PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS TELEOPERADA PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD FÍSICA MOTRIZ

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecatrónico

Autor:

Kenzo Nicolas Manrique Gómez

Asesor:

Dante Ángel Elías Giordano

Lima, octubre, 2024

Informe de Similitud

Yo, Dante Angel Elias Giordano, docente de la Facultad 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 TELEOPERADA PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD FÍSICA MOTRIZ, del autor Kenzo Nicolas Manrique Gómez, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 22%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 30/09/2024.
- 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, 30 de septiembre de 2024

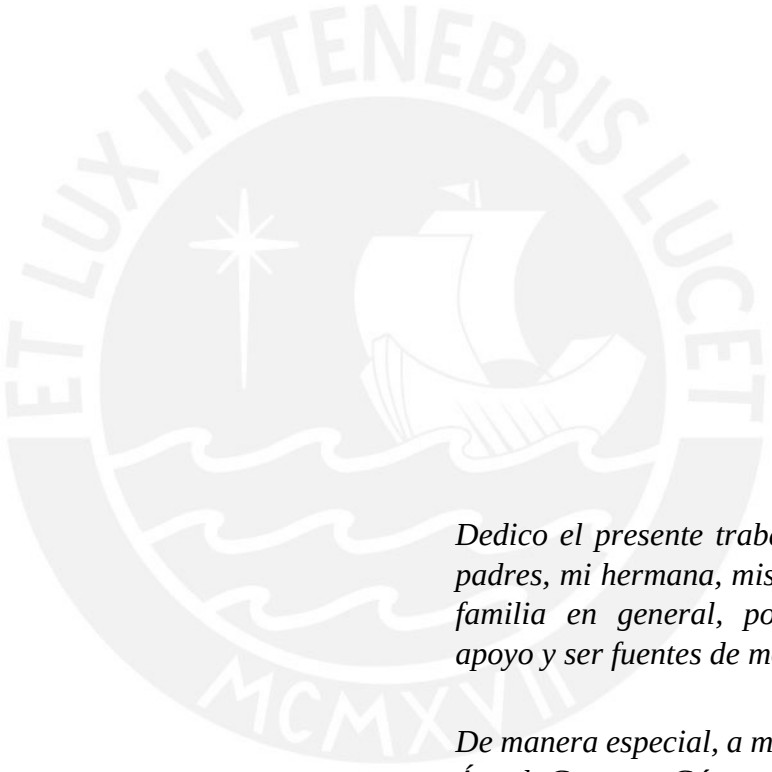
Apellidos y nombres del asesor: Elias Giordano, Dante Angel	
DNI: 10142907	Firma
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5920-9608	

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se realizó el diseño de una silla de ruedas teleoperada para niños con discapacidad física motriz entre los 6 y 12 años. El diseño de la silla de ruedas teleoperada posee dos modalidades, conducción manual por medio de un módulo joystick y conducción remota por medio de un dispositivo móvil. Además, el paciente tiene la posibilidad de realizar sus necesidades higiénicas con mayor facilidad y comodidad desde la propia silla de ruedas por medio de un asiento extraíble, ubicando la silla sobre el inodoro.

En este documento se presentan los antecedentes del Trabajo de Investigación de Manrique (Manrique, 2022) sobre el concepto de solución de la silla de ruedas teleoperada basada en la metodología "*Design Methodology for Mechatronic Systems*", propuesta por la Profesora Karol Muñoz, el Ingeniero Víctor De Negri y el Magíster Vinícius Vígolo (De Negri, 2021). Bajo esta premisa, se desarrolló el subsistema mecánico de la silla con el modelamiento en 3D de los componentes mecánicos con su respectivo análisis dimensiona de esfuerzos y deformación para corroborar la admisibilidad mecánica de la estructura de la silla. Además, se realizó la selección de los componentes de actuación.

Posteriormente, se desarrolló el subsistema eléctrico/electrónico y de control de la silla, donde se continuó con la selección de los componentes electrónicos (sensores, comunicación Wifi, controlador y fuente de energía) y sus respectivos diagramas esquemáticos. Luego, se diseñó el diagrama de flujo y lógica de funcionamiento de la silla, así como el diseño de la interfaz manual y remota de la silla a través de un prototipo de una aplicación móvil. Finalmente, se presenta el dispositivo general, planos mecánicos de ensamble y despiece, así como los planos de estimación de costos de fabricación.



Dedico el presente trabajo a Dios, mis padres, mi hermana, mis abuelos y a mi familia en general, por el constante apoyo y ser fuentes de motivación.

De manera especial, a mi abuelo, el Ing. Ángel Gustavo Gómez Palza, por ser una gran inspiración. Un beso y un fuerte abrazo al cielo.

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a mis padres Martín Manrique y Janett Gómez por todo su apoyo, ejemplo y amor incondicional en cada paso de mi vida. De la misma forma, quiero agradecer a mi hermana Joanna Manrique por motivarme y ser un modelo para mí; a mis abuelos y familiares que me han alentado en cada circunstancia de mi vida. También quiero agradecer a mi asesor el Dr. Dante Elías por compartirme sus conocimientos y brindarme su apoyo en el desarrollo del presente trabajo. Por último, quiero agradecer a mis amistades y a las personas que han influido en el desarrollo de mi vida personal y profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

		Pág.
RESUMEN		i
DEDICATORIA		ii
AGRADECIMIENTO		iii
ÍNDICE DE TABLAS		vi
ÍNDICE DE FIGURAS		viii
INTRODUCCIÓN		1
I.	ANTECEDENTES	3
1.1	Situación de niños con discapacidad	3
1.2	Tipos de discapacidad motora	4
1.3	Tipos de sillas de ruedas	5
1.4	Biomecánica en las sillas ruedas	7
1.5	Estado de la tecnología en sillas de ruedas eléctricas	9
1.5.1	Publicaciones académicas y proyectos en desarrollo	9
1.5.2	Productos comerciales	10
1.6	Requerimientos de diseño	12
1.7	Proyecto preliminar	13
II.	DISEÑO DEL SUBSISTEMA MECÁNICO	17
2.1	Consideraciones preliminares	17
2.2	Cálculos y dimensionamiento mecánico	23
2.2.1	Cálculo de fuerzas	23
2.2.2	Cálculo de volcadura	24
2.2.3	Cálculo de potencia de motores	24
2.3	Modelamiento de la silla de ruedas	25
2.3.1	Chasis	26
2.3.2	Reposabrazos	31
2.3.3	Módulo de reposapiés	33
2.3.4	Módulo de ruedas antivuelco	34
2.3.5	Silla de ruedas	37
2.4	Selección de actuadores	38
III.	DISEÑO DEL SUBSISTEMA ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO Y DE CONTROL	40
3.1	Lógica de funcionamiento del subsistema eléctrico/electrónico	40
3.1.1	Diagrama de conexiones	41

3.2 Selección de componentes eléctricos/electrónicos 42
3.2.1 Joystick 42
3.2.2 Comunicación Wifi 43
3.2.3 Sensores 44
3.2.4 Controlador 46
3.2.5 Batería 49
3.3 Circuitos eléctricos/electrónicos 50
3.4 Sistema de control 55
3.4.1 Diagrama de flujo y lógica de control 55
3.4.2 Diseño de control de movimiento (orientación y velocidad) 62
3.5 Subsistema de interfaz 65
3.5.1 Interfaz por joystick 65
3.5.2 Interfaz por aplicación de celular 66
IV. DISPOSITIVO, PLANOS Y ESTIMACIÓN DE COSTOS 71
4.1 Dispositivo 71
4.2 Planos 73
4.4 Estimación de costos 75
OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES 79
CONCLUSIONES 81
BIBLIOGRAFÍA 83
ANEXOS 85
Anexo A: Planos Esquemáticos de componentes electrónicos 86
Anexo B: Planos de ensamble y despiece del sistema mecánico 89

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1.1: Comparación de sillas de ruedas eléctricas comerciales para niños 11

Tabla 1.2: Síntesis de características de sillas de ruedas eléctricas especiales 12

Tabla 1.3: Resumen de los requerimientos para el diseño 13

Tabla 2.1. Medidas antropométricas de niños entre los 6 y 10 años 19

Tabla 2.2. Medidas antropométricas de niñas entre los 6 y 10 años 19

Tabla 2.3. Dimensiones internas de la silla de ruedas 19

Tabla 2.4. Propiedades mecánicas del aluminio 6061 26

Tabla 2.5. Resultados del análisis de elementos finitos del reposabrazos 28

Tabla 2.6. Resultados del análisis para el módulo de la rueda delantera 30

Tabla 2.7. Resultados del análisis en el pin de la rueda delantera 30

Tabla 2.8. Resultados del análisis de elementos finitos del reposabrazos 32

Tabla 2.9. Resultados del análisis de elementos finitos del módulo del reposapiés 34

Tabla 2.10. Resultados del análisis de elementos finitos del módulo de la rueda antivuelco 35

Tabla 2.11. Resultados del análisis en el pin de la rueda antivuelco 36

Tabla 2.12. Comparación de motores *brushless* + ruedas neumáticas 39

Tabla 3.1. Selección del joystick 42

Tabla 3.2. Selección de módulo Wifi 44

Tabla 3.3. Selección del sensor de ultrasonido 45

Tabla 3.4. Selección del sensor de nivel de carga de batería 46

Tabla 3.5. Pines de entrada y salida del microcontrolador 47

Tabla 3.6. Selección del microcontrolador 48

Tabla 3.7. Cálculo de potencia total de la silla de ruedas 49

Tabla 3.8. Selección de batería 50

Tabla 3.9. Variables de control 56

Tabla 3.10. Funciones de control 56

Tabla 3.11. Orientación y dirección de la silla según la variable *direc* 62

Tabla 3.12. Definición de velocidades según la variable *vel* 64

Tabla 4.1. Clasificación de los planos de ensamble y despiece de la silla de ruedas 74

Tabla 4.2. Costo de diseño 75

Tabla 4.3. Costo de componentes comerciales 76

Tabla 4.4. Costo de materiales de manufactura 76

Tabla 4.5. Costo de impresión 3D 77

Tabla 4.6. Costo de procesamiento y ensamblado de componentes 77

Tabla 4.7. Costo total de fabricación de la silla 78

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1.1: a) Silla de ruedas autopropulsada. b) Silla de ruedas asistida 5

Figura 1.2: Silla de ruedas eléctrica 6

Figura 1.3: Silla de ruedas de bipedestación 6

Figura 1.4: Silla de ruedas: a) Para deporte. b) Bariátrica. c) Para subir escaleras 7

Figura 1.5: Partes de una silla de ruedas convencional 8

Figura 1.6: Prototipo de silla de ruedas eléctrica para subir y bajar veredas 10

Figura 1.7: Estructura del Sistema Mecatrónico 14

Figura 1.8: Vista general de la silla de ruedas 15

Figura 1.9: Módulo de joystick 15

Figura 1.10: Reposabrazos 16

Figura 1.11: Control remoto de la silla de ruedas. 16

Figura 2.1: Dimensiones generales de la silla de ruedas 18

Figura 2.2: Centro de gravedad de una persona sentada y en el diseño propuesto 20

Figura 2.3: Diagrama de cuerpo libre de la silla de ruedas 21

Figura 2.4: Diagrama de cuerpo libre inclinado de la silla de ruedas 22

Figura 2.5: Diagrama de cuerpo libre para el análisis de volcadura 23

Figura 2.6. Componentes generales de la silla de ruedas 26

Figura 2.7. Chasis de la silla de ruedas 27

Figura 2.8. Análisis de esfuerzo equivalente del chasis de la silla de ruedas 28

Figura 2.9. Módulo de rueda delantera 29

Figura 2.10. Análisis de esfuerzos en el módulo de la rueda delantera 29

Figura 2.11. Análisis de esfuerzos en el pin de la rueda delantera 30

Figura 2.12. Soporte de batería 31

Figura 2.13. Reposabrazos de la silla de ruedas 31

Figura 2.14. Análisis de esfuerzos en el reposabrazos 32
Figura 2.15. Módulo de Reposapiés 33
Figura 2.16. Análisis de esfuerzos en el módulo del reposapiés 34
Figura 2.17. Módulo rueda antivuelco 35
Figura 2.18. Análisis de esfuerzos en el módulo de rueda antivuelco 36
Figura 2.19. Análisis de esfuerzos en el pin de la rueda antivuelco 36
Figura 2.20. Diseño mecánico de silla de ruedas 37
Figura 2.21. Dimensiones de la silla de ruedas: a) Vista frontal. b) Vista de perfil. 38
Figura 3.1. Diagrama de conexión 41
Figura 3.2. a) Leds difusos. b) Pulsadores con cubierta 43
Figura 3.3. Caja de componentes electrónicos 48
Figura 3.4. Diagrama esquemático de la fuente de alimentación 51
Figura 3.5. Diagrama esquemático de los controladores de los motores *brushless* 51
Figura 3.6. Diagrama esquemático de los sensores de ultrasonido HC-SR04 52
Figura 3.7. Diagrama esquemático del Módulo Wifi ESP-01 52
Figura 3.8. Diagrama esquemático del joystick 53
Figura 3.9. Diagrama esquemático de botones 53
Figura 3.10. Diagrama esquemático de Leds 54
Figura 3.11. Diagrama esquemático del microcontrolador ATmega2560 55
Figura 3.12. Diagrama de flujo general de la silla de ruedas 57
Figura 3.13. Continuación del diagrama de flujo general 68
Figura 3.14. Función Inicializar parámetros 59
Figura 3.15. Interrupción para enviar el estado de la batería 60
Figura 3.16. Diagrama de flujo de la operación del aplicativo 61
Figura 3.17. Función para controlar la orientación de la silla de ruedas 63
Figura 3.18. Interrupción para actualizar la velocidad de la silla de ruedas 64
Figura 3.19. Componentes del módulo joystick 65

Figura 3.20. Pantalla de inicio para interfaz por aplicación móvil 66
Figura 3.21. Pantalla selección de dispositivo 67
Figura 3.22. Pantalla de control remoto 68
Figura 3.23. Casos de control remoto 69
Figura 3.24. Pantalla de Configuración y des habilitación de sesión remota 70
Figura 3.25. Pantalla de estado de batería y nivel de velocidad 70
Figura 4.1. Diseño final de silla de ruedas teleoperada y características técnicas 72
Figura 4.2. Diseño final de silla de ruedas teleoperada y componentes principales 72
Figura 4.3. Posición de silla sobre inodoro 73

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, alrededor del 15% de la población mundial presenta alguna discapacidad, y esta cifra se mantiene en constante aumento debido en parte al envejecimiento de la población y el aumento de las enfermedades crónicas que generan dificultades considerables para recurrir a una asistencia sanitaria (OMS, 2020). La realidad es que la población con discapacidad aún enfrenta barreras para sentirse parte de la sociedad, pues muchas veces son aislados y discriminados de servicios médicos, oportunidades de empleo y educación, etc. Estas desventajas generan un ambiente desfavorable y una gran repercusión en el grado de la discapacidad que afrontan. Además, la coyuntura mundial por el COVID-19 ha minimizado mucho más este concepto del estilo de vida de las personas con discapacidad, pues ante el temible contagio los servicios públicos y asistencias se encuentran saturados, expandiendo el riesgo a estas personas (OMS, 2020).

La situación resulta ser más influyente en el caso de los niños, que son uno de los grupos más excluidos de la sociedad, ya que experimentan barreras más significativas que limitan su desarrollo físico, mental y social. Las circunstancias sociales muchas veces limitan a estos niños a formar parte de su entorno, pues no se aplican adecuadamente las medidas necesarias en los centros educativos como, por ejemplo, colocar rampas o elevadores para subir de niveles, servicios higiénicos para discapacitados, protocolos y capacitación para temas de discapacidad en el ambiente educativo, etc. Un niño con limitación de movilidad o discapacidad motriz muchas veces requiere el uso de una silla de ruedas que le permita movilizarse con facilidad y adecuarse lo mejor posible en su entorno; sin embargo, la adquisición de las sillas de ruedas que se ajusten a su necesidad no siempre es obtenida.

El Banco Mundial registró en el 2017 a 19 países en desarrollo, incluido el Perú, con una tasa de finalización de la escuela primaria de niños con discapacidad de solo el 48%, y que “3 de cada 10 niños con discapacidad jamás han asistido a la escuela” (Male, 2017). Estos niños se enfrentan diariamente a actitudes negativas, estereotipos, abusos, aislamiento y baja autoestima; debido a que no pueden realizar sus actividades diarias con normalidad.

El Perú no es ajeno a esta situación ya que, siendo un país subdesarrollado, aún no dispone de medidas suficientes que puedan mejorar el estilo de vida de estos niños. La situación económica del país se ha visto comprometida por la necesidad de adquirir recursos para combatir el COVID-19 y, además, las importaciones realizadas se hacen bajo cierto criterio financiero aceptable por el gobierno, el cual se inclina a la obtención de productos económicamente viables y de gama media-baja. En el caso de las sillas de ruedas, el Perú solo importa sillas de ruedas estándar para adultos, mayormente desde China, Estados Unidos y Bélgica (OEC, 2019). Bajo estas circunstancias los niños se ven obligados a adquirir estas sillas que no son ajustables a su medida, que no les permite realizar sus actividades de la mejor manera posible y que puede provocar más daños a su condición física.

Por lo tanto, se propone el diseño de una silla de ruedas eléctrica para niños con discapacidad física motriz permanente entre los 6 y 12 años, que les permita realizar sus necesidades higiénicas de manera accesible en inodoros estándares y que pueda ser controlada por un dispositivo móvil. Para esto, se realiza una síntesis del trabajo realizado por Manrique (Manrique, 2022), en el que se propuso un diseño conceptual de silla de ruedas eléctrica para niños con discapacidad motriz; trabajo que abordó los antecedentes de niños con discapacidades motrices, la biomecánica en sillas de ruedas y los requerimientos para el diseño de esta. Entonces, con este diseño conceptual, se realiza la ingeniería de detalle (cálculo y selección de componentes), así como la modelación en 3D y arquitectura electrónica para validar el diseño. Finalmente, se presentan los planos de ensamble y despiece, así como la estimación de costos de diseño y fabricación.

Este trabajo busca incentivar la inclusión de las personas con discapacidad motriz a la sociedad, a través de tecnologías automáticas para el desplazamiento de los niños de 6 a 12 años con discapacidad motriz permanente y para una mejor accesibilidad en sus actividades cotidianas. La propuesta de diseño plantea mejorar las condiciones actuales de estos niños en el ámbito educativo a nivel primaria, de tal manera que puedan desarrollarse, participar en sus actividades educativas con normalidad y cambiar la perspectiva actual de estos niños con respecto a su limitación. Además, este trabajo también busca promover la realización de más proyectos y futuras investigaciones en esta área de tecnología.

CAPÍTULO 1
ANTECEDENTES

En el presente capítulo se presenta una síntesis de la investigación realizada previamente por autor de este trabajo para comprender los conceptos utilizados en el diseño de la silla de ruedas (Manrique, 2022). De esta manera, se presenta la estadística de la situación de los niños con discapacidad en el Perú y los tipos de enfermedades variantes de la discapacidad física motriz. También, se presenta la clasificación de sillas de ruedas según su aplicación y la biomecánica de estas para su correcto funcionamiento. Además, se presentan las publicaciones académicas y productos comerciales actuales de las sillas de ruedas. Adicionalmente, se presentan los requerimientos determinados del sistema y el concepto óptimo de solución utilizado para el diseño de la silla de ruedas.

1.1 Situación de niños con discapacidad

En Perú se registró que las personas con discapacidad representan el 10.4% de la población, es decir, por cada 10 pobladores del Perú existe un poblador que presenta alguna discapacidad (INEI, 2019). El INEI registró que el 6.7% de la población con discapacidad representaba a la población menor a los 15 años, dentro del se registró que la dificultad para caminar es la segunda discapacidad más relevante en el Perú con el 15.1% (43% corresponde a los hombres y el 57% a las mujeres). Según el CONADIS se ha registrado a la fecha que los niños representan el 17% de la población con discapacidad, y que existe un 66.3% de personas con discapacidad de locomoción o destreza motriz (CONADIS, 2021).

Otro factor importante en la situación de niños con discapacidad es el nivel educativo alcanzado ya que, según las limitaciones que presentan existe un alejamiento o exclusión de estos niños para poder realizar sus actividades educativas con las medidas y protocolos que requieren para poder realizarlas de la mejor manera posible. El INEI también registró que aproximadamente el 12% de niños entre 6 y 12 años no asiste a la escuela (INEI, 2017). Además, en los centros educativos existen barreras de accesibilidad que no les permiten a los niños con discapacidad hacer uso de servicios, ya sea por la movilidad hacia lugares dentro de la institución educativa o por la incapacidad de acceder a los servicios de esta (INEI, 2012).

Las circunstancias que afrontan estos niños según su limitación son muy complicadas ya que la demanda de recursos de rehabilitación o soporte médico como las sillas de ruedas, por ejemplo, superan las cifras de la oferta comercial. Las cifras de la OMS registradas en el año 2013 presentaban que 70 millones de personas en el mundo requieren sillas de ruedas, pero solo entre el 5% y 15% tiene acceso a ellas. La obtención de sillas de ruedas en el Perú no se centra en la importación de sillas de ruedas especializadas para niños ya que, el comercio de esta área es cubierto sólo para sillas de ruedas estándar para adultos, importadas mayormente desde China con un 88.3%, Estados Unidos con un 4.24% y Bélgica con un 3.77% (OEC, 2019). Sin embargo, estas importaciones no llegan a cubrir a todo el público objetivo (Manrique, 2022).

1.2 Tipos de discapacidad motora

La discapacidad física o motriz es una situación temporal o permanente que impide o dificulta que la persona pueda moverse con libertad y plena funcionalidad especialmente las extremidades, provocando no poder mover de manera voluntaria su musculatura esquelética (Zuasti, 2020). Las principales enfermedades que limitan la movilización son las siguientes.

- Monoplejía: Afecta una de las extremidades inferiores del cuerpo.
- Paraplejía: Enfermedad con diversos grados de parálisis que produce daños en la vértebra dorsal o en zonas inferiores.

- Hemiplejía: Trastorno del cuerpo donde se paraliza la mitad del cuerpo.
- Espina Bífida: Defecto congénito por malformación de la columna vertebral y médula espinal.
- Distrofia Muscular: Enfermedad que provoca debilidad progresiva, contracciones, debilidad muscular y pérdida del tejido muscular.
- Amputación: Hace referencia a la pérdida de extremidades o de partes del cuerpo debido a traumatismos graves o malformaciones.

1.3 Tipos de sillas de ruedas

Las sillas de ruedas tienen como aplicación principal ayudar a las personas con problemas de locomoción o discapacidad motora en su desplazamiento y actividades cotidianas. Existen diversos tipos de sillas de ruedas comerciales según su aplicación (ObboCare, s.f.).

1.3.1 Sillas de ruedas manuales

Son las sillas de ruedas más comerciales debido a su facilidad de uso y portabilidad ya que pueden ser plegables. En la Figura 1.1 se muestran las sillas de ruedas manuales autopropulsadas y asistidas.

a) b)

Fig. 1.1. a) Silla de ruedas autopropulsada.[1] b) Silla de ruedas asistida.[2]

[1] Sillas de ruedas manuales: https://www.silladeruedaonline.com/sillas-de-ruedas-manuales/. Fecha de consulta: agosto 2021.
[2] Silla de ruedas asistida: https://www.amazon.es/SED-ruedas-asistida-plegable-reclinable/dp/B07Y5VG3L5. Fecha de consulta: agosto 2021.

1.3.2 Sillas de ruedas eléctricas

Estas sillas son accionadas por motores eléctricos bajo la conducción del usuario el cual puede regular parámetros establecidos en la silla para mayor comodidad y seguridad. Estas también pueden ser plegables o fijas. En la Figura 1.2 se muestra una silla de ruedas eléctrica básica.

Fig. 1.2. Silla de ruedas eléctrica.[3].

1.3.3 Sillas de ruedas de bipedestación

Esta silla de ruedas a diferencia de las eléctricas y las manuales le permite al usuario cambiar de postura al ponerse de pie, produciendo muchos beneficios para su salud. En la Figura 1.9 se muestra una silla de ruedas con módulo de bipedestación.

Fig. 1.3. Silla de ruedas de bipedestación.[4]

[3] Silla de ruedas eléctrica: http://www.sillasderuedas.pe/productos-sillas-de-ruedas-innova/innova-502/. Fecha de consulta: agosto 2021.
[4] Silla de ruedas eléctrica de bipedestación: https://www.ortopediasilvio.com/es/sillas-de-ruedas-electricas/4650-jive-up-silla-de-ruedas-electrica-de-bipedestacion.html. Fecha de consulta: agosto 2021.

Entre otros tipos existen las sillas de rueda para deportes, las cuales son más versátiles para actividades deportivas, las sillas de ruedas bariátricas para personas con obesidad y las sillas para subir y bajar escaleras (ver Figura 1.4).

a) b) c)

Figura 1.4. Silla de ruedas: a) Para deporte. b) Bariátrica. c) Para subir escaleras (Manrique, 2022).

1.4 Biomecánica en las sillas de ruedas

La biomecánica en las sillas de ruedas contempla la comodidad, movilidad y funcionalidad del usuario según las circunstancias personales, de tal manera que la propulsión se genere de forma eficaz y con el mínimo gasto de energía.

1.4.1 Partes de la silla de ruedas convencional

Las sillas de ruedas convencionales están compuestas por varios elementos que permiten la funcionalidad adecuada de la silla y la comodidad del usuario. Este medio brinda movilidad, dependiendo de su tipo (manual, eléctrica, bípeda, etc.).

Los elementos que componen una silla de ruedas convencional, como se muestra en la Figura 1.5, son los siguientes:

- Ruedas: Pueden ser neumáticas o macizas.
- Espaldar: Pueden ser fijos o reclinables.
- Asiento: Debe ser blando y cómodo para el usuario.
- Apoyabrazos: Se recomienda que sean abatibles y graduables para facilitar la accesibilidad del usuario.

- Cojines: Debe ser blando y cómodo para el usuario.
- Sistemas de sujeción: Brindan seguridad al usuario.
- Reposapiés: Permiten el descanso y apoyo de los pies.
- Reposacabezas: Permite el apoyo de la cabeza del paciente sobre un cojín.

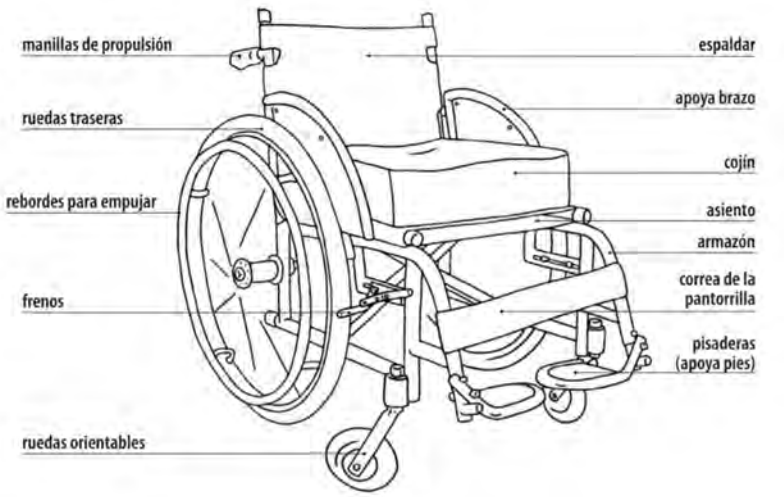


Figura 1.5. Partes de una silla de ruedas convencional. (OMS, 2008)

1.4.2 Factores que afectan la movilidad y propulsión

La composición de la silla de ruedas debe estar acorde a los requerimientos del usuario de tal manera que este genere una optimización en su propulsión (Sunrise Medical, s.f.). Los factores que afectan la movilidad y la propulsión son los siguientes:

- Distribución del peso de la silla de ruedas.
- El terreno.
- Tamaño y composición de las ruedas:
- Altura y posición de las ruedas.
- Centro de gravedad de la silla.
- Distancia entre ejes de ruedas delanteras y traseras.
- Ángulo de las ruedas traseras.
- Ángulo de las ruedas delanteras.
- Grados de movilidad del usuario.
- Postura del usuario.

1.4.3 Medidas necesarias para la correcta prescripción de la silla de ruedas

La correcta prescripción de la silla de ruedas al usuario depende de los requisitos y comodidad que este requiere de ella, es decir, la silla debe ajustarse al usuario y no el usuario a la silla (Sunrise Medical, s.f.). Para ello se deben considerar las siguientes medidas:

- Anchura pélvica: Corresponde a la anchura que tendrá el asiento de la silla.
- Longitud del muslo: Corresponde con la profundidad del asiento.
- Longitud de la pantorrilla: Corresponde con la longitud del reposapiés.
- Altura inferior de la escápula: Corresponde con la altura del respaldo en un paciente con control normal de tronco.
- Altura del hombre: Corresponde con la altura del respaldo en un paciente con poco control de tronco.

1.5 Estado de la tecnología en sillas de ruedas eléctricas

En esta sección se presenta información relevante de publicaciones académicas y científicas en desarrollo de sillas de ruedas eléctricas para identificar los principios de funcionamiento, características y recomendaciones para el diseño de una silla de ruedas eléctrica, así como algunas características generales de las sillas de ruedas eléctricas que son comerciales.

1.5.1 Publicaciones académicas y proyectos en desarrollo

Entre las publicaciones académicas sobre sillas de ruedas eléctricas se tiene la propuesta de tesis de una silla de rueda eléctrica controlada por un joystick con capacidad para subir y bajar veredas (López, 2014), como se muestra en la Figura 1.6.

Fig. 1.6. Prototipo de silla de ruedas eléctrica para subir y bajar veredas (López, 2014).

Además, otra propuesta de tesis para mejorar la aplicación de las sillas de ruedas eléctricas es de Lévano (2020), quien plantea el diseño de una silla de ruedas mecatrónica multifuncional para mejorar la accesibilidad de un adulto con paraplejia.

Entre los artículos y proyectos de investigación en desarrollo sobre sillas de ruedas eléctricas se tiene la propuesta de control de una silla de ruedas por medio de un dispositivo móvil con sistema operativo Android (Morales, 2012).

1.5.2 Productos comerciales

Las sillas de ruedas eléctricas se distinguen en el mercado por las distintas funciones y aplicaciones que facilitan y atienden las necesidades de los usuarios en el desarrollo de sus actividades cotidianas.

En la Tabla 1.1 se presenta una síntesis de sillas de ruedas eléctricas comerciales para niños.

Tabla 1.1. Comparación de sillas de ruedas eléctricas comerciales para niños (Manrique, 2022).

Características	Evolution[5]	Sparky[13]	Space[13]	Vicking Mini[13]	Esprit Action 4NG[13]
Dimensiones	Long = 80cm Ancho = 54cm Alto = 90cm	Long = 95.9cm Ancho = 61cm Alto = 97cm	Long = 65cm Ancho = 44cm Alto = 84cm	Long. = 60cm Ancho = 40cm Alto = 105cm	Long = 121cm Ancho = 68cm Alto = 100,2cm
Peso (con batería)	75 kg	*	112 kg	77.5 kg	45 kg
Capacidad de Carga	120 kg	56.7 kg	100 kg	150 kg	125 kg
Control	Mando manual (joystick)	Control VR2, intuitivo y preciso	Mando manual (joystick)	Mando manual (joystick)	Mando manual (joystick)
Velocidad máxima	7 km/h 3 km/h (atrás)	9.66 km/h	10.5 km/h (5 velocidades)	6 km/h	6 km/h
Batería	2x35 Ah	40 Ah	2x65 Ah	12V 50Ah	17 Ah
Potencia	160 W	350 W	*	200 W / 24V	150 W
Autonomía	35 a 40 km	19.93 km	45 km	25 km	30 km
Radio de giro	107 cm	*	120 cm	80 cm	186 cm
Otras Características	Plegable, Ruedas antivuelco, reposapiés ajustable, reposabrazos abatibles.	Asiento y respaldo reclinable: 0° a 16°. Suspensión, reposacabezas ergonómico. Ruedas neumáticas	Uso exterior, rango de edad: 8 a 15 años. Ruedas neumáticas, ruedas antivuelco, kit de luces frontal. Salva ropa incorporada.	2 motores de bajo consumo, freno electromagnético. Ruedas antivuelco. Reposabrazos extraíble, asiento ajustable en ancho y profundidad.	Plegable y desmontable. Basculación: 30°, inclinación máxima: 5°. 8 anchos de asiento. Motores de inducción, batería desmontable.
Procedencia	España	España	España	España	España
Precio	S/. 8,510.00	S/.15,360.00	S/.18,460.00	S/.7,840.00	S/.15,100.00

Según la síntesis realizada en la Tabla 1.1, se debe tomar en cuenta la potencia del motor y la batería, autonomía de la silla de ruedas, así como las características que le permitan al niño realizar sus actividades con mayor normalidad.

En el mercado de sillas de ruedas eléctricas se han integrado las sillas con características especiales, las cuales ofrecen mayor comodidad para diversas actividades que las sillas de ruedas eléctricas comunes. A continuación, en la Tabla 1.2 se presenta una síntesis de las características principales de sillas de ruedas especiales.

[5] Sillas de ruedas eléctricas infantiles: https://www.ortopediamimas.com/ortopedia-infantil/sillas-de-ruedas-electricas-infantiles.html. Fecha de consulta: agosto 2021.

Tabla 1.2. Síntesis de características de sillas de ruedas eléctricas especiales.

Características	K450 MX[6]	K300 PS Jr.[7]	Silla de ruedas portátil controlada por móvil [8]
Dimensiones	Long = 124cm Ancho = 64cm Alto = 65.5cm	Long = 108cm Ancho = 62cm Alto = 63cm	Long = 108cm Ancho = 61cm Alto = 98cm
Peso (con batería)	112 kg	109 kg	28 kg
Capacidad de Carga	60 kg	76 kg	120 kg
Velocidad máxima	8.5 km/h	7.5 / 10 km/h	2 - 8 km/h
Batería	60 Ah	60 Ah	22 Ah (Litio)
Autonomía	25 a 30 km	25 a 30 km	25 ± 3 km
Radio de giro	*	64 cm	1200 cm
Características especiales	Funciones eléctricas: asiento al piso, ajuste de inclinación hasta 45° y elevación de asiento	Plegable, reclinación ajustable: 85° - 120°, basculación de 0° a 45° y superación de obstáculos (7 cm)	Pendiente máx.: 12°, controlador bluetooth inteligente y tiene un tiempo de carga de 4 a 6 horas

En la Tabla 1.2 se presentan las diversas características especiales de estas sillas de ruedas y que la elección de este tipo de sillas depende de la aplicación que el paciente requiera de manera específica para una mayor comodidad y facilidad en la actividad que realice.

1.6 Requerimientos de Diseño

Según los requisitos del usuario determinados en el trabajo de investigación de Manrique (Manrique, 2022). En la Tabla 1.3 se presenta una síntesis de los requerimientos para el diseño.

[6] K450 MX: Nuevo en la ciudad: http://www.mobilitec.es/k450-mx/. Fecha de consulta: setiembre 2021.
[7] K300 PS Jr. Preparados, listos, Ya!: Nuevo en la ciudad: http://www.mobilitec.es/k300-ps-jr/. Fecha de consulta: setiembre 2021.
[8] Silla de ruedas eléctrica portátil controlado por móvil: https://spanish.alibaba.com/product-detail/mobile-controlled-function-foldable-automatic-smart-electric-wheelchair-portable-powerchair-62263533917.html. Fecha de consulta: setiembre 2021.

Tabla 1.3. Resumen de los requerimientos para el diseño (Manrique, 2022).

Requerimientos	Característica
Sistema de propulsión	Permite alcanzar una velocidad máxima de 10 km/h y una pendiente máxima de 15°
Sistema de desplazamiento direccional	Permite giros suaves y cerrados
Sistema de frenado	Desaceleración progresiva de ruedas traseras
Mecanismo de servicio higiénico	Cojín pivoteado en asiento para abertura
Interfaz de control remota	Comunicación inalámbrica (rango máximo de 20 m)
Mando de control manual	Mando de control de 360°
Mecanismo para ajustar la silla	Asiento, reposabrazos y reposapiés regulables
Bordes redondeados	Redondeo mínimo de 1 cm
Colores cromáticos	Colores claros en cojines y chasis
Componentes estandarizados	Piezas comerciales
Sistema antideslizante para ruedas	Evita deslizamiento en pendientes de 15°
Diseño compacto	Dimensiones máximas: 90cm x 70cm x 100cm
Estabilidad mecánica	Rueda trasera para evitar vuelcos
Sistema de amortiguación	Capacidad de carga máxima: 80 kg
Componentes con eficiencia energética	Componentes electrónicos con amperaje máximo de 2 A
Sistema de percepción de entorno	Distancia máxima de percepción: 5 m
Posición accesible de la interfaz manual	Posición de la interfaz manual en el reposabrazos (abatible)
Sistema regulador de energía	Consumo de batería: 30 Ah
Peso ligero	Peso máximo de 40 kg (sin batería)
Materiales resistentes a la corrosión	Materiales inoxidables
Sistema de control de velocidad	Variar la velocidad entre los 0 y 10 km/h (5 velocidades)
Sistema de energización recargable	Autonomía máxima de 30 km
Presupuesto de fabricación limitado	Precio máximo: S/. 8,000.00

1.7 Proyecto Preliminar

En base a la metodología “Design Methodology for Mechatronic Systems”, propuesta por la Profesora Karol Muñoz, el Ingeniero Víctor De Negri y el Magíster Vinícius Vígolo (De Negri, 2021), y al diseño propuesto por Manrique (Manrique, 2022), se tiene como proyecto preliminar una silla de ruedas eléctrica cuya función principal es el desplazamiento del niño con discapacidad física motriz de tal manera que esta le brinde mayor accesibilidad en su entorno. A continuación, se presenta la lista de componentes necesarios para el correcto funcionamiento del sistema, clasificados según la estructura del sistema mecatrónico, como se muestra en la Figura 1.7.

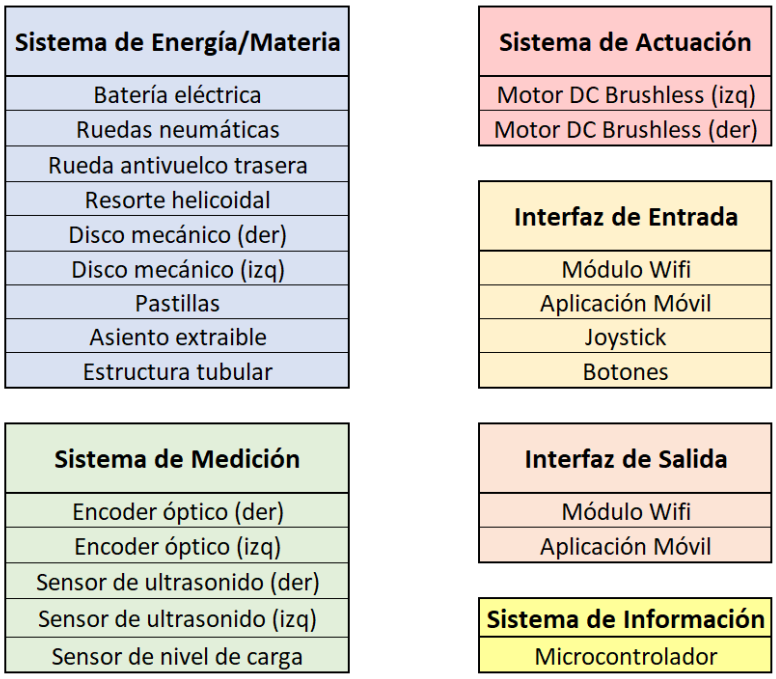


Fig. 1.7. Estructura del Sistema Mecatrónico (Manrique, 2022).

En la Figura 1.8 se presenta el bosquejo general de la silla de ruedas para niños con discapacidad física motriz. Se observa que la posición de los reposabrazos y los reposapiés pueden ser regulables, así como la ubicación del módulo joystick según sea la preferencia del usuario. La ubicación de la caja de los componentes electrónicos estará debajo del reposabrazos en la parte lateral derecha de la silla de ruedas, así como la ubicación de la batería que formará parte del chasis de la silla. Además, el asiento extraíble se podrá retirar y colocar manualmente de manera sencilla desde la parte frontal de la silla cuando el paciente requiera de hacer sus necesidades higiénicas. También, por seguridad se colocan ruedas antivuelco en la parte posterior de la silla para evitar vuelcos al subir elevaciones o gradas.

En la Figura 1.9 se observa más a detalle del módulo del joystick, el cual contiene los Leds y los botones On/Off, subir/bajar velocidad y de emergencia. Además, se observa un tubo ranurado que se podrá introducir y ajustar en el reposabrazos para regular la distancia del módulo del joystick para un mejor agarre y control de la silla de ruedas.

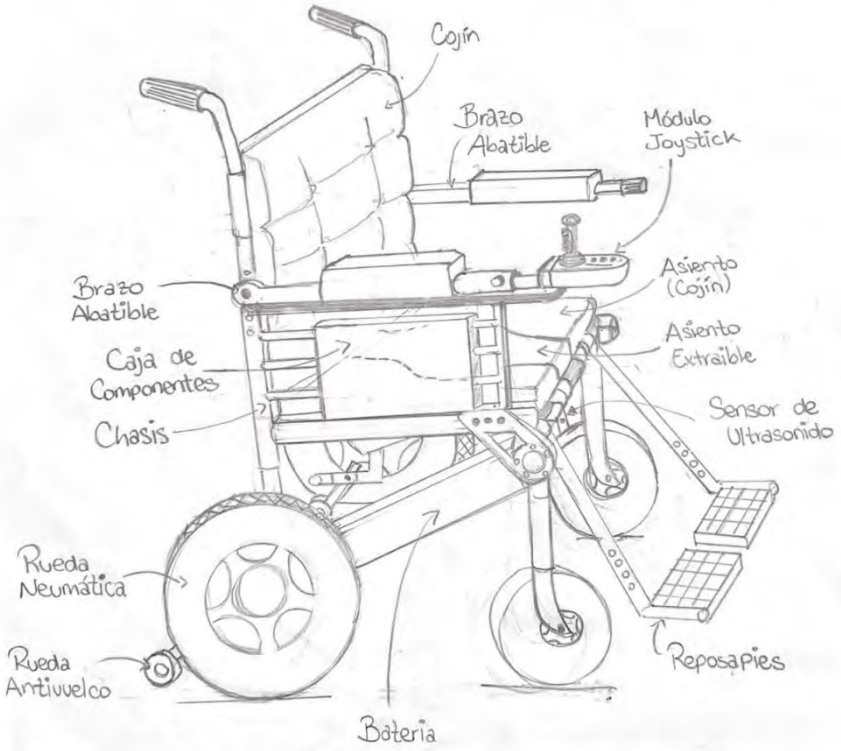


Fig. 1.8. Vista general de la silla de ruedas (Manrique, 2022).

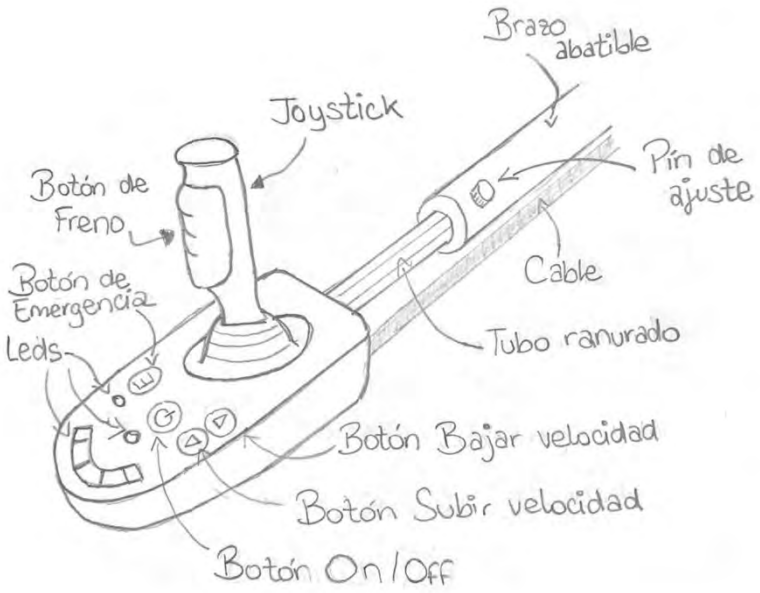


Fig. 1.9. Módulo de joystick (Manrique, 2022).

