

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECATRÓNICA



**DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS MECATRÓNICA
MULTIFUNCIONAL PARA MEJORAR LA ACCESIBILIDAD DE
UN ADULTO CON PARAPLEJIA**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECATRÓNICO**

PRESENTADA POR:

Bach. LÉVANO GONZALES, LUIS JUNIOR

Asesor: Dr. Ing. SOTELO VALER, FREEDY

LIMA - PERÚ

2020

DEDICATORIA

A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo. Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

Luis Junior Lévano Gonzales

AGRADECIMIENTO

Yo agradezco primeramente a mis padres que han dado todo el esfuerzo para que yo ahora este culminando esta etapa de mi vida y darles las gracias por apoyarme en todos los momentos difíciles de mi vida tales como la felicidad, la tristeza, pero ellos siempre han estado junto a mí y gracias a ellos soy lo que ahora soy y con el esfuerzo de ellos y mi esfuerzo ahora puedo ser un gran profesional y seré un gran orgullo para ellos y para todos los que confiaron en mí.

Luis Junior Lévano Gonzales

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1.Problematización.....	2
1.1.1. Problema general.....	3
1.1.2. Problemas específicos	4
1.2.Objetivos	4
1.2.1. Objetivo general	4
1.2.2. Objetivos específicos	4
1.3.Alcances y limitaciones de la investigación.....	4
1.4.Importancia y justificación del estudio	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	7
2.1.Antecedentes de la investigación	7
2.1.1 Antecedentes internacionales	7
2.1.2 Antecedentes nacionales	8
2.2.Bases teóricas	10
2.2.1. Silla de ruedas manual autopropulsada	10
2.2.2. Silla de ruedas motorizada estándar interior – exterior.....	11
2.2.3. Funcionalidades de una silla de rueda.....	12
2.2.4. Paraplejía.....	15
2.2.5. Estado de los pacientes con paraplejía	16
2.2.6. Legislación nacional sobre accesibilidad	18
2.2.7. Sistema mecánico.....	21
2.2.8. Sistema electrónico	26
2.2.9. Sistema de control	31

2.3. Definición de términos básicos	35
CAPÍTULO III: DISEÑO DEL SISTEMA	37
3.1. Requerimientos del sistema.....	37
3.2. Diseño mecánico	38
3.2.1 Selección del material	38
3.2.2 Estructura de la silla de ruedas.....	39
3.2.3 Diseño de la estructura de la silla de ruedas	42
3.2.4 Estructura de funciones	53
3.2.5 Prueba de esfuerzos del sistema.....	54
3.2.7 Selección del actuador lineal para el respaldar	61
3.2.8 Selección del actuador lineal para la bipedestación.....	65
3.3. Diseño eléctrico y electrónico.....	67
3.3.1 Selección de elementos	67
3.3.2 Sistema de alimentación.....	76
3.4. Diseño de control	78
3.4.1 Lógica de control de la velocidad	79
3.4.2 Lógica de control del encendido	79
3.4.3 Lógica de control de movimiento mediante joystick	81
3.4.4 Lógica de control de la bipedestación.....	83
3.4.5 Lógica de control de prevención ante un accidente	85
3.4.6 Lógica de control de parada de emergencia.....	86
3.4.7 Lógica de control de la batería	87
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS	89
4.1. Resultados del sistema mecánico	89
4.1.1 Estructura de la silla de ruedas.....	89
4.1.2 Peso total del sistema	89
4.1.3 Sistema de transmisión.....	90

4.1.4	Peso del usuario.....	90
4.1.5	Dimensionamiento de la silla de ruedas.....	90
4.1.6	Sistema de suspensión.....	90
4.2.	Resultados del sistema electrónico y eléctrico.....	94
4.2.1.	Fuerza de los motores.....	94
4.2.2.	Fuerza y longitud de los actuadores.....	95
4.3.	Resultados del sistema de control.....	96
4.3.1	Controlador.....	96
4.3.2	Funciones de la silla de ruedas.....	96
	CONCLUSIONES.....	99
	RECOMENDACIONES.....	100
	REFERENCIA.....	101
	BIBLIOGRAFÍA.....	105
	ANEXOS.....	106
	APÉNDICES.....	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Índice de Barthel	16
Tabla 2. Rampómetro	19
Tabla 3. Tipos de sensores y métodos de detección.....	30
Tabla 4. Requerimientos del sistema	37
Tabla 5. Comparación de materiales	39
Tabla 6. Comparación entre las alternativas	42
Tabla 7. Subgrupos de la silla de ruedas en vista explosionada.....	44
Tabla 8. Nombre de las partes del grupo superior de la silla de ruedas	46
Tabla 9. Nombre de las partes del grupo base en vista explosionada	47
Tabla 10. Nombre de las partes del reposapiés en vista explosionada.....	49
Tabla 11. Nombre de las Partes del ensamble de ruedas	51
Tabla 12. Partes de la rueda motriz en vista explosionada	52
Tabla 13. Especificaciones de las ruedas	52
Tabla 14. Tabla de cálculo del peso total del sistema	54
Tabla 15. Especificaciones técnicas del motor	61
Tabla 16. Actuador lineal Linak LA23	65
Tabla 17. Especificaciones del actuador lineal FA-400-12	67
Tabla 18. Opciones para elegir el controlador	68
Tabla 19. Especificaciones técnicas Arduino Mega 2560 Rev. 3	69
Tabla 20. Opciones para elegir el regulador de voltaje.....	69
Tabla 21. Especificaciones técnicas Regulador de voltaje RB-Dfr-222	70
Tabla 22. Opciones para elegir el puente h	71
Tabla 23. Especificaciones técnicas Joystick KY-023.....	72
Tabla 24. Especificaciones técnicas Indicador de batería RL-BI003	73
Tabla 25. Opciones para elegir el sensor de proximidad	74
Tabla 26. Especificaciones técnicas Sensor de ultrasonido HC-SR04	74
Tabla 27. Comparación sensores de presión	76
Tabla 28. Especificaciones técnicas Sensor de fuerza y presión MF01.....	76
Tabla 29. Especificaciones técnicas de la batería UB12500.....	78
Tabla 30. Valores obtenidos en las pruebas de la silla de ruedas	92
Tabla 31. Diseño del sistema eléctrico y electrónico.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Personas con discapacidad, divididas por edad y sexo	2
Figura N° 2. Partes de una silla de ruedas manual autopropulsada	11
Figura N° 3. Partes de una silla de ruedas motorizada.....	12
Figura N° 4. Función de bipedestación – F5 Corpus VS	13
Figura N° 5. Silla de ruedas p4 country	14
Figura N° 6. Robot wheelchair that can climb over steps.....	15
Figura N° 7. Lesiones de médula espinal1111	15
Figura N° 8. Dimensionado mínimo de una puerta interior.....	20
Figura N° 9. Dimensionado de una vereda	21
Figura N° 10. Sistema de transmisión.....	22
Figura N° 11. Sistema de transmisión de cadena.....	23
Figura N° 12. Condición de Grashof	23
Figura N° 13. Condición no Grashof	24
Figura N° 14. Diagrama de cuerpo libre de una silla de ruedas.....	25
Figura N° 15. Etapas de un sistema electrónico.....	26
Figura N° 16. Señal analógica y digital	27
Figura N° 17. Circuito de potencia	28
Figura N° 18. Curva característica de un diodo	28
Figura N° 19. Tipos de transistores.....	29
Figura N° 20. Representación de un sistema de control	32
Figura N° 21. Sistema de control en lazo abierto	32
Figura N° 22. Sistema de control en lazo cerrado.....	32
Figura N° 23. Tarjetas Arduino.....	34
Figura N° 24. Diseño y pruebas necesarias del sistema.....	38
Figura N° 25. Gráfica de la alternativa N° 1 utilizando el Working Model	40
Figura N° 26. Gráfica de la alternativa N° 2 utilizando el Working Model	41
Figura N° 27. Gráfica de la alternativa N° 3 utilizando el Working Model	42
Figura N° 28. Dimensionado de una silla de ruedas	43
Figura N° 29. Vistas de la Silla de ruedas. a) frontal b) lateral c) isométrica.....	43
Figura N° 30. Vista explosionada de la silla de ruedas multifuncional	44
Figura N° 31. Partes del grupo superior de la silla de ruedas	46
Figura N° 32. Vista explosionada del grupo base.....	47

Figura N° 33. Vista estructura base. a) frontal b) lateral c) isométrica.....	48
Figura N° 34. Vista Explosionada del reposapiés.....	48
Figura N° 35. Vista ruedas guías a) lateral b) frontal c) isométrica.....	49
Figura N° 36. Vista base del ensamble de las ruedas.....	50
Figura N° 37. Vista explosionada de la rueda motriz	51
Figura N° 38. Rueda neumática de 16" utilizando inventor	53
Figura N° 39. Funcionalidades. a) Posición inicial b) Bipedestación c) Ascenso	53
Figura N° 40. Prueba de esfuerzos en Inventor	55
Figura N° 41. Esquema de fuerzas sobre una silla de ruedas	56
Figura N° 42. Esquema de fuerzas para una superficie inclinada ascendente	57
Figura N° 43. Esquema de fuerzas para una superficie inclinada descendente	59
Figura N° 44. Hub Motor PMN	60
Figura N° 45. DCL Asiento/Respaldar - posición inicial	61
Figura N° 46. DCL Asiento/Respaldar – posición final	62
Figura N° 47. Medidas para el actuador lineal.....	63
Figura N° 48. Actuador lineal LINAK LA23-100	64
Figura N° 49. DLC de la silla de ruedas en bipedestación	65
Figura N° 50. Arduino Mega 2560 Rev. 3	69
Figura N° 51. Joystick KY-023.....	72
Figura N° 52. Final de carrera.....	72
Figura N° 53. Indicador de batería RL-BI003	73
Figura N° 54. Sensor de ultrasonido HC-SR04	74
Figura N° 55. Potenciómetro lineal.....	75
Figura N° 56. Sensor de fuerza y presión MF01 MF01	76
Figura N° 57. Esquema de control	79
Figura N° 58. Diagrama de bloques de control de velocidad	79
Figura N° 59. Programación en Ladder del control de encendido en STEP 7.....	80
Figura N° 60. Diagrama de flujo del control de encendido	81
Figura N° 61. Programación en Ladder del control de Joystick en STEP 7	82
Figura N° 62. Diagrama de flujo del control mediante joystick	83
Figura N° 63. Diagrama de flujo del control de bipedestación.....	84
Figura N° 64. Programación en Ladder del control de bipedestación en STEP 7	85
Figura N° 65. Programación en Ladder del control de prevención en STEP 7	85
Figura N° 66. Diagrama de flujo del control de prevención	86

Figura N° 67. Programación en Ladder de parada de emergencia en STEP 7	86
Figura N° 68. Diagrama de flujo del control de parada de emergencia.....	87
Figura N° 69. Diagrama de flujo del control de la batería.....	88
Figura N° 70. Programación en Ladder del control de la batería en STEP 7	88
Figura N° 71. Centro de gravedad de la silla de ruedas	93
Figura N° 72. Reacciones en las ruedas de la silla de ruedas mecatrónica.....	93
Figura N° 73. Compilación completa sin errores de la silla de ruedas en STEP 7 ...	97
Figura N° 74. Simulación del programa de la silla de ruedas mecatrónica	98

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo diseñar una silla de ruedas mecatrónica multifuncional que sirve como ayuda técnica para mejorar la accesibilidad de un adulto con paraplejía en espacios públicos de la ciudad de Lima.

Se tuvo en cuenta los conocimientos de ingeniería prácticos y teóricos para la elaboración del diseño mecánico, eléctrico, electrónico y de control de una silla de ruedas lo que permitió integrar y desarrollar un sistema autónomo. Se encontró el conjunto de elementos, teniendo en cuenta varias restricciones, al ser cambiadas de manera positiva que resultan en un óptimo resultado.

Los resultados fueron óptimos ya que se logró diseñar un sistema de dirección diferencial, basado en una transmisión directa dando una mayor tracción, maniobrabilidad e independencia en el movimiento, considerando un sistema que además permita que la silla de ruedas suba por veredas y escalones, teniendo un chasis adecuado para su estabilidad, diseñando un sistema de suspensión y un preciso control de los componentes.

Con la propuesta del diseño al ser implementado permitirá la bipedestación del paciente, la cual ayudará a minimizar cualquier lesión que se puede producir por estar sentado largos periodos de tiempo. Además, con el diseño innovador se puede facilitar la accesibilidad de la persona hacia el entorno mejorando su calidad de vida.

Palabras claves: Diseño, silla de ruedas, mecatrónica, multifuncional, accesibilidad, paraplejía.

ABSTRACT

The present research work aimed to design a multifunctional mechatronic wheelchair that serves as a technical aid to improve the accessibility of an adult with paraplegia in public spaces in the city of Lima.

The practical and theoretical engineering knowledge was taken into account for the elaboration of the mechanical, electrical, electronic and control design of a wheelchair, which allowed the integration and development of an autonomous system. The set of elements was found, taking into account several restrictions, when being changed in a positive way that result in an optimal result.

The results were optimal since it was possible to design a differential steering system, based on a direct transmission giving greater traction, maneuverability and independence in movement, considering a system that also allows the wheelchair to climb up sidewalks and steps, having a chassis suitable for its stability, designing a suspension system and precise control of the components.

With the proposed design, when implemented, it will allow the patient to stand, which will help to minimize any injury that may occur from sitting for long periods of time. In addition, with the innovative design, the accessibility of the person to the environment can be facilitated, improving their quality of life.

Keywords: Design, wheelchair, mechatronics, multifunctional, accessibility, paraplegia.

INTRODUCCIÓN

En el Perú, existe un 5,2% de peruanos, equivalente al 1 millón 575 mil 402 de personas que padecen de algún tipo de enfermedad o discapacidad que les imposibilita el poder desplazarse o realizar sus actividades de forma autónoma, muchas de ellas personas de la tercera edad que requieren en su totalidad de la asistencia de otra persona.

Es de interés académico de la presente investigación diseñar de una silla de ruedas que sirve para permitir el desplazamiento de las personas que sufren de una parálisis de la mitad inferior del cuerpo conocida como paraplejía.

La investigación se enfocará en el diseño mecánico, en el cual se realizarán las simulaciones de movimientos y de esfuerzos para determinar la forma óptima de la estructura, diseño electrónico, donde se realizarán los cálculos para la elección de los componentes, batería y controlador; y el diseño control; para dar una alternativa de solución al problema planteado de cómo el diseñar una silla de ruedas mecatrónica multifuncional podrá ayudar en una mejor accesibilidad de un adulto con paraplejía.

La presente investigación consta de 04 capítulos, en el capítulo I se describe el planteamiento del problema donde se describe la problematización, los objetivos tanto general como los específicos, se presenta la justificación e importancia del estudio y se delimita la investigación.

En el capítulo II se presentan los antecedentes internacionales y nacionales vinculados a la investigación, las bases teóricas y así también se menciona la definición de términos básicos que permiten una mayor comprensión del tema.

En el capítulo III se describe el diseño propuesto de la silla de ruedas resaltando sus funciones principales, se realiza el dimensionamiento, se realizan los cálculos necesarios para el sistema, se muestran los componentes electro-electrónicos escogidos de acorde a una previa comparación entre varias opciones y se presenta el control total del equipo conforme a la programación establecida bajo parámetros definidos en esta investigación.

En el capítulo IV se explican los resultados obtenidos y se realizan los análisis respectivos de estos. Finalmente se mencionan las conclusiones y recomendaciones para futuros investigadores que deseen realizar investigaciones similares al tema descrito.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el presente capítulo se describe la problemática relacionada a la accesibilidad con la que cuenta un adulto con paraplejía, así mismo se presenta el objetivo general, objetivos específicos, también se describe la justificación y las limitaciones de la investigación.

1.1. Problematización

Como se observa en la figura N°1, en el Perú, 1 millón 575 mil 402 de personas, equivalente al 5,2% de la población nacional sufre de algún tipo de discapacidad o limitación física que les impide poder movilizarse de manera independiente. Las personas de 65 a más años, son las más afectadas, equivaliendo al 50,5%, mientras que de 15 a 64 años representan al 41,3%, todos ellos requieren de la asistencia de otra persona para poder desplazarse. (Instituto Nacional de Estadística e Informática – INEI, 2012)



Figura N° 1. Personas con discapacidad, divididas por edad y sexo
Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2012

Existen personas que requieren de algún aparato que los ayude, como sería el más común la silla de ruedas, pero no todos tienen la posibilidad de adquirir una, por su elevado precio. Este grupo de personas al no poder tener una, aparte de su problema físico surgen problemas psicosomáticos por la disminución de sus capacidades al no poder desenvolverse por sí solos.

Es común que las personas con discapacidad en el Perú, necesiten de la ayuda de terceros para poder realizar sus actividades cotidianas. Pero igualmente al contar con una silla de ruedas no significa que sus dificultades se han solucionado, ya que de igual manera surgen otros inconvenientes producto de estar constantemente sentado en una.

Al estar en una silla de ruedas común se dificulta el traslado del paciente, incomodidad de estar permanentemente en una misma posición, conllevando a la aparición de úlceras por presión, aparición de contracturas musculares al no tener capacidad para moverse por sí solo. Al no mover los miembros del cuerpo la circulación sanguínea disminuye e incrementa la dependencia del paciente, con la necesidad de esperar siempre a un familiar para que este lo cambie de posición. Si el paciente necesita trasladarse necesita la ayuda de otra persona ya que por sí solo requiere mucha fuerza, acrecentando la fatiga. Al estar mucho tiempo sentado el peristaltismo intestinal disminuye ocasionando estreñimientos.

Si el paciente desea moverse por las calles en una silla de ruedas tendrá muchas dificultades ya que muchas de estas no cuentan con vías de acceso (rampas) o se encuentran muy deterioradas para su uso, por lo cual el paciente necesita de alguien para que le ayude.

En conclusión, una silla de ruedas común trae como consecuencia dificultades de funcionalidad, no permitiéndole realizar actividades de la vida cotidiana al 100%, como asearse, acceso a lugares altos, etc. Por tal motivo, lo que se propone en este diseño es una silla de ruedas mecánica multifuncional, que permitirán subsanar carencias que tienen las sillas de ruedas comunes a la hora de su uso.

1.1.1. Problema general

¿Cómo diseñar una silla de ruedas mecatrónica multifuncional para mejorar la accesibilidad de un adulto con paraplejía?

1.1.2. Problemas específicos

- a) ¿Cómo diseñar el sistema mecánico de una silla de ruedas mecatrónica multifuncional para mejorar la libertad de movimiento de un adulto con paraplejía?
- b) ¿Cómo diseñar el sistema eléctrico y electrónico de una silla de ruedas mecatrónica multifuncional para mejorar el desplazamiento de un adulto con paraplejía?
- c) ¿Cómo diseñar un sistema de control para lograr la bipedestación de un adulto con paraplejía?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Diseñar una silla de ruedas mecatrónica multifuncional para mejorar la accesibilidad de un adulto con paraplejía.

1.2.2. Objetivos específicos

- a) Diseñar el sistema mecánico de una silla de ruedas mecatrónica multifuncional para mejorar la libertad de movimiento de un adulto con paraplejía
- b) Diseñar el sistema eléctrico y electrónico de una silla de ruedas mecatrónica multifuncional para mejorar el desplazamiento de un adulto con paraplejía.
- c) Diseñar un sistema de control para lograr la bipedestación de un adulto con paraplejía.

1.3. Alcances y limitaciones de la investigación

Las limitaciones del sistema de una silla de ruedas mecatrónica multifuncional son las siguientes:

- Sistema Mecánico: Se debe tener en cuenta el peso y la altura de la persona ya que estos datos serán fundamentales a la hora del diseño de la estructura de la silla de ruedas.

- Sistema eléctrico y electrónico: El cálculo de los componentes y su elección para el sistema electrónico están realizados para un rango definido por el peso y la altura de la persona. De igual manera se deberá tomar en consideración la autonomía que poseerá la silla, la cual dependerá de la batería que se elija.
- Programación: Para la programación del microcontrolador que se va a utilizar, la limitación es que la mayoría de los softwares a escoger requieren un pago para poder usarse. De igual manera algunas librerías necesarias para el funcionamiento del sistema también tienen un costo.

1.4. Importancia y justificación del estudio

La importancia del estudio en gran parte es porque mejorará la accesibilidad al entorno de los pacientes con paraplejía ya que se contará con un sistema mecánico y eléctrico que permitirá que el propio usuario controle la dirección. Al ser ejecutada contribuirá con la independencia que necesitan las personas para poder convivir de manera activa con los de su entorno, sin tener que depender de terceros para que los ayuden a realizar actividades.

En el caso de la justificación, se consideraron aspectos como social, económico y salud, descritos a continuación de manera más detallada.

- Justificación económica

Esta propuesta de diseño brindará una alternativa más económica a las personas, debido a que esta nueva silla de ruedas sería más accesible en comparación con otras del mercado. Una silla de ruedas eléctrica cuesta aproximadamente S/. 6000, así como una silla con bipedestación cuesta S/. 7500. Además, la persona obtendría un mayor beneficio con respecto al costo debido a las diversas funciones provenientes del producto diseñado; enfocado a satisfacer los requisitos principales del usuario.

- Justificación social

Esta propuesta está enfocada a contrarrestar la falta de accesibilidad, siendo esta la principal barrera que enfrentan los adultos con paraplejía. El nuevo diseño de la silla de rueda facilitará la condición de acceso a la arquitectura

urbanística y arquitectónica para facilitar la movilidad y desplazamiento autónomo, pudiendo subir y bajar de veredas con mayor facilidad proporcionando su integración y equiparación de oportunidades para el desarrollo de sus actividades, buscando ofrecer la independencia que necesitan las personas para poder incorporarse a la sociedad.

- Justificación en salud

La silla de ruedas que se plantea en este proyecto servirá como medio para movilizarse, así como la de posicionar a los usuarios verticalmente (bipedestación), esta posición proporciona una mejora con respecto a problemas físicos, ya que elevará al paciente en forma vertical haciendo que se reduzca la presión del cuerpo cuando se está sentado, reduciendo las posibilidades de algún tipo de lesión y mejorando el estado del paciente, también, se podrá colocar al paciente en una posición horizontal, asemejando a una camilla.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se mencionan los antecedentes de la investigación que se toman como referencia y base para el diseño del sistema electrónico de la silla de ruedas. Así mismo se presentan las bases teóricas que sustentan y complementan los tópicos que se utilizaron y aplicaron para el desarrollo de la tesis.

2.1. Antecedentes de la investigación

A continuación, se presentarán estudios de tesis de los aportes más importantes que serán necesarios para esta investigación, basados en el desarrollo de una silla de ruedas eléctrica capaz de realizar diferentes funciones y poder subir veredas y escalones.

2.1.1 Antecedentes internacionales

- Bedón (2017). En su tesis para obtener el título de Ingeniero en Electrónica y comunicaciones titulada “Sistema de control para la movilidad y extensión de una silla de ruedas eléctrica de bipedestación”. Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, presentó el prototipo de un sistema que controla una silla de ruedas con sistema de bipedestación, para que de esta manera el paciente pueda controlarla fácilmente y poder obtener datos que ayudarán a mejorar las prestaciones de esta silla. Realizó el prototipo para buscar una alternativa de bajo costo ya que las otras opciones del mercado tienen un precio muy elevado debido a que son importadas, para que, de esta forma al ser implementada a gran escala, la independencia de los minusválidos aumentará en su vida cotidiana.
- Cerino (2017). En su tesis para obtener el título de maestro en ciencias de la electrónica opción en automatización titulada “Desarrollo de un sistema mecatrónico para controlar una silla de ruedas motorizada

mediante diversos dispositivos por enlace inalámbrico”. Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México, planteó la instrumentación de una silla de ruedas motorizada, con un control inalámbrico vía bluetooth, como también un control manual mediante un joystick analógico. Se realizó un ensamble de la mecánica de la silla, acoplado un sistema de dirección diferencial para ofrecer una mayor tracción y una dirección más controlada, permitiendo maniobrar en escenarios pequeños. Como también el desarrollo de una aplicación móvil para controlar todo el sistema.

- López (2014). En su tesis para obtener el título de Ingeniero Mecánico titulada “Diseño de un prototipo de silla de ruedas eléctrica, con sistema de ascenso y elevación”. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, presentó el diseño del prototipo de una silla de ruedas eléctrica que permite dar solución a los problemas que pueden tener las personas con movilidad reducida producto de un accidente o ser algo congénito. Realizó un diseño capaz de subir escalones de al menos 18 cm de altura lo cual vendría a ser el estándar de altura según los planes de ordenamiento territorial de Ecuador, también cuenta con un sistema de ascenso el cual permite que la persona pueda alcanzar objetos a cierta altura, este mecanismo que está incorporado en la silla de ruedas logrará que el usuario llegue a una altura promedio de 1,75 metros, además la silla de ruedas será eléctrica para que el usuario pueda tener independencia total.

2.1.2 Antecedentes nacionales

- Bravo (2017). En su tesis para obtener el título de Maestro en Ingeniería Mecatrónica titulada “Diseño mecatrónico y simulación de una silla de ruedas multifuncional para niños de entre 6 a 12 años”. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, presentó el diseño y simulación de una silla de ruedas mecatrónica multifuncional que es controlada por medio de un joystick, dando la posibilidad de funcionar tanto como camilla, como también la de posicionar al usuario en forma

vertical (bipedestación), posición la cual ofrece diversos beneficios, siendo los principales en el correcto funcionamiento de los intestinos como en la reducción de contracturas, permitiendo un grado de independencia mayor ya que la persona podrá desplazarse de forma autónoma. Realizó un diseño enfocado principalmente a niños entre los 6 a 12 años que presenten el desorden llamado Distrofia Muscular de Duchene (DMD), también permitiendo un equipo a un costo de \$2110 en comparación con los ofrecidos en el mercado que superan los \$6900.

