mecanismos y movimientos se pueden observar en las Figuras 1.11 y 1.12 respectivamente.

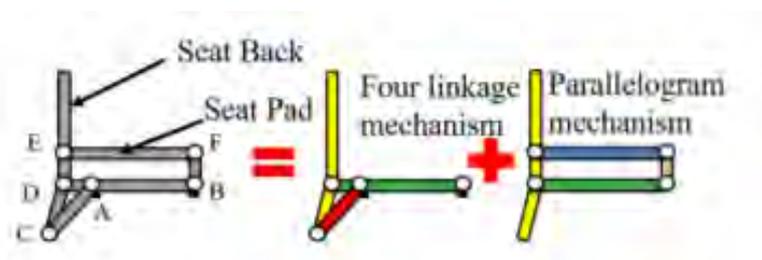


Fig. 1.11: Unión del sistema de cuatro barras junto con el mecanismo paralelo. [Jiang, 2019]



Fig. 1.12: Funcionamiento del mecanismo de ayuda para la posición bípeda. [Jiang, 2019]

#### 1.4 Diseño conceptual

En el trabajo previo [Carretero, 2022] se realizó una lista detallada y explicada de todos los requerimientos que tendrá que cumplir el diseño para poder ser definido como óptimo. En este caso, en la Tabla 1.1, solo se muestra el listado que resume los requerimientos.

Siguiendo con la metodología en el trabajo previo, se realizó una especificación de las entradas y salidas del sistema, el diagrama de funciones, tablas morfológicas en las cuales se combinan componentes que satisfacen individualmente sus respectivas funciones individuales, pero que agrupados permiten conformar distintos conceptos de solución. Las evaluaciones técnica y económica realizadas de estos conceptos de solución permitieron que se obtenga la propuesta de diseño conceptual que se muestra a continuación.

Tabla 1.1. Requerimientos del sistema. [Carretero, 2022]

TIPO	DETALLE
Función	Efectuar el mismo comportamiento al del ser humano durante el movimiento que realiza al momento de levantarse desde una posición sentada.
Geométrico	Medidas deben estar de acuerdo con las de una persona con un 1.80m de altura como máximo, al igual que respetar las medidas mínimas de construcción con un ancho y alto mínimo de 0.8 m y 2.1 m respectivamente
Cinemático	El sistema de bipedismo debe realizar todos sus giros con 2.5°/s como máximo
Fuerza	El sistema debe soportar un peso máximo de 85kg al igual que realizar torques que logren cambiar la posición de este peso.
Energía	Duración de batería de 3 a 5 días. La batería debe poder cargarse en una conexión eléctrica de una vivienda peruana (220V y 60Hz)
Material	Debe poseer una resistencia mecánica mínima de 75kg/mm <sup>2</sup>
Señales	Encendido/apagado, subir, bajar, parada de emergencia. Indicadores de sistema encendido, alcance de la posición máxima vertical o sentada y nivel de batería.
Comunicación	Conexión de manera alámbrica
Seguridad	Aislamiento de componentes eléctricos, soportes a ser usados durante el posicionamiento vertical, botón de emergencia.
Ergonomía-Confort	Fácil de subir y bajar, comodidad estando sentado, en movimiento y parado
Fabricación	Realizable en los talleres del país
Montaje	Realizado por especialistas y componentes electrónicos separados del usuario
Uso	Funcional en la costa peruana
Mantenimiento	Mantenimiento semestral

El diseño conceptual mostrado en la Figura 1.13 se compone de soportes para el torso, rodillas y pies con un ajuste mediante velcro. El sistema de posicionamiento bípedo realiza el movimiento con un actuador lineal eléctrico junto con un sistema de barras. Las ruedas delanteras, traseras y el freno manual son partes comerciales de sillas auto asistidas comunes. Además, el movimiento se controla con un mando con botones colgado en el lado izquierdo de la silla, el cual se comunica con el microcontrolador ubicado en la caja electrónica a través de un cable espiralado, al igual que el actuador lineal y el acelerómetro ubicado en la parte inferior del asiento.

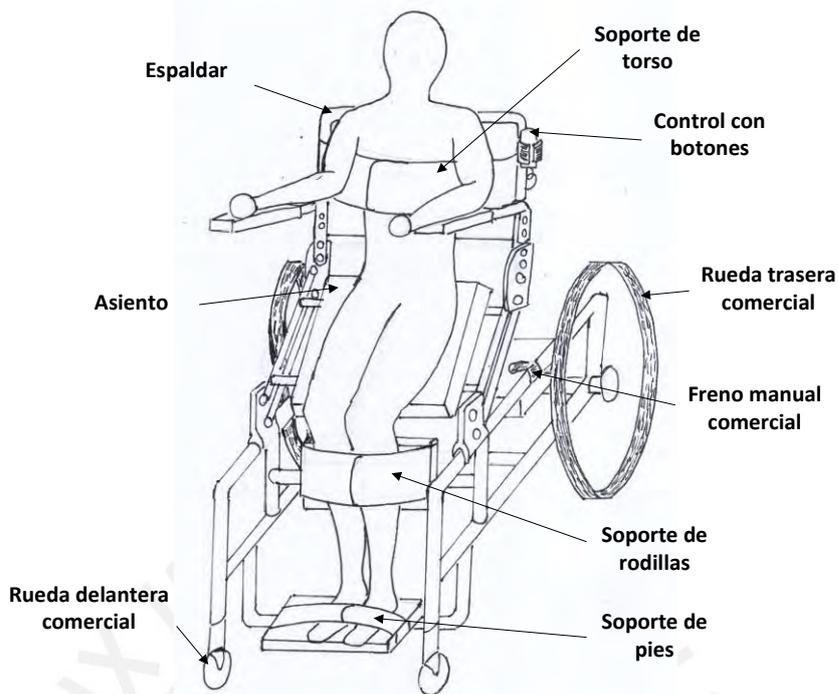


Fig. 1.13: Vista de la propuesta de diseño conceptual en posición bípeda [Carretero, 2022].

Asimismo, la Figura 1.14 muestra la vista lateral de la silla tanto en la posición sentada como en la bípeda para mostrar el funcionamiento del actuador, así como la distribución de partes y uniones del sistema. En la Figura 1.15 se muestra de manera más detallada el sistema de conexiones y uniones en la silla con el sistema de posicionamiento bípedo.

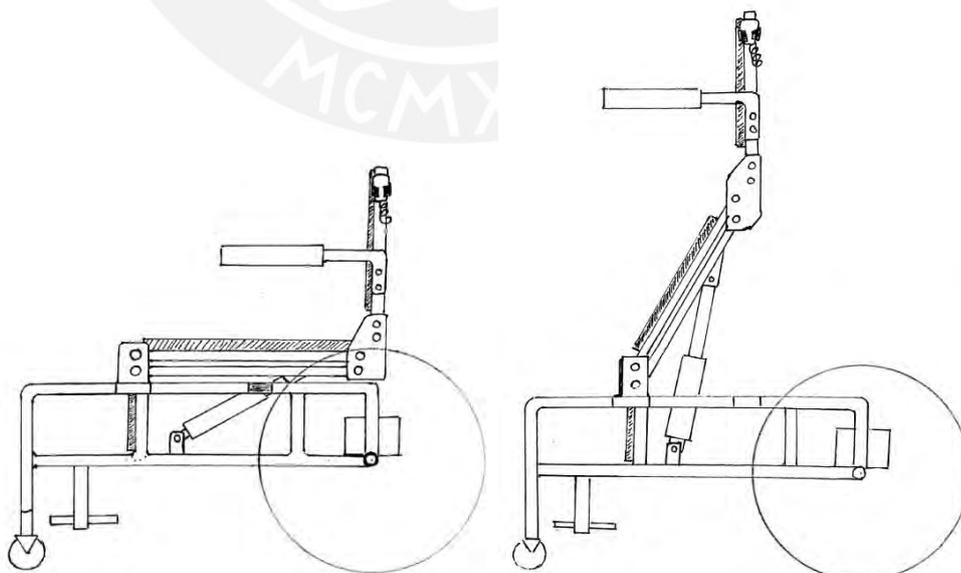


Fig. 1.14: Vista lateral del diseño conceptual en posición sentada y bípeda [Carretero, 2022].

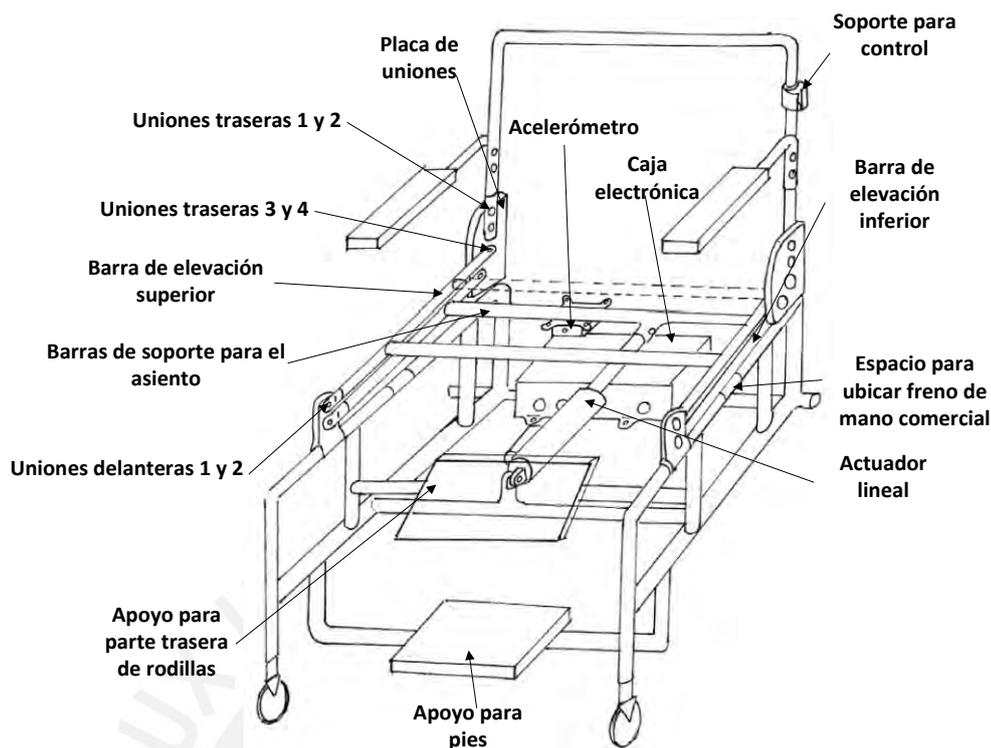


Fig. 1.15: Propuesta de uniones y conexiones de la silla para posicionamiento bípodo [Carretero, 2022].

En la parte inferior de las barras de soporte para el asiento se ubica el acelerómetro que está unido a una placa con tornillos en cuatro extremos con arandela y tuerca, al igual que la caja electrónica, el apoyo para pies, para rodillas y los posa brazos en sus respectivas posiciones. Además, en la Figura 1.15 se señala la posición y una vista general de las uniones del actuador lineal. Estas se encuentran con un pivote en la parte inferior, mientras que la parte superior es introducida y ajustada dentro de una unión con las barras de elevación inferior para realizar el movimiento de subida y bajada, mientras que las barras de elevación superiores se encargan de girar el espaldar de acuerdo con la posición.

La placa de uniones posicionada a cada lado de la silla tiene en la parte superior dos uniones de tornillo, arandela y tuerca que mantiene firme el espaldar (uniones traseras 1 y 2), mientras que en la parte inferior tiene dos uniones móviles (uniones traseras 3 y 4), tal cual como se muestra en la Figura 1.16. Estas uniones tienen un cojinete de fricción que se acopla a un eje cilíndrico, el cual pasa por ambos extremos. Finalmente, este eje es ajustado con tornillos y arandelas a ambos lados a través del agujero roscado que presenta (las uniones delanteras 1 y 2 también presentan el mismo sistema).

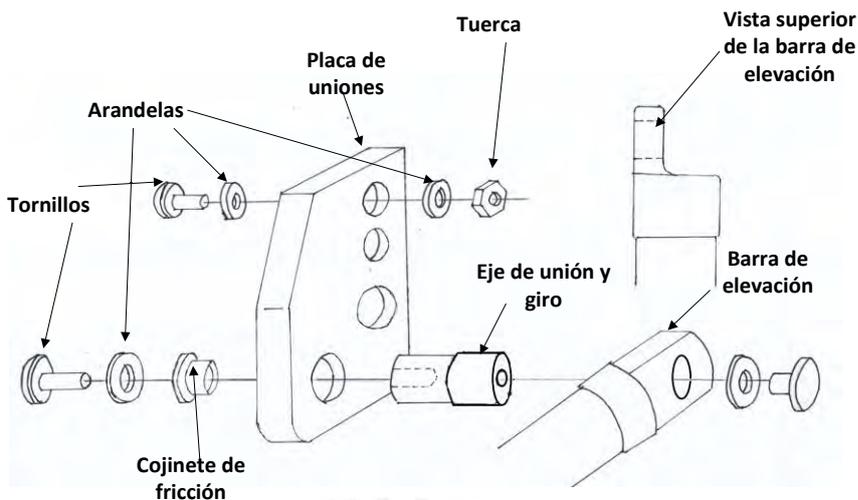


Fig. 1.16: Propuesta del ensamble para barra de elevación [Carretero, 2022].

En la Figura 1.17 se muestra el detalle exterior de la caja electrónica, donde se observa el botón de ON/OFF, la salida del cable que va directo a la fuente de poder para cargar la batería y las tres entradas para los cables espiralados que conectan al acelerómetro, actuador lineal y al control. Por último, en la Figura 1.18a se muestra la imagen detallada del mando de control con sus botones respectivos, junto con el soporte que lo sostiene cuando no está siendo utilizado. Además, la Figura 1.18b presenta la distribución de hardware utilizado dentro de la caja electrónica.

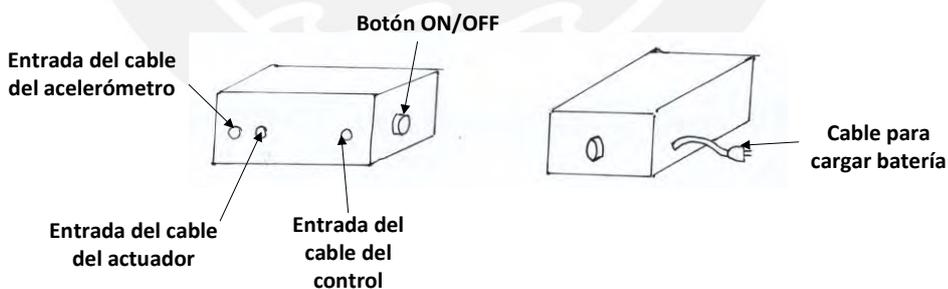


Fig. 1.17: Detalle exterior de la caja electrónica [Carretero, 2022].

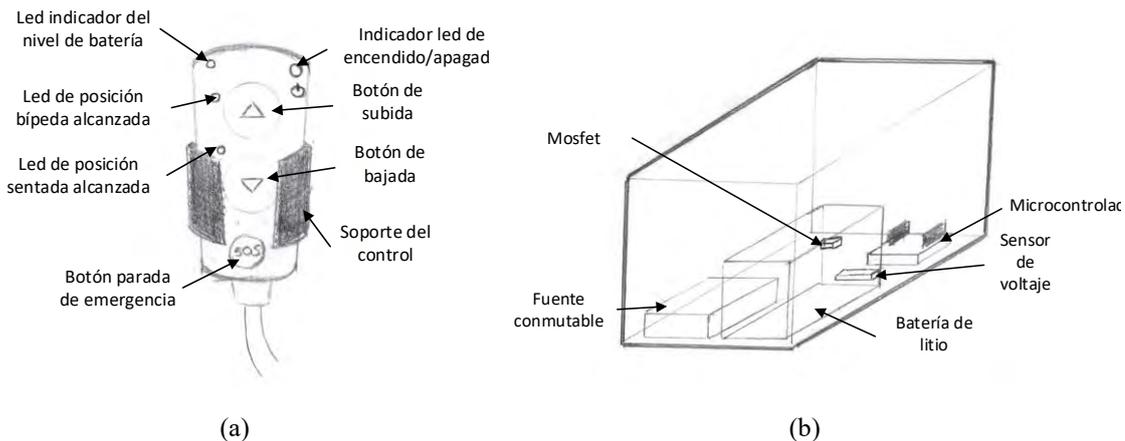


Fig. 1.18: (a) Vista ampliada del mando con botones y su soporte. (b) Distribución interna de la caja electrónica [Carretero, 2022].

Finalmente, se muestran los diagramas de operaciones, bloques y flujo en las Figuras 1.19, 1.20 y 1.21 respectivamente [Carretero, 2022].

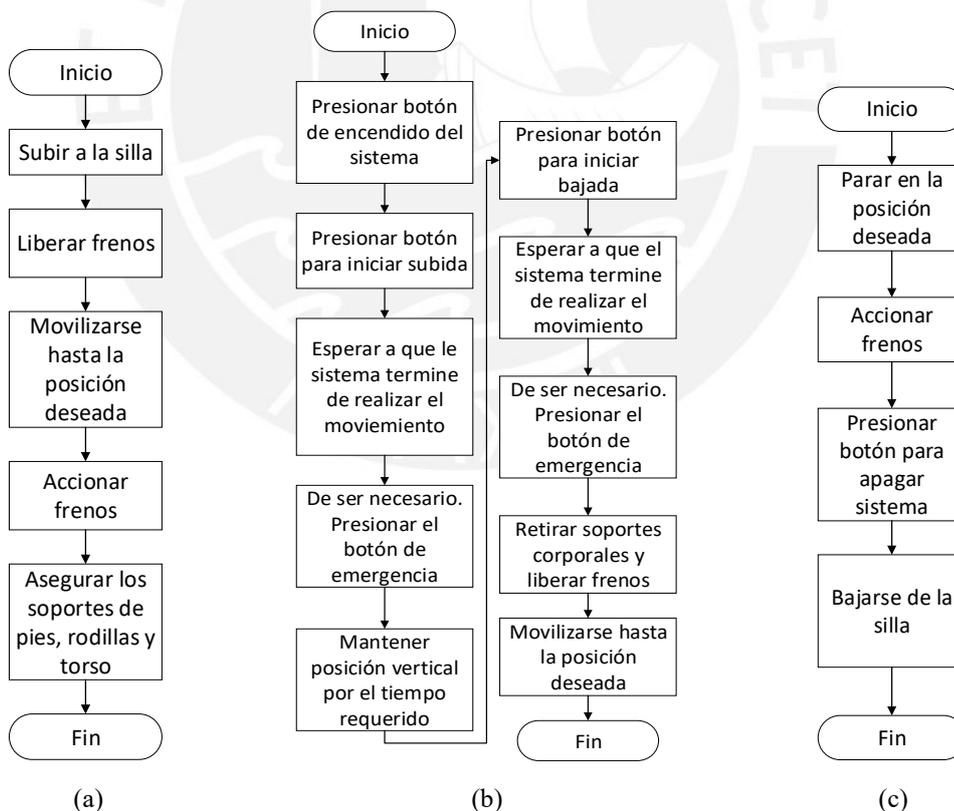


Fig. 1.19: (a) Diagrama de operaciones para la subida del usuario a la silla. (b) Diagrama de operaciones para el inicio del movimiento y cambio de posición del usuario. (c) Diagrama de operaciones para la bajada del usuario de la silla. [Carretero, 2022]

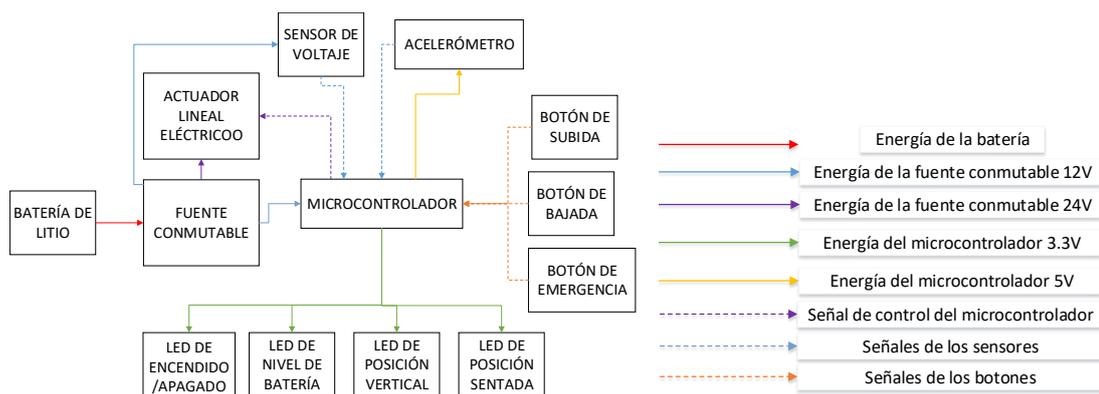


Fig. 1.20. Diagrama de bloques del sistema [Carretero, 2022].

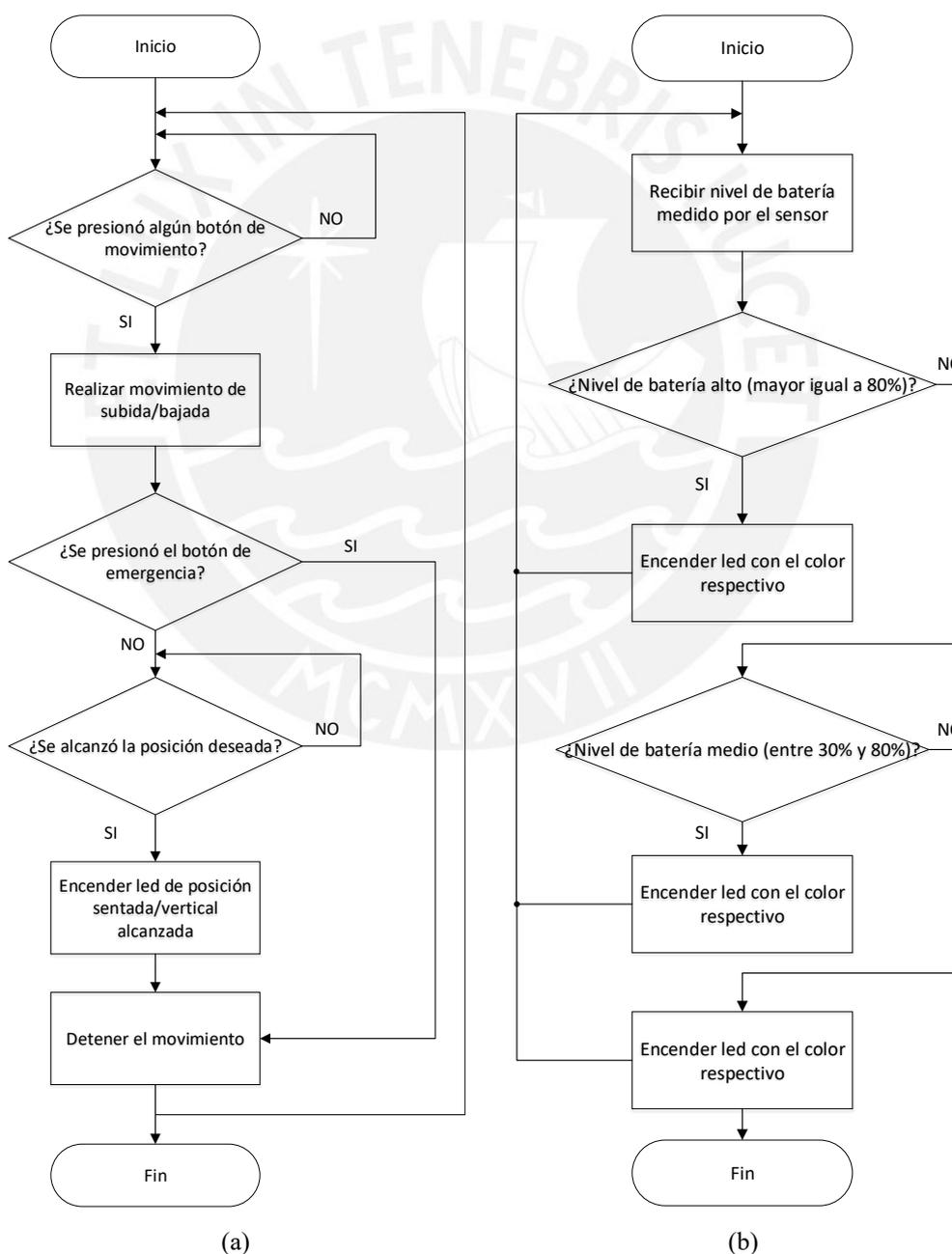


Fig. 1.21: (a) Diagrama de flujo para control de: (a) movimiento y (b) nivel de batería [Carretero, 2022].

## **CAPÍTULO 2**

### **DISEÑO MECÁNICO**

En este segundo capítulo se desarrollan las consideraciones preliminares necesarias como ecuaciones y dimensiones, seguidas del modelamiento del sistema de posicionamiento, así como el de la silla que sostiene el mismo. Con ayuda de los modelamientos 3D y distribución de fuerzas, se realiza el cálculo de masa de la estructura, con lo cual se podrán determinar los actuadores y materiales que cumplan efectivamente con el trabajo a realizar.

#### **2.1. Consideraciones preliminares**

En el presente apartado se realizan los cálculos necesarios para el diseño de la silla, empezando por las consideraciones geométricas para obtener las medidas básicas que servirán como guía para el diseño del modelo 3D, así como para realizar las ecuaciones útiles en las consideraciones estáticas y cinemáticas.

##### **2.1.1. Consideraciones geométricas**

En el trabajo previo [Carretero,2022] se estipularon ciertas relaciones proporcionales en la longitud de las distintas partes del cuerpo humano con la altura. En este caso, en la lista de requerimientos se detalló que la altura máxima a considerar en el presente diseño es de 1.80 m, de esta forma se logran calcular las medidas principales y aproximadas que se utilizaran como guía para el diseño de la silla. Las medidas más importantes son: el ancho de la persona, la altura desde la zona inferior de los glúteos hasta los hombros, la longitud

de los muslos, la longitud de las pantorrillas y la longitud del hombro hasta el codo, las que se especifican en la Tabla 2.1 y se señalan en la Figura 2.1. Estas medidas serán tomadas como referencia para realizar el diseño del mecanismo de posicionamiento bípedo de la silla y de la estructura de soporte, cuyas dimensiones serán determinadas mediante los cálculos de fuerza y resistencia necesarios, mientras se busca cumplir con los límites mínimos establecidos previamente.

Tabla 2.1. Dimensiones principales y aproximadas para el diseño de la silla.

	PARÁMETRO	MEDIDA APROXIMADA (cm)
Af	Ancho frontal	47
Gh	Zona inferior de los glúteos hasta los hombros	52
Lm	Longitud de los muslos (zona posterior)	53
Lp	Longitud de las pantorrillas (zona posterior)	47
Lhc	Longitud del hombro hasta el codo	26

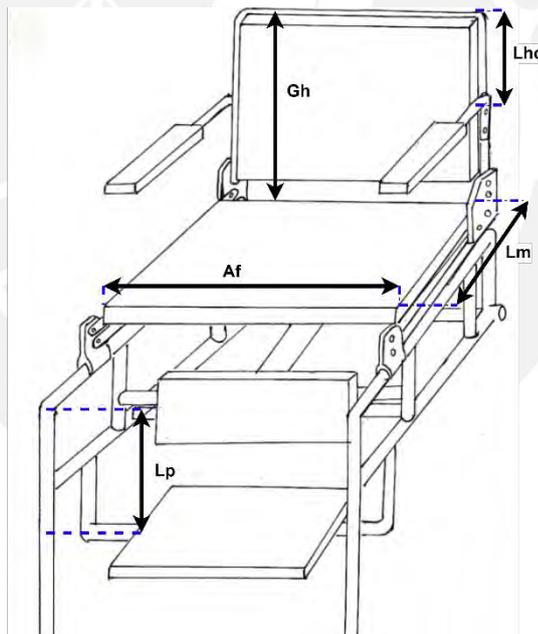


Fig. 2.1: Medidas aproximadas y básicas para el diseño de la silla.

Cabe resaltar que para la superficie de apoyo de las pantorrillas del usuario no se cubrirá toda la longitud de estas, por lo que se plantea utilizar una placa de 20 cm de ancho que se ubica en la parte posterior de las pantorrillas e inmediatamente debajo de la rodilla. Esto debido a que en la misma placa es donde se pondrán los soportes de las rodillas para limitar la flexión de la rodilla.

### 2.1.2. Consideraciones cinemáticas

La presente sección plantea las ecuaciones cinemáticas necesarias para determinar la posición y la velocidad del usuario en todo momento durante el movimiento. Esta información será de utilidad para la unidad de control al momento de determinar el inicio y el fin del cambio de posición. La Figura 2.2 muestra un modelamiento geométrico simplificado de la vista de perfil del usuario en la silla, donde se resalta la distancia desde el talón hasta la articulación de las rodillas (se le asigna una inclinación de  $80^\circ$  con respecto a la horizontal, tomando como guía los ángulos utilizados en el trabajo desarrollado por Atarma del Aguila [2021]). Esta longitud siempre se mantiene en la misma posición, ya que el usuario estará apoyado y usando los seguros de la silla, el movimiento solo actuará en los segmentos entre articulaciones, donde  $\vec{r}_{ab}$  es el vector posición de la articulación de la cadera respecto de la articulación de la rodilla y  $\vec{r}_{bc}$  es el vector posición de la articulación de los hombros respecto de la articulación de la cadera.

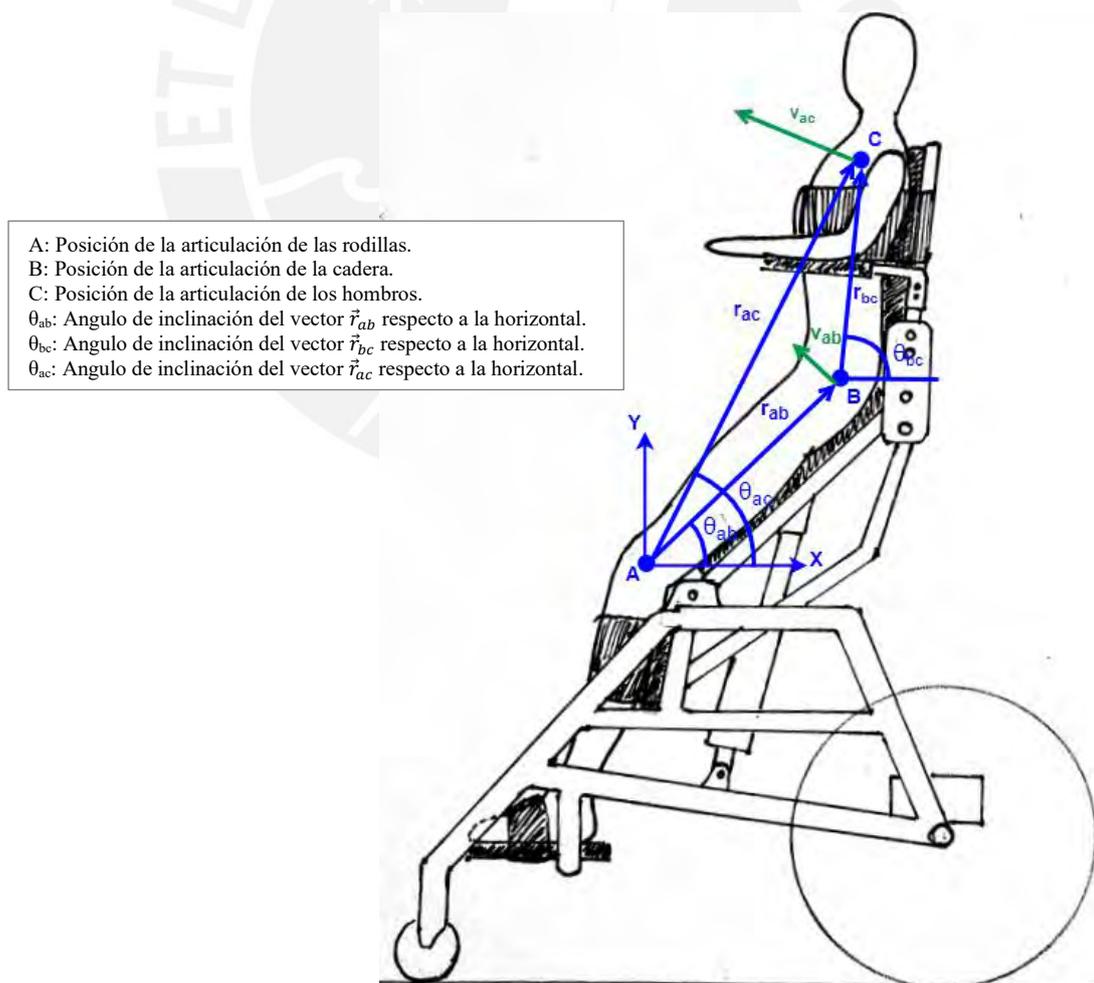


Fig. 2.2: Modelamiento lateral del usuario en la silla durante el movimiento.

Como siguiente paso se plantean las ecuaciones de los vectores posición de los puntos mencionados para poder realizar los cálculos necesarios (Ecuaciones 2.1 a 2.3). Para las ecuaciones se define A como el centro del sistema de referencia. Debido a que las pantorrillas del usuario no estarán completamente perpendiculares al suelo o al reposapiés y las rodillas tampoco se moverán de su posición en ningún momento.

$$\vec{r}_{ab} = |\vec{r}_{ab}| * (\cos(\theta_{ab}); \text{sen}(\theta_{ab})) \quad (2.1)$$

$$\vec{r}_{bc} = |\vec{r}_{bc}| * (\cos(\theta_{bc}); \text{sen}(\theta_{bc})) \quad (2.2)$$

$$\vec{r}_{ac} = \vec{r}_{ab} + \vec{r}_{bc} \quad (2.3)$$

Derivando las Ecuaciones 2.1 a 2.3 respecto al tiempo se obtienen los vectores velocidad de cada punto (Ecuaciones 2.4 a 2.6). Además, considerando los requerimientos de la Tabla 1.1, se tienen valores que se mantendrán constantes dentro de cierto intervalo de tiempo, como es el caso de la velocidad angular con la que se elevará el asiento ( $\omega_{ab} = 2.5^\circ/\text{s} = 0.044 \text{ rad/s}$ ). En la Figura 3.2 se muestra la curva de velocidad correspondiente, con tramos de aceleración (se parte del reposo al iniciar movimiento) y desaceleración (se retorna al reposo al terminar el movimiento). Para obtener el tiempo mencionado anteriormente se cronometró el periodo que le toma a un modelo comercial, que también usa un actuador lineal, alcanzar la posición bípoda<sup>2</sup>. En este caso se obtuvo un periodo aproximado de 12 segundos, de los cuales se consideran 0.5 segundos como tiempo que tarda el actuador en alcanzar la velocidad constante, y como tiempo que le toma al actuador detener el movimiento.

$$\vec{v}_{ab} = |\vec{r}_{ab}| * \omega_{ab} * (-\text{sen}(\theta_{ab}); \text{cos}(\theta_{ab})) \quad (2.4)$$

$$\vec{v}_{bc} = |\vec{r}_{bc}| * \omega_{bc} * (-\text{sen}(\theta_{bc}); \text{cos}(\theta_{bc})) \quad (2.5)$$

$$\vec{v}_{ac} = \vec{v}_{ab} + \vec{v}_{bc} \quad (2.6)$$

<sup>2</sup> [https://www.youtube.com/watch?v=uTsLkG\\_aSnw&ab\\_channel=LohMedical](https://www.youtube.com/watch?v=uTsLkG_aSnw&ab_channel=LohMedical) Silla de ruedas manual con elevación eléctrica Setonix.