En la Figura 1.10 se presenta el brazo abatible en posición horizontal para la conducción de la silla por parte del usuario.

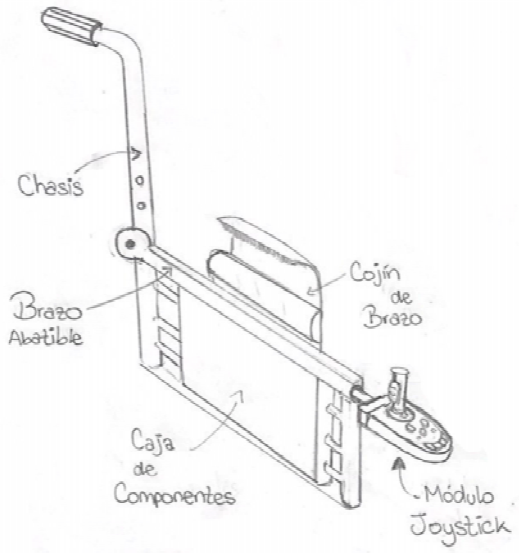


Fig. 1.10. Reposabrazos (Manrique, 2022).

En la Figura 1.11 se presenta el control de la silla de ruedas en modo remoto por conexión de un módulo wifi ubicado en la silla, para que esta pueda ser conducida, y se controle la velocidad desde una aplicación móvil. Además, avisará al usuario de la proximidad de un obstáculo en su camino para que este tome una acción evasiva.

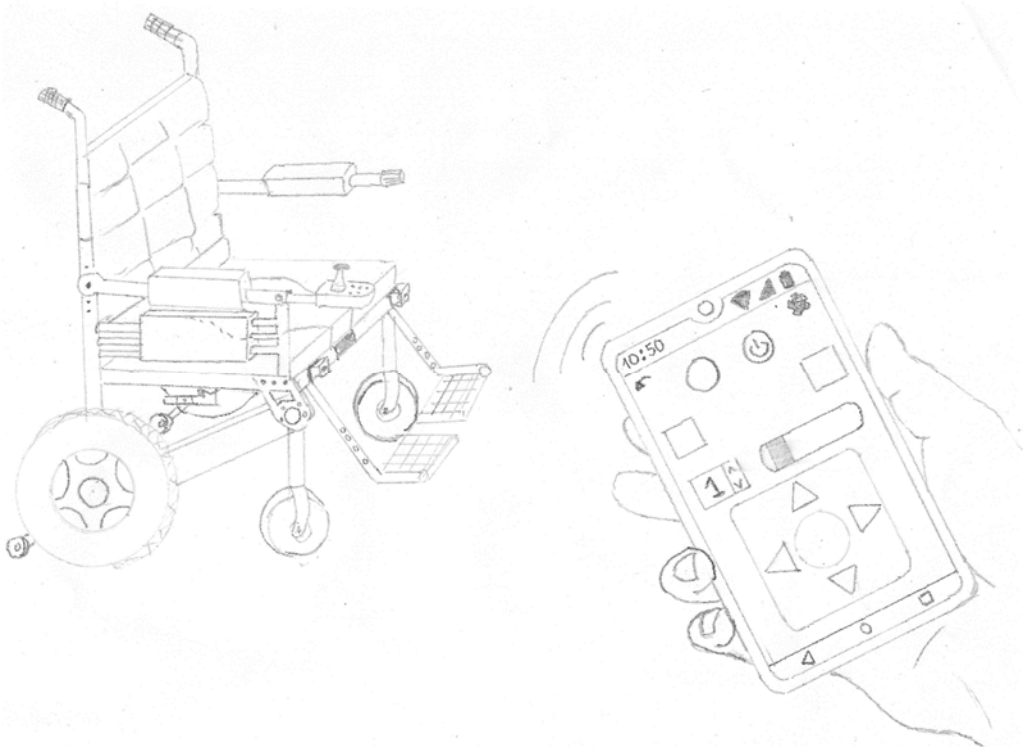


Fig. 1.11. Control remoto de la silla de ruedas.

CAPÍTULO 2
DISEÑO DEL SUBSISTEMA MECÁNICO

En este capítulo se realiza el análisis de los componentes mecánicos de la silla de ruedas, así como los cálculos necesarios para su dimensionamiento, diseño y selección de componentes.

2.1 Consideraciones preliminares

El diseño de la silla de ruedas empieza con la definición del diagrama de cuerpo libre de la silla, para lo cual se requieren las dimensiones de sus componentes, así como el chasis, ruedas, componentes eléctricos y el módulo de energía. Además, con el dato obtenido del centro de gravedad de la silla de ruedas, se calculan los esfuerzos admisibles que puede soportar la silla de ruedas con sus componentes, el peso del usuario paciente y un factor de seguridad.

Posteriormente, con los datos obtenidos se realiza el análisis de estabilidad estática y dinámica de la silla de ruedas en elevaciones, es decir, cuando la silla sube o baja pendientes. La pendiente se determina según la máxima inclinación permitida por la Norma A.120 y un factor de seguridad adicional para que la silla pueda ascender y descender sin ningún problema por las pendientes. Con estos datos, también se realiza el análisis de volcadura de la silla de ruedas, de tal manera que se determina la altura de las ruedas antivuelco sobre el suelo para reducir la probabilidad de volcadura de la silla de ruedas.

Luego, se determinan los parámetros del motor, como la velocidad, potencia y energía necesaria. Con estos datos se seleccionan los motores y reductores de velocidad en caso sea necesario, que permitan el movimiento de la silla con la carga máxima establecida. Así también, como los controladores que permiten el giro de las ruedas.

2.1.1 Dimensiones generales de la silla de ruedas

Las dimensiones de la silla de ruedas se establecen en base a la necesidad del usuario de realizar sus necesidades higiénicas, es decir, considerando las dimensiones estándar de los inodoros según la Norma A.120, por lo cual se considera una dimensión mínima de 500 mm del asiento hasta el suelo. En función de los requisitos elaborados en la Sección 1.6, las dimensiones de la silla que se proponen son de un alto y largo de aproximadamente 1000 y 900 mm respectivamente. Además, un ancho total de 700 mm, de los cuales se requiere un mínimo 450 mm para que la silla retroceda y se ubique sobre el inodoro. En el espacio sobrante (250 mm) se ubicarán los motores y ruedas, y como la mayoría de las bases de inodoros comerciales es angosta[9], se considera utilizar un espacio total de 330 mm, es decir 165 mm por lado. En la Figura 2.1 se presentan las dimensiones generales de la silla.

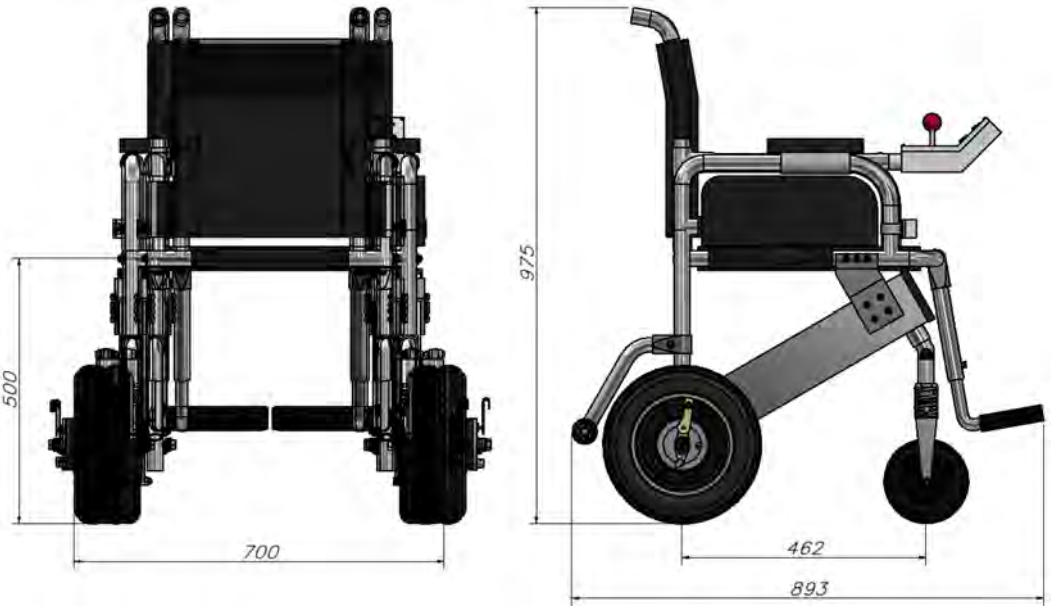


Fig. 2.1. Dimensiones generales de la silla de ruedas.

[9] Inodoro Largo Mayo: https://www.ferrum.com/ver.php?que=articulo&id=1933#main. Fecha de consulta: abril 2022.

Las dimensiones internas de la silla de ruedas se basan en las medidas antropométricas de niños entre los 6 y 12 años. En la Tabla 2.1 y 2.2 se presenta un estudio de la Universidad Nacional de Bogotá como referencia sobre las medidas antropométricas para niños y niñas entre los 6 y 10 años con discapacidad física motriz:

Tabla 2.1. Medidas antropométricas de niños entre los 6 y 10 años [10].

Niños (edad)	6 años	7 años	8 años	9 años	10 años
Altura silla-codo	16.5	17.2	18.1	17.9	17.8
Altura fosa poplítea (sentado)	30.5	30.9	34.7	35.4	38.7
Ancho hombros	27.1	29	30.5	30.8	31.4
Ancho codos	27.1	31.7	34.1	34	32.9
Ancho cadera	22.7	23.4	23.7	25.1	25.5
Largo pie	17.5	18.4	19.7	20	21.3

Tabla 2.2. Medidas antropométricas de niñas entre los 6 y 10 años [10].

Niñas (edad)	6 años	7 años	8 años	9 años	10 años
Altura silla-codo	20.2	17.5	18.4	18.4	19.6
Altura fosa poplítea (sentado)	30.9	32.9	34.6	37.4	40.2
Ancho hombros	26.3	29.3	30.2	30.8	32.8
Ancho codos	27.3	32.2	34.2	32.5	33.8
Ancho cadera	21.4	22.5	23.9	25	27.4
Largo pie	17.1	18.5	20.7	19.9	21.3

Realizando un promedio de las medidas antropométricas presentadas entre niños y niñas, así como una proyección lineal para las edades de 11 y 12 años, se determinaron las medidas internas más relevantes de la silla de ruedas, presentadas en la Tabla 2.3:

Tabla 2.3. Dimensiones internas de la silla de ruedas.

Dimensiones internas de la silla de ruedas	Unidades (cm)
Altura reposabrazos	18.1
Distancia entre reposabrazos	35
Altura reposapiés (asiento – pies)	6 posiciones: 31, 33, 35, 37, 39, 41
Altura del respaldas	46
Ancho respaldar	35

[10] Tablas antropométricas infantiles: Conozca sus propiedades y usos: https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/7163/Ruiz_Manuel%2C_tablas_antropometricas.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Fecha de consulta: mayo 2022.

2.1.2 Análisis de fuerzas

El análisis de fuerzas requiere conocer el centro de gravedad de la persona y la silla de ruedas. Según el físico Yakov Perelman, el centro de gravedad de una persona sentada se encuentra aproximadamente a 20 cm sobre el nivel del ombligo, dentro de su cuerpo y cerca de la columna vertebral (Perelman, s.f.). En la Figura 2.2 se presenta la ubicación del centro de gravedad de la s.

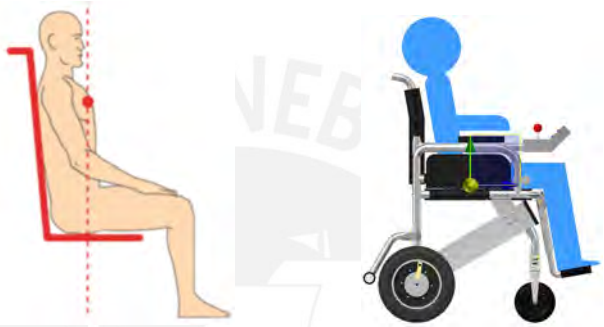
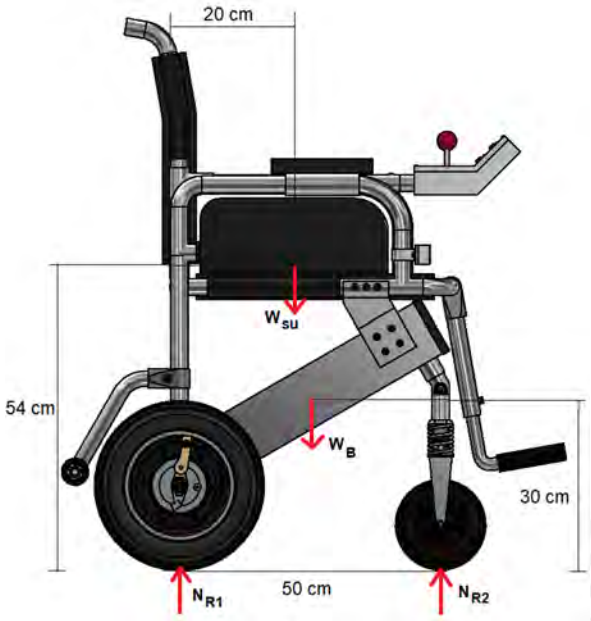


Fig. 2.2. Centro de gravedad de una persona sentada[11] y en el diseño propuesto.

Por otro lado, el centro de gravedad de la silla de ruedas, según su proporción, se ubica aproximadamente debajo del reposabrazos y en el eje de posición donde estará sentada la persona, es decir, el eje vertical que pasa por el centro de gravedad de la persona sentada. Entonces, el centro de gravedad de la silla de ruedas con el usuario, medido desde el asiento, se encuentra a una altura ligeramente superior del ombligo de la persona con un valor estimado de 20 cm, mientras que la distancia del eje del chasis de la silla con el pecho de la persona se está estimando en 20 cm. Estos valores han sido estimados por el autor para iniciar los cálculos correspondientes.

En la Figura 2.3 se presenta el diagrama de cuerpo de libre (DCL) de la silla de ruedas. Entonces, aplicando las condiciones de equilibrio estático (sumatoria de fuerzas y de momentos con respecto al centro de la rueda trasera) en la Figura 2.3 se obtienen las Ecuaciones 2.1 y 2.2.

[11] Consideraciones Biomecánicas en silla de ruedas manual (Fecha de consulta: noviembre 2021): http://www.ortopediarehabilitacion.com/documentos/consideraciones-biomecanicas-de-la-silla-de-ruedas.pdf.



W_{su}: Peso de la silla y el usuario [N].
W_B: Peso de la batería [N].
N_{R1}: Fuerza normal rueda trasera [N].
N_{R2}: Fuerza normal rueda delantera [N].

Fig. 2.3. Diagrama de cuerpo libre de la silla de ruedas.

$$W_{su} * 20 + W_B * 25 = N_{R2} * 50, \quad (2.1)$$

$$N_{R1} + N_{R2} = W_{su} + W_B . \quad (2.2)$$

Según la Norma A.120 la inclinación máxima establecida para una rampa equivale al 12%, es decir a 6.84° aproximadamente[12]. Sin embargo, debido a que esa restricción no siempre es acatada en las construcciones y edificaciones públicas y privadas, se considera un factor de seguridad alto para que la silla pueda recorrer como máximo hasta una pendiente de 15° según el diseño y distribución de los componentes de la silla. Además, se considera que las dimensiones de los radios de las ruedas traseras y delanteras serán aproximadamente de 15 cm y 8 cm respectivamente.

En la Figura 2.4 se presenta el DCL de la silla cuando se encuentra reposando en una pendiente. Similarmente, aplicando las condiciones de equilibrio estático (sumatoria de fuerzas y de momentos con respecto al punto de contacto de la rueda trasera y el suelo) en la Figura 2.4, se obtienen las Ecuaciones 2.3, 2.4 y 2.5.

[12] Medición de ángulos verticales y pendientes: https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6707s/x6707s04.htm. Fecha de consulta: noviembre 2021.

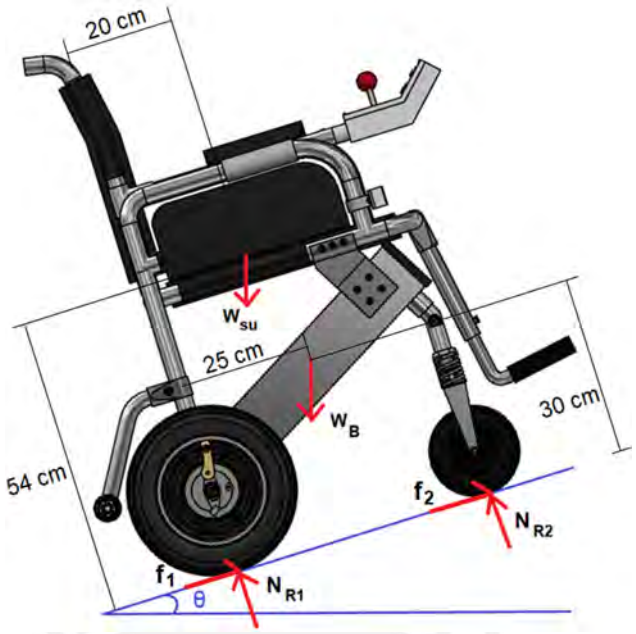


Fig. 2.4. Diagrama de cuerpo libre inclinado de la silla de ruedas.

$$W_{su} * 20 * \cos(15) + W_B * 25 * \cos(15) = N_{R2} * 50 + W_{su} * 54 * \text{sen}(15) + W_B * 30 * sen(15), \quad (2.3)$$

$$N_{R1} + N_{R2} = W_{su} * \cos(15) + W_B * \cos(15). \quad (2.4)$$

$$f_1 + f_2 = W_{su} * \text{sen}(15) + W_B * \text{sen}(15). \quad (2.5)$$

2.1.3 Análisis de volcadura

En el análisis de volcadura se determina la posición en la que se encontrará la rueda antivuelco con respecto a la rueda neumática, de tal manera que el sistema sea estable. Además, se determina la altura de la posición inicial de la rueda antivuelco, así como el ángulo θ máximo que la silla podrá sostenerse de las ruedas traseras y las ruedas antivuelco.

En la Figura 2.5 se presenta el diagrama de cuerpo libre para el análisis de volcadura de la silla de ruedas. Aplicando las condiciones de equilibrio estático, sumatoria de fuerzas y de momentos con respecto al centro de la rueda trasera, se obtienen la Ecuación 2.6 para determinar el ángulo máximo de volcadura. Cuando la silla se apoya en las ruedas antivuelco se genera una reacción R_A y una reacción en las ruedas traseras N_{R1}. En la Ecuación 2.7 se calcula la reacción en las ruedas antivuelcos.

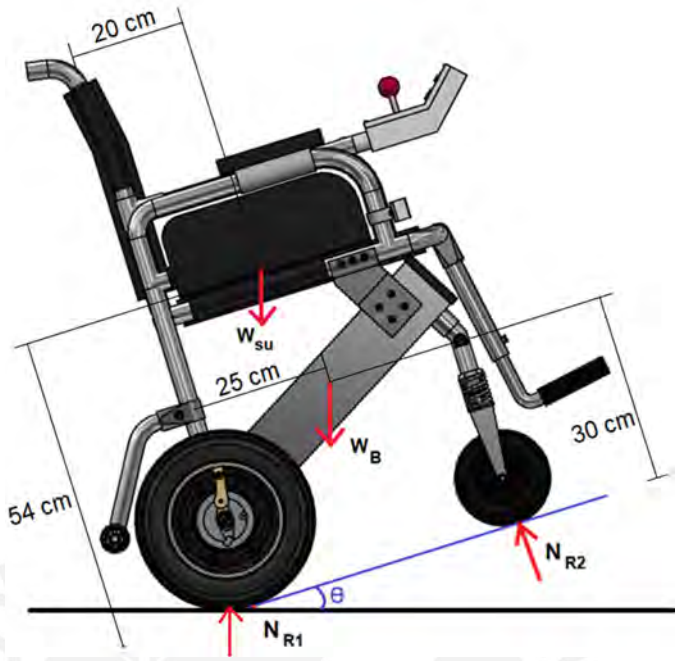


Fig. 2.5. Diagrama de cuerpo libre para el análisis de volcadura.

$$W_B * 25 * cos\theta \ + \ W_{su} * 20 * cos\theta \ = \ W_B * 30 * sen\theta \ + \ W_{su} * 54 * sen\theta, \qquad (2.6)$$

$$N_{R1} + \ R_A \ = \ W_{su} * cos\theta + \ W_B * cos\theta. \qquad (2.7)$$

Las ruedas antivuelco también evitan la volcadura de la silla cuando esta se encuentra en pendientes ya que, en el intento de volcadura, el centro de gravedad de la silla y el usuario debe estar dentro del rango de estabilidad de la silla de ruedas.

2.2 Cálculos y dimensionamiento del sistema mecánico

A continuación, se realizan los cálculos necesarios para determinar las fuerzas de reacción y movimiento de la silla de ruedas, así como el dimensionamiento de los motores.

2.2.1 Cálculo de fuerzas

En el cálculo de las fuerzas internas de la silla de ruedas se considera, según los requerimientos establecidos, que el peso de la silla de ruedas sin considerar la batería (W_s) es de 40 kg (392 N). Además, la carga máxima o peso crítico del usuario (W_u) que

soporta la silla es de 80 kg (784 N) y el peso de la batería (W_B) es de 6 kg (58.8 N) (Manrique, 2022). Entonces, con estos valores, los señalados en la Figura 2.3 y resolviendo las Ecuaciones 2.1 y 2.2, se obtiene N_{R1} = 735 N, N_{R2} = 499.8 N.

Además, se calcula que para un coeficiente de fricción estático menor a 0.26 recién la silla se podría desplazar de su estado de reposo en inclinación. Las reacciones en el suelo cuando la silla de ruedas asciende o desciende por una rampa. Entonces, con los parámetros presentados en la Figura 2.5 y resolviendo las Ecuaciones 2.3 y 2.4, se obtiene N_{R1} = 1047 N, N_{R2} = 144.9 N.

En los cálculos siguientes se considerará el mayor valor de la fuerza normal de reacción en las ruedas traseras, en este caso corresponde a $N_{R1} = 1047$ N.

2.2.2 Cálculo de volcadura

Se determina el ángulo máximo de inclinación que puede tener la silla de ruedas justo antes de volcarse ($R_A = 0$). Con los valores señalados en la Figura 2.5, y resolviendo las Ecuaciones 2.6 y 2.7 se obtiene $\theta_{máx} = 20.95°$. Entonces, el ángulo de inclinación máxima de la silla de ruedas es de 20.95° antes que la silla se vuelque. Por eso se selecciona un ángulo de inclinación de 15° como seguridad para evitar la volcadura de la silla y el usuario se encuentre cómodo al inclinar la silla.

La distancia de la rueda antivuelco a la rueda trasera debe contener la ubicación del centro de gravedad como punto de equilibrio para evitar la volcadura de la silla, por lo cual se está considerando una distancia segura de 20 cm y un ángulo de inclinación máximo de 20.95° (volcadura) para el apoyo de las ruedas antivuelco.

2.2.3 Cálculo de potencia de motores

El cálculo de potencia de motores se realiza según los requerimientos de diseño y con valores referenciales a productos comerciales según el trabajo realizado por Manrique (Manrique, 2022). Entonces, la velocidad uniforme máxima (V) de la silla de ruedas es de 10 km/h con una aceleración (a) de 0.3 m/s^2 para el cambio de velocidad. Además, se considera que el radio de las ruedas traseras (R) es de 15 cm.

El cálculo de la potencia para cada motor (P) requiere la obtención previa de los valores de las revoluciones por minuto o velocidad angular (n o ω), fuerza de fricción (F_{fr}), fuerza de fricción máxima ($F_{fr\,max}$) considerando un coeficiente estático crítico ($\mu_s = 1$), y el torque de cada motor (T). Para ello se consideran las Ecuaciones 2.8 a 2.12[13]:

$$n = \frac{V * 60}{2 * \pi * R}, \tag{2.8}$$

$$F_{fr} = m * a, \tag{2.9}$$

$$F_{fr\,max} = N * \mu_s > F_{fr}, \tag{2.10}$$

$$T = \frac{F_{fr}}{2} * R, \tag{2.11}$$

$$P = \omega * T. \tag{2.12}$$

Entonces, resolviendo las Ecuaciones desde la 2.8 a 2.12 se obtienen los siguientes valores: n = 176.8 RPM, F_{fr} = 37.8 N, $F_{fr\,max}$ = 10 47 N, T = 2.835 Nm, P =52.5 W.

Se utiliza una eficiencia de 75% ya que es el mínimo valor comercial utilizado para un buen rendimiento del motor[14], considerando pérdidas de fricción y desgaste. Por lo cual se obtiene que la potencia mecánica real de cada motor es de aproximadamente 75 W.

2.3 Modelamiento de la silla de ruedas

En este ítem se presentan los modelados sólidos en 3D de los componentes de la silla de ruedas, así como la integración de estos para obtener el diseño final de la silla. Además, se presenta el análisis por el método de elementos finitos usando el software Inventor Professional 2021, para determinar los límites de las propiedades mecánicas de la silla y verificar su cumplimiento con respecto a los límites del material asignado. En la Figura 2.6 se presenta la silla de ruedas señalando sus componentes generales.

[13] Cálculo de potencia para motores de una silla de ruedas eléctrica para la comunidad infantil en condición de discapacidad de Tunja: http://somim.org.mx/memorias/memorias2020/articulos/A1_138.pdf. Fecha de consulta: abril 2022.
[14] Eficiencia de un motor eléctrico y los valores más comunes: https://www.electricaplicada.com/eficiencia-de-un-motor-electrico-y-los-valores-mas-comunes/#eficiencias-mas-comunes-para-motores-electricos. Fecha de consulta: abril 2022.

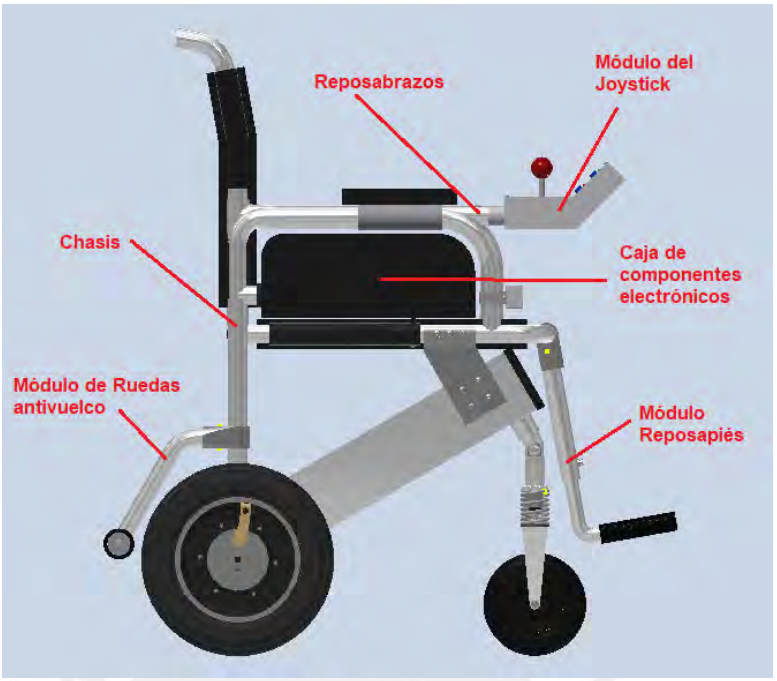


Fig. 2.6. Componentes generales de la silla de ruedas.

2.3.1 Chasis

La estructura de la silla de ruedas está compuesta por aluminio estructural (6061) debido a su baja relación peso/precio, buena resistencia y versatilidad para las extrusiones. Según los requerimientos de diseño el chasis estará compuesto por tubos redondos con un diámetro comercial de 30 mm y un espesor 4 mm. En la Tabla 2.4 se presentan las principales propiedades mecánicas del aluminio estructural (6061). Además, se han integrado estructuras en forma de depósitos para la colocación de la batería en ambos lados de la silla, los cuales sirven de soporte para el asiento, como se ve en la Figura 2.7.

Tabla 2.4. Propiedades mecánicas del aluminio 6061[15].

Resistencia a la Tracción [MPa]	Resistencia a la Elasticidad [MPa]	Módulo de Elasticidad [GPa]
241 MPa	145 MPa	68.9 GPa

Los procesos involucrados en la fabricación del chasis son el doblado a compresión para obtener la inclinación, doblez y ángulos necesarios para dar forma a la estructura del asiento, respaldar y soportes del reposabrazos. También, se aplica el proceso de soldadura

[15] Aluminio 6061: Conozca sus propiedades y usos: https://www.gabrian.com/es/aluminio-6061-conozca-sus-propiedades-y-usos/. Fecha de consulta: abril 2022.

MIG (gas inerte metálico) para las estructuras de aluminio [16], debido a que son más comúnmente aplicadas al material de aluminio, ofrecen buena calidad y pueden tener bajos espesores [17].

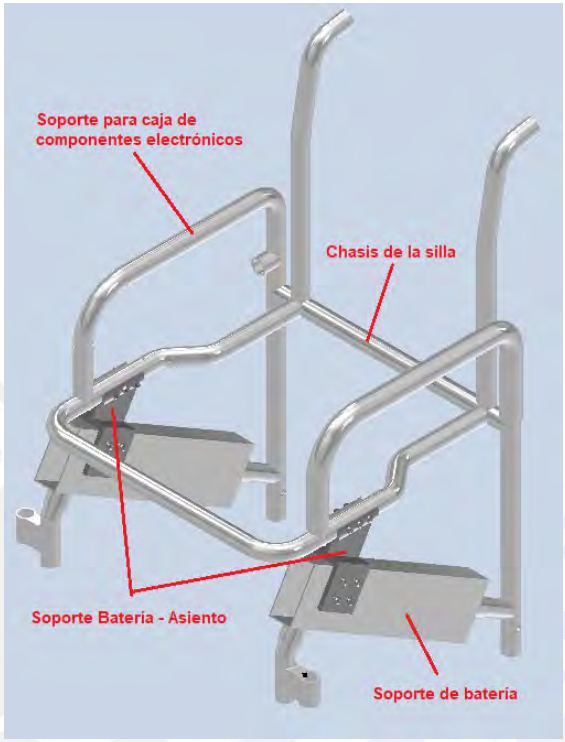


Fig. 2.7. Chasis de la silla de ruedas.

En la Figura 2.8 se presenta el DCL y análisis de esfuerzo equivalente del chasis de la silla para aplicar el método de elementos finitos mediante el software Inventor Professional 2021. En este caso se aplica un mallado a todo el chasis con un valor de 0.05 y se colocan restricciones fijas en las zonas que serán soportadas por las ruedas delanteras y traseras. Además, se considera una carga crítica total de 80 kg o 784 N distribuidos en las áreas de los perfiles del asiento, de tal manera que cada perfil soporte 196 N.

En la Tabla 2.5 se presentan los resultados obtenidos, en los que se observa que el esfuerzo máximo obtenido es menor que el esfuerzo admisible de 145 MPa del material. Además, el desplazamiento crítico generado en los soportes del reposabrazos es mínimo para causar

[16] ¿Qué tipo de soldadura se utiliza para el aluminio?: http://www.aluminiosbean.es/blog/2019/07/29/que-tipo-de-soldadura-se-utiliza-para-aluminio/#:~:text=Quiz%C3%A1s%20la%20forma%20m%C3%A1s%20com%C3%BAn,electrodo%20de%20tungsteno%20no%20consumible.. Fecha de consulta: abril 2022.

[17] Que es la soldadura y cuantos tipos de soldadura existen: https://formacionceif.es/actualidad/que-es-la-soldadura-y-cuantos-tipos-de-soldadura-existen/. Fecha de consulta: abril 2022.

alguna incomodidad en el usuario y, por último, el factor de seguridad ofrece una alta relación de resistencia peso. Estos valores son resultado del análisis de esfuerzo por el programa Autodesk Inventor Proffesional.

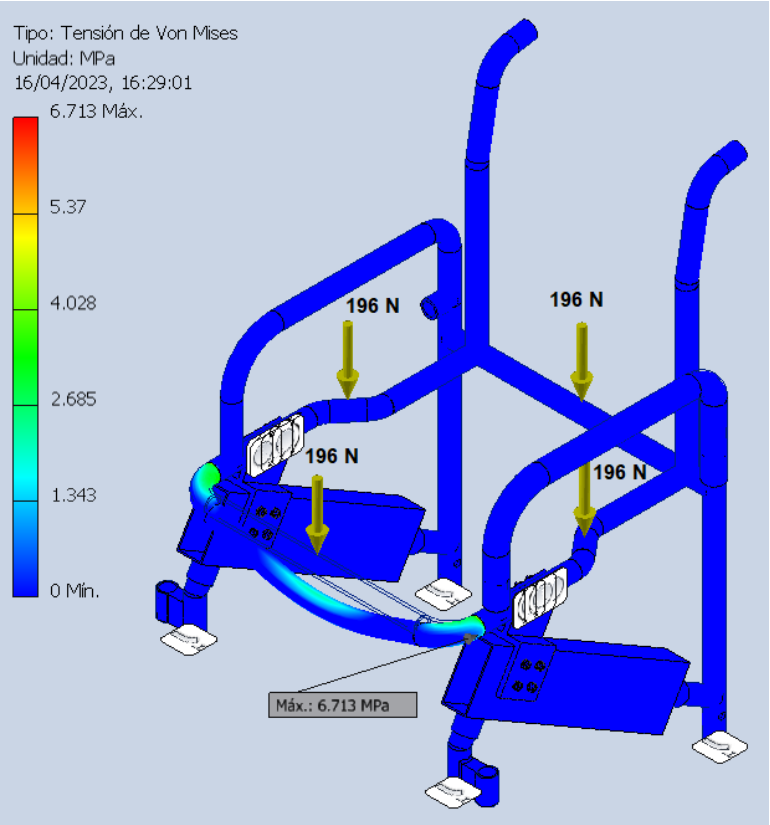


Fig. 2.8. Análisis de esfuerzo equivalente del chasis de la silla de ruedas.

Tabla 2.5. Resultados del análisis de elementos finitos del reposabrazos.

Esfuerzo Equivalente [MPa]	Desplazamiento [mm]	Factor de Seguridad
6.713	0.0551	FS = 15

a) Módulo rueda delantera

La rueda delantera está compuesta por un tubo redondo de aluminio 6061 que contiene un amortiguador comercial con resorte para soportar la carga máxima de la silla. El amortiguador se ajusta por medio de un pin de sujeción a una horquilla, la cual es soportada por la rueda delantera (Figura 2.9).

Realizando el análisis por medio de elementos finitos con un mallado de 0.5, se determina el esfuerzo equivalente y desplazamiento máximo del módulo de la rueda delantera con

un soporte de un cuarto de la carga máxima y peso de la silla, es decir, 30 kg o 294 N. Además, se incluyen las restricciones de pasador entre la horquilla y la rueda delantera, así como en el tubo de aluminio con el amortiguador para el giro de la rueda (Figura 2.10). En la Tabla 2.6 se presentan los resultados obtenidos.

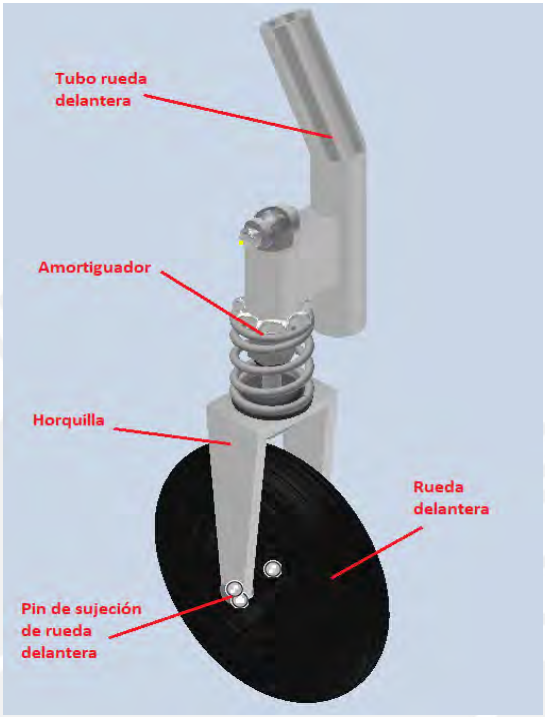


Fig. 2.9. Módulo de rueda delantera.

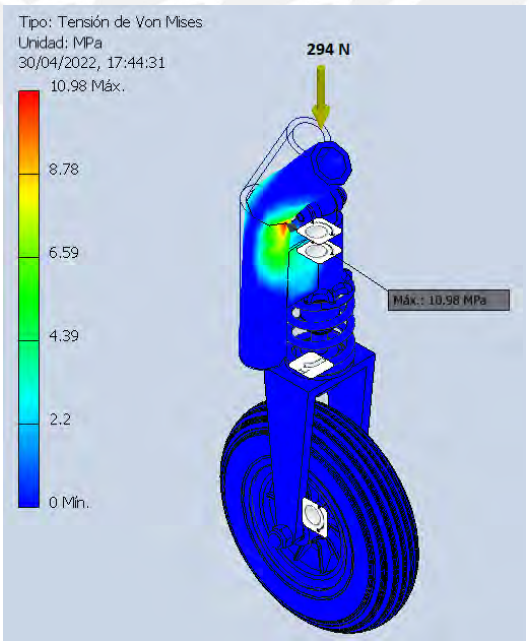


Fig. 2.10. Análisis de esfuerzos en el módulo de la rueda delantera.

Tabla 2.6. Resultados del análisis de elementos finitos del módulo de la rueda delantera.

Esfuerzo Equivalente [MPa]	Desplazamiento [mm]	Factor de Seguridad
10.98	0.08525	FS = 15

También, se realiza el mismo análisis para el pin de sujeción entre la horquilla de aluminio y la rueda delantera, aplicando la carga de 294 N divida en las dos zonas de contacto del tubo con el pin, resultando una carga de 147 N cada una, como se ve en la Figura 2.11. En la Tabla 2.7 se presentan los resultados obtenidos.

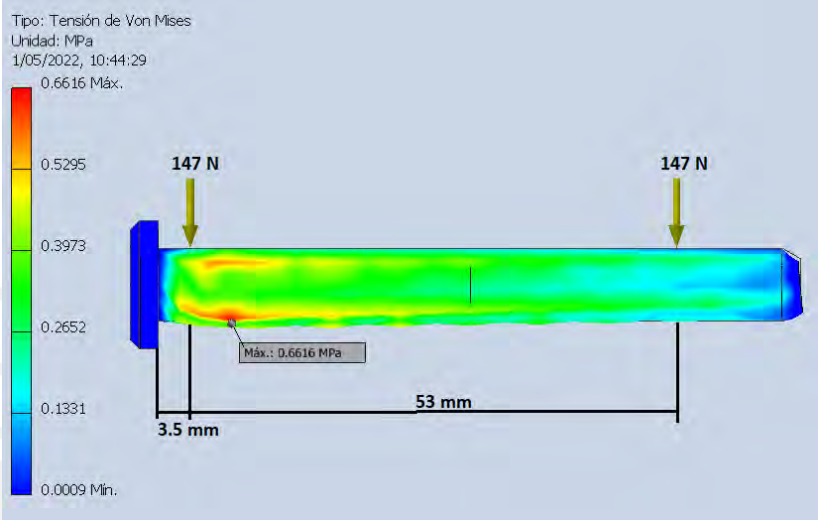


Fig. 2.11. Análisis de esfuerzos en el pin de la rueda delantera.

Tabla 2.7. Resultados del análisis en el pin de la rueda delantera.

Esfuerzo Equivalente [MPa]	Desplazamiento [mm]	Factor de Seguridad
0.6616	0.00001418	FS = 15

b) Soporte de batería

La batería se ubicará dentro de un soporte de aluminio estructural (6061) con dimensiones de 102 mm de alto, 44.5 mm de ancho, espesor de 2.5 mm y una longitud máxima de 400 mm acorde a la longitud de la batería a seleccionar en el capítulo siguiente. Este soporte formará parte del chasis de la silla de ruedas ya que estará posicionado debajo del asiento y en ambos lados de la silla de ruedas (ver Figura 2.12).

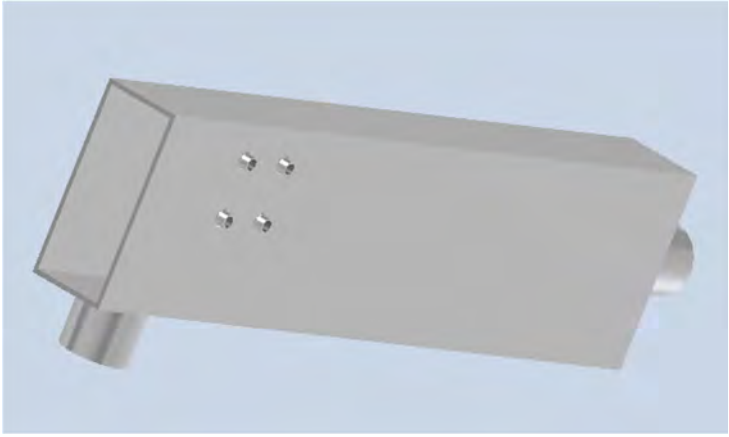


Fig. 2.12. Soporte de batería.

2.3.2 Reposabrazos

De igual manera, el reposabrazos está compuesto por un tubo redondo comercial de aluminio estructural (6061) de 30 mm de diámetro con 4 mm de espesor y 360 mm de longitud, donde se coloca el cojín sobre este para apoyar el brazo. Además, el reposabrazos se ajustará a una abrazadera que estará fija al chasis de la silla de ruedas (ver Figura 2.13).

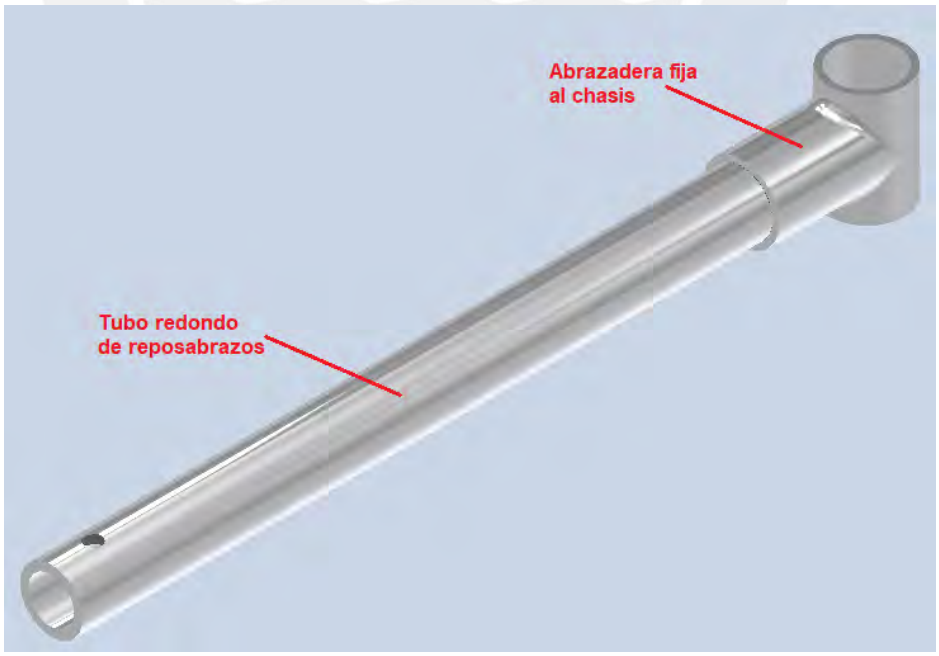


Fig. 2.13. Reposabrazos de la silla de ruedas.

A través del software Inventor se aplica una fuerza crítica de 24 kg (235.2 N) distribuida en cada reposabrazos, la cual corresponde al peso del torso (60% con respecto al peso

total) si es que el usuario apoya su peso para intentar elevarse de la silla. Además, se establece una restricción fija en la abrazadera que se unirá al chasis.