- Campos (2016). En su tesis para obtener el título de Ingeniera Mecatrónica titulada “Diseño de acople mecatrónico para automatización de sillas de ruedas convencionales”. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, presentó el diseño de un acople mecatrónico para sillas de ruedas convencionales para lograr automatizarlas que podrá ser controlada por medio de un joystick, adicionalmente se cuenta con un mando adicional que irá sujeto al abdomen de la persona por medio de una banda, la cual por medio de la inclinación del usuario controlará el movimiento de la silla permitiéndole igualmente ejercitarse. Realizó un diseño innovador ya que puede tener una silla de ruedas eléctrica a un costo menos lo cual un gran beneficio para sus clientes.

- Sánchez (2019). En su tesis para obtener el título de Ingeniero Mecatrónico titulada “Silla de ruedas con cambio de posición de sentado a erguido para asistir la discapacidad motora de miembros inferiores en adultos – 2019”. Universidad Privada del Norte, Lima, Perú, planteó el diseño de una silla de ruedas que por medio de una adaptación del mecanismo pueda lograr la posición erguido, haciendo uso de un actuador lineal, el cual es controlado manualmente para lograr la altura deseada, de esta forma se desea reducir los daños físicos que puede producir el estar sentado por largos periodos de tiempo. Realizó un diseño pensando en el uso de materiales y componentes locales para buscar reducir el costo del producto y así hacerlo accesible a personas de bajos recursos económicos.

2.2. Bases teóricas

Dentro del marco del estudio resulta importante abarcar los tópicos relacionados a la presente tesis. Es así como el marco teórico del estudio comprende la siguiente división de sustentos teóricos que ayudarán a entender y complementar la investigación. Se inicia por la teoría relacionada a los inicios de la silla de ruedas, luego explicando su funcionamiento, partes y finalmente los distintos tipos que existen y están a la venta en el mercado.

Se procede a una explicación sobre la paraplejía, principales causas, estadísticas de casos en el Perú y cuáles son los problemas a los que se enfrentan en su día a día. Finalmente se explica sobre las legislaciones existentes en Perú con respecto a las rampas para discapacitados, los estándares de medidas y los tipos dependiendo de la ubicación de estas.

2.2.1. Silla de ruedas manual autopropulsada

La silla manual está diseñada para pacientes que tienen poca movilidad, donde la fuerza para desplazarse es realizada por la persona, ya sea que un tercero empuje la silla o que el mismo ocupante haga girar las ruedas con sus manos. Usualmente está hecha de acero o aluminio y puede tener de 3 a 4 ruedas como se observa en la figura N° 2. Se pueden clasificar dependiendo de su material de construcción y la forma de su chasis en silla manual ligera, ultraligera y postural. La ergonomía es necesaria en el diseño de estas sillas dado que la mayoría de sus usuarios pasan muchas horas sentados en ellas. (Zepeda et al., 2013)



Figura N° 2. Partes de una silla de ruedas manual autopropulsada
Fuente: Ortoiberia, 2018

2.2.2. Silla de ruedas motorizada estándar interior – exterior

La silla de ruedas eléctrica standard es la más utilizada. Como se aprecia en la figura N° 3, a diferencia de la manual, esta tiene un motor, el cual da la potencia necesaria para hacer girar las ruedas y poder desplazar la silla de ruedas. Usualmente controlada por medio de un joystick situado en uno de los lados de la silla. La potencia varía dependiendo del modelo, como también la forma del chasis o pueden llegar a ser controladas inalámbricamente. Pueden ser de tracción trasera, delantera o central. (Zepeda et al., 2013)



Mando
escamoteable

Asiento
desmontable,
giratorio y regul.
en altura de 54 a
58 cm

Reposapiés pleg
y regulable en al
y profundidad



61

Figura N° 3. Partes de una silla de ruedas motorizada

Fuente: Ayudas Dinámicas, 2020

2.2.3. Funcionalidades de una silla de rueda

En la actualidad, las sillas que se desarrollan operan en condiciones de la vida real, donde los usuarios deben enfrentarse a distintos obstáculos como: baches, charcos, superficies inclinadas, escaleras, etc. los cuales no fueron diseñados por estos medios de transporte, es por ello que se ha invertido en el desarrollo de nuevas alternativas y funciones en el transporte de discapacitados. Se tiene como objetivo primordial conferirle al usuario una mayor autonomía y poder brindarle mejores condiciones de vida, las cuales le ayudarán a superar sus debilidades. Varios de estos diseños ya se pueden adquirir, mientras que otros aún se encuentran en fase experimental. (Galán, 2010)

2.2.3.1. Sillas bipedestadoras

Esta silla de ruedas puede tomar una forma la cual acomoda al usuario de tal manera que quede prácticamente de pie. Tiene una gran utilidad

terapéutica, ya que permite mejorar la circulación, reducir la presión en algunas partes del cuerpo, producto de estar mucho tiempo centrado y ayuda a mejorar el flujo digestivo. La principal desventaja es su peso, ya que cuenta con distintos mecanismos los cuales necesita para lograr su óptimo funcionamiento. (Zepeda et al., 2013)

Esta posición se logra mediante el giro del espaldar y apoyapié hacia una posición horizontal respecto al asiento; así como un giro y traslación vertical del asiento. Los motores se configuran de tal manera que cuando se entra en esta función se reduce considerablemente la velocidad o en otros casos se bloquean las ruedas, con el fin de garantizar la estabilidad de la silla de ruedas. En la figura N° 4 se puede observar esta función. (Bravo, 2017)



Figura N° 4. Función de bipedestación – F5 Corpus VS
Fuente: Permobil, 2015

2.2.3.2. Sistema de ascenso y descenso de veredas

El poder subir veredas o escaleras con una silla de ruedas siempre ha sido un gran reto para los fabricantes, las sillas que cuentan con esta función presentan distintos aditamentos o formas para poder lograr esta función, tales como: estabilizadores, ruedas flexibles con superficie de goma adherente, etc.

- Silla de ruedas P4 country

Como se puede ver en la figura N° 5, esta silla de ruedas consta de 4 ruedas que son propulsadas por motorreductores de 250 vatios y 24 Vdc que se acoplan directamente; está diseñada para ser capaz de subir escalones de 15 cm y tener una velocidad máxima de 10 km/h. Cuenta con una independencia de 30 km ya que cuenta con 3 baterías, las cuales son resistentes al agua. (4power4, 2013)

Sistema de mar

Ruedas motoriza

Figura N° 5. Silla de ruedas p4 country
Fuente: 4POWER4, 2013

- Silla de ruedas que sube escalones
Este prototipo permite poder subir escalones, veredas e imperfecciones que se puedan encontrar en el terrero. Consta de 4 ruedas activas, es decir, que son independientes, con motores acoplados en cada una de ellas permitiendo una transmisión 4 x 4, las ruedas delanteras están unidas por medio de un armazón rígido, el cual está fijado a la estructura central de la silla por medio de un mecanismo de rótula, lo cual permite que las ruedas pasen por el obstáculo de manera independiente, ganando una mayor fuerza para ascender por los obstáculos y de igual manera otorgando más estabilidad durante el proceso. Todo esto es controlado por un joystick o un sistema de mando. En la figura N° 6 se observa el robot en funcionamiento. (Shuro, 2012)

Sistema de ma

Armazón rig

Figura N° 6. Robot wheelchair that can climb over
Fuente: Shuro, 2012

2.2.4. Paraplejia

Se llama paraplejía a la pérdida severa o completa de la función motora de las extremidades inferiores. Se le asocia con enfermedades de la médula espinal, aunque también puede ser ocasionada por enfermedades cerebrales, del sistema nervioso o neuromuscular. La causa más frecuente sería el trauma en la estructura de la médula en los segmentos específicos que se muestra en la figura N° 7. También, por trastornos congénitos, neoplasias, enfermedades degenerativas, etc. (Moreno, 2001)

Figura N° 7. Lesiones de médula espinal1111

Fuente: Asociación Española de bancos de células madre – ABACELL, 2018

Las lesiones en la médula espinal son traumáticas, la cuadriplejía que es la parálisis de las extremidades tanto superiores como inferiores representa el 54% de los casos, mientras que la paraplejía el 46% restante. Se muestra

que los varones son más propensos a sufrir de este tipo de lesiones, siendo el 82% de los casos. (Bahena y Bernal, 2007)

El sufrir una lesión de este tipo conlleva al incremento del riesgo de problemas relaciones, como úlceras de presión, estreñimiento, infecciones urinarias, problemas osteoarticulares, entre otros. La aparición de estas complicaciones trae como consecuencia un aumento en las hospitalizaciones, como de pacientes con dependencia, lo que interfiere directamente con el proceso de rehabilitación y la reinserción de la persona a la sociedad. (Moreno, 2001)

2.2.5. Estado de los pacientes con paraplejía

El índice de Barthel es un instrumento que ve la capacidad que tiene una persona para realizar 10 actividades básicas de la vida diaria de forma dependiente o independiente, a las cuales se le pueden asignar puntuaciones de 0, 5, 10 o 15 dependiendo del tiempo que tome realizarlo y la dependencia para requiere para llevarla a cabo, se puede observar en la tabla

Tabla 1. Índice de Barthel 1.

Ítem	Situación del paciente	Puntos
	- Totalmente independiente	10
Comer	- Necesita ayuda para cortar carne, el pan, etc.	5
	- Dependiente	0
Lavarse	- Independiente: entra y sale solo del baño	5
	- Dependiente	0
Vestirse	- Independiente: capaz de ponerse y de quitarse la ropa, abotonarse, atarse los zapatos	10
	- Necesita ayuda	5
	- Dependiente	0
Arreglarse	- Independiente para lavarse la cara, las manos, peinarse, afeitarse, maquillarse, etc.	5
	- Dependiente	0
Deposiciones	- Continencia normal	10
	- Ocasionalmente algún episodio de incontinencia, o	5

	necesita ayuda para administrarse supositorios o lavativas	
	- Incontinencia	0
	- Continencia normal, o es capaz de cuidarse de la sonda si tiene una puesta	10
Micción	- Un episodio diario como máximo de incontinencia, o necesita ayuda para cuidar de la sonda	5
	- Incontinencia	0
Usar el retrete	- Independiente para ir al cuarto de aseo, quitarse y ponerse la ropa.	10
	- Necesita ayuda para ir al retrete, pero se limpia solo	5
	- Dependiente	0
Trasladarse	- Independiente para ir del sillón a la cama	15
	- Mínima ayuda física o supervisión para hacerlo	10
	- Necesita gran ayuda, pero es capaz de mantenerse sentado solo	5
	- Dependiente	0
Deambular	- Independiente, camina solo 50 metros	15
	- Necesita ayuda física o supervisión para caminar 50 metros	10
	- Independiente en silla de ruedas sin ayuda	5
	- Dependiente	0
Escalones	- Independiente para bajar y subir escaleras	10
	- Necesita ayuda física o supervisión para hacerlo	5
	- Dependiente	0
	Total	100

Fuente: Mahoney y Barthel, 1965

sta de 10 actividades básicas: comer, trasladarse entre la silla y la cama, aseo personal, uso del inodoro, bañarse/ ducharse, desplazarse, subir y bajar escaleras, vestirse y desvestirse, control de heces, control de orina, la puntuación total es de 100 y equivale a independencia completa. (Mahoney y Barthel, 1965)

Grado de independencia según puntuación de la escala:

- Independiente: 100 (95 en silla de ruedas)
- Dependiente escasa: 91 - 99
- Dependencia moderada: 61 – 90
- Dependencia severa: 21 - 60
- Dependencia total: 0 - 20

2.2.6. Legislación nacional sobre accesibilidad

La Ley N°29973, Ley general de la persona con discapacidad, tiene como finalidad principal la protección del derecho de las personas con discapacidad en el marco legal, promoviendo su desarrollo e inclusión plena en la vida política, económica, social y tecnológica.

La legislación cuenta con una variedad de artículos, los cuales aclaran los derechos de accesibilidad con los que cuentan las personas, tanto en el entorno urbano como en las edificaciones, (Consejo Nacional para la Integración de la Persona con Discapacidad - CONADIS, 2012)

La Ley N° 27972, Ley orgánica de municipalidades, es una ordenanza que regula la accesibilidad universal y fomenta la inclusión de personas con algún tipo de discapacidad. (El Peruano, 2016) De la ley se obtienen las características que deben tener las rampas de uso público para facilitar la accesibilidad de las personas con algún tipo de discapacidad.

En la tabla 2 se detallan las pendientes máximas, la elevación máxima y la longitud que pueden llegar a tener las rampas de entrada a establecimientos públicos, pudiendo de esta manera facilitar el ingreso a personas discapacidad; con ello se busca lograr una mayor accesibilidad para los usuarios. (El Peruano, 2016)

- La altura o elevación que puede llegar a alcanzar una rampa es de 0,72m.

- Una rampa puede tener como mínimo un ancho de 1,2m., siempre estando libre, sin ningún objeto que obstaculice su paso.

Tabla 2. Rampómetro

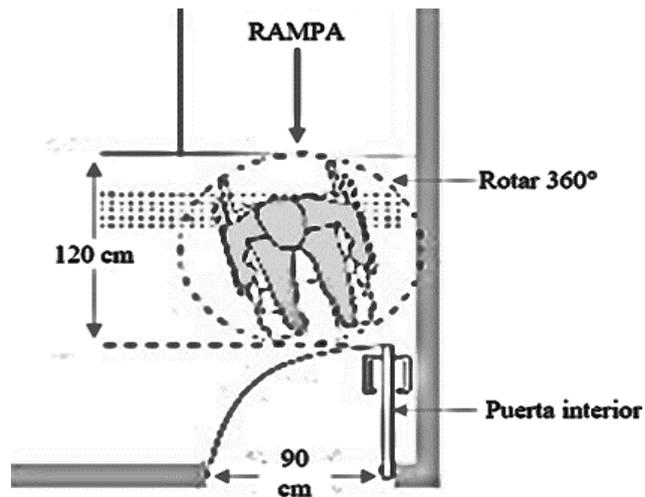
Rampas en vía pública y edificaciones						
Altura	Longitud de la rampa (m.)					
Desnivel	Pendiente > 2%	Pendiente > 4%	Pendiente > 6%	Pendiente > 8%	Pendiente > 10%	Pendiente > 12%
5 cm	2.50	1.25	0.83	0.63	0.50	0.42
6 cm	3.00	1.50	1.00	0.75	0.60	0.50
7 cm	3.50	1.75	1.17	0.89	0.70	0.58
8 cm	4.00	2.00	1.33	1.00	0.80	0.67
10 cm	5.00	2.50	1.67	1.25	1.00	0.83
12 cm	6.00	3.00	2.00	1.50	1.20	1.00
18 cm	9.00	4.50	3.00	2.25	1.80	1.50
20 cm	10.00	5.00	3.33	2.50	2.00	1.67
22 cm	11.00	5.50	3.67	2.75	2.20	1.83
23 cm	11.50	5.75	3.83	2.90	2.30	1.92
24 cm	12.00	6.00	4.00	3.00	2.40	2.00
25 cm	12.50	6.25	4.17	3.13	2.50	2.08

Fuente: El Peruano, 2016

i

igual manera se describen los parámetros que deben seguir las escaleras. Las gradas deben tener un tamaño no menor a 0.28 m. por paso y una altura máxima de 0.18 m. Las orillas de la grada no deben sobresalir mucho para evitar que los usuarios tropiecen. Todos los peldaños deben tener un mismo tamaño para de esta manera evitar cualquier tipo de inconveniente. (El Peruano, 2016)

Se habla de las puertas y las dimensiones que deben de seguir para ser de fácil acceso. Como se observa en la figura N° 8, las puertas como mínimo deben tener un ancho de 1.20 m. si es principal y 0.9 m. si es en el interior. Las dimensiones varían dependiendo del tipo de puerta, si son de doble hoja, batientes o giratorias. Si la puerta es de vidrio se debe marcar el piso para que pueda ser detectada. (El Peruano, 2016)



Fuente: El Peruano, 2016 nimo de una puerta interior

De igual manera se regula las dimensiones que deben tener las veredas, estas deben contar con una superficie antideslizante. Todo tipo de desnivel entre pista y vereda, debe ser mediante una rampa con el fin de lograr una ruta de acceso fácil y seguro.

Contarán con 3 módulos, cada uno de ellos con un ancho de 0.60m como mínimo, siendo 2 módulos usados para los peatones y el tercero para mobiliario. Se busca maximizar el espacio accesible en la vereda, colocando de manera ordenada los postes, cabinas telefónicas, áreas verdes, etc.

Se busca permitir el paso a la vez de una silla de ruedas y un peatón, según se representa en la figura N° 9, y se debe tener un espacio libre hasta los 2.10m por sobre la vereda para evitar cualquier accidente cuando la persona esté transitando por esta. (El Peruano, 2016)

Figura N° 9. Dimensionado de una vereda
Fuente: El Peruano, 2016



2.2.7. Sistema mecánico

Se les denomina sistemas mecánicos a aquellos que por medio de dispositivos o componentes permiten transformar y/o transmitir fuerzas o energías de una fuente generadora. Pueden ser simples, las cuales se usan comúnmente para realizar trabajos en los que la fuerza aplicada no sea demasiada, ejemplos de estos pueden ser la polea simple, la palanca, el polipasto o el torno; o por el contrario complejos, dependiendo del número de elementos que los compongan. Estos mecanismos emplean dos movimientos básicos, el movimiento giratorio, cuando el componente gira sobre su propio eje o el movimiento lineal, cuando se traslada siguiendo una línea recta, el resto de movimientos existentes provienen de la combinación de estos dos. (Mahecha, 2006)

Todos los mecanismos cuentan con tres elementos básicos como se muestra en la figura N° 10.

- Sistema motriz, este es el sistema de entrada el cual recibe la energía que será transformada o transmitida, un ejemplo sería el motor.
- Sistema transmisor, es quien modifica la energía obtenida o el movimiento que es dado por el sistema de entrada, un ejemplo vendría a ser los ejes de transmisión, el embrague, etc.

- Sistema receptor, es el sistema de salida, el cual realiza el trabajo con la energía que es proporcionada por el sistema trasmisor, es el objetivo de todo el sistema mecánico. (Lemir, 2018)

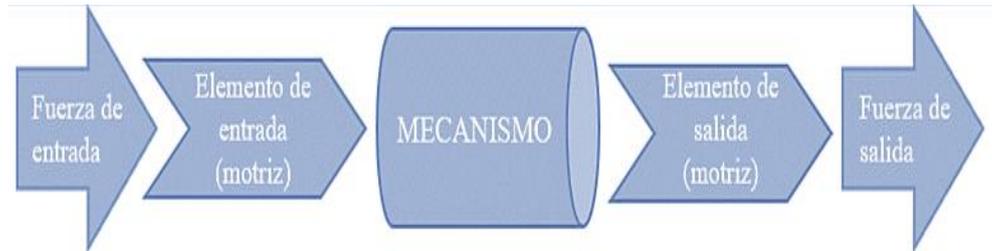


Figura N° 10. Sistema de transmisión
Fuente: Lemir, 2018

Los mecanismos se pueden clasificar principalmente en dos grupos, los sistemas de transmisión de movimiento y los sistemas de transformación de movimiento.

- Sistema de transmisión de movimiento, para que exista una transmisión directa, el sistema transmisor y el receptor deben tener el mismo tipo de movimiento, ya sea lineal o circular. Ejemplos de este sistema serían, el tornillo sin fin – corona, caja de engranajes, poleas y en la figura N° 11 se muestra la transmisión por cadena, la cual consta de 2 engranajes dentados, de los cuales uno es el que produce la fuerza motriz, siendo trasladada al otro engranaje por medio de la cadena, se puede reducir o aumentar la velocidad cambiando el número de dientes del engranaje secundario. La desventaja de este tipo de transmisión es que puede llegar a haber pérdidas de potencia entre los engranajes. (Marín, 2014)

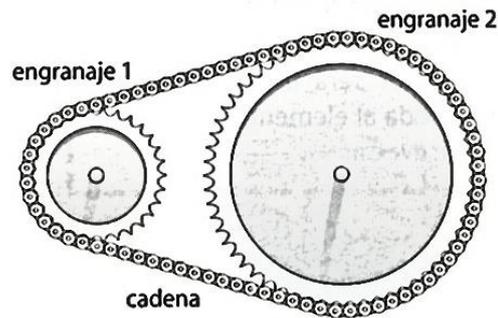


Figura N° 11. Sistema de transmisión de cadena
Fuente: Norton, 1992

- Sistema de transformación de movimiento, este caso se da cuando el sistema motriz y el de salida tienen movimientos distintos, ya sea circular a lineal o viceversa. Ejemplos de este sistema serían, biela – manivela, tornillo – tuerca, leva, piñón – cremallera. (Marín, 2014)

2.2.7.1. Condición de Grashof

Se le denomina a la relación que permite pronosticar la rotabilidad de un eslabonamiento de 4 barras dependiendo solo de las longitudes de estos. Existirá una rotación completa de un eslabón siempre y cuando la suma de la barra más larga con la más corta sea menor o igual que la suma de las demás barras como se grafica en la figura N° 12. (Norton, 1992)

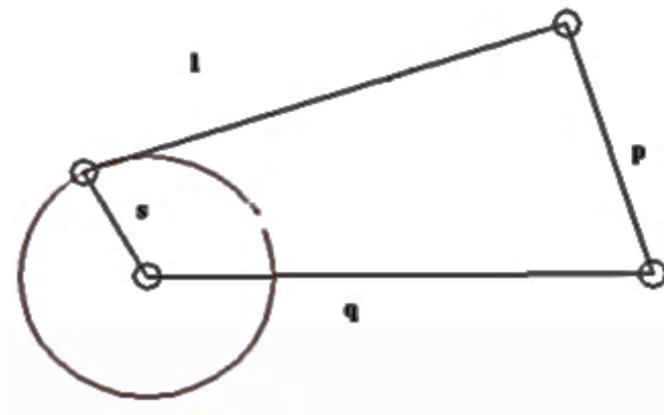
s = longitud de la barra más corta.

l = longitud de la barra más larga.

p = longitud de la barra opuesta a la más corta

q = longitud de la barra opuesta a la más larga.

$$s + l \leq p + q \quad (1)$$



Fuente: Norton, 1992

En la ecuación 1 se muestra la condición que deben satisfacer las 4 barras para que cumplan la condición Grashof. De igual manera si no se satisface esta condición, como se observa en la figura N° 13, ninguno de los eslabones podrá realizar una revolución completa, a esta condición se le denomina no Grashof. (Norton, 1992)

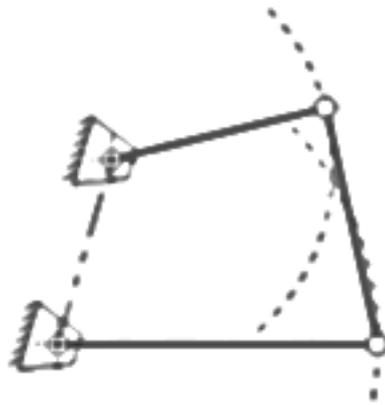


Figura N° 13. Condición no Grashof
Fuente: Norton, 1992

2.2.7.2. Modelamiento matemático

En el modelamiento matemático de cualquier sistema se requiere el uso de las fórmulas elementales de Newton. Empezando por la ley de la inercia, en la que un cuerpo sigue en reposo hasta que una fuerza externa rompa esta inercia. Luego la segunda ley, donde la fuerza es igual a la masa por aceleración y por último la tercera ley, donde por toda fuerza que es ejercida sobre un cuerpo, hay una reacción igual, pero en sentido opuesto. (Sears y Zemansky, 2013)

La ecuación 2 describe la primera ley de Newton, la cual habla que para que un cuerpo cambie su estado es necesario que se le aplique una fuerza, de no ser así, la sumatoria de sus fuerzas será nula.

$$\sum F = 0 \leftrightarrow \frac{dv}{dt} = 0 \quad (2)$$

La ecuación 3 representa la segunda ley de Newton, donde se explica como la fuerza que se aplica a un cuerpo es proporcional a su aceleración y a la masa de este.

$$F = m * a \quad (3)$$

La ecuación 4 nos muestra la representación matemática de la tercera ley de Newton, la cual explica que, para cada fuerza aplicada a un cuerpo, este ejercerá una fuerza de igual magnitud, pero en sentido opuesto.

$$F_{AB} = -F_{BA} \quad (4)$$

La realización de un diagrama de cuerpo libre (DCL) como en la figura N° 14 es de suma importancia, ya que por medio de las leyes de Newton se logra que el cuerpo esté en equilibrio, permitiendo resolver una variedad de problemas. (Sears y Zemansky, 2013)

Fr = F



Figura N° 14. Diagrama de cuerpo libre de una silla de ruedas
Fuente: Lopez, 2014

2.2.7.3. Programa de modelado 3D

El modelado 3D son las técnicas que nos permiten proyecto en tres dimensiones. Es el primer paso a realizarse antes de pasar a la construcción de algún diseño. Actualmente los programas nos permiten agregar materiales al diseño para realizar estudios de esfuerzos, térmicos, entre otros cálculos, simplificando la labor del diseñador. Existen una variedad de programas de modelado 3D, cada

uno con funciones o características que lo hacen único para ciertas funciones, entre los más conocidos se encuentran: (Forero, 2017)

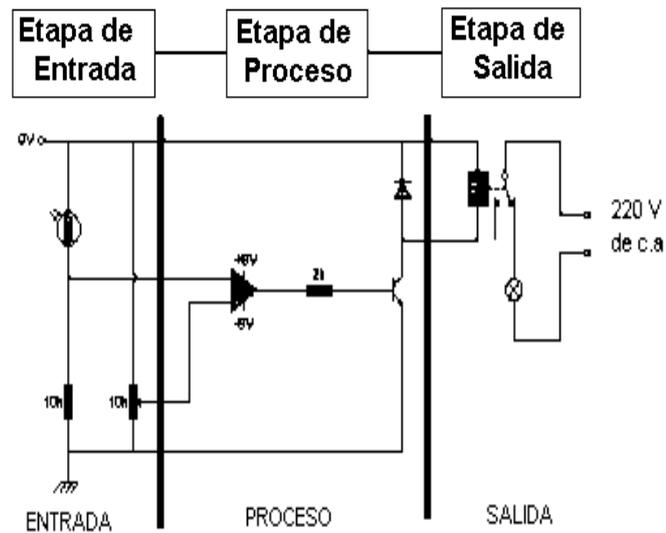
- Autocad 3D
- Fusion 360
- Inventor
- Solidworks
- Rhinoceros

En la presente tesis, para el modelado de la silla de ruedas se utilizó el inventor, el cual es un programa de diseño asistido por computadora que brinda una serie de herramientas y funciones, para el diseño 3D, modelado de la pieza, la simulación y la documentación. Pertenece a la familia de Autodesk por lo cual es compatible para trabajar en conjunto con los distintos programas de esta marca.