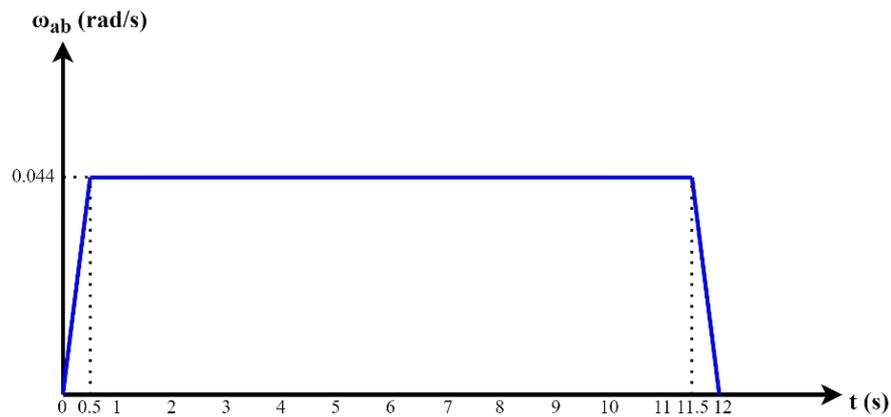


Fig. 2.3: Curva de velocidad del sistema móvil de la silla con tramos de aceleración o desaceleración constantes.

Con los valores mostrados en la Tabla 2.2 y reemplazando en las Ecuaciones 2.1 a 2.6, se obtienen los valores de posición y velocidad para los puntos B y C durante todo el movimiento (Ecuaciones 2.7 a 2.12). Además, como el respaldar siempre se debe encontrar de forma vertical en relación con la horizontal se toma  $\theta_{bc} = 80^\circ$  aproximadamente, por lo que  $\omega_{bc} = 0$  (también se tomó como referencia el trabajo realizado por Atarama [2022]). Cabe resaltar que las ecuaciones planteadas son para el tiempo donde el valor de  $\omega_{ab}$  es constante.

Tabla 2.2. Valores asignados para las distancias y la velocidad angular.

VARIABLE	VALOR ASIGNADO
$ \vec{r}_{ab} $	53 cm
$ \vec{r}_{bc} $	52 cm
$\omega_{ab}$	0.044 rad/s

$$\vec{r}_{ab} = 0.530 * (\cos(\theta_{ab}); \text{sen}(\theta_{ab})) \quad (2.7)$$

$$\vec{r}_{bc} = 0.520 * (\cos(\theta_{bc}); \text{sen}(\theta_{bc})) \quad (2.8)$$

$$\vec{r}_{ac} = 0.530 * (\cos(\theta_{ab}); \text{sen}(\theta_{ab})) + 0.520 * (\cos(\theta_{bc}); \text{sen}(\theta_{bc})) \quad (2.9)$$

$$\vec{v}_{ab} = 0.530 * 0.044 * (-\text{sen}(\theta_{ab}); \cos(\theta_{ab})) \quad (2.10)$$

$$\vec{v}_{bc} = 0 \quad (2.11)$$

$$\vec{v}_{ac} = \vec{v}_{ab} \quad (2.12)$$

Resolviendo las Ecuaciones 2.7 y 2.9 para cada valor de ángulo dentro del rango de  $0^\circ$  a  $60^\circ$ , que se moverá la parte móvil de la silla, se obtiene la coordenada de los puntos B y C en cada momento. Este cálculo se resume en la Figura 2.4, donde se muestra el cambio en los valores de posición para ambos ejes en cada punto. Asimismo, resolviendo la Ecuación 2.10 para la condición de la Ecuación 2.12, se obtiene el vector velocidad para ambos puntos, así como su módulo  $|\vec{v}_{ac}| = |\vec{v}_{ab}| = 2.332 \text{ cm/s}$  en la zona constante; el cambio de valores se muestra en la Figura 2.5.

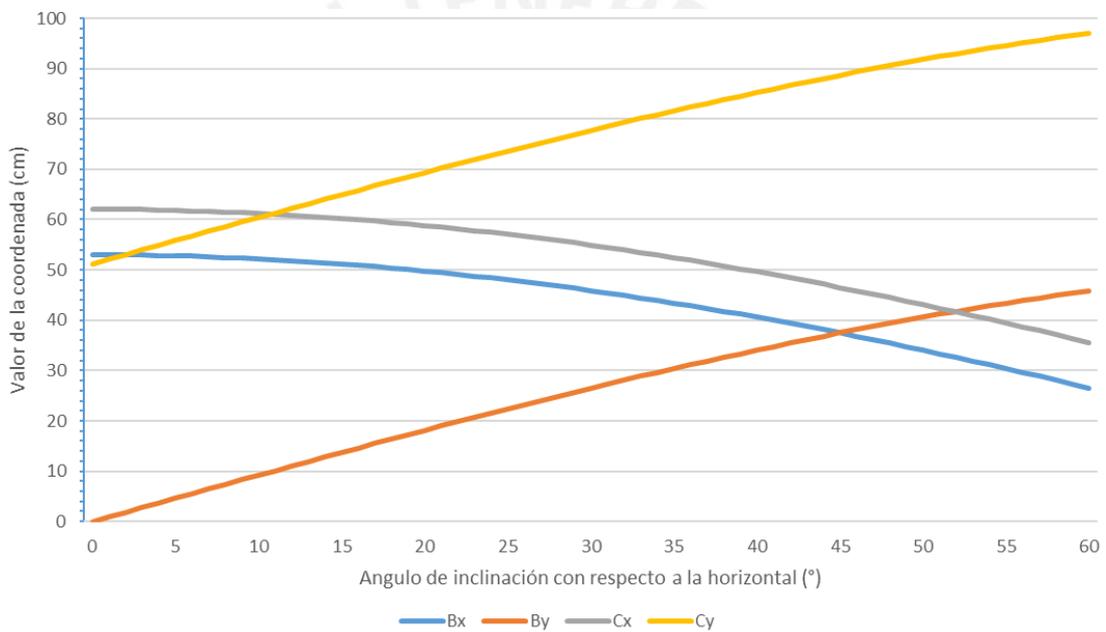


Fig. 2.4: Gráfica de ángulo vs el valor de coordenada para cada eje de los puntos B y C.

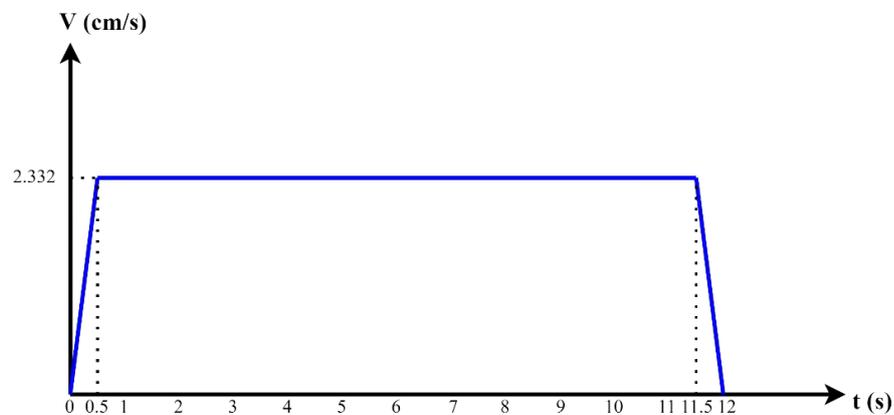


Fig. 2.5: Curva del módulo de los vectores velocidad de  $\vec{v}_{ab}$  y  $\vec{v}_{ac}$ .

También es necesario considerar la existencia de una aceleración inicial  $a_0$ , debido a que la parte móvil de la silla inicia su movimiento desde el reposo hasta llegar a la velocidad constante. De acuerdo con la Ecuación 2.7, la componente vertical del punto B aumenta en 2.7 cm entre los  $0^\circ$  y  $3^\circ$  y comparándolo proporcionalmente con la longitud del asiento genera una relación de 1 a 20 aproximadamente. Por lo que se puede deducir que la distancia vertical que se desplaza el punto B es significativamente pequeña, al igual que el ángulo que se desplaza dentro del tiempo que toma alcanzar la velocidad constante. Con ello se puede asumir que el vector de la aceleración inicial tendrá la misma dirección que la velocidad en el punto B, tal como se observa en la Figura 2.6.

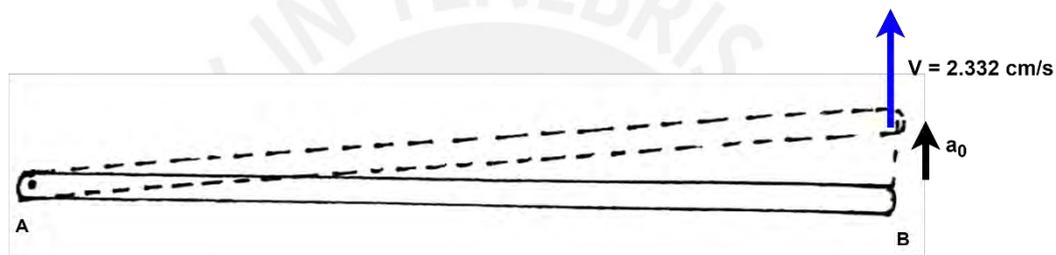


Fig. 2.6: Diagrama del movimiento del asiento desde el reposo hasta la velocidad constante.

Una vez realizadas las consideraciones necesarias para lograr el cálculo, se procede a hallar el valor del módulo del vector de  $a_0$  comparando el cambio de velocidad dentro de los 0.5 s asumidos.

$$a_0 = \frac{2.332 - 0}{0.5} = 4.664 \text{ cm/s}^2 \quad (2.13)$$

### 2.1.2. Consideraciones de cargas y fuerzas sobre el mecanismo

En el siguiente apartado se analizan las fuerzas que serán aplicadas a la silla por parte del peso del usuario, junto con las reacciones que se opondrán a ellas. De esta forma se podrá realizar el equilibrio estático y el análisis de resistencia mecánica, para así determinar la geometría y materiales adecuados para el mecanismo de posicionamiento bípedo, como para la estructura de soporte de toda la silla.

Primero es necesario analizar si la fuerza producida por la aceleración inicial calculada presenta algún efecto significativo para considerar la realización de un análisis dinámico

del sistema móvil de la silla. Para ello es necesario tener el valor de su masa y la del usuario, por lo que se toma como guía el valor de un dispositivo comercial que tiene como peso total  $25 \text{ kg}^3$ , de los cuales se asume que  $10 \text{ kg}$  son del sistema móvil, por lo que la masa que se movería en total sería de  $95 \text{ kg}$ . Utilizando el valor obtenido en la Ecuación 2.13, se tiene como fuerza resultante un valor igual a  $3.8 \text{ N}$  (por segunda ley de Newton), lo que a comparación con la fuerza del peso del usuario ( $833 \text{ N}$ ) es un valor en relación de 1 a 220 aproximadamente, por lo que la fuerza generada por la aceleración inicial puede despreciarse. Por lo tanto, no habría necesidad de realizar un análisis dinámico ya que todo el movimiento se considera que se realiza a una velocidad constante, por lo que se tomará el análisis en todo momento como un sistema cuasi estático.

Luego, se opta por hallar el centro de gravedad del cuerpo del usuario en la posición bípeda y en la posición sentada, así se podrá ubicar la posición que se tomará como punto de aplicación de su peso. Este genera una fuerza sobre la silla, y debido a ella se generan reacciones que se le oponen. De esta forma se puede realizar el equilibrio estático para hallar los valores de las reacciones que soportarán al usuario, que son las fuerzas que deberán soportar los distintos componentes de la silla. Por otro lado, para encontrar los centros de gravedad en cada posición, se utiliza el método segmental<sup>4</sup>, el cual se desarrolló en la Tabla 2.3 para la posición bípeda y en la Tabla 2.4 para la posición sentada.

Tabla 2.3. Método segmental utilizado para hallar el centro de gravedad en la posición bípeda.

Segmento del Cuerpo	% Del Peso Segmental	Valor de la Coordenada	Productos	Valor de la Coornedada	Productos
		X	(X) (%Peso)	Y	(Y) (%Peso)
Cabeza y Cuello	0.079	70	5.53	172	13.588
Tronco	0.511	72	36.792	130	66.43
Brazo Superior Derecho	0.027	70	1.89	145	3.915
Brazo Inferior Derecho	0.016	62	0.992	135	2.16
Mano Derecha	0.006	45	0.27	135	0.81
Brazo Superior Izquierdo	0.027	70	1.89	145	3.915
Brazo Inferior Izquierdo	0.016	62	0.992	135	2.16
Mano Izquierda	0.006	45	0.27	135	0.81
Muslo Derecho	0.097	58	5.626	90	8.73
Pierna Inferior Derecha	0.045	32	1.44	40	1.8
Pie Derecho	0.014	20	0.28	5	0.07
Muslo Izquierdo	0.097	58	5.626	90	8.73
Pierna Inferior Izquierda	0.045	32	1.44	40	1.8
Pie Izquierdo	0.014	20	0.28	5	0.07
Total de los Productos			63.318		114.988

<sup>3</sup> Silla bipedestadora Setonix. <https://espanol.lohmedical.com/p/silla-bipedestadora-setonix/>

<sup>4</sup> “Determinación del centro de gravedad en el cuerpo humano mediante el método segmental”. <http://www.saludmed.com/Requisit/Centro-G.html>

Tabla 2.4. Método segmental utilizado para hallar el centro de gravedad en la posición sentada.

Segmento del Cuerpo	% Del Peso Segmental	Valor de la Coordenada		Productos	
		X	(X) (%Peso)	Y	(Y) (%Peso)
Cabeza y Cuello	0.079	80	6.32	135	10.665
Tronco	0.511	80	40.88	85	43.435
Brazo Superior Derecho	0.027	82	2.214	115	3.105
Brazo Inferior Derecho	0.016	70	1.12	80	1.28
Mano Derecha	0.006	50	0.3	80	0.48
Brazo Superior Izquierdo	0.027	82	2.214	115	3.105
Brazo Inferior Izquierdo	0.016	70	1.12	80	1.28
Mano Izquierda	0.006	50	0.3	80	0.48
Muslo Derecho	0.097	62	6.014	65	6.305
Pierna Inferior Derecha	0.045	30	1.35	40	1.8
Pie Derecho	0.014	32	0.448	5	0.07
Muslo Izquierdo	0.097	62	6.014	65	6.305
Pierna Inferior Izquierda	0.045	30	1.35	40	1.8
Pie Izquierdo	0.014	32	0.448	5	0.07
Total de los Productos			70.092		80.18

Además, se puede observar en la Figura 2.7 los puntos encontrados para cada posición (bípeda y sentada), tomando como origen del sistema de coordenadas el extremo de la punta de los pies del usuario en ambos casos.

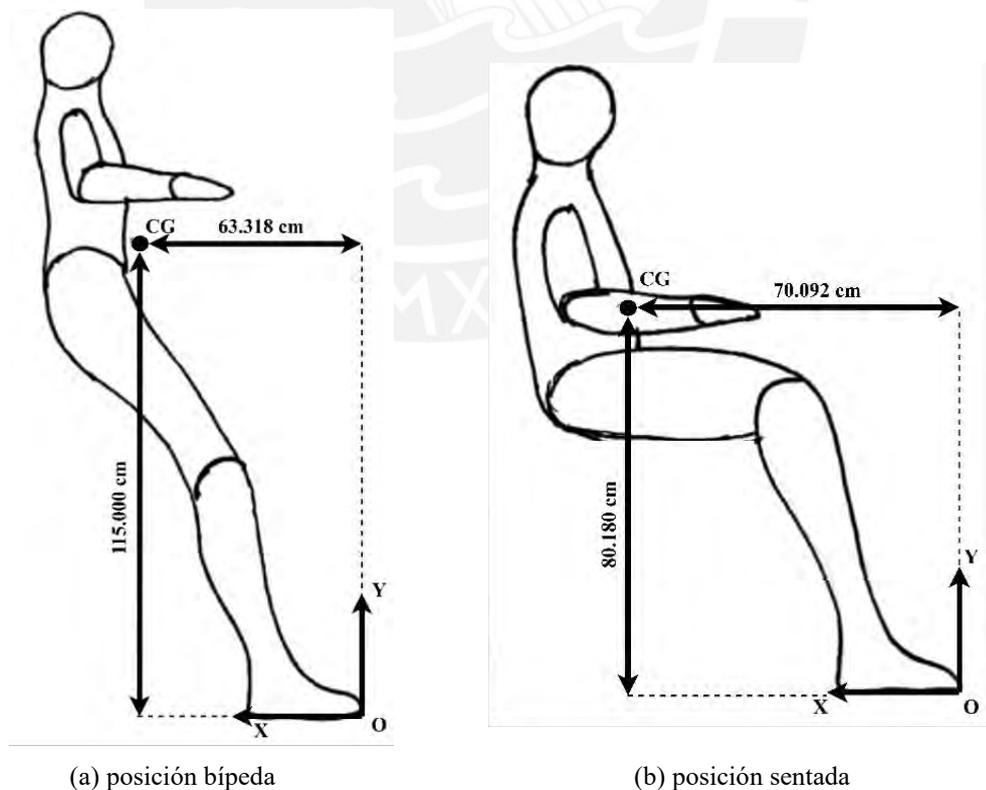
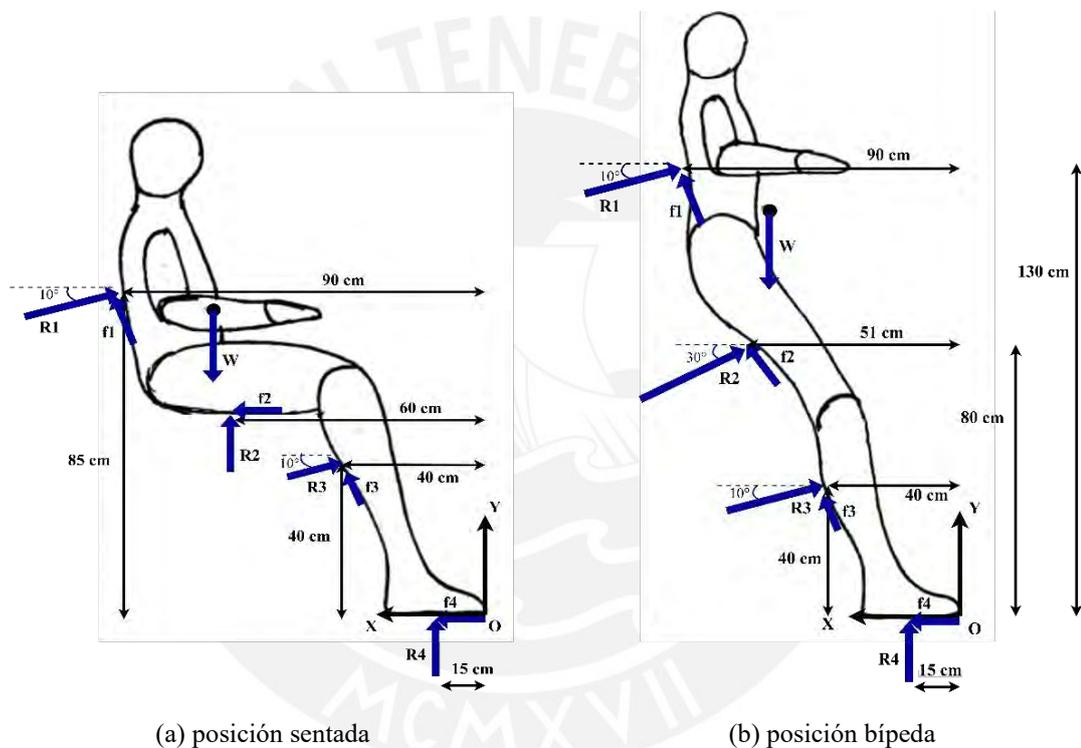


Fig. 2.7: Ubicación del centro de gravedad del usuario.

Una vez determinados los centros de gravedad para cada posición, se procede a realizar los diagramas de cuerpo libre para cada caso, y así plantear las ecuaciones de equilibrio estático. En la Figura 2.8 se muestran los diagramas de cuerpo libre del usuario en la posición sentada y bípeda respectivamente, manteniendo la punta de los pies como origen del sistema de coordenadas. También se muestra la ubicación de las reacciones producidas por la silla sobre el usuario, así como su dirección; para simplificar el análisis se tomó la posición de las reacciones en el punto medio de la superficie de contacto de la parte de la silla con el usuario.



(a) posición sentada

(b) posición bípeda

W: Peso del usuario (N).  
 $R_1$ ,  $f_1$ : Reacción y fuerza de fricción en el respaldo (N).  
 $R_2$ ,  $f_2$ : Reacción y fuerza de fricción en el asiento (N).  
 $R_3$ ,  $f_3$ : Reacción y fuerza de fricción en el soporte de pantorrillas (N).  
 $R_4$ ,  $f_4$ : Reacción y fuerza de fricción en el reposapiés (N).

Fig. 2.8: Diagrama de cuerpo libre del usuario

También se realizó el análisis de las fuerzas y reacciones que actúan sobre la silla y el sistema de posicionamiento bípedo, tal como se puede observar en la Figura 2.9 donde se muestra la ubicación de cada reacción, así como su dirección y sentido. Para obtener las distancias y medidas aproximadas de la silla, se utilizó como guía las medidas

proporcionadas por un modelo comercial<sup>5</sup>; el resto de las medidas se obtuvieron analizando las proporciones de la imagen de guía proporcionada por el mismo modelo. Se tomó como centro del origen de coordenadas la base de las ruedas delanteras, justo debajo de su centro de giro, y se ubicó el centro de gravedad de la silla a dos tercios de su longitud horizontal y vertical total desde el origen de coordenadas para simplificar el análisis.

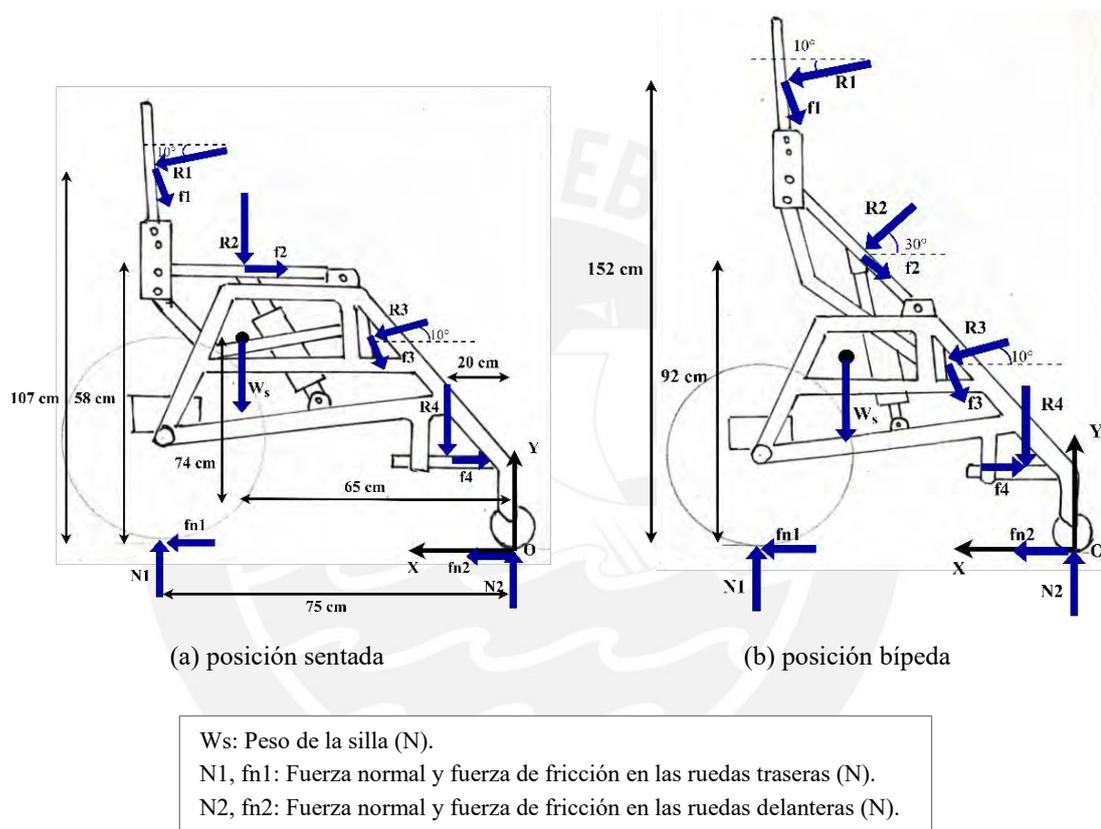


Fig. 2.9: Diagrama de cuerpo libre de la silla de ruedas

Si bien ambos casos son los más importantes para analizar, ya que son los dos estados en los que el usuario se encontrará la mayor parte del tiempo, es necesario calcular el valor de las fuerzas para cada instante, entre el rango de  $0^\circ$  a  $60^\circ$  que se elevará el asiento. De esta forma se podrá ubicar el valor máximo que tendrá cada reacción, y utilizar aquel valor para realizar los cálculos de resistencia necesarios. Para ello se plantean y resuelven las ecuaciones de equilibrio estático necesarias para cada ángulo dentro del rango mencionado previamente. En

<sup>5</sup> Silla de Ruedas Bipedestadora: Manual de Usuario. [https://cdn2.totalcode.net/lohmedical-us/docs/312\\_SETONIXownersManual\\_2020.08.05S.pdf](https://cdn2.totalcode.net/lohmedical-us/docs/312_SETONIXownersManual_2020.08.05S.pdf)

el caso de las fuerzas de fricción se considera el valor del coeficiente de fricción estático<sup>6</sup> igual a 0.15 para  $f_1$  y  $f_2$ , siendo este el valor presente en el rozamiento de nylon con nylon, tomando en cuenta la ropa del usuario y el recubrimiento del asiento. También se tomó 0.04 para  $f_3$  y  $f_4$  debido al material de los soportes, donde se consideró que tendría un comportamiento similar al roce del acero con teflón y, finalmente, se tomó el valor de 1 para  $f_{n1}$  y  $f_{n2}$  considerando caucho como material para las ruedas y concreto como la superficie sobre el que la silla operará con regularidad. Finalmente, todos los valores se reemplazan en las Ecuaciones 2.14 a 2.22 para cada posición dentro del rango mencionado anteriormente. Dichas ecuaciones se han obtenido aplicando las condiciones de equilibrio estático a los sistemas silla-usuario, usuario y silla tal como se muestra en las Figuras 2.10 y 2.11. Para simplificar el cálculo, en los siguientes DCL se desprecia la fuerza de fricción  $f_3$ , porque no existirá movimiento de las pantorrillas en ningún momento y la fuerza  $R_3$  considerando que el apoyo de las pantorrillas no soportará gran esfuerzo.

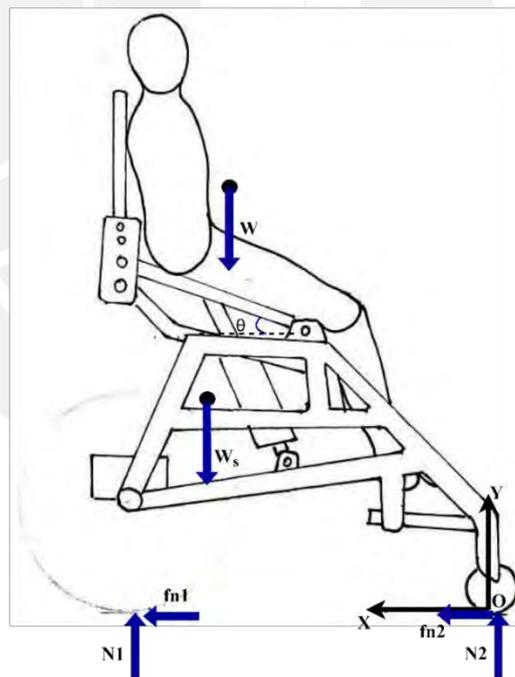


Fig. 2.10: DCL del sistema usuario-silla en el caso genérico.

<sup>6</sup> StuDocu. <https://www.studocu.com/es-mx/document/instituto-politecnico-nacional/dinamica-de-la-particula/coeficientes-de-friccion/10337499>

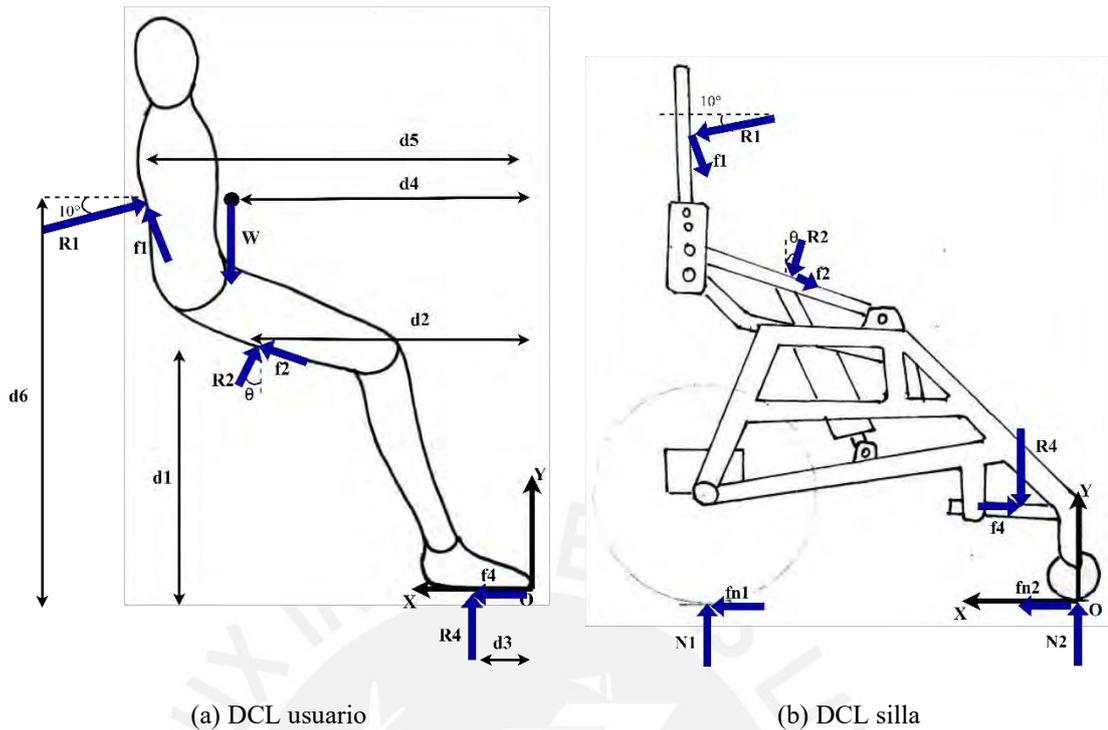


Fig. 2.11: DCL del sistema usuario y del sistema silla en el caso genérico.  $\Theta$  corresponde al ángulo de elevación del asiento dentro del rango de  $0^\circ$  a  $60^\circ$ .

Con el objetivo de obtener los valores máximos que tendrán las reacciones  $R_1$ ,  $R_2$  y  $R_4$ , se analizan dos casos distintos en el DCL del usuario, el primer caso toma como condición que la reacción  $R_1$  es nula y las fricciones  $f_2$  y  $f_4$  se encuentran en el caso de movimiento inminente. El segundo caso, toma como condición que la reacción  $R_2$  es nula y las fuerzas de fricción también en movimiento inminente.

En el primer caso:

$$\sum F_y = 0: R_2 * \cos(\theta) + f_2 * \text{sen}(\theta) + R_4 = W \quad (2.14)$$

$$\sum M_o = 0: R_2 * (\text{sen}(\theta) * d_1 + \cos(\theta) * d_2) + f_2 * (-\cos(\theta) * d_1 + \text{sen}(\theta) * d_2) + R_4 * (d_3) = W * (d_4) \quad (2.15)$$

$$\text{Movimiento inminente en } f_2: f_2 = R_2 * u_1 \quad (2.16)$$

$$\text{Movimiento inminente en } f_4: f_4 = R_4 * u_2 \quad (2.17)$$

En el segundo caso:

$$\sum F_y = 0: R_1 * \text{sen}(10) + f_1 * \cos(10) + R_4 = W \quad (2.18)$$

$$\sum M_O = 0: \quad R1 * (\text{sen}(10) * d5 + \text{cos}(10) * d6) + f1 * (\text{cos}(10) * d5 - \text{sen}(10) * d6) + R4 * (d3) = W * d4 \quad (2.19)$$

$$\text{Movimiento inminente en } f1: \quad f1 = R1 * u1 \quad (2.20)$$

$$\text{Movimiento inminente en } f4: \quad f4 = R4 * u2 \quad (2.21)$$

Resolviendo las Ecuaciones 2.14 a 2.21 se obtienen los valores para R1, R2 y R4 para cada ángulo de elevación del sistema móvil. Como se puede ver en la Figura 2.12 a 2.15, se muestra la variación del valor para cada fuerza en función del ángulo de elevación del sistema móvil, donde se señalan los valores máximos y el ángulo en el que se llega a este máximo.