Entonces, usando el método de elementos finitos con un mallado total de 0.05, se realiza el análisis de esfuerzo equivalente y el desplazamiento que soporta el reposabrazos para las cargas y restricciones mostradas en la Figura 2.16. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2.8:

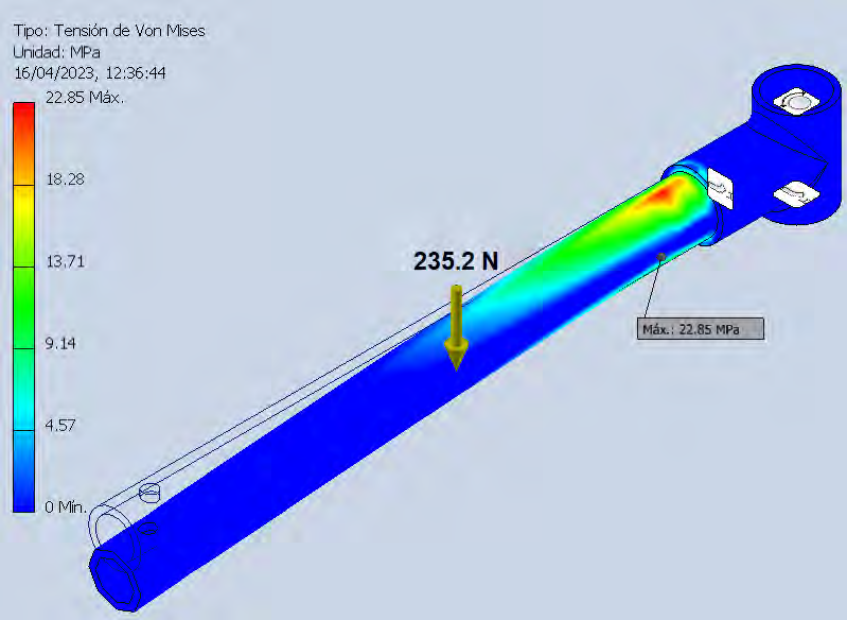


Fig. 2.14. Análisis de esfuerzos en el reposabrazos.

Tabla 2.8. Resultados del análisis de elementos finitos del reposabrazos.

Esfuerzo Equivalente [MPa]	Desplazamiento [mm]	Factor de Seguridad
22.85	0.642	FS>=12.04

De los resultados obtenidos, se observa que el esfuerzo máximo obtenido es menor que el esfuerzo admisible de 145 MPa del material. Además, el desplazamiento crítico generado es mínimo para causar alguna incomodidad en el usuario ya que la longitud del tubo redondo es de 360 mm. Por último, el factor de seguridad ofrece una buena relación de resistencia peso.

El proceso de fabricación del reposabrazos requiere de un proceso de taladrado y roscado para los agujeros, ya que requieren atornillarse y enroscarse para unirse a la abrazadera fija y aparte para poder colocar el módulo del joystick.

2.3.3 Módulo de Reposapiés

El reposapiés está compuesto por dos tubos redondos de aluminio estructural (6061) con un diámetro externo e interno de 30 cm y 22 cm respectivamente, es decir, con un espesor de 4 cm cada tubo. Además, cuenta con un sistema retráctil, de tal manera que se puede ajustar la distancia del reposapiés según la comodidad del usuario por medio de un pin de sujeción (Figura 2.15).

Fig. 2.15. Módulo de reposapiés.

Realizando el análisis por medio de elementos finitos con un mallado total del ensamble de 0.5, se determina el esfuerzo equivalente y el desplazamiento máximo del módulo del reposapiés en un caso crítico con soporte de la mitad de la carga máxima de la silla, es decir, 40 kg o 392 N. Además, se incluyen las restricciones de pasador entre el tubo del reposapiés y el tubo ajustable, así como restricciones fijas en el tubo ajustable con el reposapiés (Figura 2.16). En la Tabla 2.9 se presentan los resultados obtenidos.

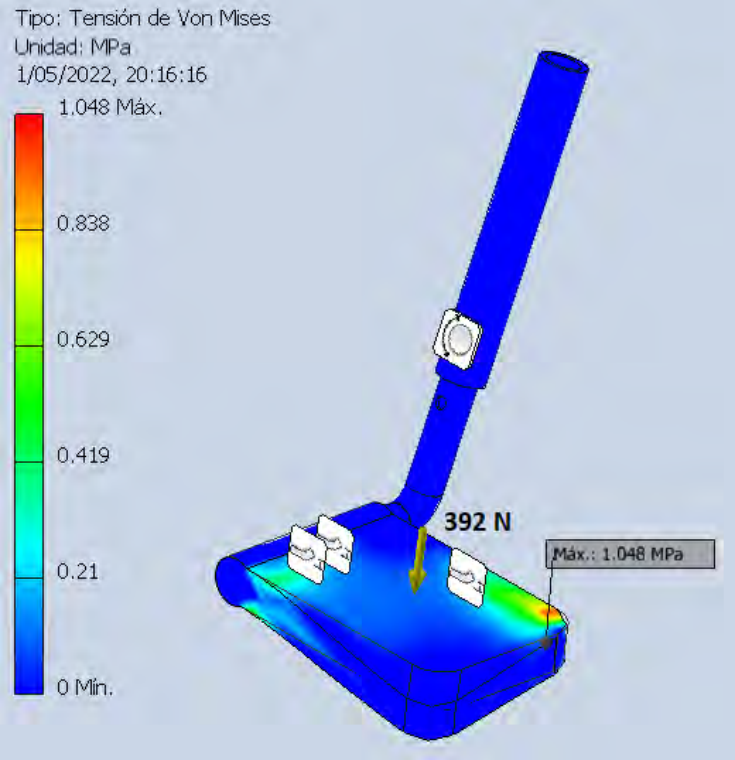


Fig. 2.16. Análisis de esfuerzos en el módulo del reposapiés.

Tabla 2.9. Resultados del análisis de elementos finitos del módulo del reposapiés.

Esfuerzo Equivalente [MPa]	Desplazamiento [mm]	Factor de Seguridad
1.048	0.1058	FS = 15

El proceso de fabricación del módulo del reposapiés requiere de un proceso de doblado a compresión para darle la forma al tubo ajustable del reposapiés, así como un proceso de taladrado para los agujeros involucrados en ambos tubos.

2.3.4 Módulo de ruedas antivuelco

Según el análisis de volcadura realizado preliminarmente, se propone utilizar una rueda antivuelco en cada lado de la silla para soportar el peso de la silla cuando esta se encuentra con una elevación máxima de 20° y solo se apoyan las ruedas traseras y las ruedas antivuelco sobre el suelo. Para ello se propone utilizar un tubo redondo de acero galvanizado comercial de 30 mm de diámetro externo y 4 mm de espesor, para tener mayor seguridad en el soporte y estabilidad de la silla de ruedas. En la Figura 2.17 se presentan los componentes del módulo de la rueda antivuelco: tubo redondo, abrazadera y rueda antivuelco comercial de 4 cm de diámetro.

Fig. 2.17. Módulo de rueda antivuelco.

Realizando el análisis por medio de elementos finitos para un mallado de 0.5, se determina el esfuerzo equivalente y desplazamiento máximo del módulo de rueda antivuelco cuando este está apoyado en el suelo y cada módulo de rueda antivuelco soporta un cuarto de la carga máxima y el peso de la silla, es decir, 30 kg o 294 N (Figura 2.18). En la Tabla 2.10 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 2.10. Resultados del análisis de elementos finitos del módulo de rueda antivuelco.

Esfuerzo Equivalente [MPa]	Desplazamiento [mm]	Factor de Seguridad
86.52	0.178	FS>=2.39

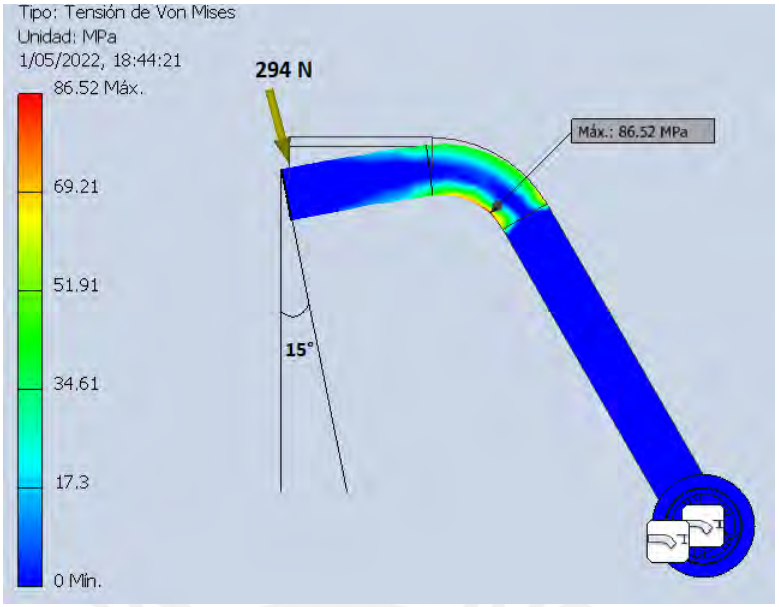


Fig. 2.18. Análisis de esfuerzos en el módulo de rueda antivuelco.

También, se realiza el mismo análisis para el pin de sujeción entre el tubo y la rueda antivuelco, aplicando la carga de 294 N divida en las dos zonas de contacto del tubo con el pin (carga de 147 N para cada una), como se ve en la Figura 2.19. En la Tabla 2.11 se presentan los resultados obtenidos.

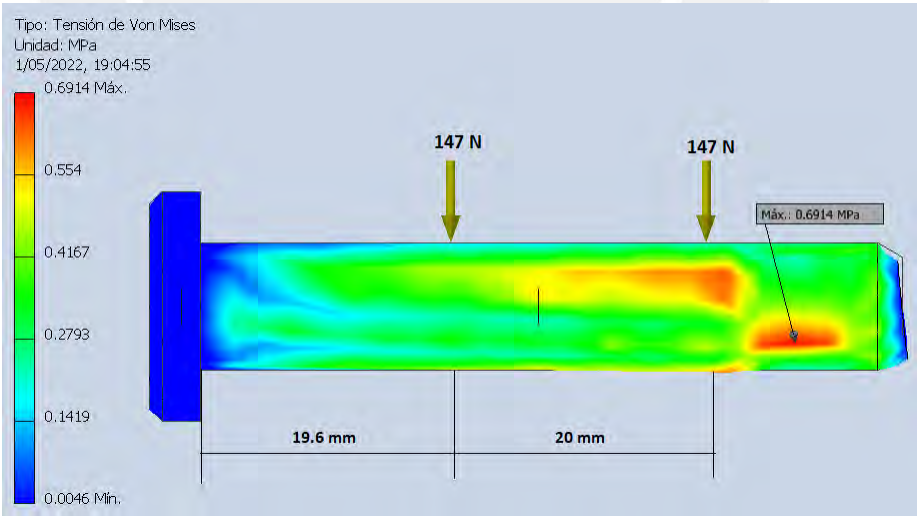


Fig. 2.19. Análisis de esfuerzos en el pin de la rueda antivuelco.

Tabla 2.11. Resultados del análisis en el pin de la rueda antivuelco.

Esfuerzo Equivalente [MPa]	Desplazamiento [mm]	Factor de Seguridad
0.6914	0.00001888	FS = 15

El proceso de fabricación del módulo de las ruedas antivuelco requiere de un proceso de doblado a compresión para darle la forma al doblez del tubo de aluminio, así como un proceso de taladrado para que pase el pin que ajustará a la rueda antivuelco.

2.3.5 Silla de ruedas

En la Figura 2.20 se presenta la integración mecánica de todos los componentes mecánicos de la silla de ruedas. Además, en base a los componentes comerciales y los componentes diseñados, se obtienen las siguientes dimensiones generales (Figura 2.21).

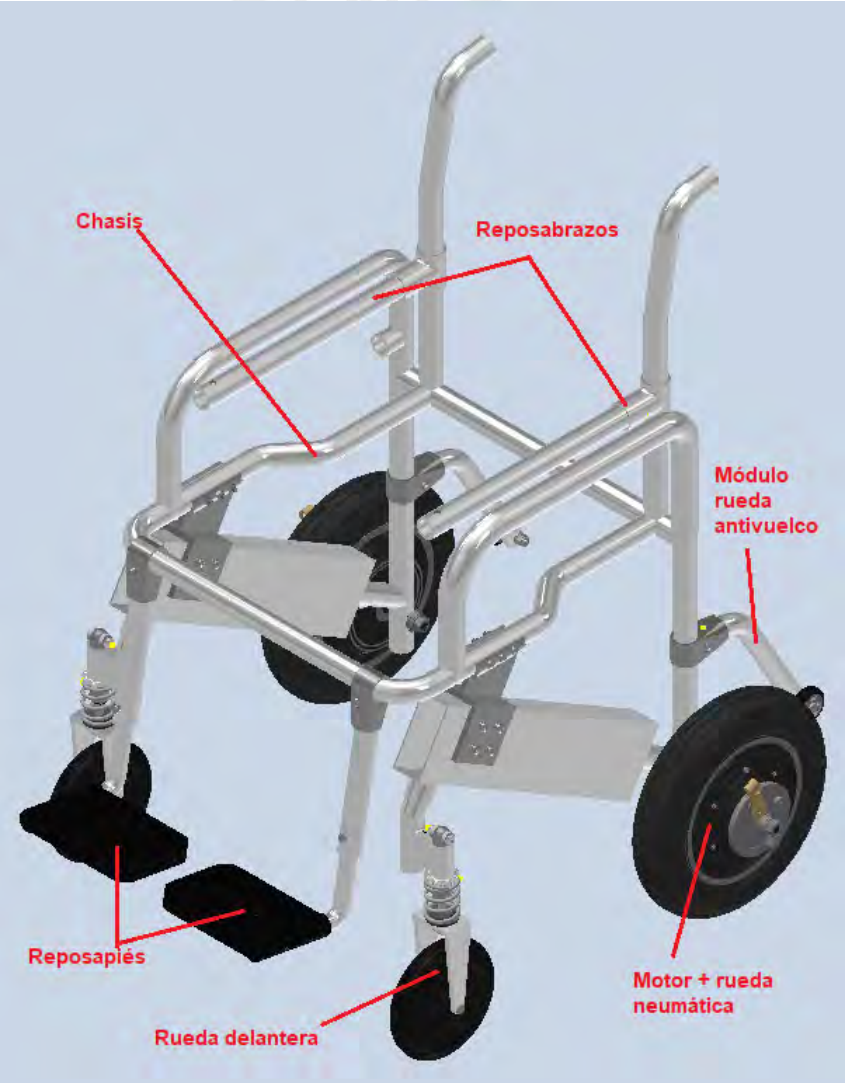
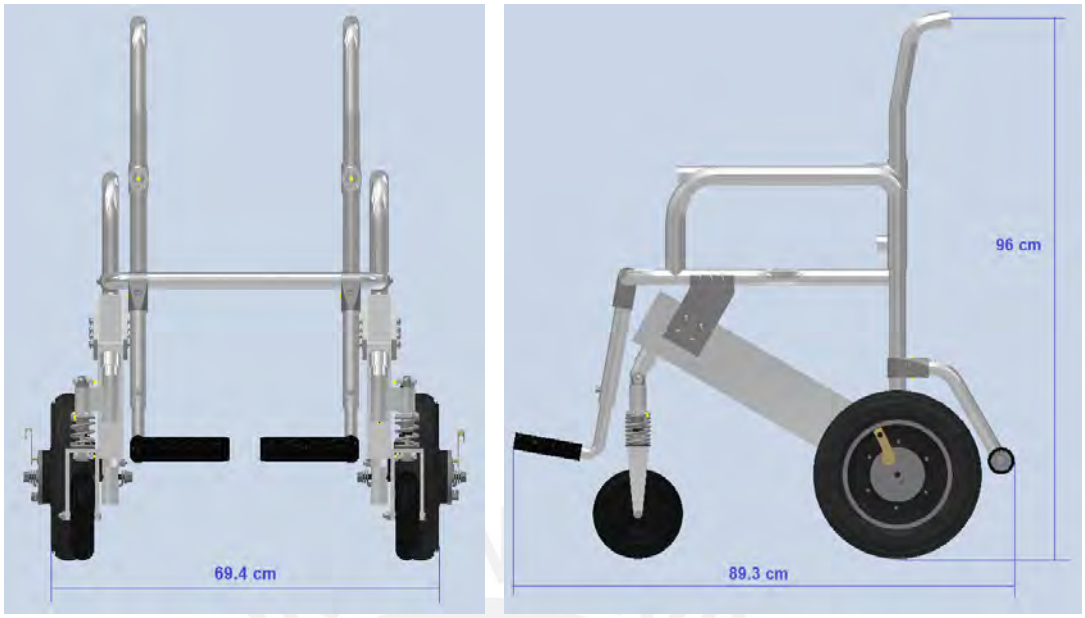


Fig. 2.20. Diseño mecánico de silla de ruedas.



a) b)

Fig. 2.21. Dimensiones de la silla de ruedas: a) Vista frontal. b) Vista de perfil.

2.4 Selección de actuadores

El sistema de propulsión de la silla de ruedas es accionado por los actuadores del sistema, es decir, los dos motores *brushless*. El espacio que ocupan los motores y la rueda neumática es limitado, debido a que se requiere un espacio vació debajo de la silla para el ingreso de esta sobre el inodoro. Entonces, se opta por comparar motores con ruedas neumáticas para sillas de ruedas en base a los requisitos de potencia para motores calculados en la Sección 2.2. En la Tabla 2.13 se comparan los motores para silla de ruedas en base a su potencia de salida, velocidad nominal, torque nominal, voltaje y precio.

Se seleccionó el motor de cubo Ebike de 24V de la empresa china Sichuan Hongjun Science and Technology, ya que ofrece un bajo precio de costo y envío, cumple con los principales requisitos de diseño, así como la calidad de producto al ser una empresa china con certificados de cumplimiento en sus servicios. Además, el espacio que ocupa en la zona inferior de la silla es de 141 mm, el cual es suficiente para que la silla tenga un espacio libre debajo de ella, y así se pueda ubicar sobre el inodoro cuando el niño realice sus necesidades, de tal manera que el sistema de propulsión (motores) no colisione con la base del inodoro. Adicionalmente, la empresa Sichuan Hongjun ofrece

un controlador que responde correctamente a las características del motor y permite obtener el dato de la velocidad del motor, por lo cual ya no es necesario un *encoder* externo en ambos motores.

Tabla 2.12. Comparación de motores *brushless* + ruedas neumáticas.

Característica Motor + rueda neumática	Requisitos	Motor de eje único para conversión de triciclo y scooter[18]	Motor de cubo para patinete eléctrico (Changzhou Ncyclebike Co) [19]	Motor wheel hub with tire + Controller PHOEBEVPARTS TOLS [20]
Diámetro de la rueda	12 pulgadas (30 mm)	12 pulgadas	12 pulgadas	12 pulgadas
Longitud máx.	165 mm	130 mm	135 mm	141 mm
Peso neto	-	5.5 kg	6.7 kg	6 kg
Corriente	-	-	15 A	14 A
Voltaje nominal	-	36 V / 48 V	36 V / 48 V	24V / 36 V
Potencia de salida	Mínimo 70 W	1000 W	400 W	350 W
Velocidad nominal	Mínimo 176.8 RPM	700 RPM	360 RPM	Máx. 1000 RPM
Torque nominal	Mínimo 2.835 Nm	-	35 Nm	-
Precio (c/u)	-	S/. 460.44	S/. 370 ($ 100) *	S/. 407 ($110) *
Costo Envío	-	S/. 529.43	S/. 666 ($ 180) *	S/. 414.4 ($112) *

* Tipo de cambio: S/.3.70. Fecha de consulta: 01 de setiembre de 2023.

[18] Motor de eje único de 12 pulgadas: https://spanish.alibaba.com/p-detail/12-1600434162202.html?spm=a2700.wholesale.0.0.459d2a46CxLegy. Fecha de consulta: setiembre 2022.

[19] Motor de cubo sin escobillas para patinete eléctrico, con función inversa: https://spanish.alibaba.com/p-detail/Reverse-62012883121.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_image.7766e629pGcMaN. Fecha de consulta: setiembre 2022.

[20] Kit de conversión completo de bicicleta eléctrica, accesorios de modificación, Motor central de 12 pulgadas, 350W, sin escobillas, sin dientes, controlador y rueda: https://spanish.alibaba.com/p-detail/Electric-1600773206126.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.2f2e5fa9rZrMiS. Fecha de consulta: setiembre 2022.

CAPÍTULO 3
DISEÑO DEL SUBSISTEMA ELÉCTRICO, ELECTRÓNICO Y DE CONTROL

En este capítulo se realiza el diseño y lógica de funcionamiento del subsistema eléctrico/electrónico y de control, así como la selección de los componentes eléctricos y electrónicos (controlador, sensores, batería e interfaz de joystick). Posteriormente, se realiza la integración.

3.1 Lógica de funcionamiento del subsistema eléctrico/electrónico

El objetivo principal de la silla de ruedas es desplazar al niño, y para ello cuenta con una interfaz manual o remota. Estas interfaces son controladas por un microcontrolador, capaz de enviar y recibir señales para el desplazamiento de la silla de ruedas. Entonces, la silla de ruedas solo podrá encenderse si la batería está encendida y se presiona el botón de encendido en el módulo del joystick para la conducción manual.

El microcontrolador recibirá las señales de los botones de encendido/apagado, subir/bajar velocidad, frenado, así como las señales de desplazamiento del joystick a través de la interfaz manual o remota. Además, recibirá señales de los parámetros de velocidad de los motores por medio de sus controladores y señales sobre la proximidad de obstáculos por medio del sensor de ultrasonido. Con esta información, el

microcontrolador enviará señales de activación y desactivación a los Leds en la interfaz manual, cambio de velocidad a los motores *brushless*, así como por medio del módulo wifi enviará señales de detección de proximidad, y de nivel de carga de la batería, a través de la interfaz remota por aplicación móvil.

Los botones ubicados en el módulo del joystick están asociados a un Led, el cual se activará o desactivará según el estado de encendido o apagado de cada botón. Además, según los requerimientos de diseño la comunicación inalámbrica entre el módulo Wifi hacia el dispositivo móvil debe tener un alcance máximo de 30 m.

3.1.1 Diagrama de conexiones

La conexión entre los componentes eléctrico/electrónicos se realiza a través del microcontrolador, debido a que recibe y envía señales para ordenar instrucciones. Para determinar la conexión entre el resto de los componentes y el microcontrolador, se identifica el tipo de comunicación de cada componente presentada en el trabajo de Manrique (Manrique, 2022). En la Figura 3.1 se presenta el diagrama con las conexiones de la fuente de alimentación y de los componentes eléctrico/electrónico con el controlador según su tipo de comunicación.

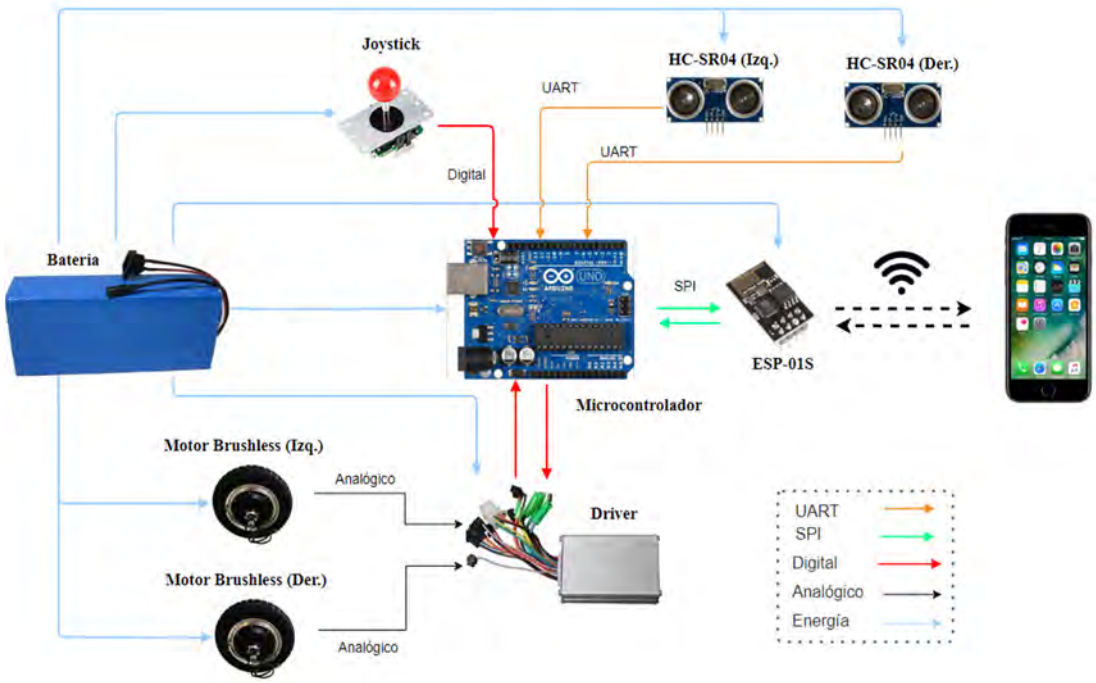


Fig. 3.1 Diagrama de conexión.

3.2 Selección de componentes eléctricos/electrónicos

A continuación, se presenta la selección de los componentes electrónicos más importantes: joystick, sensores y controlador, teniendo en cuenta los requerimientos de diseño y características principales requeridas para el correcto funcionamiento. En base a estos componentes, se selecciona la batería y el consumo de energía total.

3.2.1 Joystick

El módulo del joystick está compuesto principalmente por la palanca de joystick, la cual debe permitir el movimiento al menos de las 4 posiciones principales (adelantes, atrás, izquierda y derecha). En la Tabla 3.1 se presenta la comparación de las características principales del joystick. En este caso se seleccionó el joystick *Arcade Classic EG STARTS*, debido a que tiene de 4 a 8 vías de movimiento, así como un pin para especificar cada movimiento.

Tabla 3.1. Selección del joystick.

Módulo Wifi	Requisitos	Joystick Arcade Classic EG STARTS [21]	American Style Arcade Competition joystick [22]
Dimensiones (mm)		105 x 95 x 54	155 x
Voltaje	3.3 V - 5V	5 V	5 V
Tipo de comunicación		-	USB
Vías	Mínimo 4	4, 8	8
Pines E/S		5 Pines	2 Pines
Precio (S/.)		S/. 44.4 ($11.99) *	S/. 44.4 ($11.99) *

* Tipo de cambio: S/.3.70. Fecha de consulta: 01 de setiembre de 2023.

[21] EG STARTS Red arcade classic, joystick para pc: https://www.amazon.com/-/es/STARTS-Classic-Competition-maneras-Joystick-M%C3%A1quina/dp/B01N2G0H1T/ref=pb_allspark_dp_sims_pao_desktop_session_based_sccl_2_5/141-6613824-0017523?pd_rd_w=tWoCv&pf_rd_p=6b5008ac-c24a-4aea-a3ea-015a531184f5&pf_rd_r=2FJMHN607BNYCM1XW077&pd_rd_r=e364b33f-2d25-454c-88f9-97c8bc0d75e9&pd_rd_wg=kANGI&pd_rd_i=B01N2G0H1T&psc=1. Fecha de consulta: mayo 2022.

[22] American style arcade competition joystick: https://www.amazon.com/-/es/American-Competition-Switchable-Operation-Elliptical-Precision/dp/B01MY8NQEW/ref=pd_sbs_sccl_2_2/141-6613824-0017523?pd_rd_w=VJJYv&pf_rd_p=3676f086-9496-4fd7-8490-77cf7f43f846&pf_rd_r=7XJ4CHF467H5RG6QWXGW&pd_rd_r=77bc686d-5848-4f3c-a1ed-13b24c3ba381&pd_rd_wg=7VGDB&pd_rd_i=B01MY8NQEW&psc=1. Fecha de consulta: mayo 2022.

El módulo del joystick seleccionado cuenta también con botones para enviar señales de información y movimiento para la silla de ruedas, así como Leds para conocer el estado de la silla de ruedas. Entonces se selecciona un Led difuso con 20 mA y un voltaje de alimentación entre los 2 y 4 VDC [23]. Además, se seleccionan botones o pulsadores genéricos de 50 mA y 5 VDC con cubierta de plástico ABS para una mejor interacción y comodidad con el usuario [24].

a) b)

Fig. 3.2. a) Leds difusos. b) Pulsadores con cubierta.

3.2.2 Comunicación por módulo Wifi

El módulo Wifi permite obtener una conexión inalámbrica entre el microcontrolador y el usuario a través de remota. Para este módulo se requiere una comunicación dúplex entre el la interfaz microcontrolador y el dispositivo móvil, es decir, solo son necesarios los pines de transmisión y recepción de datos, la fuente de alimentación VCC de 3.3 a 5V según sea la capacidad del microcontrolador y que tenga un bajo consumo de corriente. En la Tabla 3.2 se presenta la comparación de módulos Wifi.

Según la comparación presentada en la Tabla 3.2, debido a que las tres opciones cubrían los principales requisitos, se seleccionó la opción más económica, con menor cantidad de pines y con un menor consumo de corriente de trabajo entre las opciones presentadas, es decir, el módulo Wifi ESP-01 de núcleo ESP8266.

[23] Diodo Difuso 5mm verde, rojo, azul, blanco, amarillo: https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-433223315-40-diodos-led-difuso-de-5mm-verde-rojo-azul-blanco-amarillo-_JM#position=3&search_layout=stack&type=item&tracking_id=d0a8c738-e1f2-453d-bfb1-21d3206f7608. Fecha de consulta: mayo 2022.
[24] Pulsador con cubierta: https://naylampmechatronics.com/152-pulsadores. Fecha de consulta: mayo 2022.

Tabla 3.2. Selección de módulo Wifi.

Módulo wifi	Requisitos	ESP-WROOM 32 Módulo Wifi ESP32 [25]	ESP-01s Módulo Wifi ESP8266 [26]	Módulo Wifi ESP8266 ESP-07 [27]
Núcleo	-	ESP32	ESP8266	ESP8266
Dimensiones (mm)	-	18 x 25.5 x 3.1	25 x 15	20 x 10
Voltaje E/S	3.3 v - 5v	3.3V	3.3V	3.3V
Corriente	-	80 mA	60 mA	70 mA
Tipo de comunicación	SPI	UART, SPI, I2C	UART, SPI, SDIO 2.0	UART, SPI
Frecuencia	-	2.4 – 2.5 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz, soporta WPA / WPA2
Pines E/S	GND, TX, RX, VCC	34 pines digitales GPIO	GND, TX, RX, VCC, 4 pines digitales GPIO	16 pines (9 pines digitales GPIO)
Precio (S/.)	-	S/. 35	S/. 17	S/. 20

3.2.3 Sensores

Los sensores por considerar son el sensor de ultrasonidos para conocer la proximidad de un obstáculo cuando se realice la conducción remota y el módulo de nivel de carga de la batería.

3.2.3.3 Sensor de ultrasonido

El sensor de ultrasonido permite detectar la presencia o proximidad de un obstáculo cuando el usuario está manejando la silla de ruedas de manera remota. Para este sensor solo son necesarios los pines de alimentación (VCC) y tierra (GND), así como los pines de disparo (TRIG) y recepción (ECHO). Además, según los requerimientos de diseño se necesita un alcance de medición máxima de 5m. En la Tabla 3.3 se presentan las características más importantes para la selección del sensor de ultrasonido y se observa que la diferencia más representativa es el precio entre ambos componentes. Además, el sensor HC-SR04 tiene un alcance de 0.5 metros más a comparación del US-100.

[25] Módulo ESP-WROOM-32 ESP32 Wifi: https://naylampmechatronics.com/espressif-esp/382-modulo-esp-wroom-32-esp32-wifi.html. Fecha de consulta: mayo 2022.
[26] Módulo ESP-01 ESP8266 Wifi serial: https://naylampmechatronics.com/espressif-esp/48-modulo-esp-01-esp8266-wifi-serial.html. Fecha de consulta: mayo 2022.
[27] Módulo Wifi ESP8266 ESP-07: https://uelectronics.com/producto/modulo-wifi-esp8266-esp-07/. Fecha de consulta: mayo 2022.

Tabla 3.3. Selección del sensor de ultrasonido.

Sensor de ultrasonido	Requisitos	US-100 Sensor ultrasónico con temperatura [28]	HC-SR04 [29]
Dimensiones (mm)	-	45 x 20	45 x 20
Voltaje E/S	3.3 V - 5V	2.4 V – 4.5 V	5 V
Corriente	-	-	15 mA
Rango de medición	Máximo 5 m	0.02 – 4 m	0.02 – 4.5 m
Precisión	-	3 mm	+/- 3 mm
Ángulo de apertura	-	15°	15°
Tipo de comunicación	UART	UART	UART
Pines E/S	Mínimo GND, TX, RX, VCC	5 Pines (VCC, TRIG, ECHO, GND1, GND2)	4 Pines (VCC, TRIG, ECHO, GND)
Precio (S/.)	-	S/. 33.1 ($8.95) *	S/. 8

* Tipo de cambio: S/.3.7. Fecha de consulta: 01 de setiembre de 2023.

3.2.2.1 Sensor de nivel de carga de batería

En la Tabla 3.4 se presenta la comparación de las principales características para la selección del sensor de nivel de carga de la batería, el cual debe tener un voltaje de medición mayor o igual a 24 V, ya que ese es el mayor voltaje que requiere el motor y el cual será entregado por la batería. Además, su voltaje de operación debe estar acorde al ofrecido por el microcontrolador, es decir, entre los 3.3 V y 5 V.

Se seleccionó el regulador de monitor de potencia y corriente INA234 debido a que ofrece un mayor rango de medición de voltaje, un voltaje de operación acorde a lo solicitado y un precio más reducido.

[28] Módulo ESP-WROOM-32 ESP32 Wifi: https://www.microjpm.com/products/ad38318/. Fecha de consulta: mayo 2022.

[29] Sensor ultrasonido HC-SR04: https://naylampmechatronics.com/sensores-proximidad/10-sensor-ultrasonido-hc-sr04.html. Fecha de consulta: mayo 2022.

Tabla 3.4. Selección del sensor de nivel de carga de batería.

Sensor de nivel de carga de batería	Requisitos	Regulador y monitor Potencia / Corriente INA234 [30]	Monitor Corriente/Voltaje High / Low side INA226 [31]	Regulador y monitor Potencia /Corriente INA226-Q1[32]
Dimensiones (mm)		0.745 x 1.508	21 x 21	5 x 3
Voltaje (medición)	> =24 V	0 – 28 V	Hasta 35 V	0 – 36V
Voltaje (operación)	3.3V – 5V	1.7V – 5.5V	3V – 5V	2.7 V – 5.5V
Interfaz	-	I2C	I2C	I2C
Precio (S/.)	-	S/. 8.53	S/. 25	S/. 17.56

3.2.4 Controlador

El controlador se encarga de recibir información del joystick, botones, y la utiliza para enviar señales de control a los motores, Leds y a la aplicación del dispositivo móvil para mostrar el estado de la silla de ruedas.

La selección del microcontrolador se basa en requisitos de voltaje, amperaje, procesamiento, etc., así como principalmente en la cantidad de pines de entrada y salida necesarios para la comunicación correspondiente con los componentes eléctricos/electrónicos. En la Tabla 3.5 se presentan los componentes eléctricos/electrónicos con sus respectivas entras y salidas, así como el tipo de comunicación que utilizan.

Según este análisis se determina que el controlador necesita como mínimo 26 pines GPIO (14 entradas y 12 salidas) y tres pares de entradas de transmisión serial RX y TX para la comunicación con el módulo Wifi y los motores. Además, se requiere una entrada y salida USB para la comunicación con el joystick.

[30] Regulador y monitor de Potencia / Corriente INA234: https://www.mouser.pe/ProductDetail/Texas-Instruments/INA234AIYBJR?qs=A6eO%252BMLsxmQekskhuHjCww%3D%3D. Fecha de consulta: mayo 2022.
[31] Monitor de corriente voltaje, high/low side INA226: https://naylampmechatronics.com/sensores-corriente-voltaje/560-monitor-de-corriente-voltaje-highlow-side.html. Fecha de consulta: mayo 2022.
[32] Regulador y monitor de Potencia / Corriente INA226AQDGSRQ1: https://www.mouser.pe/ProductDetail/Texas-Instruments/INA226AQDGSRQ1?qs=uNh9J9Y3wTf1B1%2FBFFp7SA%3D%3D. Fecha de consulta: mayo 2022.

Tabla 3.5. Pines de entrada y salida del microcontrolador.

Componente	Pines	Comunicación	Entrada/Salida
Controlador motor (Izq)	TX_1	Serial	Entrada
	RX_1	Serial	Salida
Controlador motor (Der)	TX_2	Serial	Entrada
	RX_2	Serial	Salida
Joystick	J SW1	Digital	Entrada
	J SW2	Digital	Entrada
	J SW3	Digital	Entrada
	J SW4	Digital	Entrada
HC-SR04 (Izq)	TRIG HC SR41	Digital	Salida
	ECHO HC SR41	Digital	Entrada
HC-SR04 (Der)	TRIG HC SR42	Digital	Salida
	ECHO HC SR42	Digital	Entrada
ESP-01S	ESP8266 TX	Serial (SPI)	Entrada
	ESP8266 RX	Serial (SPI)	Salida
Botón On/Off	BTN 1	Digital	Entrada
Botón Modo Remoto	BTN 2	Digital	Entrada
Botón Emergencia	BTN 3	Digital	Entrada
Botón Freno	BTN 4	Digital	Entrada
Botón Subir Velocidad	BTN 5	Digital	Entrada
Botón Bajar Velocidad	BTN 6	Digital	Entrada
Led On/Off	LED 1	Digital	Salida
Led modo remoto	LED 2	Digital	Salida
Led Emergencia	LED 3	Digital	Salida
Leds Velocidad	LEDVel 1	Digital	Salida
	LEDVel 2	Digital	Salida
	LEDVel 3	Digital	Salida
	LEDVel 4	Digital	Salida
	LEDVel 5	Digital	Salida

Según estos datos, en la Tabla 3.6 se presentan las principales características diferentes microcontroladores para su selección. Se optó por el Arduino Mega 2560 R3 debido a que cuenta con los pines necesarios para la conexión con los componentes eléctricos/electrónicos. Además, el precio es accesible y su programación es más sencilla debido a que Arduino es una marca comercial.

Tabla 3.6. Selección del microcontrolador.

Microcontrolador	Requisitos	Arduino UNO R3[33]	Arduino Mega 2560 R3[34]	Tiva C TM4C123GH6PM[35]
Microcontrolador	-	ATmega328	ATmega2560	ARM Cortex-M4
Dimensiones	-	68.6 x 53.4	108 x 53 x 13	66 x 51
Voltaje de operación	3.3 – 5 V	5 VDC	5 VDC	3.3V
Voltaje de entrada	-	7 – 12 V	7 – 12 V	5V
Corriente por pin	-	20 mA	40 mA	-
Comunicación	USB	USB	USB	USB 2.0
Pines E/S	Mín. 22 pines GPIO	20 GPIO (14 E/S digitales, 6 entradas analógicas), 2 seriales	70 GPIO (54 E/S digitales, 16 entradas analógicas), 4 seriales	35 GPIO (8 seriales)
Precio (S/.)		S/. 55	S/. 110	S/. 197.90

La selección de los componentes electrónicos permite el diseño de la caja de componentes como se ve en la Figura 3.3, la cual estará posicionado debajo del reposabrazos del lado derecho de la silla de ruedas de tal manera que permita la conexión con los motores, batería y joystick de manera más sencilla. La fabricación de la caja de componentes será por impresión 3D en capas con material de filamento ABS negro.

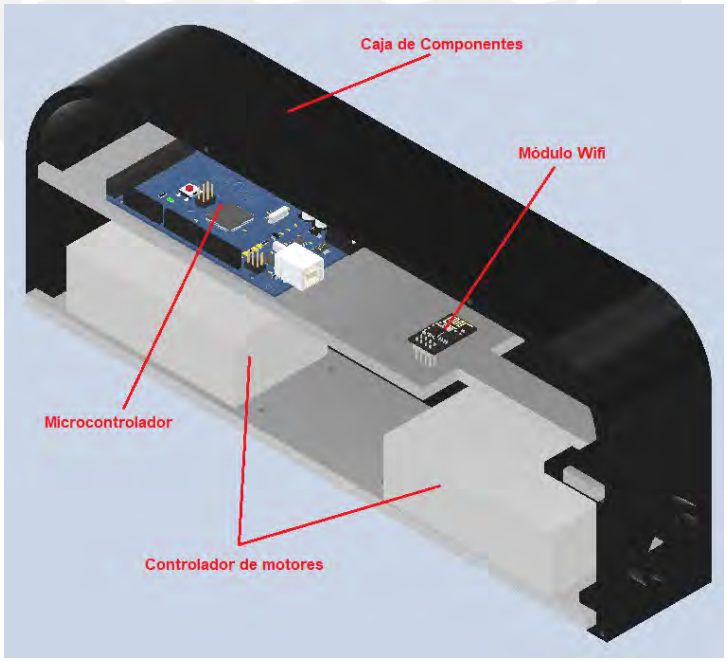


Fig. 3.3. Caja de componentes electrónicos.

[33] Arduboard Uno R3: https://naylampmechatronics.com/ardusystem-tarjetas/8-uno-r3.html. Fecha de consulta: mayo 2022.
[34] Arduboard Mega 2560 R3: https://naylampmechatronics.com/ardusystem-tarjetas/9-mega-2560-r3.html. Fecha de consulta: mayo 2022.
[35] Tiva C Series TM4C123GXL: https://joslinperu.com/product/tiva-c-series-tm4c123gxl/. Fecha de consulta: mayo 2022.

3.2.5 Batería

El consumo eléctrico total de la silla de ruedas será administrado por la batería, y para su adecuada selección se requiere conocer la potencia total requerida por la silla de ruedas debido a los componentes eléctricos/electrónicos seleccionados. En la Tabla 3.7 se presenta el cálculo total de potencia que requiere la silla de ruedas.

Tabla 3.7. Cálculo de potencia total de la silla de ruedas.

Componente	Cantidad	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia unitaria (W)	Potencia (W)
Botones	6	5	0.005	0.025	0.15
Leds	8	3.3	0.002	0.007	0.056
Joystick	1	5	2.5	12.5	12.5
Sensor de ultrasonido	2	5	0.015	0.075	0.15
Módulo Wifi	1	3.3	0.06	0.2	0.2
Motor DC	2	24	12	288	576
Microcontrolador	1	5	2	10	10
				Potencia total (W)	**599.1**

Según la potencia total obtenida (P), el voltaje de la batería (V) de 24 V y la autonomía requerida (C), según los requisitos de diseño es de 30 Ah, se calcula la autonomía de la silla de ruedas en horas (A) según la Ecuación 3.1, y considerando una eficiencia (η) del 95%.

$$Capacidad = \frac{Potencia * \ Autonomia\ en\ horas}{\eta * Voltaje}. \quad (3.1)$$

Reemplazando los valores en la Ecuación 3.1 se obtiene que el funcionamiento de la batería es de 1.14 horas. Por lo cual, la distancia aproximada de funcionamiento de la silla con una velocidad máxima de 10 km/h es de 11.4 km. En la Tabla 3.8 se presenta la selección de la batería. Se seleccionó la batería recargable de litio de la empresa Kamada debido a que se pueden personalizar las dimensiones de la batería, cumple con las características eléctricas, incluye un cargador externo para recarga, tiene un peso reducido y es más económico.

Tabla 3.8. Selección de batería.

Batería	Requisitos	Batería recargable de litio - Desto Technology Co [36]	Paquete de baterías de iones de litio - Kamada [37]	Batería eléctrica Li-ion Lifepo4 [38]
Dimensiones		Personalizado	Personalizado	Personalizado
Voltaje	24 V	24 V	24 V	24 V
Corriente de carga	-	2A	4 A	2 A
Amperaje	< 30 Ah	10 Ah	30 Ah	30 Ah
Peso	<= 8 kg	3 kg	3 kg	5 kg
Tipo de switch	-	-	-	Llave
Precio (S/.)	-	S/ 321.4	S/. 536.5 ($145) *	S/. 684.5 ($185) *
Costo de envío (S/.)		S/. 582.61	S/. 370 ($100) *	S/. 1036 ($280) *

* Tipo de cambio: S/.3.70. Fecha de consulta: 25 de mayo de 2022.

3.3 Circuitos eléctricos/electrónicos

Según la selección de componentes eléctricos/electrónicos, se presentan diagramas esquemáticos de los principales componentes eléctricos y electrónicos requeridos para especificar las conexiones y el funcionamiento del subsistema eléctrico/electrónico a través del programa online EasyEDA.