2.2.8. Sistema electrónico

Se define como el conjunto de elementos que trabajan intrínsecamente con el objetivo de obtener un resultado o salida deseado, para ello recibe entradas tanto digitales como analógicas. Se utilizan comúnmente en control y potencia. En la figura N° 15 se observa que se divide en tres etapas:

- Etapa de entradas, es toda la información captada del exterior, usualmente por medio de sensores, siendo transformada en señales de voltaje o corriente.
- Etapa de proceso, es donde se utiliza la información o señal obtenida por los sensores o transductores, las cuales serán transformadas o manipuladas para luego actuar sobre la salida.
- Etapa de salida, está conformada por todos los elementos sobre los que actúa el sistema, ellos transforman las señales de voltaje o corriente en señales físicamente utilizables. (García y Morales, 2013).



Fuente: Mandado y Mandado, 2008

Las señales tanto de entrada como de salida pueden ser variables, pudiendo ser tanto analógica como digital como se aprecia en la figura N° 16.

- Las variables analógicas son todas aquellas que pueden ser un número infinito dentro de dos límites. La mayoría de señales son de este tipo, como la presión, temperatura, etc.
- Las variables digitales son también llamadas discretas, ya que comprenden dos estados diferenciados por lo que se les denomina binarias. (Boylestad y Nashelsky, 2009)

Figura N° 16. Señal analógica y digital

Fuente: Boylestad y Nashelsky, 2009

2.2.8.1. Electrónica de potencia

La electrónica de potencia es utilizada cuando se requiere activar componentes que necesitan una corriente elevada. Esta etapa une la electricidad con la electrónica, ya que permite que circuitos electrónicos puedan controlar corrientes y voltajes significativos. En la figura N° 17 se esquematiza la estructura de un circuito que presenta una etapa de potencia. (Mandado y Mandado, 2008)

Figura N° 17. Circuito de potencia
Fuente: Boylestad y Nashelsky, 2009

2.2.8.2. Diodo

Es un semiconductor que consta de dos terminales, que tiene por característica principal que permite circular la corriente en solo un sentido. Los más usados son los P-N, pudiendo ser polarizados de manera directa o inversa según lo requiera el circuito. Existen distintos tipos de diodos, los Zener, los de avalancha, los emisores de luz, los térmicos, etc.

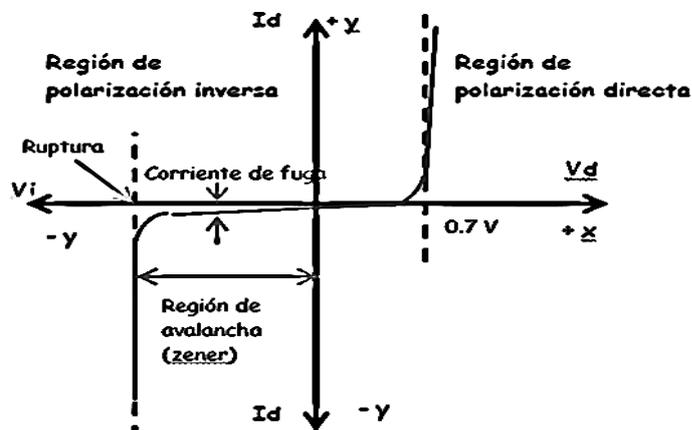


Figura N° 18. Curva característica de un diodo
Fuente: Lizárraga, 2014

En la figura N° 18 se muestra la gráfica que rige el funcionamiento de los diodos, mostrando cuál es su zona de reposo, cuando son polarizados de manera directa, al llegar a 0,7 v este permite el paso de la corriente, y de manera inversa tienen un punto de ruptura que es donde trabajan los diodos Zener. (Morales y García, 2013)

2.2.8.3. Transistor

Es un semiconductor comúnmente utilizado como amplificador o interruptor de señales, dependiendo sea el caso. Debido a que la potencia que sale puede ser más grande que la utilizada para controlar, puede amplificar una señal. Consta de tres partes, la base, la cual recibe la señal de control, el colector y emisor que es por donde pasa la salida. Otra función que se le da aparte de amplificar es como un interruptor, ya que si no hay corriente en la base entonces el interruptor estará abierto, en cambio, si hay una corriente en la base, funcionará como un interruptor cerrado. En la figura N° 19 se observan los distintos tipos de transistores. (Morales y García, 2013)

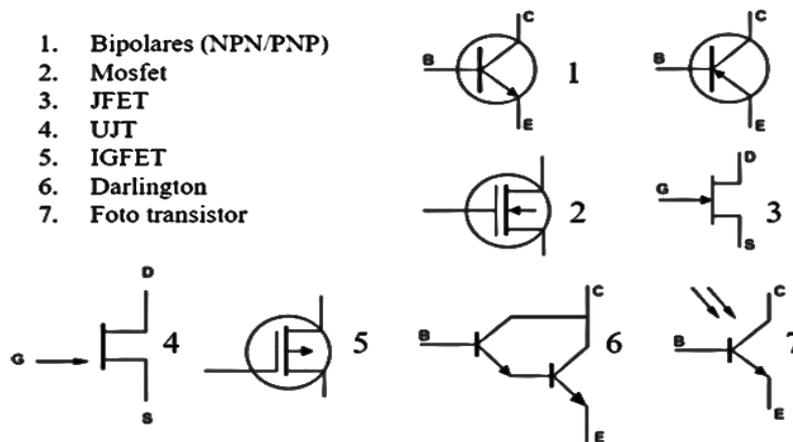


Figura N° 19. Tipos de transistores
 Fuente: My Electronic, 2016

2.2.8.4. Sensores

Es un dispositivo que permite medir una señal física del medio y la convierte en otra variable, siendo la más común una señal eléctrica. Como se observa en la tabla 3, se puede medir temperatura, velocidad, presión, nivel, entre otros, dependiendo de lo necesitado se puede usar

un sensor que mida una determinada magnitud física, por distintos medios, ya sea resistivo, inductivo o capacitivo. Los sensores vienen a ser los sentidos de los sistemas de control, ya que dan a conocer lo que está pasando en el entorno y da esta información al controlador para que este realice una acción. Los más conocidos son:

- Termistores
- Humistor
- Efecto Doppler
- Galgas
- Piezoeléctricos

		Magnitud				
		Posición				
Tabla 3. Tipos de sensor es y métod os de detecc ión	Sensores	Distancia	Temperatura	Presión	Fuerza	Humedad
		Desplazamiento				
		Potenciómetros	RTD	Potenciómetro +	Galgas	Humistor
	Resistivo	Galgas	Termistores	tubo Bourdon		
		Magnetorresistencia				
	Capacitivos	Condensador		Condensador		Galgas
		diferencial		variable + diafragma	capacitivas	variable
	Inductivos y electro- P magnéticos o	LVDT		LVDT +	Magneto-	
		Corrientes Foucault		diafragma	elástico	
		Resolver		Reluctancia	LVDT +	
		Inductosym		variable + diafragma	célula carga	
	Generadores		Termopares	Piezoeléctricos		
				Piroeléctricos		
	Digitales	Codificadores	Osciladores	Codificador +		SAW
		incrementales y absolutos	de cuarzo	tubo Bourdon		
Uniones p-n o	Fotoeléctricos	Diodo				
		Transistor				
		Convertidores				
Ultrasonidos	Reflexión					

e los sensores de posición, como los potenciómetros es posible

detectar la ubicación del objeto que se desea medir, mediante una variación en la resistencia del sensor es posible registrar esta magnitud, de igual manera usando los sensores de ultrasonido es posible detectar la distancia que se tiene de un objeto por medio de la reflexión, midiendo el tiempo que demora en regresar una onda que emite el sensor, y mediante una fórmula es posible realizar la medición. Estos sensores serán utilizados durante el diseño de esta tesis. (Pallás, 2005)

2.2.9. Sistema de control

Es un sistema conformado por una serie de elementos electrónicos, eléctricos, mecánicos, hidráulicos, neumáticos, etc. Tiene como función principal el controlar un parámetro físico el cual registrará el comportamiento de una máquina o proceso. Se basa principalmente en las variables externas al sistema a controlar. Se conforma principalmente por una variable de entrada, transmisor, un controlador y un actuador. En la figura N° 20 se observa la representación de un sistema de control. (Kuo, 1996)

- Variable de entrada, es principalmente una señal de error que resulta de la diferencia entre la señal de consigna y la señal del transmisor.
- Transmisor, es el sistema que se encarga de adquirir la información dada por el sensor, acondicionarla y la compara con la señal de consigna. Se encuentran en sistemas de lazo cerrado.
- Controlador, es quien se encarga de tomar una decisión en función de la variable de entrada, la modifica y la controla para que sea la idónea pedida por el sistema.
- Actuador, es el elemento final del sistema, es quien recibe la señal del controlador y provoca físicamente la dinámica del sistema completo.

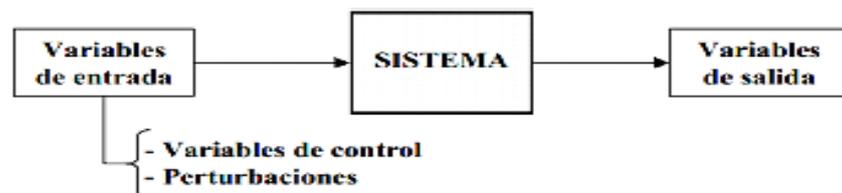


Figura N° 20. Representación de un sistema de control
Fuente: Bedón, 2017

Los sistemas de control se clasifican en sistemas de lazo abierto, como la figura N° 21, los cuales no son automáticos y los de lazo cerrado, como la figura N° 22, los cuales cuentan con retroalimentación.

2.2.9.1. Sistema de control de lazo abierto

Este sistema funciona de manera independiente de la salida, es decir que la salida no afecta al control del sistema, por lo cual únicamente trabaja con los datos de entrada. Para usar este lazo es necesario conocer perfectamente el proceso ya que es sensible a perturbaciones. (Angulo y Raya, 2004)

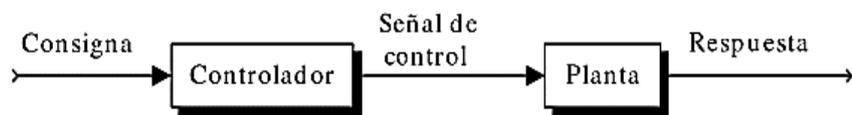


Figura N° 21. Sistema de control en lazo abierto
Fuente: Angulo y Raya, 2004

2.2.9.2. Sistema de control de lazo cerrado

También llamada control feedback, en este sistema el control no depende solo de la entrada, sino también de la salida, con ello se logra un control más preciso del proceso. (Angulo y Raya, 2004)

Figura N° 22. Sistema de control en lazo cerrado
Fuente: Angulo y Raya, 2004

2.2.9.3. Función de transferencia

En el estudio de todo sistema de control, una representación matemática es importante, la cual muestra el funcionamiento o respuesta que tendrá el sistema. (Angulo y Raya, 2004)

La ecuación 5 describe la ecuación de transferencia, la cual es el cociente de las transformadas de Laplace de las señales de salida y entrada.

$$G(s) = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0} \quad (5)$$

2.2.9.4. Ingeniería en los sistemas de control

Todo problema que será resuelto por un sistema de control se trata por medio de dos pasos principales:

- El análisis, es la investigación de las características del sistema que existe.
- Por medio del diseño se escogen los componentes que se utilizarán para el sistema de control.

Los problemas de los sistemas de control pueden ser representados por medio de diagramas de bloques o gráficas en flujo de análisis. Estas son representaciones gráficas que permiten sintetizar todo el sistema esquemáticamente.

Por otro lado, las ecuaciones se emplean siempre que se quiera una descripción detallada, por ello cada sistema debe ser representado por sus ecuaciones matemáticas. (Bedón, 2017)

2.2.9.5. Controladores

Los controladores son equipos que reciben una señal del dispositivo de entrada, la compara con el valor deseado y basado en esto, envía una señal al dispositivo de salida. Es quien realiza el procesamiento de los datos y dependiendo de eso, toma una decisión. Existen una variedad de controladores, los cuales se diferencian por su número de entradas y salidas, su potencia de procesamiento, su precio o el lenguaje de programación que utilizan. Entre los principales se encuentran: (Martínez, 2013)

- PLC (Programmable Logic Controller)

- DSP (Digital Signal Processor)
- PIC (Programmable Integrated Circuited)
- Arduino

En la presente tesis, el controlador que se usará será el Arduino, el cual es una plataforma electrónica de código abierto, con hardware y software libre, cuenta con un microcontrolador de la familia Atmel, en los cuales se pueden grabar instrucciones por medio del entorno Arduino IDE, las instrucciones nos permiten hacer programas que trabajan en conjunto con la placa. En la Figura N° 23 se aprecian los arduinos más utilizados, como también sus características más importantes.

Figura N° 23. Tarjetas Arduino

Fuente: Arduino, 2018

A la tarjeta se le pueden conectar dispositivos de entrada, tanto digitales como analógicos, los cuales enviarán información, la cual será procesada por la placa y enviarán una orden a los dispositivos conectados a las salidas, dependiendo de lo que le indique la programación. Los periféricos de entrada pueden ser sensores, pulsadores, teclados, etc., y los de salida pueden ser pantallas, motores, leds, etc. (Arduino, 2018)

2.2.9.6. Tipos de control aplicados a sillas de ruedas.

- El control de la velocidad, es el tipo de control más aplicado en el diseño de sillas de ruedas, el comando para accionar el motor lo da un joystick o algún dispositivo para que luego un controlador

regule el voltaje de alimentación de los motores de manera proporcional al comando.

- El control de la suspensión, ya que, de no contar con este control, el usuario estaría expuesto a múltiples golpes traumáticos y vibraciones que podrían afectar su salud, empeorándola. Para ello se busca integrar un mecanismo de suspensión al diseño.
- El control de la estabilidad, es de suma importancia, ya que busca garantizar que la silla de ruedas sea estable, de manera que se puedan evitar caídas o volcaduras.

2.3. Definición de términos básicos

A continuación, se mencionan algunos términos básicos relacionados con la investigación y que son de gran relevancia:

- Silla de ruedas: es un equipo que sirve de ayuda para personas que sufren de algún tipo de discapacidad que les impida movilizar las extremidades inferiores, permitiéndoles poder desplazarse. Consta de una silla a la cual se le acoplan de tres a cuatro ruedas.
- Paraplejia: es la enfermedad en la cual la parte inferior del cuerpo queda paralizada y carece de funcionalidad. Usualmente producto de una lesión en la médula espinal o enfermedad congénita.
- Multifuncional: se dice de algo, ya sea una persona, equipo, sistema o herramienta que tenga más de un uso o aplicación.
- Accesibilidad: es el derecho que tiene la persona de poder ingresar, transitar y permanecer en un lugar, de manera segura y confortable.
- Bipedestación: es la posición erguida que toma una persona, la capacidad de pararse y desplazarse sobre las dos extremidades inferiores.
- Sistema mecánico: se conforma principalmente por una serie de componentes o elementos que transforman o transmiten el movimiento desde la fuente que los genera, transformando distintos tipos de energía.
- Sistema eléctrico: se le denomina al recorrido que tiene la electricidad a través del conductor, desde la fuente de energía hasta su lugar de consumo. es el recorrido de la electricidad a través de un conductor, desde la fuente de energía hasta su lugar de consumo.

- Sistema de control: este sistema se caracteriza por la presencia de varios elementos que trabajan en conjunto para influir en el funcionamiento del sistema.
- Diseño: es el proceso previo a la obtención de la solución. Abarcando la función de un objeto y la interacción que tiene con el usuario. Los aspectos a tener en cuenta son la funcionalidad, la operatividad, la eficiencia y la vida útil del objeto del diseño.
- Mejorar: significa refinar, perfeccionar el aspecto exterior de un equipo o producto para que pueda pasar de un estado regular o bueno a otro muy superior.

CAPÍTULO III: DISEÑO DEL SISTEMA

En este capítulo se describen todas las etapas de diseño mecánico, el proceso de diseño, características y los aspectos básicos a considerar. Mostrando la elección de la forma correcta que debe tener la silla, como también el cálculo de fuerzas y estabilidad. Además, se realiza el diseño del sistema eléctrico y electrónico, la descripción de los componentes a utilizarse, el cálculo del motor y actuador lineal. Finalmente, se elabora el diseño del sistema de control, el cual describe la programación que se realizó, como también las condiciones de control que se tomaron en cuenta.

3.1. Requerimientos del sistema

Se especifica los requerimientos del sistema en la tabla N° 4 y en la lista.

Tabla 4.

Requerimientos	Requerimientos del sistema
Peso máximo de usuario	90 kg
Subir pendiente máxima	12%
Peso máximo de la silla	90 kg
Altura promedio del usuario	1.68 m
Altura máxima de escalones	18 cm
Mínima autonomía	5 km
Velocidad máxima	5.4 Km/h

Fuente: Elaboración propia

- Tanto el asiento como el control de mando deben ser ergonómicos.
- Todo el resto de sistemas, tanto eléctrico como de control deben estar ubicados de manera que no interfieran con el usuario en su uso.
- Será diseñado para su uso en espacios tanto interiores como exteriores.
- El material utilizado para la estructura debe ser liviano, para reducir el peso final de la silla, como también tener una gran resistencia ante esfuerzos y una alta durabilidad al paso del tiempo.
- Tanto el asiento como el respaldar deben ser poder ser ajustados por medio de actuadores.

- Debe contar con motores para el avance, giro y retroceso de la silla.
- Sensores para detectar si el usuario está correctamente sentado.
- Botón de emergencia para detener inmediatamente la silla de ruedas.
- Debe contar con un control de avance, retroceso y frenado del sistema.
- Debe lograr la bipedestación del paciente, tomando en cuenta la estabilidad.
- Debe poder movilizarse a la velocidad máxima de 5.4 Km/h.
- Mostrar el nivel de batería restante.

En la figura N° 24 se muestra la representación gráfica del funcionamiento interno del diseño. Los diseños que se hicieron y las simulaciones que se necesitaron.

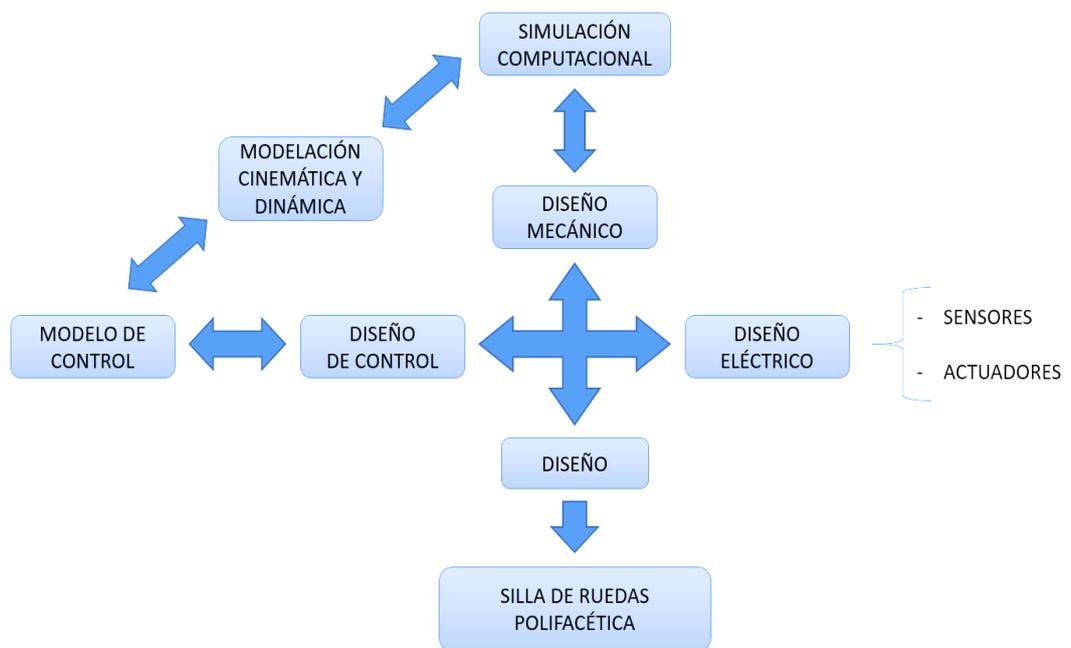


Figura N° 24. Diseño y pruebas necesarias del sistema
Fuente: Elaboración propia

3.2. Diseño mecánico

3.2.1 Selección del material

El material a utilizar para el diseño de la estructura mecánica de la silla de rueda es de suma importancia ya que de no elegirse bien el producto final no sería el adecuado, ya que, si se elige un material muy pesado, el peso general de la silla se elevaría por lo tanto se necesitaría motores más

potentes para moverlo, lo que elevaría el precio, de igual manera si se elige un material poco resistente, el chasis podría sufrir una falla estructural

Tabla 5. Comparación de materiales ocasionando un accidente. Debido a ello

l	Nombres	Accesibilidad	Durabilidad	Resistencia	Peso	Precio
o	Aluminio	Alta	Alta	Alta	Liviano	Caro
s	Acero	Alta	Media	Alta	Muy Pesado	Medio
	Titanio	Alta	Alta	Alta	Muy Liviano	Muy Caro
n	Fibra de					
a	carbono	Baja	Baja	Baja	Muy Liviano	Muy Caro

eriales a considerarse son el aluminio, el titanio, el acero y la fibra de carbono; ya que son accesibles y tienen gran demanda en el mercado peruano, además de ser adaptables para cualquier trabajo.

Fuente: Elaboración propia

Por ello, como se observa en la tabla 5, debido a la alta durabilidad que posee, resistencia a las vibraciones, es liviano y fácil de trabajar, aspectos muy importantes a considerar debido a que la silla de ruedas en su desplazamiento requiere de estas cualidades, dado que muchas veces en el uso diario se necesitarán. Tomando en consideración todo ello se eligió al aluminio 6061 como material para el diseño (ver anexo 1), ya que nos da una buena relación entre las propiedades que brinda y su precio.

3.2.2 Estructura de la silla de ruedas

La estructura viene a ser todo el sistema que soporta los componentes que trabajan en conjunto para poder realizar el desplazamiento autónomo y la función de bipedestación de la silla de ruedas. Debe ser diseñada de tal manera que soporte la carga del usuario, de los componentes sin sufrir

ninguna falla estructural y poder soportar los esfuerzos producto de las funciones que ejecutará. Para la elección de la estructura idónea de la silla de ruedas que sea capaz de subir veredas y lograr la bipedestación se debieron realizar pruebas con distintas alternativas, cada uno con sus características únicas con el fin de elegir el que nos brinde más beneficios. Para ello se usó el software Working Model 2d, el cual nos permite simular movimientos. A continuación, se muestran las alternativas que se optó.

- Alternativa N° 1

La primera alternativa que se evaluó se muestra en la figura N° 25 ya que según lo investigado se encontró que el diseño de las ruedas era útil para las funciones que se requerían, pero en la simulación se mostró que tenía muchas deficiencias, siendo la principal, la inestabilidad al momento de subir el escalón, ya que el centro de gravedad se eleva de más y se encuentra muy atrás, lo que podría llegar a ocasionar una volcadura, de igual manera, por lo mismo de la forma de las ruedas, el recorrido se vuelve muy accidentado. Otro factor negativo a considerar es la potencia elevada que requiere para poder ascender por el escalón, dado que la forma en cruz necesita de una mayor fuerza para poder subir.