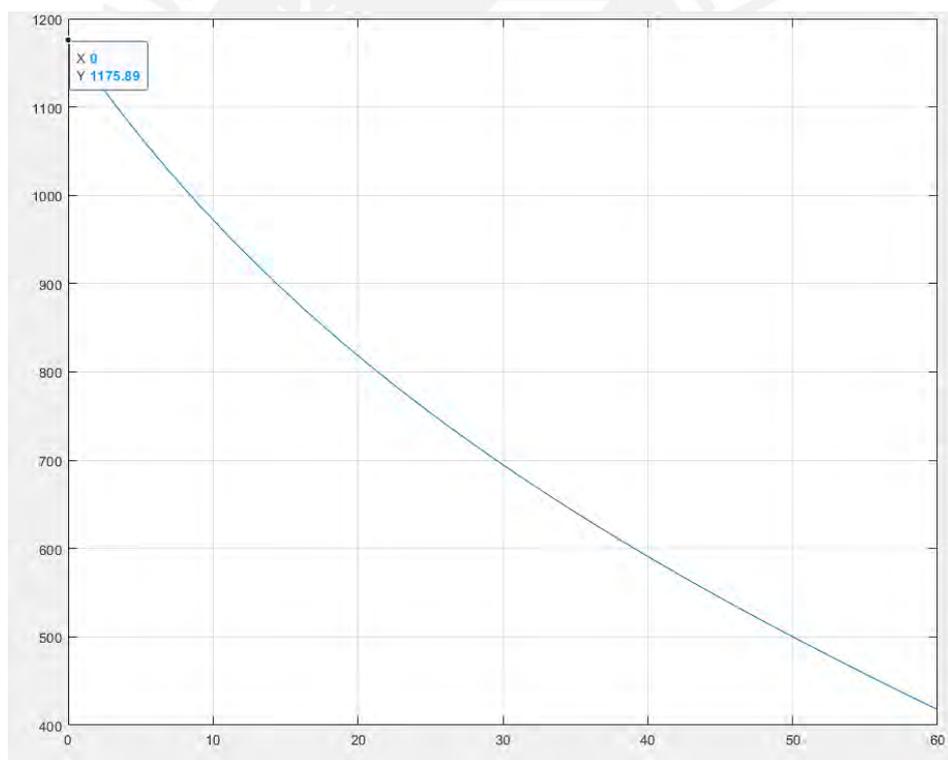


Fig. 2.12: Gráfica del cambio de valor de R2 vs ángulo de inclinación del sistema móvil (primer caso)

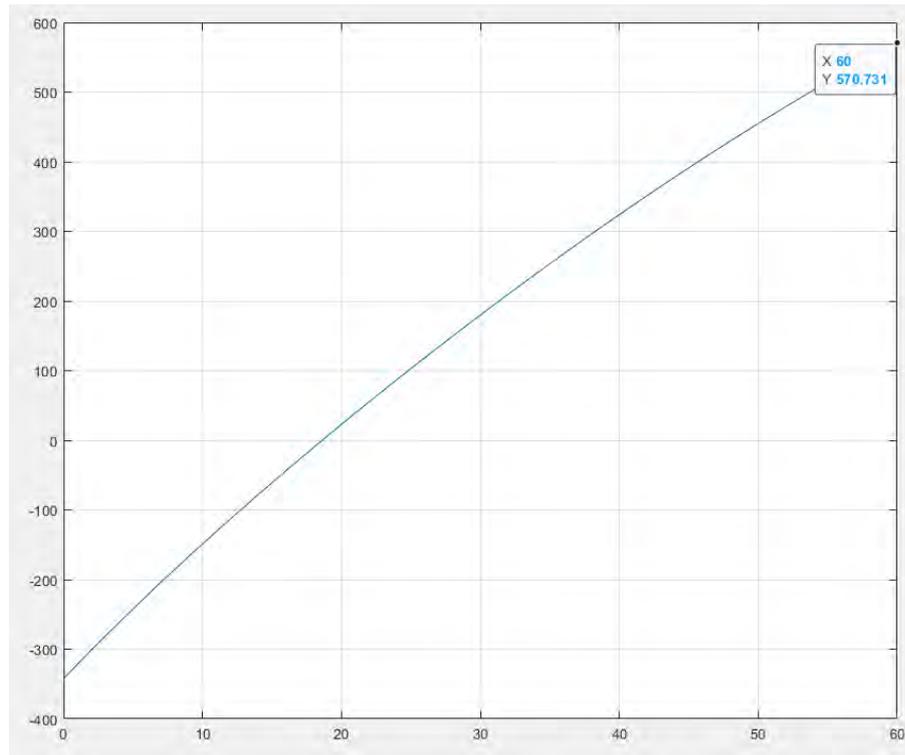


Fig. 2.13: Gráfica del cambio de valor de R4 vs ángulo de inclinación del sistema móvil (primer caso)

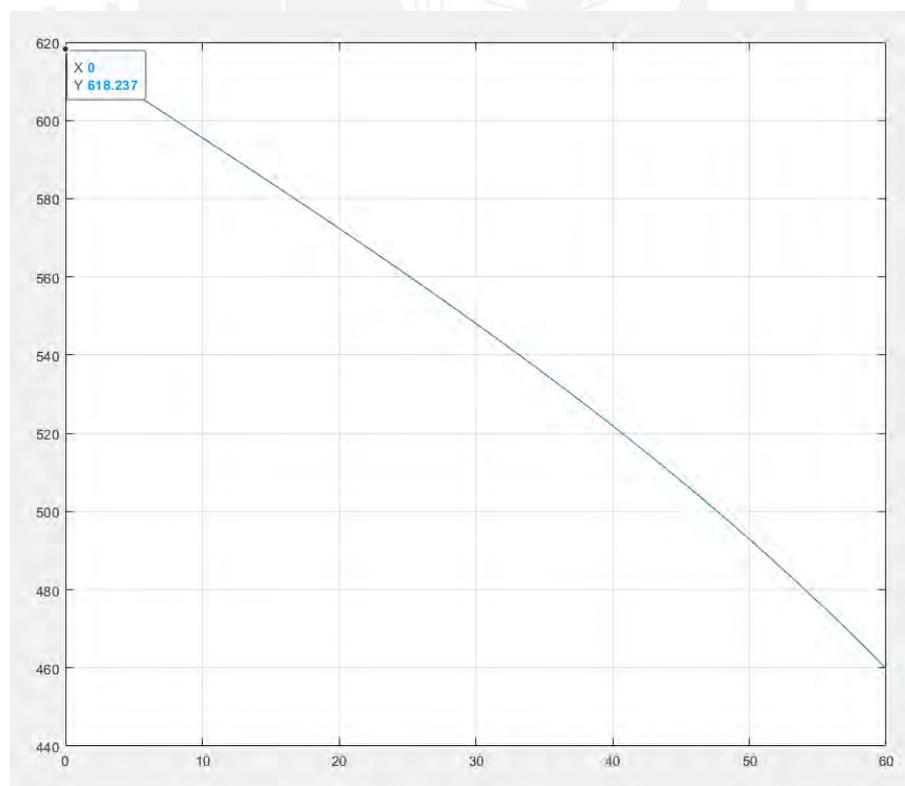


Fig. 2.14: Gráfica del cambio de valor de R1 vs ángulo de inclinación del sistema móvil (segundo caso)

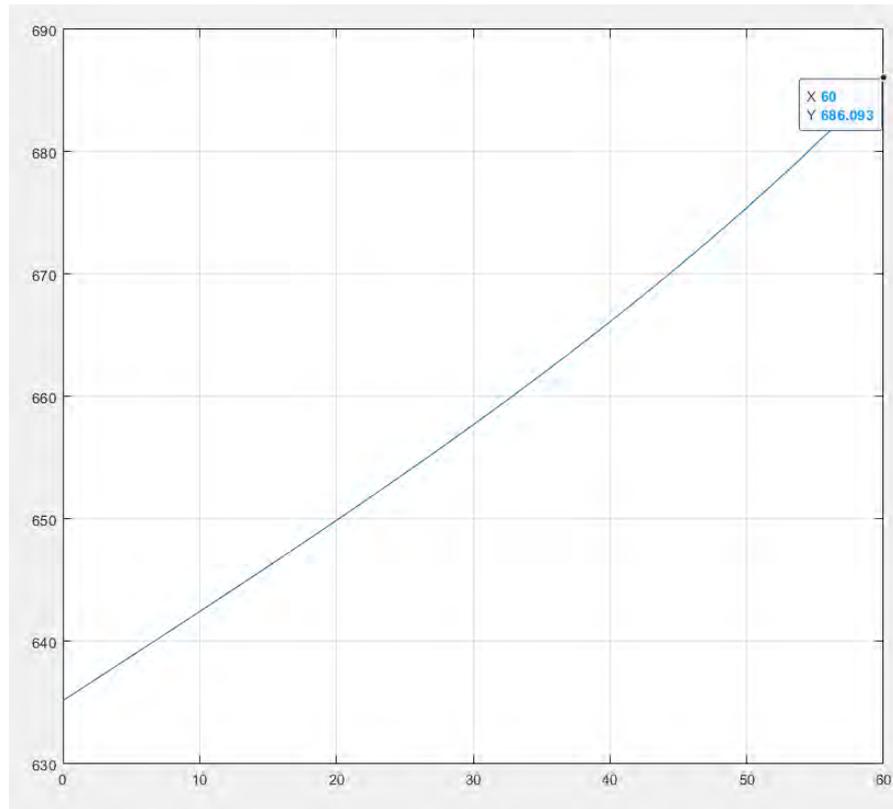


Fig. 2.15: Gráfica del cambio de valor de R4 vs ángulo de inclinación del sistema móvil (segundo caso)

De las Figuras 2.12 a 2.15 se obtienen los valores máximos de las reacciones, los cuales serán utilizados para realizar el análisis de resistencia de las piezas de la silla diseñada. Se obtiene el valor máximo de R2 siendo 1176 N, R1 con 619 N y, de ambos casos, el mayor valor para R4 es 687 N.

## 2.2. Modelamiento 3D del sistema de posicionamiento bípedo y la estructura de soporte de la silla.

En esta sección se describen y señalan las partes del sistema de posicionamiento bípedo y de la estructura de la silla, así como su ubicación, características importantes y su función. Empezando por el sistema móvil de la silla, el cual se encarga de realizar el movimiento necesario para simular la posición bípeda del usuario. Tal como se puede observar en la Figura 2.16 y 2.17, se muestra el sistema de barras que se encargan de inclinar el asiento y a su vez mantener el respaldo en posición vertical durante todo momento.



Fig. 2.16: Sistema de movimiento para lograr el bipedismo de la silla en la posición sentada (izquierda) y bípeda (derecha).



Fig. 2.17: Posición sentada y bípeda del sistema móvil de la silla en vista lateral.

Como componentes principales se utilizaron tubos de  $\frac{3}{4}$ " y  $\frac{1}{2}$ " de acero ASTM A500 y para las demás piezas mecanizadas de acero ASTM A36, con la finalidad de que sean fáciles de obtener, maquinarse y ajustar a las medidas y posiciones necesarias que requiera el diseño. Como se puede observar en la Figura 2.16, existen dos barras debajo de la estructura del asiento, dobladas a un ángulo de  $150^\circ$ , las cuales se encargan de realizar el movimiento necesario para mantener el respaldo con la misma inclinación de  $10^\circ$  durante todo el movimiento.

En la Figura 2.17 se muestran las dos posiciones en las que logra operar el sistema de posicionamiento bípedo, siendo el máximo recorrido permitido por el diseño de  $60^\circ$  desde la posición sentada. De esta forma el usuario logra levantarse, pero aún se mantiene una inclinación que permite a parte del peso del usuario apoyarse sobre el asiento y así disminuir la fuerza que deben resistir los soportes que mantendrán a la persona que reposa sobre la silla.

También se realizó el diseño de la estructura de soporte de la silla, tal como se puede observar en la Figura 2.18. En la estructura se ubican los distintos soportes para determinadas partes del cuerpo del usuario como los pies y pantorrillas, al igual que las piezas involucradas en el movimiento o la caja que contendrá los componentes electrónicos que dirigirán el movimiento.

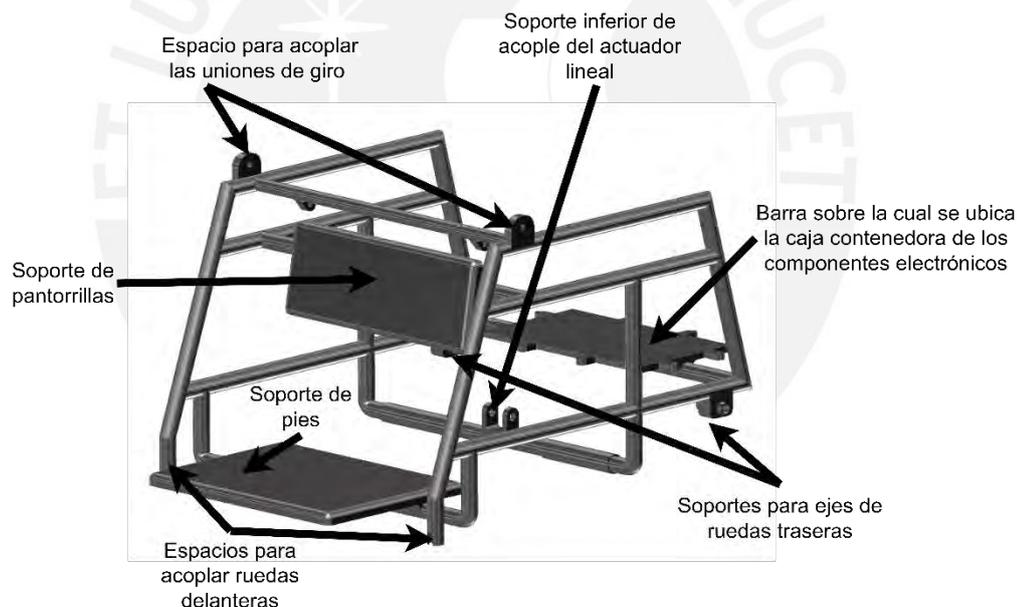


Fig. 2.18: Estructura de soporte de la silla de ruedas.

Finalmente, se muestra el diseño mecánico principal de la unión del sistema móvil más la estructura de soporte de la silla. En la Figura 2.19 se puede observar una vista isométrica de la silla en la posición sentada y bípeda, de la misma forma, la Figura 2.20 muestra la unión completa en las mismas posiciones desde una vista lateral.



Fig. 2.19: Vista isométrica del diseño mecánico principal de la silla de ruedas en posición sentada y bípeda.

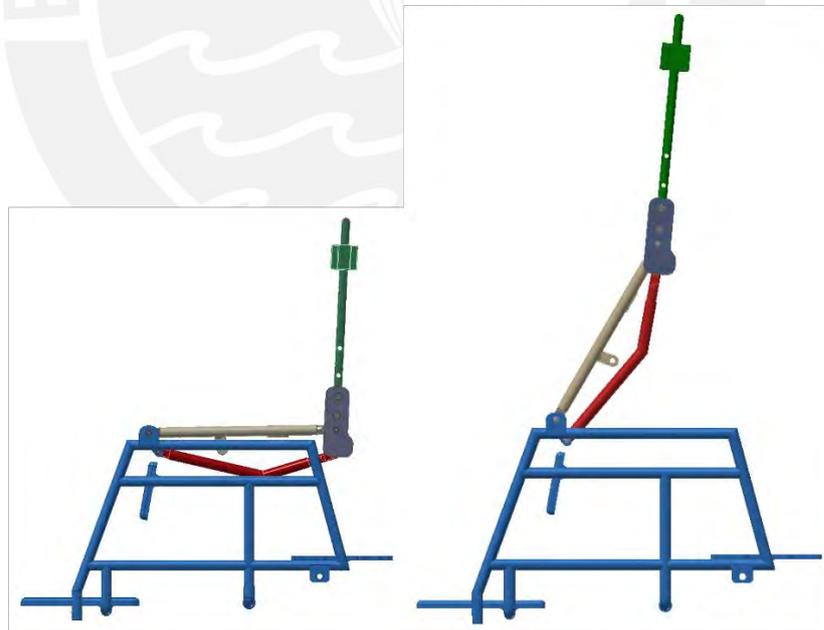


Fig. 2.20: Vista lateral del diseño mecánico principal de la silla de ruedas en posición sentada y bípeda.

### 2.3. Definición de uniones móviles del diseño.

En el caso de las uniones móviles se presenta el siguiente conjunto en la Figura 2.21, el cual cuenta con un eje que posee dos extremos roscados de acuerdo con la longitud requerida para que encaje en las piezas. El eje diseñado alinea los dos agujeros de las barras, los que poseen casquillos (bronce) que entran en contacto con el eje y permiten el giro. Además, entre las barras se pone un anillo de separación (bronce) para reducir el rozamiento y, por lo tanto, disminuir el desgaste de material. La unión es asegurada con arandelas y tuercas en ambos extremos.

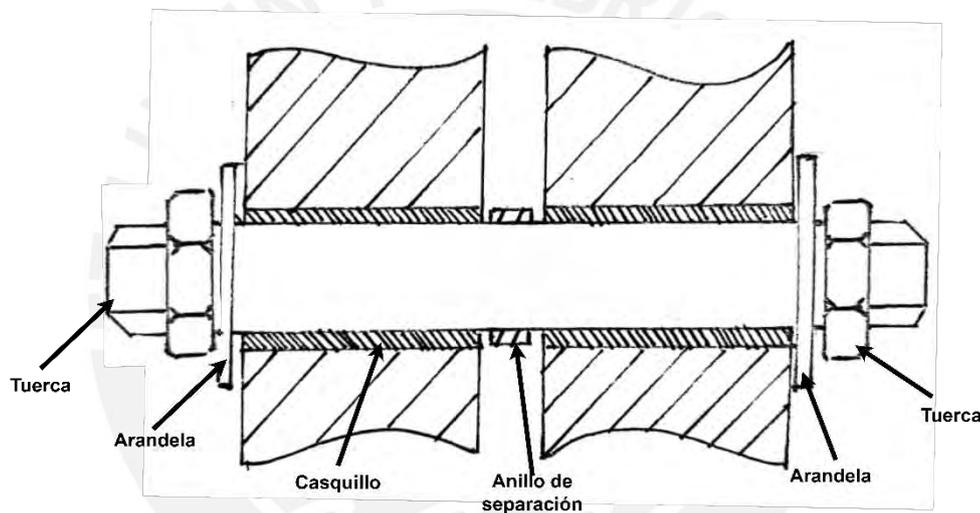


Fig. 2.21: Armado para uniones móviles.

### 2.4. Análisis de esfuerzos y resistencias en el diseño

En esta sección se analizará la resistencia de las partes cruciales del diseño de la silla, las cuales son las que soportarán la mayor cantidad de la carga durante todo el funcionamiento del sistema. Se revisarán principalmente tres secciones, el espaldar, el soporte superior del asiento donde se sentará la persona y la estructura de soporte de la silla. Para realizar las simulaciones se utilizó en todos los casos el software Autodesk Inventor, y con las mismas propiedades del material designado en un inicio.

Empezando por el espaldar de la silla, la Figura 2.22 muestra el DCL de la fuerza aplicada en el análisis de esfuerzos. Considerando que el valor máximo de la fuerza resultante en

el espaldar de la silla se distribuye equitativamente entre ambos tubos del marco, el valor de la fuerza en el tubo resulta de 310 N. Entonces, realizando el análisis de esfuerzos que se muestra en la Figura 2.23, para un acero ASTM A500 con resistencia máxima de 270 MPa, la simulación da un esfuerzo máximo de 131.5 MPa y un factor de seguridad de 2.05 por lo que el resultado es aceptable al ser mayor que 1.

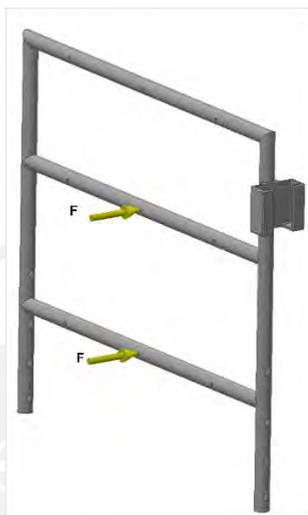


Fig. 2.22: DCL del espaldar de la silla.

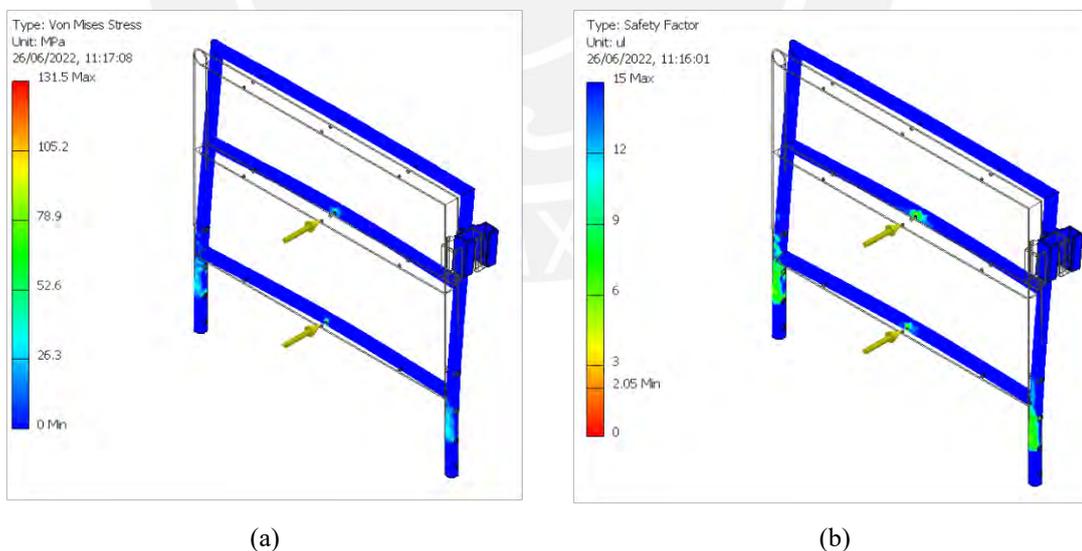


Fig. 2.23: Datos de esfuerzo (a) y factor de seguridad (b) obtenidos de la simulación en el respaldar.

En la Figura 2.24 se muestra el DCL del soporte del asiento para la silla, el cual está sometido a una fuerza máxima “R2”, la cual se distribuyó en tres partes iguales con un valor de 392 N en cada tubo acero ASTM A500 con una resistencia máxima de 270 MPa. Además, también está presente la fuerza ejercida por el actuador lineal ( $S = 1176$  N).

Entonces, según los resultados de las simulaciones mostradas en la Figura 2.25, el esfuerzo máximo en el soporte del asiento es de 91.16 MPa. Con ello, se obtiene un factor de seguridad mínimo de 2.96, por lo que al ser mayor que 1, el componente satisface las condiciones de carga requeridos.

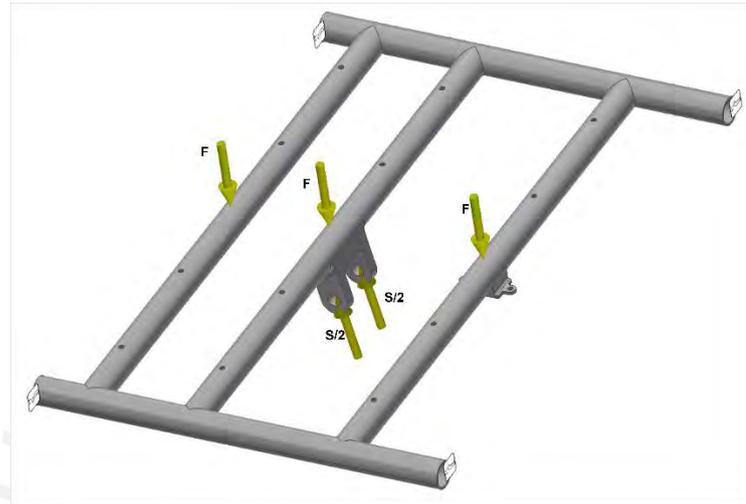


Fig. 2.24: DCL del soporte del asiento para la silla.

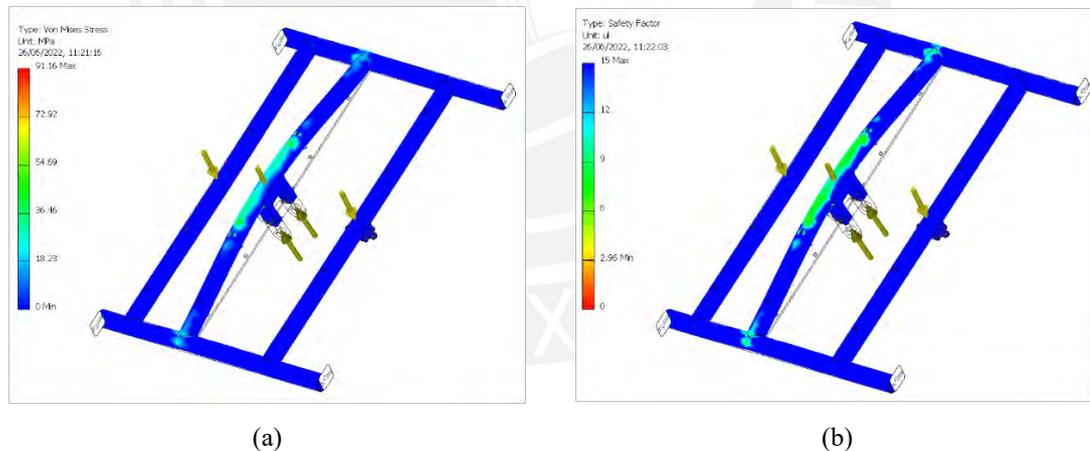


Fig. 2.25: Datos de esfuerzo (a) y valor de seguridad (b) obtenidos de la simulación en el soporte del asiento.

Finalmente, se puede observar, en la Figura 2.26, el DCL de la estructura de soporte de la silla, la cual está sometida una fuerza  $R = 687$  N (máximo valor que toma R4) en el soporte de pies y una fuerza  $S = 1176$  N en el soporte inferior que sostiene el actuador lineal y, al igual que en los casos anteriores, se utiliza como material el acero ASTM A500 con una resistencia máxima de 270 MPa. De esta simulación se puede observar, en la Figura 2.27, que la estructura soporte posee un esfuerzo máximo de 96.04 MPa y un factor de seguridad de 2.8. De este análisis se puede concluir que la geometría y el

material seleccionados cumplen con su funcionamiento mientras son sometidos a las cargas necesarias.

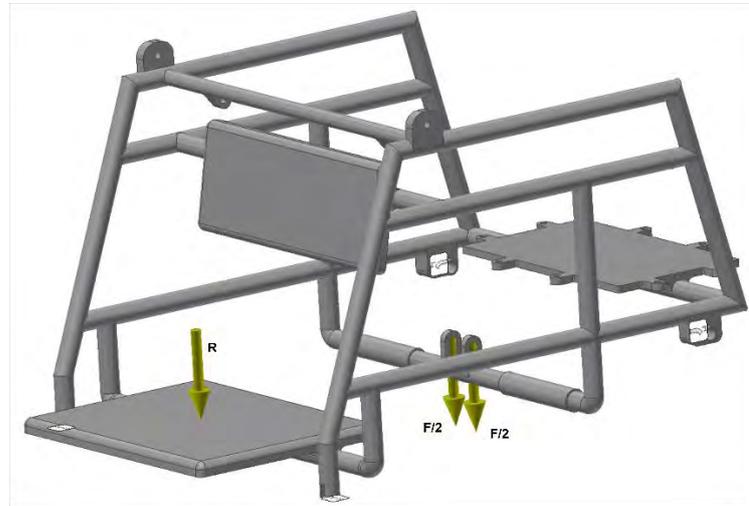
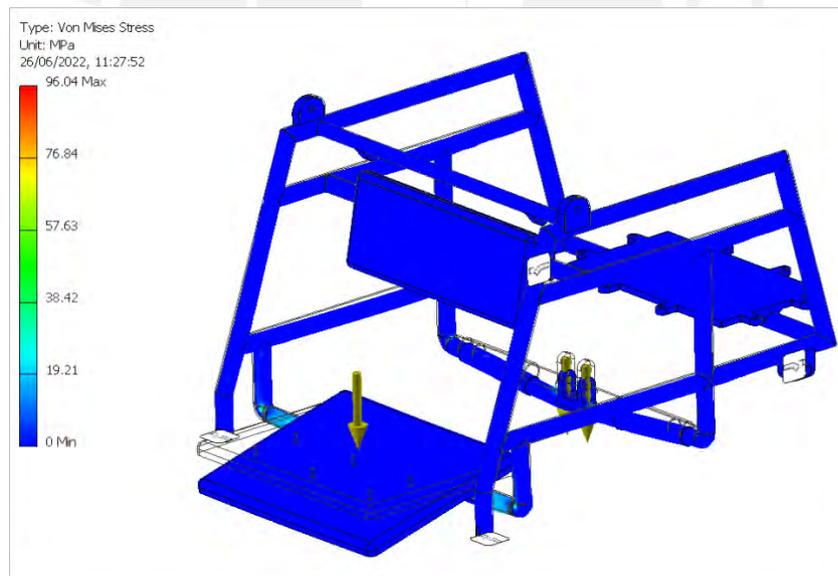
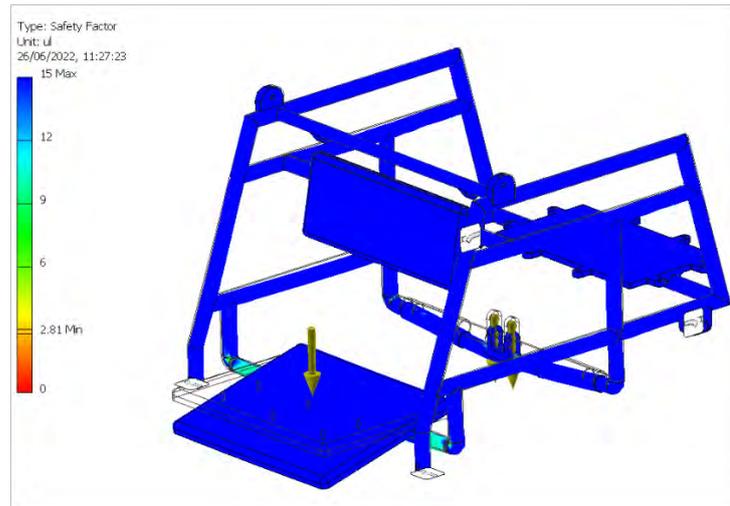


Fig. 2.26: DCL de la estructura de soporte de la silla.



(a)



(b)

Fig. 2.27: Datos de esfuerzo (a) y valor de seguridad (b) obtenidos de la simulación en la estructura de soporte de la silla.

## 2.5. Selección del actuador lineal

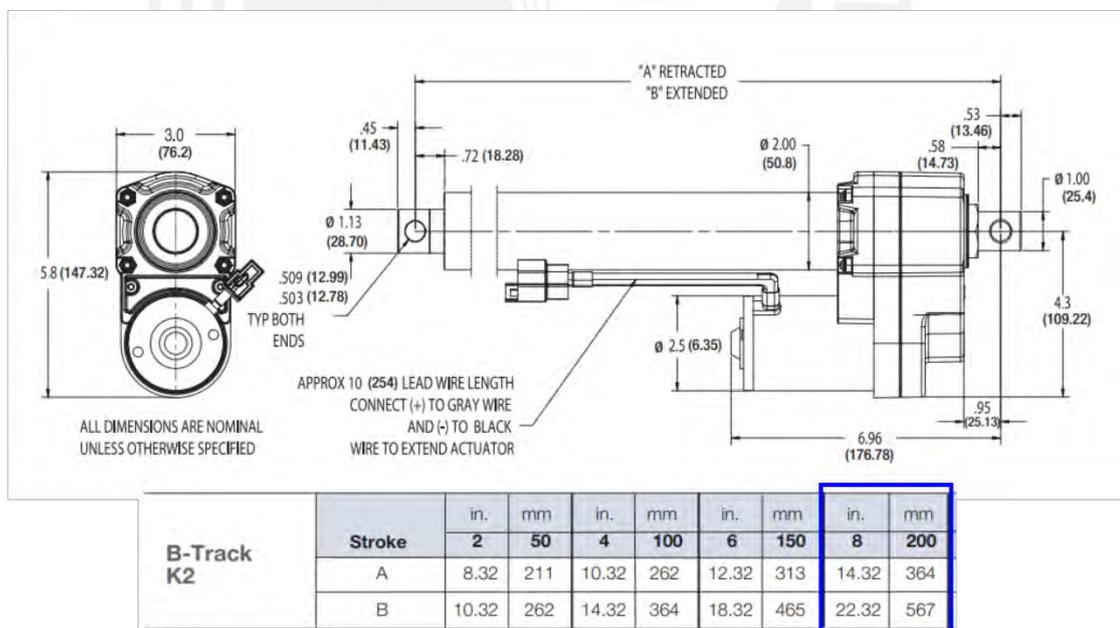
Una vez comprobado que el material y la geometría de las estructuras resiste la carga aplicada sobre las mismas, se procede a realizar la selección del actuador lineal que soportará el peso del usuario en la posición sentada, bípeda y también realizará el movimiento. Se empieza por definir los requisitos que debe cumplir, en el caso de las fuerzas se asume que el actuador tendrá que levantar por completo los 85kg del usuario más el peso del sistema móvil de la silla que, calculándolo con el programa Inventor, se obtiene un valor aproximado de 12kg, por lo que el actuador lineal tendrá que generar una fuerza mínima aproximada de 952 N, y asumiendo un factor de seguridad de 2 se buscan actuadores que ejerzan como mínimo 2000 N.

En el caso de los requisitos geométricos, la carrera mínima más la longitud del mismo actuador tendrá que estar entre el rango de 28 a 37 cm, ya que esta es la distancia entre el soporte inferior y superior de la silla en la posición bípeda (distancia la cual puede ser ajustada de acuerdo con el actuador seleccionado), y el actuador también tiene que encontrarse en funcionamiento mientras que la persona permanezca sentada. Además, también debe tener una longitud de carrera con valor mínimo igual a 20 cm, ya que la distancia total que debe recorrer para lograr el cambio de posición desde sentado hasta bípedo es de 17 cm. Por último, se tiene como último requisito el hecho de que funcione con un voltaje de 24 VDC. Realizando una búsqueda de modelos comercializados, se comparan tres opciones en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5. Comparación de los distintos actuadores lineales candidatos.

CRITERIOS	 K2G10-24V-BR-08- WARNER LINEAR	 LA28-LINAK	 FA-1000-L-24-6- FIRGELLI
Fuerza (N)	2670	2500	4500
Recorrido (cm)	20	10 - 40	15 - 48
Voltaje (V)	24	24	24

Finalmente, se elige la primera opción, siendo el actuador lineal K2G10 de la empresa Warner Linear, debido a que, además de cumplir con los requisitos mencionados previamente, tiene una forma más compacta y simple respecto de las otras alternativas. En la Figura 2.28 se muestra una imagen de la hoja de datos del actuador elegido, donde se detallan sus dimensiones en el estado retraído y extendido cierto recorrido.