3.3.1 Fuente de alimentación

La alimentación proviene de la batería, y esta a su vez proporciona las entradas de 5V y 12 V por medio de reguladores de voltaje DC-DC para alimentar a los demás componentes electrónicos. Además, se ha colocado el botón de emergencia como medio para desconectar la energía directamente a todo el subsistema, en caso se presente una emergencia detectada por el usuario. En la Figura 3.4 se presenta el diagrama esquemático de la fuente de alimentación.

[36] Batería recargable de litio (paquete de iones): https://spanish.alibaba.com/product-detail/Rechargeable-24V-10Ah-Rapid-Charged-High-1600186370565.html. Fecha de consulta: mayo 2022.
[37] Paquete de baterías de iones de litio: https://spanish.alibaba.com/product-detail/18650-batteries-24v-20ah-lithium-battery-60544572926.html. Fecha de consulta: mayo 2022.
[38] Batería eléctrica Li-ion Lifepo4: https://spanish.alibaba.com/product-detail/Electric-E-Bike-Batteries-Li-ion-62357232471.html. Fecha de consulta: mayo 2022.

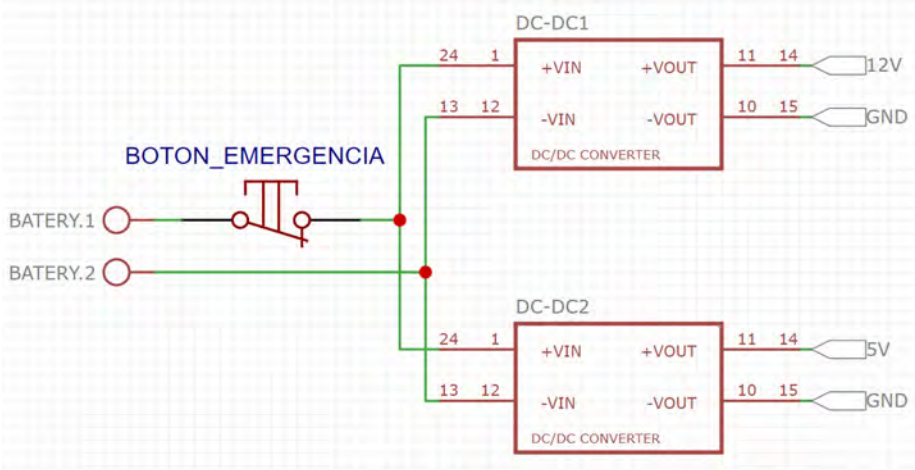


Fig. 3.4. Diagrama esquemático de la fuente de alimentación.

3.3.2 Controlador del motor brushless

Los motores brushless se conectarán cada uno al microcontrolador de la silla de ruedas por medio de un controlador de motor para su correcto funcionamiento. En la Figura 3.5 se presenta el diagrama esquemático de los controladores para cada motor, los cuales cuentan con puertos de alimentación de 24V y GND (conexión a tierra). Además, cuentan con entradas y salidas para el control del motor brushless en las fases síncronas U, V y W, las cuales permiten el movimiento deseado según la orden del joystick, así como 5 entradas de Hall para determinar la polaridad de las fases cuando se realizan giros y cada fase genere un campo magnético. El controlador cuenta con otras funciones adicionales, sin embargo, solo se utilizarán las mencionadas en este trabajo.

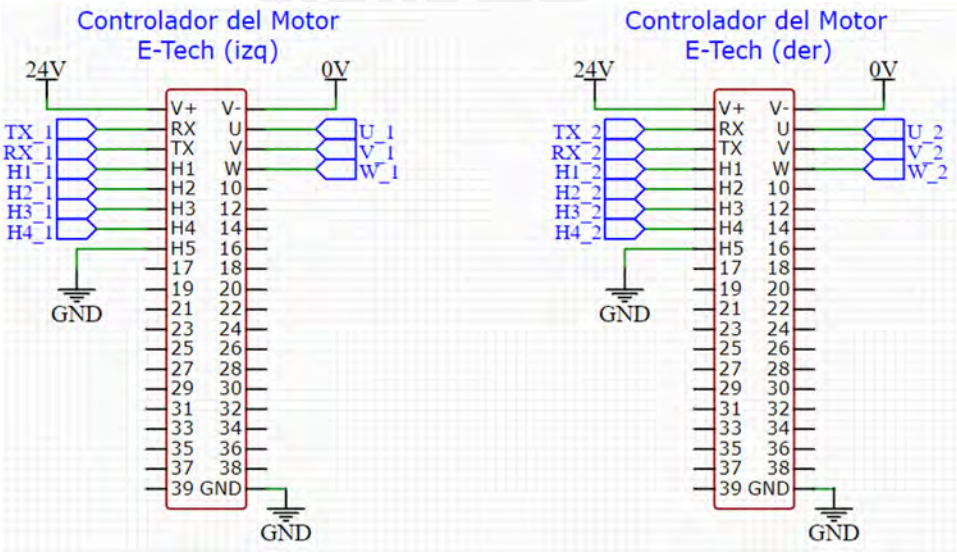


Fig. 3.5. Diagrama esquemático de los controladores de los motores brushless.

3.3.3 Sensor de ultrasonido

Los sensores de ultrasonido reciben una alimentación de 5V y sus pines digitales TRIG y ECHO se encargan de enviar y recibir pulsos de ultrasonido respetivamente en comunicación con el microcontrolador. En la Figura 3.6 se presenta el diagrama esquemático del sensor de ultrasonido izquierdo y derecho.

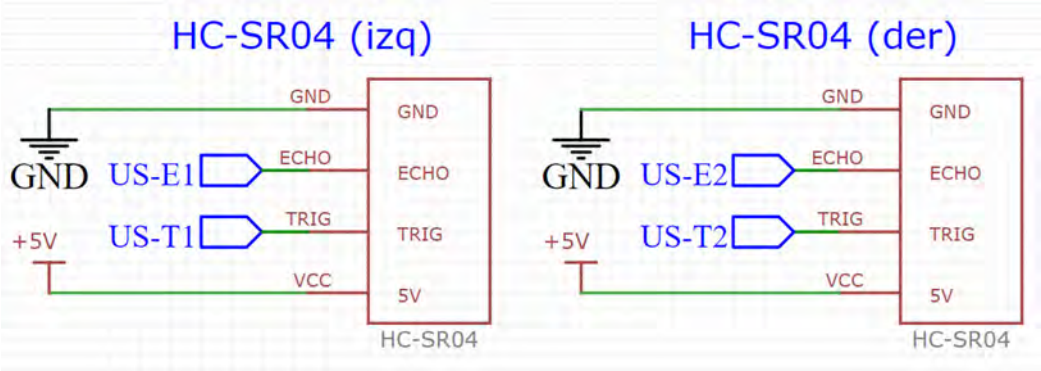


Fig. 3.6. Diagrama esquemático de los sensores de ultrasonido HC-SR04.

3.3.4 Módulo Wifi

El módulo Wifi requiere una alimentación de 3.3 V. Además, tiene una comunicación inalámbrica cruzada, por lo cual el pin que trasmite la señal Wifi se conecta al pin que recibe la señal del microcontrolador y de igual manera con el pin que recibe señal del módulo Wifi. En la Figura 3.7 se presenta el diagrama esquemático del módulo Wifi.

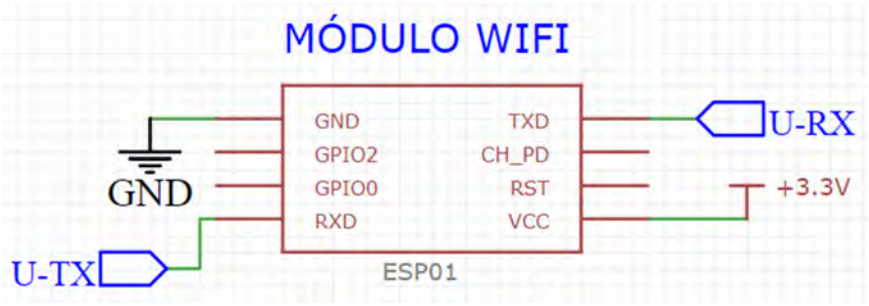


Fig. 3.7. Diagrama esquemático del Módulo Wifi ESP-01.

3.3.5 Joystick

En la Figura 3.8 se presenta el diagrama esquemático del joystick “arcade”, que cuenta con 5 pines: VCC (12 V) y 4 pines para el control del desplazamiento, así como la conexión a tierra.

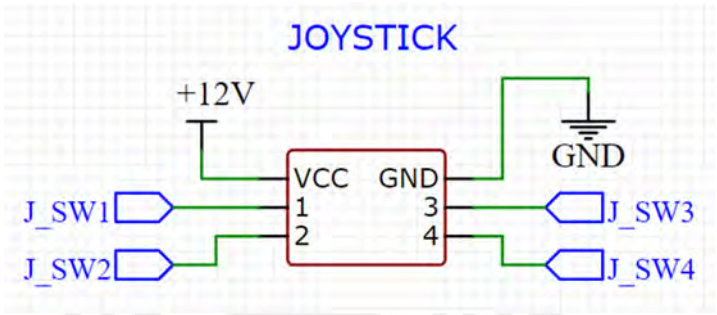


Fig. 3.8. Diagrama esquemático del joystick.

3.3.6 Botones y Leds

En la Figura 3.9 se presenta el diagrama esquemático de los botones ubicados en el módulo del joystick: botón on/off, botón de modo remoto, botón de freno, botón de emergencia y botones para subir y bajar la velocidad. Los botones reciben una alimentación de 5V y una polarización de alta resistencia o *pull up* (330 ohmios) para enviar su estado lógico al microcontrolador.

Además, en la Figura 3.10 se presenta el diagrama esquemático de los 8 Leds (Led on/off, Led emergencia, Led modo remoto y 5 Leds de velocidad) ubicados en el módulo del joystick para conocer los estados de la silla de ruedas. Estos indicadores reciben la señal de encendido o apagado si el comparador (OpAmp LMC7101AIM5X) recibe una señal de voltaje o activación.

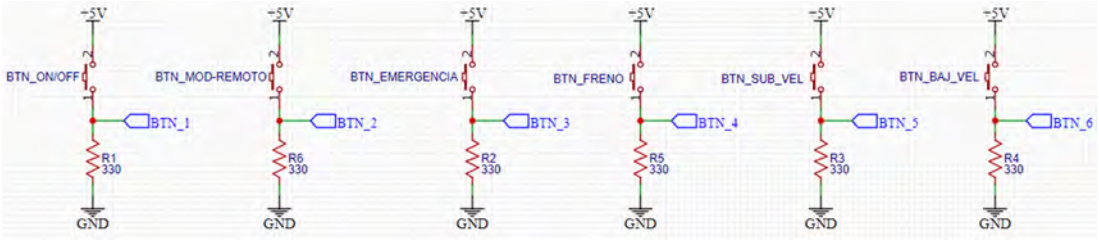


Fig. 3.9. Diagrama esquemático de botones.

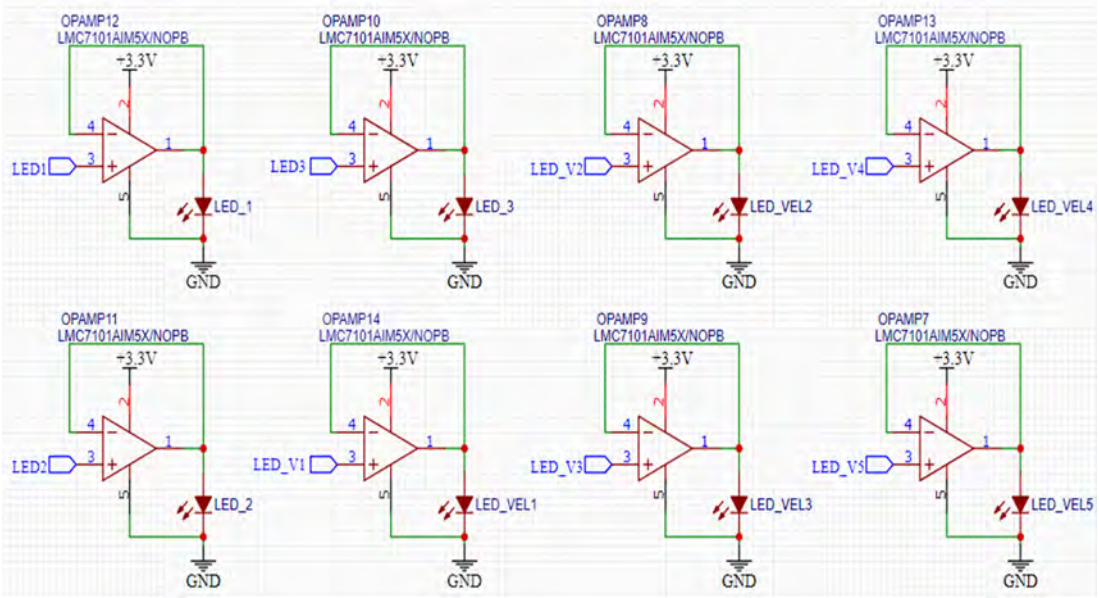


Fig. 3.10. Diagrama esquemático de Leds.

3.3.7 Microcontrolador

En la Figura 3.11 se presenta el diagrama esquemático del microcontrolador ATmega2560 con sus respectivos puertos de entradas y salidas, así como las conexiones con los sensores, interfaz de entrada/salida (joystick, Leds, botones), actuadores a través de los drivers de los motores y la fuente de alimentación.

En el Anexo A se presenta el diagrama esquemático general de los componentes eléctrico/electrónicos presentados anteriormente.

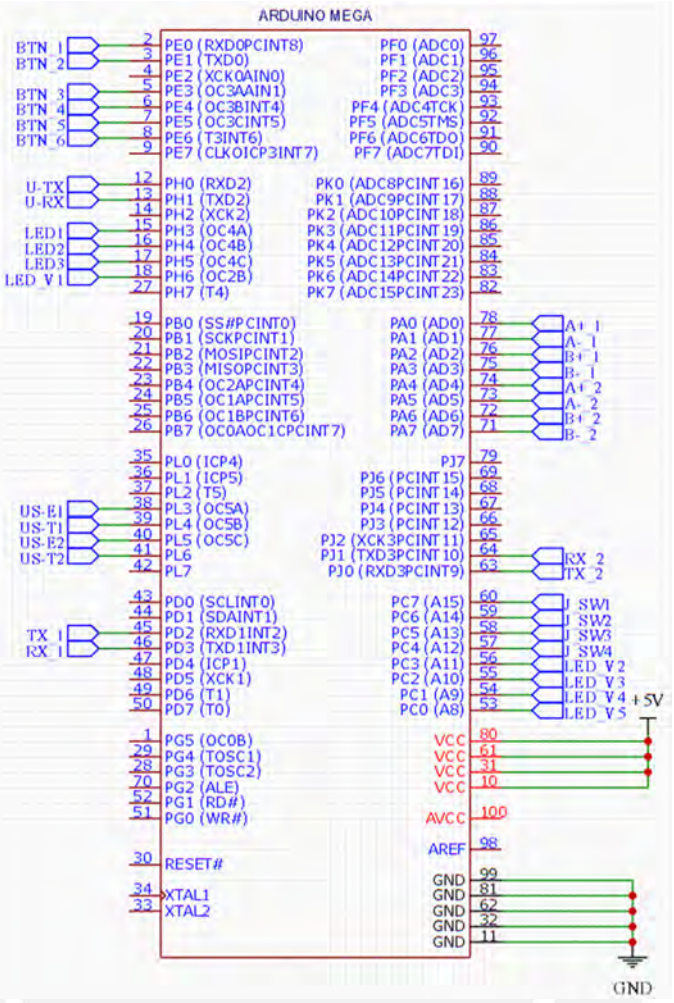


Fig. 3.11. Diagrama esquemático del microcontrolador ATmega2560.

3.4 Sistema de control

A continuación, se presenta el diseño del sistema de control, y se detalla la lógica de control de la silla, es decir, las principales funciones y subfunciones que permiten el desplazamiento, así como su orientación y velocidad a través del modo manual y remoto. Para ellos se desarrollan a más detalle los diagramas de flujo de estas funciones.

3.4.1 Diagrama de flujo y lógica de control

La lógica de control del sistema de la silla de ruedas se realiza por medio de funciones y subfunciones que gestiona el microcontrolador para permitir el desplazamiento de la silla, estados de operación y comunicación remota. Para ello, primero se definen las principales variables (globales y locales) y funciones del sistema de control (Tablas 3.9 y 3.10).

Tabla 3.9. Variables de control.

Variable de control	Descripción
global dataWifi	Variable global de la data recibida vía Wifi. Se actualiza en las interrupciones
global vel	Variable global de velocidad del motor de la silla (1, 2, 3, 4 y 5). Se actualiza en interrupciones
Vel_lineal	Velocidad lineal del motor (2, 4, 6, 8, 10 Km/h)
Vel_giro	Velocidad de giro del motor
direc	Posiciones del joystick para control de dirección de la silla (0 = neutro, 1 = adelante, 2 = giro izquierdo, 3 = giro derecha, 4 = atrás, 5 = adelante curva izquierda, 6 = adelante curva derecha, 7 = atrás curva izquierda, 8 = atrás curva derecha).
detección_izq	Representa la detección de un obstáculo por el sensor izquierdo
detección_der	Representa la detección de un obstáculo por el sensor derecho
voltajeBateria	Representa el valor directo de voltaje de la batería
nivelBateria	Representa el valor en porcentaje del nivel de carga de la batería (0 – 100%)
bateria	Nivel referencial del estado de la batería. bateria = 1,2,3,4.
btn_OnOff	Señal para encender y apagar el sistema de la silla de ruedas
btn_remoto	Señal para habilitar o deshabilitar el control remoto por aplicación móvil
btn_emergencia	Señal para detener la silla de ruedas en caso de emergencia
btn_subirvel	Señal para subir la velocidad de la silla de ruedas
btn_bajarvel	Señal para bajar la velocidad de la silla de ruedas
btn_freno	Señal para detener gradualmente los motores de la silla de ruedas
led_on	Señal que muestra el estado de encendido o apagado de la silla
led_emergencia	Señal que muestra que la silla se detuvo por caso de emergencia
led_velX	Señales que muestra el estado de las 5 velocidades de la silla. X = 1,2,3,4,5.

Tabla 3.10. Funciones de control.

Función de control	Descripción
IncializarParametros()	Inicializa las variables del sistema
Identificar_Direccion()	Se identifica la posición del joystick
ControlMotor(direc)	Se controla la velocidad de los motores a partir del comando recibido de la posición del joystick
FrenarMotor()	Se frena el motor gradualmente mientras se mantiene presionado el botón de freno.
ApagarMotor()	Se detienen los dos motores de la silla de ruedas.
RxWifi()	Interrupción que recibe la data vía Wifi y actualiza la variable global d*ataWifi*
Actualizar_Vel ()	Interrupción que actualiza la velocidad de la silla de ruedas cuando se ejecuta un flanco de subida en los botones de subir o bajar velocidad. Además, actualiza la variable global *vel*
LeerVelocidad()	Lectura de la velocidad real de los motores por medio del controlador de cada motor
ObtenerVelocidad(vel)	Según la variable *vel* se definen las variables de velocidad lineal y velocidad de giro de los motores.
Cmd_Vel(Vel_lineal,Vel_giro)	Función que determina la velocidad asignada a cada motor para realizar los movimientos determinados por el control de joystick

En la Figura 3.12 se presenta el diagrama de flujo general para el control de la silla de ruedas. En la lógica de control del sistema primero se inicializan los parámetros, y se espera que se presione el botón on/off que se encuentra en el módulo del joystick o que se encienda de manera remota desde la aplicación del dispositivo móvil. El estado de esta operación ya sea de cualquiera de ambas maneras se visualiza por medio del Led on/off en el módulo del joystick.

Luego, el modo de control de la silla de ruedas inicialmente es manual, pero si se desea el control remoto se debe presionar el botón remoto y operar la silla desde el dispositivo móvil. En el caso que el usuario desee el control manual, el sistema estará esperando alguna señal del joystick para reconocer la dirección, y por ende controlar los parámetros de orientación y velocidad en el motor por medio de las funciones “Identificar_Direccion” y “ControlarMotor”.

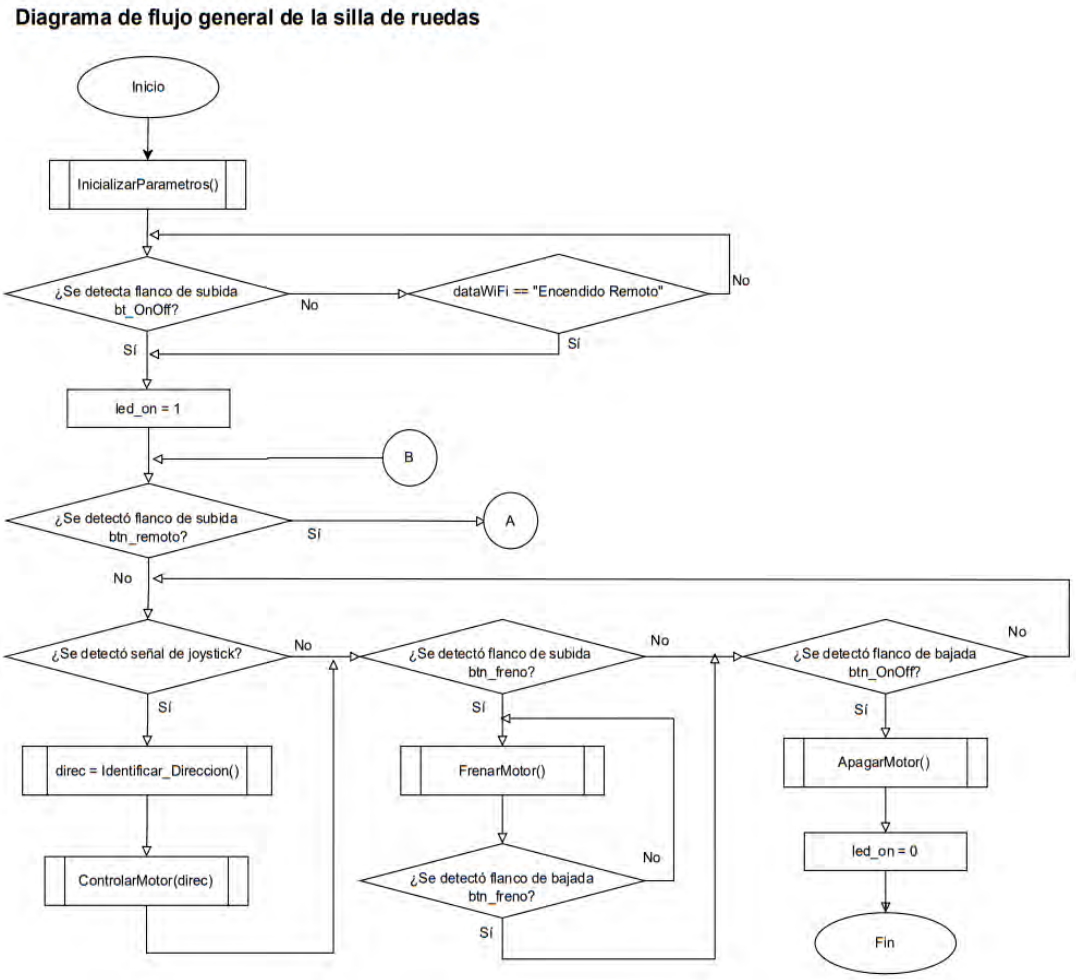


Fig. 3.12. Diagrama de flujo general de la silla de ruedas.

Si el usuario mantiene presionado el botón de freno, se activa la función de detener motor, en el cual va disminuyendo la velocidad gradualmente hasta detener la silla. Por último, si el usuario presiona el botón on/off se detienen los motores, se deshabilita el Led on/off y se apaga la silla de ruedas.

Si se presiona el botón de modo remoto, se debe ingresar al aplicativo móvil y establecer la comunicación Wifi entre la silla de ruedas seleccionada y el dispositivo móvil utilizado. Posterior a ello se realiza el control remoto por medio de la aplicación (desplazamiento, cambio de velocidad, estados de la silla, etc.) y esos datos son enviados al controlador en la silla de ruedas (ver Figura 3.13). Si se sale de la interfaz remota o aplicación móvil, el control de la silla vuelve a ser controlada por el módulo del joystick.

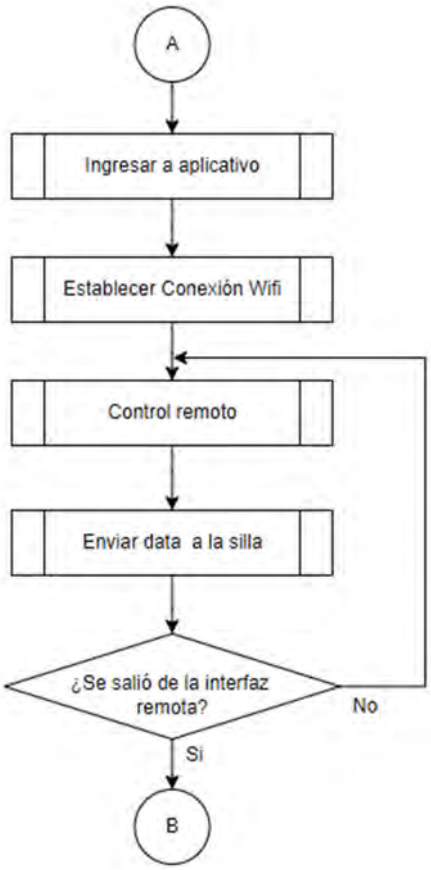


Fig. 3.13. Continuación del diagrama de flujo general.

Cuando se enciende la silla de ruedas, el sistema inicializa todas las variables (globales y locales) de control, como se puede ver en la Figura 3.14.

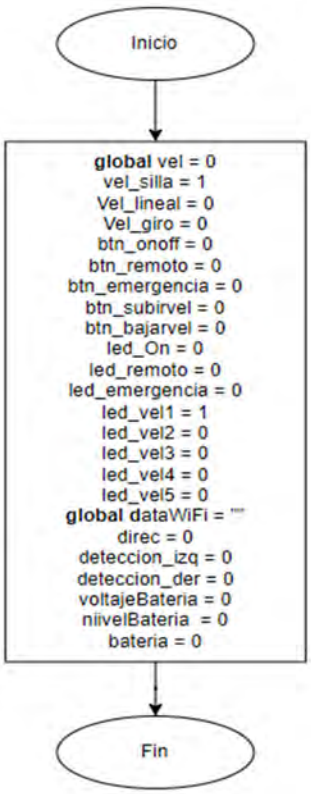


Fig. 3.14. Función Inicializar parámetros.

El dispositivo recibirá información constante de los parámetros de la silla de ruedas (nivel de batería, velocidad, detección de obstáculos) por medio de interrupciones a través del módulo Wifi. Para el caso del nivel de batería de la silla de ruedas, el módulo de nivel de carga envía al microcontrolador el valor de voltaje que tiene la batería, el cual a través de la función “NivelBateria (voltajeBateria)” se convierte en el porcentaje de nivel de batería que tiene, y se compara para enviar como señal un valor de la señal (bateria = 1, 2, 3, 4) a la aplicación móvil (Figura 3.15).

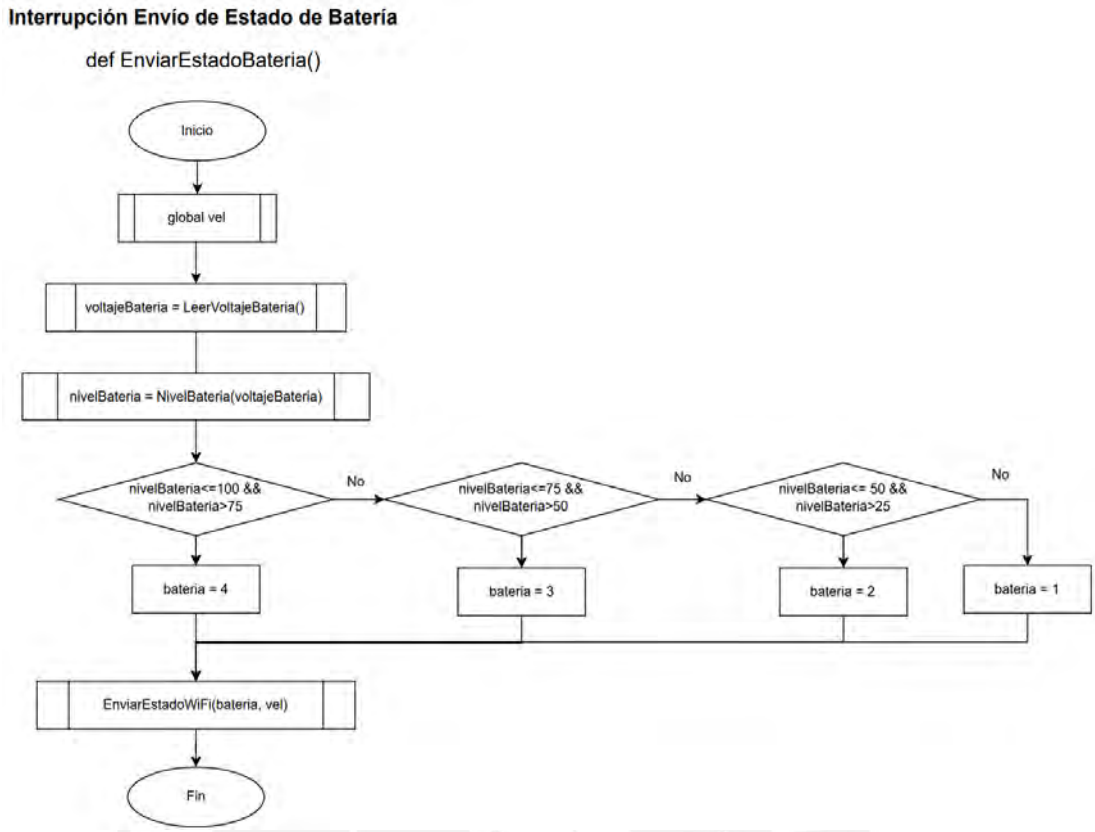


Fig. 3.15. Interrupción para enviar el estado de la batería.

El control remoto se realiza por medio de la aplicación móvil, el cual tiene se muestra su diagrama de flujo en el Figura 3.16. Para iniciar a la aplicación se debe ingresar el usuario y contraseña correctos, de no ser el caso, se mostrará el mensaje “Datos incorrectos”. Una vez se haya ingresado, se debe conectar vía Wifi la silla de ruedas a manejar remotamente. Para ello, se busca el nombre de la silla de ruedas y se presiona el botón conectar. Si no aparece la silla que queremos conectar se aprieta el botón “Buscar dispositivo”, es decir, se actualizan los dispositivos activos y recién se realiza la conexión por medio del mensaje “Dispositivo conectado”, caso contrario, se muestra el mensaje “Conectar dispositivo”.

Cuando ya se conectó el dispositivo y se presionó el botón de modo remoto en la silla de ruedas y se presionó el botón On/Off en la aplicación, recién se puede realizar la conducción remota con los controles básicos: adelante, atrás, giro a la izquierda y giro a la derecha. Si se presiona el botón de emergencia en el aplicativo, se detiene la silla de ruedas y el control por el aplicativo se detiene, a menos que se presione el botón On/Off en el aplicativo para restaurar y continuar la marcha.

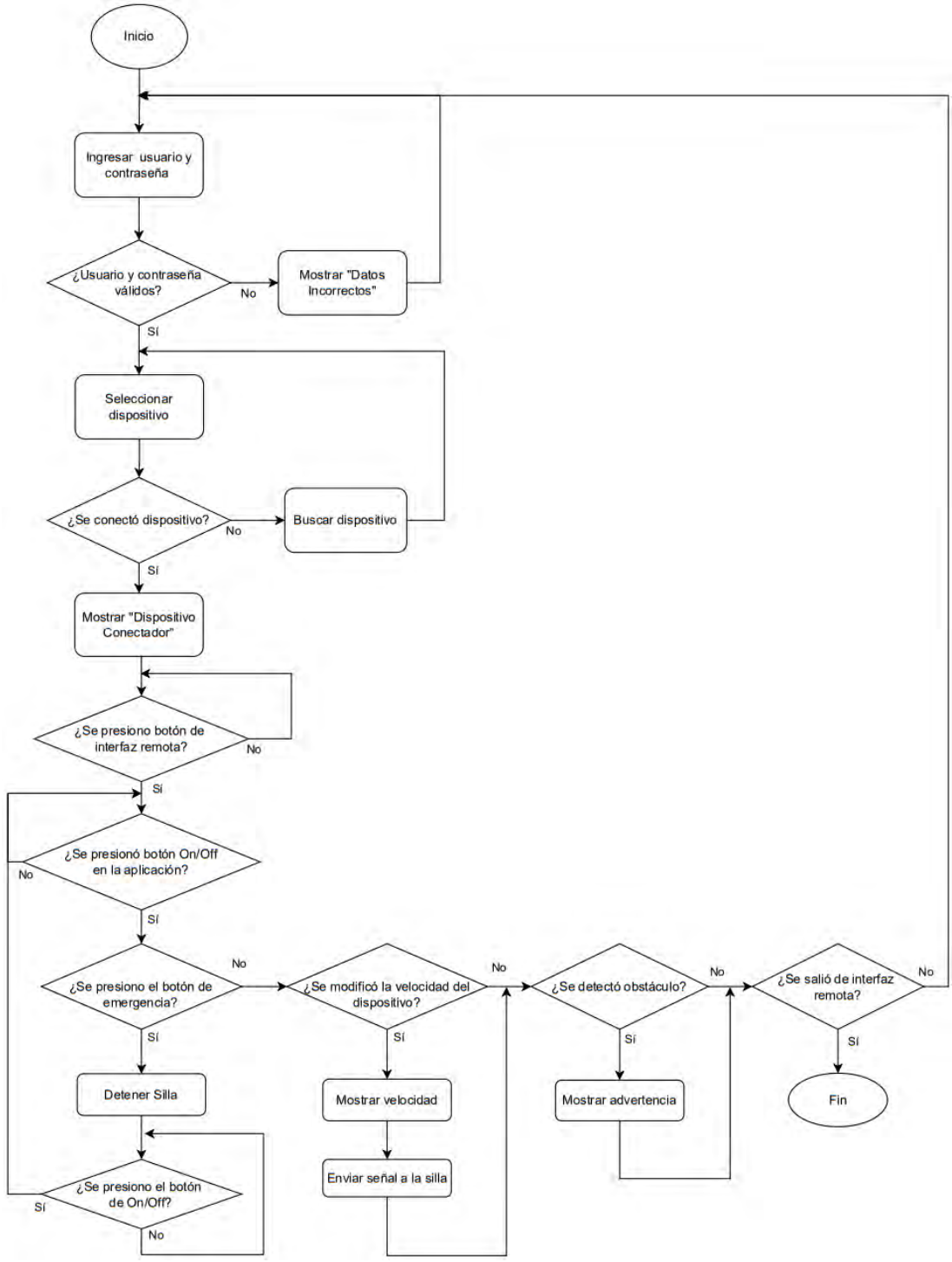


Fig. 3.16. Diagrama de flujo de la operación del aplicativo.

Además, si se modifica la velocidad en el aplicativo, se mostrará el nuevo valor de la velocidad y se enviará esta información al controlador en la silla de ruedas para dar

instrucción a los motores. Si se detecta un obstáculo a la izquierda o derecha de la silla de ruedas, la aplicación mostrara una advertencia al usuario para realizar un movimiento evasivo. Por último, si se sale de la interfaz remota, y se presiona el botón de modo remoto de nuevo, se deshabilita el manejo remoto y el control de la silla vuelve a estar a disposición del módulo joystick.

3.4.2 Diseño de control de movimiento (orientación y velocidad)

El control del movimiento de la silla de ruedas depende de la orientación y velocidad de esta. Para ello, el módulo joystick enviara señales a través de la variable *direc* sobre las 8 posibles posiciones, las cuales serán interpretadas en 9 orientaciones para el movimiento de la silla de ruedas. En la Tabla 3.11 se presenta la relación de orientación y dirección de la silla con los pines del joystick y la variable *direc*, para enviarle instrucciones al motor del desplazamiento de la silla de ruedas (Figura 3.17).

Tabla 3.11. Orientación y dirección de la silla según la variable *direc*.

Variable *direc*	Pines del Joystick	Orientación/ Dirección de la silla
0	-	Neutro
1	J_SW1	Adelante
2	J_SW2	Giro a la izquierda
3	J_SW3	Giro a la derecha
4	J_SW4	Atrás
5	J_SW1, J_SW2	Adelante curva a la izquierda
6	J_SW1, J_SW3	Adelante curva a la derecha
7	J_SW4, J_SW2	Atrás curva a la izquierda
8	J_SW4, J_SW4	Atrás curva a la derecha

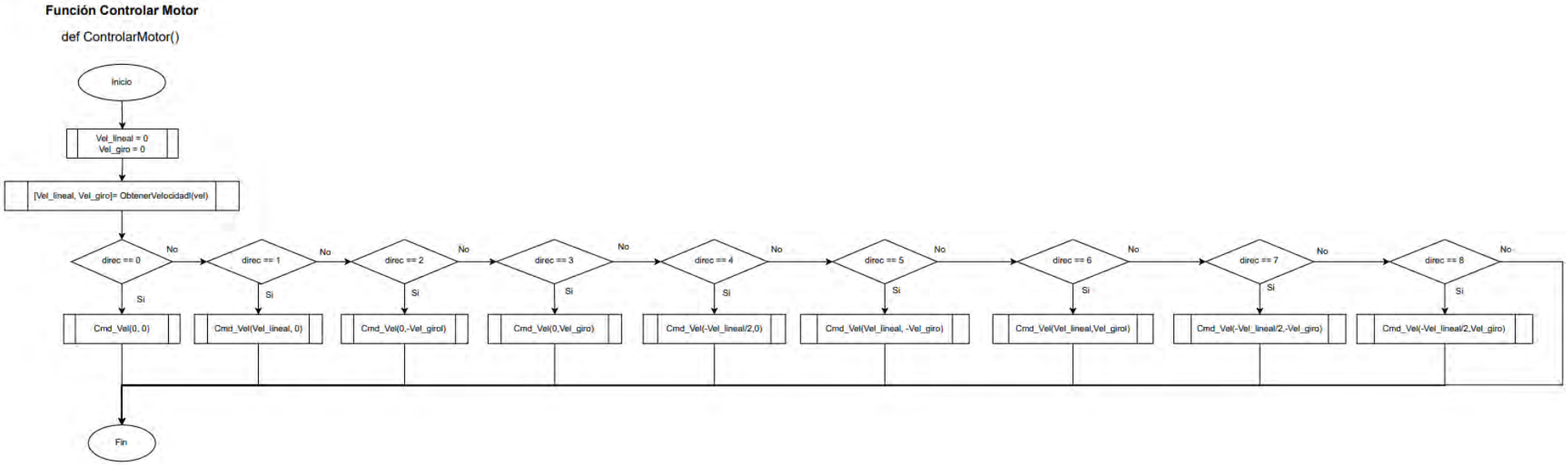


Fig. 3.17. Función para controlar la orientación de la silla de ruedas.

La actualización de la velocidad depende de la variable global *vel*, la cual permite definir los 5 valores de velocidad, como se muestra en la Tabla 3.12.

Tabla 3.12. Definición de velocidades según la variable *vel*.

Variable *vel*	1	2	3	4	5
Velocidad real	2 km/h	4 km/h	6 km/h	8 km/h	10 km/h

Entonces, cuando se presione el botón de subir o bajar velocidad, el sistema de control de movimiento sumará o restará el valor de la variable *vel*, es decir, aumentará o disminuirá la velocidad de la silla de ruedas. Si se presiona los botones cuando la velocidad se encuentre en sus límites superiores o inferiores, esta permanecerá en el límite de velocidad en el que se encuentre (1 = 2 km/h a 5 = 10 km/h). Posteriormente, el sistema identifica con el valor del *vel*, la señal de Led que debe activar para que muestre el estado actual de velocidad en el módulo de joystick (Figura 3.18).

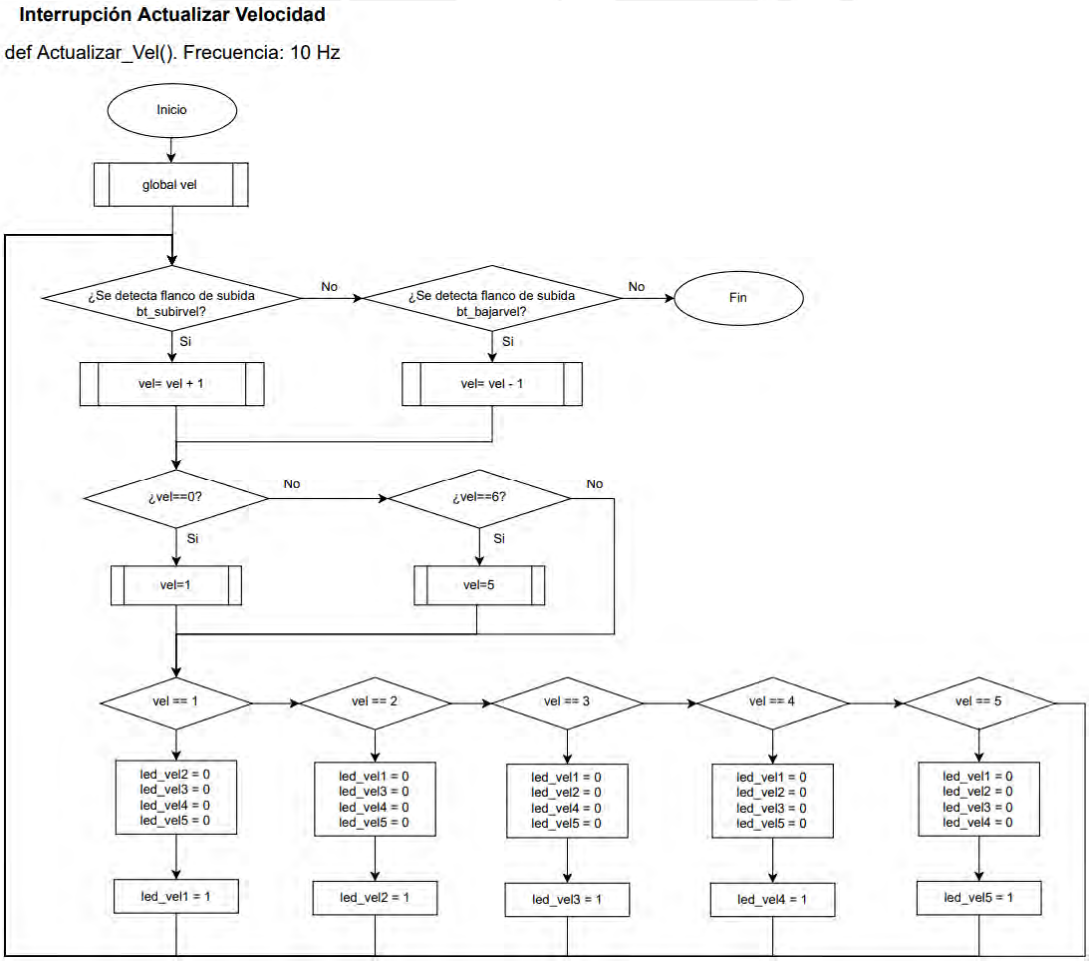


Fig. 3.18. Interrupción para actualizar la velocidad de la silla de ruedas.

3.5 Subsistema de interfaz

El subsistema de interfaz permite controlar el movimiento de la silla de ruedas, es decir, su orientación y velocidad. Además, indica los estados de funcionamiento por medio de Leds en el módulo joystick cuando se realiza la conducción manual, o conducción remota por medio de una aplicación de un dispositivo móvil. A continuación, se presenta la interfaz del joystick con sus componentes, así como la interfaz de la aplicación móvil.

3.5.1 Interfaz de joystick

La interfaz de joystick está compuesta por el joystick que controla la orientación y dirección de la silla de ruedas; los botones de control de velocidad y estado de funcionamiento, y los Leds que indican el estado de la silla de ruedas (Figura 3.19).