Figura N° 25. Gráfica de la alternativa N° 1 utilizando el Working Model
Fuente: Elaboración propia

- Alternativa N° 2

La segunda alternativa que se evaluó se muestra en la figura N° 26, se cumplió con un bajo torque del motor, lo cual hacía que no fuera necesario un motor muy potente, por lo consiguiente reducía el costo; y era más rápido para subir y bajar los escalones, pero el principal inconveniente era que al tener las ruedas tan grandes, elevaba la estructura demasiado, lo cual ocasionaba que el centro de gravedad estuviera muy arriba, causando inestabilidad tanto en la subida como en la bajada, pudiendo haber algún accidente debido a ello.

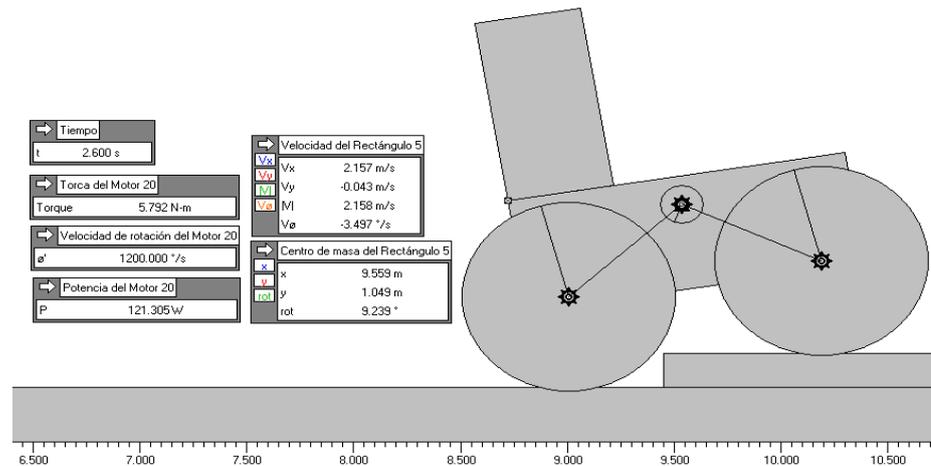


Figura N° 26. Gráfica de la alternativa N° 2 utilizando el Working Model
Fuente: Elaboración propia

- Alternativa N° 3

La tercera alternativa que se evaluó se muestra en la figura N° 27, consta de dos pares de ruedas delanteras y traseras, con diámetro de 45cm y separadas entre ellas. Lo que se logró observar es que la potencia al momento de subir el escalón no se eleva demasiado y de igual manera el centro de gravedad no bajo y casi centrado, lo que daría una mayor estabilidad al momento de funcionar.

	ALTERNATIVA N° 1	ALTERNATIVA N° 2	ALTERNATIVA N° 3
Torque (N-m)	62.7	5.8	4.3
Potencia (W)	328.4	121.3	22.724
Centro de gravedad X (m)	9.6	9.6	9.6
Centro de gravedad Y (m)	9.6	9.6	9.6

Figura N° 27. Gráfica de la alternativa N° 3 utilizando el Working Model .65
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 6 se muestra la comparación de las tres alternativas que se tomaron en cuenta, tomando los parámetros de torque y potencia para evaluar los requerimientos del motor y el centro de gravedad en los ejes X e Y para verificar la estabilidad.

Tabla 6. Comparación entre las alternativas

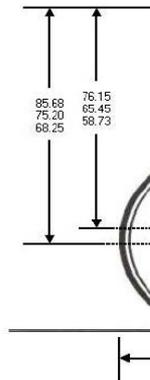
Teniendo en cuenta las anteriores opciones de la estructura, se escogió la tercera alternativa debido a que cumple con los requerimientos que se necesitaban para el funcionamiento idóneo de la silla de ruedas., evaluando los parámetros mostrados en la tabla

Fuente: Elaboración propia

6.

3.2.3 Diseño de la estructura de la silla de ruedas

La silla de ruedas diseñada permite al usuario tener una mayor autonomía e independencia. Por ello se realizó el diseño siguiendo las medidas estándares que debe tener una silla de ruedas, como se observa en la figura N° 28, basándose en la altura y peso promedio de la persona.



La estructura debe ser capaz de soportar a una persona de 90 Kg. aproximadamente, ya que a este peso se le debe aumentar el peso del propio sistema en sí. En la figura N° 29 se presenta el diseño completo de la silla de ruedas (ver apéndice A), teniendo cada vista con sus respectivas medidas, teniendo una altura total de 142.8 cm, un largo de 113.6 cm y un ancho de 71.8 cm. Todo el diseño de la silla de ruedas consta de tres partes principalmente, las cuales son: La estructura base, los accesorios y el sistema electromecánico.

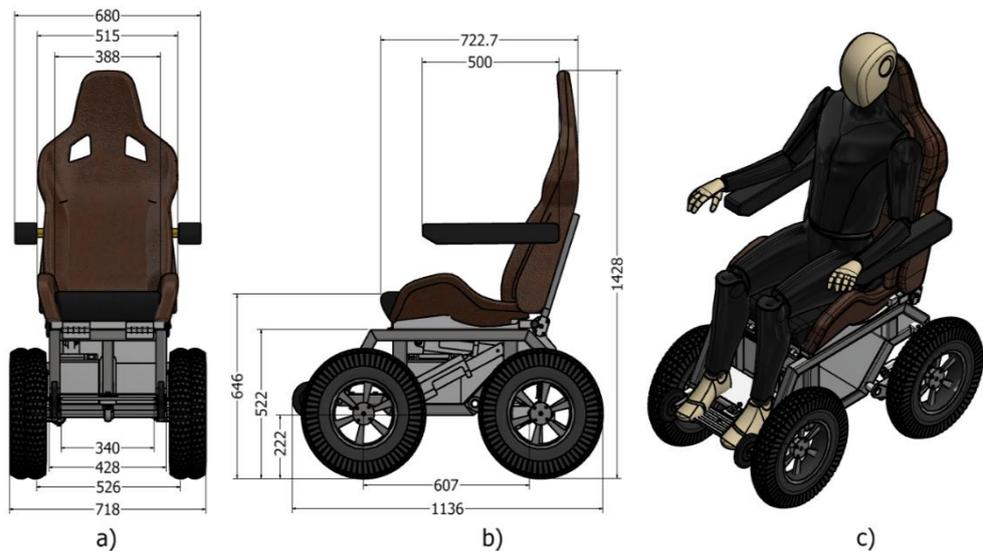


Figura N° 29. Vistas de la Silla de ruedas. a) frontal b) lateral c) isométrica
Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la figura N° 30, se muestra la vista explosionada, la cual es una vista en el que se descompone el ensamble en sub ensambles, de esta forma se busca separar el diseño en tres principales subgrupos: el grupo superior, estando constituida por el asiento, el grupo base, el cual consta de la estructura metálica, los amortiguadores y las ruedas guías; y el grupo inferior, que incluye las ruedas y el sistema de transmisión.

Tabla 7. Subgrupos de la silla de ruedas en vista explosionada

Ítem	Cantidad	Nombre del grupo
1	1	Grupo superior
2	1	Grupo base
3	1	Grupo inferior

Fuente: Elaboración propia

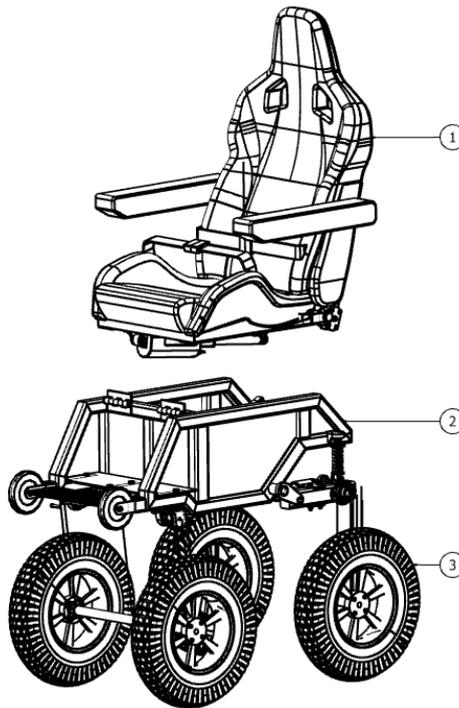


Figura N° 30. Vista explosionada de la silla de ruedas multifuncional

Fuente: Elaboración propia

De la figura N° 30 y la tabla 7 se separa en 3 subgrupos el diseño de la silla, a continuación, se pasará a describir cada uno de los grupos, las partes que lo forman y características de cada una.

- Grupo superior

Conformado por el asiento que viene a ser un complemento de suma importancia, ya que el usuario pasará sentado en él por largos periodos de tiempo, por ello la forma, el material es de suma importancia para garantizar la comodidad de la persona, proporcionando una buena postura y estabilidad durante el movimiento. Como se observa en la figura N° 31 se requiere que el respaldo del asiento pueda variar su inclinación para que pueda ser adecuado al gusto del usuario; que el material sea cómodo, acolchado y no debe ser resbaladizo. Para ello se empleará un asiento de automóvil deportivo adaptado para silla de ruedas (ver apéndice B), ya que este tipo de asientos están diseñados para lograr un gran confort y sujeción del usuario durante todo su uso, se le acoplaron un reposabrazos siguiendo la altura adecuada. De igual manera para dar mayor seguridad a la persona se le acoplaron un par de cinturones de seguridad, los cuales cumplen la función de mantener al usuario estable.

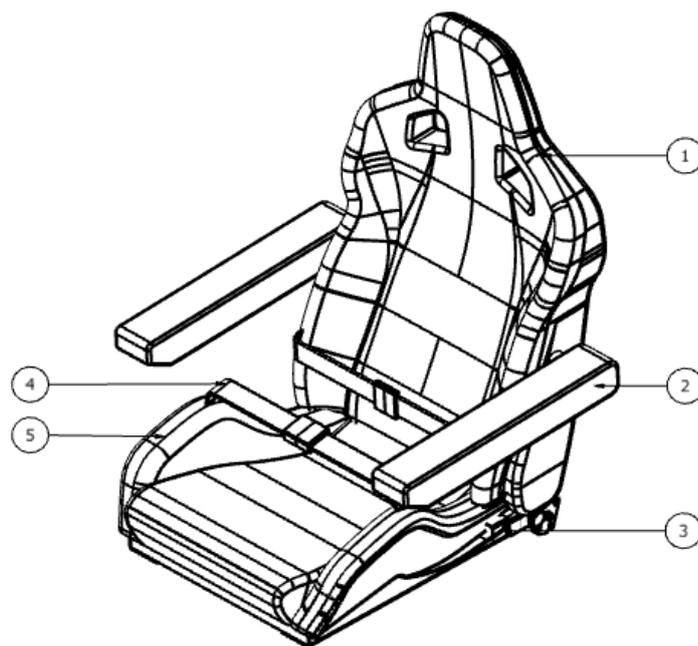


Figura N° 31. Partes del grupo superior de la silla de ruedas
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 8 se muestra el nombre de las partes que conforman el grupo superior de la silla de ruedas, está conformado principalmente por el asiento y el respaldar, los cuales darán el soporte al usuario.

Ítem	Cantidad	Nombre de la parte
1	1	Respaldar
2	2	Reposabrazos
3	2	Soporte de asiento
4	2	Cinturón de seguridad
5	1	Asiento

Tabla 8. Nombre de las partes del grupo superior de la silla de ruedas

Fuente: Elaboración propia

- Grupo base

Es la parte fundamental de toda la silla de ruedas, ya que es la que soportará tanto al usuario como a todos los demás componentes de la silla de rueda, debe ser capaz de resistir a todas las fuerzas que recaigan sobre él, como también a las vibraciones producidas por el motor como también por el terrero y los impactos. Proporciona la rigidez y estabilidad que lograrán un desempeño idóneo del sistema. En la figura N° 32 se puede observar la vista explosionada del grupo base

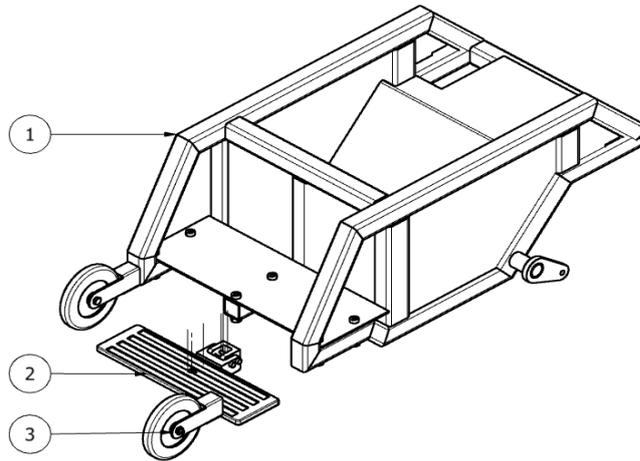


Figura N° 32. Vista explosionada del grupo base
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 9 se nombran sus partes, está constituida por la estructura metálica, el reposapiés, las ruedas guías y los soportes de los demás componentes electromecánicos.

Tabla 9. Nombre de las partes del grupo base en vista explosionada

Ítem	Cantidad	Nombre de la parte
1	1	Estructura metálica
2	1	Reposapiés
3	2	Ruedas guías

Fuente: Elaboración propia

La estructura metálica (ver apéndice C) que se utilizará en este diseño es la que se aprecia en la figura N° 33, donde se puede observar las distintas vistas con sus respectivas medidas, está elaborada con perfiles estructurales cuadrados de 1 ½” (ver anexo 2) y perfiles rectangulares de 1 ½” x 2” de aluminio 6061 (ver anexo 3), con lo cual se busca reducir el peso total del sistema; perfiles planos de 3mm de grosor, los cuales se encargarán de proteger todos los componentes electromecánicos que constituyan la silla de ruedas del exterior.



Figura N° 33. Vista estructura base. a) frontal b) lateral c) isométrica

Fuente: Elaboración propia

El reposapiés está constituido por una placa rectangular, la cual está unida a un soporte, que se encuentra acoplado a la estructura base (ver apéndice D). El reposapiés permite el bajar la placa rectangular cuando sea necesario para un fácil posicionamiento del usuario. El reposapiés que se diseñó es de gran tamaño para darle el espacio suficiente de poder acomodarse al usuario como él desee. Como se observa en la figura N° 34, se muestra la vista explosionada del reposapiés en el cual se aprecia el mecanismo de bisagra con el que funciona, este mecanismo ayudará a la hora de que el usuario se posicione en la silla ya que este cumple la función de dejar caer el reposapiés de su posición, lo cual otorgará a la persona más espacio para poder acomodarse en su asiento.

Figura N° 34. Vista Explosionada del reposapiés

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 10 se nombran cada una de las partes que conforman el reposapiés, desde la base del reposapiés que es la parte principal, hasta el soporte, que sirve de unión entre el reposapiés y la estructura metálica de la silla de ruedas por medio de un acople.

Tabla 10. Nombre de las partes del reposapiés en vista explosionada

Ítem	Cantidad	Nombre de la parte
1	1	Acople de reposapiés
2	1	Soporte de reposapiés
3	1	Base reposapiés

Fuente: Elaboración propia

También cuenta con un par de ruedas pequeñas las cuales son las guías, estas están hechas de plástico, para que sean duras y permitan servir de soporte en el ascenso y descenso de la silla de ruedas por las veredas. Es de 5" de diámetro externo, cuya función es dar una estabilidad extra al sistema (ver apéndice E). Estas ruedas estarán acopladas a la estructura base por medio de unos soportes soldados. Se puede observar en la figura N° 35 como está conformada. En las distintas vistas se observa las medidas que tendrá, siendo una rueda de plástico rígida de 12.7 cm.

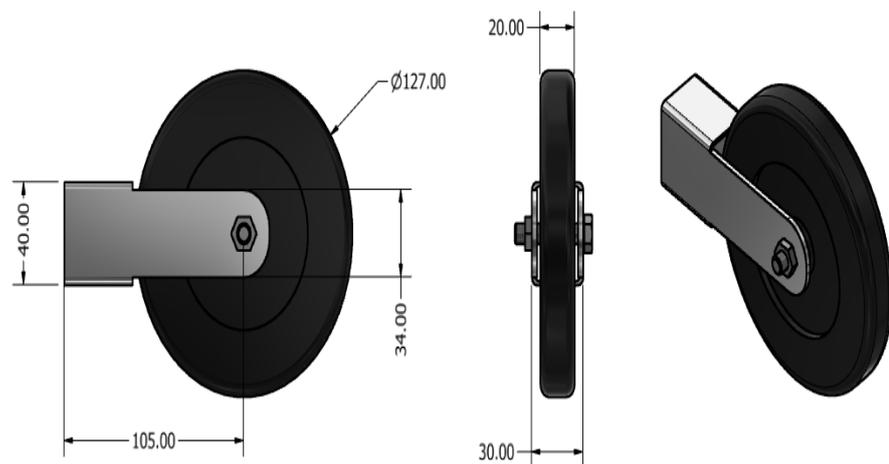


Figura N° 35. Vista ruedas guías a) lateral b) frontal c) isométrica

Fuente: Elaboración propia

- Grupo inferior

El sistema cuenta con 4 ruedas principales, las traseras, las cuales son las motrices y las delanteras que son ruedas libres (ver apéndice F).

Ambas ruedas motrices cuentan con su motor independiente, lo cual permite controlar la dirección mediante el cambio de velocidad entre motores y así evitar implementar un sistema de dirección, para de esta forma simplificar el diseño del sistema (ver apéndice G). Como se observa en la figura N° 36, las ruedas delanteras están ancladas a la estructura por medio de chumaceras, permitiendo un libre giro. Las ruedas traseras cuentan aparte con un sistema de suspensión independiente, con lo cual se logrará reducir los impactos, de esta forma pudiendo reducir daños en el sistema electromecánico y de igual manera al usuario, permitiendo un recorrido más suave. También cuentan con dos ruedas extras, las cuales sirven como guía y soporte al momento de ascender y descender por las veredas, para evitar que la silla pierda estabilidad pudiendo producir una caída y pudiendo lesionar al usuario.

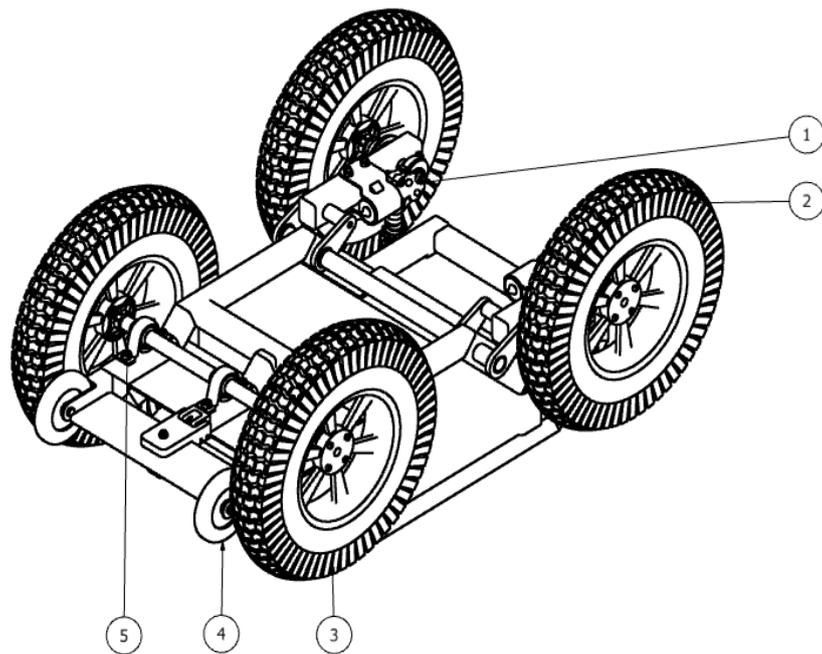


Figura N° 36. Vista base del ensamblaje de las ruedas
Fuente: Elaboración propia

Las partes que conforman este grupo están nombradas en la tabla 11. Siendo las principales partes las ruedas, tanto las delanteras como las traseras, ya que estas últimas son las motrices y aparte cuentan con un sistema de suspensión para reducir los golpes durante el uso de la silla.

Tabla 11. Nombre de las Partes del ensamble de ruedas

Ítem	Cantidad	Nombre de la parte
1	2	Sistema de suspensión
2	2	Rueda motriz
3	2	Rueda delantera
4	2	Ruedas guía
5	3	Chumacera

Fuente: Elaboración propia

El sistema de la silla de ruedas es de tracción trasera, lo que quiere decir que la fuerza motriz es generada por las ruedas traseras, producido por motores acoplados a estas (ver apéndice H). Cada rueda motriz cuenta con su sistema de suspensión independiente. Los motores están acoplados a las ruedas de manera directa, permitiendo que el torque del motor pase completamente a las ruedas, lo cual es necesario para sistemas que requieren mover grandes cargas. En la figura N° 37 se muestra la vista explosionada de las ruedas motrices.

Figura N° 37. Vista explosionada de la rueda
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 12 se detallan los nombres de cada una de sus partes de la rueda motriz. Desde las llantes, el aro y los soportes del motor.

Tabla 12. Partes de la rueda motriz en vista explosionada

Ítem	Cantidad	Nombre de la parte
1	4	Rueda
2	4	Aro
3	4	Acople rueda
4	2	Chumacera
5	2	Brazo de suspensión
6	2	Eje trasero
7	2	Motor
8	2	Soporte motor

Fuente: Elaboración propia

Las ruedas son las que producen la fuerza motriz al sistema, permitiendo que se pueda trasladar la silla. En el sistema se utilizan 4 ruedas, 2 de las cuáles serán las motrices y las otras dos libres. Se utilizaron ruedas neumáticas de aire, ya que estas absorben mejor los impactos y por lo tanto dar una mayor comodidad al usuario. Las especificaciones de las ruedas se pueden observar en la tabla N° 13.

Tabla 13. Especificaciones de las ruedas

Especificaciones	Valor
Diámetro Exterior	16 in
Presión	30 PSI
Capacidad de carga	130 kg

Fuente: Elaboración propia

En la figura N° 38 se observa el sólido en 3D que se realizó en el software inventor, el material de las ruedas será el caucho ya que permite absorber los impactos, para lograr un recorrido cómodo para el usuario, y que sean más duraderos.



Figura N° 38. Rueda neumática de 16" utilizando inventor

Fuente: Elaboración propia

3.2.4 Estructura funciones

de

La función principal con la que cuenta la silla de ruedas es la posición de bipedestación, la cual cuenta con 2 movimientos principales. Girar el espaldar y girar el asiento.

- Girar el espaldar, es el movimiento realizado con la ayuda de un actuador lineal. Este movimiento se realiza por medio de una rotación del espaldar con respecto a un punto de apoyo del asiento. Este movimiento es necesario para realizar la posición de bipedestación, como también para poder reclinar el espaldar a gusto del usuario.
- Girar el asiento, este es el movimiento de asiento con respecto a un punto de apoyo en la estructura principal. Este giro es realizado por medio de un actuador lineal. Aunque al igual que el giro del respaldar también servirá para acomodar el nivel del asiento según el gusto del usuario.

Figura N° 39. Funcionalidades. a) Posición inicial b) Bipedestación c) Ascenso

Fuente: Elaboración propia

La silla de ruedas cuenta con tres posiciones o funciones principales como se observa en la figura N° 39, la posición inicial, la cual es el estado base de la silla, en la cual esta se puede desplazar libremente con la autonomía que permitan las baterías y controlado por el mismo usuario. La segunda posición es la bipedestación, esta posición se logra al activarse un par de actuadores lineales, los cuales al moverse de manera sincronizada lograrán posicionar al paciente en vertical, posición la cual es beneficiosa en gran medida para la persona, ya que logra una mejor circulación y evitar la aparición de yagas; la última función principal sería la de ascenso, la cual consiste en que la silla de ruedas permitirá al usuario ascender por veredas y escalones de manera fácil y segura, pudiendo subir hasta veredas de 18cm, medida la cual es reglamentaria en el Perú.

3.2.5 Prueba de esfuerzos del sistema

Para realizar la prueba de esfuerzos es necesario conocer la carga máxima que soportará el sistema, para ello se determinó el peso total de todos los componentes y del usuario. Este total que se observa en la tabla 5 será la carga que deberá soportar la estructura.

$$PT = PE + PU + PB + PC + PM \quad (6)$$

Tabla 14. Tabla de cálculo del peso total del sistema

	Significado	Valor	Unidad
PE	Peso de la estructura	784	N
PU	Peso del usuario	882	N
PB	Peso de las baterías	127.4	N
PC	Peso de los componentes	9.81	N
PM	Peso de los motores	166.6	N
PT	Peso total	1973.3	N

Fuente: Elaboración propia

La prueba de esfuerzos se realiza en el software inventor. Permitiendo realizar la prueba especializada para estructuras metálicas. Como se observa

en la figura N° 40, la estructura soportará la carga de todos los componentes y del usuario, teniendo aún un rango extra que puede llegar a trabajar, pero por seguridad se limitará para un usuario de 90 Kg.