Fig. 2.28: Dimensiones del actuador lineal elegido K2G10<sup>7</sup>.

<sup>7</sup> Linear Actuator: 600 lb Rated Load, 8 in Stroke Lg, 60 in/min, 50% Duty Cycle, 24V DC. <https://www.grainger.com/product/WARNER-LINEAR-Linear-Actuator-600-lb-Rated-18G653>

## **CAPÍTULO 3**

### **DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL**

En el presente capítulo se describe el esquema general de funcionamiento de la silla, así como la lógica de control expresado en un diagrama de bloques. También se muestra y describe el circuito que se utilizará, la selección de los componentes electrónicos necesarios como los sensores, controlador, semiconductores, etc. Y se concluye con la elección de la batería a utilizar, juntos con los cálculos necesarios para ello.

#### **3.1. Esquema general de funcionamiento del diseño de la silla**

La lógica de control que sigue la silla no presenta gran complejidad, ya que solo se cuenta con dos botones que inician el cambio de posición y un botón de emergencia que detiene todo el sistema. En la Figura 3.1 se puede observar el diagrama de flujo que muestra a mayor detalle el funcionamiento de la silla, el cual sigue una lectura e iteraciones constantes para determinar si se logró alcanzar la posición deseada. En esta sección también se muestra la lógica que seguirá el microcontrolador cuando haya sido presionado alguno de los botones para iniciar el movimiento. Tal como se puede observar en la Figura 3.2, el diagrama de bloques describe la lógica de control que se seguirá para guiar el movimiento.

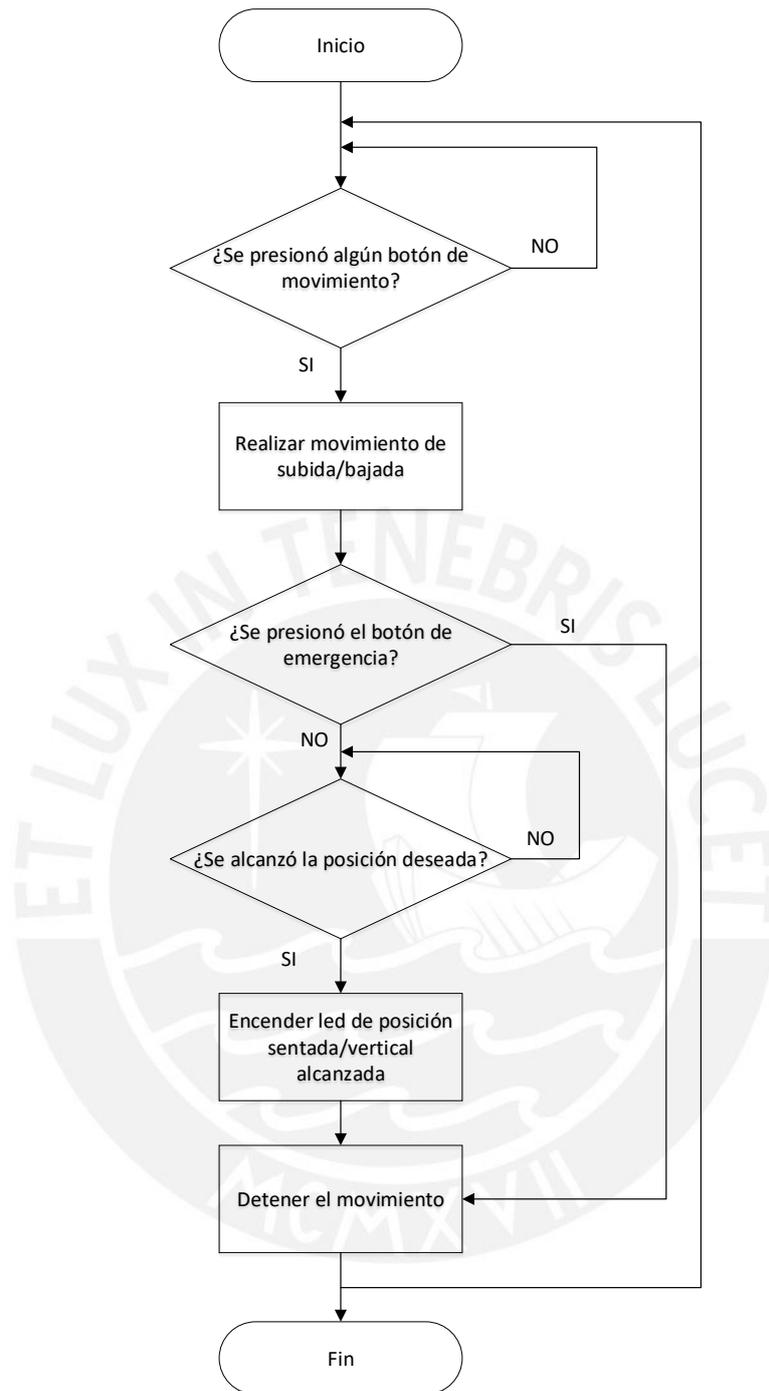


Fig. 3.1: Diagrama de flujo del movimiento de la silla. [Carretero, 2022]

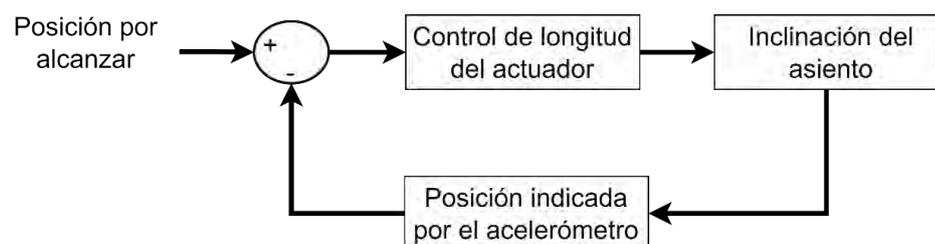


Fig. 3.2: Diagrama de bloques de la lógica de control.

### 3.2 Circuito diseñado y selección de los componentes

En la Figura 3.3 se muestran las conexiones del circuito del sistema. Todos los componentes son alimentados por una batería de litio de 24 V, la cual se conecta a una fuente conmutable que envía la energía al voltaje requerido de cada componente, siendo 24 V para el actuador y 12 V para el microcontrolador. Este último componente será el encargado de energizar el acelerómetro y los leds.

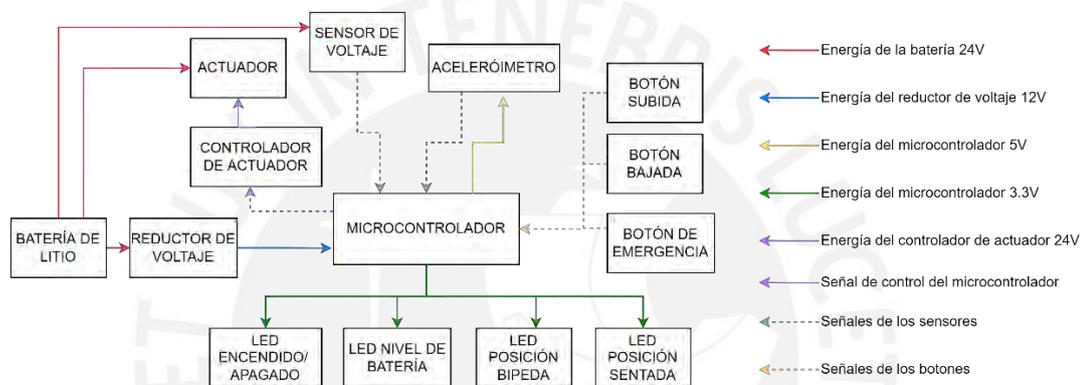


Fig. 3.3. Diagrama de bloques del sistema [Carretero, 2022].

A continuación, se detallan los componentes elegidos y sus características principales para tomar en cuenta durante el diseño.

#### - Regulador buck

Es necesario elegir un regulador buck DC DC que permita reducir el voltaje de la batería de 24V a 12V con los que funciona en el microcontrolador escogido, además de tener el valor de corriente de salida entre 1 a 3 A para no comprometer al microcontrolador. Como último criterio también debe tener una eficiencia por encima del 80-90% para evitar pérdidas de potencia. En la Tabla 3.1 se pueden observar las distintas opciones analizadas y comparadas.

En este caso se opta por el regulador de voltaje Step Down D24V22F12 de la marca Pololu, este regulador opera con un voltaje de entrada máximo igual a 36V, lo que es suficiente porque se tienen 24 V de entrada, y tiene en la salida los 12V necesarios para energizar el microcontrolador. Además, su corriente de salida se encuentra dentro

del rango mencionado previamente y posee una eficiencia de 85 % a 95%, lo que lo convierte en una opción aceptable.

Tabla 3.1: Comparación de los reguladores Buck candidatos.

CRITERIOS	 Pololu D24V105F12	 Pololu S18V20F12	 Pololu D24V22F12
Voltaje máximo de entrada (V)	40	32	36
Voltaje de salida (V)	12	12	12
Corriente de salida (A)	15	2	1.9
Eficiencia	80-95	80-90	85-95

#### - Microcontrolador

En la Tabla 3.2 se muestran los microcontroladores candidatos para su elección, donde uno de sus requisitos es que sea alimentado con un máximo de 12V. Otra condición que sus pines tengan un voltaje de salida entre 3-5V aproximadamente para operar los diferentes componentes del sistema y también debe ser un modelo muy usado en el mercado. Como microcontrolador se escogió el Arduino Uno (ver Figura 3.5) debido a que es un modelo altamente comercial y común en el mercado, además existen librerías y códigos que permiten operar el acelerómetro escogido, al igual que actuadores lineales. Tiene un voltaje de entrada de 7-12V, valor el cual coincide con la salida del regulador mencionado previamente, también posee pines con un voltaje de salida de 3.3V y 5V, siendo estos los valores con los que opera el acelerómetro elegido.

Tabla 3.2: Comparación de los microcontroladores candidatos.

CRITERIOS	 Arduino Uno	 Raspberry Pi 4
Voltaje de entrada (V)	7 - 12	5
Voltaje de salida de los pines (V)	3.3 - 5	3.3
Corriente de salida de los pines (mA)	40	2

- Controlador para el actuador

De acuerdo con las especificaciones del actuador escogido, para que este pueda extenderse y retraerse, es necesario aplicar un voltaje de 24V entre dos pines específicos. Este mismo voltaje debe ser invertido para cambiar la dirección del movimiento, por ello, se necesita de un controlador que permita alternar esa cantidad de tensión, ya que los pines del microcontrolador no proporcionan la energía suficiente. En la Tabla 3.3 se comparan los controladores candidatos que cumplan como requisito 24V de alimentación, una tensión en el pin de control de 3V-5V y una corriente de salida mínima de 7A, ya que es el valor que requiere el actuador según su hoja de datos. En este caso se eligió el modelo DYKB debido a que además de cumplir con los requisitos, puede otorgar hasta 16 A al actuador sin necesidad de un disipador, a diferencia del modelo competidor que lo requiere para corrientes mayores a 6A.

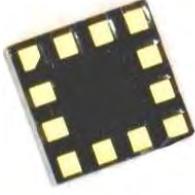
Tabla 3.3: Comparación de los controladores candidatos.

CRITERIOS	 VNH5019	 DYKB 24VDC
Voltaje máximo de alimentación (V)	24	6.5-28
Voltaje de entrada de la señal de control (V)	5	3-5
Corriente de salida (A)	6-12(con disipador)	16

- Acelerómetro

En la Tabla 3.4 se comparan los distintos acelerómetros candidatos para poder conocer la inclinación de la silla en todo momento. Los requisitos principales son que posea un giroscopio, que opere con un voltaje de entre 3.3V-5V y que sea fácil de obtener en el mercado. En este caso, se optó por utilizar un modelo de acelerómetro bastante común en el mercado, siendo el MPU6050. Este modelo posee un giroscopio que envía las señales de posición al microcontrolador y con esta información podrá controlar la extensión del actuador lineal. El dispositivo opera con un rango de 3V-5V, por lo que puede ser energizado por los pines del microcontrolador con el mismo voltaje de salida.

Tabla 3.4: Comparación de los acelerómetros candidatos.

CRITERIOS	 Kingduino ITG3205	 MPU6050	 MEMSIC MC3419
Voltaje de entrada (V)	2.1 – 3.6	3 – 5	1.7 – 3.6
Presenta giroscopio	Si	Si	Si

- Luces led

En el momento que el usuario requiera información como el nivel de la batería y sepa cuando la posición final ha sido alcanzada, se guiará de las luces led en el control para ello. En la Tabla 3.5 se comparan los distintos leds candidatos, los cuales tienen como requisito funcionar con 40mA como máximo, ya que es la corriente que logra brindar el microcontrolador. Para este caso se escogió el led modelo CSL0902UT1 de la marca Rohm, debido a que su corriente continua de funcionamiento se encuentra por debajo de los 40 mA necesarios como requisito.

Tabla 3.5: Comparación de los leds candidatos.

CRITERIOS	 CreeLed CLX6E-FKC	 Osram SU CULCN1.VC	 Rohm CSL0902UT1
Corriente continua (mA)	50(R) – 30(G) – 35(B)	100	35

- Pulsadores

En la Tabla 3.6 se muestra la comparación de los pulsadores candidatos para que el usuario pueda accionar el movimiento de subida, de bajada y la parada de emergencia para cortar la energía en el sistema. Como requisito se tiene que operen con 5V como máximo y con menos de 40 mA (voltaje y corriente proporcionados por el microcontrolador). Además, también se opta por escoger el que brinde la mayor vida útil posible. Se escoge el el modelo de pulsador P9L 11125 de la marca Otto, ya que

además de cumplir con los requisitos mencionados, también da la posibilidad de optar por distintos colores y que la interacción con el usuario se más interactiva.

Tabla 3.6: Comparación de los pulsadores candidatos.

CRITERIOS	 C&K NP8S2R202GE	 Otto HP3321222	 Otto P9L 111125
Régimen de voltaje CC (V)	5	0.5 – 4.5	5
Régimen de corriente (mA)	10	10	10
Vida útil (ciclos)	1000000	1000000	1000000

#### - Interruptor

En la Tabla 3.7 se muestran los distintos interruptores candidatos para la función de cerrar el circuito y conectar todo el sistema eléctrico y de control a la batería. Como principal requisito está el hecho de que deben soportar tensiones de 24V y corrientes de 7A como mínimo. En este caso se opta por usar el modelo de la marca NKK Switches debido a que tiene un mayor factor de seguridad en cuanto al voltaje y la corriente de operación.

Tabla 3.7: Comparación de los interruptores candidatos.

CRITERIOS	 Bulgin C1350AABB-602AW	 NKK Switches SW3832D/UC
Voltaje máximo de operación (V)	24	30
Corriente nominal (A)	20	30

### 3.3. Cálculo del consumo de energía y selección de batería

En la presente sección se realiza el cálculo de consumo de potencia de todos los dispositivos escogidos para el sistema electrónico, para poder tener el criterio de potencia a la hora de seleccionar la batería. En la Tabla 3.8 se detalla la lista de los componentes elegidos, al igual que la cantidad de estos y la potencia que consumen.

Tabla 3.8: Potencia consumida por componente.

COMPONENTE	CANTIDAD	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)	POTENCIA CONSUMIDA (W)	POTENCIA CONSUMIDA TOTAL(W)
Regulador Buck	1	-	-	0.890	0.890
Microcontrolador	1	0.040	12	0.480	0.480
Acelerómetro	1	0.0036	5	0.018	0.018
Luces led	4	-	-	0.087	0.348
Actuador lineal	1	7	24	168	168
<b>TOTAL</b>					<b>169.73</b>

Como se observan de la Tabla 3.8, se obtiene como consumo total 170 W aproximadamente, por lo que considerando un factor de seguridad de 1.5 se asume un consumo total de 255 W. Debido a las condiciones geométricas de la silla, se asume un uso diferente al planteado en los requisitos del trabajo previo (8 horas al día durante 3 a 5 días) y se opta por un uso de 4 horas durante un día, por lo que se busca una batería con una capacidad de 1040Wh aproximadamente. En la Tabla 3.9 se muestran las distintas opciones evaluadas para la batería del sistema, dentro de las cuales se escoge la batería de la marca KVCDY debido a que cumple con los requisitos de voltaje y capacidad. Además, viene con una placa de protección inteligente integrada, la cual la protege de sobrecargas, sobre descargas o cortocircuitos y uno de los factores más importantes es el hecho de que es la que presenta el menor volumen y peso.

Tabla 3.9: Comparación de las baterías candidatas.

CRITERIOS	 U-Power	 Seilylanka	 U-Power	 KVCDY
Voltaje de salida (V)	24	24	24	24
Capacidad (Ah)	42	42	42	42
Dimensiones (mm)	170*260*263	210*210*160	170*260*263	130*98*68
Peso (kg)	14.50	5.70	16.60	1.60

Una vez seleccionada la batería, se pueden escoger los dispositivos faltantes, siendo el sensor de voltaje, el adaptador de carga de la batería y el fusible que servirá como protección extra de la batería en caso ocurra un corto o una sobrecarga.

- Sensor de voltaje

En la Tabla 3.10 se muestran las opciones evaluadas para escoger el sensor de voltaje encargado de leer el nivel de la batería y comunicárselo al microcontrolador para que este le brinde la información al usuario. Se tiene como requisito principal que soporte un voltaje de 24V como mínimo y la menor complejidad posible en su funcionamiento. Se escogió el sensor FZ0430 ya que cumple con el requisito del voltaje de medición y presenta la mayor simpleza entre las tres opciones, teniendo solo un envío de señales analógicas.

Tabla 3.10: Comparación de los sensores de voltaje candidatos.

CRITERIOS			
	FZ0430	INA226	INA219
Voltaje de medición (V)	0-25	0-35	0-25

- Adaptador de carga de la batería

En la Tabla 3.11 se evaluaron las opciones para el adaptador de carga de la batería elegida previamente. Como requisito principal debe poder convertir la corriente de un tomacorriente de 220VAC a los 24VDC de la batería. Además, de acuerdo con los requisitos, esta debe tener una corriente de carga máxima de 5A. En este caso se escogió el adaptador de la marca FSKE debido a que, si bien ambos cumplen con los requisitos, la opción ganadora tiene una corriente de carga que no se encuentra tan cerca del valor límite que soporta la batería.

Tabla 3.11: Comparación de los adaptadores de carga candidatos.

CRITERIOS		
	FSKE	Peptel
Conversión de voltaje 220AC a 24DC	Si	Si
Corriente de carga (A)	4	5

- Fusible

En la Tabla 3.12 se muestran los distintos fusibles candidatos, los cuales tienen como función principal proteger la batería en caso de cortocircuito. Se buscó seleccionar un fusible que resista una corriente de 7.5A-8A, siendo esta la corriente que necesita todo el sistema. Al momento de seleccionar el fusible se optó por aquel que tenía menor precio, ya que ambos cumplen con el requisito de la corriente nominal y es una pieza desechable.

Tabla 3.12: Comparación de los fusibles candidatos.

CRITERIOS	 Bourns SF-1206HI800M-2	 Littelfuse 0407008.WRA
Corriente nominal (A)	8	8
Precio (S/)	3.57	2.71

### 3.4. Diseño de la caja contenedora de dispositivos electrónicos y control del usuario

En la presente sección se muestra el diseño de la caja electrónica que contiene todos los artículos escogidos previamente, con excepción del acelerómetro, el cual se ubicará en un pequeño compartimiento colocado en la silla para poder inclinarse junto con ella. Además, los pulsadores y los leds serán colocados sobre una superficie dentro del mando de control del usuario y estarán conectados mediante un cable a la caja electrónica. Todos los diseños presentados a continuación serán realizados tomando como material el plástico ABS, debido a su facilidad de obtención comercial, así como su propiedad aislante, por lo que el usuario estará lo más alejado posible de cualquier descarga eléctrica.

En la Figura 3.4 se puede observar la caja contenedora del acelerómetro en la silla, la cual se ubica en la zona inferior de una de las barras sobre las cuales se ubica el asiento, de esta manera puede inclinarse junto con este y enviar la señal al microcontrolador. En la Figura 3.5 se observa una tapa del contenedor que va junto al soporte de la barra y también se muestra el contenedor en sí, dentro de este se ubicará el acelerómetro en el espacio rodeado por las ranuras para evitar que deslice o caiga durante el movimiento. Además,

también se plantea adherir el acelerómetro a un acrílico, el cual irá adherido dentro del espacio señalado. Finalmente, en la figura también se señala el agujero del cual saldrá el cableado que conecta todos los pines utilizados por el acelerómetro a la caja de control y los agujeros donde se insertan los tornillos para ajustar la unión.

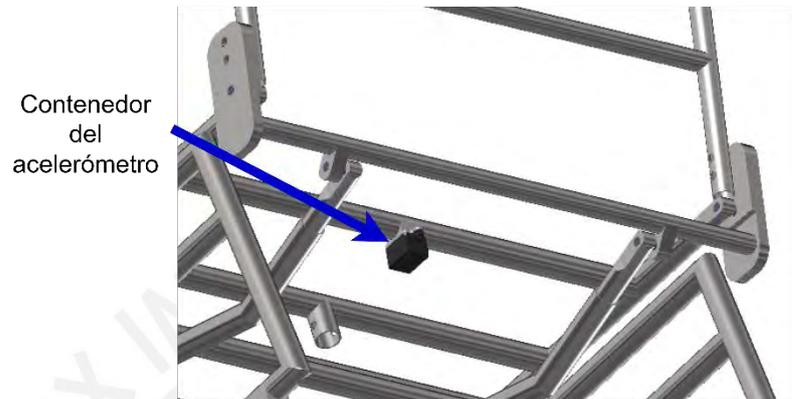


Fig. 3.4: Ubicación del contenedor del acelerómetro en la silla.



Fig. 3.5: Tapa del contenedor del acelerómetro (a) y contenedor del acelerómetro (b).

En la Figura 3.6 se muestra la ubicación de la caja electrónica, la cual contiene la batería y los demás componentes. La caja se encuentra ubicada en la barra posterior de la silla, y cuenta con un espacio para ubicar la batería, así como con agujeros para atornillar la placa que contiene los demás dispositivos electrónicos tal como se observa en la Figura 3.7. Además, la parte superior también cuenta con agujeros para conectar el cable de carga, conectar el control del usuario y el acelerómetro debajo del asiento.

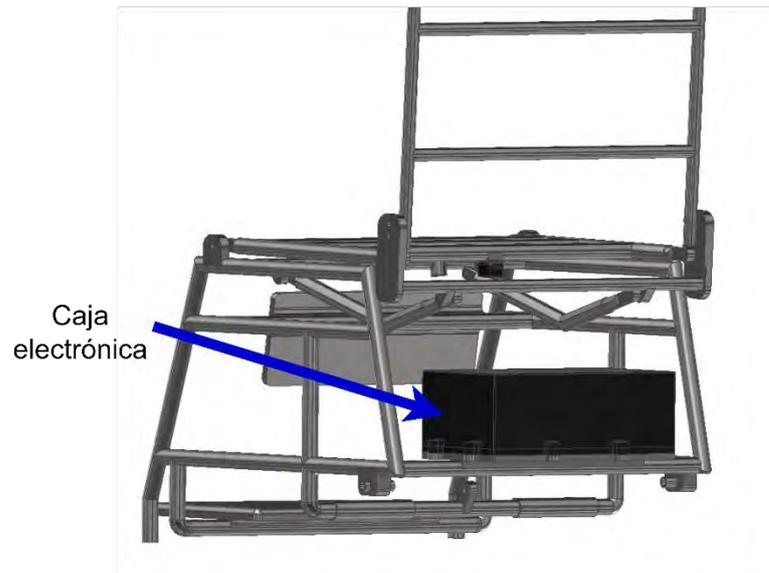


Fig. 3.6: Ubicación de la caja contenedora de los componentes electrónicos.

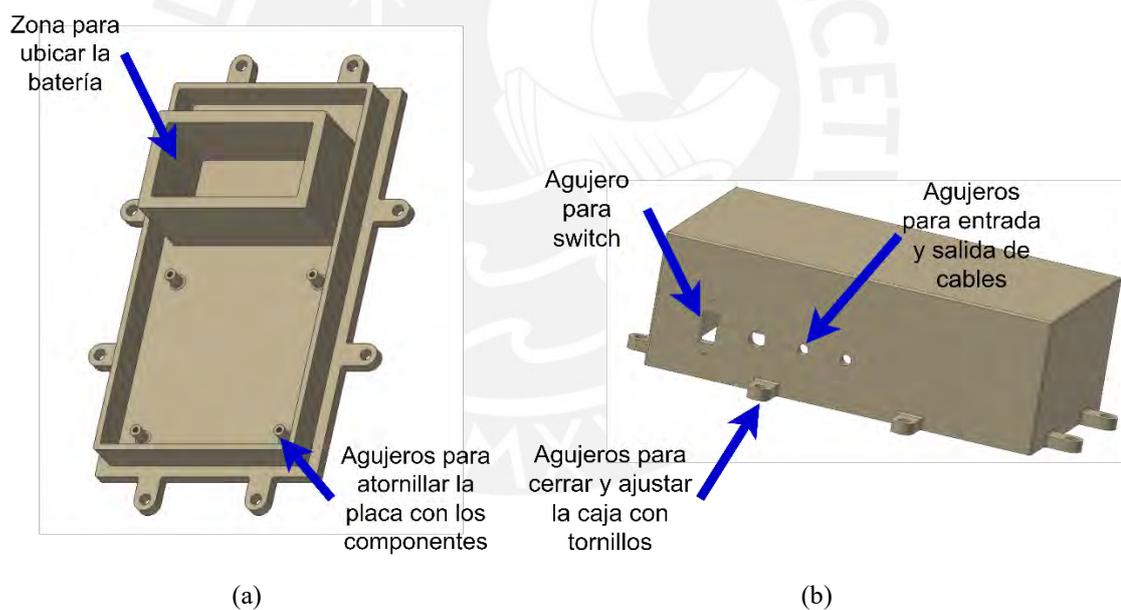


Fig. 3.7: Tapa inferior de la caja electrónica (a) y tapa superior (b).

Finalmente, en la Figura 3.8 se muestran las dos partes del mando de control que usará el usuario para dirigir el movimiento, así como la señalización del componente que estará ubicado en cada distinto agujero. Los pulsadores y leds estarán adheridos con pegamento a la parte superior del control y los cables saldrán por el agujero inferior del control. La unión de ambas partes del control será por forma y se mantendrá unida con pegamento. En la Figura 3.9 se muestran ambas separadas y la geometría por la cual encajarán.

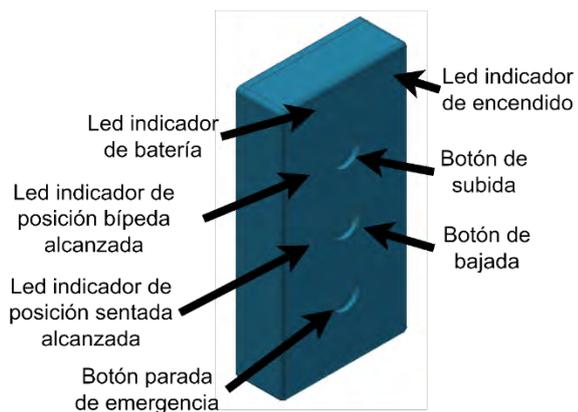


Fig. 3.8: Vista del mando de control que utilizará el usuario.

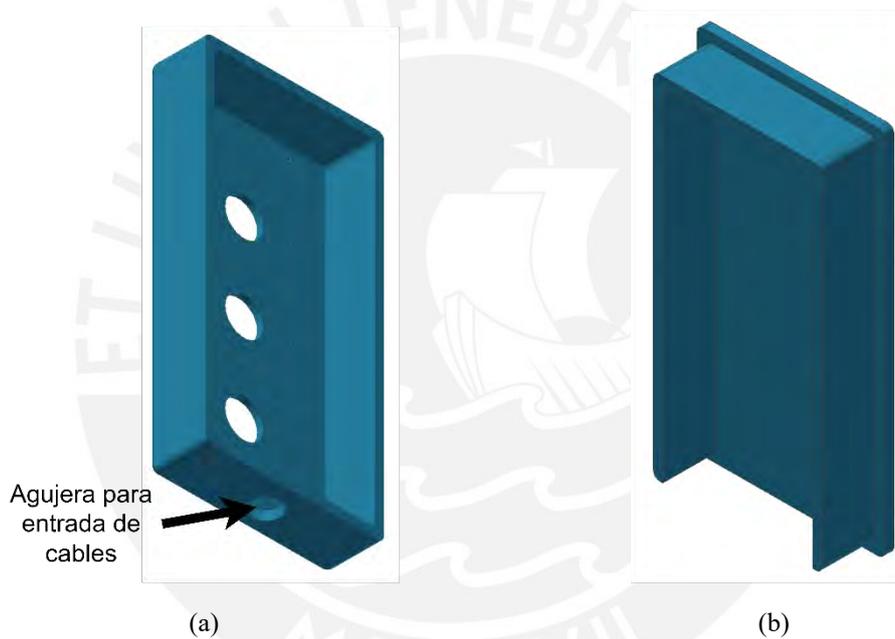


Fig. 3.7: Tapa superior (a) y tapa inferior (b) del mando de control del usuario.

## **CAPÍTULO 4**

### **INTREGACIÓN DEL SISTEMA**

En el presente capítulo se muestra el sistema integrado, donde se describen los materiales de los soportes de pies, rodillas y del pecho, así como los asientos, espaldar y soportes de brazos, así como una vista general con las ruedas y frenos. También se describe la realización de los planos mecánicos (que se ubican en el anexo A) y el diagrama esquemático de las conexiones eléctricas.

#### **4.1. Selección de las ruedas y frenos**

En las ruedas traseras se utiliza un modelo genérico y comercial de 24 pulgadas, cuyos neumáticos están hechos de poliuretano para una mayor tracción. Este modelo cuenta con una rueda interior de aluminio, del cual se apoya el usuario para auto propulsarse. En la Figura 4.1 se muestra una imagen de las ruedas posteriores a utilizar, mientras que la Figura 4.2 muestra el eje de 5/8 de pulgada que se utiliza para acoplar la rueda. Este se inserta en todo el largo del agujero de la rueda y la estructura de soporte, mientras que del otro lado es acoplado con una tuerca para evitar cualquier movimiento axial.



Fig. 4.1: Ruedas posteriores utilizadas para el diseño<sup>8</sup>.

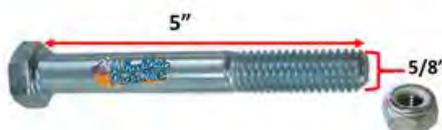


Fig. 4.2: Eje utilizado para acoplar las ruedas posteriores<sup>9</sup>.

En la Figura 4.3 se muestran las ruedas delanteras (ya ensambladas) elegidas para el diseño, estas tienen un diámetro de 5 pulgadas y una sección roscada en la parte superior (M12 x 1.75mm). Por ello, también se diseñó un adaptador que se introduce en el agujero inferior de la estructura de soporte para poder enroscar las ruedas delanteras. Este adaptador, que se muestra en la Figura 4.4, también posee un agujero roscado de M12 x 1.75 mm.



Fig. 4.3: Ruedas delanteras elegidas para el diseño<sup>10</sup>.

<sup>8</sup> RW241-HD 24" X 1 3/8" HD BARIATRIC WHEEL. SOLD AS PAIR. <https://wheelchairparts.net/rw241-hd-24-x-1-3-8-hd-bariatric-wheel-sold-as-pair/>

<sup>9</sup> 5/8" X 5" STANDARD AXLE WITH NYLOCK NUT. <https://wheelchairparts.net/5-8-x-5-standard-axle-with-nylock-nut/>

<sup>10</sup> ALUMINUM CASTER FORK (SILVER) ASSEMBLY WITH WHEELS. <https://wheelchairparts.net/aluminum-caster-fork-silver-assembly-with-wheels-choose-your-wheel-size/>



Fig. 4.4: Adaptador diseñado para ensamblar las ruedas delanteras al diseño.

## 4.2. Frenos y reposabrazos

Se seleccionan frenos manuales genéricos para la silla, los cuales son desmontables y se adaptan a las tuberías del diseño realizado, en la Figura 4.5 se muestran los frenos a utilizar. Además, se escogieron almohadillas para los reposabrazos, las cuales vienen con sus propios tornillos, por lo que estas se ubican en un tubo de 1/2 de pulgada que sirve como soporte. La Figura 4.6 muestra las almohadillas seleccionadas.



Figura 4.5: Freno manual escogido para el diseño<sup>11</sup>.



Figura 4.6: Almohadillas escogidas para el reposabrazos del diseño<sup>12</sup>.

<sup>11</sup> WL201- BLACK ALUMINUM STYLE WHEEL LOCK. <https://wheelchairparts.net/wl201-black-aluminum-style-wheel-lock-left-size-w-clamp/>

<sup>12</sup> Healthline Reposabrazos acolchados para sillas de ruedas, par de vinilo, almohadillas universales de repuesto para brazo de escritorio de 10 pies, color negro. <https://www.amazon.com/-/es/Healthline-Reposabrazos-acolchados-almohadillas-universales/dp/B008ARRRD8>

### 4.3. Materiales para espaldar y asiento

El asiento y espaldar son fabricados a partir de una tabla de fibras de madera enchapada con agujeros para atornillarla y ajustarla con la estructura. Luego se usa cojín de tapicería en los asientos para la comodidad del usuario y, finalmente, se recubre todo con cuero sintético que se mantiene en su lugar con grapas colocadas en la zona posterior del asiento y espaldar. La Figura 4.7 muestra los tres materiales a utilizar para el asiento y espaldar.



Fig. 4.7: Cuero sintético, cojín de tapicería y tablas de maderas para la fabricación del respaldar y asiento<sup>13</sup>.

Finalmente, para los soportes que mantienen al usuario sujetado a la silla se usa velcro cosido a piezas de tela, el cual se ajusta en la parte posterior del espaldar para sujetar el torso. También se ajusta detrás del soporte de rodillas y por debajo del soporte de pies. En la Figura 4.8 se muestra la lámina de velcro a utilizar.



Figura 4.8: Velcro para ajuste de soportes del usuario<sup>14</sup>.