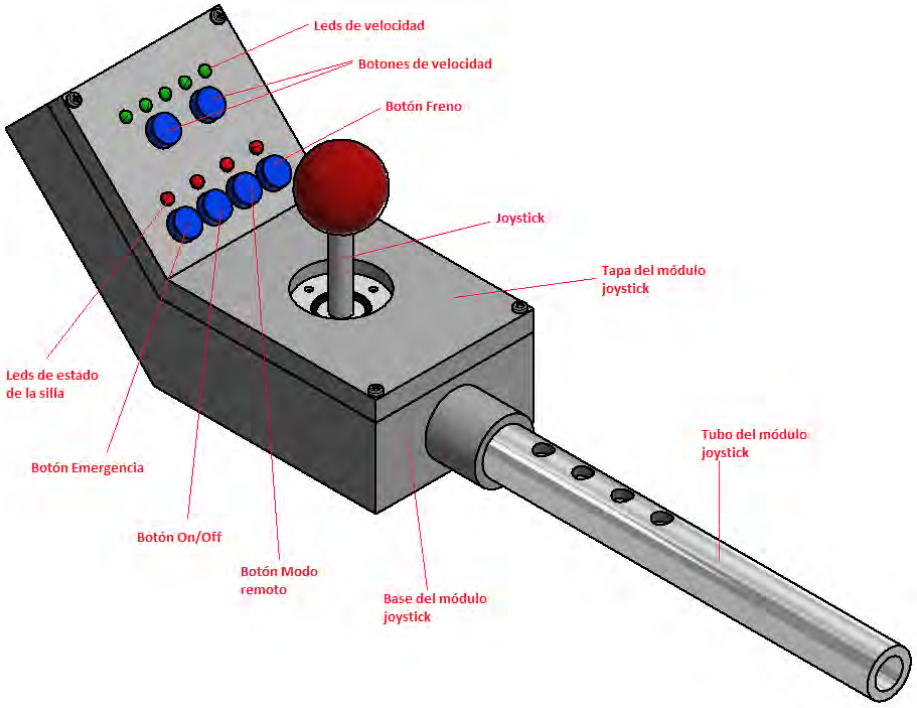


Fig. 3.19. Componentes del módulo joystick.

La silla de ruedas solo funcionará si se presiona el botón On/Off y tiene el modo de conducción manual como funcionamiento predeterminado, a menos que se presione el botón de modo remoto. De esta manera, el joystick ya no tiene control sobre la silla

de ruedas, sino será por medio de la aplicación móvil de un dispositivo celular conectado vía Wifi a la silla de ruedas. El botón de emergencia apaga completamente la silla de ruedas, es decir, desactiva los motores *brushless* y se apaga la silla de ruedas (esta se puede volver a encender presionando el botón On/Off).

3.5.2 Interfaz por aplicación móvil

El control remoto de la silla de ruedas se realiza por medio de una aplicación móvil a través de un dispositivo móvil. A continuación, se presenta un prototipo de diseño de la aplicación para la silla por medio del programa *Justinmind*.

En la Figura 3.20 se muestra la pantalla principal de la aplicación, donde primero se debe ingresar con un usuario y contraseña. Si el usuario o la contraseña no son correctos la aplicación mostrará un mensaje de “Datos Incorrectos” hasta que se coloquen los datos correctos.

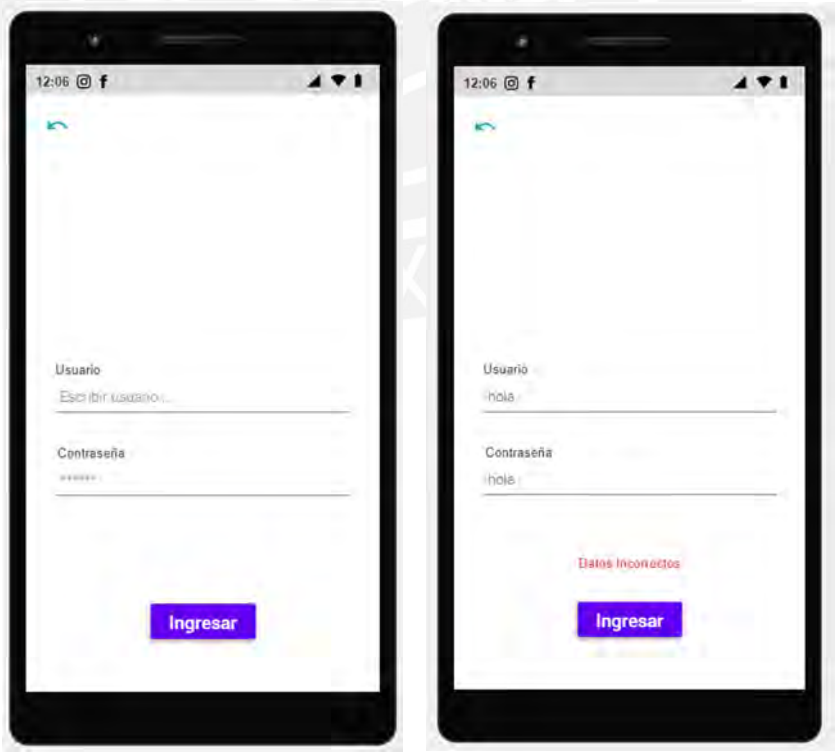


Fig. 3.20. Pantalla de inicio para interfaz por aplicación móvil.

Cuando se ingrese a la aplicación, el siguiente paso es seleccionar el dispositivo a conectar. Para actualizar se presiona el botón “Buscar dispositivos” y luego se presiona el botón “Conectar”. Cuando se realice la conexión con la silla de ruedas y aparezca el mensaje “Dispositivo Conectado” se podrá ingresar (Figura 3.21). Caso contrario, si no se conecta con el dispositivo solicitado se mostrará un mensaje de “Conectar dispositivo”.

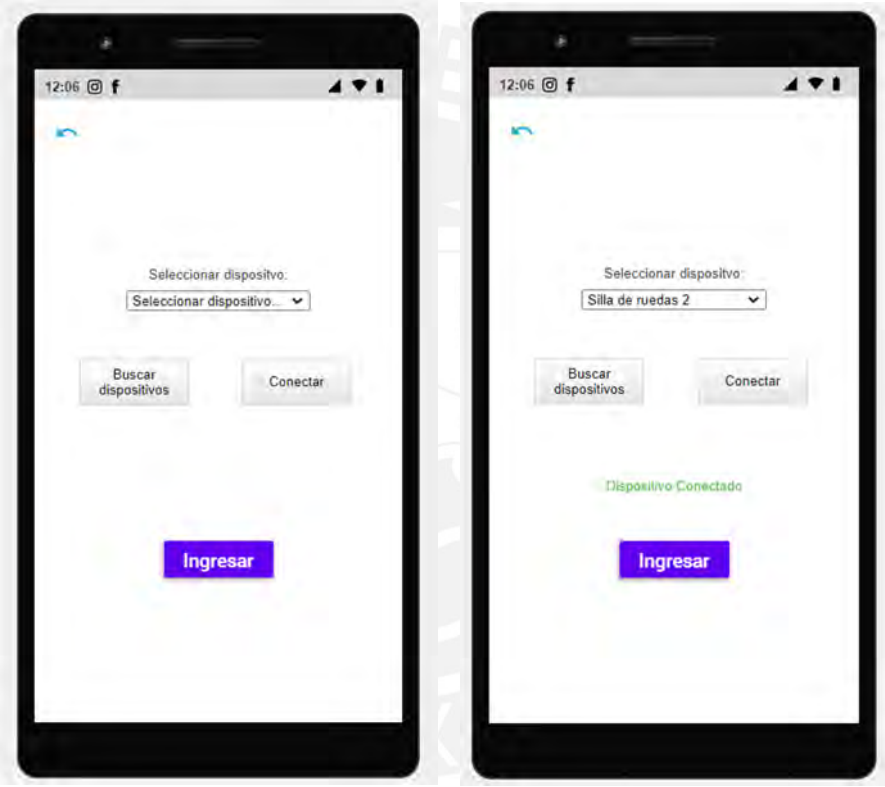


Fig. 3.21. Pantalla selección de dispositivo.

En la Figura 3.22 se presenta la pantalla de control remoto, donde se encuentran los botones de control básicos para el movimiento de la silla de ruedas, así como el botón de freno ubicado en el medio de estos. En la parte superior se encuentran los botones On/Off y de Emergencia para accionar y detener la silla. También, se pueden ver los indicadores de obstáculos que detecten los sensores de ultrasonido. Por último, se podrá controlar la velocidad de la silla de ruedas por medio de un contador para las 5 velocidades, las cuales reflejan su estado a través de las barras de color verde.

Fig. 3.22. Pantalla de control remoto.

En la Figura 3.23 se presentan algunos casos en el uso de la aplicación móvil. Por ejemplo, en la Figura 3.23a se presenta un caso en el que está habilitada la conducción remota y se ha detectado la proximidad de obstáculos por la izquierda y derecha de la silla de ruedas. En la Figura 3.23b se presenta el caso en el que la silla de ruedas se encuentra con una velocidad nivel 5 (10 km/h) y se ha detectado un obstáculo a la izquierda de esta. Por último, en la Figura 3.23c se presenta el caso en el que se ha presionado el botón de emergencia, y por ende la silla de ruedas se apaga.

a) b) c)

Fig. 3.23. Casos de control remoto.

En la parte superior de la pantalla de control remoto se encuentra el ícono de “Configuración”, el cual abre otra pantalla donde se pueden ver los principales parámetros de configuración, es decir, la activación del control remoto, el estado de la batería y el nivel de velocidad actual de la silla (Figura 3.24). Además, cuando se desee deshabilitar el control remoto, aparece una ventana emergente que pregunta si se desea terminar con la sesión remota, si se presiona “Aceptar” la aplicación vuelve a la pantalla principal, pero si se presiona “Cancelar” permanece en la misma pantalla.

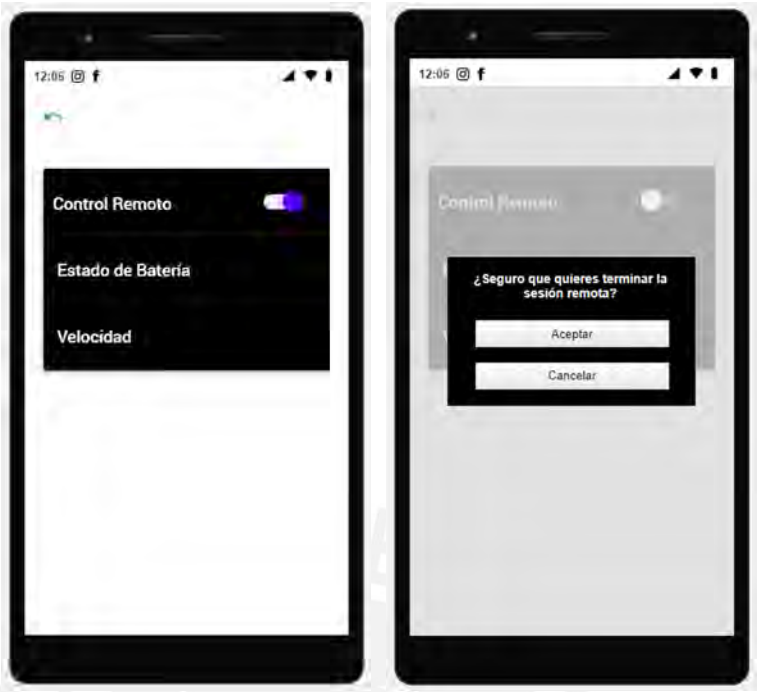


Fig. 3.24. Pantalla de Configuración y des habilitación de sesión remota.

Por último, también se puede visualizar el estado de la batería en porcentaje y a través de las barras de color, así como la velocidad real del motor y de la silla de ruedas en sus 5 niveles (Figura 3.25).

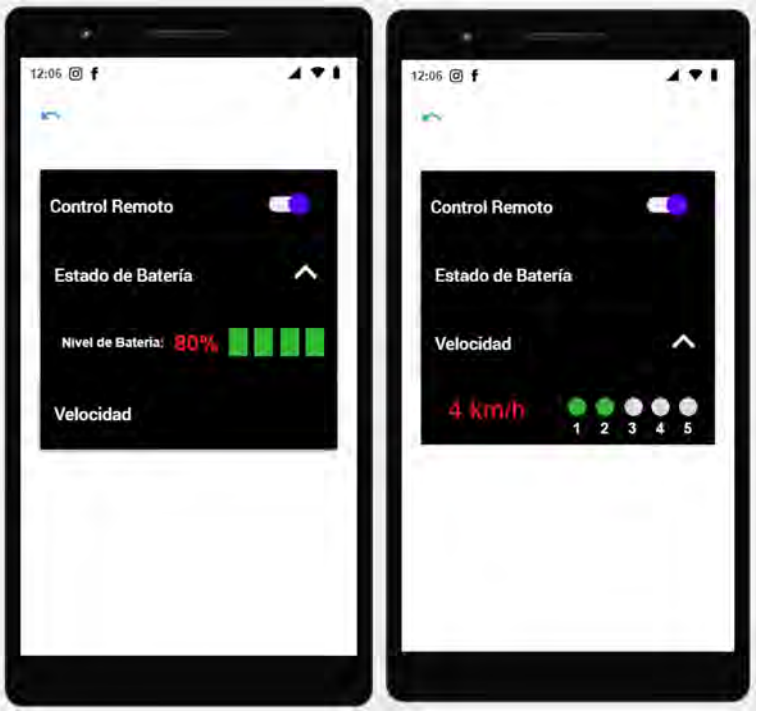


Fig. 3.25. Pantalla de estado de batería y nivel de velocidad.

CAPÍTULO 4
DISPOSITIVO, PLANOS Y ESTIMACIÓN DE COSTOS

En este capítulo se presenta el diseño final de la silla de ruedas con todos sus componentes incorporados. Además, se presenta la clasificación de los planos de ensamble y despiece de la silla con su respectivo código de plano. Por último, se realiza la estimación de costo de fabricación de la silla de ruedas, es decir, los costos de manufactura y ensamblaje en base a los componentes seleccionados y su respectivo proceso de fabricación; así como también una estimación del costo de diseño.

4.1 Dispositivo

En la Figura 4.1 se presenta el dispositivo final de la silla de ruedas teleoperada con sus características técnicas generales.

En la Figura 4.1 se presenta el diseño en 3D final de la silla de ruedas teleoperada, donde se resaltan sus principales componentes: chasis, reposabrazos, módulo de reposapiés, caja de componentes, módulo joystick, módulo de ruedas antivuelco, etc.

Fig. 4.1. Diseño final de silla de ruedas teleoperada y características técnicas.

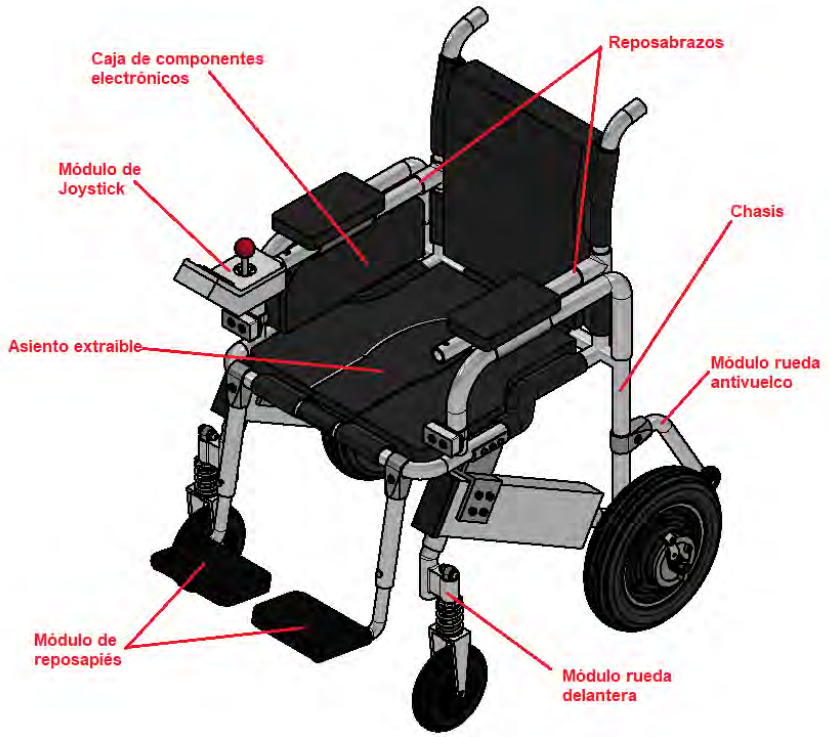
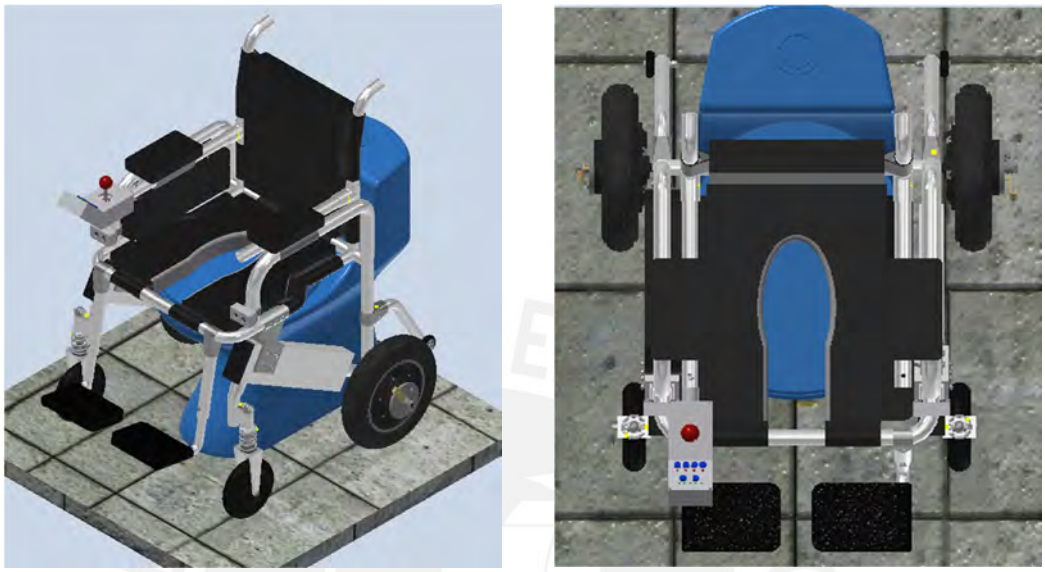


Fig. 4.2. Diseño final de silla de ruedas teleoperada y sus componentes principales.

En la Figura 4.2 se presenta la ubicación de la silla de ruedas sobre un inodoro. Cuando se retira el asiento extraíble, el usuario puede retroceder la silla y ubicarse sobre ella para realizar su necesidad higiénica.



a) b)

Fig. 4.3. Posición de silla sobre inodoro. a) Vista isométrica. b) Vista superior.

4.2 Planos

A continuación, se presenta la clasificación de los planos mecánicos de ensamble, despiece y de disposición general de la silla de ruedas (Tabla 4.1). En el Anexo B se presenta a detalle los planos mecánicos de la silla de ruedas.

Tabla 4.1. Clasificación de los planos de ensamble y despiece de la silla de ruedas.

Plano	Código
Silla de ruedas teleoperada	01-A3-DG
Ensamble silla de ruedas	02-A1-E01
Chasis	03-A2-E02
Módulo rueda delantera derecha	04-A3-E03
Módulo rueda delantera izquierda	05-A3-E04
Reposabrazos	06-A3-E05
Módulo de reposapiés	07-A3-E06
Módulo rueda antivuelco	08-A3-E07
Caja de componentes electrónicos	09-A3-E08
Módulo Joystick	10-A3-E09
Ensamble sensor de ultrasonido	11-A4-E10
Estructura de silla	12-A2-D01
Soporte de Batería	13-A3-D02
Soporte batería – asiento	14-A3-D03
Soporte desmontable	15-A3-D04
Tubo de rueda delantera derecha	16-A3-D05
Tubo de rueda delantera izquierda	17-A3-D06
Horquilla	18-A3-D07
Tubo reposabrazos	19-A3-D08
Tubo reposapiés	20-A3-D09
Tubo retráctil reposapiés	21-A3-D10
Tubo rueda antivuelco	22-A3-D11
Base caja de componentes electrónicos	23-A3-D12
Placas caja de componentes	24-A3-D13
Tapa caja de componentes	25-A3-D14
Base módulo joystick	26-A3-D15
Tapa módulo joystick	27-A3-D16
Tubo módulo joystick	28-A3-D17
Base y tapa de sensor de ultrasonido	29-A3-D18

4.3 Estimación de costos

A continuación, se realiza la estimación de costos de diseño y fabricación de la silla de ruedas teleoperada, es decir, costos de componentes comerciales, logística, materiales de manufactura, fabricación de componentes y ensamblado de la silla.

4.3.1 Costo de diseño

El costo de diseño se basa según el sueldo promedio de un practicante de ingeniería, el cual es de S/. 10 por horas de trabajo. El tiempo total invertido fue de 680 horas, considerando el tiempo de elaboración del diseño mecánico, eléctrico y de control. Además, se contó con el apoyo de un supervisor con un total de 22 horas y un promedio S/. 100 por hora aproximadamente. De esta manera, el costo total de diseño se estima aproximadamente en S/. 9,000, como se puede ver en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Costo de diseño.

	Costo por hora (S/.)	**Tiempo de diseño (horas)**	**Honorarios (S/.)**
Practicante de ingeniería	10	680	6,800.00
Supervisor	100	22	2,200.00
		Total (S/.)	**9,000.00**

4.3.2 Costos de fabricación

El costo de fabricación se divide en costos de componentes comerciales, materiales de manufactura y el proceso de manufactura y ensamblado de la silla. El costo del componente incluye el costo de IGV y el costo de transporte o logística de ser el caso. Además, como el costo de los componentes importados supera el monto de los $200 o S/. 740 (según el tipo de cambio de S/.3.70 del 01 de setiembre de 2023), se considera un costo adicional de impuestos aduaneros de aproximadamente el 20% (derechos arancelarios e IGV). En la Tabla 4.3 se detalla el costo de los componentes comerciales que conforman la silla de ruedas, el cual equivale a S/. 4,130 aproximadamente.

Tabla 4.3. Costo de componentes comerciales.

Distribuidor	Componente	Precio unitario (S/.)	Cantidad	Subtotal (S/.)	Envío (S/.)
Aliexpress	Motor de cubo Brushless + Rueda neumática 12 pulgadas + Controlador E-Tech	407.00	2	814.00	592.00
	Batería de litio 24V 30Ah Kamada	536.50	1	536.50	370.00
	Par de reposapiés de plástico	103.00	1	103.00	85.00
	Cojín de reposabrazos	16.60	2	33.20	7.10
	Asiento extraíble	65.00	1	65.00	11.20
	Ruedas delanteras de PVC 6”	30.00	2	60.00	40.20
Amazon	Joystick Arcade Classic EG STARTS	44.40	1	44.40	-
	Amortiguador PPR PIT PRO RACING	62.90	2	125.80	98.80
	Abrazadera BQLZR conexión en T	37.00	6	222.00	79.90
Naylamp Mechatronics	Botón pulsador con cubierta de plástico	1.00	6	6.00	-
	Sensor de ultrasonido HC-SR04	8.00	2	16.00	-
	Módulo Wifi ESP-1S (ESP2866)	17.00	1	17.00	-
	Microcontrolador Arduino Mega 2560 R3	110.00	1	110.00	-
Digi-Key	Amplificador operacional LMC7101AIM5	2.80	8	22.40	-
Mouser	Regulador y monitor Potencia / Corriente INA234	8.53	1	8.53	-
Mercado libre	Leds difusos de colores	0.45	9	4.05	-
			Subtotal (S/.)	**2187.88**	**1284.20**
			Impuesto de aduanas (S/.)	**657.62**	
			Total (S/.)	**4,129.70**	

Luego, se detalla el costo de los materiales para manufacturar que podrían no ofrecer el servicio de fabricación y ensamble de la silla de ruedas. Se requiere tubos redondos de aluminio estructural, perfil de aluminio para el soporte de la batería, así también como plástico ABS para la caja de componentes, módulo del joystick y soporte de los sensores de ultrasonido. Dichos costos se muestran en la Tabla 4.4 con un estimado total de S/. 300.

Tabla 4.4. Costo de materiales de manufactura.

Distribuidor	Componente	Precio unitario (S/.)	Cantidad	Subtotal (S/.)
Limatambo	Tubo redondo aluminio estructural Ø30 mm x 4 mm de espesor y 8 m de largo	184.80	1	184.80
	Perfil de aluminio rectangular 102 mm x 44.5 x 2.5mm y 1 m de largo	50.40	1	50.40
Krear 3D	Filamento de plástico ABS (0.8 kg)	48.00	1	48.00
			Total (S/.)	**283.20**

En el costo de impresión en 3D se considera una estimación brindada por la empresa HUBS para productos manufacturados usando ABS como material. En la Tabla 4.5 se muestra el costo de impresión y en 3D y limpieza superficial con un valor estimado de S/. 1,700 (según el tipo de cambio de S/.3.70 del 01 de setiembre de 2023).

Tabla 4.5. Costo de impresión 3D.

Trabajo	Costo de componente ($)	Cantidad	Costo total ($)
Base de caja de componentes	183.96	1	183.96
Tapa de caja de componentes	79.77	1	79.77
Base de módulo joystick	65.99	1	65.99
Tapa de módulo joystick	28.17	1	28.17
Base de sensor de ultrasonido	7.84	2	15.68
Tapa de sensor de ultrasonido	4.72	2	9.44
Sujetador Batería - Asiento	50.99	2	79.00
		Total ($)	**462.01**
		Total (S/.)	**1,709.44**

En base a los materiales de manufactura mencionados anteriormente se establece el costo de procesamiento de los componentes mecánicos y del ensamblado de la silla de ruedas por la empresa Pit's Box Customs Garage, lo que se muestra en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6. Costo de procesamiento y ensamblado de componentes.

Trabajo	Cantidad	Costo total (S/.)
Estructura de la silla	1	3,000.00
Soporte de Batería	1	
Soporte desmontable	1	
Tubo rueda delantera	2	
Tubo reposabrazos	2	
Horquilla	2	
Tubo reposapiés	2	
Tubo retráctil reposapiés	2	
Tubo rueda antivuelco	2	
Placas caja de componentes	2	
Total (S/.)		**3,000.00**

En la Tablas 4.7 se presentan todos los costos de fabricación estimados, con lo que el costo total de fabricación se estima en S/. 11,623.

Tabla 4.7. Costo total de fabricación de la silla.

Concepto	Costo (S/.)
Componentes comerciales	4,130
Materiales de manufactura	283
Impresión 3D	1,710
Procesamiento y ensamblado de componentes	5,500
Total (S/.)	**11,623**

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

El diseño de la estructura de la silla de ruedas se basa en un diseño con ningún componente debajo del asiento y entre las ruedas traseras de la silla, de tal manera que esta pueda retroceder y acomodarse sobre un inodoro estándar. Por eso las dimensiones generales de la silla se restringen a las dimensiones de un inodoro estándar (bajo las dimensiones de una persona adulta) y con modificaciones en sus componentes para cubrir las dimensiones del rango de edad de niños entre los 6 y 12 años. Debido a esto, los componentes se han colocado muy juntos, como es el caso de la caja de componentes y posición del reposabrazos y modulo joystick, lo cual podría generar algún tipo de incomodidad al usuario, sin embargo, se podría realizar pruebas para conocer el grado de incomodidad que puede llegar a sentir el niño.

Además, se encontraron las medidas promedio antropométricas de niños y niñas entre los 6 y 10 años residentes en Bogotá, y en base a esas estadísticas se realizó una aproximación lineal para los 11 y 12 años. De esta manera, se obtuvieron las medidas de los reposabrazos, reposapiés, asiento, respaldar y estructura de la silla, en donde se buscó abarcar medidas en el caso del reposapiés y reposabrazos que acompañen el crecimiento del niño. Para los demás componentes se colocó un promedio de estas medidas, por lo cual es posible que las edades menores (6 y 7 años) presenten una ligera incomodidad en la posición de loa brazos y el asiento, sin embargo, son medidas que se pueden regular o adicionar para la comodidad de todo el rango de edad de los niños.

Otro aspecto por considerar es el diseño de la estructura de la silla y los procesos de su fabricación. Se requieren procesos de doblado para los tubos de aluminio con un espesor de 4 mm, sin embargo, hay probabilidad de que estos se rajen o no resistan el calentamiento y doblado en los ángulos especificados en los planos. Es por eso, que también sería una opción viable utilizar estos tubos estructurales rectos de aluminio, y realizar las uniones con codos de 90° o tipo T, y de ser necesario realizar la soldadura debida para unir los componentes. Además, se podría rediseñar componentes para obtener un modelo más simplificado y fácil de fabricar. De esta manera se reduciría el costo de procesamiento y fabricación de la silla al monto esperado.

Por otro lado, se estableció una autonomía de 4 horas como máximo de la silla de ruedas, debido a que la movilización de estos niños es básicamente en sus casas, escuela y vecindario, por lo cual no requieren mucha autonomía. Además, se estableció como velocidad limite mínima a 2 km/h con un incremento de 2 km/h hasta los 10 km/h (5 velocidades), sin embargo, esta última velocidad podría ser riesgosa para el uso de estos niños, si es que no tienen un buen control de la silla. Para ello, se podría realizar pruebas y ver la conformidad y seguridad de los niños al manejar la silla en todos los rangos de velocidad, y evaluar si es necesario reducir el límite de velocidad máximo.

Tomando en cuenta el ángulo de inclinación de la silla antes de volcarse, se recomendaría la presencia de una persona como asistencia para recorridos con pendiente muy inclinada. Se podría mejorar el diseño del soporte de las ruedas antivuelco para una mayor confiabilidad del usuario ante la sensación de vuelco.

Así mismo, se realizó un prototipo de la aplicación móvil que controla a la silla de ruedas de manera remota, el cual presenta los controles e indicadores principales para un manejo seguro de la silla de ruedas. Sin embargo, se podría trabajar más la aplicación para que sea más didáctica y sencilla de usar para los niños.

Por último, el subsistema de control de velocidad no pudo ser desarrollado con mayor detalle debido a que no se tenían los motores en físico para obtener su ecuación lineal real y aproximar la velocidad real final esperada.

CONCLUSIONES

Utilizando la metodología de diseño mecatrónico se logró cumplir el objetivo principal de diseñar una silla de ruedas teleoperada para niños con discapacidad física motriz entre 6 y 12 años. Se diseñó una silla de ruedas que se adapte al crecimiento de niños entre ese rango de edad de tal manera que se pueda regular las zonas de apoyo y reposo del usuario, como es el caso del reposabrazos y los reposapiés, considerando las medidas promedio de este rango de edad. Además, se le brinda la facilidad de realizar sus necesidades higiénicas desde la propia silla de ruedas, generando una mayor autonomía en el niño para realizar sus actividades cotidianas.

Los requerimientos de diseño de la silla de ruedas permiten soportar una carga máxima de 80 kg sobre su estructura, así como una autonomía de aproximadamente 4 horas de recorrido. Además, el usuario puede regular la velocidad de la silla en 5 niveles de velocidad (2 km/h a 10 km/h) y detener la silla en caso de emergencia. Para su seguridad también, se consideraron ruedas antivuelco para evitar justamente la volcadura del usuario ante una inclinación aproximada de 20°.

El análisis dimensional de esfuerzos y deformación de los componentes de la silla de ruedas se mantuvo dentro del rango admisible y con un buen factor de seguridad para evitar roturas, pandeo o deformaciones en la estructura de aluminio que soporta al usuario y movimiento involuntarios que este pueda realizar. El subsistema mecánico de la silla se desarrolló en función a la mayor comodidad posible del usuario para realizar sus necesidades higiénicas. Para ello se obtuvo un tamaño final de la silla de ruedas de 89.3 x 69.4 x 96 cm, las cuales no exceden las dimensiones del límite establecido por los requisitos de diseño. Además, el peso total de la silla de ruedas no excede el límite establecido de 40 kg.

La interfaz de control por medio del módulo joystick y por la aplicación móvil le permite al niño ajustar el tipo de control de la silla: manual o remoto. Además, aumentar o disminuir la velocidad, visualizar los estados de la silla por medio de los leds, y dirigir la silla en 8 posibles direcciones.

El costo total de fabricación de la silla de ruedas se estimó en S/.11,000, superando el requisito estimado de costo de fabricación de S/. 8,000. Debido a esto, se debe optimizar el diseño para reducir la complejidad de los componentes mecánicos especificados en las observaciones y recomendaciones.

BIBLIOGRAFÍA

[CONADIS, 2021] CONADIS. (2021, 17 agosto). Inscripciones en el Registro Nacional de la Persona con Discapacidad (Julio 2021). OBSERVATORIO NACIONAL DE LA DISCAPACIDAD. https://www.conadisperu.gob.pe/observatorio/estadisticas/inscripciones-en-el-registro-nacional-de-la-persona-con-discapacidad-julio-2021/

[DE NEGRI, 2021] Víctor De Negri, Karol Muñoz y Vinicius Vígolo (2021). *Design Methodology for Mechatronic Systems*. Florianópolis.

[INEI, 2012] INEI. (2012). Primera Encuesta Nacional Especializada sobre Discapacidad. Recuperado de: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1171/ENEDIS%202012%20-%20COMPLETO.pdf

[INEI, 2017] INEI. (2017). Perfil Sociodemográfico de la Población con Discapacidad, 2017. Recuperado de: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1675/libro.pdf

[INEI, 2019] INEI. (2019, marzo). Caracterización de las condiciones de vida de la población con Discapacidad, 2019. Recuperado de: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1769/libro.pdf

[LÉVANO, 2020] Lévano Gonzales, L. J. (2020). Diseño de una silla de ruedas mecatrónica multifuncional para mejorar la accesibilidad de un adulto con paraplejia. Tesis para el Título Profesional de Ingeniero Mecatrónica, Universidad Ricardo Palma, Lima. Recuperado de https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/3528/MEC-T030_73017940_T%20%20%20L%C3%89VANO%20GONZALES%20LUIS%20JUNIOR.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[LÓPEZ, 2014] López Celi, J. A. (2013 - 2014). Diseño de un prototipo de silla de ruedas eléctrica, con sistema de ascenso y elevación. Tesis para el Título en Ingeniería Mecánica, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. Recuperado de https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6420

[MALE, 2017] Male, C. Wodon, Q. (2017, 1 diciembre). “Disability gaps in educational attainment and literacy”. The World Bank. Recuperado de: https://documents1.worldbank.org/curated/en/396291511988894028/pdf/121762-replacement-PUBLIC-WorldBank-GapsInEdAttainmentLiteracy-Brief-v6.pdf

[MANRIQUE, 2022] Manrique Gómez, K. N. (2022). Diseño conceptual de una silla de ruedas teleoperada para niños con discapacidad física motriz. Trabajo de Investigación para obtener el Título de Bachiller, Ingeniería Mecatrónica.

[MORALES, 2012] Morales, J. Guerra, H. Morales, N. (2012, 7 noviembre). Control de una Silla de Ruedas por Medio de un Dispositivo Móvil con Sistema Operativo Android. Revista Tecnología Digital, 2(1). Recuperado de: http://www.capacidades.sistemastectuxtla.net/pdf/articulos/02_004_control_de_una_silla_de_ruedas_android.pdf

[OMS, 2008] OMS. (2008). Pautas para el suministro de sillas de ruedas manuales en entornos de menores recursos. Recuperado de: https://www.who.int/disabilities/publications/technology/wheelchairguidelines_sp_finalforweb.pdf

[OEC, 2019] OEC. (2019). Perú: Importaciones. The Observatory of Economic Complexity. Recuperado de: https://oec.world/en/profile/country/per

[OMS, 2020] OMS. (2020, 1 diciembre). Discapacidad y salud. Recuperado de: https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health

[OBBOCARE, s.f.] Obbocare. (s.f.). 7 modelos y tipos de sillas de ruedas que existen en el mercado. Recuperado de: https://www.obbocare.com/tipos-de-sillas-de-ruedas-y-modelos/

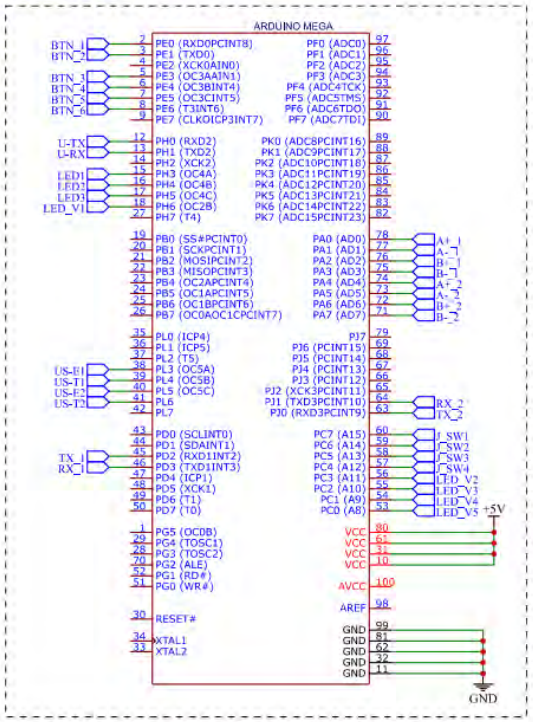
[SUNRISE MEDICAL, s.f.] Sunrise Medical. (s.f.). Consideraciones Biomecánicas en la silla de ruedas manual. Recuperado de: http://biomech.media.mit.edu/wp-content/uploads/sites/9/2013/04/Powered-Ankle-Foot-Prosthesis-for-the-Improvement-of-Amputee-Ambulation.pdf

[ZUASTI, 2020] Zuasti, F. (2020, 29 abril). ¿Qué es la discapacidad y que tipos de discapacidad existen?. Todo Disca. Recuperado de: https://www.tododisca.com/que-es-discapacidad/

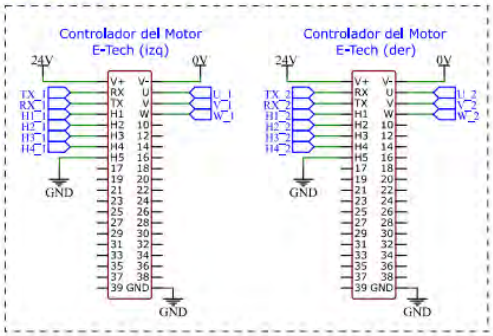
ANEXOS

Anexo A: Diagramas esquemáticos generales de componentes electrónicos

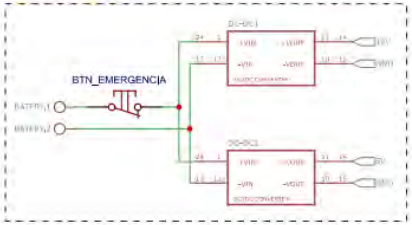
CONTROLADOR



ACTUADORES



ALIMENTACION



CANT.	COMPONENTE	ENCAPSULADO	OBSERVACIONES

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

ESCALA:

ALIMENTACIÓN, ACTUADORES Y MICROCONTROLADOR

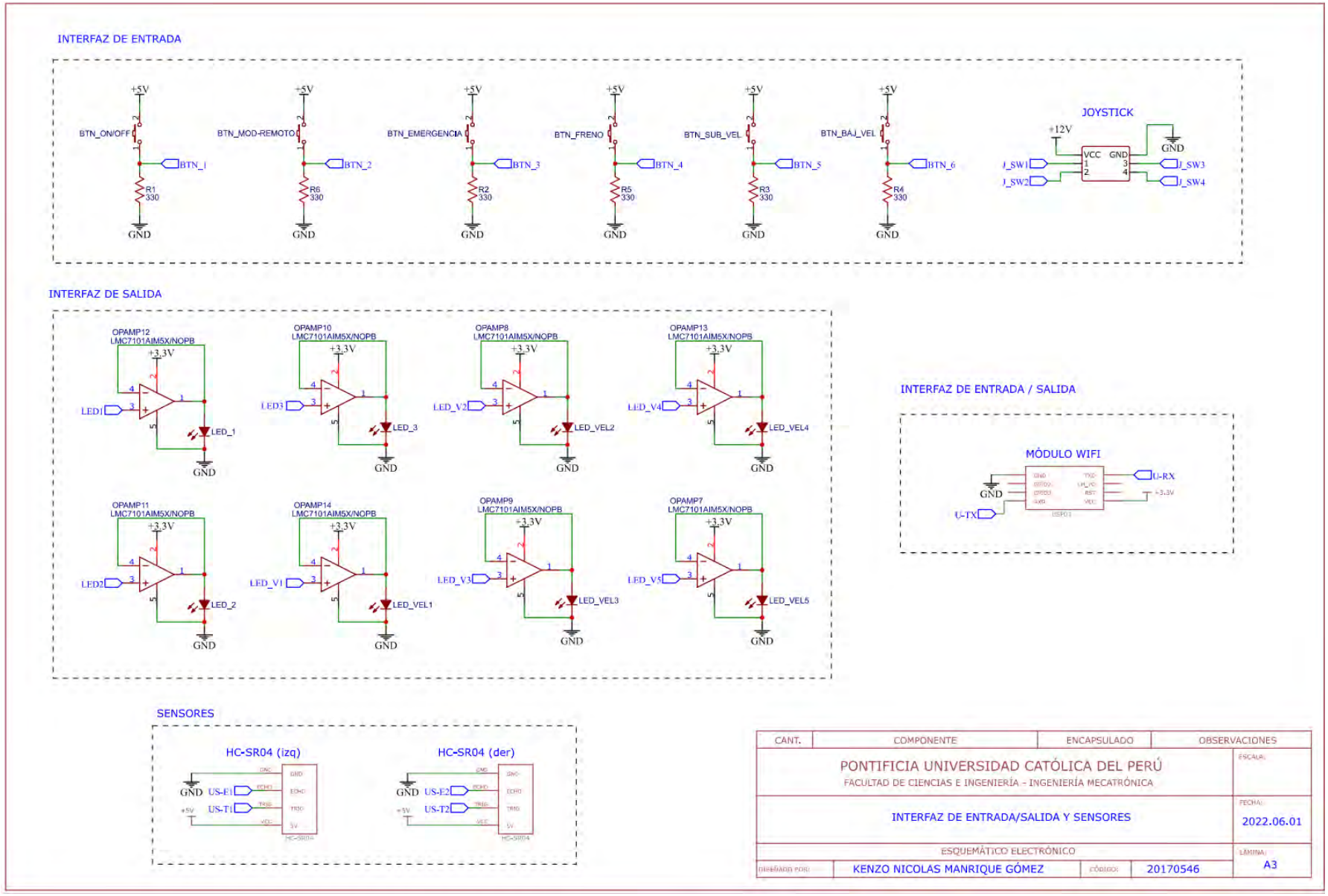
FECHA: 2022.06.01

ESQUEMÁTICO ELECTRÓNICO

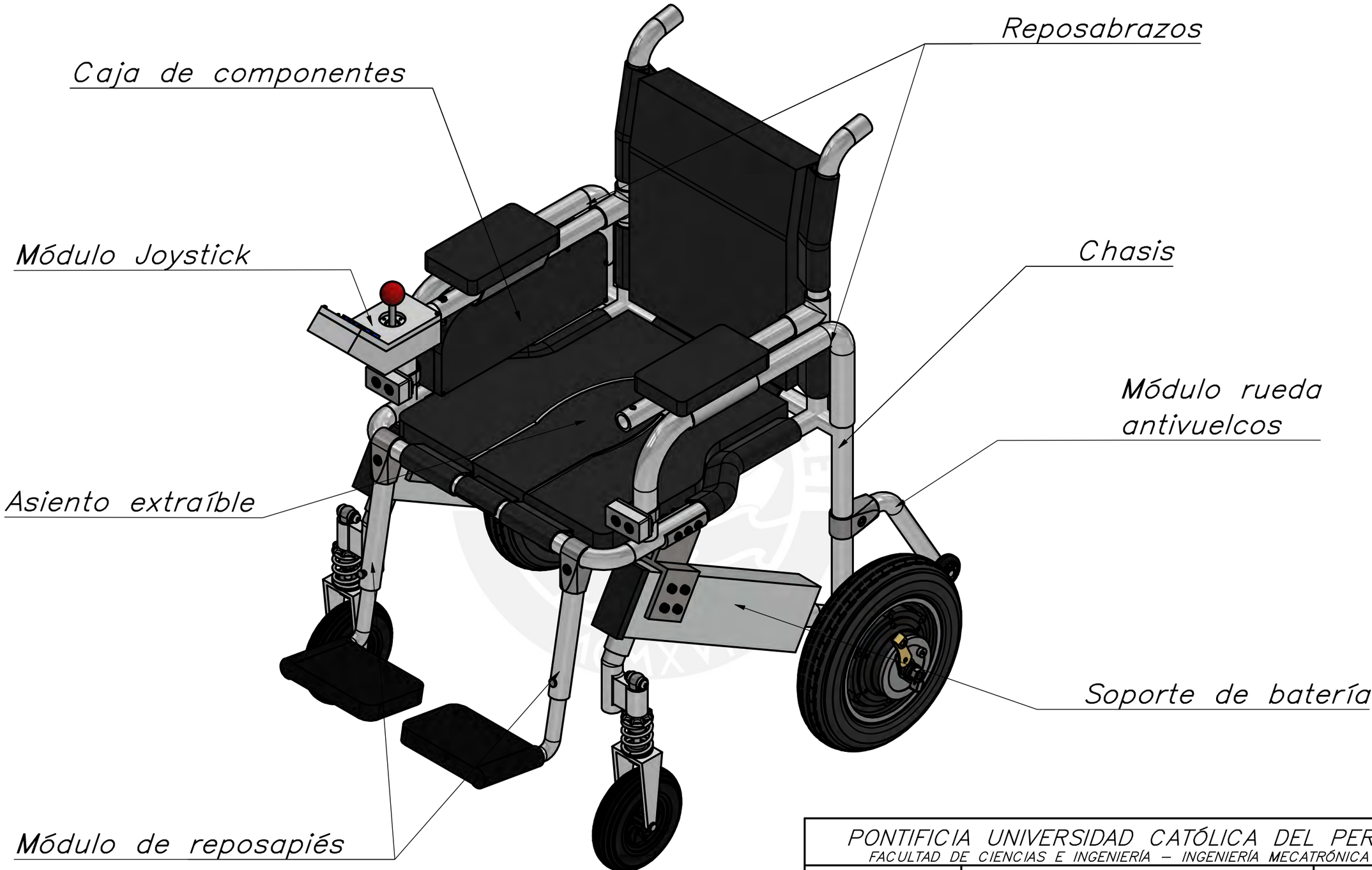
LÁMINA: A3

DISEÑADO POR: KENZO NICOLAS MANRIQUE GÓMEZ

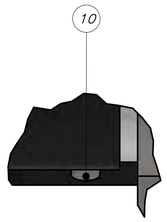
CÓDIGO: 20170546


INTERFAZ DE ENTRADA
+5V
BTN_ON/OFF
BTN_1
R1
330
GND
BTN_MOD-REMOTO
BTN_2
R6
330
BTN_EMERGENCIA
BTN_3
R2
330
BTN_FRENO
BTN_4
R5
330
BTN_SUB_VEL
BTN_5
R3
330
BTN_BAJ_VEL
BTN_6
R4
330
JOYSTICK
+12V
VCC
GND
J_SW1
J_SW2
J_SW3
J_SW4
INTERFAZ DE SALIDA
OPAMP12
LMC7101AIM5X/NOPB
+3.3V
LED1
LED_1
OPAMP10
LED3
LED_3
OPAMP8
LED_V2
LED_VEL2
OPAMP13
LED_V4
LED_VEL4
OPAMP11
LED2
LED_2
OPAMP14
LED_V1
LED_VEL1
OPAMP9
LED_V3
LED_VEL3
OPAMP7
LED_V5
LED_VEL5
INTERFAZ DE ENTRADA / SALIDA
MÓDULO WIFI
U-RX
U-TX
+3.3V
SENSORES
HC-SR04 (izq)
US-E1
US-T1
HC-SR04 (der)
US-E2
US-T2
CANT.
COMPONENTE
ENCAPSULADO
OBSERVACIONES
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA
ESCALA:
INTERFAZ DE ENTRADA/SALIDA Y SENSORES
FECHA:
2022.06.01
ESQUEMÁTICO ELECTRÓNICO
LÁMINA:
A3
DISEÑADO POR:
KENZO NICOLAS MANRIQUE GÓMEZ
CÓDIGO:
20170546