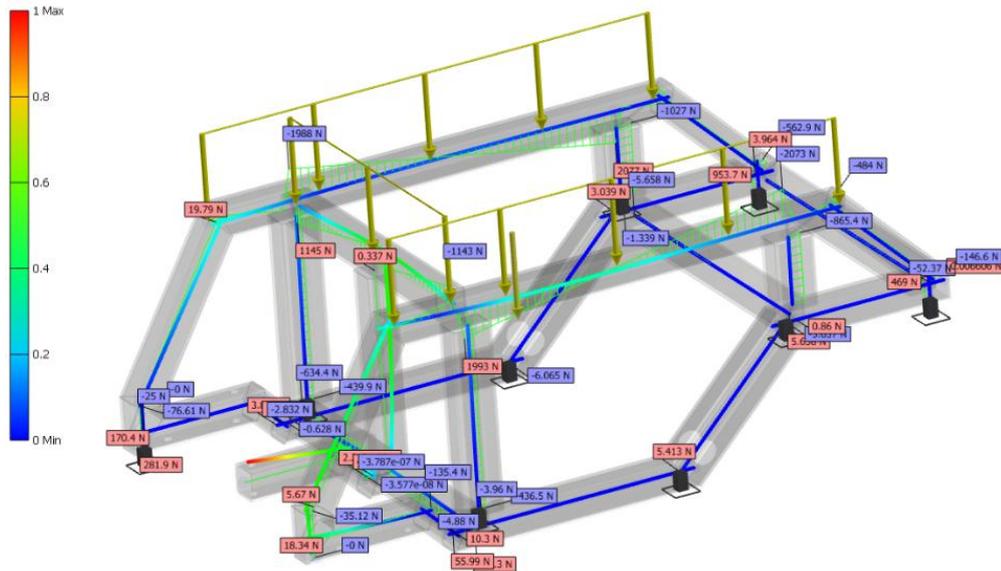


Figura N° 40. Prueba de esfuerzos en Inventor
Fuente: Elaboración propia

3.2.6 Cálculo de fuerza requerida

- Cálculo de fuerza requerida para una superficie plana

Para obtener la fuerza máxima necesaria para poder desplazar la silla de ruedas con la persona se hizo uso de las leyes de Newton, haciendo uso de las fuerzas que rigen en el cuerpo que son mostradas en la figura N° 41. Para ello, en la tabla 14 se determinó el peso máximo que puede llegar a tener la silla de ruedas, con ese dato se determinará la fuerza máxima necesaria. Cuando se usa caucho sobre cemento, el coeficiente de fricción cinético es 0,57.

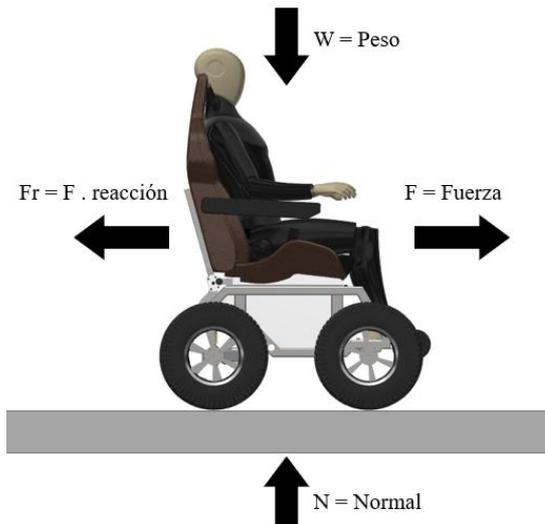


Figura N° 41. Esquema de fuerzas sobre una silla de ruedas
Fuente: Elaboración propia

Donde:

W = Peso total

F = La fuerza necesaria

F_r = La fuerza de fricción

N = Normal

U_c = Coeficiente de fricción cinética

$\sum F_x$ = Sumatoria de fuerzas en el eje x

$\sum F_y$ = Sumatoria de fuerzas en el eje y

m = masa

g = gravedad

$$\sum F_x = 0 \quad (7)$$

Al realizarse la sumatoria de fuerzas en X se tiene

$$F - F_r = 0$$

$$F = F_r$$

Se reemplaza el coeficiente de fricción

$$F_r = u_c * N \quad (8)$$

Y al realizarse la sumatoria de fuerzas en Y se tiene

$$\sum F_y = 0 \quad (9)$$

$$W - N = 0$$

$$W = N \quad (10)$$

Peso en función de la masa

$$W = m * g \quad (11)$$

Reemplazando la ecuación 10 en la 8 los valores, siendo $U_c = 0.57$

$$F = F_r = u_c * W$$

$$F = F_r = 0.57 * 1973.3$$

$$F = 1124.8 \text{ [N]}$$

Es la fuerza máxima que necesita la silla de ruedas para poder desplazarse en una superficie plana. De igual manera para ambas direcciones.

- Cálculo de fuerza requerida para una superficie inclinada

La silla de ruedas requerirá poder subir y bajar pendientes de hasta el 12%, por ello se realizarán los cálculos correspondientes para obtener la fuerza que necesitarán los motores para realizar esta función. Para realizar el cálculo se usará una pendiente del 12% que tiene un recorrido de 3 metros, por lo tanto, el resultado del porcentaje sería 0,36 metros, haciendo uso del teorema de Pitágoras, el ángulo que tiene la pendiente es de 6.84° . Se hará uso de las fuerzas que aplican sobre la silla de ruedas con la persona, como también del ángulo de inclinación, tal como se observa en la figura N° 42 y 43.

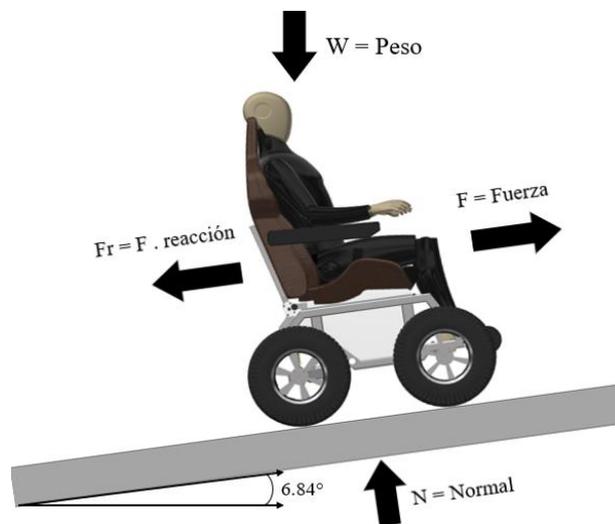


Figura N° 42. Esquema de fuerzas para una superficie inclinada ascendente
Fuente: Elaboración propia

Donde:

$\Phi = \text{Angulo de la pendiente}$

Superficie ascendente:

Se realiza la sumatoria de fuerzas en el eje X

$$\sum F_x = 0$$

$$F - F_r - W_x = 0$$

$$F = F_r + W_x$$

Usando Pitágoras se obtiene W en el eje X

$$F = F_r + W \cdot \sin(\varphi)$$

Se reemplazan con las ecuaciones 8 y 10

$$F = U_c \cdot N + m \cdot g \cdot \sin(\varphi) \quad (12)$$

Se realiza la sumatoria de fuerzas en el eje Y

$$\sum F_y = 0$$

$$N - W_y = 0$$

$$N = W_y$$

Usando Pitágoras se obtiene W en el eje Y

$$N = W \cdot \cos(\varphi)$$

Reemplazando con la ecuación 10

$$N = m \cdot g \cdot \cos(\varphi) \quad (13)$$

Reemplazando la ecuación 12 en la 11 se obtiene

$$F = U_c \cdot m \cdot g \cdot \cos(\varphi) + m \cdot g \cdot \sin(\varphi)$$

$$F = m \cdot g \cdot (U_c \cdot \cos(\varphi) + \sin(\varphi)) \quad (14)$$

Reemplazando los valores

$$F = 1973.3 \cdot (0.57 \cdot \cos(6.84^\circ) + \sin(6.84^\circ))$$

$$F = 1351.8 \text{ [N]}$$

Esta vendría a ser la fuerza máxima que requiere el sistema para subir una pendiente del 12%.

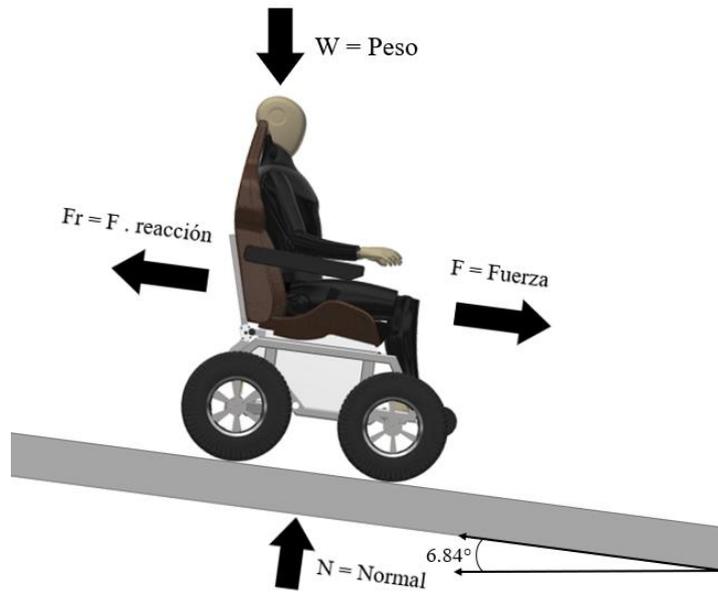


Figura N° 43. Esquema de fuerzas para una superficie inclinada descendente
Fuente: Elaboración propia

Superficie descendente:

Se realiza la sumatoria de fuerzas en el eje X

$$\sum F_x = 0$$

$$F - F_r + W_x = 0$$

$$F = F_r - W_x$$

Usando Pitágoras se obtiene W en el eje X

$$F = F_r - W \cdot \sin(\varphi)$$

Se reemplazan con las ecuaciones 8 y 10

$$F = \mu_c \cdot N - m \cdot g \cdot \sin(\varphi) \tag{15}$$

Se realiza la sumatoria de fuerzas en el eje Y

$$\sum F_y = 0$$

$$N - W_y = 0$$

$$N = W_y$$

Usando Pitágoras se obtiene W en el eje Y

$$N = W \cdot \cos(\varphi)$$

Reemplazando con la ecuación 10

$$N = m \cdot g \cdot \cos(\varphi) \tag{16}$$

Reemplazando la ecuación 12 en la 11 se obtiene

$$F = U_c * m * g * \cos(\varphi) - m * g * \sin(\varphi)$$

$$F = m * g * (U_c * \cos(\varphi) - \sin(\varphi)) \quad (17)$$

Reemplazando los valores

$$F = 1973.3 * (0.57 * \cos(6.84^\circ) - \sin(6.84^\circ))$$

$$F = 881.8 \text{ [N]}$$

Se calculó la fuerza necesaria para que todo el sistema pueda desplazarse en cualquier situación, sea en una superficie plana o una inclinada, ya sea ascendente o descendente. Finalmente, se verifica que el motor seleccionado cumpla con los requisitos de torque y potencia los cuales están distribuidos entre las cuatro ruedas.

De los cálculos realizados se obtuvo que la fuerza necesaria es de 1351.3 N, entonces, debido a que se divide en 4 ruedas, la fuerza sería de 337 N por cada una. Al multiplicarse este valor por el diámetro en metros de cada rueda que es de 0.2032 m, se obtiene que el torque por rueda sería de 68.5 Nm. Dado que solo las ruedas motrices son las traseras, el toque final solo para las ruedas motrices sería 137 Nm. Para ello se seleccionó un motor de 12 Vc con un torque nominal de 160 Nm, el motor y sus especificaciones se muestran en la figura N° 44 y en la tabla 15 (ver anexo 4).

Figura N° 44. Hub Motor PMN

Fuente: Micromotor, 2013

Especificaciones	Valor
Voltaje Nominal [Vdc]	24
Poder Nominal [W]	480
Velocidad sin carga [RPM]	220
Torque nominal [Nm]	160
Corriente nominal [A]	20

Fuente: Micromotor, 2013

3.2.7 Selección del actuador lineal para el respaldar

Se obtendrá la fuerza que necesita el actuador para realizar los movimientos necesarios para cumplir las funciones de la silla de ruedas, estos calculas se realizarán usando variables importantes para el diseño, como las dimensiones, ángulos y peso. Con ello se elegirá el actuador ideal para la silla de ruedas. Se puede observar en la figura N° 45 y en la figura N° 46.

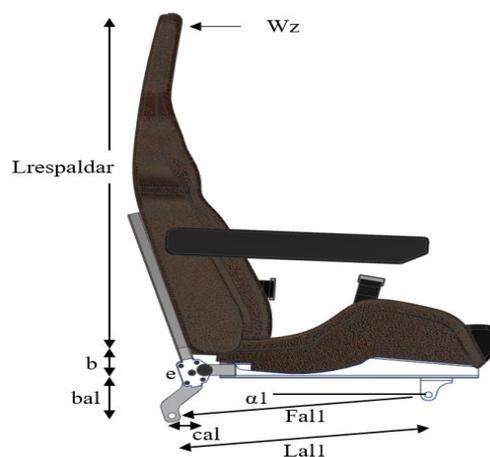


Figura N° 45. DCL Asiento/Respaldar - posición inicial
Fuente: Elaboración propia

Donde:

F_{al1} = Es la fuerza del actuador cuando se ubica en la posición 1

F_{al2} = Es la fuerza del actuador cuando se ubica en la posición 2

W_z = Fuerza ejercida externa (no se genera siempre, se toma un caso)

extremo)

$W_{superior}$ = Es el peso superior del cuerpo

$l_{respaldar}$ = Longitud del respaldar

b = Distancia del respaldar al punto de giro e

bal = Distancia del punto e al punto donde aplica Fal1 en Y

cal = Distancia del punto e al punto donde aplica Fal1 en X

α_1 = Ángulo de inclinación en la posición 1

α_2 = Ángulo de inclinación en la posición 2

- Fuerza requerida para la posición inicial

$$\sum Me = 0$$

$$Wz \frac{l_{respaldar}}{d} * (d + b) - Wz \frac{(l_{respaldar} - d)}{d} * b$$

$$= Fal1(\cos(\alpha_1) - cal \sin(\alpha_1))$$

$$Fal1 = \frac{Wz * (l_{respaldar} + b)}{(bal * \cos(\alpha_1) - cal * \sin(\alpha_1))} \quad (18)$$

- Fuerza requerida para la posición final

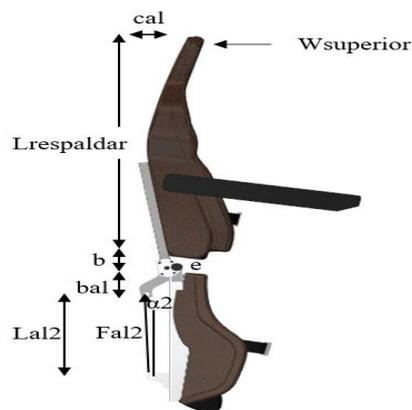


Figura N° 46. DCL Asiento/Respaldar – posición final
Fuente: Elaboración propia

$$\sum M_E = 0$$

$$W_{superior} (l_{respaldar} + b) = Fal2 * bal \sin(\alpha2) + Fal2 \text{ cal} \cos(\alpha2)$$

$$Fal2 = \frac{W_{superior} * (l_{respaldar} + b)}{((bal \sin(\alpha2) + cal \cos(\alpha2)))} \quad (19)$$

Con: $W_z = 90 \text{ N}$, $W_{superior} = 118.52 \text{ N}$, $l_{respaldar} = 822 \text{ mm}$, $b = 99 \text{ mm}$, $bal = 98 \text{ mm}$, $cal = 38 \text{ mm}$, $\alpha1 = 6.17^\circ$, $\alpha2 = 2.6^\circ$

Se calcula F_{al1} y F_{al2} :

$$F_{al1} = 887.96 \text{ N}$$

$$F_{al2} = 563.26 \text{ N}$$

Reemplazando el F_{al1} :

$$\text{Fuerza del actuador} > 887.96 \text{ N}$$

$$Fal = 887.96 \text{ N}$$

De estos cálculos se determina la fuerza que debe ejercer el actuador lineal para su correcto funcionamiento.

- Cálculo de longitud del actuador lineal

Donde:

l_0 = Longitud del actuador en su posición de inicio

l_1 = Longitud del actuador lineal en la posición de silla de ruedas

l_2 = Longitud del actuador lineal en la posición de bipedestación

d_{s1} = Distancia desde el eje de giro hasta el soporte del actuador

h_{s1} = Distancia desde el asiento hasta el eje de giro

h_{al} = Distancia desde el punto de giro hasta donde se aplica la fuerza

a = Distancia desde el punto de giro hasta donde se aplica la fuerza en el eje x. Como se puede apreciar en la figura N° 47.



Figura N° 47. Medidas para el actuador lineal
Fuente: Elaboración propia

Con: $d_{s1} = 448.35 \text{ mm}$, $h_{s1} = 95.2 \text{ mm}$, $h_{al} = 107.45 \text{ mm}$, $a = 38.06 \text{ mm}$

Posición inicial

Para realizar el cálculo de l_1 se utiliza la ley de Pitágoras.

$$\begin{aligned}l_1^2 &= (d_{s1} + a)^2 + (h_{al} - h_{s1})^2 \\l_1 &= \sqrt{(d_{s1} + a)^2 + (h_{al} - h_{s1})^2} \\l_1 &= \sqrt{448.35 + 38.06)^2 + (107.45 - 95.2)^2} \\l_1 &= 486.564mm\end{aligned}\tag{20}$$

Posición final en bipedestación

Para realizar el cálculo de l_2 se usa la ley de Pitágoras.

$$\begin{aligned}l_2^2 &= (a - h_{s1})^2 + (d_{s1} - h_{al})^2 \\l_2 &= \sqrt{(a - h_{s1})^2 + (d_{s1} - h_{al})^2} \\l_2 &= \sqrt{(38.06 - 95.2)^2 + (448.35 - 107.45)^2} \\l_2 &= 345.68 mm\end{aligned}\tag{21}$$

De los cálculos se obtuvo los valores de l_1 y l_2 que vienen a representar la mínima y máxima longitud del actuador lineal.

$$\begin{aligned}l_2 &> l_0 \\l_1 &< l_0 + \text{carrera} \\l_1 - \text{carrera} &< l_0 < l_2 \\486.56 - \text{carrera} &< l_0 < 345.68\end{aligned}$$

Los actuadores lineales son componentes electromecánicos que permiten convertir el movimiento rotacional en movimientos lineales, para este diseño se eligió el LINAK LA23-100, como resultado de los cálculos que se realizaron y se observa en la figura N° 48 y en la tabla 16 (ver anexo 5).

Tabla 16. Actuador lineal Linak LA23

Especificaciones	Valor
Fuerza de empuje [N]	900
Carrera [mm]	150
Longitud [mm]	280

Fuente: Linak, 2018

3.2.8 Selección del actuador lineal para la bipedestación

Se realizarán los cálculos correspondientes para determinar la fuerza necesaria que necesitará el actuador y la longitud que debe tener para poder realizar la función de bipedestación, para ello en la figura N° 49 se muestran los parámetros que se necesitan para realizar los cálculos.

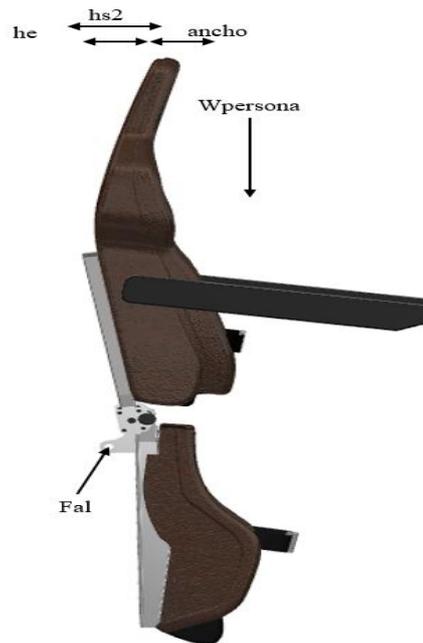


Figura N° 49. DLC de la silla de ruedas en bipedestación

Fuente: Elaboración propia

- Cálculo de la fuerza requerido por el actuador lineal

$$\Sigma MO = 0$$

$$W_{persona} (anch o + h)$$

$$= Fal \cos(\alpha) lOA + Fal \sin(\alpha) h$$

$$Fal = \frac{W_{persona}(\text{ancho}+h)}{(\cos(\alpha)lOA+ \sin(\alpha)h)} \quad (22)$$

Donde:

$W_{persona} = 400 \text{ N}$, $\text{ancho} = 68 \text{ mm}$, $h = 50 \text{ mm}$, $\alpha = 61.31^\circ$, $lOA = 95.87 \text{ mm}$.

$$Fal > 744.44 \text{ N}$$

Esta vendría a ser la fuerza que requerirá el segundo actuador lineal para cumplir con la función de bipedestación.

- Cálculo de la longitud del actuador lineal

Para el cálculo se aplicará la ley de cosenos

$$L1^2 = \Delta h^2 + l3^2 - 2*\Delta h *l3*\cos (90 + \alpha1)$$

$$L1 = \sqrt{(\Delta h^2 + l3^2 - 2*\Delta h *l3*\cos (90 + \alpha1))} \quad (23)$$

$$L1 = \sqrt{(1712 + 551.062 - 2*171*551.06*\cos (90 + 45))}$$

$$L1 = 682.77 \text{ mm}$$

$$L2^2 = aux2 + l3^2 - 2*aux*l1*\cos (\beta + \alpha1)$$

$$L2 = \sqrt{(aux2 + l3^2 - 2*aux*l1*\cos (\beta + \alpha1))} \quad (24)$$

$$L2 = \sqrt{(1622 + 5512 - 2*162*551*\cos (10.87 + 45))}$$

$$L2 = 479.14 \text{ mm}$$

De los valores L1 y L2 se obtienen los rangos que puede tener el actuador lineal.

$$L0 < L2$$

$$L0 + \text{carrera} > L1$$

$$L1 - \text{carrera} < L0 < l2$$

$$682.77 - \text{carrera} < l0 < 479.14$$

Para este diseño se eligió el actuador lineal FA-400-12, como resultado de los cálculos que se realizaron y sus características se observan en la tabla 17.

Especificaciones del 400-12	Especificaciones	Valor
	Fuerza de empuje [N]	1000
	Carrera [mm]	304
	Longitud [mm]	478

Fuente: Firgelli Automations, 2020

3.3. Diseño eléctrico y electrónico

3.3.1 Selección de elementos

Se detallan los elementos elegidos para este diseño, cada componente fue elegido teniendo en cuenta sus especificaciones y lo que aportarán

- Microcontrolador

Se tuvieron tres opciones para usar como controlador, el microcontrolador ATmega 25600, el PLC SIEMENS S7-1200 y el Pic 18f46k42 como se muestran en la tabla N° 18 se procederá a compararlos respectivamente para poder seleccionar la opción más adecuada.

Características	Descripción de elementos		
	Microcontrolador	PLC SIEMENS	PIC
Elemento	Microcontrolador	PLC SIEMENS	PIC
Especificaciones	ATmega25600	S7-1200	18f46k42
Voltaje de operación	5V	5V	5.5V
Pines digitales E/S	54.00	56.00	40
Pines análogos	16.00	14.00	
SRAM (KB)	8.00		4.096

Tabla 18.

Opciones para elegir el controlador

Fuente: Elaboración propia

De entre las distintas opciones se eligió usar el ATmega 25600, el cual es también conocido por ser usado en el arduino mega 2560 Rev3 (ver anexo 6), el cual se observa en la figura N° 50, ya que cuenta con la cantidad de entradas y salidas necesarias para el diseño. Se optó por el Arduino ya que es un controlador de software libre, de fácil programación y muy versátil. Sus especificaciones se muestran en la tabla 19.

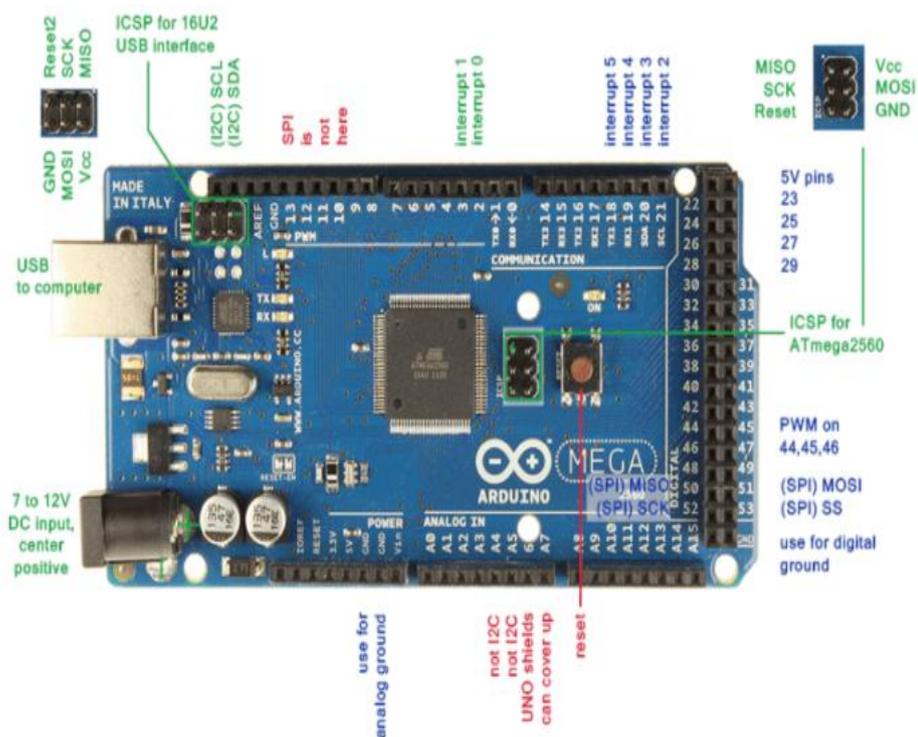


Figura N° 50. Arduino Mega 2560 Rev. 3
 Fuente: Panamahitek, 2013

Tabla 19. Especificaciones técnicas Arduino Mega

Características	Descripción
Microcontrolador	ATmega25600
Voltaje de entrada (V)	44172.00
Voltaje de entrada (límite) (V)	43983.00
Voltaje de operación (V)	5.00
Pines digitales E/S	54.00
PinesPWM	15 de los pines digitales
Pines análogos	16.00
Corriente por cada pin E/S (mA)	20.00
Corriente máxima en el pin 3.3.V(mA)	50.00
Memoria Flash (KB)	256.00
SRAM (KB)	8.00
EEPROM (KB)	4.00
Reloj (MHz)	16.00
Fuente: Arduino, 2004	
Dimensiones (mm*mm)	101.52*53.33
Peso (g)	37.00

- Dispositivos electrónicos

- Regulador de voltaje

Teniendo tres opciones como lo son el regulador de voltaje RB DFR222, LM7812 y LM2596 como se muestran en la tabla N° 20 se procederá a comprarlos respectivamente para poder seleccionar la opción más adecuada.