<sup>13</sup> Cuero sintético pvc. <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Very-cheap-price-0-6mm-Nappa-62458341954.html>. GoTo Foam cojín de tapicería. [https://www.amazon.com/-/es/Coj%C3%ADn-tapicer%C3%ADa-pulgada-pulgadas-ancho/dp/B07S71JF3Z/ref=zg\\_bs\\_8090991011\\_7/137-8811553-2882833?pd\\_rd\\_i=B07S5XPQ19&th=1](https://www.amazon.com/-/es/Coj%C3%ADn-tapicer%C3%ADa-pulgada-pulgadas-ancho/dp/B07S71JF3Z/ref=zg_bs_8090991011_7/137-8811553-2882833?pd_rd_i=B07S5XPQ19&th=1). Triplay tipo Lupuna. <https://www.sodimac.com.pe/sodimac-pe/product/2626314/triplay-tipo-lupuna-6mm-122x244m/2626314/?queryId=7aa3b98a-5d98-407a-b4a6-e48bebbba3bfc>

<sup>14</sup> Sistema de sujeción y enganche nylon. <https://n9.cl/4wo6s>

#### 4.4. Sistema integrado

En la Figura 4.9 se muestra una vista isométrica del de la silla de ruedas para posicionamiento bípedo ambas posiciones (silla y bípedo). Asimismo, se puede observar la posición de los soportes del usuario, reposabrazos, asiento y respaldo. En la Figura 4.10 se tiene una vista lateral del diseño donde se ve el cambio de posición junto con el actuador lineal. Finalmente, la Figura 4.11 muestra una vista posterior en ambas posiciones de uso, donde se puede ver la caja electrónica, la caja del acelerómetro y las uniones del actuador.

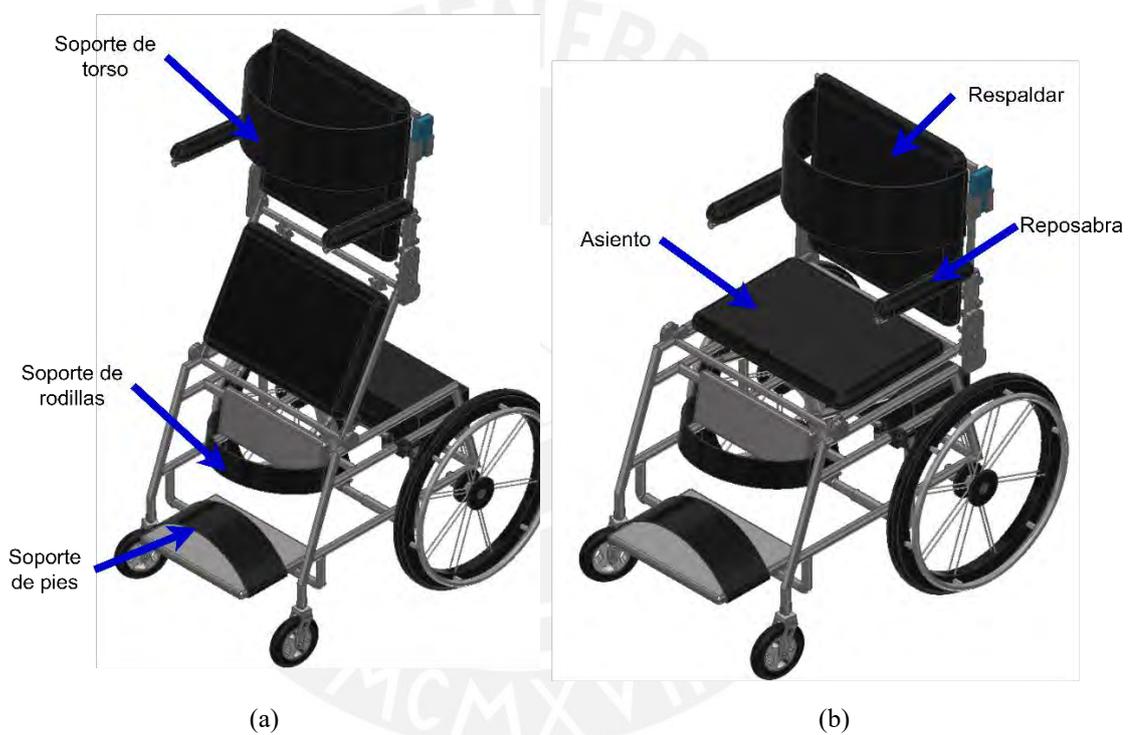


Fig. 4.9: Vista isométrica del sistema integrado en posición bípeda (a) y sentada (b).

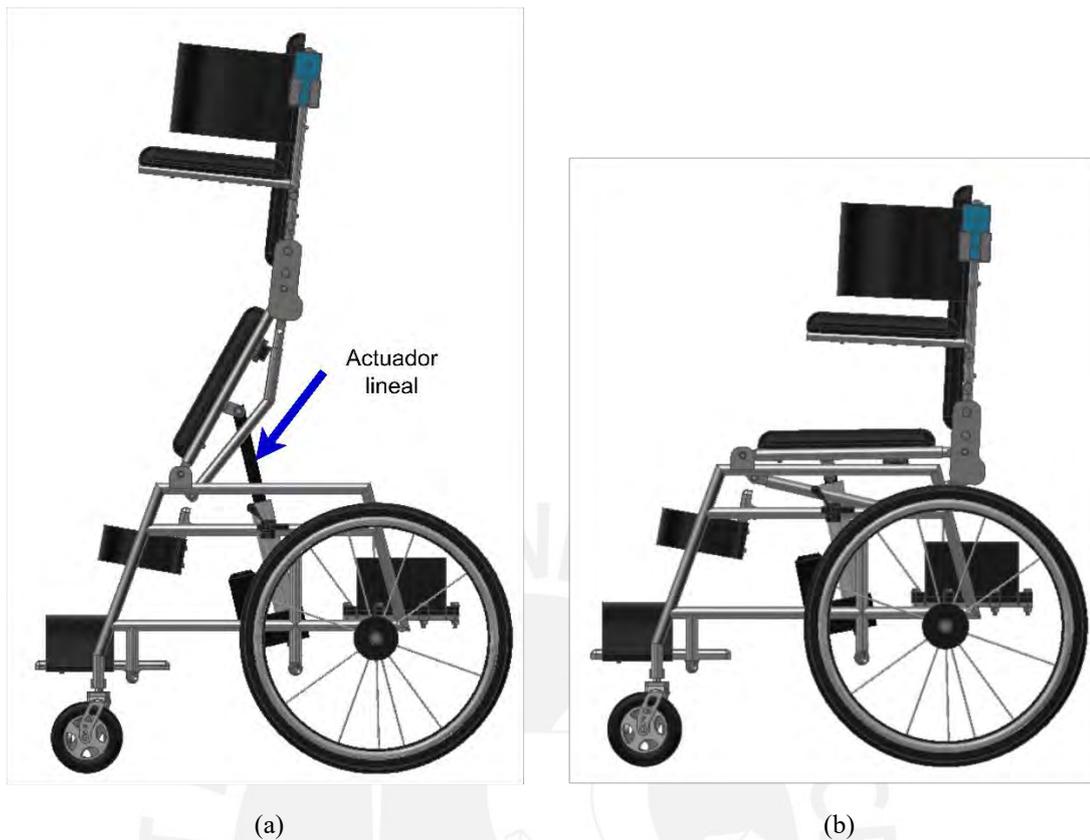


Fig. 4.10: Vista lateral del sistema integrado en posición bípeda(a) y sentada (b).

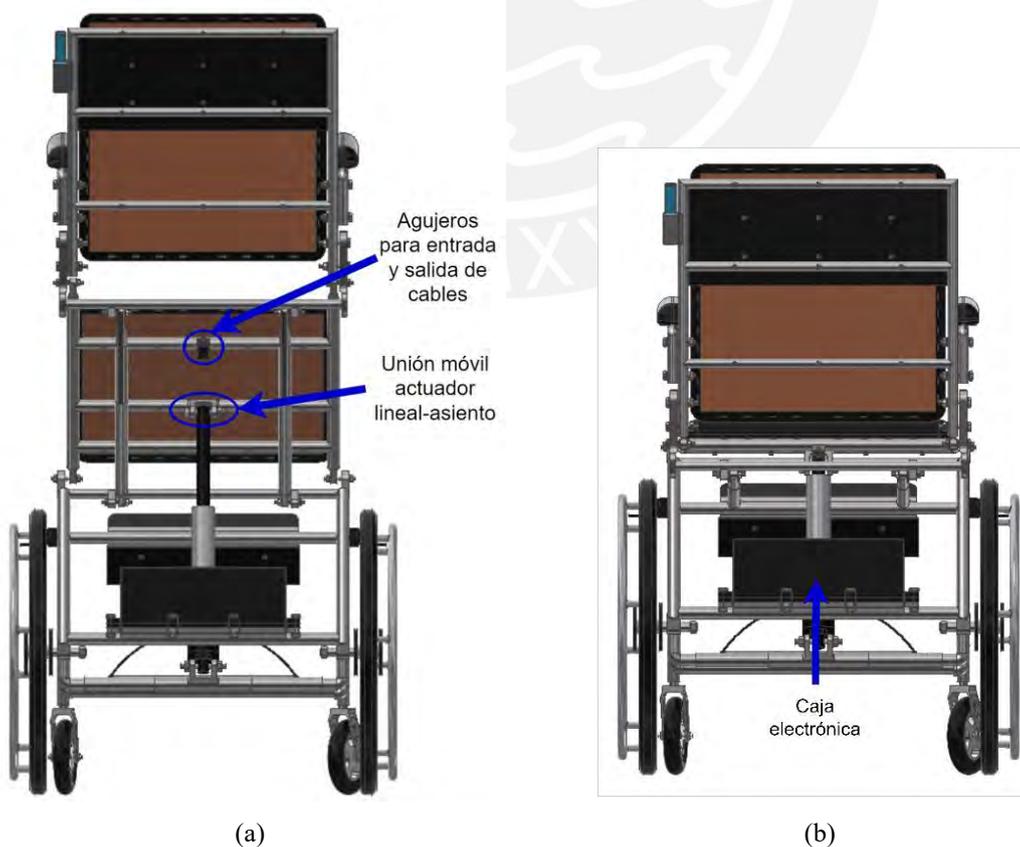


Fig. 4.11: Vista posterior del sistema integrado en posición bípeda (a) y sentada (b).

#### 4.5. Planos mecánicos y diagrama esquemático

El diseño de la silla de ruedas cuenta con los planos de ensamble y despiece para la estructura de la silla, la caja que contiene los componentes electrónicos, el contenedor del acelerómetro y el mando de control del usuario (Anexo A). En la Tabla 4.1 se muestra el listado de los planos mecánicos donde cada uno tiene una nomenclatura específica para identificarlos. Esta inicia con el código ES o DE para indicar si es ensamble o despiece respectivamente y SC para indicar el diagrama esquemático de conexiones, seguido del formato de la hoja y los dos últimos dígitos indican el número del plano. El siguiente ejemplo permite explicar la nomenclatura:

Plano DE-A2-03:

- DE: Plano de despiece
- A2: Formato de hoja A2 según norma ISO 5457
- 03: Plano número 03

Tabla 4.1: Lista de planos.

NOMBRE	NOMENCLATURA
Ensamble Disposición General	ES-2A0-01
Ensamble Silla – Bípodo	ES-2A0-02
Estructura de Soporte	DE-A0-01
Acople para Ruedas Delanteras	DE-A4-02
Acople para Ejes Móviles	DE-A3-03
Tubo Soporte Inferior	DE-A3-04
Ejes - Anillo Espaciador	DE-A3-05
Tubo Soporte Posterior	DE-A3-06
Soporte de Asiento	DE-A3-07
Unión Posterior Espaldar-Asiento	DE-A3-08
Marco de Respaldar	DE-A3-09
Apoyo Reposabrazos	DE-A3-10
Tablas Asiento-Espaldar	DE-A1-11
Soportes	DE-A0-12
Caja Electrónica	DE-A0-13
Caja Acelerómetro	DE-A3-14
Mando de Control	DE-A3-15
Diagrama Esquemático de Conexiones	SC-A4-01

## CAPÍTULO 5

### ESTIMACIÓN DE COSTOS

En el este último capítulo se realizará la estimación de costos de la silla de ruedas, se mencionan los costos de diseño, costos de los componentes electrónicos y materiales necesarios para toda conexión electrónica. Luego se estiman los costos de los materiales, de la fabricación y, finalmente, el costo final total del sistema.

#### 5.1. Costos de diseño

El tiempo y trabajo dedicado para el diseño de la silla de ruedas junto con el mecanismo genera un costo consigo, siendo el costo por el desarrollo de la ingeniería y la supervisión de este. Para ello se estima una duración del desarrollo en 8 horas al día por 5 días a la semana durante 7 semanas y una supervisión de 4 horas a la semana. También se considera una remuneración de S/50/h para el diseño y S/100/h para la supervisión. Teniendo en cuenta los factores mencionados previamente, se estima el costo total de diseño en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Estimación de costos de diseño.

Trabajo	Costo por hora (S/)	Duración (h)	Costo del trabajo (S/)
Desarrollo	50	280	14,000.00
Supervisión	100	32	3,200.00
<b>Costo de diseño</b>			<b>17,200.00</b>

## 5.2. Costos de componentes utilizados para el sistema electrónico

En esta sección se estima el costo de los dispositivos eléctricos y electrónicos, estos incluyen el costo de envío en los casos que requieran ser comprados por importación. La tasa de cambio para los dólares y euros será tomada como referencia de la Superintendencia de Banca, Seguros y AFP del Perú, por lo que se usa el valor de S/3.77 por dólar y S/3.92 por euro<sup>15</sup>. En la Tabla 5.2 se muestra la estimación de costos de los componentes.

Tabla 5.2: Estimación de costos de componentes

Componente	Cantidad	Precio unitario (S/)	Costo (S/)
Actuador Linear Warner Linear K2G10-24V-BR-08	1	3,603.06	3,603.06
Regulador de voltaje Pololu Step Down D24V22F12	1	184.73	184.73
Microcontrolador Arduino Uno	1	180.00	180.00
Módulo de alta potencia H DYKB	1	285.00	285.00
Acelerómetro MPU6050	1	18.00	18.00
Luces led Rohm CSL0902UT1	4	37.90	151.60
Pulsadores Otto P9L 111125	3	92.00	276.00
Interruptor NKK Switches SW3832D/UC	1	571.53	571.53
Batería de iones de litio 24V KVCDY	1	4,200.00	4,200.00
Sensor de voltaje FZ0430	1	20.00	20.00
Fuente de alimentación universal FSKE	1	196.00	196.00
Fusible Littelfuse 0407008.WRA	1	263.90	263.90
Cables espiralados	1	226.20	226.20
Plancha de acrílico 40x30x3 mm	1	25.00	25.00
<b>Costo total de componentes</b>			<b>10,201.03</b>

## 5.3. Costos de pernería y componentes de la silla

En esta parte se calcula el costo de los tornillos, tuercas y arandelas necesarios para armar la silla, además, también se incluye el costo de los elementos de la silla que serán comprados a terceros, como las ruedas posteriores, las ruedas delanteras, los frenos y las almohadillas de los reposabrazos. Al igual que en la sección anterior y en las siguientes, el tipo de cambio para los dólares y euros se mantiene en caso de los productos importados. La Tabla 5.3 muestra el listado de los costos de pernería y componentes para la silla.

<sup>15</sup> Valores tomados el día 11/06/2022.  
[https://www.sbs.gob.pe/app/pp/sistip\\_portal/paginas/publicacion/tipocambiopromedio.aspx](https://www.sbs.gob.pe/app/pp/sistip_portal/paginas/publicacion/tipocambiopromedio.aspx)

Tabla 5.3: Estimación de costos de pernería y componentes de la silla.

<b>Pernería y componentes de la silla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario (S/)</b>	<b>Costo (S/)</b>
Arandela Plana M5	49	0.20	9.80
Tuerca Hexagonal M5	2	0.50	1.00
Tornillo cabeza Hexagonal M5x10	6	0.80	4.80
Tornillo cabeza Hexagonal M5X12	12	0.85	10.20
Tornillo cabeza Hexagonal M5x20	2	1.00	2.00
Tornillo cabeza Hexagonal M5x35	21	1.20	25.20
Tornillo cabeza Hexagonal M5x50	8	1.50	12.00
Arandela Plana M8	16	0.40	6.40
Tuerca Hexagonal M8	16	1.40	22.40
Arandela Plana M10	33	0.50	16.50
Tuerca Hexagonal M10	16	3.00	48.00
Tornillo cabeza Hexagonal M10x60	8	11.40	91.20
Arandela Plana M12	4	0.70	2.80
Tuerca Hexagonal M12	4	5.49	21.96
Par de Ruedas Traseras 24"	1	1,315.73	1,315.73
Eje con tuerca para rueda trasera	2	27.33	54.67
Par de Rueda Delantera con tenedor de acople	1	524.03	524.03
Bocina SKF_PCM 081012 E	16	18.85	301.60
Par de Almohadilla reposabrazos con tornillos incluidos	1	66.00	66.00
Freno manual izquierdo y derecho	2	150.80	301.60
<b>Costo total de pernería y componentes de la silla</b>			<b>2,837.89</b>

#### 5.4. Costos de materiales

En esta sección se estiman los costos de los materiales necesarios para la fabricación de la silla, como los tubos y piezas de acero, pedazos de bronce, las tablas para los asientos o el plástico a utilizar para la caja electrónica. En la Tabla 5.4 se detalla la lista de los materiales a utilizar y sus costos asociados.

#### 5.5. Costos de manufactura

En esta sección se estiman los costos de manufactura de la silla de ruedas, donde se necesitarán procesos de torneado, taladrado, corte de tubos y madera, doblado de láminas y tubería, fresado, soldadura, costura, engrapado en madera e impresión 3D. Para estimar los costos de impresión 3D, se toman los valores estimados por Kevin Gómez [2021] en su tesis para el título de ingeniero mecatrónico, trabajo en donde también se estimaban los costos de impresión 3D de las piezas. La Tabla 5.5 muestra el listado de los procesos de manufactura con el precio que costará realizar cada uno.

Tabla 5.4: Estimación de costos de materiales.

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario (S/)</b>	<b>Costo (S/)</b>
Tubo de acero A500 GALV 3/4" x 6m	2.4	30.00	72.00
Tubo de acero A500 GALV 1/2" x 6m	1.2	25.00	30.00
Plancha de acero A36 2x6x0.010m	0.02	4,901.00	98.02
Plancha de acero A36 0.44x1x0.015m	0.09	7,917.00	712.53
Plancha de acero A36 1.2x6x0.020m	0.03	12,629.50	378.89
Barra de acero A36 30Dx6m	0.2	30.00	6.00
Barra de acero A36 15Dx6m	0.17	20.00	3.40
Barra de bronce D10x1m	0.04	75.40	3.02
Filamento ABS 1.75mm 1Kg	4	60.00	240.00
Triplay tipo Lupuna 6mm 1.22x2.44m	0.35	56.90	19.92
Cojín de tapicería 1" 24x96"	0.33	188.50	62.21
Rollo de cuero sintético 0.6mm 1.4x1m	0.5	2.45	1.23
Rollo de velcro 0.10x2m	3	117.60	352.80
<b>Costo total de materiales</b>			<b>1,980.00</b>

Tabla 5.5: Estimación de costos de manufactura.

<b>Proceso</b>	<b>Costo (S/)</b>
Torneado	520
Taladrado	275
Corte de tubos	100
Corte de madera	50
Doblado de láminas y tubería	250
Fresado	800
Soldadura	75
Costura	40
Engrapado en madera	30
Impresión 3D	882
<b>Costo total de manufactura</b>	<b>3022</b>

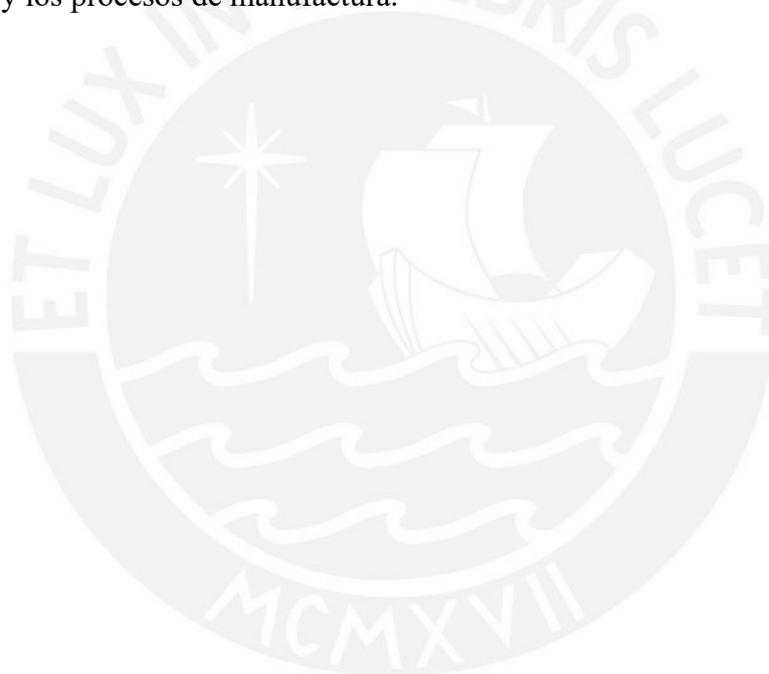
## 5.6. Costo total de fabricación de la silla de ruedas

En la presente y última sección se calcula el costo total de fabricación de la silla, considerando todos los costos estimados previamente sumado a un costo de un 10% del total como precaución debido a los diversos imprevistos que puedan ocurrir. Además, se considera el costo de ensamble de la silla, del cual se necesita 2 operarios trabajando a S/50 la hora durante un tiempo de ensamble de 5h. Para los costos logísticos como transporte de materiales y movibilidades se considera un extra de S/300, en el caso del local o espacio para ensamblarlo se considera una propiedad privada, por lo que sería cero.

Tabla 5.6: Estimación de costo total de fabricación.

Descripción	Costo (S/)
Costo Componentes Electrónicos	10,201.03
Costo Pernería y Componentes de la Silla	2,837.89
Costo Materiales	1,980.00
Costo Manufactura	3,022.00
Ensamble y Logística	800.00
Subtotal	18,840.92
Imprevistos (10%)	1,884.09
<b>Costo Total</b>	<b>20,725.00</b>

Como se mencionó en el punto 5.1, se obtuvo S/17,200 como costo de diseño y S/20,725 como costo total de fabricación. Este incluye la compra de todos los componentes, los materiales y los procesos de manufactura.



## OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

En el cálculo de las reacciones dentro de las consideraciones preliminares, las fuerzas se asumen como cargas puntuales en una posición determinada de la silla para simplificar el cálculo. A partir de ello se obtendría un dispositivo sobredimensionado, por lo que para optimizar los cálculos habría que elaborar un prototipo inicial y de esta manera mejorar el diseño al analizar una distribución de cargas.

Al momento de calcular la velocidad angular a la que se estima que se elevará la silla, se tomó solo una referencia de un modelo comercial en internet, pero este valor podría cambiarse luego de la elaboración del prototipo inicial. Esto permitiría una mejor estimación de los parámetros de funcionamiento de la silla y en consecuencia un cambio en la selección del actuador lineal.

El diseño mecánico de la estructura de la silla, si bien cumple con los requisitos de carga, de funcionamiento y los geométricos, puede ser rediseñado con la ayuda de un diseñador industrial para lograr una mejor interacción con el usuario sin comprometer el correcto funcionamiento de la silla. Igualmente, se puede aplicar para el diseño de los asientos, los reposabrazos o las ruedas, para el confort en el uso.

Al estimar los costos de fabricación de la silla se obtiene un valor de S/20,725.00, donde un gran valor dentro del precio se debe a la batería y el actuador lineal. Esto debido a que ambos componentes son importados, por lo que incluyen un costo de envío alto.

## CONCLUSIONES

Siguiendo la metodología de diseño VDI 2221 de la norma alemana, se pudo realizar el diseño de una silla de ruedas con un sistema de posicionamiento bípedo para personas parapléjicas. Silla la cual se puede construir dentro del país y que cumple con los objetivos planteados al inicio del presente trabajo.

Todos los cálculos y diseños realizados fueron tomando las condiciones de una persona con un peso de 85 kg y 180 cm de altura. Sabiendo esto, el trabajo realizado permite diseñar una silla de ruedas con la misma utilidad para otros tipos de usuarios con el simple hecho de cambiar las condiciones de peso y altura, ya que la metodología y los pasos necesarios serán los mismos.

El uso de un acelerómetro para determinar el nivel de inclinación de la silla permite obtener en tiempo real el cambio de posición del usuario, para que de esta forma la toma de decisiones del microcontrolador sea más rápida y exacta. Por ello no es necesario realizar calibraciones y pruebas para programar la velocidad y el tiempo que el actuador lineal será controlado. Esto también permite modificar la velocidad o el actuador de manera rápida y dinámica.

Al estimar los costos totales, se obtuvo un costo de diseño total del sistema de unos S/17,200.00 y un costo total de fabricación de S/20,725.00. Estos montos serán de utilidad para ser tomados como un presupuesto base, en caso se quiera realizar un producto comercial y, por lo tanto, buscar reducir los costos para poder tener un precio de venta más accesible y atractivo en el mercado.

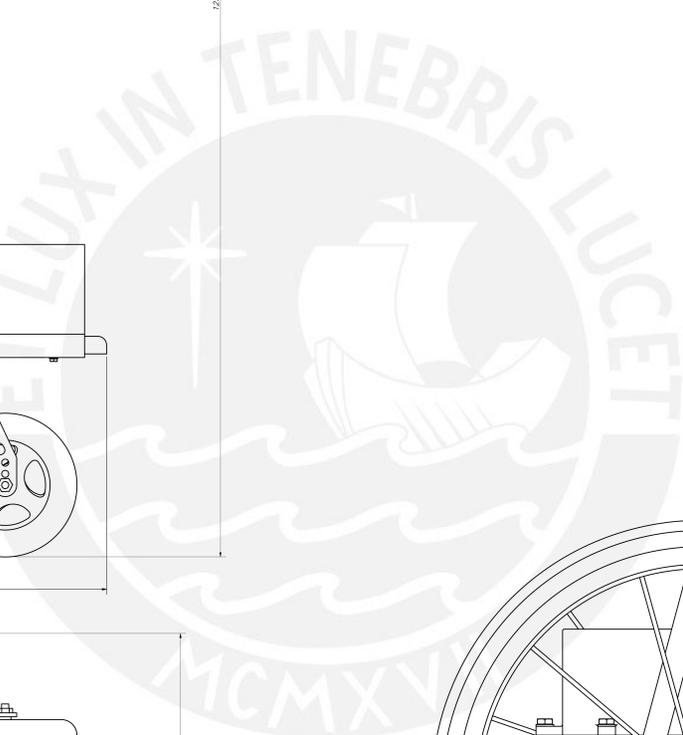
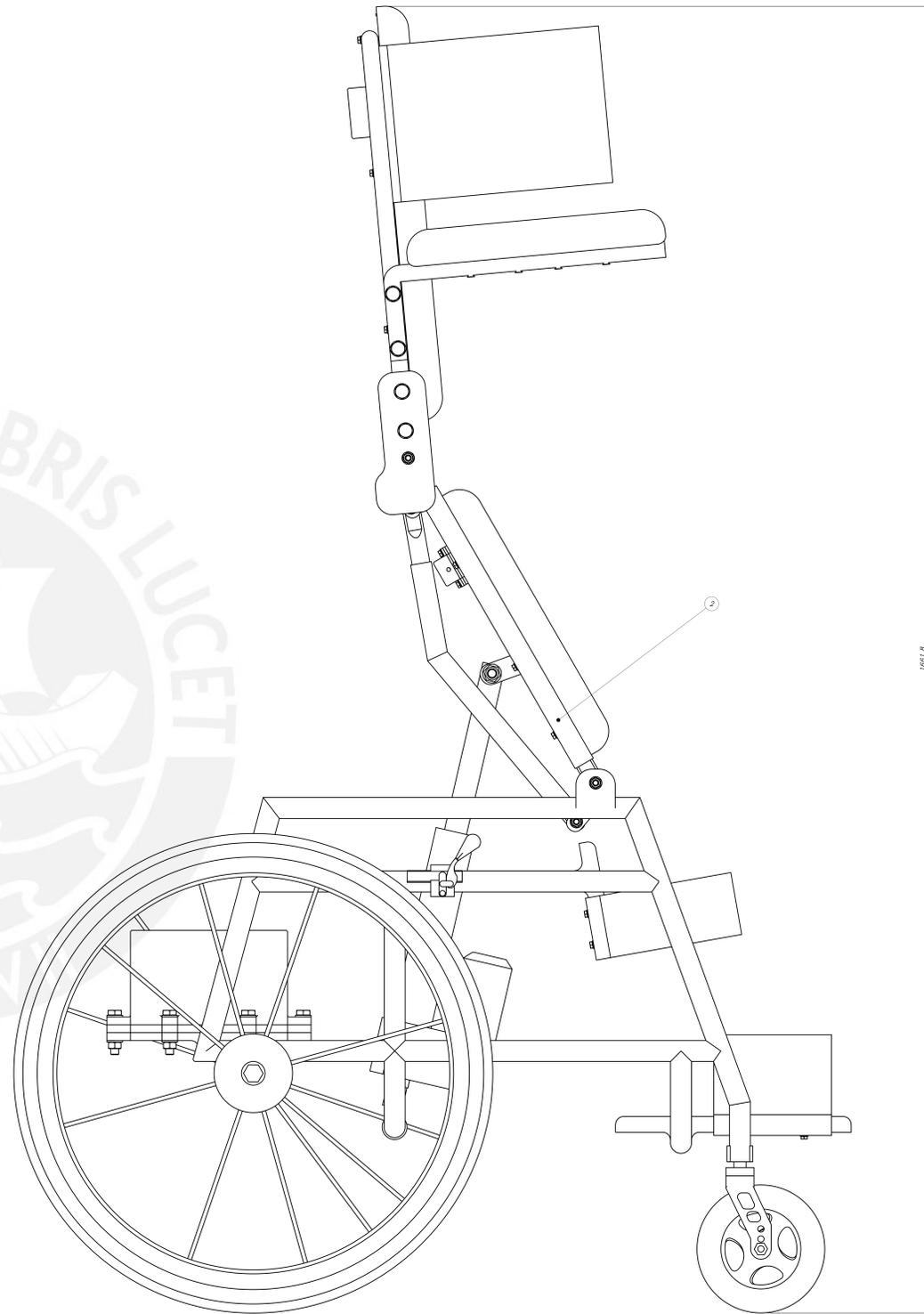
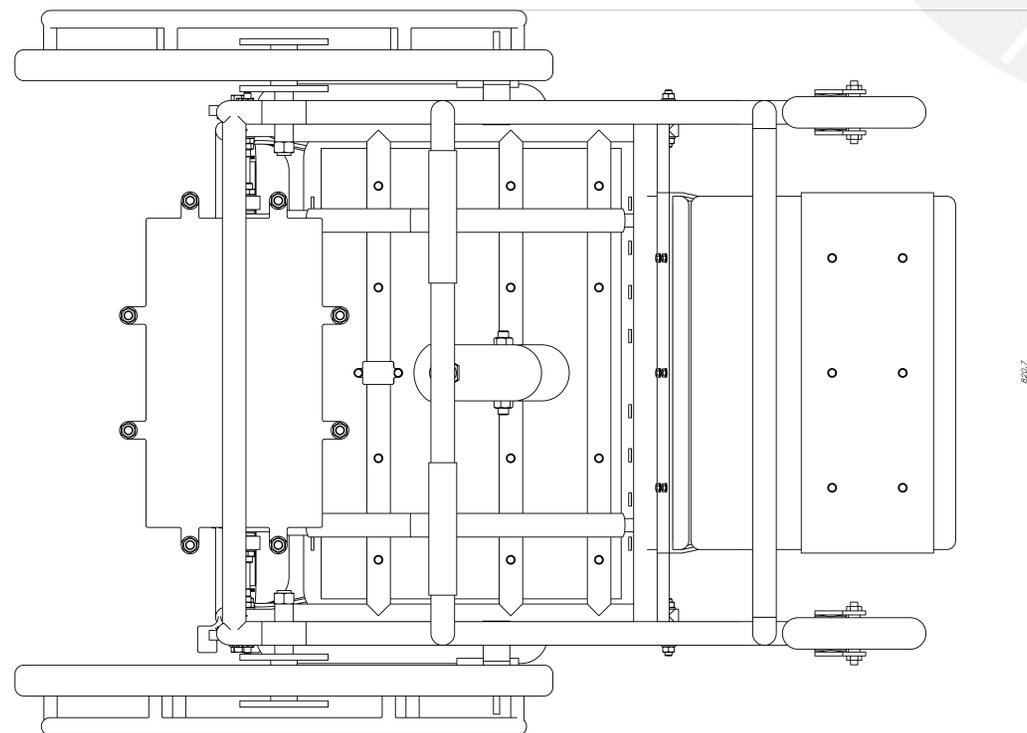
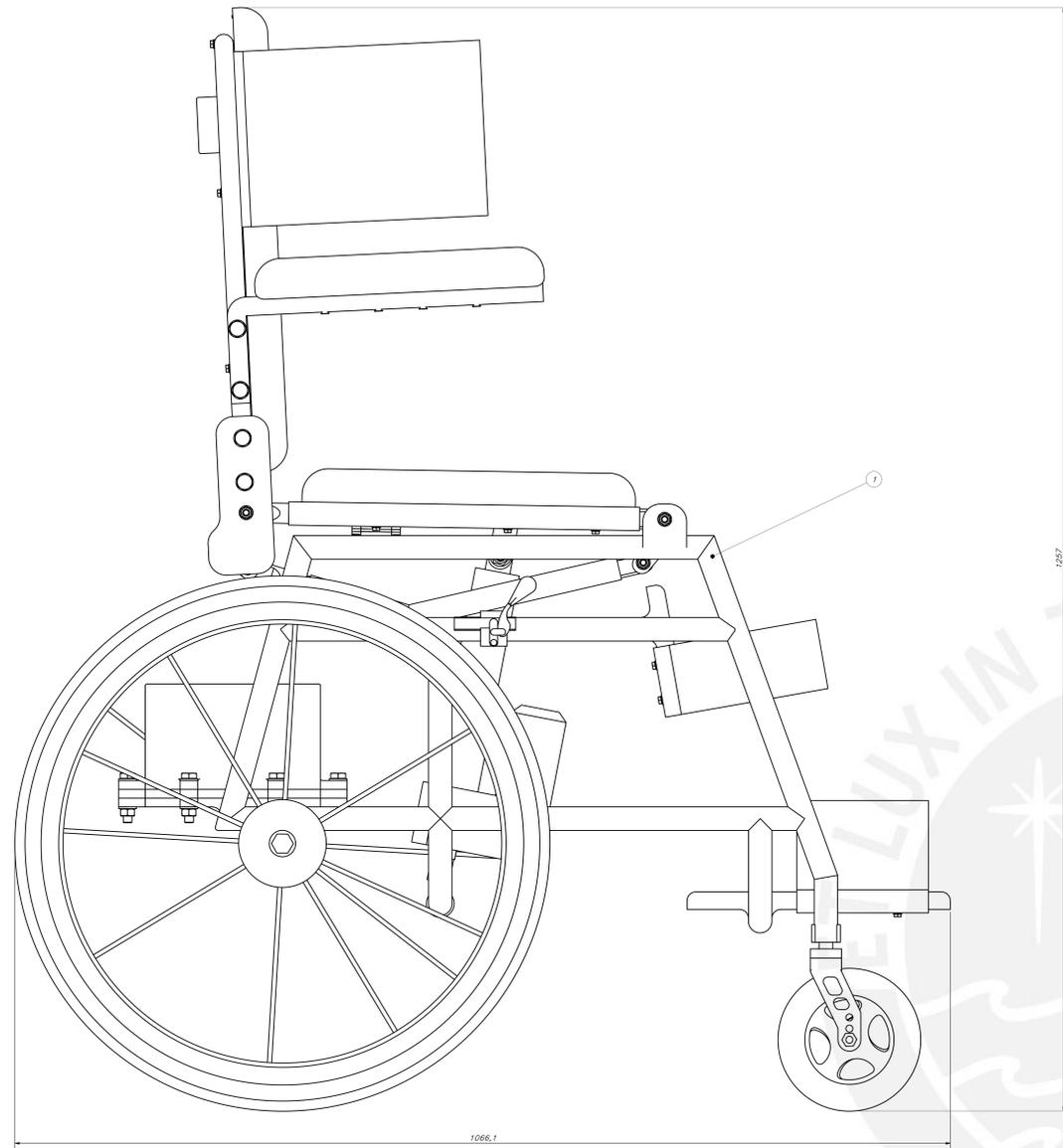
## BIBLIOGRAFÍA

- [Armstrong, 2008] Armstrong, William; Borg, Johan; Krizack, Marc; Lindsley, Alida; Mines, Kylie; Pearlman, Jon; Reisinger, K., & Sheldon, S. (2008). Manuales Sillas De Ruedas Manuales. *Pautas Para El Suministro de Sillas de Ruedas Manuales*, 38–68. [who.int/disabilities/.../wheelchairguidelines\\_sp\\_finalforweb.pdf](http://who.int/disabilities/.../wheelchairguidelines_sp_finalforweb.pdf)
- [INEI, 2013] Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2013, December 2). *En el Perú 1 millón 575 mil personas presentan algún tipo de discapacidad*. <https://www.inei.gob.pe/prensa/noticias/en-el-peru-1-millon-575-mil-personas-presentan-alg/>
- [Churchward, 1985] Atarma del Aguila, C. M. (2021). *Diseño de una silla de ruedas con mecanismo de posicionamiento bípedo*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- [Luengas, 2013] Luengas, Lely; Camargo, Esperanza; Sánchez, G. (2013). Estudio de los rangos articulares en la bipedestación estática en personas normales vs. Amputados transtibiales. *Tecnura*, 17(2), 60–68. <https://doi.org/10.14483/22487638.7223>
- [Shi,2019] Shi, Y., Meng, L., & Chen, D. (2019). Human Standing-Up Trajectory Model and Experimental Study on Center-Of -Mass Velocity. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 612(2). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/612/2/022088>
- [Winter, 1995] Winter, D. (1995). Human balance and posture control during standing and walking. *Gait & Posture*, 3, 193–214. [https://doi.org/10.1016/0014-5793\(86\)80927-9](https://doi.org/10.1016/0014-5793(86)80927-9)
- [Carretero, 2021] Carretero Karretero, C. M. (2021). *Propuesta de diseño de una silla de ruedas con sistema de posicionamiento bípedo para personas parapléjicas-Trabajo de Investigación para obtener el grado de Bachiller con mención en Ingeniería Mecatrónica*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- [Atarma, 2022] Atarma del Aguila, C. M. (2021). *Diseño de una silla de ruedas con mecanismo de posicionamiento bípedo-Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- [Gómez, 2021]. Gómez, K. (2021). *Dispositivo de Rehabilitación-Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecatrónico*. Pontificia Universidad Católica del Perú.