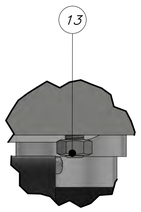
Anexo B: Planos de ensamble y despiece del sistema mecánico



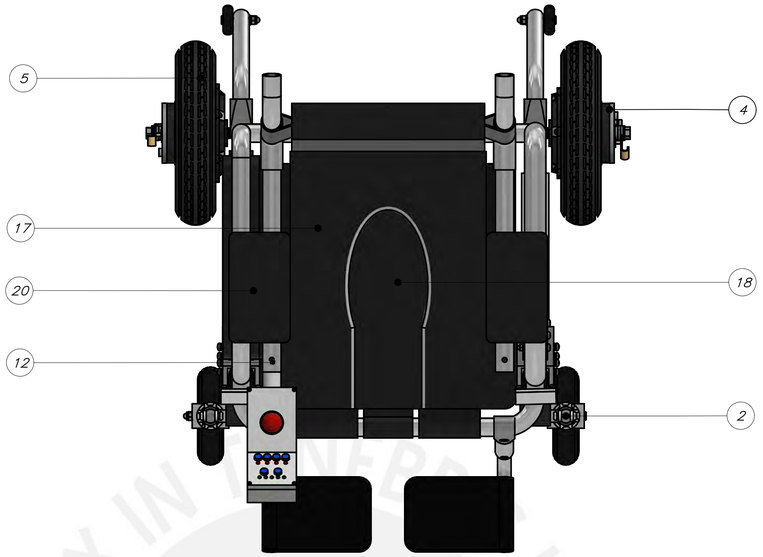
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	SILLA DE RUEDAS TELEOPERADA PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD FÍSICA MOTRIZ SILLA DE RUEDAS TELEOPERADA	ESCALA S/E FECHA: 2022.06.28
20170546	MANRIQUE GÓMEZ, KENZO NICOLAS	PLANO: 01–A3–DG

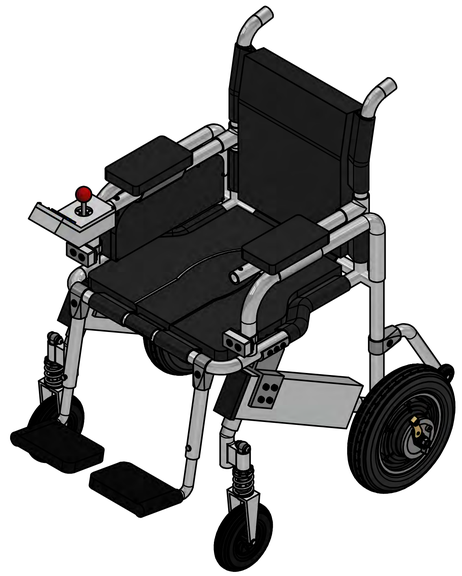


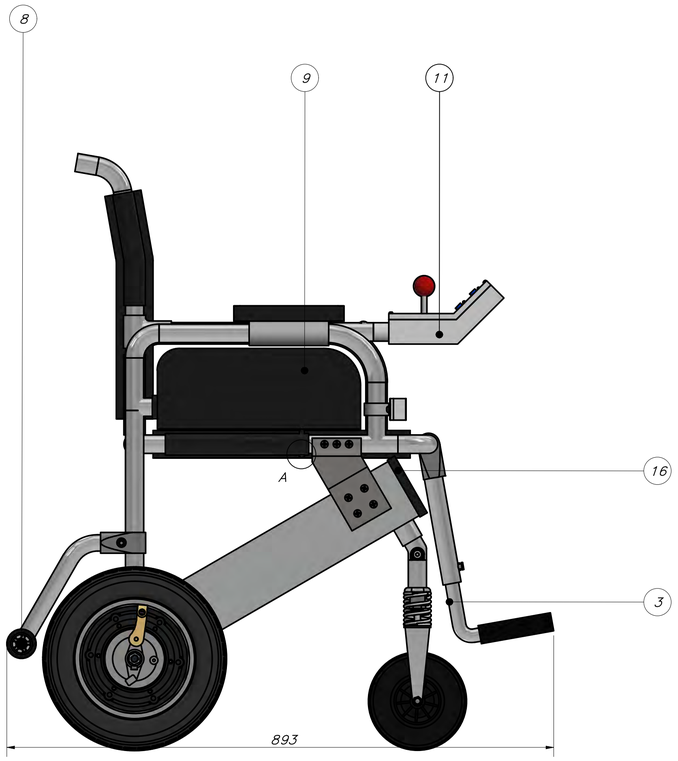
DETALLE A
ESCALA 1 : 1



DETALLE B
ESCALA 1:1



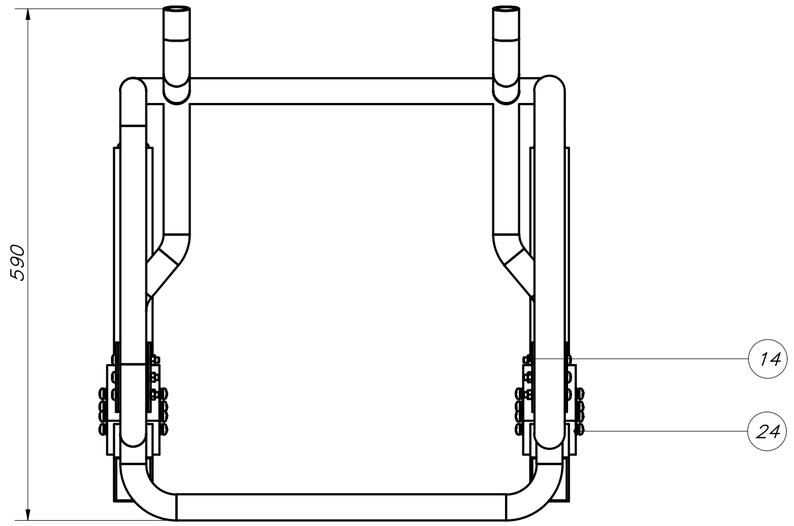


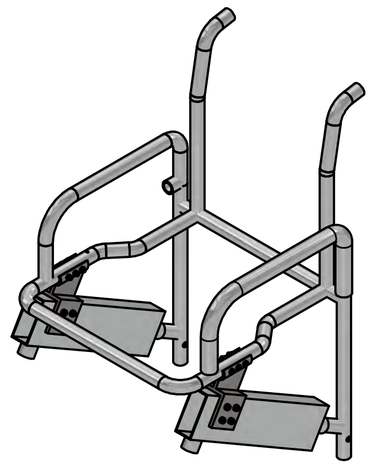


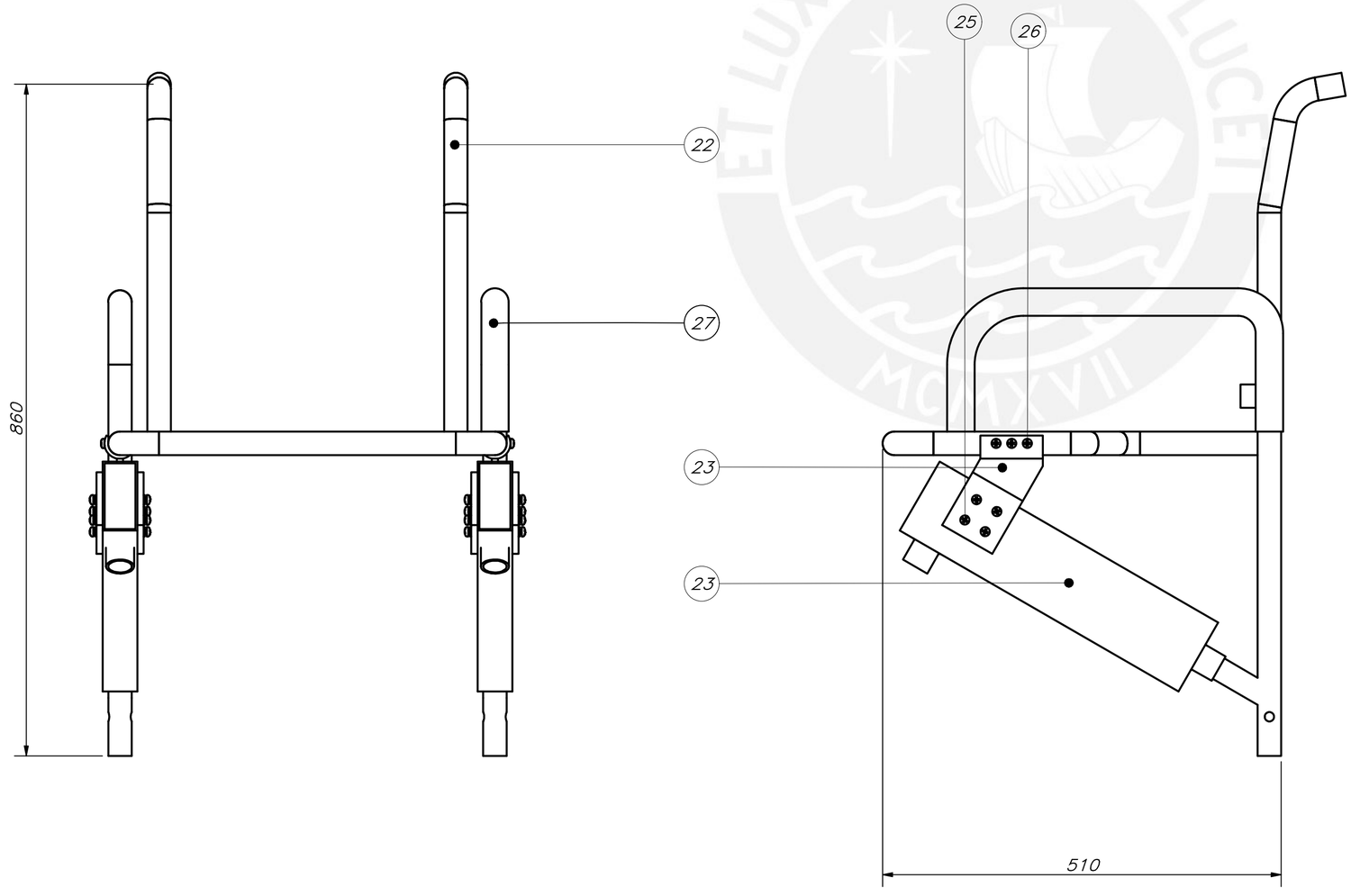
PARTS LIST					
20	2	Ensamble sensor de ultrasonido			Plano 11-A4-E10
19	2	Cojín de reposabrazo			
18	1	Respaldar			
17	1	Asiento extraíble			
16	1	Asiento			
15	2	Tapa de batería		ABS	
14	1	Batería de litio 24V 30Ah			Kamada
13	1	Tuerca hexagonal M6	ISO 4032	Acero inoxidable	
12	1	Tornillo M6 x 40	ISO 7483	Acero, suave	
11	1	Módulo Joystick			Plano 10-A3-E09
10	1	Tornillo M5 x 40	ISO 7483	Acero, suave	
9	1	Caja de componentes electrónicos		ABS	Plano 09-A3-E08
8	2	Módulo rueda antivuelco			Plano 08-A3-E07
7	2	Módulo de reposapiés			Plano 07-A3-E06
6	2	Reposabrazos			Plano 06-A3-E05
5	2	Rueda neumática trasera Ø30 mm			PHOEBEVPARTSTOLS
4	2	Motor de cubo Brushless 24V 300 W			PHOEBEVPARTSTOLS
3	1	Módulo rueda delantera izquierda			Plano 05-A3-E04
2	1	Módulo rueda delantera derecha			Plano 04-A3-E03
1	1	Chasis		AA 6061	Plano 03-A2-E02
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

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

MÉTODO DE PROYECCIÓN	SILLA DE RUEDAS TELEOPERADA PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD FÍSICA MOTRIZ	ESCALA 1:5
	ENSAMBLE SILLA DE RUEDAS	FECHA: 2023.09.03
20170546	MANRIQUE GOMEZ, KENZO NICOLAS	PLANO: 02-A1-E1



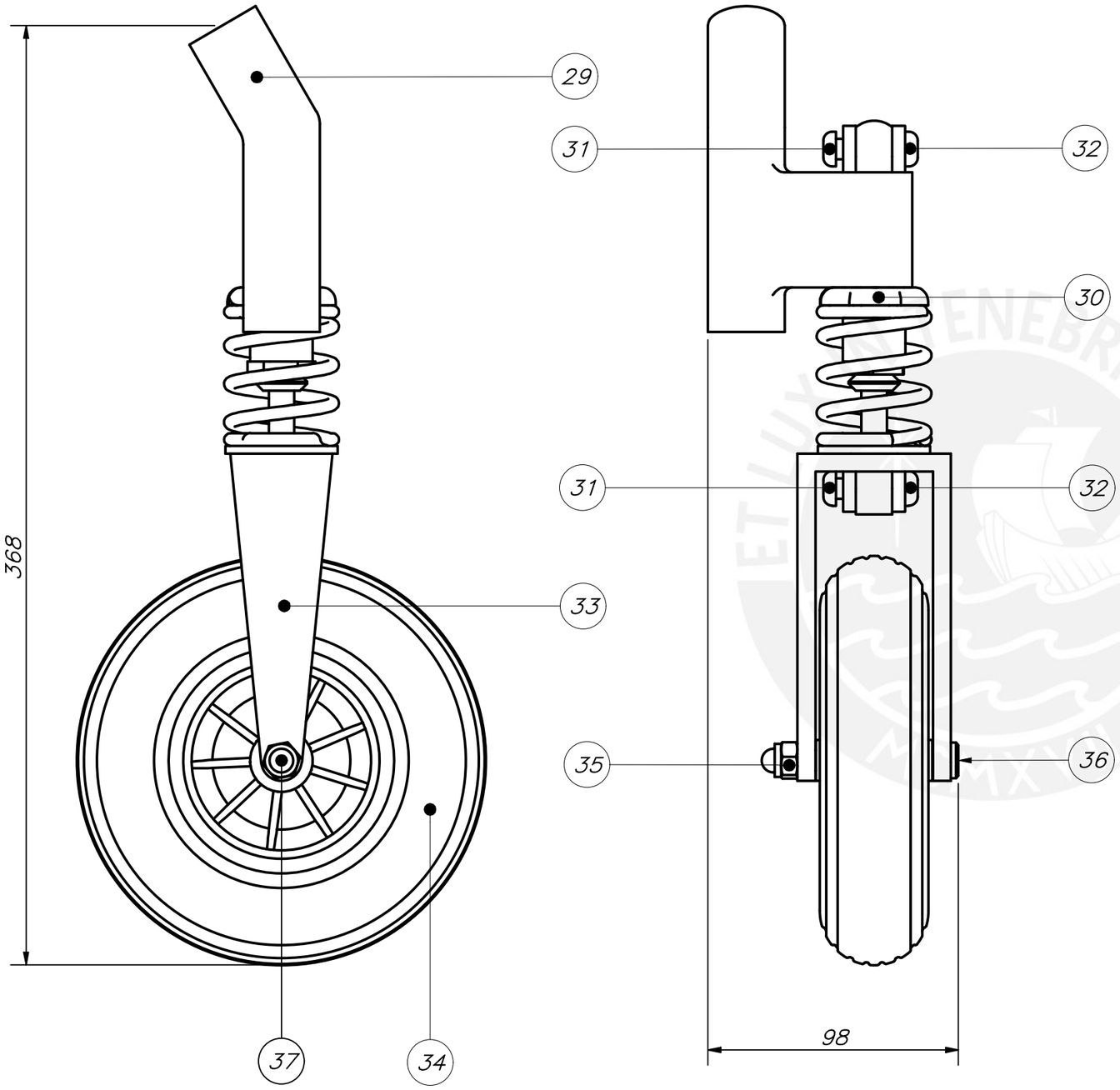


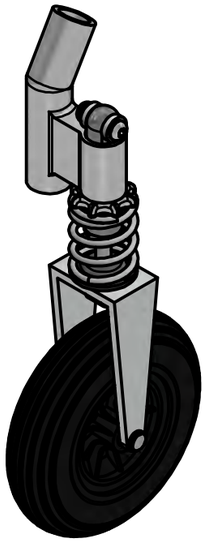


PARTS LIST					
27	1	Soporte desmontable		AA 6061	Plano 15-A3-D04
13	6	Tuerca hexagonal M6	ISO 4032	Acero inoxidable	
26	6	Tornillo M6 x 50	ISO 7483	Acero, suave	
25	16	Tornillo M6 x 12	ISO 7483	Acero, suave	
24	16	Arandela Ø6	ISO 7089	Acero inoxidable	
23	2	Soporte batería - asiento		ABS	Plano 14-A3-D03
22	2	Soporte batería		AA 6061	Plano 13-A3-D02
21	1	Estructura de la silla		AA 6061	Plano 12-A2-D01
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

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

MÉTODO DE PROYECCIÓN	SILLA DE RUEDAS TELEOPERADA PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD FÍSICA MOTRIZ	ESCALA 1:5
	CHASIS	FECHA: 2023.09.03
20170546	MANRIQUE GOMEZ, KENZO NICOLAS	PLANO: 03-A2-E02

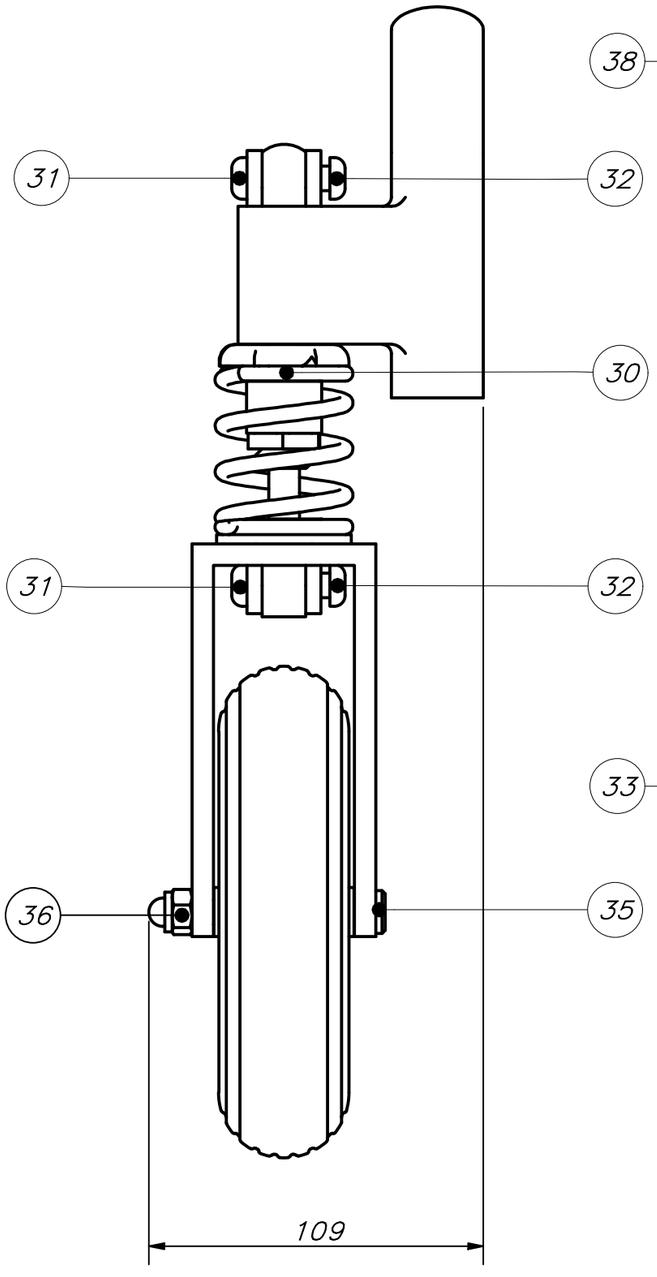


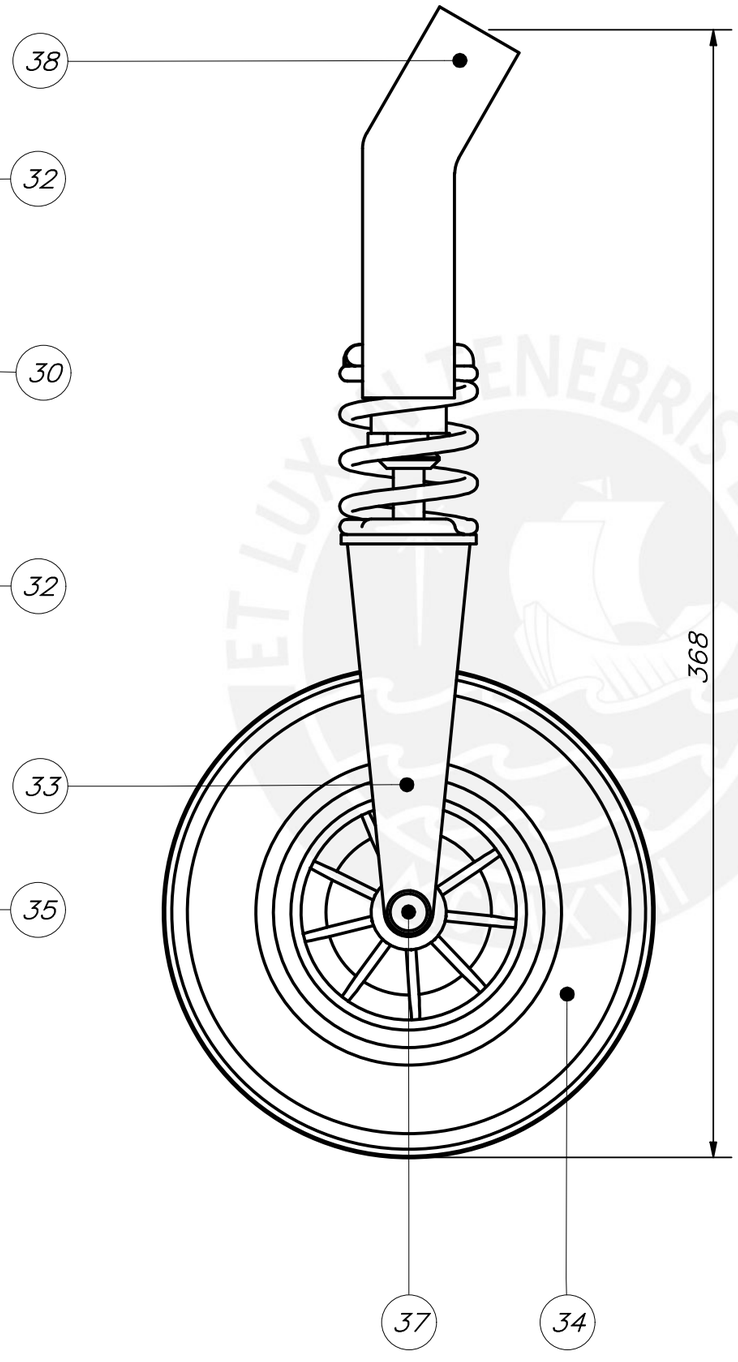


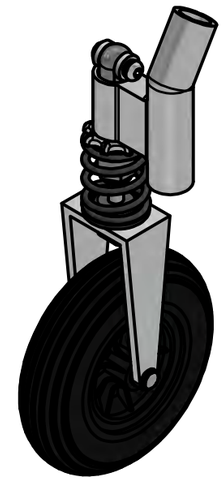
PARTS LIST					
36	1	Tuerca con tapa Ø8 x 1	DIN 986	Acero, suave	
35	1	Tornillo A Ø8 x 70	ISO 2341	Acero	
34	2	Arandela Ø8	ISO 7089	Acero inoxidable	
33	1	Rueda delantera Ø16		PVC	No plastificado
32	1	Horquilla		AA 6061	Plano 18-A3-D07
31	1	Tuerca de pin Ø8		Acero	
30	1	Pin Pasador Ø8		Acero	
29	1	Amortiguador con muelle			PPR PIT PRO RACING
28	1	Tubo rueda delantera derecha		AA 6061	Plano 16-A3-D05
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

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

MÉTODO DE PROYECCIÓN	SILLA DE RUEDAS TELEOPERADA PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD FÍSICA MOTRIZ MÓDULO RUEDA DELANTERA DERECHA	ESCALA 1:2 FECHA: 2023.09.03
20170546	MANRIQUE GOMEZ, KENZO NICOLAS	PLANO: 04-A3-E03



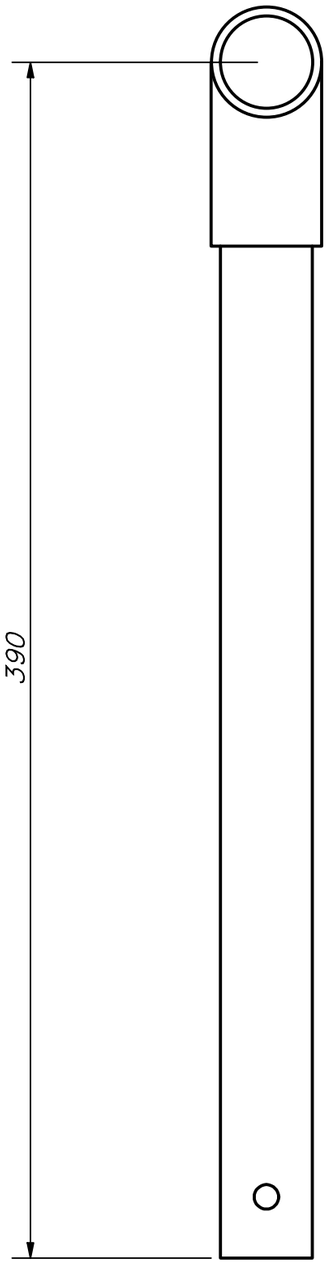


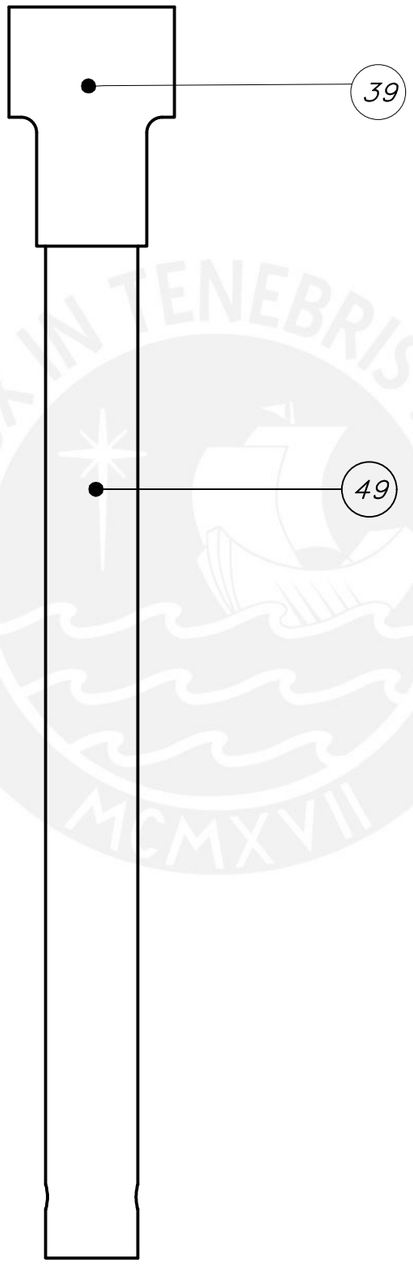


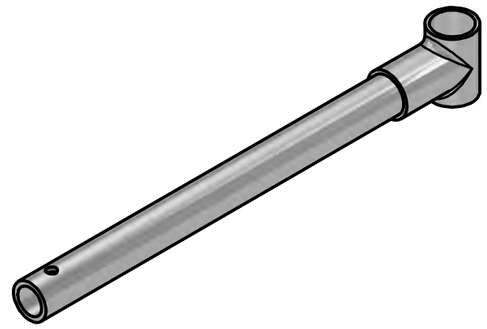
PARTS LIST					
36	1	Tuerca con tapa M8 x 1	DIN 986	Acero, suave	
35	1	Tornillo A Ø8 x 70	ISO 2341	Acero	
34	2	Arandela Ø8	ISO 7089	Acero inoxidable	
33	1	Rueda delantera Ø16		PVC	No plastificado
32	1	Horquilla		AA 6061	Plano 18-A3-D07
31	1	Tuerca de pin Ø8		Acero	
30	2	Pin pasador Ø8		Acero	
29	1	Amortiguador con muelle			PPR PIT PRO RACING
37	1	Tubo rueda delantera izquierda		AA 6061	Plano 17-A3-D06
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

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

MÉTODO DE PROYECCIÓN	SILLA DE RUEDAS TELEOPERADA PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD FÍSICA MOTRIZ	ESCALA 1:2
	MÓDULO RUEDA DELANTERA IZQUIERDA	FECHA: 2023.09.03
20170546	MANRIQUE GOMEZ, KENZO NICOLAS	PLANO: 05-A3-E04



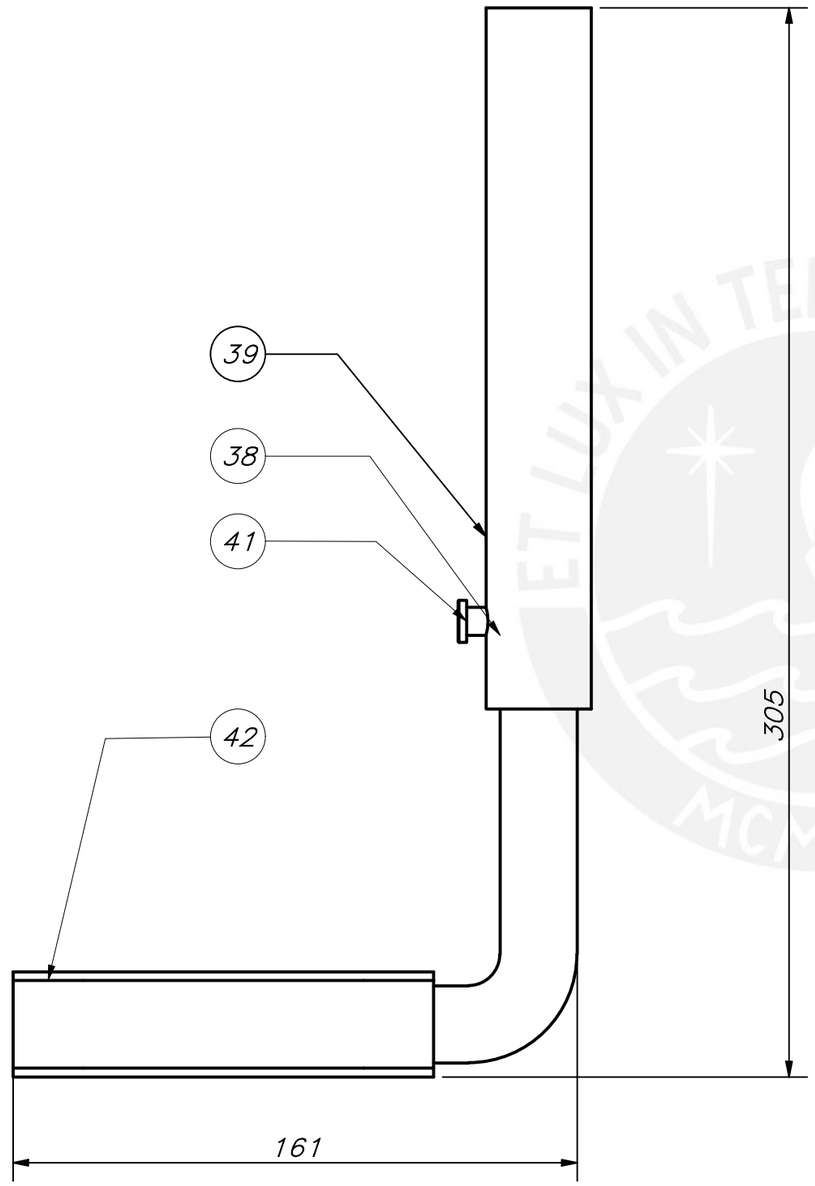


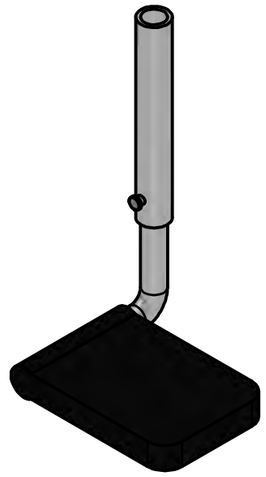


PARTS LIST					
39	1	Sujetador de brazo		Aluminio 6061	
38	1	Tubo de reposabrazos		AA 6061	Plano 19-A3-D08
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

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

MÉTODO DE PROYECCIÓN	SILLA DE RUEDAS TELEOPERADA PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD FÍSICA MOTRIZ	ESCALA 1:2
	REPOSABRAZOS	FECHA: 2022.06.28
20170546	MANRIQUE GÓMEZ, KENZO NICOLAS	PLANO: 06-A3-E05

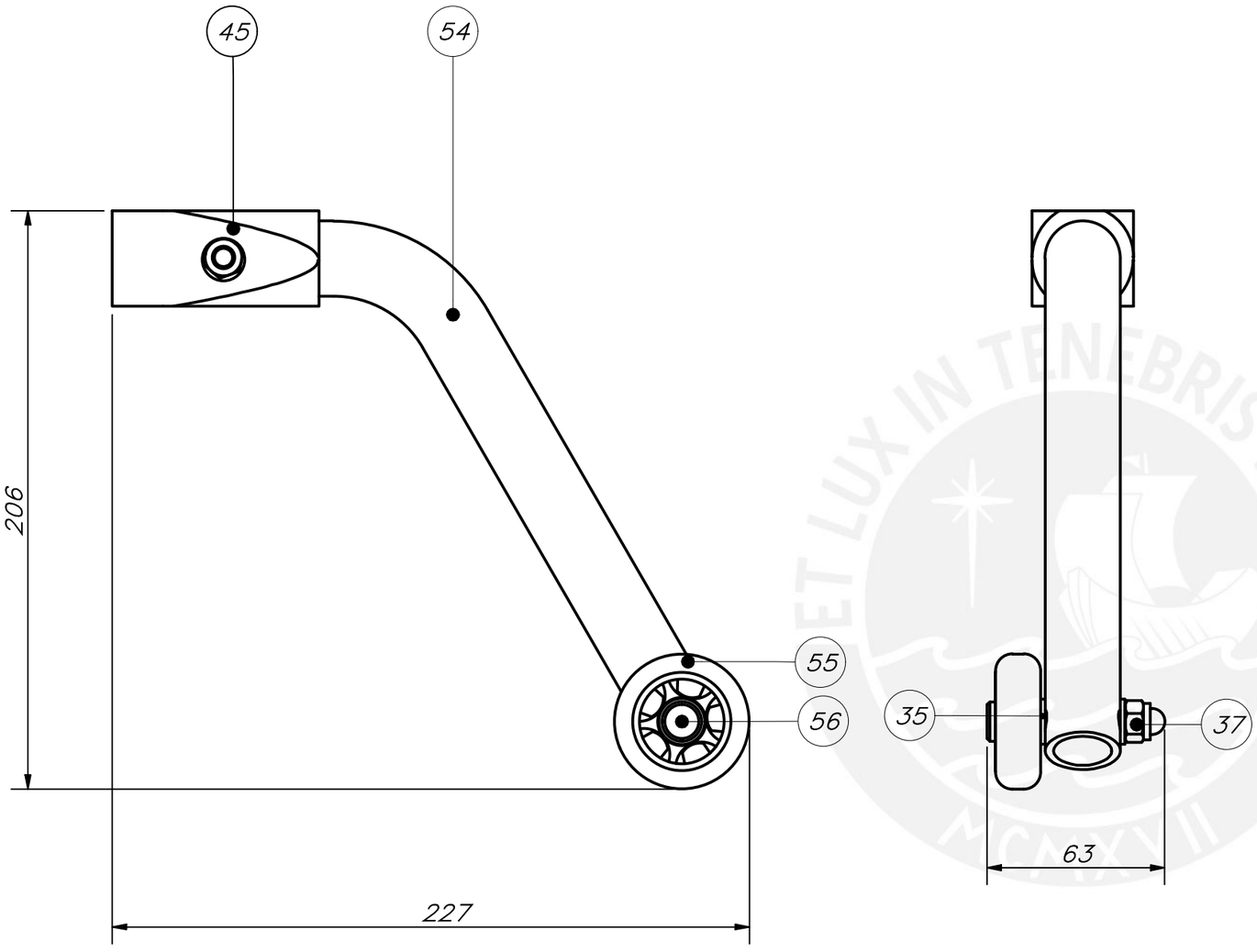


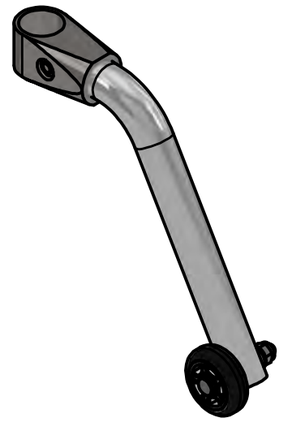


PARTS LIST					
42	1	Reposapiés		ABS	
41	1	Pin reposapíes Ø8 x 12		Acero, suave	GB/T 882-1986
40	1	Tubo retractil reposapiés		Auminio 6061	
39	1	Tubo reposapiés		Aluminio 6061	
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

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

MÉTODO DE PROYECCIÓN	SILLA DE RUEDAS TELEOPERADA PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD FÍSICA MOTRIZ MÓDULO DE REPOSAPIÉS	ESCALA 1:1 FECHA: 2022.05.28
20170546	MANRIQUE GOMEZ, KENZO NICOLAS	PLANO: 07-A3-E06

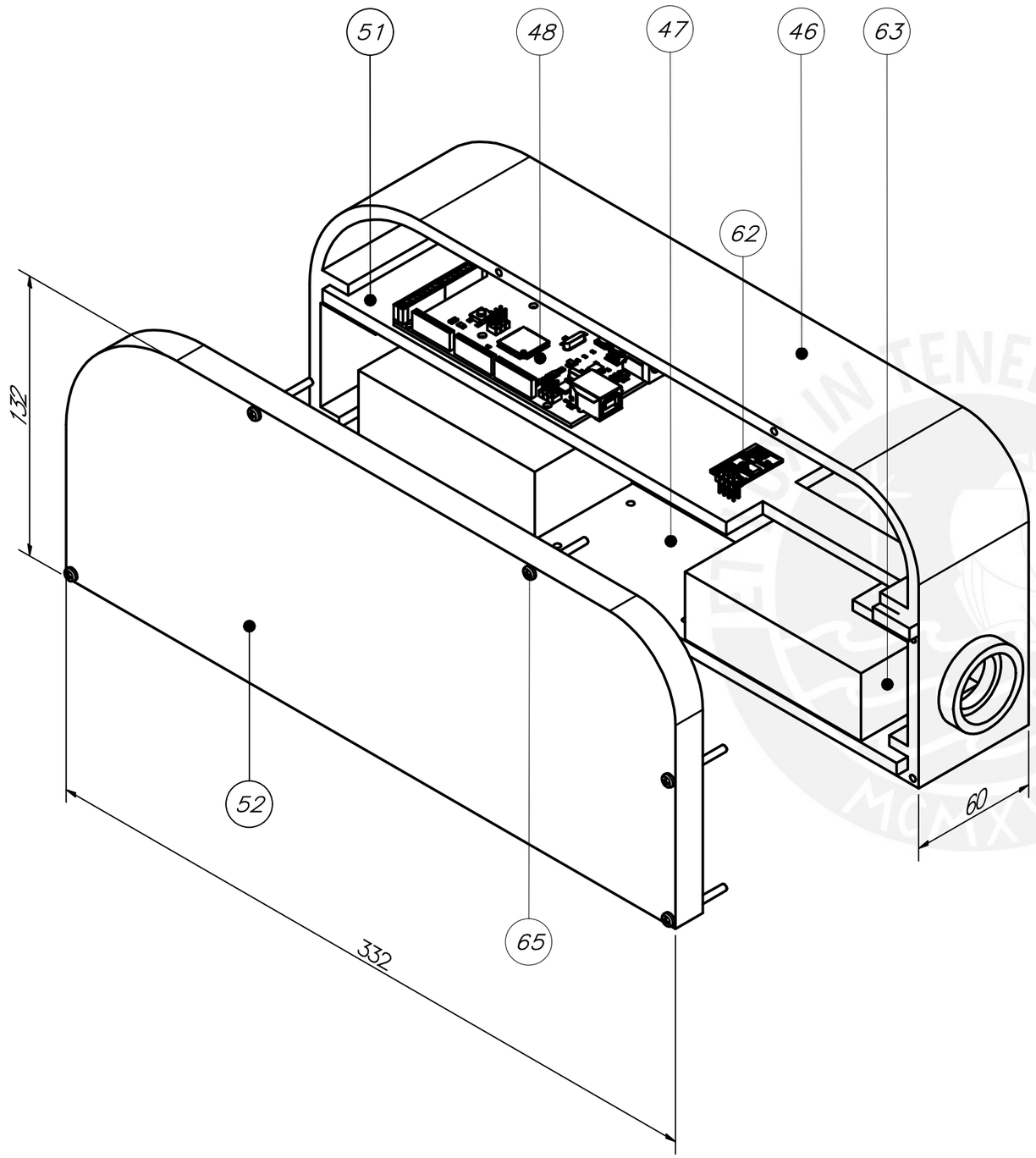


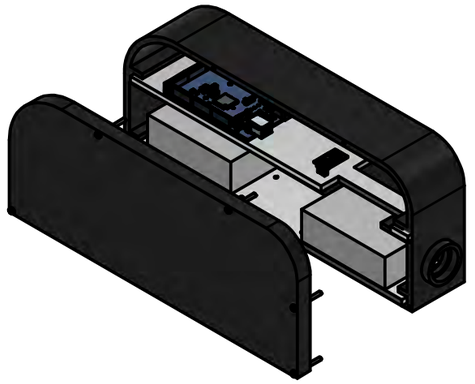


PARTS LIST					
45	1	Abrazadera antivuelco		ASTM A500	
36	1	Tuerca con tapa M8 x 1	DIN 986	Acero inoxidable	
44	1	Pin pasador M8 x 55	ISO 2341	Acero inoxidable	
34	2	Arandela Ø8	ISO 7089	Acero inoxidable	
43	1	Rueda antivuelco Ø4.8		PVC	No plastificado
42	1	Tubo rueda antivuelco		ASTM A500	Plano 22-A3-D11
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