Tabla 20. Opciones para elegir el regulador de voltaje

Características	Descripción de elementos		
Elemento	Regulador de voltaje		
Especificaciones	RB DFR222	LM7812	LM2596
Voltaje de entrada	3.6V-25V	11.75V	12V
Voltaje de salida	3.3V-25V	19V	5V
Corriente máxima de salida	5A	0.006A	3A

Fuente: Elaboración propia

En este diseño se usará el regulador de voltaje RB-Dfr-222 (ver anexo 7), el cual se encargará de dar el voltaje requerido a los componentes electrónicos. Se eligió debido a que trabaja con los voltajes necesarios para los componentes, como también soporta trabajar con corrientes de hasta 5 A. Irá conectado en serie con la batería. En la tabla 21 se muestran sus especificaciones.

Tabla 21. Especificaciones técnicas Regulador de voltaje RB-Dfr-222

Fuente: RFRobot, 2017

Especificaciones	Rangos
Voltaje de entrada	3.6V-25V
Voltaje de salida ajustable	3.3V-25V
Corriente de salida constante	5A 5V
Potencia máxima de salida	25W
Frecuencia de cambio	350KHZ
Interfaces de salida	3
Talla	46*50*20mm

- Puente h

Teniendo tres opciones como lo son el módulo puente H L298N, L9110 y driver puente BTS7960 como se muestran en la tabla N° 22 se procederá a compararlos respectivamente para poder seleccionar la opción más adecuada.

T

Tabla 22.

Opciones para elegir el puente h	Características	Descripción de elementos		
	Elemento	Módulo puente H	Módulo puente H	Driver puente H
	Especificaciones	L298N	L9110	BTS7960
	Voltaje de potencia	5V	2.5V-12V	8V-18V
	Capacidad de corriente	2A-3A	0,75A-8A	43A
	Potencia máxima	25W	30W	35W

Fuente: Elaboración propia

El puente h será utilizado para controlar el giro de los motores, permitiendo de esta forma que la silla de ruedas pueda ir hacia adelante y en reversa. Se eligió el módulo puente H L9110 (ver anexo 8) debido a que este modelo trabaja con los valores de corriente de los motores que se usarán y soportan la corriente necesaria para el correcto funcionamiento.

- Joystick

Para controlar la dirección de movimiento de la silla de ruedas se usará el joystick modelo KY-023 XY (ver anexo 9). Cuenta con los pines correspondientes a los ejes x e y. En la figura N° 51 se muestra el modelo del joystick y en la tabla 23 sus especificaciones.

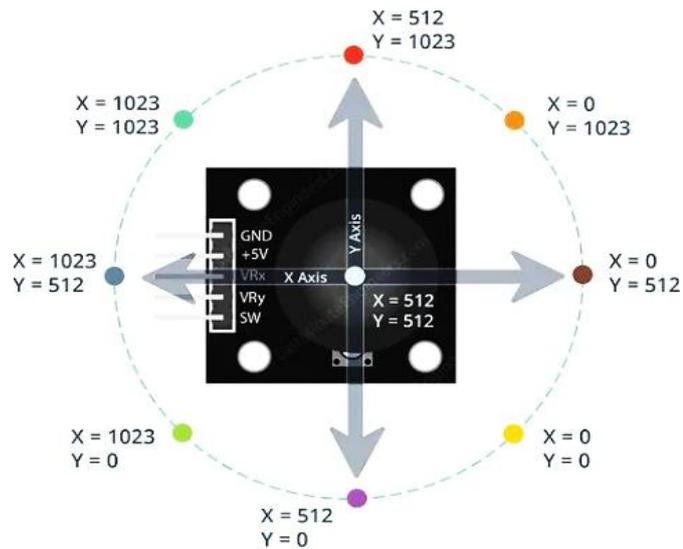


Figura N° 51. Joystick KY-023
Fuente: Ferretrónica, 2020

Tabla 23. Especificaciones técnicas Joystick KY-023

Especificaciones	Rangos
Voltaje de alimentación	3.3V-5V
Dimensiones	40*26*32mm
Peso	14gr

Fuente: Arduinomodules, 2018

- Final de carrera

Se utilizará un final de carrera para controlar el recorrido de los actuadores, de esta manera limitándolos, permitiendo solo un movimiento en sentido inverso una vez se activan. Se muestra su modelo en la figura N° 52.

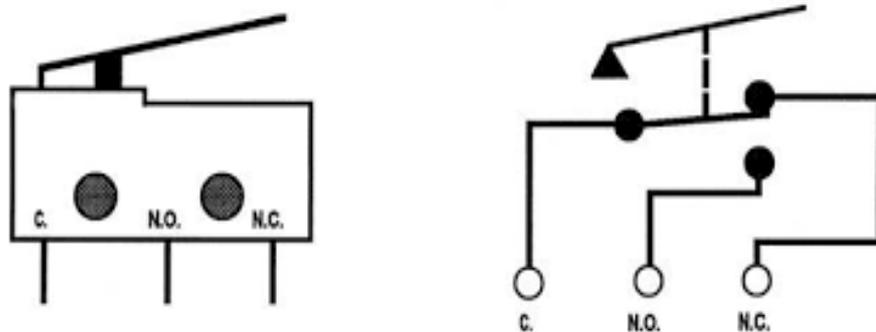


Figura N° 52. Final de carrera
Fuente: Automaqperu, 2020

Especificaciones	Rangos
Tabla 24. Especificaciones técnicas Indicador de batería RL-BI003	
Voltaje	24V
Corriente de operación	20mA
Pantalla	10 barra gráficas LED
Dimensiones	53mm*32mm*24mm
Peso	45g

Fuente: Cafago 2020

- Indicador de batería

Se utilizará el indicador de batería para poder comprobar en todo momento el estado de carga de la batería. Se usará el modelo RL-BI003 que funciona a tensiones de 12 V y 24 V, cuenta con 10 segmentos de barras led que muestran el porcentaje de carga, permitiendo ser más preciso a la hora de mostrar el nivel de la batería. En la figura N° 53 se muestra el indicador que se usará y en la tabla 24 se presentan sus especificaciones.

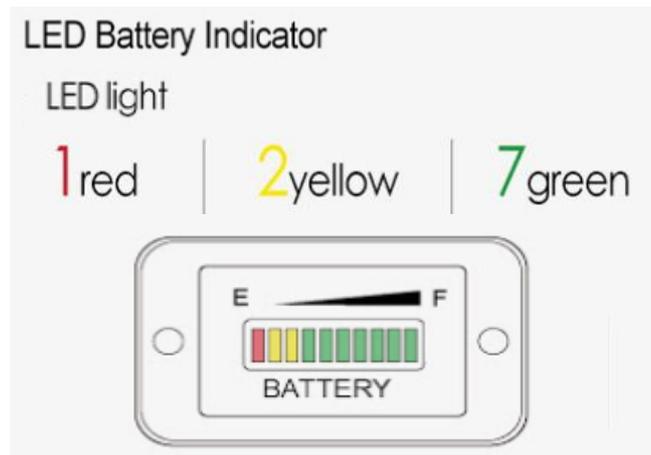


Figura N° 53. Indicador de batería RL-BI003
Fuente: Dealtes, 2020

- Sensores
 - Sensor de ultrasonido

Teniendo dos opciones como lo son el sensor de ultrasonido HC-SR04 y sensor infrarrojo FC-51 como se muestran en la tabla N° 25 se procederá a comprarlos respectivamente para poder seleccionar la opción más adecuada.

Tabla 25. Opciones para elegir el sensor de proximidad

Características	Descripción de elementos	
	Sensor	Sensor
Elemento	Ultrasonido	Infrarrojo
Especificaciones	HC-SR04	FC-51
Voltaje de operación	5V	3.3V-5V
Rango de medición	2cm -450 cm	2cm-30cm
Precisión	+3mm	+3mm

Fuente: Elaboración propia

Se utilizará un sensor de ultrasonido con el objetivo de alertar al usuario sobre algún obstáculo en el camino o un desnivel muy elevado que podría producir alguna caída. El modelo que se utilizará será el HC-SR04 (ver anexo 10), debido a que tiene un mayor rango de medición y la precisión es casi igual. Se muestra el sensor a utilizar en la figura N° 54 y en la tabla 26 sus especificaciones.

Figura N° 54. Sensor de ultrasonido HC-SR04
Fuente: Naylampmechatronics, 2020

Tabla 26. Especificaciones técnicas Sensor de ultrasonido HC-SR04

Especificaciones	Rangos
Voltaje de operación	5V DC
Corriente de reposo	<2mA
Corriente de trabajo	15mA

Rango de medición	2cm-450cm
Presición	+/-3mm
Ángulo de apertura	15°
Dimensiones	45mm*20mm*15mm

Fuente: Beekbot, 2018

-Potenciómetro

lineal

Se utilizará como sensores de posición, ya que dependiendo de la posición en la que se encuentre el actuador lineal, arroja una señal analógica proporcional como se observa en la figura N° 55, la cual el controlador interpretará.

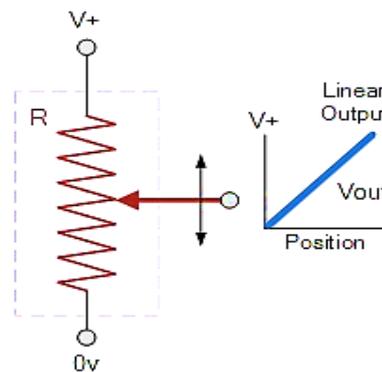


Figura N° 55. Potenciometro lineal

Fuente: mcielectronics, 2020

- Sensor de fuerza y presión

Se usará el sensor de fuerza y presión para detectar cual el usuario se encuentra sentado en asiento, para de esta forma prevenir un accidente, se comparan dos modelos, el FSR402 y el MF01. La comparación se observa en la tabla 27.

Características	Descripción de elementos
Elemento	Sensor de fuerza

Tabla 27. Comparación sensores de presión		MF01
Rango de fuerza		30g-10000g
Resistencia	10Kohm- 100Kohm	100Kohm- 200Kohm
Tiempo de reacción		<1ms
Grosor		

Fuente: Elaboración propia

Se utilizará el sensor MF 01 (ver anexo 11), el cual estará ubicado en el asiento y el respaldo. Se usará el sensor de presión modelo MF01. En la figura N°56 se muestra el componente que se usará y en la tabla 28 sus especificaciones técnicas.

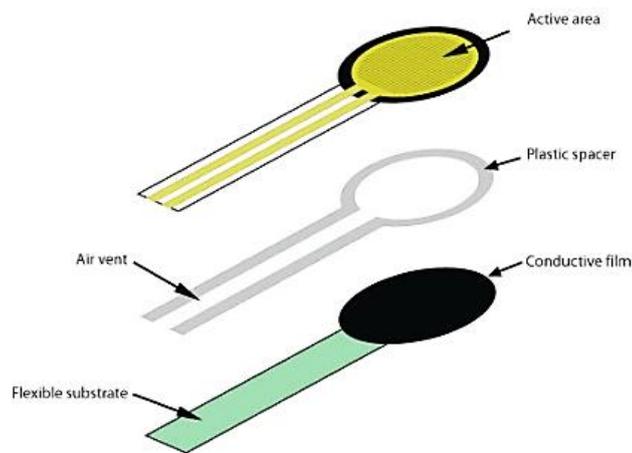


Figura N° 56. Sensor de fuerza y presión MF01
Fuente: elprocus, 2015

Tabla 28. Especificaciones técnicas Sensor de fuerza y presión MF01

Especificaciones	Rangos
Fuerza de actuación	30g min.
Rango de sensibilidad	30g-10000g
Tiempo de respuesta	<1ms

Fuente: hetpro-store, 2015

3.3.2 Sistema de alimentación

La alimentación de todo el sistema será realizada por una batería de 24V, la cual deberá permitir que la silla de ruedas pueda movilizarse por una distancia de 12 Km, teniendo una velocidad de 5.4 Km/h. Para ello se realizan los cálculos correspondientes teniendo en consideración la carga en amperios hora (Ah) que requieren los motores y actuadores, ya que todos los componentes deben estar alimentados constantemente durante todo el funcionamiento del sistema.

Donde:

d_{max} = distancia máxima que debe recorrer

V_{max} = velocidad máxima

$P_{eléctrica}$ = potencia eléctrica

V = voltaje

I = corriente

T_{max} = tiempo máximo

Requerimientos a cumplir:

$$d_{max} = 12 \text{ km}$$

$$V_{max} = 5.4 \text{ Km/h}$$

Potencia eléctrica de los motores y actuadores:

$$P_{eléctrica} = 250 \text{ W}$$

Corriente requerida por 1 motor y actuador:

$$P_{eléctrica} = V \cdot I$$

$$I = \frac{P_{eléctrica}}{V} \quad (25)$$

$$I = \frac{250}{24} = 10.42 \text{ A}$$

Corriente total requerida para los dos motores y actuadores

$$I_{total} = 2 \cdot I \quad (26)$$

$$I_{total} = 2 \cdot 10.42 = 20.8 \text{ A}$$

Se realiza el cálculo del tiempo que demorará la silla en desplazarse una distancia d_{max} a una velocidad V_{max} :

$$T_{max} = \frac{d_{max}}{V_{max}} \quad (27)$$

$$T_{max} = \frac{12}{5.4} = 2.22 \text{ h}$$

Se realiza el cálculo de la carga eléctrica que deberá entregar la batería:

$$\text{Carga}_{requerida} = I_{total} \cdot T_{max} \quad (28)$$

$$\text{Carga}_{\text{requerida}} = 20.8 * 2.22 = 46.2 \text{ Ah}$$

Con los cálculos realizados, se determinó que se requería de una batería que tuviera una capacidad nominal de al menos 46.2 Ah a 24 V, por ello se eligió la batería UB12500, la cual entrega todos estos valores. En la tabla 29 se muestran las especificaciones técnicas de la batería.

Tabla 29. Especificaciones técnicas de la batería UB12500

Especificaciones	Valor
Modelo	UB12500
Voltaje Nominal	24 V
Capacidad nominal (20-hr)	50 Ah
Capacidad nominal (5-hr)	42.5 Ah

Fuente: Wholesalesolar, 2015

3.4. Diseño de control

El control de las funciones y movimientos es de suma importancia durante el diseño de la silla de ruedas, ya que esta regirá que es lo que hará y como lo hará, controlando los motores, actuadores y todos los demás componentes tanto eléctricos como mecánicas para cumplir determinada tarea. La programación se hizo en el software STEP 7 Microwin, el cual es usado para programar PLC's pero de igual manera se puede utilizar para la programación del Arduino si se utiliza otro programa que enlace ambos, para ello se usó el Mikroplan, el cual permitirá poder programar el Arduino en Ladder. Para la programación se detallaron una serie de entradas y salidas (ver apéndice I), las cuales representan a los motores, actuadores, joystick, pulsadores, etc.

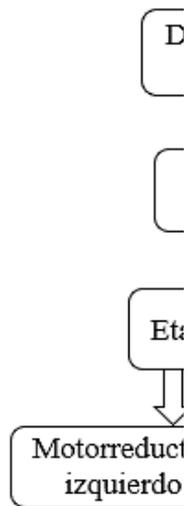


Figura N° 57. Esquema de control
Fuente: Elaboración propia

3.4.1 Lógica de control de la velocidad

Como se muestra en la figura N° 58, en este sistema, la salida no afectará a las acciones de control, por lo cual se estaría hablando de un sistema de control de lazo abierto, ya que, la señal que envían los dispositivos de entrada serán leídas e interpretadas por el controlador, para luego pasar a los actuadores, que en este caso serán motores, quienes reciben la corriente y voltaje que ha sido calculado siguiendo las indicaciones de entrada y estos trabajarán a la velocidad requerida, sin que esta salida pueda afectar al controlador, debido a ello la precisión de esta señal depende de la calibración previa de los componentes. En este diseño la interfaz logra la comunicación entre todos los dispositivos de entrada, en este caso siento el joystick, y enlaza estos datos recibidos con el controlador.

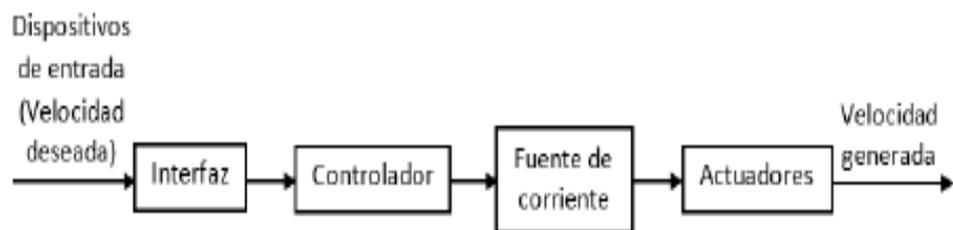


Figura N° 58. Diagrama de bloques de control de velocidad
Fuente: Cerino, 2017

3.4.2 Lógica de control del encendido

Para que toda la silla de ruedas se encienda correctamente deben cumplirse unas cuantas condiciones, principalmente por la seguridad del usuario. En el diagrama de flujo de la figura N° 60 se describe que los sensores de presión tanto del asiento como del respaldo deben estar activados, lo cual se interpreta como que el usuario se encuentra sentado correctamente, una vez se cumple, el controlador pasará a verificar el estado de la batería, ya que si se encuentra por debajo del 5% esta no partirá, para lo cual el usuario requerirá cargarla. Una vez, tanto la primera como la segunda condición estén solucionadas, el dispositivo pasará a encenderse (ver apéndice J). Para realizar este control es necesario una programación, la cual se muestra en la figura N° 59, donde se deben seguir las condiciones que especifica el diagrama de flujo.

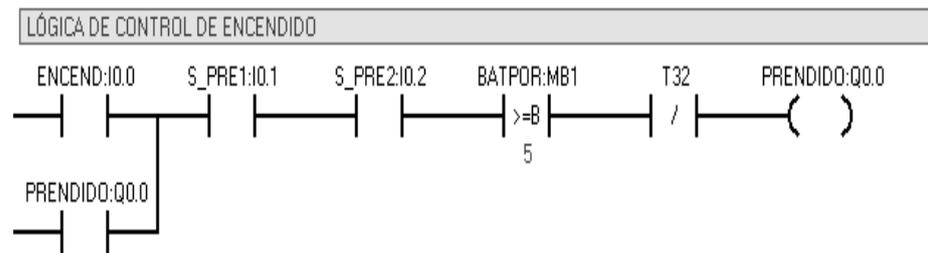


Figura N° 59. Programación en Ladder del control de encendido en STEP 7
 Fuente: Elaboración propia



Figura N° 60. Diagrama de flujo del control de encendido
Fuente: Elaboración propia

3.4.3 Lógica de control de movimiento mediante joystick

En este diseño se utilizará un joystick modelo KY-023 que se alimenta con 5 Vdc, el cual tiene potenciómetros para controlar los ejes X e Y. El control de la silla de ruedas se basa en las señales analógicas que mandan los potenciómetros al momento de realizar algún movimiento en los ejes. La tarjeta electrónica del módulo se encarga de convertir las señales analógicas en digitales para que luego puedan ser trabajadas en la programación del controlador. Al momento de realizar un movimiento en algún eje, la señal analógica se altera, según las lecturas el sistema puede asignar un valor de salida en relación a una variación en la entrada (ver apéndice K).

En el diagrama de flujo que se muestra en la figura N° 62 representa cómo será el funcionamiento del joystick para controlar la dirección de movimiento de la silla, al moverse el joystick hacia adelante el controlador lo interpretará como un movimiento de avance, regulando la velocidad de

los motores dependiendo del ángulo de inclinación de la palanca hacia adelante. El movimiento del joystick tanto a la derecha como hacia la izquierda será interpretado como un movimiento de avance hacia el lado respectivo. Y finalmente la posición de la palanca hacia atrás, hará cambiar el sentido del motor a la inversa, produciendo que la silla de ruedas retroceda. Para ello se realiza su respectiva programación que se muestra en la figura N° 61.

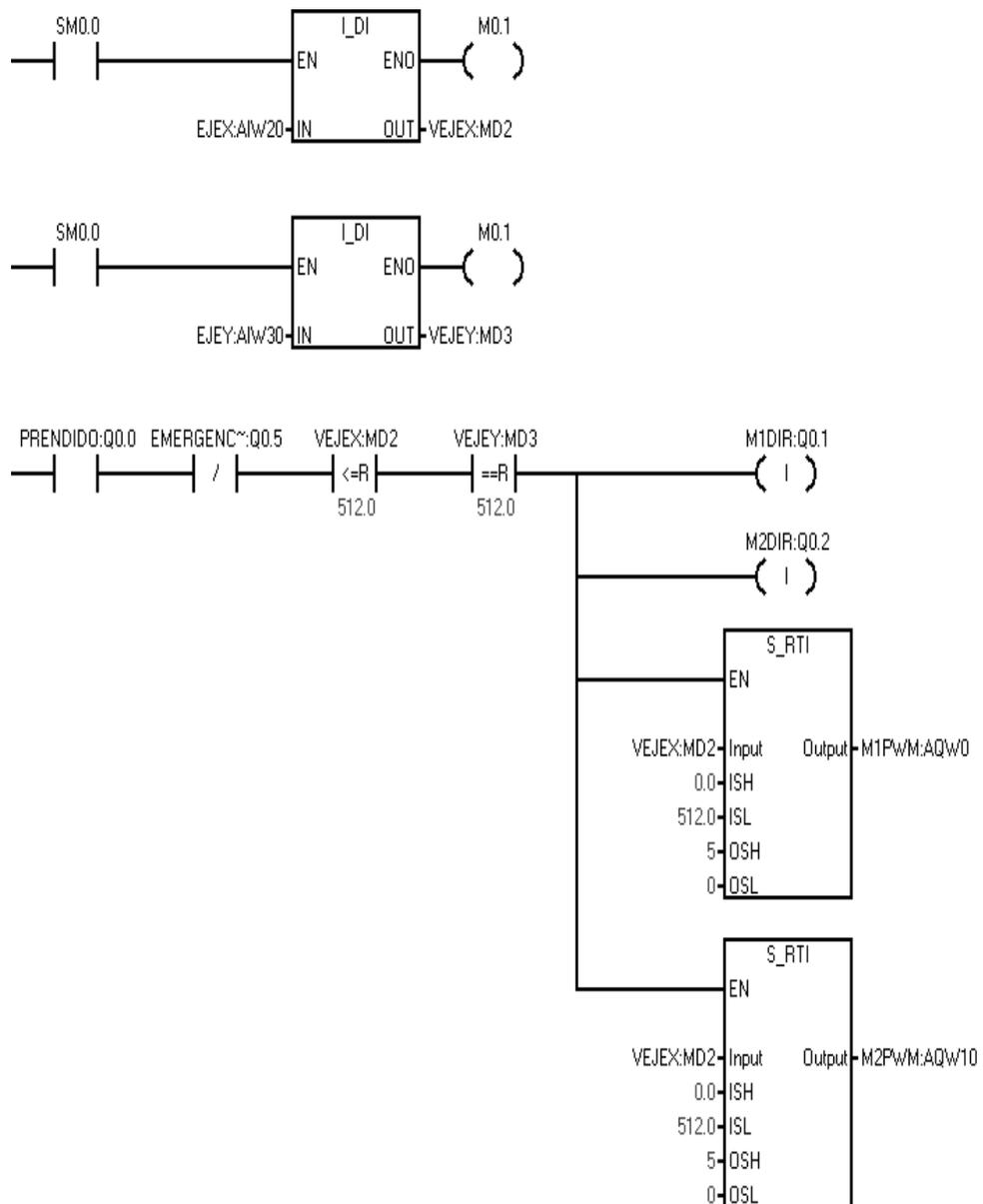


Figura N° 61. Programación en Ladder del control de Joystick en STEP 7
 Fuente: Elaboración propia



Figura N° 62. Diagrama de flujo del control mediante joystick
 Fuente: Elaboración propia

3.4.4 Lógica de control de la bipedestación

En este sistema de control, el primer paso que sigue el controlador para efectuar la orden es verificar el correcto encendido del equipo, lo cual incluye verificar que el usuario esté correctamente sentado y que se halla colocado el cinturón de seguridad, el cual sujetará su pecho a la silla durante la bipedestación. Como se observa en el diagrama de flujo de la figura N° 63, una vez que se verifica el encendido, se asegura que la batería tenga la suficiente carga para efectuar la función y luego regresar a su posición inicial. Al momento en que se activa el interruptor de la función de bipedestación, comienza el proceso de accionamiento de los actuadores del

asiento y del respaldar, los cuales son los encargados de mover al usuario a la posición solicitada, controlando su desplazamiento con sensores de posición y finales de carrera ubicados adecuadamente en la silla de ruedas. Finalmente, al desactivarse el interruptor los actuadores realizan el proceso a la inversa para regresar la silla de rueda a su posición inicial. La programación se muestra en la figura N° 64 (ver apéndice L).