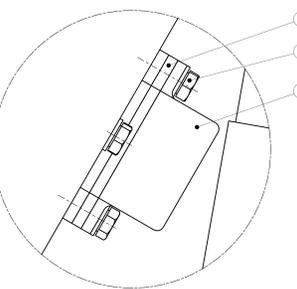
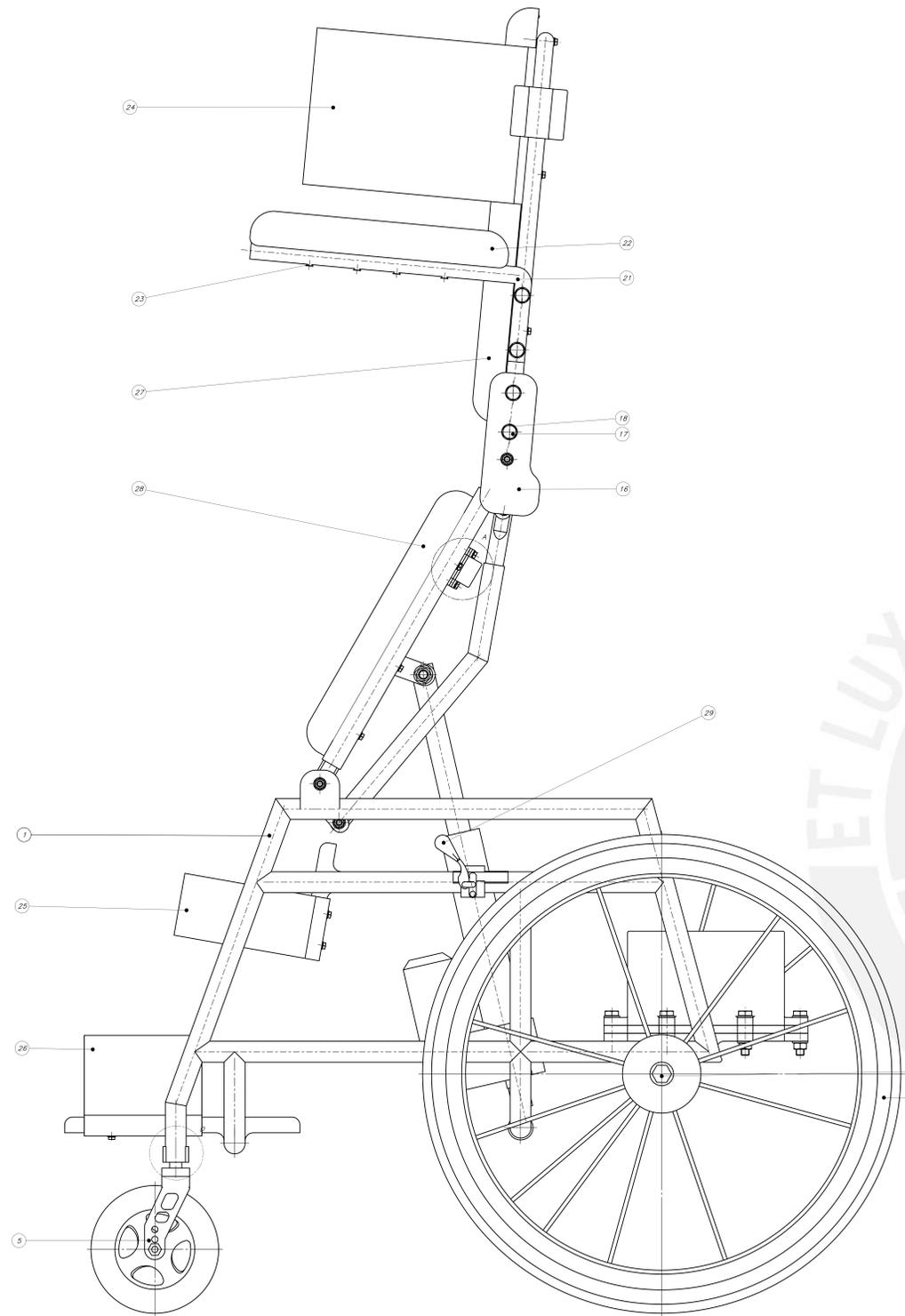
**ANEXOS**

**ANEXO A - PLANOS**

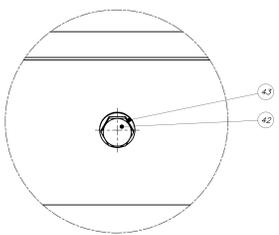




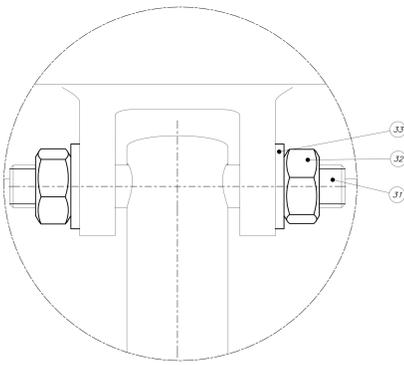
2	1	SOLA POSICION SUPERIOR			
1	1	SOLA POSICION INFERIOR			
PROJ	CONSTRUCION	ANIMO	METRO	INDICACIONES	
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU ESCUELA DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU METODO DE PROYECCION: ISOMETRICO ESCALA: 1:2 ENSAMBLE DISPOSICION GENERAL 20172792 CARRITERO CARRETERO, CAMILO MARCELO FECHA: 2020-08-09 PLANO: ES-240-01					



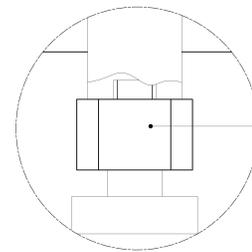
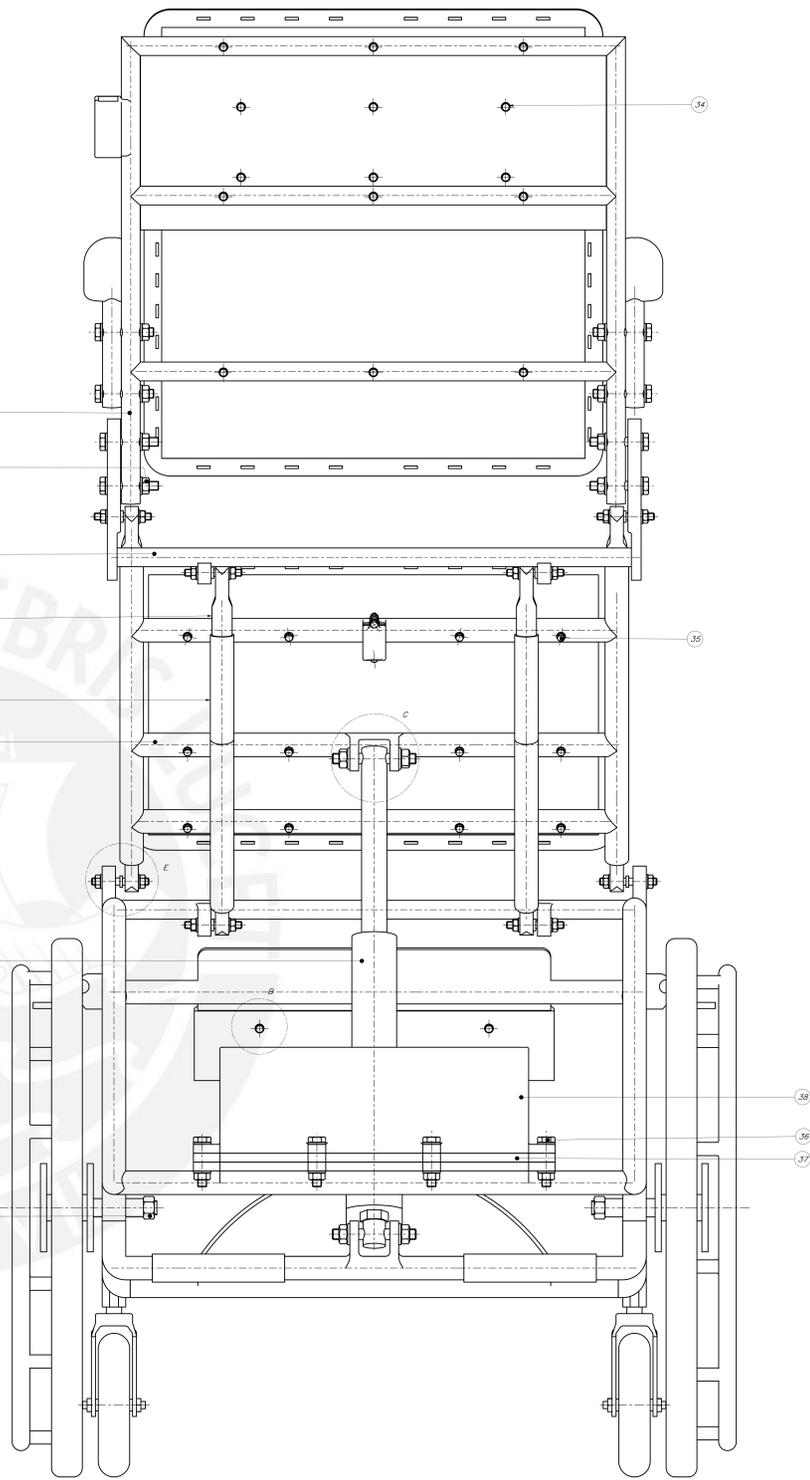
DETALLE A  
ESCALA 2 : 1



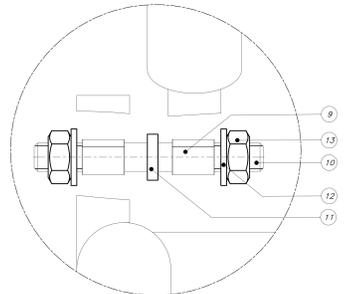
DETALLE B  
ESCALA 2 : 1



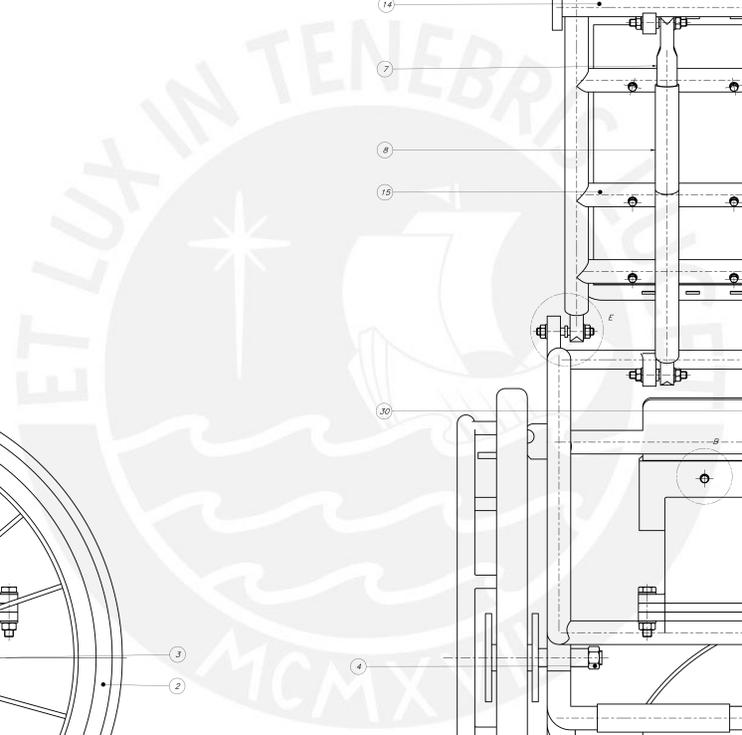
DETALLE C  
ESCALA 2 : 1



DETALLE D  
ESCALA 2 : 1

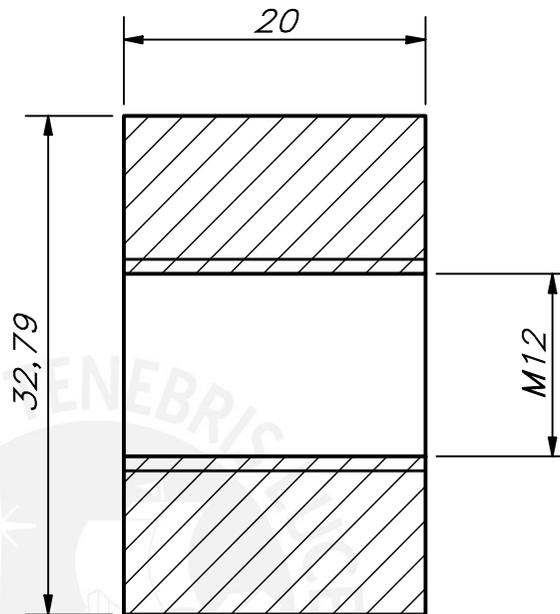
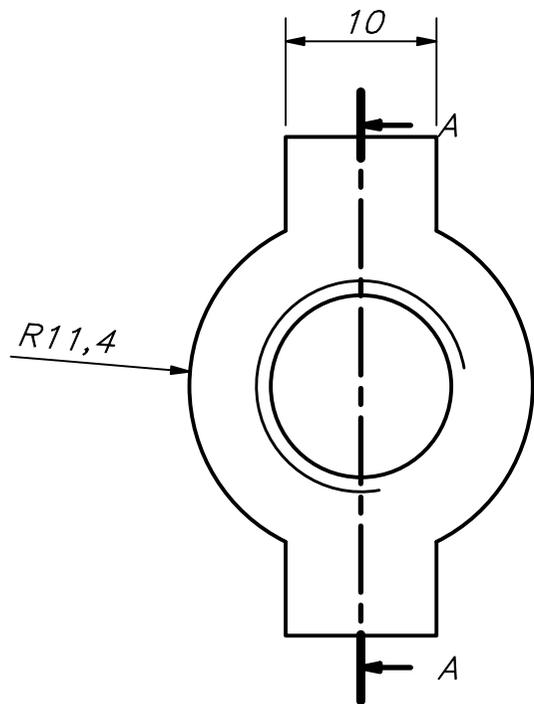


DETALLE E  
ESCALA 2 : 1

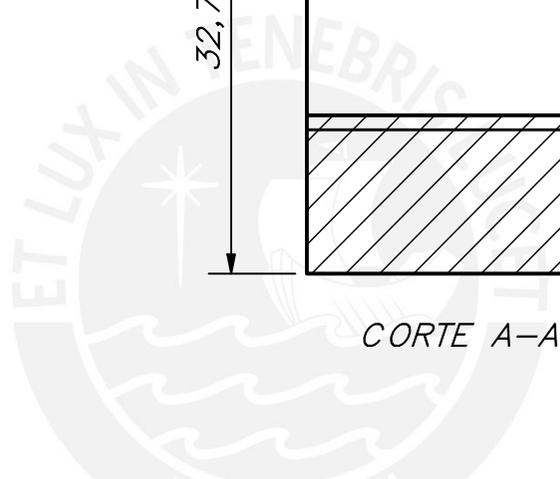


43	ARMADURA PLANA ABS	OW 125-2	ASTW A254	
42	TORNILLO CABELLO HEDAZONAL M8 x 12	OW 831	ASTW A254	
41	2 TORNILLO CABELLO HEDAZONAL M8 x 20	OW 831	ASTW A254	
40	1 CABLE ACCIONAMIENTO PARTE SUPERIOR		PLASTICO ABS	
39	1 CABLE ACCIONAMIENTO PARTE INFERIOR		PLASTICO ABS	
38	1 CABLE ELECTRONICA PARTE SUPERIOR		PLASTICO ABS	
37	1 CABLE ELECTRONICA PARTE INFERIOR		PLASTICO ABS	
36	8 TORNILLO CABELLO HEDAZONAL M10 x 50	OW 880	ASTW A254	
35	21 TORNILLO CABELLO HEDAZONAL M8 x 20	OW 831	ASTW A254	
34	6 TORNILLO CABELLO HEDAZONAL M8 x 10	OW 831	ASTW A254	
33	4 ARMADURA PLANA ABS	OW 125-2	ASTW A254	
32	4 TIJERA HEDAZONAL M12	OW 551-5	ASTW A254	
31	2 EJE DE UNION DEL ACTUADOR		ASTW A254	
30	1 ACTUADOR AEREO			
29	2 FRENO MANUAL			
28	1 ASIENTO			
27	1 ESPALDA			
26	1 SOPORTE RES		HOLCRO	
25	1 SOPORTE ADJALAS		HOLCRO	
24	1 SOPORTE CROSI			
23	8 TORNILLO CABELLO PHLEPS M8 x 20	OW104-1	ASTW A254	
22	2 ARMADURA RESPONSAIVAS			
21	2 APUNTO PARA ARMADURA RESPONSAIVAS		ASTW A250	
20	1 BARRIL DE RESPONSAIVAS		ASTW A250	
19	16 TIJERA HEDAZONAL M10	OW 872	ASTW A254	
18	15 ARMADURA PLANA ABS	OW 125-2	ASTW A254	
17	8 TORNILLO CABELLO HEDAZONAL M10 x 60	OW 880	ASTW A254	
16	2 UNION POSTERIOR ESPALDA-ASIENTO		ASTW A254	
15	1 SOPORTE DE ASIENTO		ASTW A250	
14	1 TUBO SOPORTE INFERIOR		ASTW A250	
13	12 TIJERA HEDAZONAL M8	OW 551-5	ASTW A254	
12	16 ARMADURA PLANA ABS	OW 125-2	ASTW A254	
11	8 ANILLO ESPALDADOR 38		BRONCE	
10	8 EJE UNION MANUAL		ASTW A254	
9	16 BVS PLW 08012 E		PIST	
8	2 TUBO SOPORTE ANTERIOR		ASTW A250	
7	8 ACOPLE PARA EJE MANUAL		ASTW A254	
6	2 ACOPLE PARA RUEDAS DELANTERAS		ASTW A254	
5	2 RUEDA DELANTERAS ENGRUENAS			
4	2 TIJERA DE RUEDA POSTERIOR	ANSP10.2.2	ASTW A254	
3	2 EJE DE RUEDA POSTERIOR		ASTW A254	
2	2 LUMINA POSTERIOR			
1	1 ESTRUCTURA DE SOPORTE		ASTW A250	
		DESCRIPCION	UNIDAD	INDICACIONES
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU				
METHODO DE PROYECCION: ENSEMBLE SILLA - 1:2				
20172792 CARRITERO CARRETERO, CAMILO MARGELO				
FECHA: 2022-08-09				
PLANO: ES-240-02				



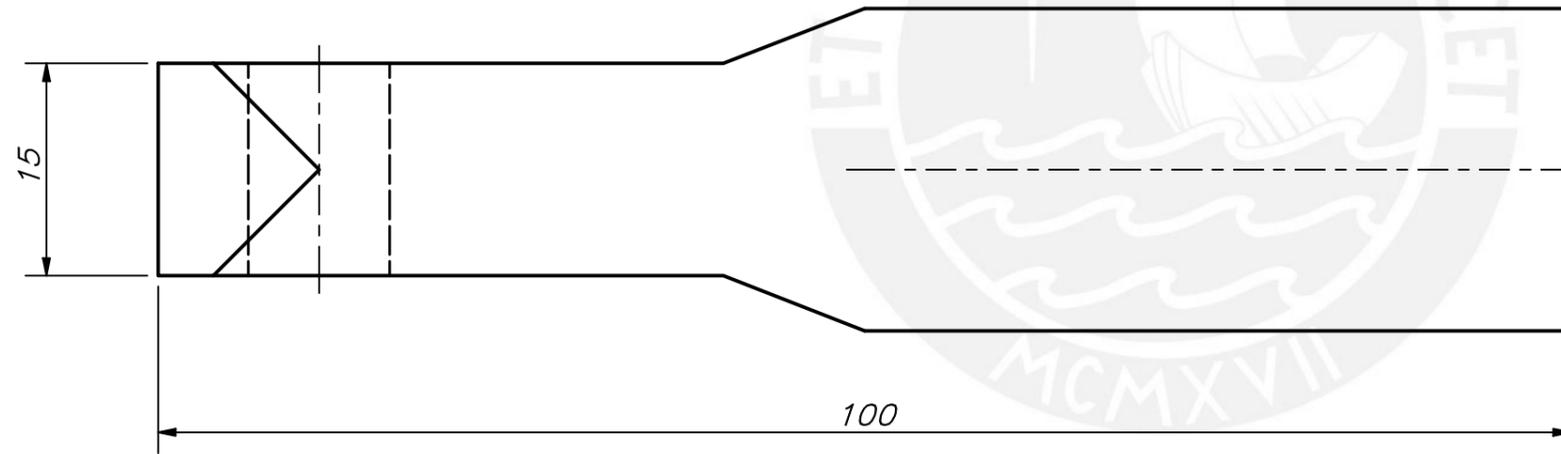
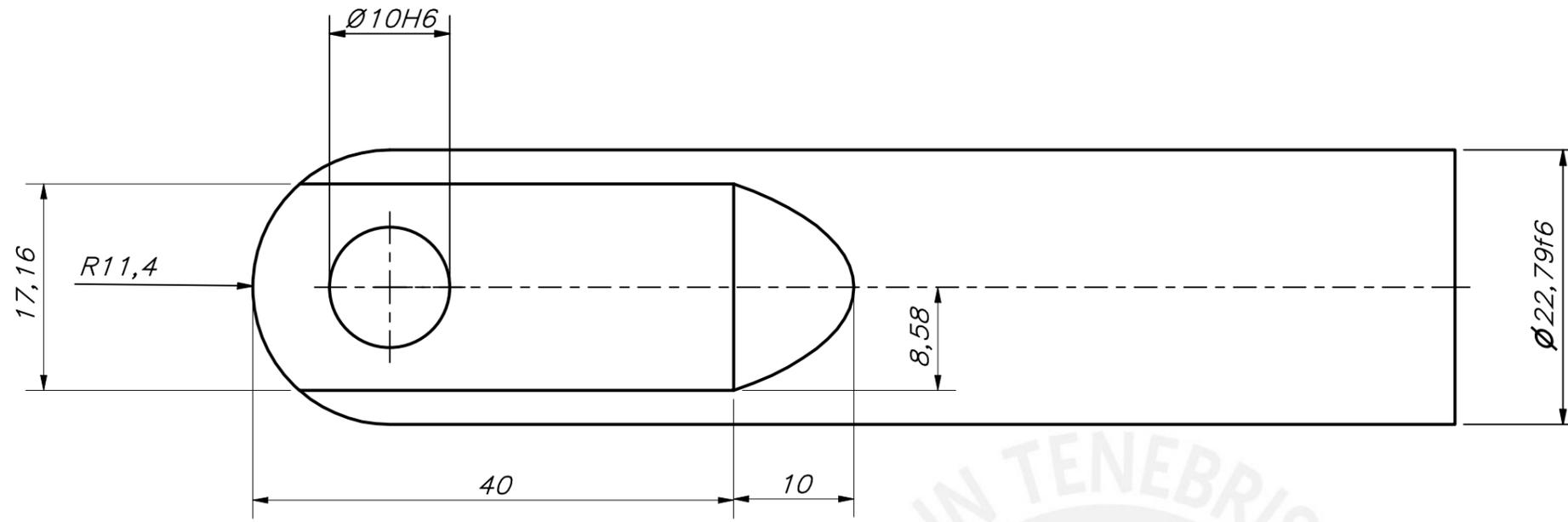


CORTE A-A



TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768-1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

ACABADO SUPERFICIAL 6.4 /	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MEDIO	MATERIAL ASTM A36
<b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ</b> FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON SISTEMA DE POSICIONAMIENTO BIPEDO PARA PERSONAS PARAPLÉJICAS <b>ACOPLE PARA RUEDAS DELANTERAS</b>	ESCALA <b>2:1</b>
20172792	CARRETERO KARRETERO, CAMILO MARCELO	FECHA: 2022.06.08
		PLANO: DE-A4-02

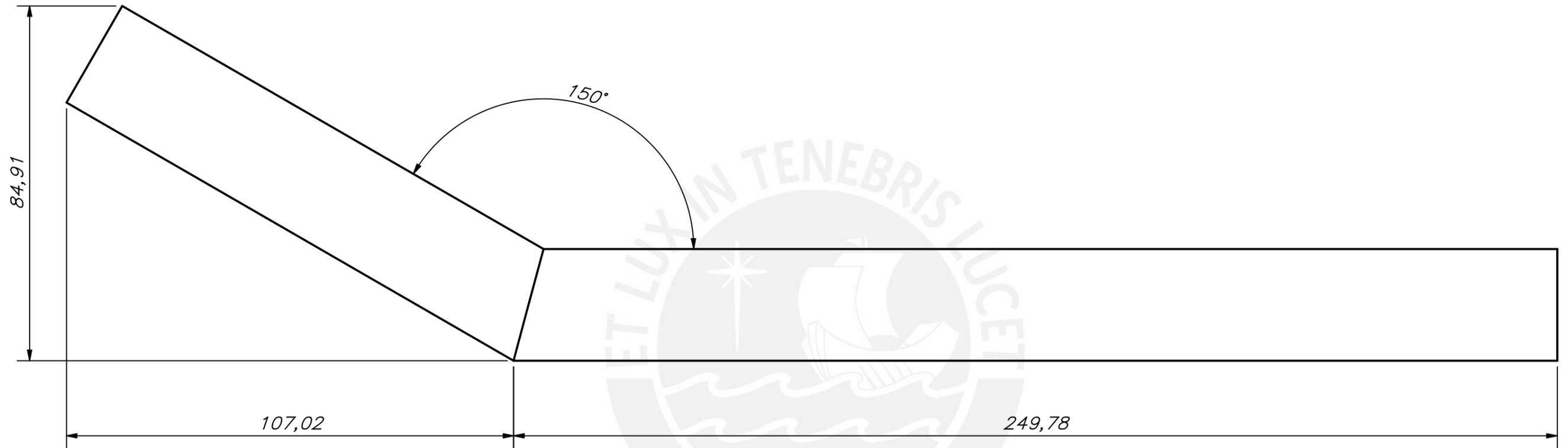


TOLERANCIAS DIMENSIONALES  
SEGÚN DIN ISO 2768-1

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

10.000	10.009	10.000
22.790	22.770	22.757
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

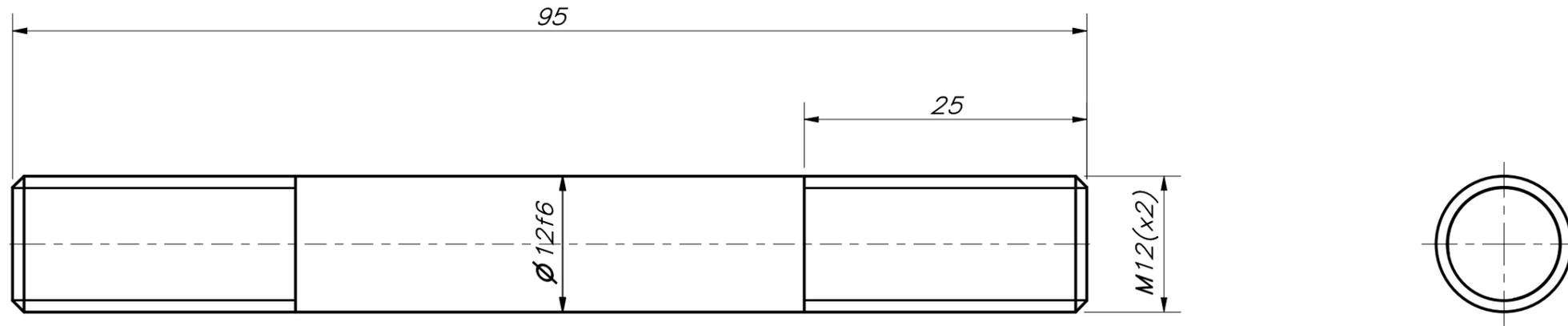
ACABADO SUPERFICIAL 6.4/	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MEDIO	MATERIAL ASTM A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON SISTEMA DE POSICIONAMIENTO BÍPEDO PARA PERSONAS PARAPLÉJICAS ACOPLE PARA EJES MÓVILES	ESCALA 2:1
20172792	CARRETERO KARRETERO, CAMILO MARCELO	FECHA: 2022.06.08
		PLANO: DE-A3-03



TUBO GALV D = 3/4"

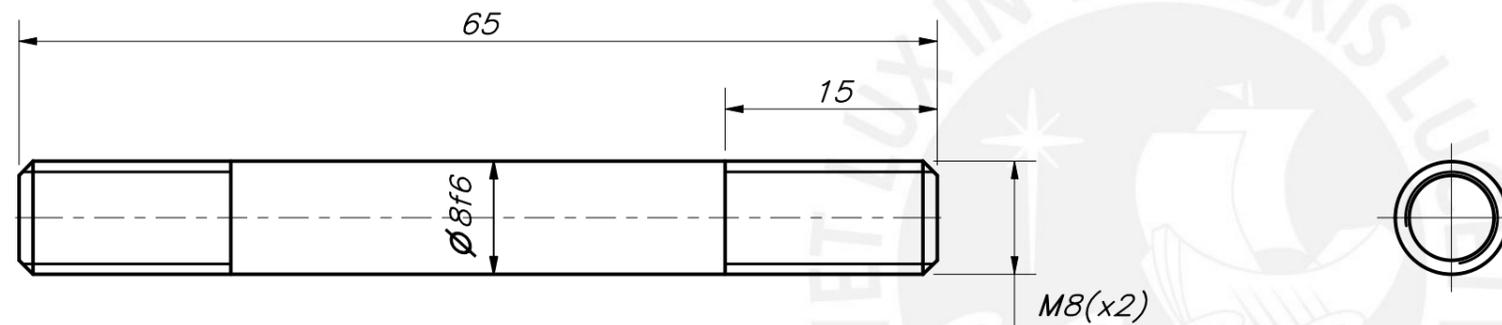
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768-1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

ACABADO SUPERFICIAL 3.2/√	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MEDIO	MATERIAL ASTM A500
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON SISTEMA DE POSICIONAMIENTO BÍPEDO PARA PERSONAS PARAPLÉJICAS <b>TUBO SOPORTE INFERIOR</b>	ESCALA 1:1
20172792	CARRETERO KARRETERO, CAMILO MARCELO	FECHA: 2022.06.08
		PLANO: DE-A3-04