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

MÉTODO DE PROYECCIÓN	SILLA DE RUEDAS TELEOPERADA PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD FÍSICA MOTRIZ	ESCALA 1:2
	MÓDULO RUEDA ANTIVUELCO	FECHA: 2023.09.03
20170546	MANRIQUE GOMEZ, KENZO NICOLAS	PLANO: 08-A3-E07

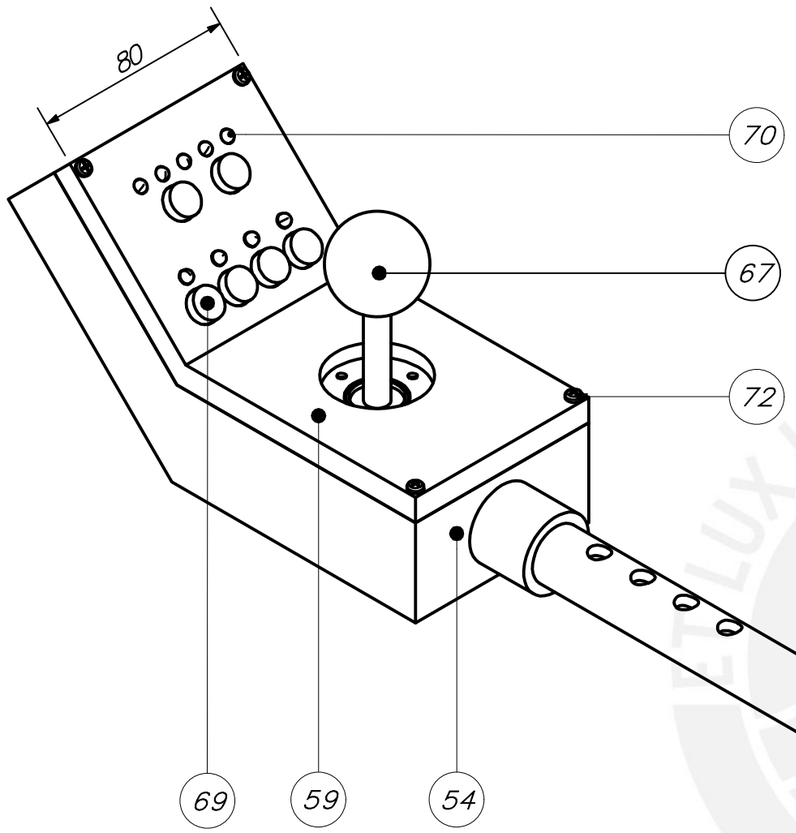


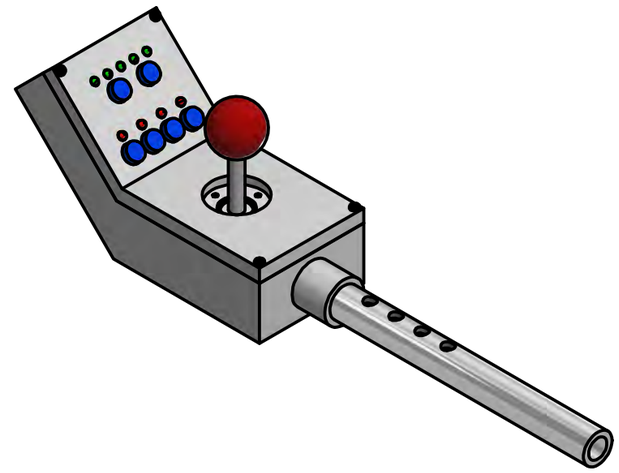


PARTS LIST					
53	5	Tornillo M3 x 30	ISO 7483	Acero, suave	
52	1	Tapa Caja de Componentes		ABS	Plano 25-A3-D14
51	1	Placa Superior		AA 6061	Plano 24-A3-D13
50	2	Controlador Motor Brushless			E-Tech
49	1	Módulo Wifi ESP-01S (ESP8266)			
48	1	Microcontrolador Arduino Mega 2560			
47	1	Placa Inferior		AA 6061	Plano 24-A3-D13
46	1	Base Caja de Componentes		ABS	Plano 23-A3-D12
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

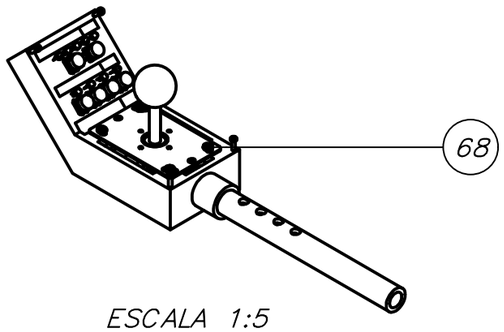
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	SILLA DE RUEDAS TELEOPERADA PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD FÍSICA MOTRIZ CAJA DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS	ESCALA 1:2
20170546	MANRIQUE GOMEZ, KENZO NICOLAS	FECHA: 2023.09.03 PLANO: 09-A3-E08





Módulo Joystick sin tapa

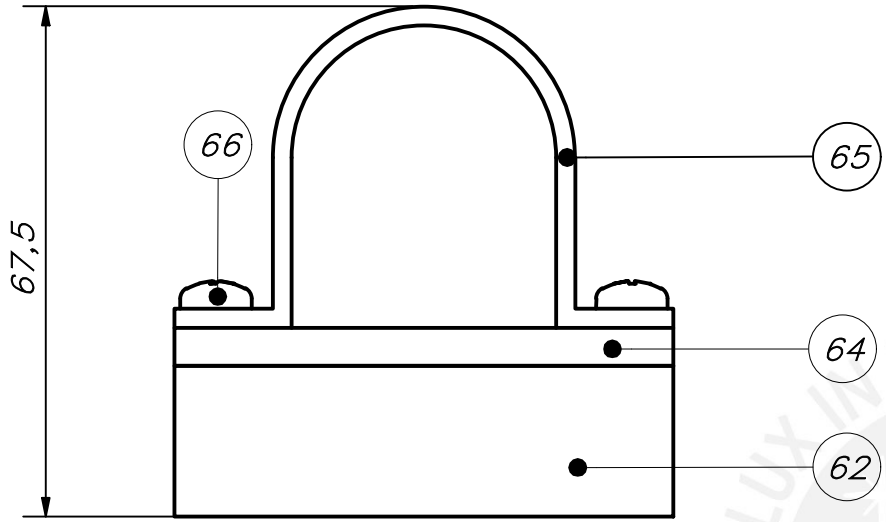


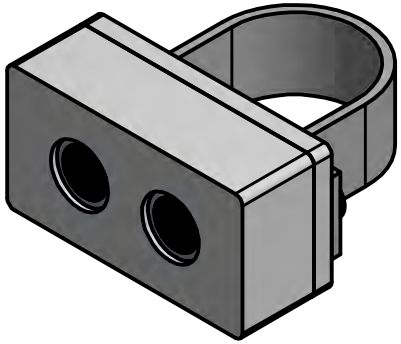
ESCALA 1:5

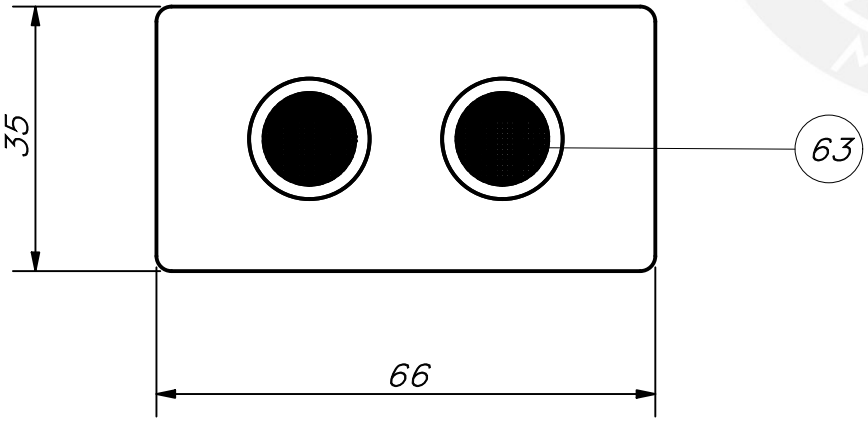
PARTS LIST					
61	1	Tubo módulo joystick		AA 6061	Plano 28-A3-D17
60	4	Tornillo M3 x 20	ISO 7483	Acero, suave	
59	1	Tapa Módulo Joystick		ABS	Plano 27-A3-D16
58	8	Leds de velocidad y estado de silla			
57	6	Botón con cubierta de plástico		ABS	
56	4	Tornillo M4 x 14	ISO 7483	Acero, suave	
55	1	Joystick		Acero	8 posiciones
54	1	Base Módulo Joystick		ABS	Plano 26-A3-D15
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

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

MÉTODO DE PROYECCIÓN	SILLA DE RUEDAS TELEOPERADA PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD FÍSICA MOTRIZ	ESCALA 1:2
	MÓDULO JOYSTICK	FECHA: 2023.09.03
20170546	MANRIQUE GOMEZ, KENZO NICOLAS	PLANO: 10-A3-E09





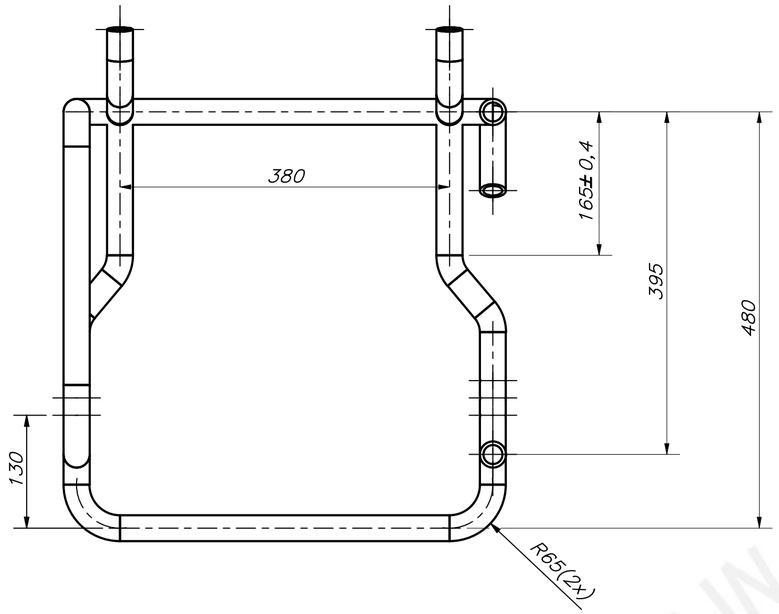


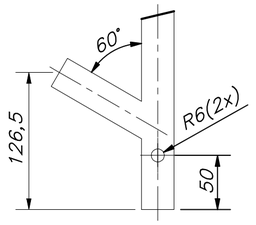
PARTS LIST

POS.	CANT	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
66	2	Tornillo M5 x 20	ISO 7483	Acero	
65	1	Abrazadera en u		Acero	
64	1	Tapa de sensor de ultrasonido		ABS	Plano 29-A3-D18
63	1	Sensor de ultrasonido			HC-SR04
62	1	Base de sensor de ultrasonido		ABS	Plano 29-A3-D18

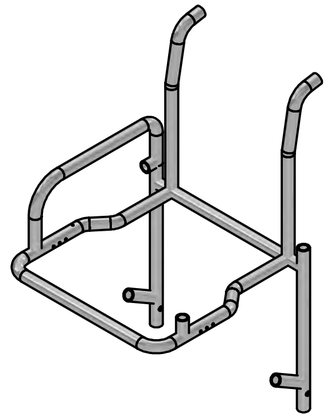
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

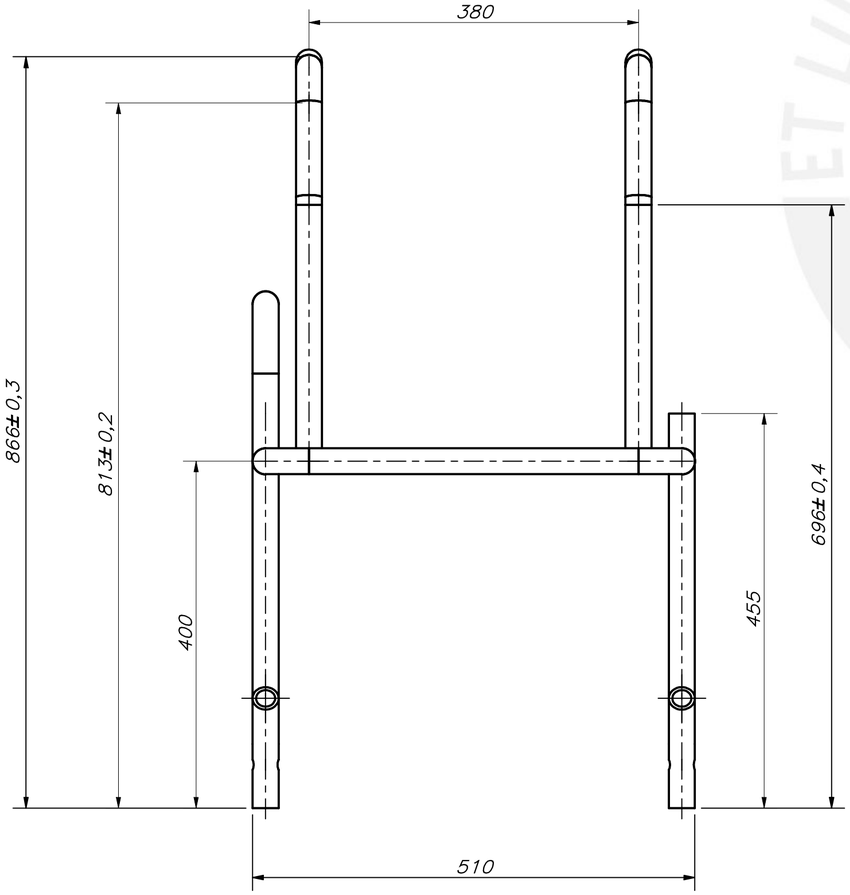
MÉTODO DE PROYECCIÓN	SILLA DE RUEDAS TELEOPERADA PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD FÍSICA MOTRIZ	ESCALA 1:1
	Ensamble sensor de ultrasonido	FECHA: 2023.09.03
20170546	MANRIQUE GOMEZ, KENZO NICOLAS	PLANO: 11-A4-E10

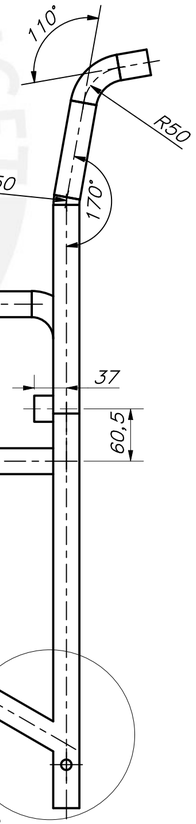


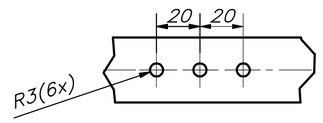


DETALLE B
ESCALA 1:4









DETALLE A
ESCALA 1:1

Estructura: Tubo redondo Ø30 mm, espesor 4 mm

Unión de Estructura: Soldadura MIG (gas inerte metálico) a 5mm

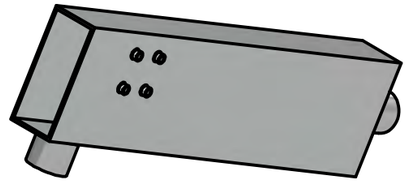
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768–1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

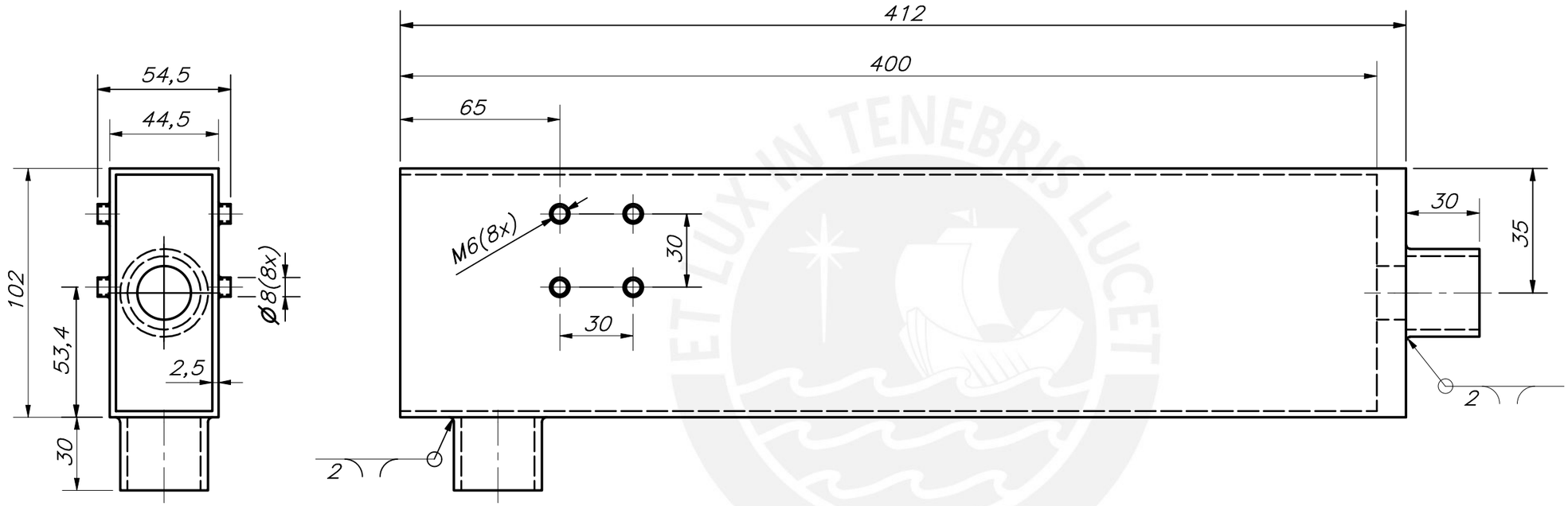
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
0.8	ISO 2768–1	AA 6061

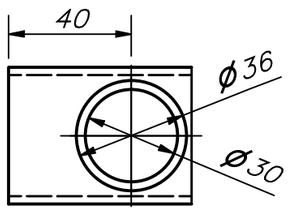
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	SILLA DE RUEDAS TELEOPERADA PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD FÍSICA MOTRIZ	ESCALA
	ESTRUCTURA DE SILLA	1:5
		FECHA: 2023.09.03

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA	20170546	MANRIQUE GOMEZ, KENZO NICOLAS	PLANO: 12–A2–D01







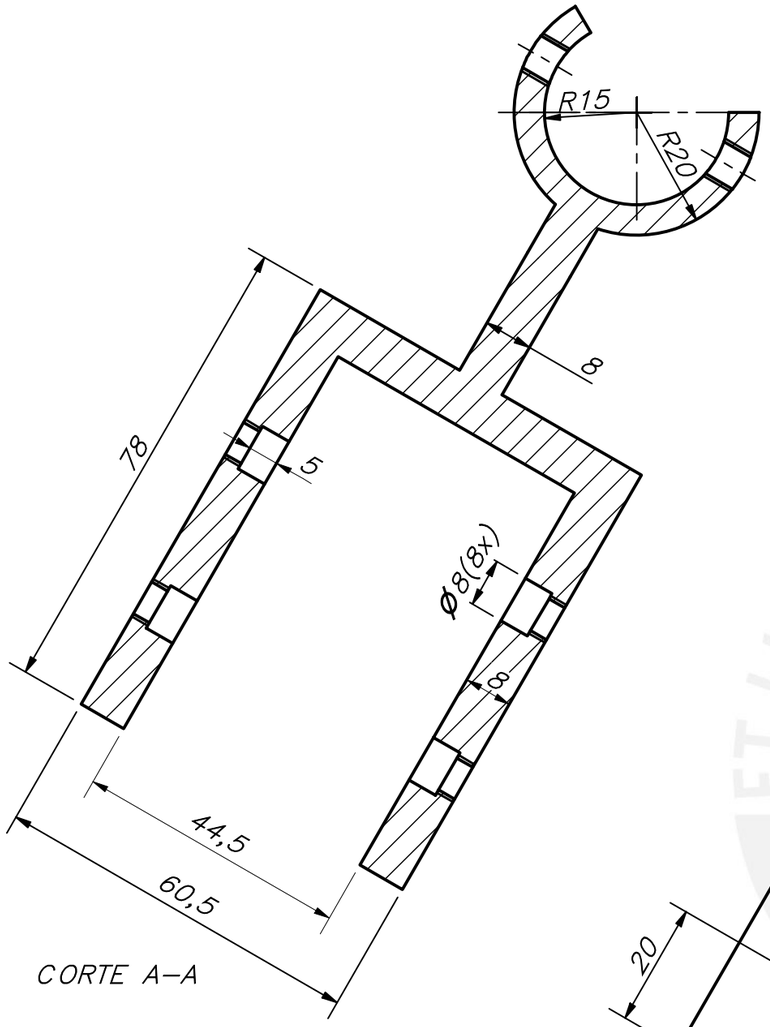
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768–1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

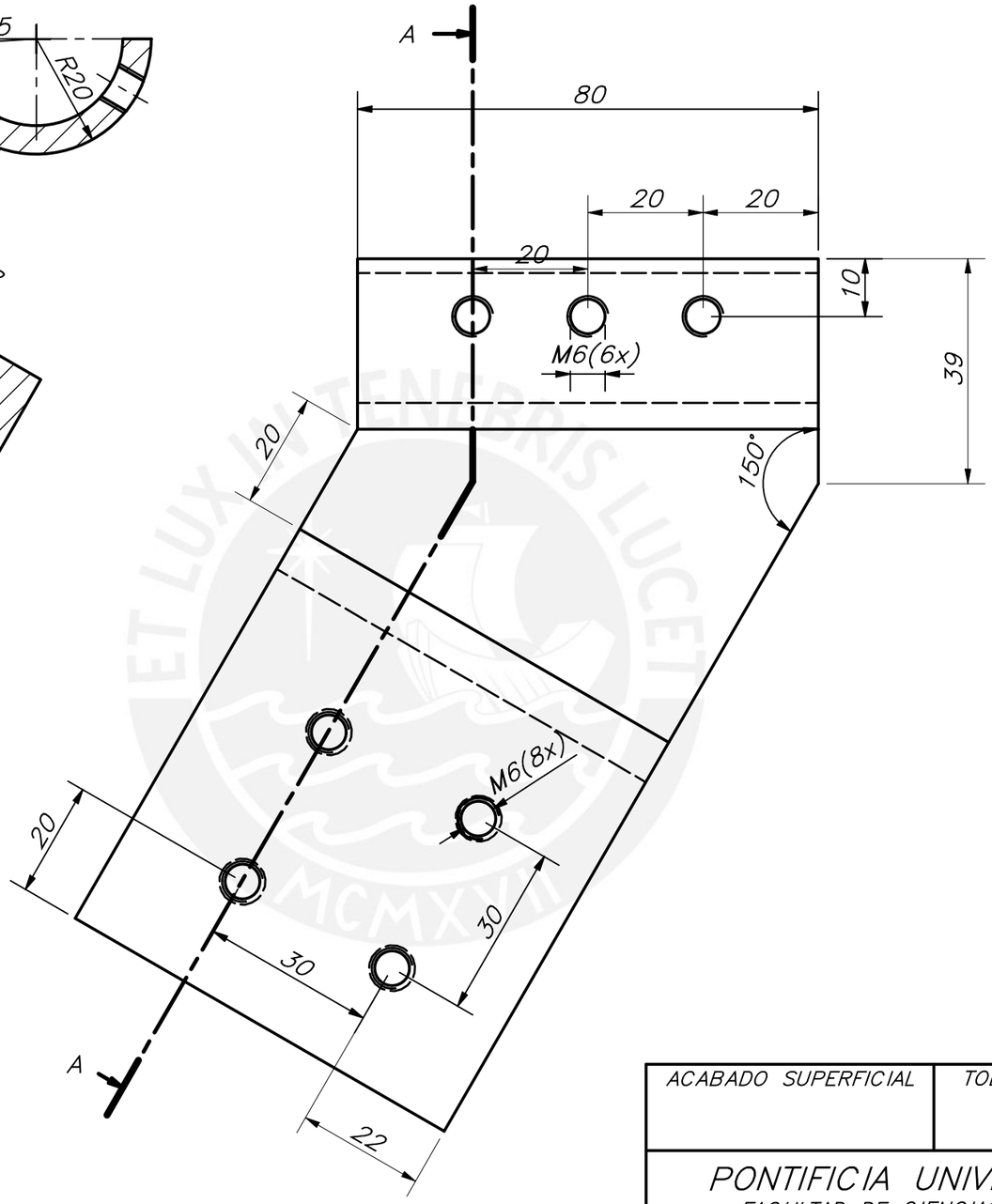
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
0.8	ISO 2768–1	AA 6061

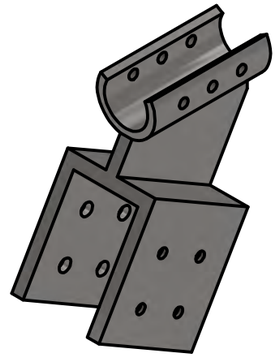
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	SILLA DE RUEDAS TELEOPERADA PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD FÍSICA MOTRIZ	ESCALA
	SOPORTE BATERÍA	1:2
		FECHA: 2023.09.03
20170546	MANRIQUE GOMEZ, KENZO NICOLAS	PLANO: 13–A3–D02



CORTE A–A



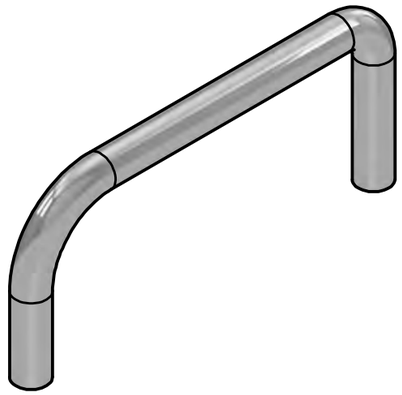


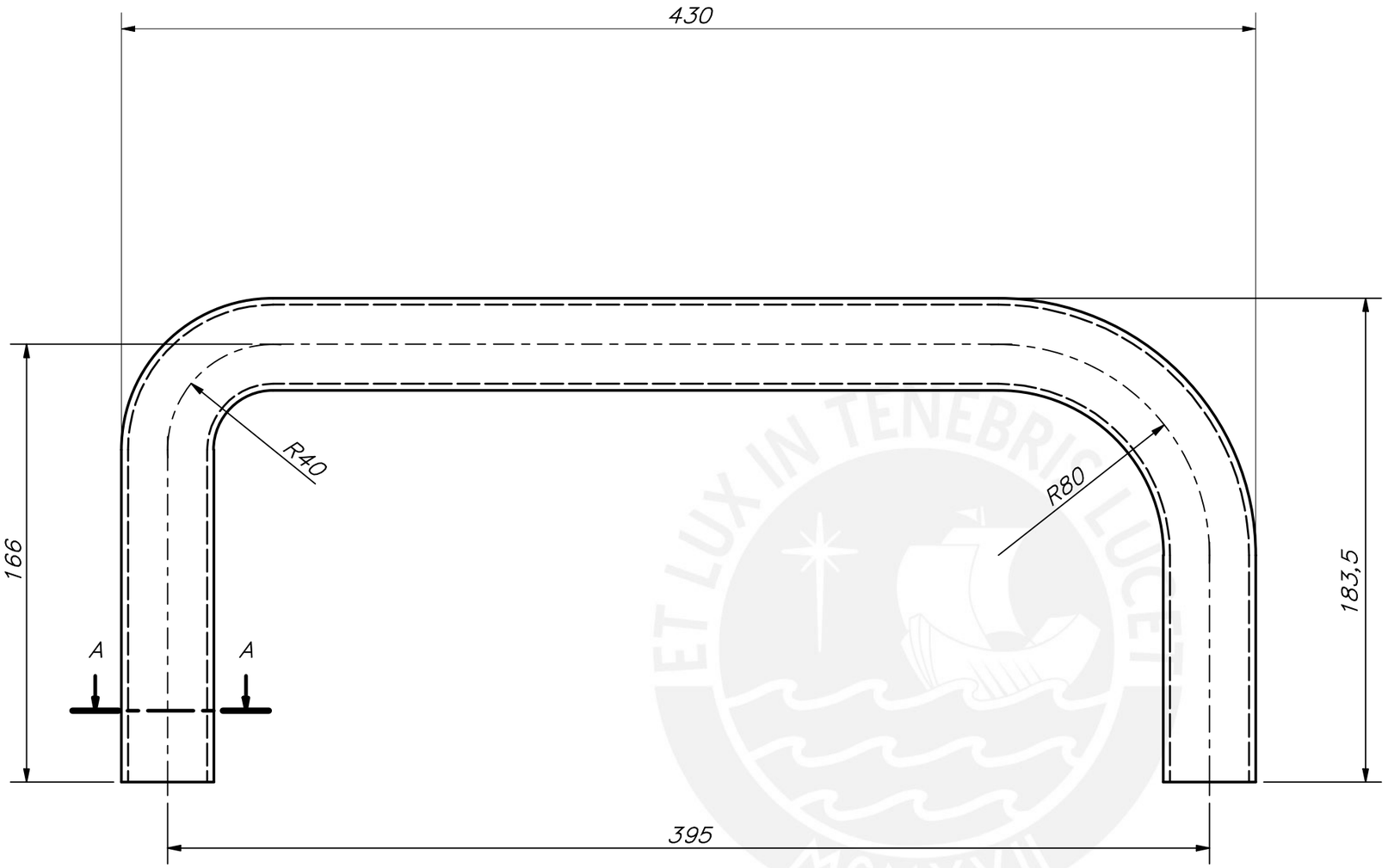
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
	0.3	ABS

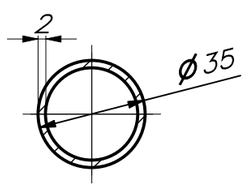
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	SILLA DE RUEDAS TELEOPERADA PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD FÍSICA MOTRIZ	ESCALA
	SOPORTE BATERÍA – ASIENTO	1:1
		FECHA: 2023.09.03

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA	20170546	MANRIQUE GOMEZ, KENZO NICOLAS	PLANO: 14–A3–D03







CORTE A–A

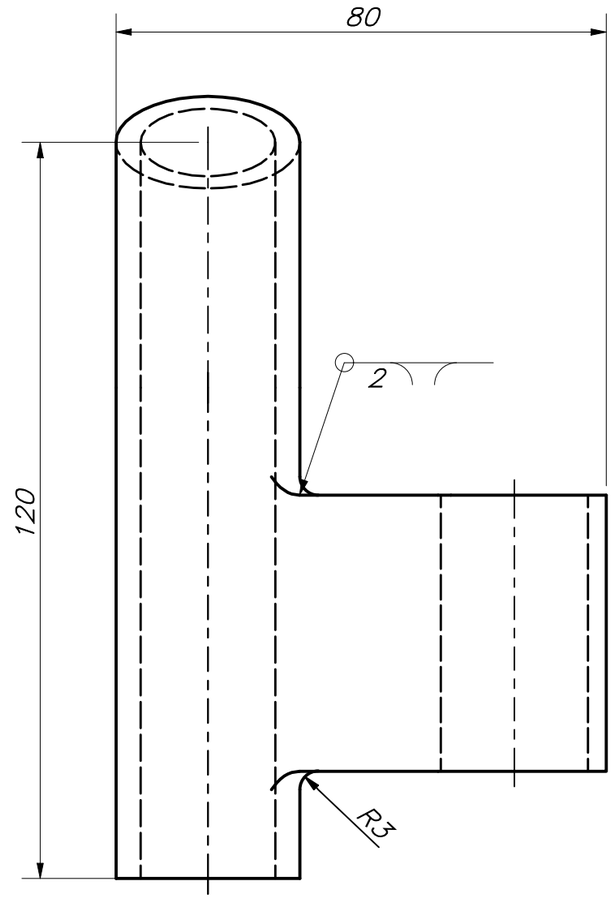
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768–1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

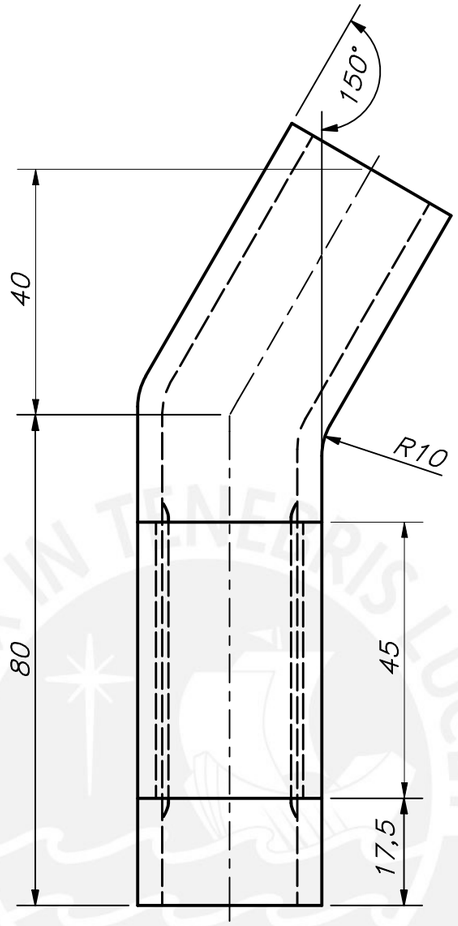
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

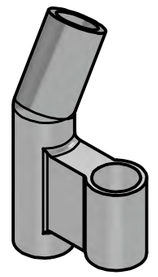
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
0.8	ISO 2768–1	AA 6061

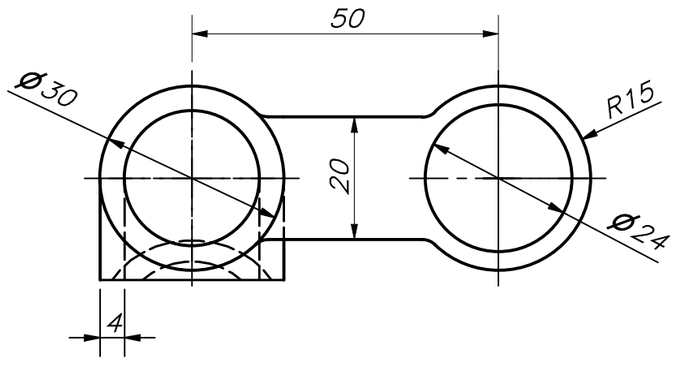
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	SILLA DE RUEDAS TELEOPERADA PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD FÍSICA MOTRIZ	ESCALA
	SOPORTE DESMONTABLE	1:2
		FECHA: 2023.09.03
20170546	MANRIQUE GOMEZ, KENZO NICOLAS	PLANO: 15–A3–D04









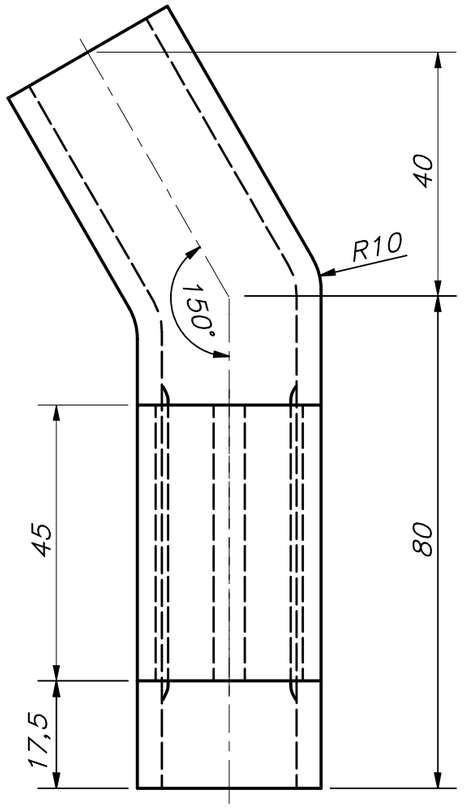
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768–1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

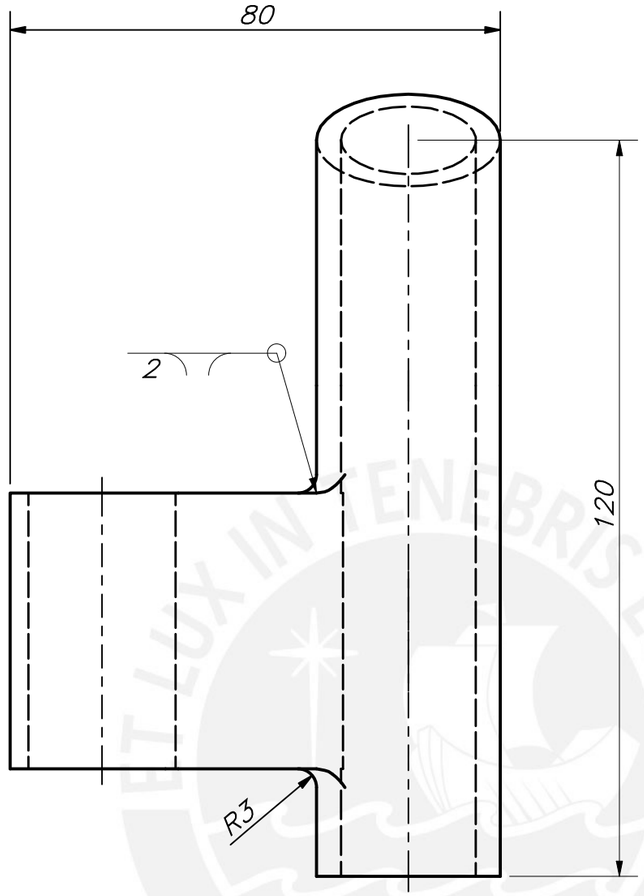
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

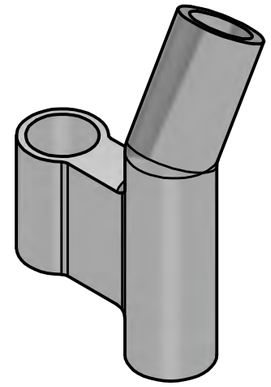
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
0.8	ISO 2768–1	AA 6061

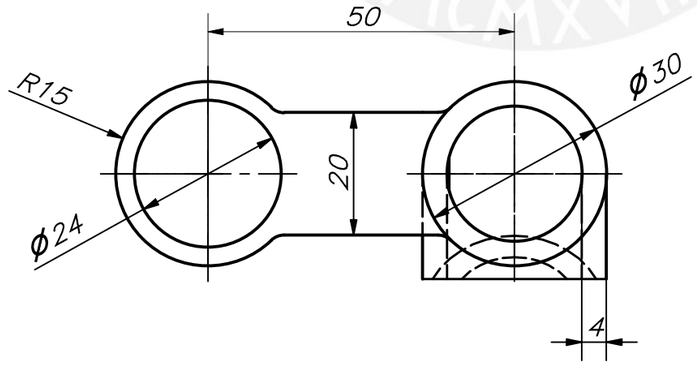
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	SILLA DE RUEDAS TELEOPERADA PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD FÍSICA MOTRIZ	ESCALA
	TUBO RUEDA DELANTERA DERECHA	1:1
20170546	MANRIQUE GOMEZ, KENZO NICOLAS	FECHA: 2023.09.03
		PLANO: 16–A3–D05









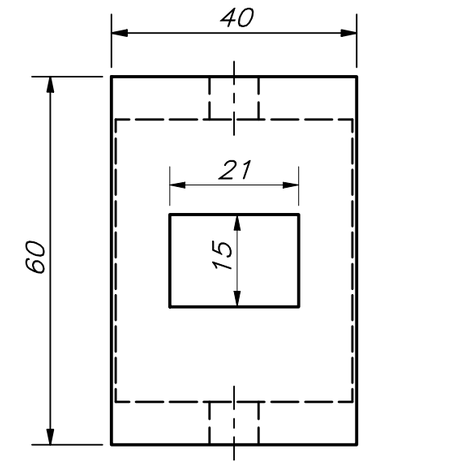
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768–1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

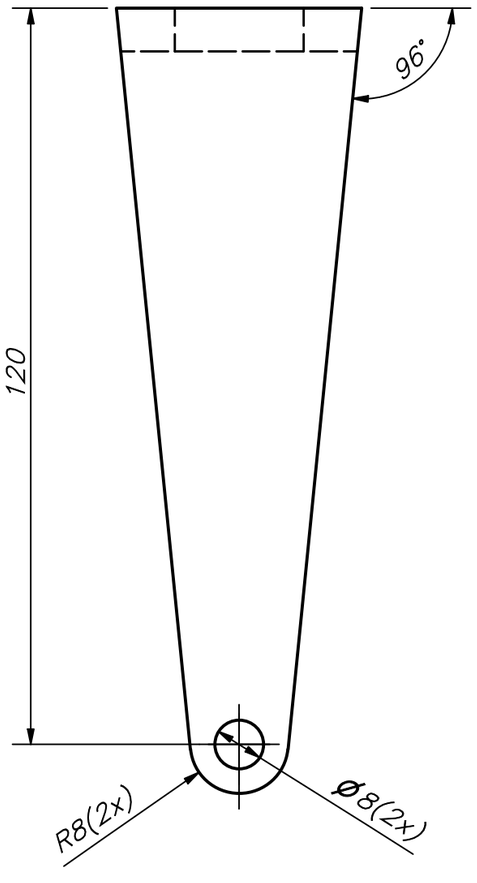
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

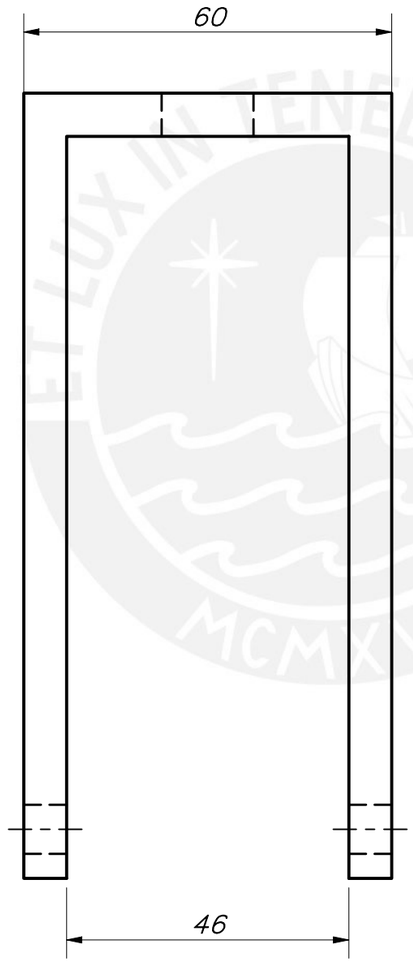
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
0.8	ISO 2768–1	AA 6061