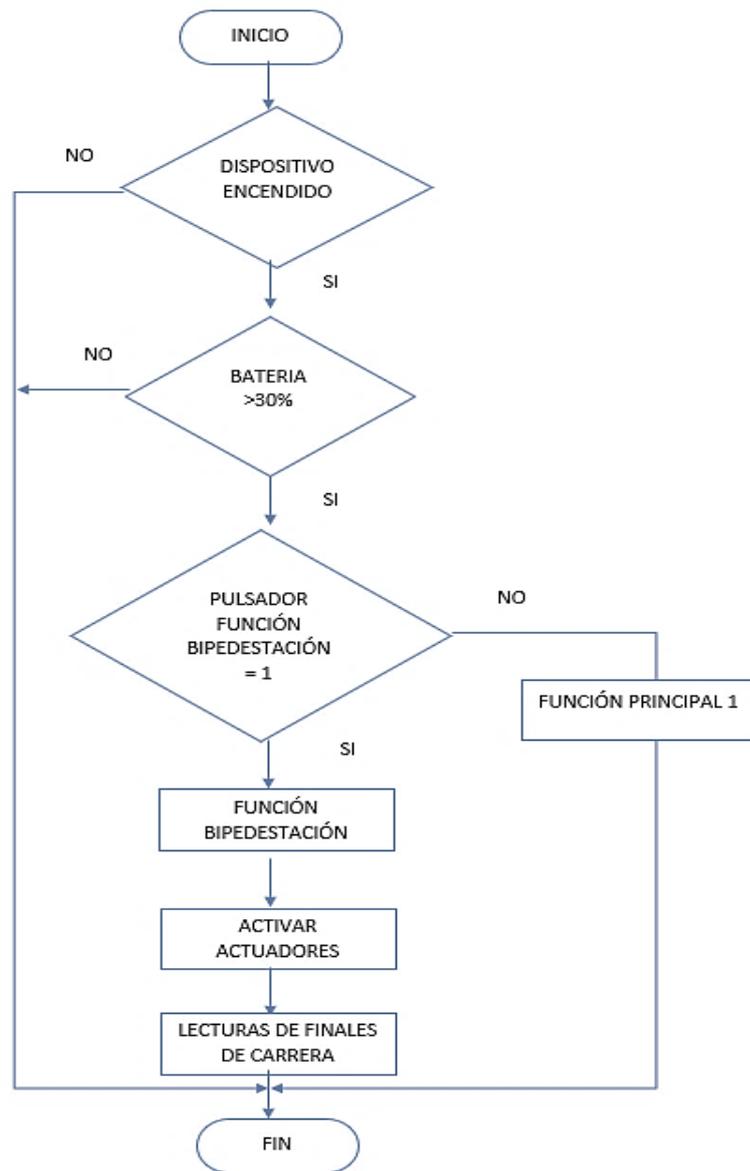


Figura N° 63. Diagrama de flujo del control de bipedestación
 Fuente: Elaboración propia



Figura N° 66. Diagrama de flujo del control de prevención

Fuente: Elaboración propia

3.4.6 Lógica de control de parada de emergencia

Como se describe en el diagrama de flujo de la figura N° 68, en el momento en que se active el pulsador de parada de emergencia, se mandará una orden que detendrá todo componente que se encuentre en movimiento, tanto los motores, como los actuadores lineales, toda función que se encuentre ejecutándose se detendrá de manera inmediata y no proseguirá con su movimiento hasta que se deje de presionar el pulsador. Para la programación de esta lógica de control, como se muestra en la figura N° 67, al estar el equipo encendido y el pulsador de parada de emergencia presionado, se activa la bobina emergencia, la cual está ligada a todos los componentes que realicen movimiento para una vez activada estos se detengan (ver apéndice M).

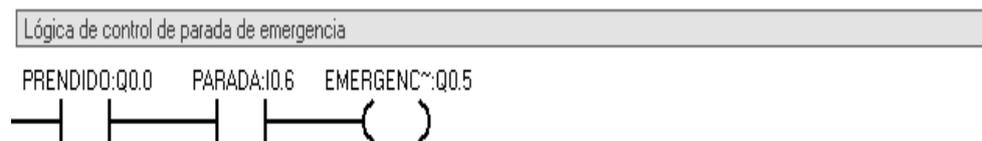


Figura N° 67. Programación en Ladder de parada de emergencia en STEP 7

Fuente: Elaboración propia

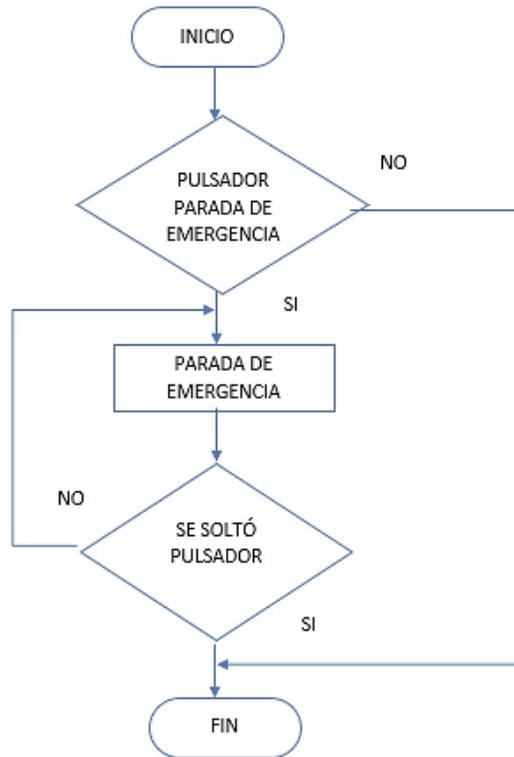


Figura N° 68. Diagrama de flujo del control de parada de emergencia

Fuente: Elaboración propia

3.4.7 Lógica de control de la batería

En este control se verifica el estado de la batería, como se aprecia en el diagrama de flujo de la figura N° 69, cuando esté por debajo del 5% de su carga, se activará un led que avisará al usuario el bajo nivel de la batería y permanecerá así hasta que el nivel de carga suba del 5%, si por el contrario este sigue bajando, una vez pase del 2%, el controlador dará un lapso de 10s, pasado dicho tiempo la silla de ruedas se apagará completamente, para de esta forma evitar que la batería se descargue completamente, lo cual le produciría daños. En la figura N° 70 se muestra la programación requerida para cumplir este control, donde se cumplen todos los pasos indicados en el diagrama, para de esta forma evitar que la silla se quede sin energía durante alguna de sus funciones (ver apéndice M).



Figura N° 69. Diagrama de flujo del control de la batería
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 70. Programación en Ladder del control de la batería en STEP 7
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se mostrarán de los resultados obtenidos de los distintos sistemas, mecánico, eléctrico, electrónico y de control; los cálculos y mediciones realizadas, y todos serán analizados.

4.1. Resultados del sistema mecánico

4.1.1 Estructura de la silla de ruedas

Inicialmente durante la elección de la estructura adecuada para la silla de ruedas se tomó en consideración usar la alternativa dos, la cual por su forma parecía la que tendría un mejor resultado. La primera prueba que se realizó fue la de esfuerzo, donde la base de la estructura sufrió deformaciones que superaban el límite de rotura. Además, en la prueba con el software working model, demostró requerir una potencia de al menos 121 W solo para el movimiento, siendo mucho más de lo planeado inicialmente, por lo cual se optó por buscar otro modelo, llegando finalmente a elegir la alternativa tres, el cual subsanaba todas las carencias que tenía la alternativa dos.

4.1.2 Peso total del sistema

Entre los requerimientos se detalla que el peso máximo que debe alcanzar el sistema, sumando tanto la estructura, como los motores, ruedas, parte eléctrica y electrónica no debe superar los 90 Kg, ya que a este peso del sistema se le debía agregar el peso máximo del usuario que es de 90 Kg., dado que mientras más pesado fuera se requerirían motores de mayor potencia, lo cual acrecentaría el precio. Inicialmente luego del diseño de la estructura metálica de la base, agregándole los motores, el sistema de transmisión y amortiguación y el asiento, llegó a pesar 95 Kg. superando el límite máximo de peso de la silla, por lo cual se tuvo que variar tanto el tipo de silla elegida, su material, el material de los ejes y soportes del sistema de transmisión y la forma de la estructura metálica en sí, para de esta forma reducir el peso total, llegando a pesar alrededor de los 90 Kg. llegando al límite de lo requerido.

4.1.3 Sistema de transmisión

Durante el diseño se planeaba usar unas ruedas de caucho de 12in, ya que era de un tamaño regular usado en este tipo de sillas. Durante las pruebas se mostró que este diámetro de ruedas no era suficiente para lograr subir las veredas de 18cm, las subía con mucha dificultad, necesitando una gran potencia y torque de los motores para completar su función, por lo cual se optó en usar unas ruedas de 16 in, con una presión de 30 PSI, diámetro suficiente para lograr ascender por las veredas, sin tener que forzar demasiado al motor.

4.1.4 Peso del usuario

Inicialmente se planteó el diseño para que fuera capaz de soportar a una persona de 100 Kg. pero durante las pruebas se evidenció que esto requería una estructura con mayores refuerzos, motores más potentes, elevar el peso del sistema, lo cual acrecentaba el precio del equipo, por lo cual se optó por bajar el peso máximo de usuario a 90 Kg.

4.1.5 Dimensionamiento de la silla de ruedas

Durante el diseño se tomaron en cuenta medidas estándares necesarias para una silla de ruedas, teniendo en cuenta la comodidad y el confort del usuario, pero al terminar el bosquejo de la estructura se mostró que las dimensiones de estas sobrepasaban los estándares para silla de ruedas principalmente el ancho requerido por una silla de ruedas, por ello se tuvo que reestructurar el diseño para hacerlo respetando las medidas y estándares ya estipulados.

4.1.6 Sistema de suspensión

Inicialmente no se había considera el acoplar un sistema de amortiguación a la silla de ruedas, pero durante las pruebas se evidenció que los impactos durante el descenso de las veredas podrían afectar tanto al usuario como al propio equipo, por lo cual se acoplo una suspensión trasera para amortiguar cualquier tipo de golpe producto del terrero o al momento de descender por una vereda, se eligió que sea trasera ya que el

mayor peso se encuentra ahí, al estar sentado el usuario se apoya en esa parte y la mayor parte de la electrónica se encuentra allí.

El diseño de un sistema mecánico óptimo es de suma importancia ya que permitirá el desenvolvimiento del sistema para cumplir de manera eficiente las funciones que realice, como se indica en los objetivos. La silla logra cumplir todos los requerimientos que fueron necesarios, con ello se demuestra que la silla logrará cumplir su cometido una vez sea implementada. En las figuras N° 27, 19, 40, entre otros, se muestran las pruebas realizadas para demostrar el funcionamiento de la silla de ruedas, tanto el peso máximo soportado, como la pendiente máxima que es posible subir con la silla, como el desenvolvimiento del material ante pruebas de esfuerzos, etc. Todos estos resultados se muestran en la tabla 30, siendo todos los valores obtenidos importantes para el

Requerimientos solicitados	Obtenido	Observación
Peso máximo del usuario	90 Kg.	Puede llegar a soportar hasta 100 Kg.
Subir pendiente máxima	12%	Es capaz de subir pendientes algo más inclinadas
Peso máximo de la silla	90 Kg.	La silla alcanzó un peso total de 89.5 Kg.
Altura del usuario	1.70m	Permite usuarios de mayor tamaño.

ento de la silla de ruedas desde el punto de vista mecánico.

Tab	Altura de escalones	18 cm	Logra subir escalones de hasta 18 cm
la	Material liviano	Aluminio	Es un material de bajo peso y alta resistencia.
30.			Se logró que el tamaño de la silla fuera el
Val	Tamaño reducido	Si	ideal
ore	<hr/>		

s obtenidos en las pruebas de la silla de ruedas

Fuente: Elaboración propia

La prueba de estabilidad es necesaria para garantizar el funcionamiento de la bipedestación, demostrando que el diseño mecánico que se realizó es óptimo y funcional. En la figura N° 71 se muestra el centro de gravedad, obtenido por medio del software inventor.



Figura N° 71. Centro de gravedad de la silla de ruedas
Fuente: Elaboración propia

Lo que se busca en la prueba de estabilidad es verificar que el peso total de todo el sistema se encuentre dentro de las reacciones que se generan en los apoyos, los cuales vendrían a ser los dos pares de ruedas. En la figura N° 72 se presenta el gráfico de la distribución del peso del sistema en los apoyos, cuando se está realizando la bipedestación.



Figura N° 72. Reacciones en las ruedas de la silla de ruedas mecatrónica
Fuente: Elaboración propia

Donde:

ΣMA = Sumatoria de fuerzas en el sistema

X_a = Reacción en la rueda delantera

X_b = Reacción en la rueda trasera

W_{total} = Peso total del sistema

L_{total} = Distancia desde X_a hacia el centro de gravedad

Lab = Distancia entre las reacciones de las ruedas.

$$\Sigma MA = 0$$

$$W_{total} x_{total} - R_B x_{AB} = 0$$

$$X_b = \frac{W_{total} * L_{total}}{Lab} \quad (29)$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$X_a + X_b = W_{total}$$

$$X_a = W_{total} - X_b \quad (30)$$

Con: $L_{total} = 294.6$, $Lab = 648.27$, $W_{total} = 1973.3$

Se reemplaza en las ecuaciones 29 y 30, obteniéndose que:

$$X_a = 896.74 \text{ N}$$

$$X_b = 1076.56 \text{ N}$$

Se muestra que la silla será estable ya que el peso total se encuentra entre las reacciones que se generan en las ruedas.

Por ello, con todos estos datos se muestra que el sistema mecánico si cumple con su propósito.

4.2. Resultados del sistema electrónico y eléctrico

4.2.1. Fuerza de los motores

Luego de realizados todos los cálculos de movimiento de la silla de ruedas se determinó que la fuerza necesaria es de 1351.3 N, lo que separado por rueda o convertido a torque, nos daría que cada rueda necesita proporcionar 68.5 Nm, pero dado que se están utilizando solo 2 motores en las ruedas

traseras se tuvo que modificar la estructura y los acoples del motor, ya que se habían diseñado para motores más pequeños, dado que se esperaba que el torque necesario sea menor del que se obtuvo.

4.2.2. Fuerza y longitud de los actuadores

Durante el cálculo de la longitud de los actuadores se determinó que la carrera que debían tener era muy superior al esperado inicialmente, siendo de 329.49 mm, por lo cual se tuvo que modificar sus soportes para que pudieran encajar correctamente.

4.2.3. Capacidad de la batería

Inicialmente se había decidido que la silla de ruedas tuviera una autonomía de 5 Km, pero debido a que la velocidad máxima se redujo, la distancia que podía recorrer aumentó, llegando a los 10 Km, para lo cual se hizo necesario adquirir una batería que tuviera una capacidad de carga de 38.32 Ah.

El desarrollo del sistema eléctrico y electrónico requiere de precisión para la elección de componentes, ya que esto determinará el funcionamiento de todos los dispositivos y como estos responderán ante las situaciones que se presenten, debido a esto es importante un correcto diseño. En la tabla N X se muestran los requerimientos que se cumplieron para que el sistema pueda desempeñar su función, para obtener estos datos se realizaron distintos cálculos, los cuales se pueden ver en las figuras N° 41, 42, 43, entre otras, en las cuales se calculó el torque del motor, la fuerza y longitud del actuador, el tipo de batería y la elección de los demás componentes. La parte electrónica se centra principalmente en la elección de los distintos sensores que se utilizan, desde potenciómetros para detectar la posición hasta sensores de ultrasonido para medir la distancia con un obstáculo y de esta forma poder actuar y prevenir accidentes.

Requerimientos solicitados	Obtenido	Observación
		Tiene una autonomía de 2.22h a
Autonomía	2.22h	5.4Km/h
	5.4	Es capaz de superar esta velocidad
Velocidad	Km/h	máxima
Torque de motor	68.5 Nm	Se utilizarán dos motores
Fuerza del actuador	887.96 N	Se hará uso de 2 actuadores lineales

Tabla 31. Diseño del sistema eléctrico y electrónico

4.3. Resultados del sistema de control

4.3.1 Controlador

El controlador que se había considera en un inicio era el PLC, dado que es más robusto para los trabajos que requieran mayor fiabilidad, dado que el procesamiento del Arduino puede ser afectado por las vibraciones, golpes y Fuente: Elaboración propia todo por lo que pueda pasar la silla de ruedas, por ello se había considerado en un inicio el PLC como controlador pero debido a su elevado costo se prefirió usar el Arduino, tomando las precauciones correspondientes para evitar cualquier falla a la hora del funcionamiento.

4.3.2 Funciones de la silla de ruedas.

La silla de ruedas cuenta con tres funciones principales, el movimiento autónomo, realizado por un par de motores acoplados a las ruedas traseras, los cuales son controlados por el usuario mediante un mando, la bipedestación, función que permite posicionar al usuario en forma vertical y la función de ascender y descender por veredas. Esta silla de ruedas, aunque no se describe sería capaz de realizar una cuarta función la cual sería de camilla, la cual se realizaría estando en la posición de sentado, reclinar el respaldo hasta estar paralelo al suelo, lo único que faltaría para lograr una posición de camilla completa sería que el reposapiés subiera de manera automática.

Los resultados que se obtuvieron para el sistema de control fueron los esperados, ya que la programación permite el realizar las funciones que se tenían como objetivo de la tesis, la de funcionar de manera autónoma, lograr subir y bajar veredas, y la función de bipedestación. Para ello se muestra la compilación con 0 errores de la programación en la figura N° 73.

Figura N° 73. Compilación completa sin errores de la silla de ruedas en STEP 7

Fuente: Elaboración propia

La programación se realizó en lenguaje Ladder, el cual es comúnmente usado para programar PLC's, pero en este caso por medio de un programa llamado MikroPlan el cual permite convertir el lenguaje Ladder en C, se podrá utilizar un Arduino mega como controlador. Luego de lograrse la compilación exitosa, lo cual nos dice que todos los contactos y la lógica están bien empleados, entonces se procede a simular el programa utilizando el software para simular un PLC S7 200, en este se puede probar el funcionamiento de la lógica usada,

se muestra como las entradas influyen en las salidas y como los cambios de valores producido por los sensores alteran el funcionamiento de todo el sistema. En la figura N° 74 se presenta la simulación exitosa del programa que controla el funcionamiento de la silla de ruedas.

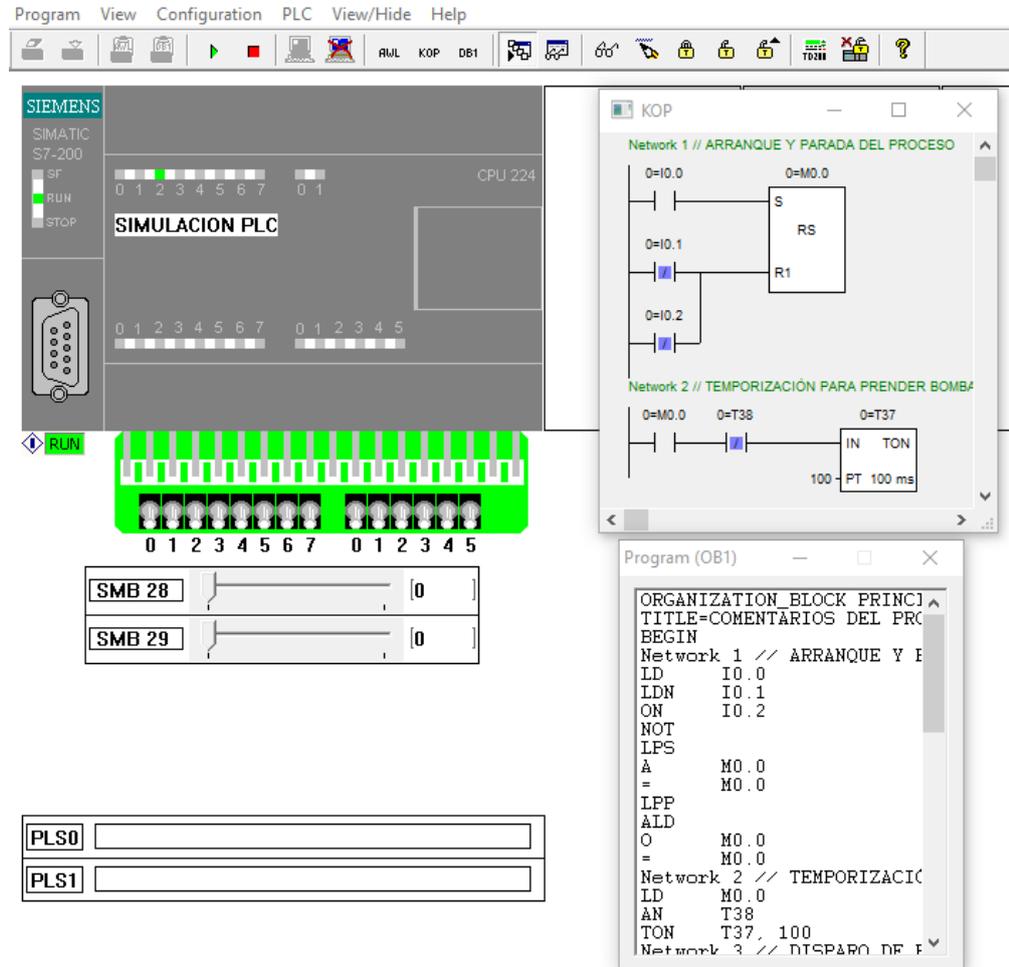


Figura N° 74. Simulación del programa de la silla de ruedas mecatrónica
Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

1. Con el diseño de la silla de ruedas mecatrónica multifuncional se logró mejorar la accesibilidad de un adulto con paraplejía gracias a las funciones de movimiento, bipedestación y desplazamiento. Se utilizó el Autodesk Inventor como principal software para el diseño además de utilizar el working model para la simulación de los movimientos, y finalmente se utilizó el MikroPlan para la programación; dando como resultado un diseño innovador y eficiente.
2. Se logró mejorar la libertad de movimiento de un adulto con paraplejía con el sistema de dirección diferencial de la silla de ruedas ya que funciona eficientemente, basado en una transmisión directa, para lograr una mayor tracción y maniobrabilidad y dar una independencia en el movimiento a la persona, a la hora de movilizarse, sin la necesidad de otra persona que la empuje, todo por medio del diseño mecánico.
3. Se logró mejorar el desplazamiento de un adulto con paraplejía consiguiendo el funcionamiento adecuado y seguro de la silla de ruedas verificando y seleccionando cada uno de los componentes eléctricos y electrónicos a través de esta investigación mediante los cálculos de cada uno.
4. Se logró realizar la bipedestación de un adulto con paraplejía con el sistema de control de la silla de ruedas, por medio de la programación de los componentes, controlador por el Arduino mega, mediante el software STEP 7 micro win en lenguaje Ladder, ya que esta posición ayudará a minimizar cualquier lesión que se puede producir por estar sentado largos periodos de tiempo, evitando llagas, úlceras y mejorando la circulación sanguínea.

RECOMENDACIONES

1. Para guiar trabajos futuros, a la implementación física de esta silla de ruedas que mejore la accesibilidad, se recomienda utilizar el Solidworks en vez del Autodesk Inventor ya que permite realizar una mejor simulación de esfuerzos y de movimientos de 3D siendo más precisa. Tener en cuenta la realización de pruebas tangibles observando el tiempo requerido para realizar dicho proyecto.
2. Para las siguientes investigaciones sobre la libertad de movimiento se recomienda tener en cuenta una estructura más ligera y un sistema de amortiguación más eficiente para que se puedan movilizar en cualquier espacio rural además del área urbana de la ciudad.
3. Para futuros estudios de acuerdo al desplazamiento de la silla de ruedas se recomienda escoger con precaución los componentes electrónicos si se desean cambiar para conseguir una mejor precisión.
4. Para indagaciones venideras con respecto a la bipedestación se propone mejorar el control de esta silla de ruedas a través de un dispositivo móvil; ya que permitiría el manejo de las funciones desde una aplicación móvil disponible para Android.