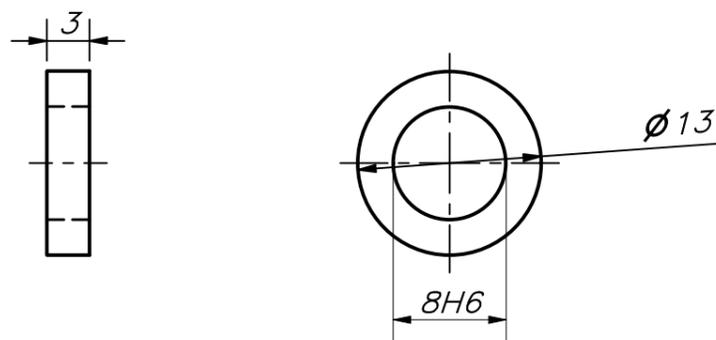
ITEM: EJE DE UNION DEL ACTUADOR  
POSICIÓN: 31

MATERIAL: ASTM A36



ITEM: EJE DE UNIONES MÓVILES  
POSICIÓN: 11

MATERIAL: ASTM A36



ITEM: ANILLO ESPACIADOR  
POSICIÓN: 11

MATERIAL: BRONCE

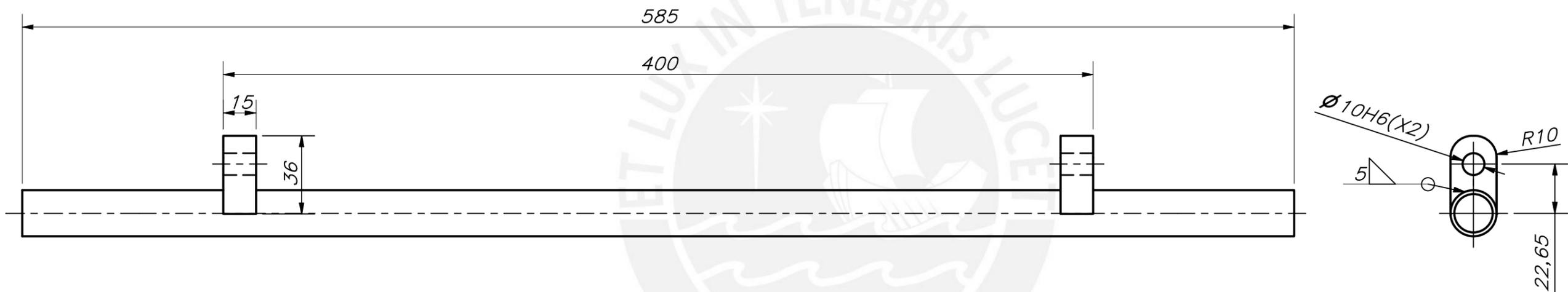
CHAFLANES NO INDICADOS 1x45°

ACABADO SUPERFICIAL 0.8/ ▽	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 FINO	MATERIAL ESPECIFICADO
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN ⊕    ▭	DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON SISTEMA DE POSICIONAMIENTO BÍPEDO PARA PERSONAS PARAPLÉJICAS	ESCALA 2:1
20172792	CARRETERO KARRETERO, CAMILO MARCELO	FECHA: 2022.06.08
		PLANO: DE-A3-05

TOLERANCIAS DIMENSIONALES  
SEGÚN DIN ISO 2768-1

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
FINO	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5

	8.000	7.987	7.978
	8.000	8.009	8.000
	12.000	11.984	11.973
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA	

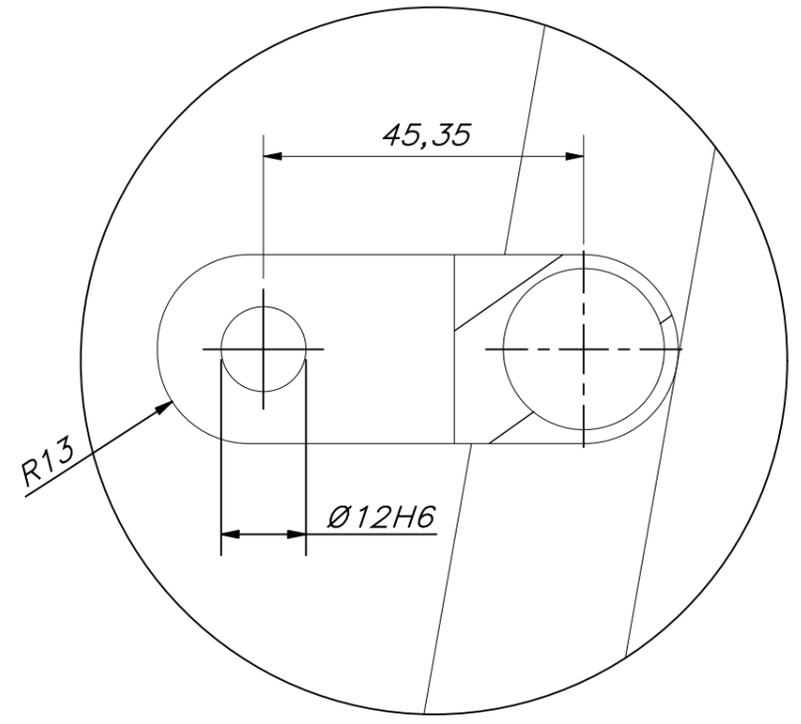
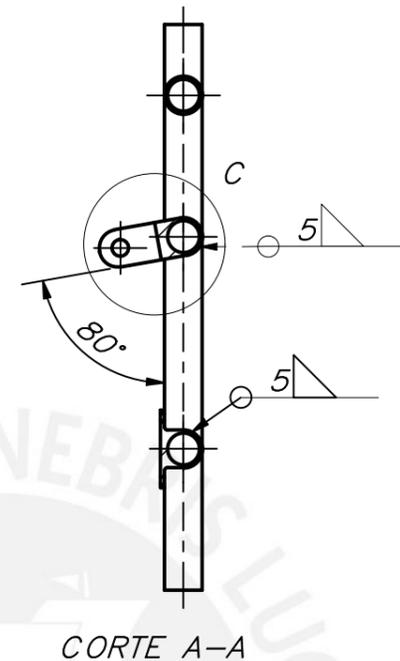
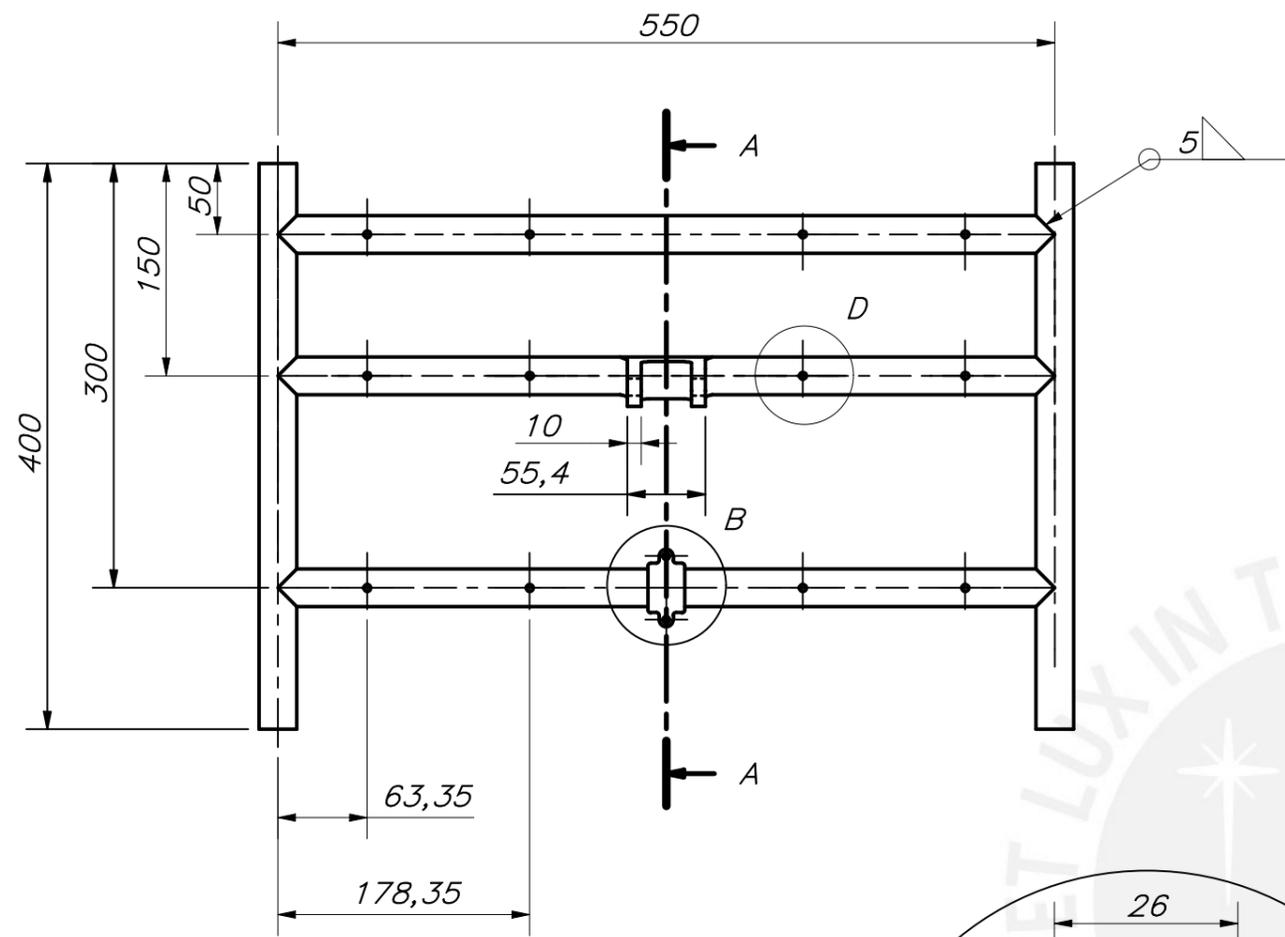


TUBO GALV D = 1/2"  
 MATERIAL TUBO: ASTM A500  
 MATERIAL DE PESTAÑAS: ASTM A36

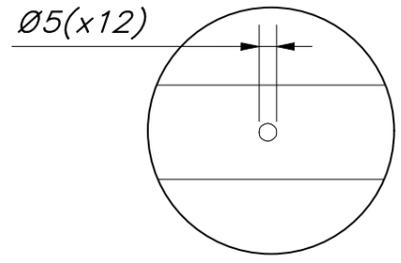
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768-1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

10.000	10.009	10.000
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

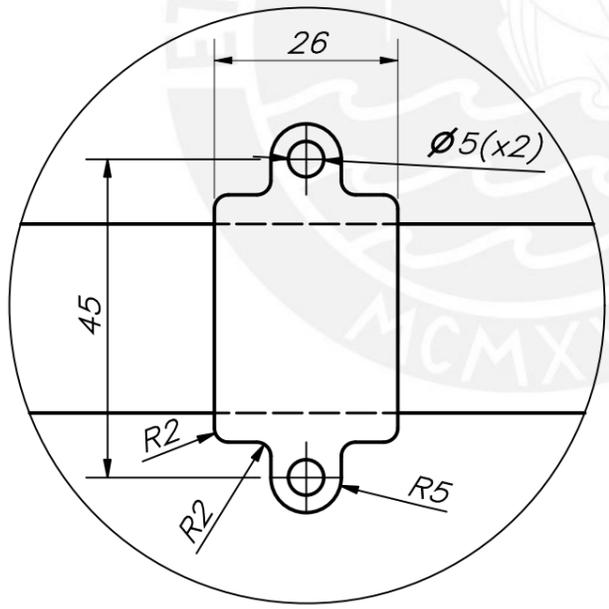
ACABADO SUPERFICIAL 1.6/ 	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MEDIO	MATERIAL ESPECIFICADO
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS PARA PERSONAS PARAPLÉJICAS CON SISTEMA DE POSICIONAMIENTO BÍPEDO <b>TUBO SOPORTE POSTERIOR</b>	ESCALA 1:2
20172792	CARRETERO KARRETERO, CAMILO MARCELO	FECHA: 2022.06.08
		PLANO: DE-A3-06



DETALLE C  
ESCALA 1 : 1



DETALLE D  
ESCALA 1 : 2



DETALLE B  
ESCALA 1 : 1

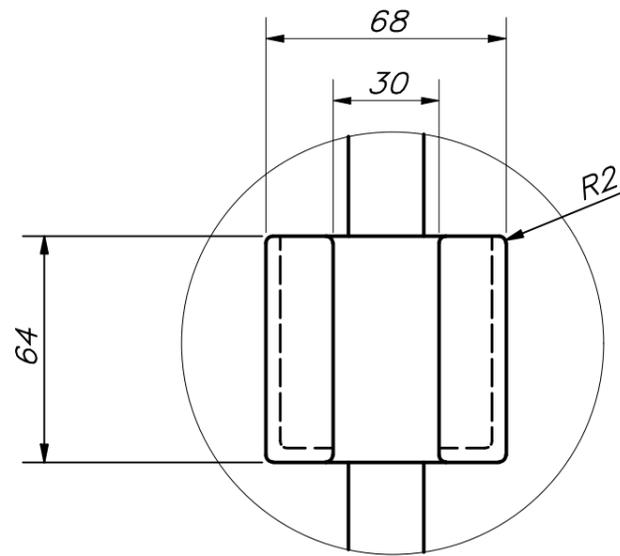
TUBOS GALV D = 3/4"  
MATERIAL TUBOS: ASTM A500  
MATERIAL PESTAÑAS Y PIEZAS RESTANTES: ASTM A36

ACABADO SUPERFICIAL 3.2/ ▽	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MEDIO	MATERIAL ESPECIFICADO
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN ⊕ — ▭	DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON SISTEMA DE POSICIONAMIENTO BÍPEDO PARA PERSONAS PARAPLÉJICAS	ESCALA 1:5
20172792	CARRETERO KARRETERO, CAMILO MARCELO	FECHA: 2022.06.08
		PLANO: DE-A3-07

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768-1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

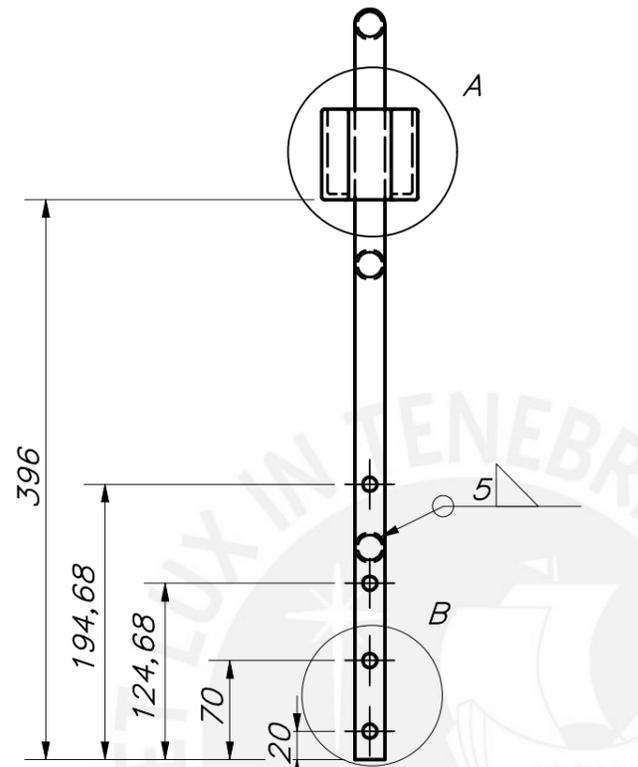
12.000	12.011	12.000
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



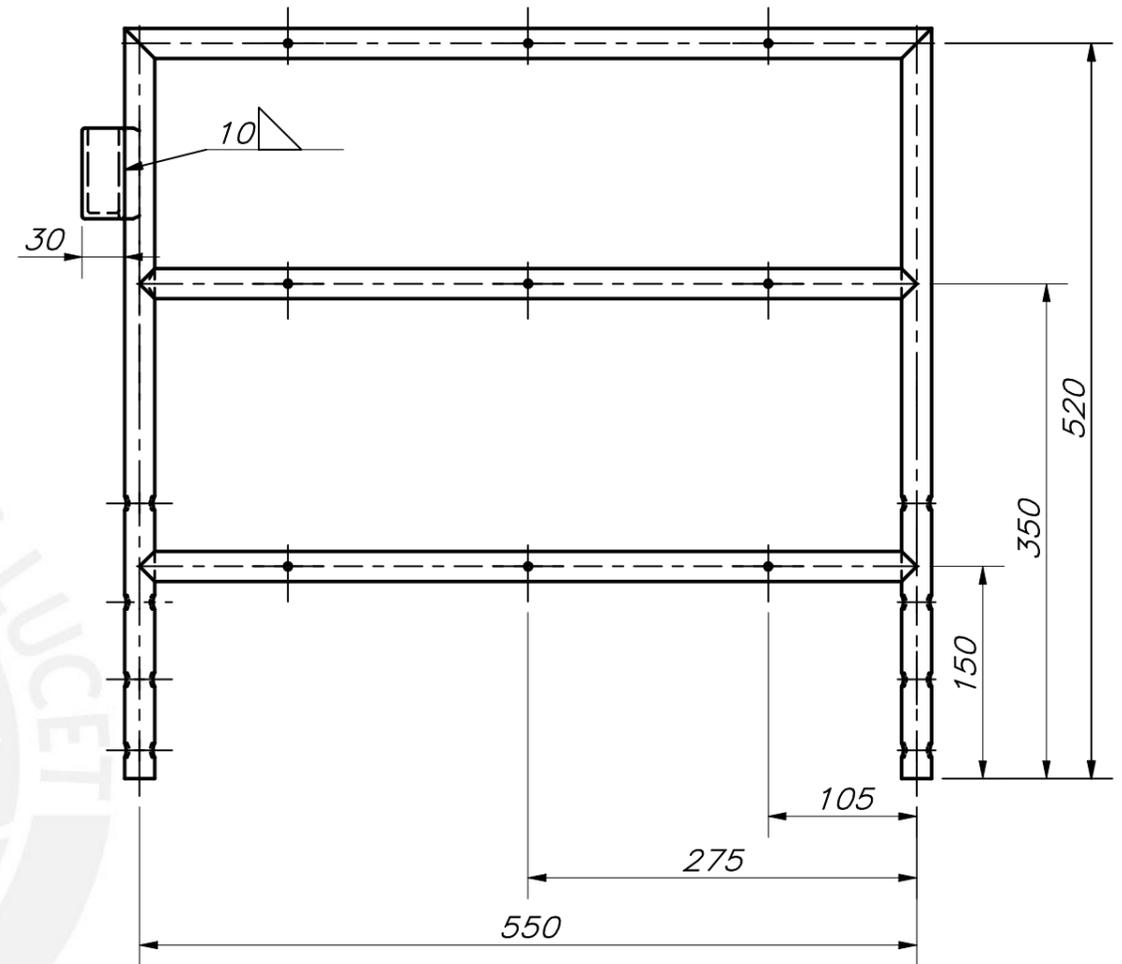


DETALLE A  
ESCALA 1 : 2

ESPESOR DE LAS PAREDES 4



DETALLE B  
ESCALA 1 : 2



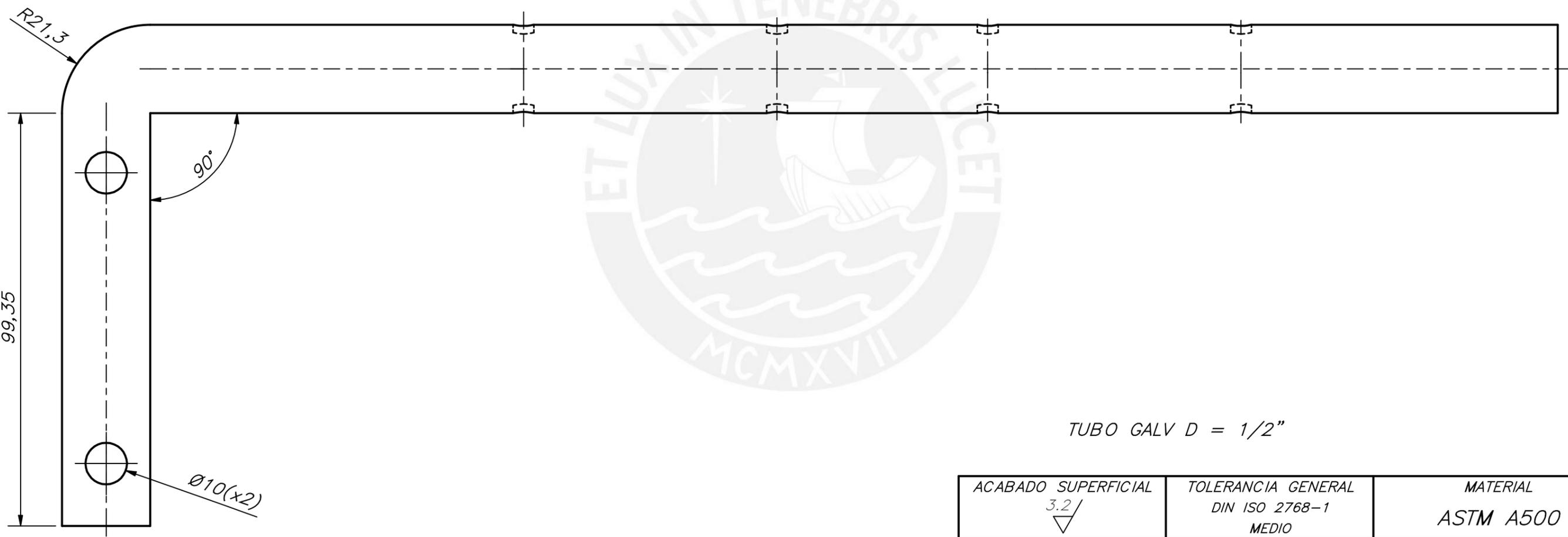
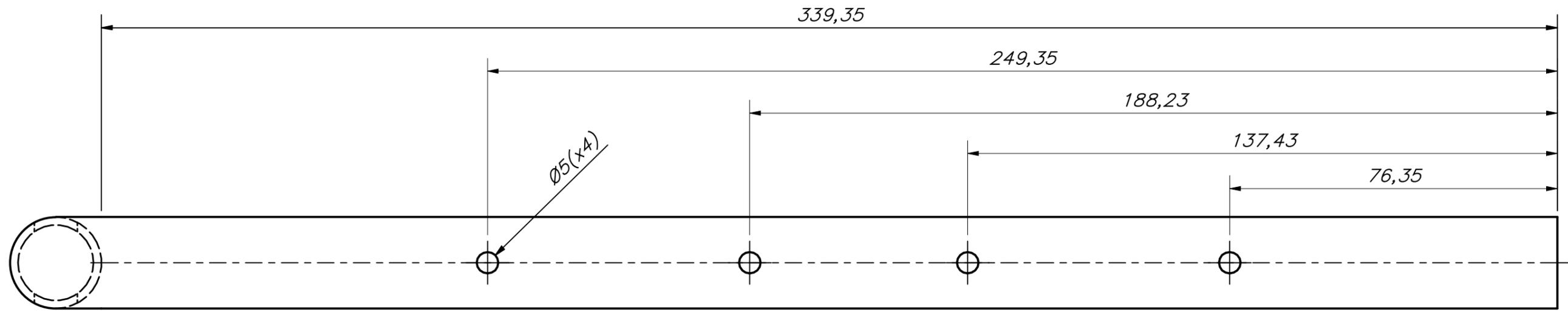
TUBOS GALV D = 1/2"  
MATERIAL TUBOS: ASTM A500  
MATERIAL DEL SOPORTE DE MANDO DE CONTROL: ASTM A36

ACABADO SUPERFICIAL 6.4/ ▽	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MEDIO	MATERIAL ESPECIFICADO
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN ⊕	DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON SISTEMA DE POSICIONAMIENTO BÍPEDO PARA PERSONAS PARAPLÉJICAS	ESCALA 1:5
20172792	CARRETERO KARRETERO, CAMILO MARCELO	FECHA: 2022.06.08
		PLANO: DE-A3-09

TOLERANCIAS DIMENSIONALES  
SEGÚN DIN ISO 2768-1

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

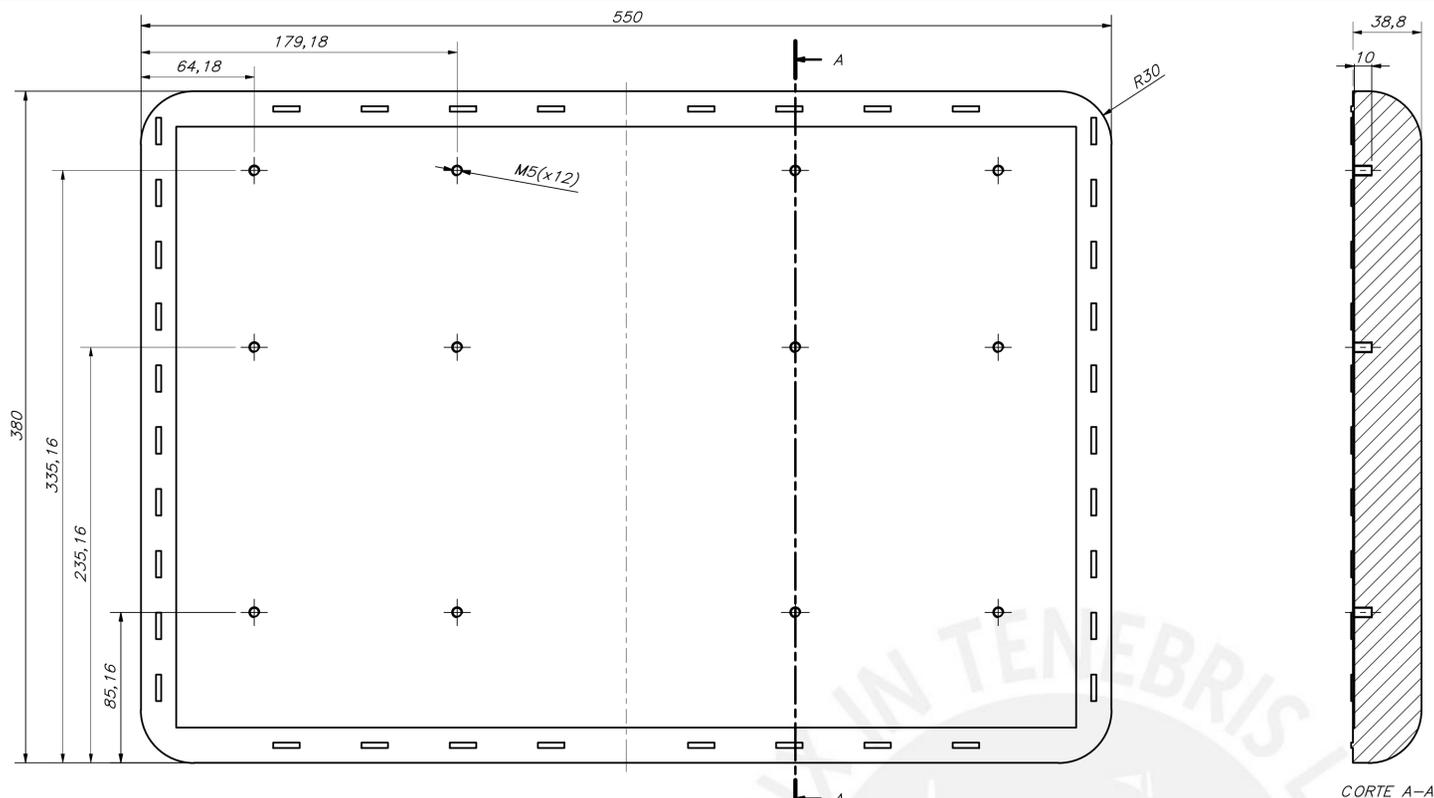
10.000	10.009	10.000
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



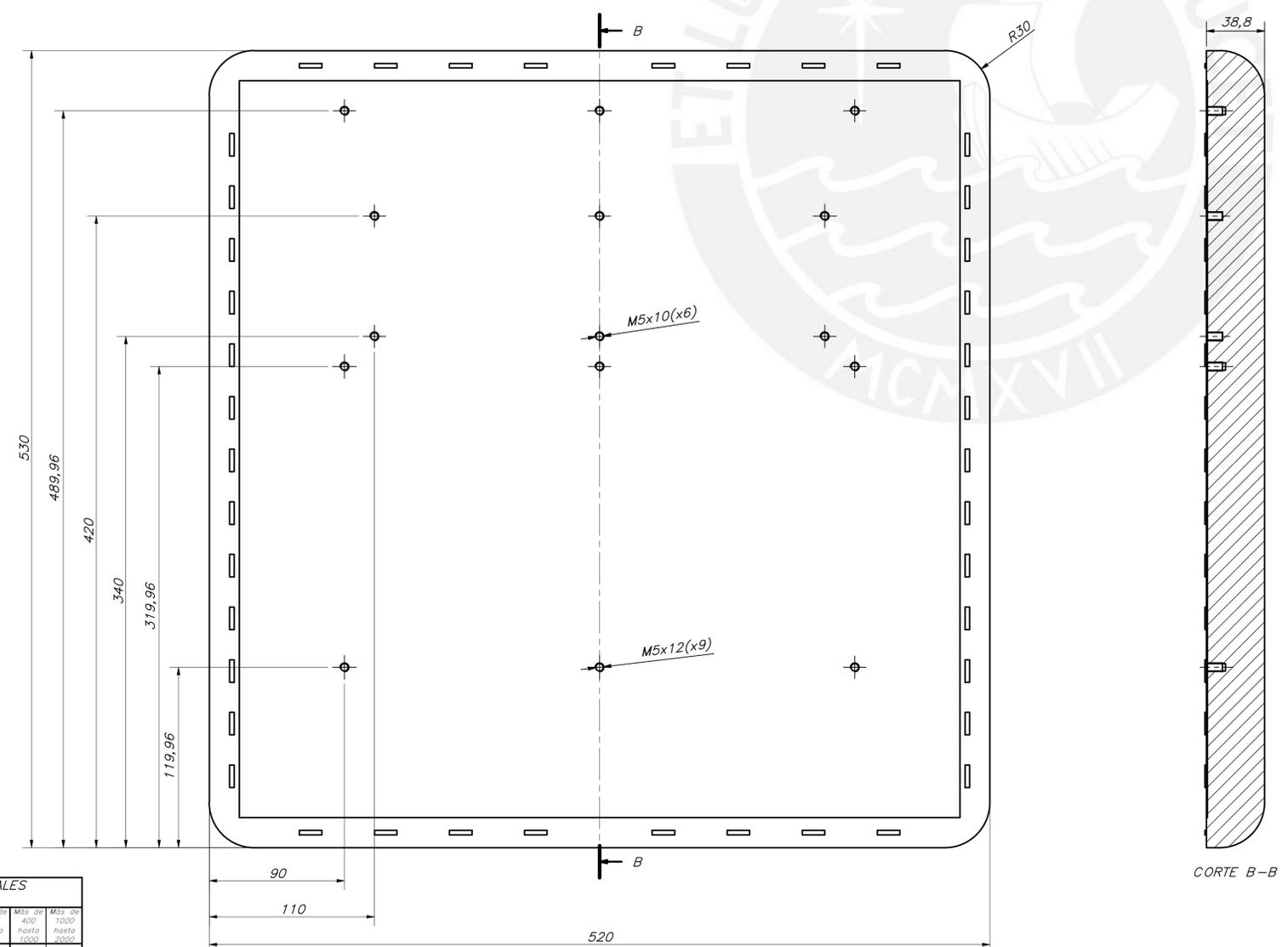
TUBO GALV D = 1/2"

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768-1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

ACABADO SUPERFICIAL 3.2/ ▽	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MEDIO	MATERIAL ASTM A500
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN ⊕	DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON SISTEMA DE POSICIONAMIENTO BÍPEDO PARA PERSONAS PARAPLÉJICAS	ESCALA 1:1
20172792	CARRETERO KARRETERO, CAMILO MARCELO	FECHA: 2022.06.08
		PLANO: DE-A3-10



ITEM: ASIENTO  
POSICION: 3



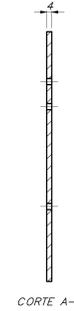
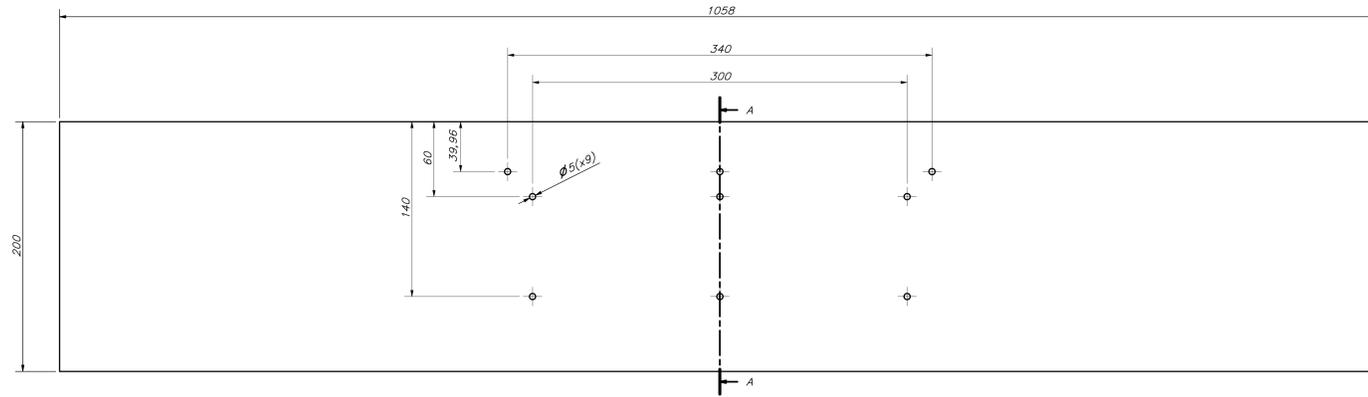
ITEM: RESPALDAR  
POSICION: 2