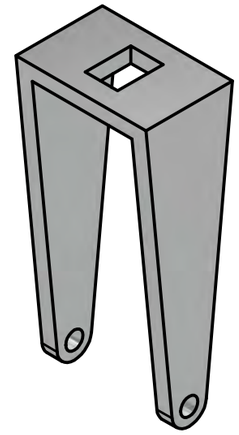
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	SILLA DE RUEDAS TELEOPERADA PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD FÍSICA MOTRIZ	ESCALA
	TUBO RUEDA DELANTERA IZQUIERDA	1:1
		FECHA: 2023.09.03
20170546	MANRIQUE GOMEZ, KENZO NICOLAS	PLANO: 17–A3–D06









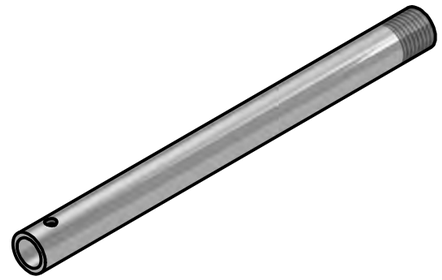
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768–1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

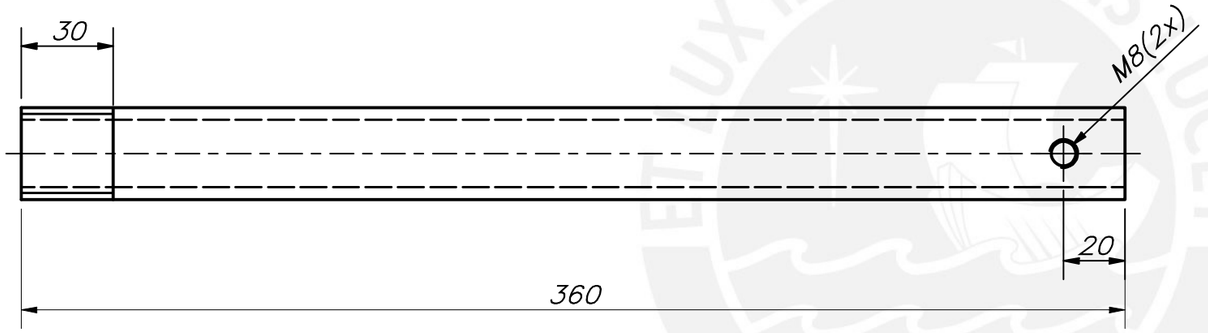
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

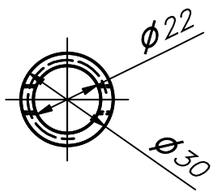
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
0.8 ▽	ISO 2768–1	AA 6061

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

MÉTODO DE PROYECCIÓN	SILLA DE RUEDAS TELEOPERADA PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD FÍSICA MOTRIZ	ESCALA
	HORQUILLA	1:1
		FECHA: 2023.09.03
20170546	MANRIQUE GOMEZ, KENZO NICOLAS	PLANO: 18–A3–D07







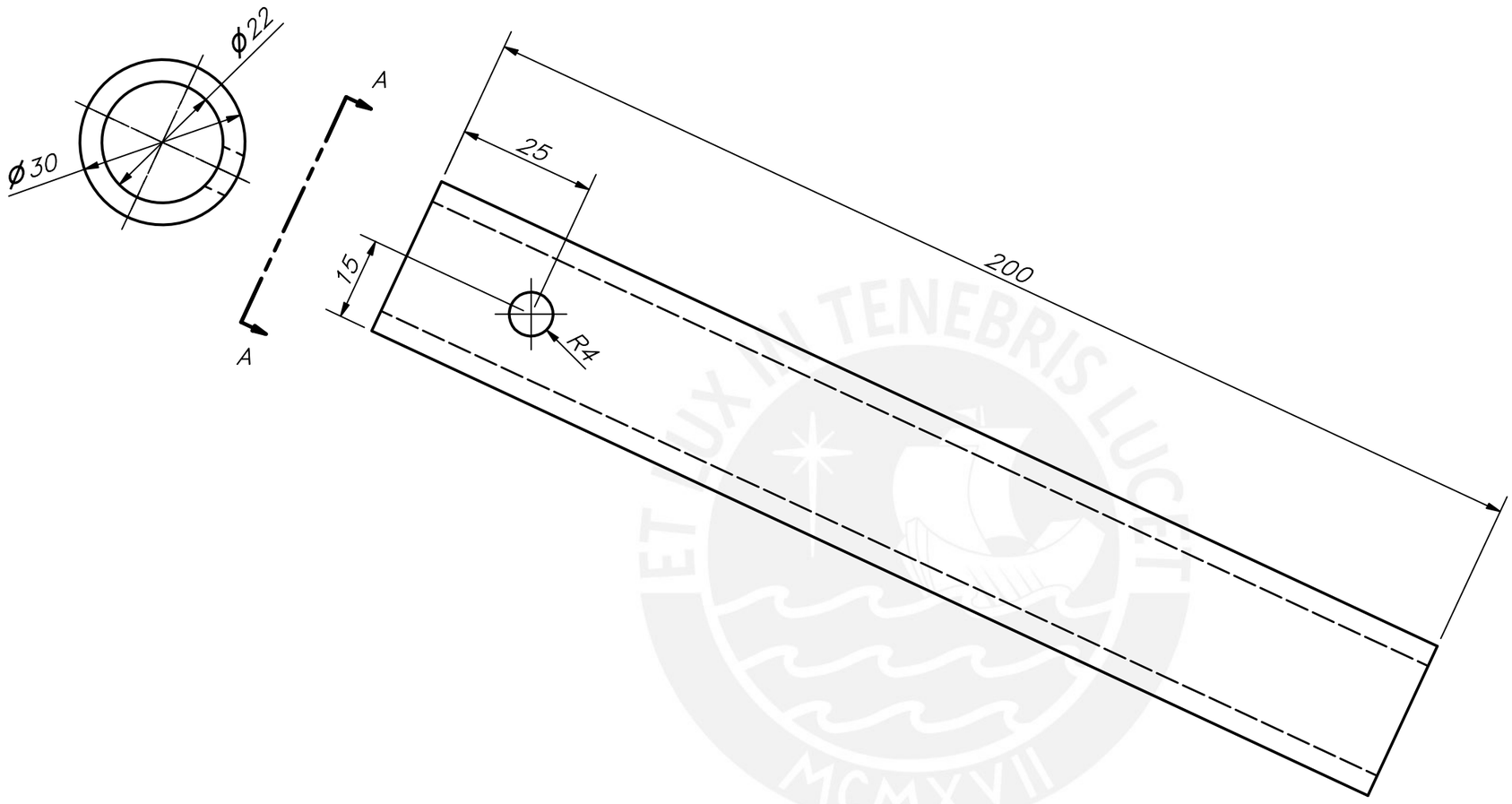
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768–1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

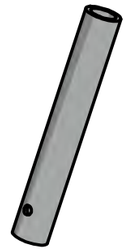
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
0.8	ISO 2768–1	AA 6061

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

MÉTODO DE PROYECCIÓN	SILLA DE RUEDAS TELEOPERADA PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD FÍSICA MOTRIZ	ESCALA
	TUBO REPOSABRAZOS	1:2
		FECHA: 2023.09.03
20170546	MANRIQUE GÓMEZ, KENZO NICOLAS	PLANO: 19–A3–D08





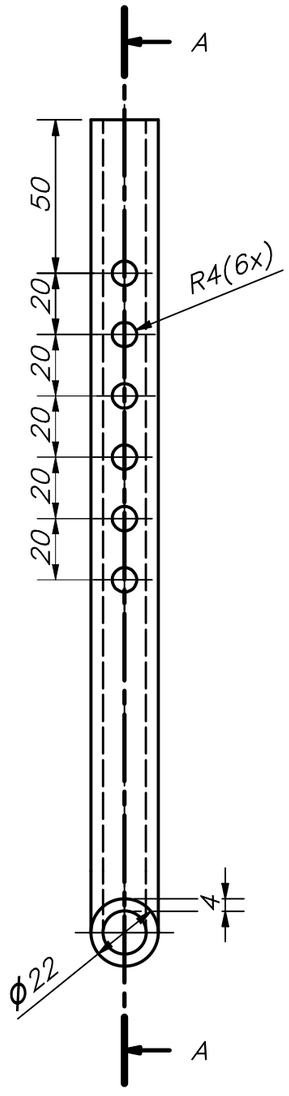
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768–1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

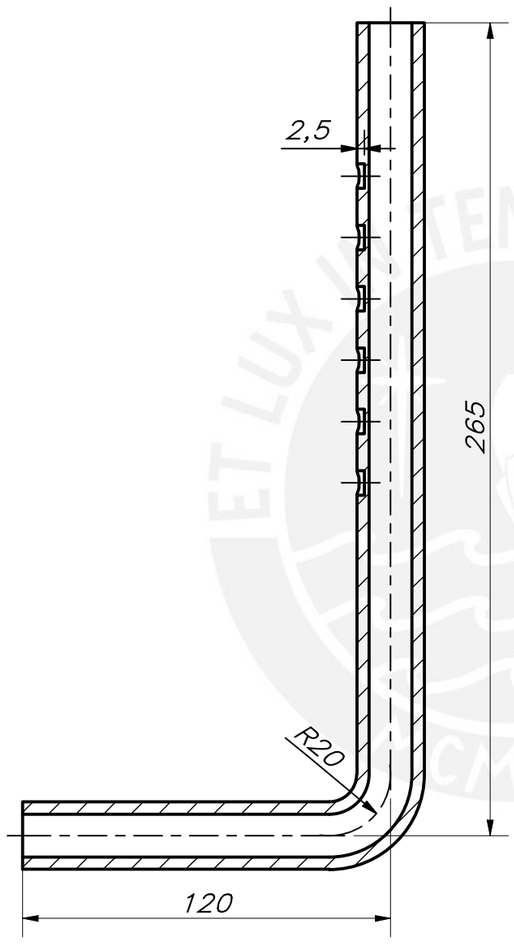
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
0.8	ISO 2768–1	AA 6061

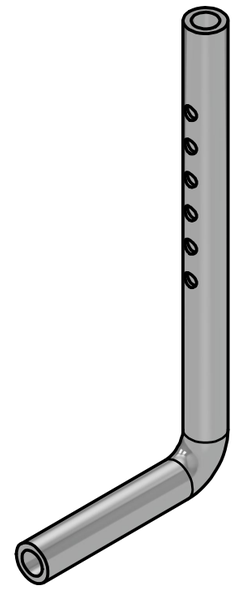
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	SILLA DE RUEDAS TELEOPERADA PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD FÍSICA MOTRIZ	ESCALA
	TUBO REPOSAPIÉS	1:1
		FECHA: 2023.09.03
20170546	MANRIQUE GOMEZ, KENZO NICOLAS	PLANO: 20–A3–D09





CORTE A–A



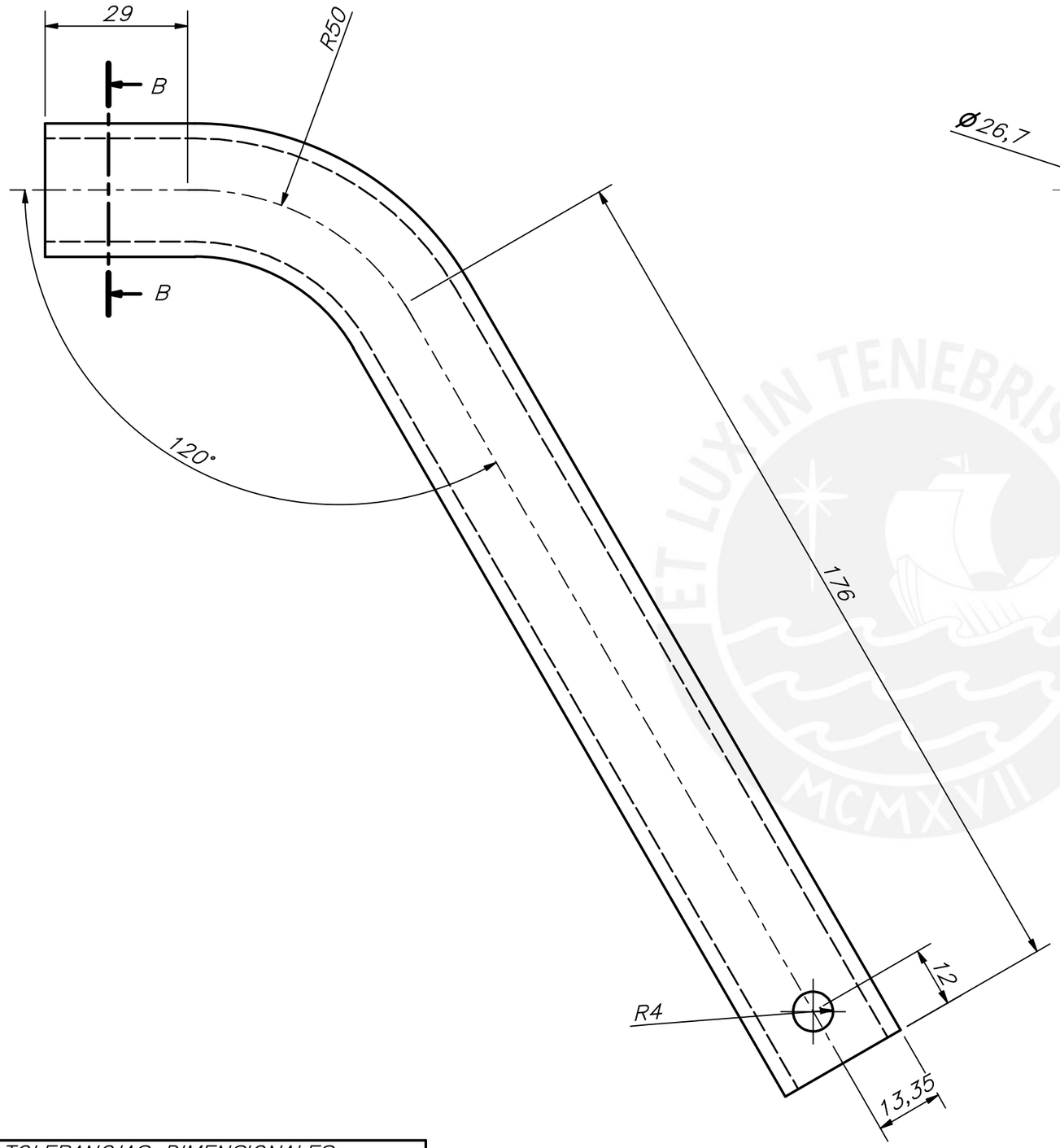
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768–1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

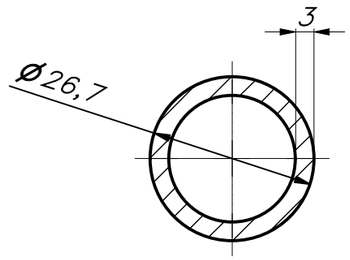
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
0.8	ISO 2768–1	AA 6061

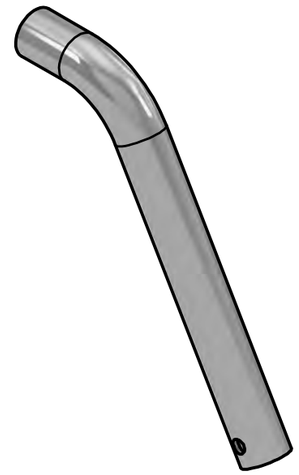
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	SILLA DE RUEDAS TELEOPERADA PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD FÍSICA MOTRIZ	ESCALA
	TUBO RETRÁCTIL REPOSAPIÉS	1:2
		FECHA: 2023.09.03
20170546	MANRIQUE GOMEZ, KENZO NICOLAS	PLANO: 21–A3–D10





CORTE B–B



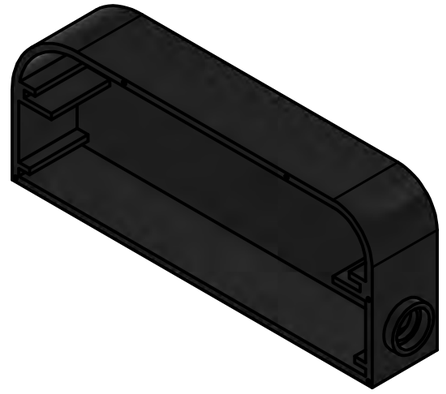
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768–1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

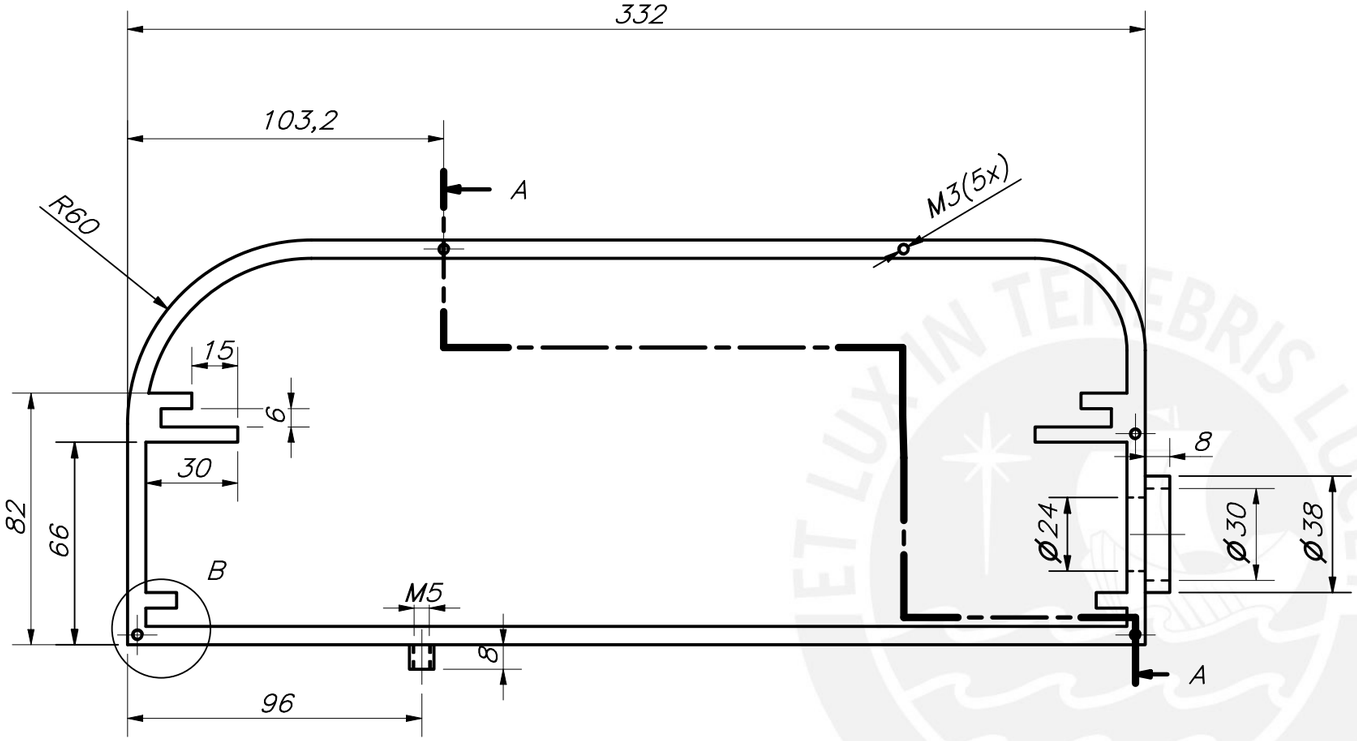
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

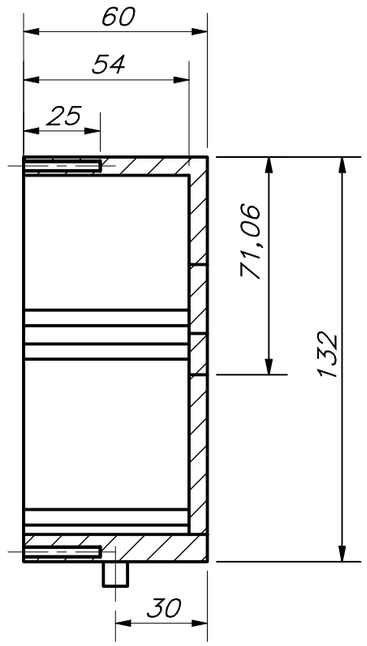
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
0.8	ISO 2768–1	ASTM A500

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

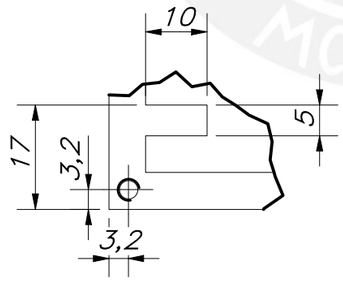
MÉTODO DE PROYECCIÓN	SILLA DE RUEDAS TELEOPERADA PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD FÍSICA MOTRIZ	ESCALA
	TUBO RUEDA ANTIVUELCO	1:1
20170546	MANRIQUE GOMEZ, KENZO NICOLAS	FECHA: 2023.09.03
		PLANO: 22–A3–D11







CORTE A–A



DETALLE B
ESCALA 1 : 1

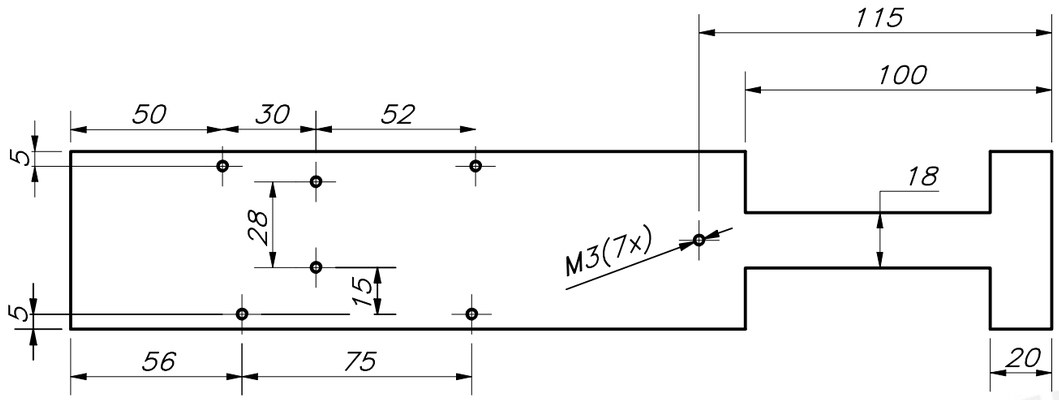
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
	0,3	ABS

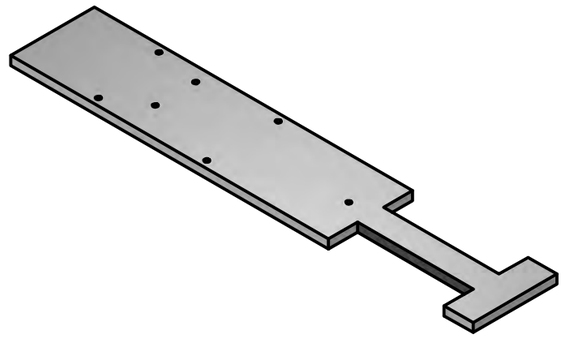
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	SILLA DE RUEDAS TELEOPERADA PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD FÍSICA MOTRIZ	ESCALA
	BASE CAJA DE COMPONENTES	1:2
		FECHA: 2023.09.03

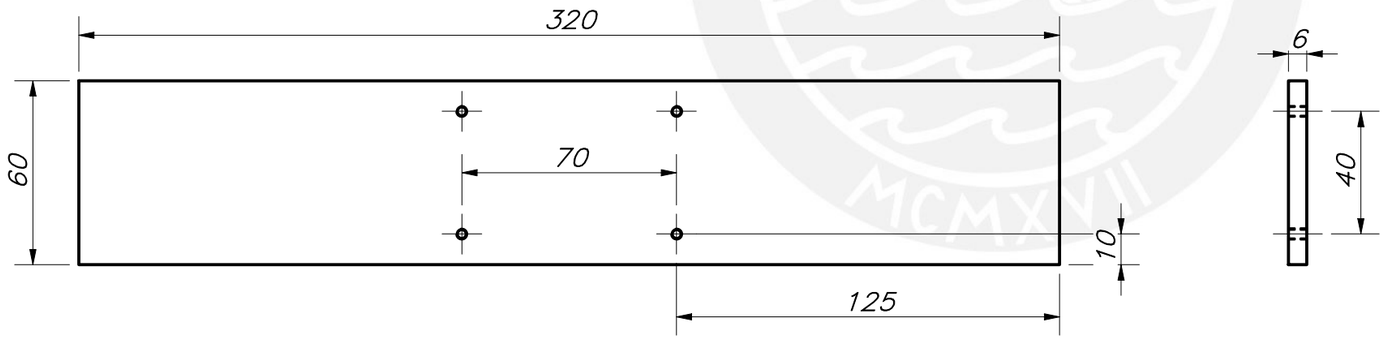
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA	20170546	MANRIQUE GOMEZ, KENZO NICOLAS	PLANO: 23–A3–D12

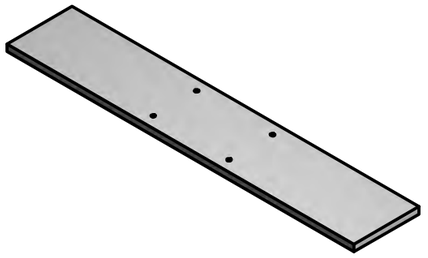
PLACA SUPERIOR





PLACA INFERIOR





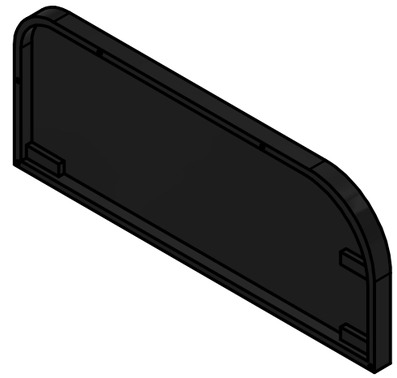
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768–1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

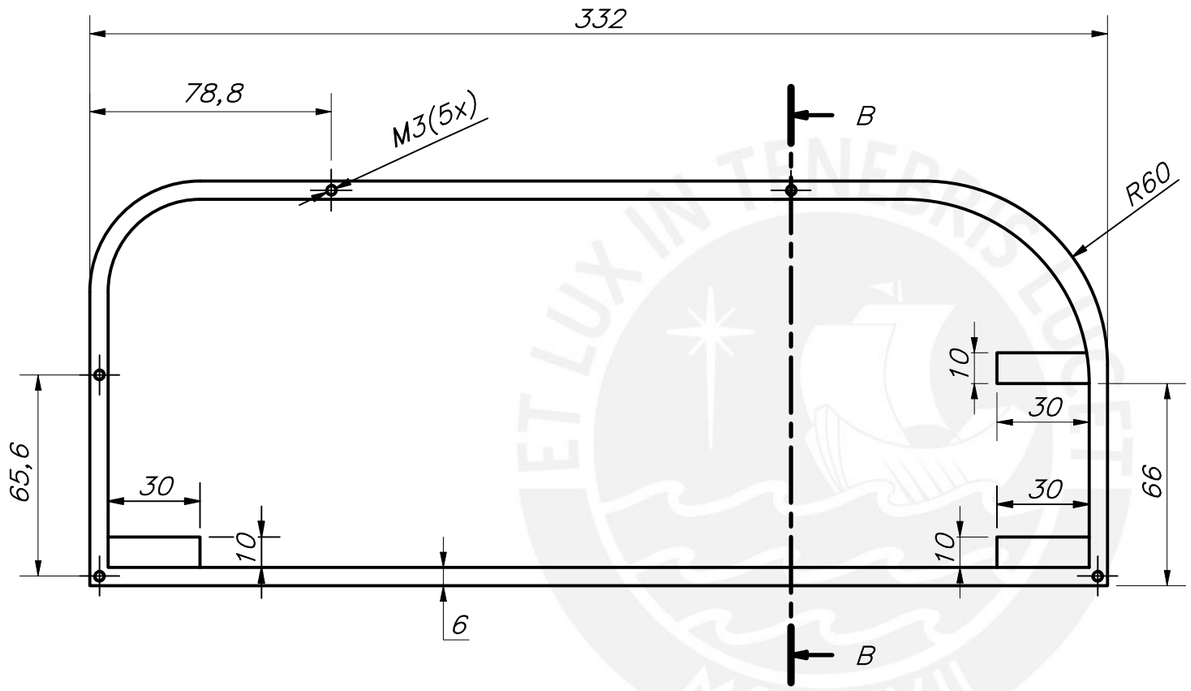
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

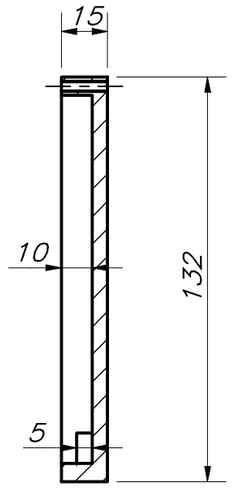
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
	0.3	ABS

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

MÉTODO DE PROYECCIÓN	SILLA DE RUEDAS TELEOPERADA PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD FÍSICA MOTRIZ	ESCALA
	PLACAS CAJA DE COMPONENTES	1:2
		FECHA: 2023.09.03
20170546	MANRIQUE GOMEZ, KENZO NICOLAS	PLANO: 24–A3–D13







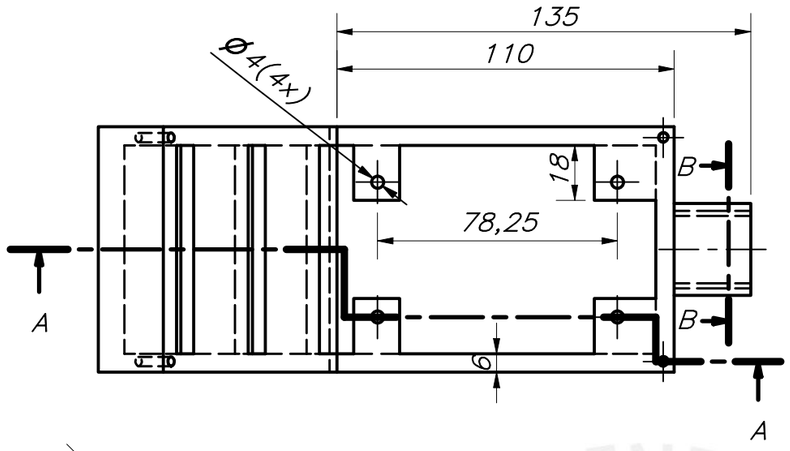
CORTE B–B

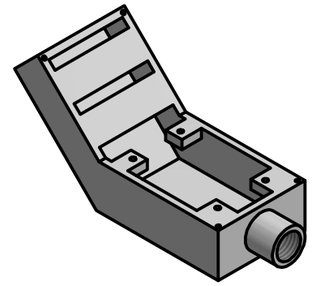
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
	0,3	ABS

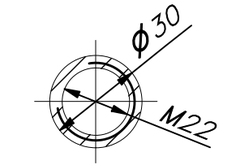
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	SILLA DE RUEDAS TELEOPERADA PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD FÍSICA MOTRIZ	ESCALA
	TAPA CAJA DE COMPONENTES	1:2
		FECHA: 2023.09.03

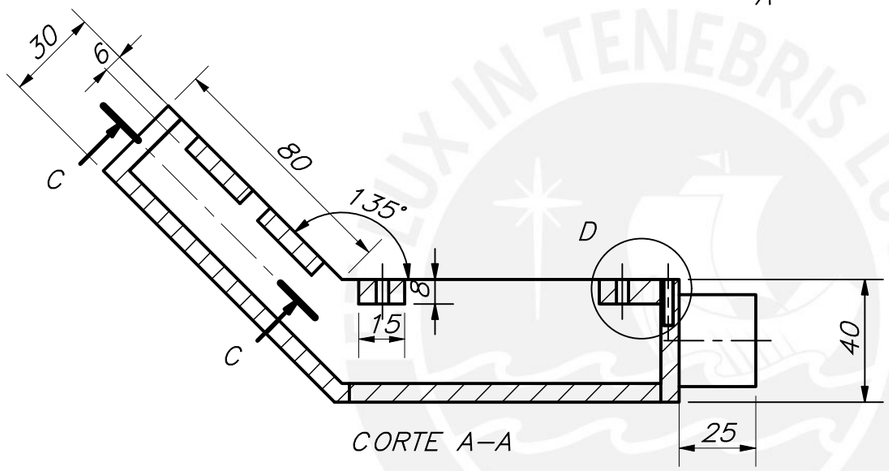
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA	20170546	MANRIQUE GOMEZ, KENZO NICOLAS	PLANO: 25–A3–D14



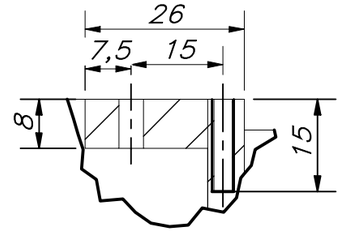




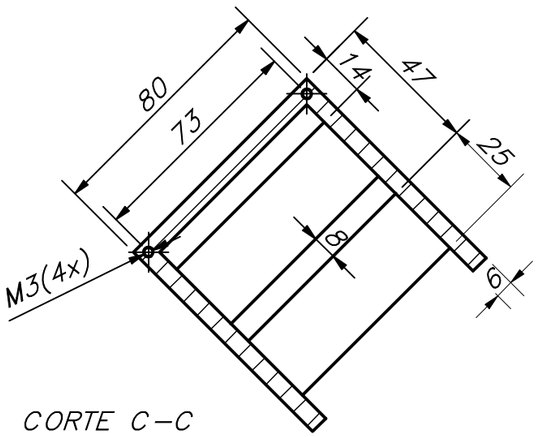
CORTE B–B



CORTE A–A



DETALLE D
ESCALA 1:1



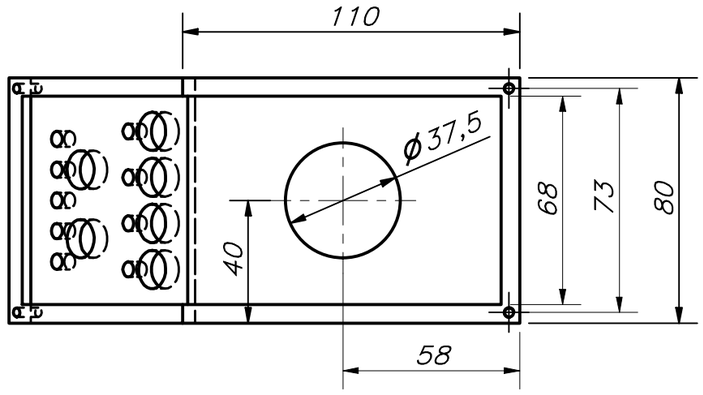
CORTE C–C

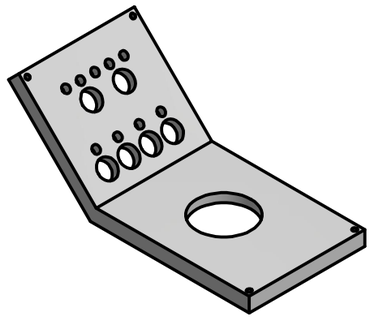
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
	0,3	ABS

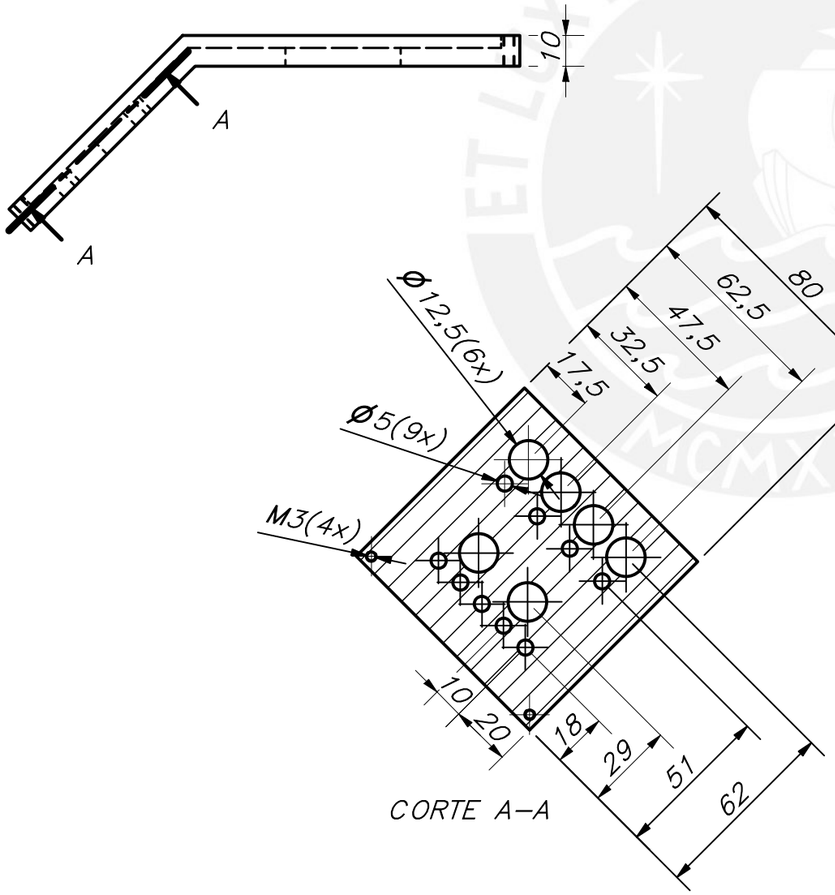
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	SILLA DE RUEDAS TELEOPERADA PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD FÍSICA MOTRIZ	ESCALA
	BASE MÓDULO JOYSTICK	1:2
		FECHA: 2023.09.03

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA	20170546	MANRIQUE GOMEZ, KENZO NICOLAS	PLANO: 26–A3–D15







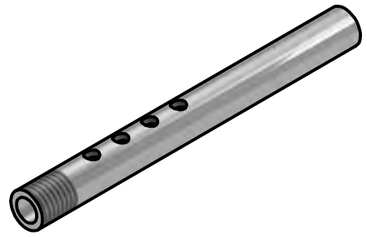
CORTE A–A

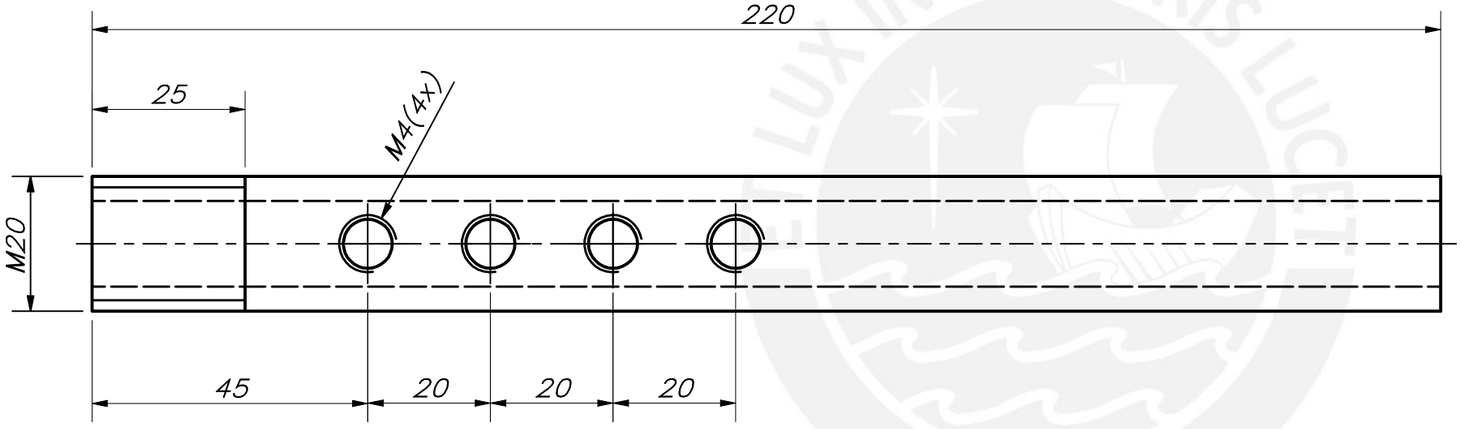
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
	0,3	ABS

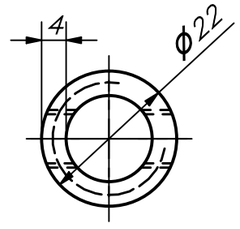
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	SILLA DE RUEDAS TELEOPERADA PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD FÍSICA MOTRIZ	ESCALA
	TAPA MÓDULO JOYSTICK	1:2
		FECHA: 2023.09.03

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA	20170546	MANRIQUE GOMEZ, KENZO NICOLAS	PLANO: 27–A3–D16







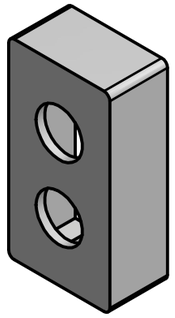
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768–1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

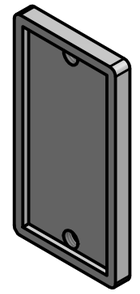
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

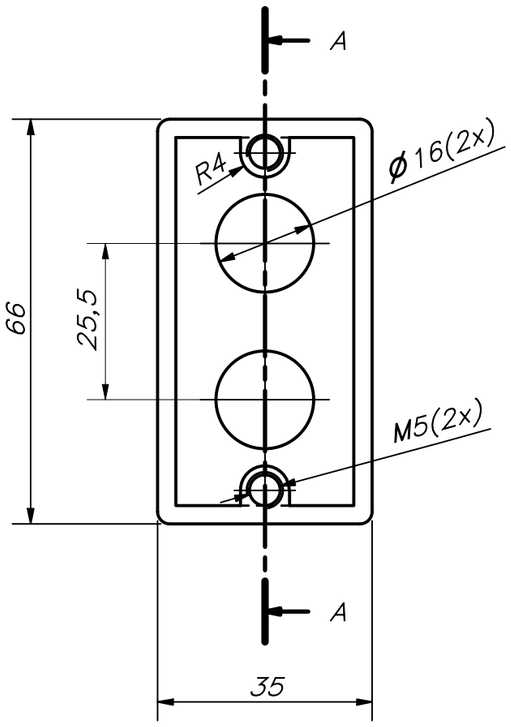
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
0.8	ISO 2768–1	AA 6061

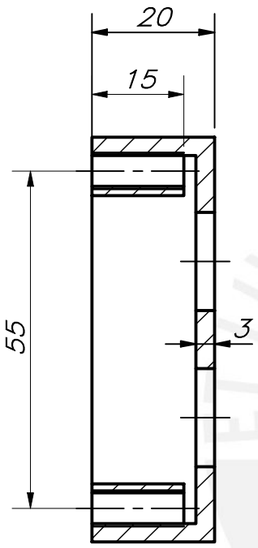
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	SILLA DE RUEDAS TELEOPERADA PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD FÍSICA MOTRIZ	ESCALA
	TUBO MÓDULO JOYSTICK	1:1
		FECHA: 2023.09.03
20170546	MANRIQUE GOMEZ, KENZO NICOLAS	PLANO: 28–A3–D17

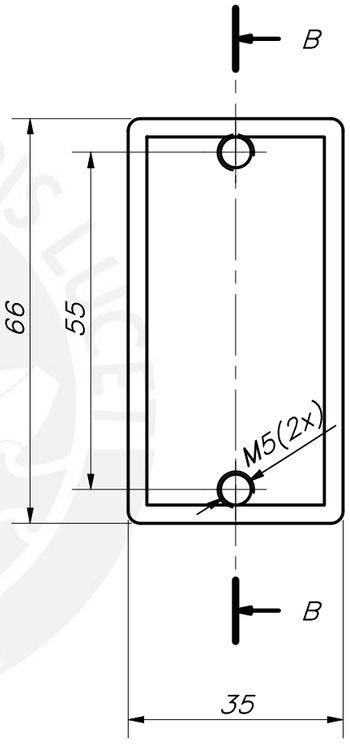


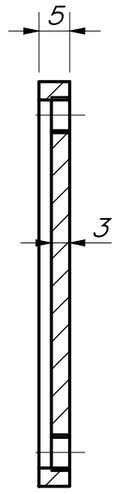






CORTE A–A





CORTE B–B

Radios no especificados 2mm

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
	0,3	ABS

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	SILLA DE RUEDAS TELEOPERADA PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD FÍSICA MOTRIZ	ESCALA
	BASE Y TAPA DE SENSOR DE ULTRASONIDO	1:1
		FECHA: 2023.09.03

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA	20170546	MANRIQUE GOMEZ, KENZO NICOLAS	PLANO: 29–A3–D18