TOLERANCIAS DIMENSIONALES  
SEGUN DIN ISO 2768-1

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

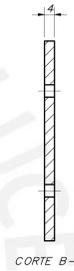
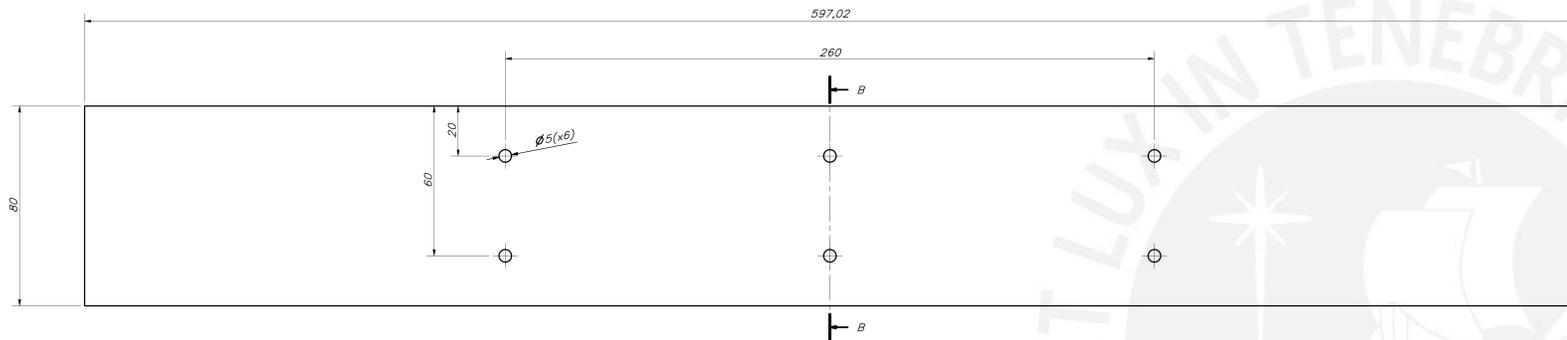
RELLENOS DE ESPUMA Y RECUBIERTOS CON CUERO SINTÉTICO

ACABADO SUPERFICIAL 6,4/√	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MEDIO	MATERIAL FIBRAS DE MADERA ENCHAPADA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DESIGNO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON SISTEMA DE POSICIONAMIENTO BÍPEDO PARA PERSONAS PARAPLÉJICAS	ESCALA 1:2
20172792	TABLAS ASIENTO-ESPALDAR CARRETERO KARRETERO, CAMILO MARCELO	FECHA: 2022.06.08 PLANO: DE-A1-11



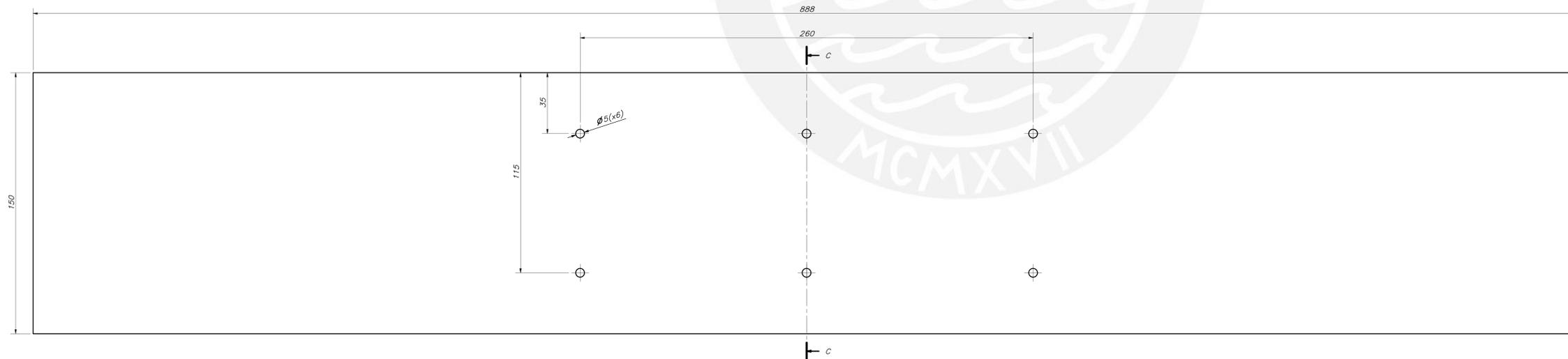
ITEM: SOPORTE DE TORSO  
POSICION: 1  
ESCALA: 1:2

CORTE A-A



ITEM: SOPORTE DE RODILLAS  
POSICION: 4  
ESCALA: 1:1

CORTE B-B

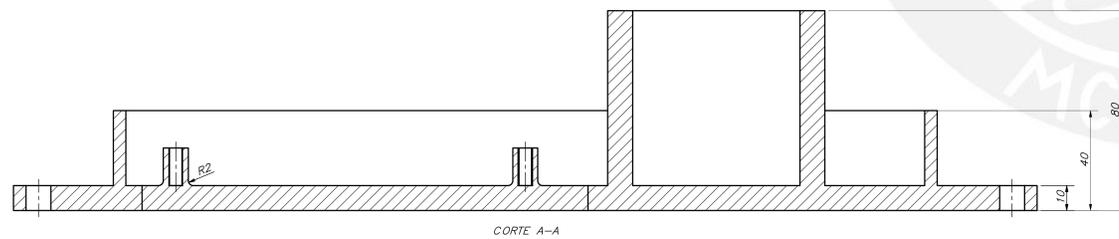
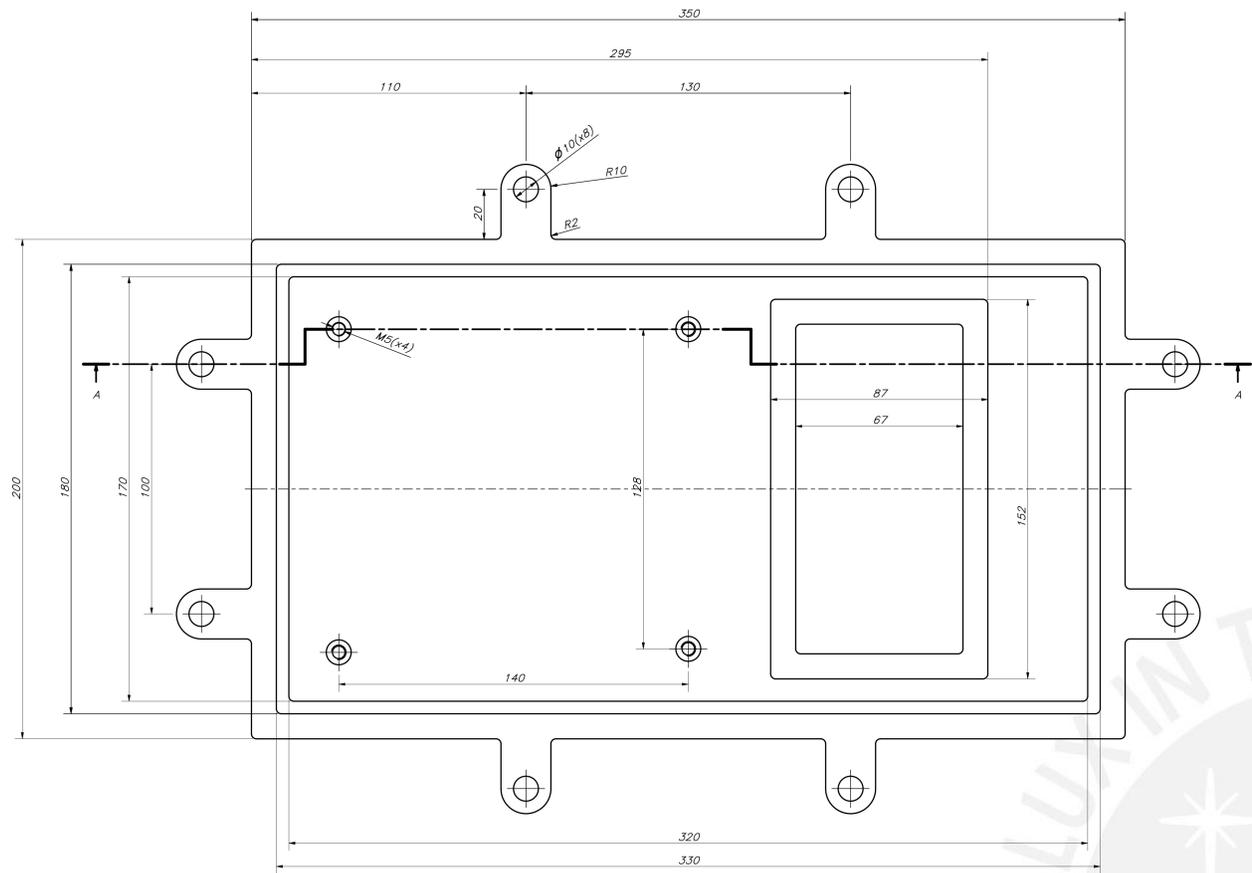


ITEM: SOPORTE DE PIES  
POSICION: 5  
ESCALA: 1:1

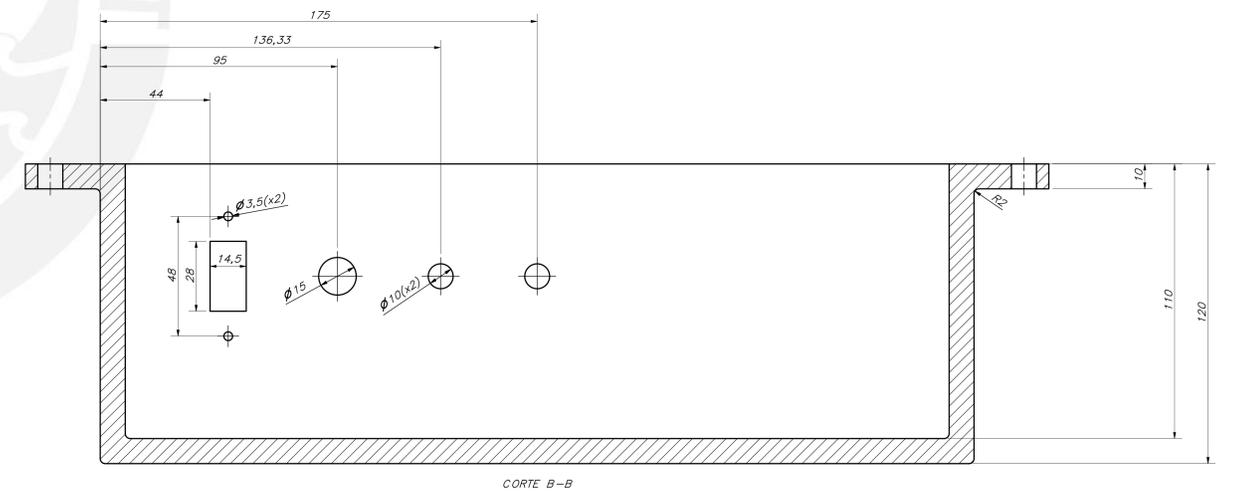
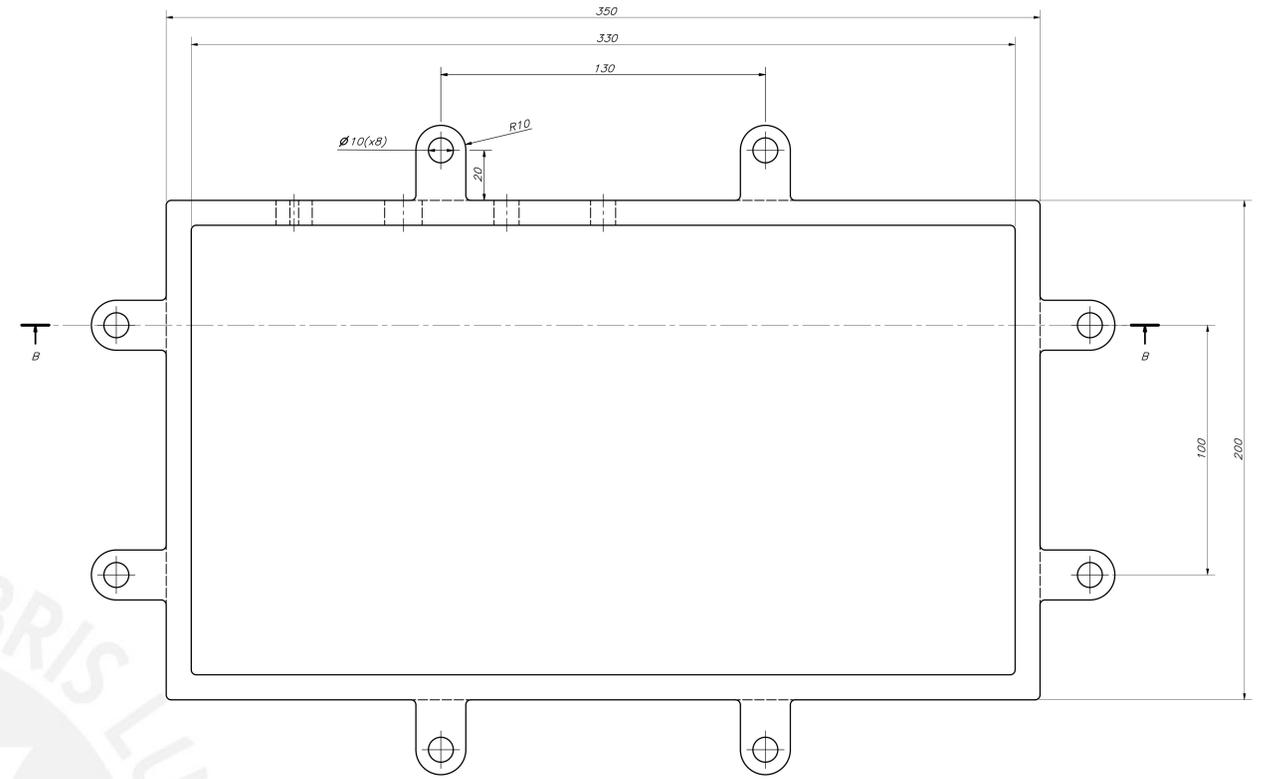
CORTE C-C

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN ISO 2768-1						
GRADO DE EXACTITUD	0,5	1	2	3	4	5
MAX	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,4	±0,5
MED	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,4	±0,5
MIN	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,4	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MEDIO	MATERIAL VELCRO
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - INGENIERIA MECATRONICA		
MATERIAL: SOPORTE DE TORSO, SOPORTE DE RODILLAS, SOPORTE DE PIES MATERIAL: VELCRO		ESCALA: INDICADA
20172792	CARRERERO, CARRETERO, CAMILO MARCELO	FECHA: 2022.06.08 PLANO: DE-A0-12

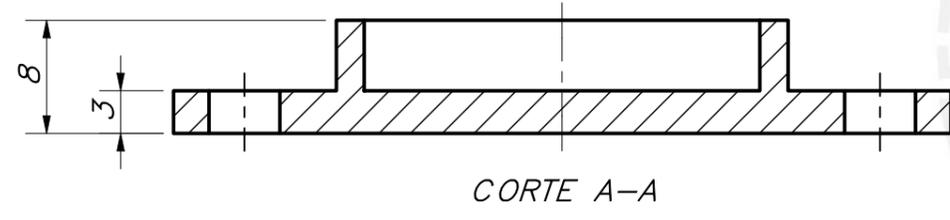
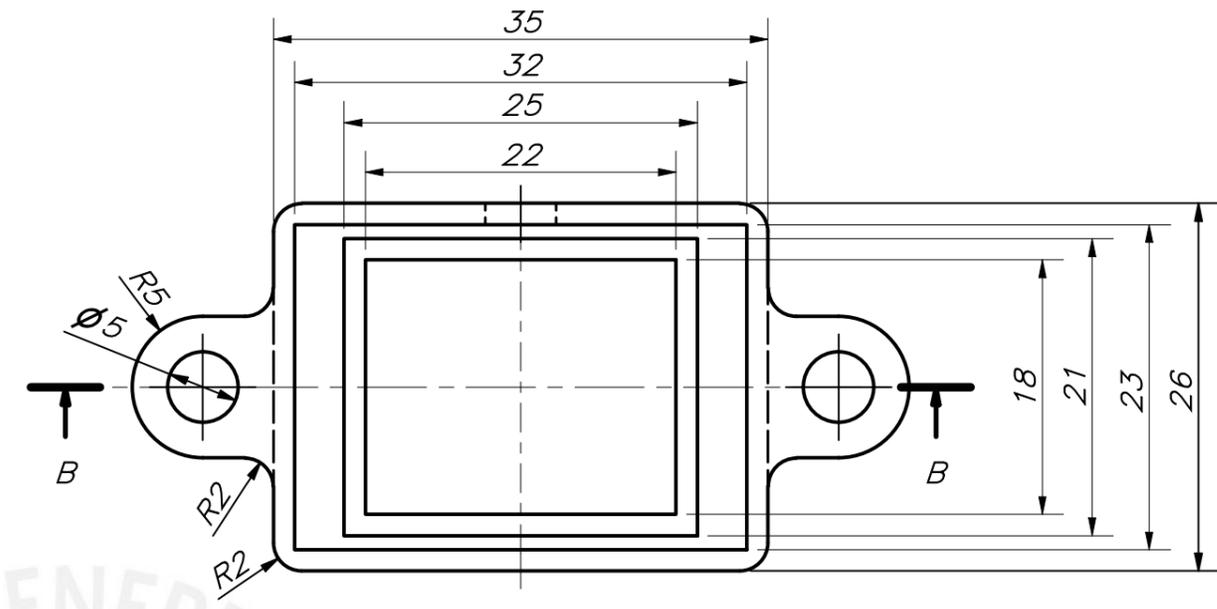
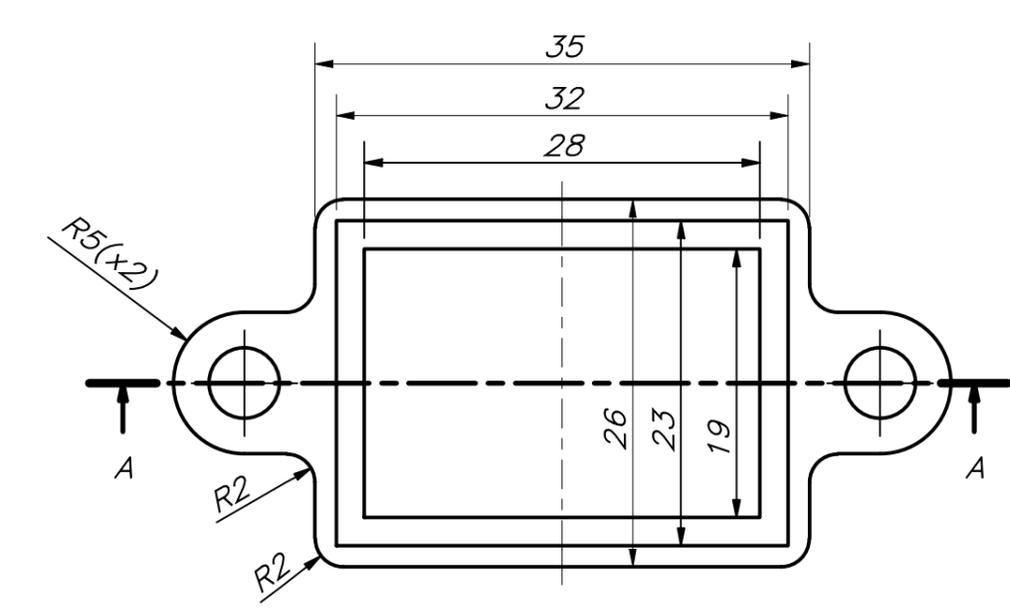


ITEM: CAJA ELECTRÓNICA PARTE INFERIOR  
POSICION: 15

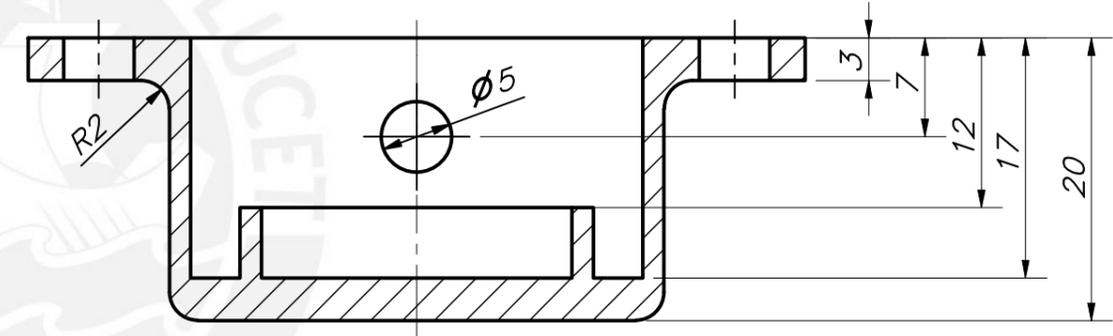


ITEM: CAJA ELECTRÓNICA PARTE SUPERIOR  
POSICION: 13

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
	$\pm 0.3$	ABS
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA <small>INSTRUMENTACIÓN DE SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO</small>		
MÉTODO DE PROYECCIÓN		ESCALA
		1:2
20172792	CARRERERO KARRERERO, CAMILO MARCELO	FECHA: 2022.06.08 PLANO: DE-A0-13



CORTE A-A

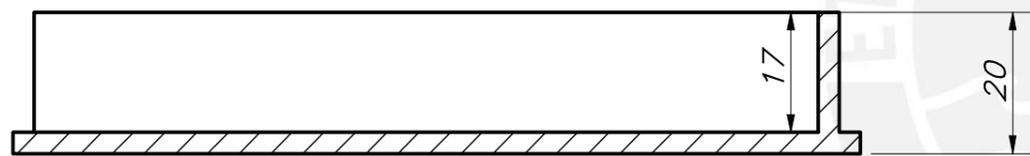
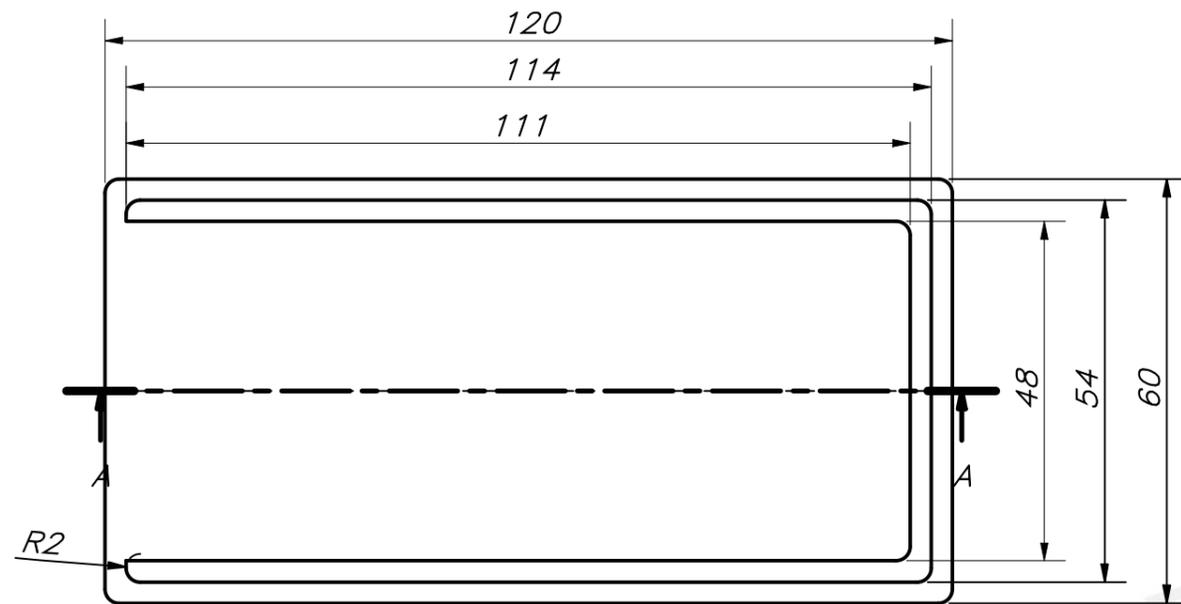


CORTE B-B

ITEM: CAJA ACELERÓMETRO INFERIOR  
POSICION: 16

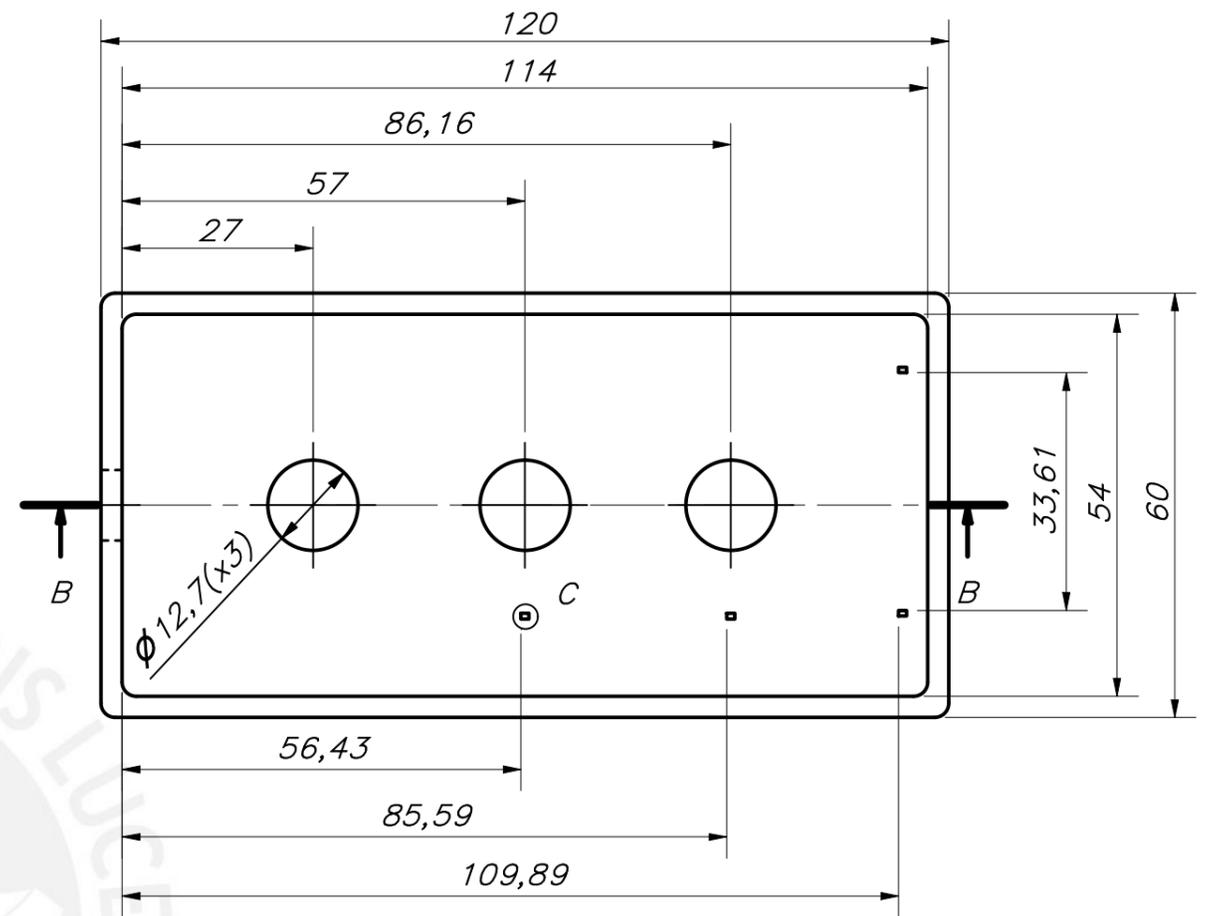
ITEM: CAJA ACELERÓMETRO INFERIOR  
POSICION: 17

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL $\pm 0.3$	MATERIAL ABS
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON SISTEMA DE POSICIONAMIENTO BÍPEDO PARA PERSONAS PARAPLÉJICAS	ESCALA
	<b>CAJA ACELERÓMETRO</b>	<b>2:1</b>
20172792	CARRETERO KARRETERO, CAMILO MARCELO	FECHA: 2022.06.08
		PLANO: DE-A3-14



CORTE A-A

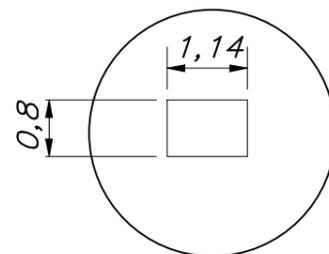
ITEM: MANDO DE CONTROL – TAPA INFERIOR



CORTE B-B

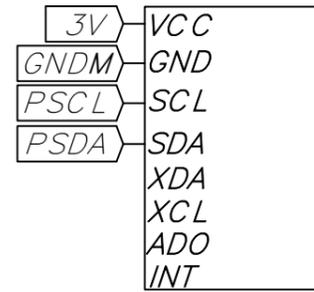
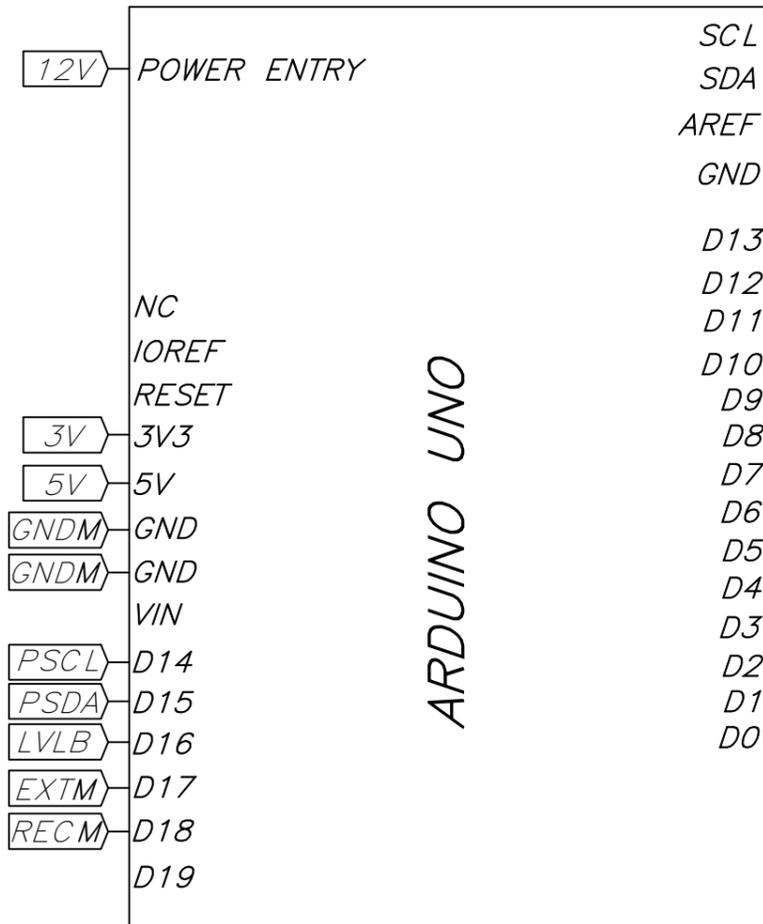
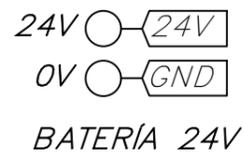
ITEM: MANDO DE CONTROL – TAPA SUPERIOR

REDONDEOS NO INDICADOS R2

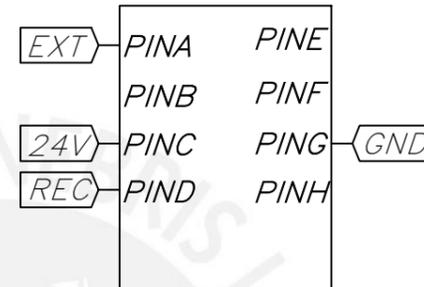


DETALLE C  
ESCALA 10 : 1

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL ±0,3	MATERIAL ABS
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON SISTEMA DE POSICIONAMIENTO BIPEDO PARA PERSONAS PARAPLEJICAS	ESCALA 1:1
	<b>MANDO DE CONTROL</b>	
20172792	CARRETERO KARRETERO, CAMILO MARCELO	FECHA: 2022.06.08
		PLANO: DE-A3-15



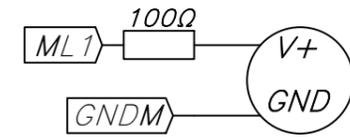
ACELERÓMETRO



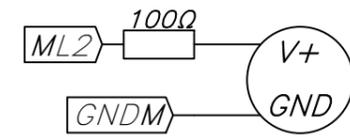
ACTUADOR LINEAL



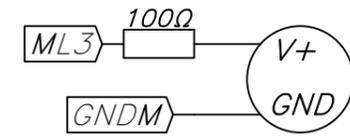
SENSOR DE VOLTAJE



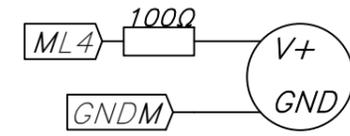
LED ON/OFF



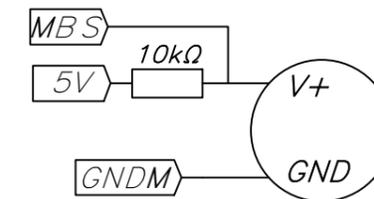
LED NIVEL BATERÍA



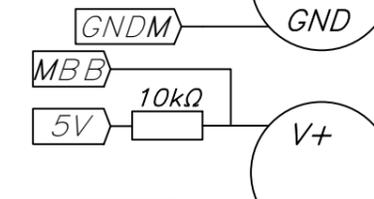
LED POS BIPEDA



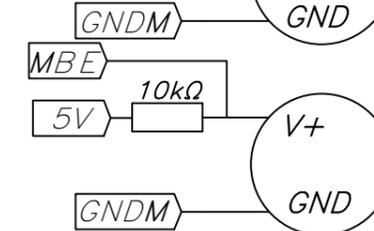
LED POS SENTADA



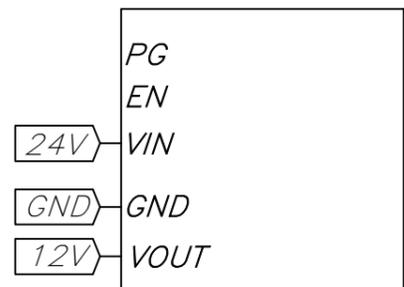
BOTON SUBIDA



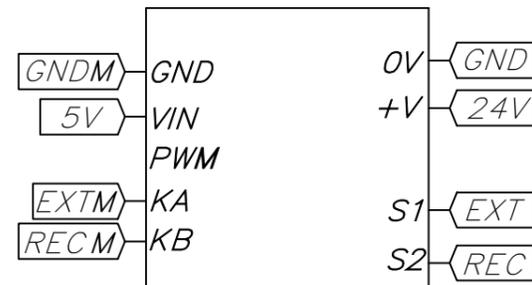
BOTON BAJADA



BOTON EMERGENCIA



REGULADOR BUCK



CONTROLADOR ACTUADOR

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
	DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON SISTEMA DE POSICIONAMIENTO BÍPEDO PARA PERSONAS PARAPLÉJICAS <b>DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE CONEXIONES</b>	ESCALA <b>1:2</b>
20172792	CARRETERO KARRETERO, CAMILO MARCELO	FECHA: 2022.06.19
		PLANO: SC-A4-01