REFERENCIA

- Angulo, B. y Raya, C. (2004). *Tecnología de sistemas de control*. Universidad politécnica de Cataluña, España.
- Arduino. (2018). *Productos Arduino*. <https://www.arduino.cc/en/Main/Products>
- Asociación Española de Bancos de Células Madres - ABACELL (2018). *Desarrollan con células madre una neurona para restituir movilidad en lesionados de espina dorsal*. <http://abacell.org/actualidad/2017/05/18/desarrollan-con-celulas-madre-una-neurona-para-restituir-movilidad-a-los-lesionados-de-espina-dorsal/>
- Automaqperu (2018). *Finales de carrera*. https://www.automaqperu.com/productos_esp.php?ic=1&isc=6&sc=finales_de_carrera&im=99&m=3m
- Ayudas Dinámicas (2020). *Silla de ruedas eléctrica R300*. <https://www.ayudasdinamicas.com/silla-de-ruedas-electrica-r300/video/>
- Bahena, Y. y Márquez, B. (2007). *Calidad de vida de los pacientes con paraplejía secundaria a lesión vertebral traumática*. Hospital de Traumatología y Ortopedia Lomas Verdes, México D.F., México.
- Bedón, V. (2017). *Sistema de control para la movilidad y extensión de una silla de ruedas eléctrica de bipedestación* (Tesis de grado de ingeniero). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- Boylestad, R. y Nashelsky, L. (2009). *Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos*. Editorial Pearson, México.
- Bravo, A. (2017). *Diseño mecatrónico y simulación de una silla de ruedas multifuncional para niños entre 6 a 12 años* (Tesis de maestría). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Campos, V. (2016). *Diseño de acople mecatrónico para automatización de sillas de ruedas convencionales* (Tesis de grado de ingeniero). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Cerino, J. (2017). *Desarrollo de un sistema mecatrónico para controlar una silla de ruedas motorizada mediante diversos dispositivos por enlace inalámbrico* (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México.

- Consejo Nacional para la Integración de la Persona con Discapacidad – CONADIS. (2012). *Reglamento de la Ley N° 29973, Ley General de la Persona con Discapacidad*. Lima, Perú.
- Dealtes (2020). *RL-BI003 Indicador de nivel 12-24V*. <http://www.dealtes.es/products/rl-bi003-indicador-de-nivel-12-24-v-de-la-bateria-probador-de-la-bateria-para-equipos-de-cuidado-de-pisos-motocicleta-marina-carros-de-golf/>
- El Peruano (2016). *Ordenanza que regula la accesibilidad universal y fomenta la inclusión en el distrito de Miraflores*. Lima, Perú. <http://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/ordenanza-que-regula-la-accesibilidad-universal-y-fomenta-la-ordenanza-n-454mm-1343825-1/>
- Elprocus (2015). *Know all about forcé sensing resistor technology*. <https://www.elprocus.com/force-sensing-resistor-technology/>
- Ferretrónica (2020). *Módulo Joystick Dual XY Análogo con pulsador KY-023* <https://ferretronica.com/products/modulo-joystick-dual-xy-analogo-con-pulsador-ps2-ky-023>
- Firgelli Automations (2020). *Linears Actuators*. <https://www.firgelliauto.com/collections/linear-actuators>
- Forero, P. (2017). *¿Qué es diseño 3D?* [dweb3d](https://www.dweb3d.com/blog/disenio-3d-definicion/). <https://www.dweb3d.com/blog/disenio-3d-definicion/>
- Galán, V. (2010). *Análisis cinemático de sistema mecánico con control giroscópico para ascenso y descenso de escaleras en una silla de ruedas para pacientes hemipléjicos con lesiones torácicas en t4 y menores* (Tesis de doctorado). Instituto Politécnico Nacional, México D.F.-México.
- García, R. y Morales, S. (2013). *Sistemas y circuitos eléctricos*. Editorial Paraninfo.
- Geekfactory (2014). *Sensor ultrasónico HC-SR04 y Arduino*. <https://www.geekfactory.mx/tutoriales/tutoriales-arduino/sensor-ultrasonico-hc-sr04-y-arduino/>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática – INEI. (2012). *Primera Encuesta Nacional Especializada Sobre Discapacidad*. Lima, Perú.
- Kuo, B. (1996). *Sistema de control automático*. Editorial Prentice Hall.

- Lemir, L. (2018). *El movimiento en los sistemas mecánicos*. Scribd. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/374990766/3-El-Movimiento-en-Los-Sistemas-Mecanicos>
- Lizárraga, F. (2014). *Diodos, características y funcionamiento*. <https://lizarragablog.wordpress.com/2014/03/26/practica-2-diodos-caracteristicas-y-funcionamiento/>
- López, C. (2014). *Diseño de un prototipo de silla de ruedas eléctrica, con sistema de ascenso y elevación* (Tesis de grado de ingeniero). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador.
- Mahecha, G. (2006). *Mecánica clásica avanzada*. Editorial Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- Mahoney, F. y Barthel, D. (1965). *Evaluación funcional: El índice Barthel*. Revista Médica del estado de Maryland, Maryland, Estados Unidos.
- Mandado, P. y Mandado. R. (2008). *Sistemas electrónicos digitales*. Editorial Marcombo, Barcelona, España.
- Marín, P. (2014). *Los sistemas mecánicos*. Slideshare. <https://es.slideshare.net/jhonnicolasmarinperdomo/los-sistemas-mecnicos#:~:text=%EF%82%9E%20Los%20sistemas%20mec%C3%A1nicos%20son,transformar%20distintos%20tipos%20de%20energ%C3%ADa>.
- Martínez, E. (2013). *Controladores Automáticos*. Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño, Caracas, Venezuela.
- Mcielectronics (2017). *Potenciómetro lineal*. <https://www.mcielectronics.cl/page/homepage>
- Micromotor (2020). *Hub Motor PMN*. <https://exportpagescdn.net/v2/pdfs/product/d7a8b346-b0ef-11e6-90ca-3a6bba99afcb/hub-drive-pmn-by-micro-motor-ag.pdf>
- Morales, G. y García, J. (2013) *Sistemas y circuitos eléctricos*. Editorial Paraninfo, Madrid, España.

- Moreno, F. (2011). *Cuerpo y corporalidad en la paraplejia: Una teoría de enfermería* (Tesis de doctorado). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- My electronic (2016). *Transistores*. <http://myelectronic.miprofia.com/transistor.html?i=1>
- Norton, R. (1992). *Diseño de maquinaria: Síntesis y análisis de máquinas y mecanismos*. Editorial Mc Graw Hill.
- Ordinola, R. y Ticliahuanca, T. (2014). *Sistema de control de silla de ruedas para personas parapléjicas y tetrapléjicas, usando movimiento traslacional, voz, bluetooth y S.O. Android* (Tesis de grado de ingeniero). Universidad Nacional de Piura, Piura, Perú.
- Ortoiberia (2018). *Silla de ruedas ligera gades GAP 600, autopropulsable*. <https://www.ortoiberia.com/865-silla-de-ruedas-ligera-gades-gap-600-autopropulsable.html>
- Pallás, R. (2005). *Sensores y acondicionamiento de señal*. Editorial Marcombo.
- Panamahitek (2013). *Arduino mega: Características, capacidades*. <http://panamahitek.com/arduino-mega-caracteristicas-capacidades-y-donde-conseguirlo-en-panama/>
- Sánchez, L. (2019). *Silla de ruedas con cambio de posición de sentado a erguido para asistir la discapacidad motora de miembros inferiores en adultos – 2019* (Tesis de grado de ingeniero). Universidad Privada del Norte, Lima, Perú.
- Sears y Zemansky. (2013). *Física universitaria*. Editorial Pearson.
- Shuro, N. (2012). *Robot wheelchair that can climb over steps*. Instituto de tecnología de Chiba, Chiba, Japón.
- Zepeda, V. y Núñez, S. y Hernández, R. (2013). *Diseño y fabricación de una silla de ruedas eléctrica modular para un paciente con Amelia Congénita* (Tesis de grado de ingeniero). Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F-México.
- 4POWER4. (2013). *P4 – COUNTRY*. Bruselas, Bélgica. <https://4power4-powerstand.com/4power4/product-4power4/p4-country/>

BIBLIOGRAFÍA

- Comisión de Estudios de Discapacidad – CEEDIS. (2004). *Discapacidad y accesibilidad*. Lima, Perú.
- Padilla, M. (2015). *Tratamiento Rehabilitador del paciente con Lesión Medular y nivel de independencia funcional alcanzada durante su hospitalización en Hospital de Rehabilitación Aldo Chavarría en el periodo comprendido del 1 de Enero 2014 al 31 de Diciembre del 2015* (Tesis de Especialidad). Universidad Autónoma de Nicaragua, Managua-Nicaragua.
- Pérez, Y. (2015). *Efecto de la paraplejia a largo plazo en la función cognitiva y motora de la mano* (Tesis de doctorado). Universidad de Castilla, Ciudad Real-España.
- Proteus. (2017). *Circuit Simulation Software*. Lima, Perú. Recuperado de <https://www.labcenter.com/simulation/>
- Rueda, M. & Aguado, A. (2003). *Estrategias de afrontamiento y proceso de adaptación a la lesión medular*. Instituto de Migraciones y servicios sociales, Madrid, España.
- Sánchez, M. (2016). *Diseño de una silla de ruedas para un estudiante o trabajador de diseño gráfico* (Proyecto). Universidad Santiago Mariño. Caracas, Venezuela.
- Suazo, B. (2013). *Diseño y análisis práctico de un sistema motorizado con control adaptable a una silla de ruedas estándar, para permitir mayor facilidad de desplazamiento a personas discapacitadas* (Tesis de grado de ingeniero). Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile

ANEXOS

Anexo 1: Especificaciones del aluminio 6061

Aluminio AW6061

Composición química

ELEMENTOS	Mg	Mn	Fe	Si	Si +Fe	Cu	Zn	Cr	Mn +Cr	Ti	Bi	Ni	Pb	Sn	Zr
Máximo	0,8- 1,2	≤0,15	≤0,7	0,4- 0,8	-	0,15- 0,40	≤0,25	0,04- 0,35	-	≤0,15	-	-	-	-	-

Propiedades técnicas

NORMA E.N.	AW6061	
Norma U.N.E.	-	
Densidad	g/cm3	2,70
Estado del tratamiento	T-5	
PROPIEDADES GENERALES		
Carga de rotura	N/mm2	220
Límite elástico	N/mm2	185
Módulo elástico	N/mm2	69500
Alargamiento a 5,65%	13	
Dureza	Brinell	75
PROPIEDADES FÍSICAS		
Punto de fusión	°C	610-655
Conductividad térmica	W/(K*m)	209
Coefic. dilatación termal lineal	m/(m*K)	23,4
Conductividad eléctrica	%IACS	54
CAPACIDAD TECNOLÓGICA		
Ambiente industrial	MB	
Ambiente Rural	MB	
Ambiente marino	B	
En agua de mar	B	
MECANIZACIÓN		
Fragmentación viruta	R	
Brillo superficial	MB	
SOLDADURA		
A la llama	B	
Al arco bajo gas argón	B	
Por resistencia eléctrica	MB	
Braseado	MB	
ANODIZADO		
De protección	MB	
Decorativo	MB	
Duro	MB	

Características principales

Aleación desarrollada para cubrir en características entre la 6063 y las aleaciones al grupo AlCu y AlZn. Buena actitud a la soldadura.

Uso habitual

Aplicaciones aeroespaciales, moldes, maquinaria, ultraligeros, industria naval, piezas bicicleta, usos militares, estructura camiones, etc.

Leyenda:

- **MB** Muy Bueno
- **B** Bueno
- **C** Correcto
- **R** Regular
- **M** Malo
- **(1)** Valores típicos

CODIFICACION INTERNACIONAL DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO

- 1xxx** Aluminios cuya riqueza es > 99%
- 2xxx** Aleaciones al cobre.
- 3xxx** Aleaciones al manganeso.
- 4xxx** Aleaciones al silicio.
- 5xxx** Aleaciones al magnesio.
- 6xxx** Aleaciones al magnesio-silicio.
- 7xxx** Aleaciones al zinc.
- 8xxx** Otras aleaciones.

La primera cifra indica el componente principal de adición y el grupo al que pertenece la aleación.

Nota: Aunque nos hemos esforzado por asegurar la exactitud de los datos provistos, Valenciana de Aluminios, Cobre y Plásticos S.A., no garantiza ni acepta ninguna responsabilidad por la exactitud de los mismos.

Anexo 2: Especificaciones de medidas de tubos cuadrados



Vigas - Planchas - Tubos - Angulos - Canales - Válvulas - Fittings

Tubisa sac

TUBOS CUADRADOS LAC ASTM A 500/A 500M

Descripción

Producto que se obtiene por conformación a temperatura de ambiente, a partir de bobinas laminadas en caliente, previo acondicionamiento a flejes, y un proceso de soldadura longitudinal (ERW)

Usos

Carpintería metálica, estructuras, techos a doble agua o planos, barandas, rejas, carrocerías, etc.

Propiedades Mecánicas

Del Tubo	NORMA TECNICA Del Acero	Limite de Fluencia			Resistencia a la Tracción			Elongación
		Kg/mm ²	Ksi	Mpa	Kg/mm ²	Ksi	Mpa	%
ASTM A 500	ASTM A 500 grado A	27 mín	36 mín	269 mín	31 mín	45 mín	310 mín	25 mín
	ASTM A 500 grado B	32 mín	46 mín	317 mín	40 mín	58 mín	400 mín	23 mín

Dimensiones Standard y Pesos Teóricos. SISTEMA INGLES

DIMENSION EXTERIOR	ESPESOR DE PARED EN MILIMETROS						
	1.8 kg/m	2.0 kg/m	2.3 kg/m	2.5 kg/m	3.0 kg/m	4.0 kg/m	4.5 kg/m
1"	1.32	1.46	1.56	1.67			
1 1/4"	1.68	1.86	2.02	2.17			
1 1/2"	2.03	2.24	2.48	2.67	3.12		
2"	2.70	2.98	3.40	3.67	4.32		
3"	4.14	4.58	5.23	5.66	6.71	8.75	

Dimensiones Standard y Pesos Teóricos. SISTEMA MILIMETRICO

DIMENSION EXTERIOR mm	ESPESOR DE PARED EN MILIMETROS								
	2.0 kg/m	2.5 kg/m	3.0 kg/m	4.0 kg/m	4.5 kg/m	6.0 kg/m	8.0 kg/m	9.0 kg/m	12.0 kg/m
40.0	2.31	2.82	3.30	4.20	4.61				
50.0	2.93	3.60	4.25	5.45	6.02				
60.0	3.56	4.39	5.19	6.71	7.43				
75.0	4.50	5.56	6.60	8.59	9.55				
80.0	4.82	5.96	7.07	9.22	10.26				
100.0			8.96	11.73	13.08	16.98	21.82	24.08	30.20
125.0			11.31	14.87	16.62	21.69	28.10	31.14	39.70
150.0			13.67	18.01	20.15	26.40	34.40	38.21	49.10

Longitud estándar 6.0 metros
Acabado. Negro Aceitado

Anexo 3: Especificaciones de medidas de tubos rectangulares



Vigas - Planchas - Tubos - Angulos - Canales - Válvulas - Fittings

TUBOS RECTANGULARES LAC ASTM A 500/A 500M

Descripción

Producto que se obtiene a partir de bobinas estructurales laminadas en caliente, habilitadas previamente en flejes y soldadas por resistencia eléctrica (ERW)

Usos

Para la fabricación de estructuras en general, puentes, tijerales, columnas, viguetas, postes, naves industriales, etc.

Normas Suministradas y Composición Química

NORMA TECNICA	C %	Mn %	P %	S %	Cu %
ASTM A 500/A 500M grado A	0.26 máx	1.35 máx	0.035 máx	0.035 máx	0.035 máx
ASTM A 500/A 500M grado B	0.23 máx	1.35 máx	0.035 máx	0.035 máx	0.035 máx

Propiedades Mecánicas

NORMA TECNICA	Limite de Fluencia			Resistencia a la Tracción			Elongación
	Kg/mm ²	ksi	Mpa	Kg/mm ²	ksi	Mpa	Probeta 2"
ASTM A 500/A 500M grado A	27 mín	39 mín	269 mín	31 mín	45 mín	310 mín	25 % mín
ASTM A 500/A 500M grado B	32 mín	46 mín	317 mín	40 mín	58 mín	400 mín	23 % mín

Dimensiones, Pesos Teóricos y Características

DIMENSIONES NOMINALES	Espesor de Pared mm	Longitud m	Peso Kg/m	Peso kg/tubo	AREA cm ²	EJE X - X			EJE Y - Y		
						Ix cm ⁴	Sx cm ³	rx cm	Iy cm ⁴	Sy cm ³	ry cm
4" x 2"	3.0	6.00	6.71	40.28	8.41	106.46	21.30	3.56	36.00	14.40	2.07
	4.0	6.00	8.75	52.47	10.95	134.14	26.80	3.50	45.00	18.00	2.03
	4.5	6.00	9.72	58.33	13.36	158.19	31.60	3.44	52.00	21.00	1.98
	6.0	6.00	12.50	74.99	15.63	178.75	35.80	3.38	59.00	23.50	1.94
6" x 2"	3.0	6.00	9.11	54.64	11.41	298.55	39.80	5.12	53.00	21.10	2.15
	4.0	6.00	11.94	71.61	14.95	381.39	50.90	5.05	66.00	26.50	2.10
	4.5	6.00	13.31	79.87	18.36	456.29	60.80	4.99	78.00	31.10	2.06
	6.0	6.00	17.28	103.70	21.63	523.47	69.80	4.92	88.00	35.20	2.02

Anexo 4: Especificaciones técnicas del motor Hub Motor PMN

Hub Motor PMN

micromotor

We care for your drive.

Description

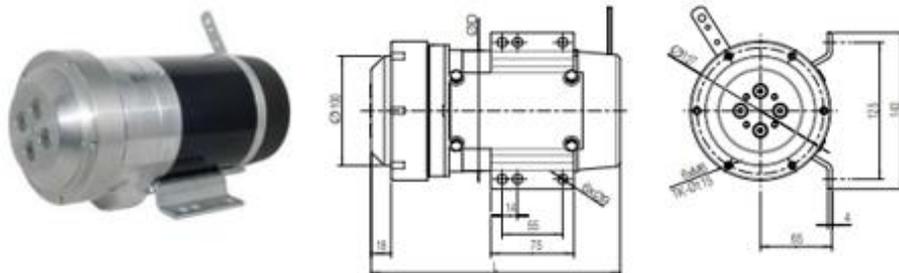
- DC motor with permanent magnet: 4-pole
- Gear version available for heavy duty operation
- Compact traction drive
- Rim directly mountable onto different hubs
- Quiet operation
- Long life time of carbon brushes
- Optimised Efficiency
- Easy to be installed and adaptable to application
- Electromagnetic holding brake with bowden cable or rotary unlocking (12/24 VDC, 2.5–5 Nm)

Typical Applications

- Motorised wheelchairs
- Electric powered compact vehicles

Technical Information (further versions possible on request)

Nominal voltage <small>(Nonstandard voltages on request)</small>	[VDC]	12, 24, 36, 48, 60
Nominal power	[W]	300, 550
No load speed	[min ⁻¹]	145 ... 250
Nominal torque	[Nm]	160
Nominal current at 24VDC <small>(depending on voltage, speed and load)</small>	[A]	20 ... 35
Motor diameter D	[mm]	110
Gear versions	i	15.75, 18.7, 21.4
Mounting		flange, base, etc.
Hub	right, left	flange adaptable
Insulation Protection	Class F IP43	further versions on request
Dimensions	[mm]	D 110, L 219 ... 276 depending on power, gear and hub



Anexo 5: Especificaciones técnicas del actuador lineal LA23 - 100

LA23

The LA23 actuator is a small and strong push/pull actuator (up to 2,500 N). The LA23 can be used in various applications where size is important.

Some of the benefits the LA23 offers you are:

- Compact design
- High lifting force
- Exchangeable cables



Features and options:

- Load in push: 2,500 N, 1,800 N, 1,500 N, 1,200 N, 900 N or 300 N
- Load in pull: 2,500 N, 1,800 N, 1,500 N, 1,200 N, 900 N or 300 N
- Housing colour: Black (RAL 9005), outer tube steel or black Light grey (RAL 7035), outer tube steel
- Protection class: IPX4, IPX6
- Motor: 12 V DC, 24 V DC
- Stroke length: 20 - 500 mm (for stroke 300-500 mm max. load is 1,000 N for pitch 3, 5, 6 and 9)
Pitch 12 mm (for stroke 300-500 mm max. load is 900 N)
Pitch 20 mm (for stroke 300-500 mm max. load is 300 N)
- Built-in dimensions: 110 - 146 mm + stroke length
- Positioning options: Potential free end stop signals
Hall potentiometer or Hall PWM position
Single Hall, Dual Hall
- Back fixture material: Plastic or steel
- Nut: Guided
- Safety nut: In push or pull (2,500 N and 1,800 N version only safety nut in push)
- Mechanical spline: Yes

- Built-in electrical end-stop: Yes
- Exchangeable cable: Yes
- Static safety factor: 2.5
- Noise level: Max. 58.5 dB(A) (At nominal voltage and with no load, according to EN ISO 3743-1)
- Mechanical end stop: Yes
- Integrated Control: Yes

Usage:

- Duty cycle: 10%, 2 minutes continuous use followed by 18 minutes not in use
- Usage temperature: +5° - +40° normal operating temp. -30° - +50° according to test conditions: ISO 7176-9
- Storage temperature: -45°C to +70°C (according to ISO 7176-9)
- Compatibility: Compatible with LINAK control boxes. Please contact LINAK.
- Approvals: IEC60601-1, ANSI/AAMI ES60601-1, CAN/CSA 22.2 No 60601-01.
LA23IC is not approved according to the above.
LA23 in combination with CBD4, CBD5 & CBD6 has no approvals.
- Flammability rating: Enclosure UL94-V0

Anexo 6: Especificaciones técnicas del Arduino Mega 2560

Microcontroller	Atmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage	7V – 12V
USB Port	Yes
DC Power Jack	Yes
Current Rating Per I/O Pin	20mA
Current Drawn from Chip	50mA
Digital I/O Pins	54
PWM	15
Analog Pins (Can be used as Digital Pins)	16 (Out of Digital I/O Pins)
Flash Memory	256KB
SRAM	8KB
EEPROM	4KB
Crystal Oscillator	16 MHz
LED	Yes/Attached with Digital Pin 13
Wi-Fi	No
Shield Compatibility	Yes

Anexo 7: Especificaciones técnicas del regulador de voltaje RB-Dfr-222

5A 350KHz 25V Buck DC to DC Converter

Features

- Wide 3.6V to 25V Input Voltage Range
- Output Adjustable from 0.8V to 23V
- Maximum Duty Cycle 100%
- Minimum Drop Out 0.6V
- Fixed 350KHz Switching Frequency
- 5A Constant Output Current Capability
- Internal Optimize Power MOSFET
- High efficiency
- Excellent line and load regulation
- TTL shutdown capability
- EN pin with hysteresis function
- Built in thermal shutdown function
- Built in current limit function
- Built in output short protection function
- Available in TO-263 package

Applications

- LCD Monitor and LCD TV
- Digital Photo Frame
- Set-up Box
- ADSL Modem
- Telecom / Networking Equipment

General Description

The GS2678 is a 350 KHz fixed frequency PWM buck (step-down) DC/DC converter, capable of driving a 5A load with high efficiency, low ripple and excellent line and load regulation. Requiring a minimum number of external components, the regulator is simple to use and include internal frequency compensation and a fixed-frequency oscillator.

The PWM control circuit is able to adjust the duty ratio linearly from 0 to 100%. An enable function, an over current protection function is built inside. When short protection function happens, the operation frequency will be reduced from 350KHz to 80KHz. An internal compensation block is built in to minimize external component count.



TO263-5L

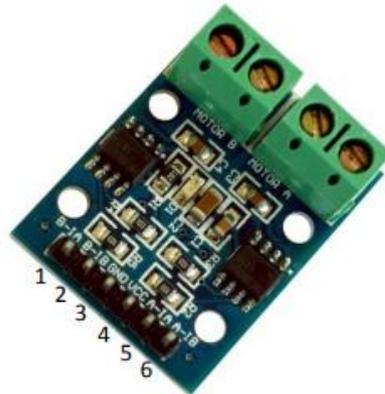
Figure1. Package Type of GS2678

Anexo 8: Especificaciones técnicas del módulo puente h L9110

Specifications

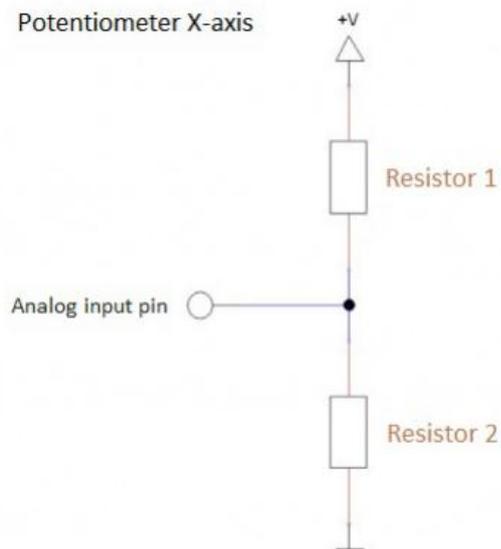
- On-board 2 L9110 motor control chip
- Module can be driven by two dc motors at the same time or one phase 4 line 2 type stepping motor
- Input voltage: 2.5-12V DC
- Each channel has a continuous output current 800 ma
- PCB Size: 29.2mm x 23mm

Pin Configuration



1. B-IA: Motor B Input A
2. B-IB: Motor B Input B
3. GND: ground
4. VCC: 2.5V-12V DC
5. A-IA: Motor A Input A
6. A-IB: Motor B Input B

Anexo 9: Especificaciones técnicas del joystick KY-023

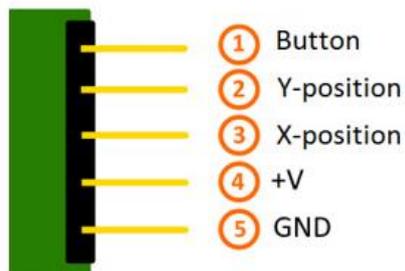


In the non-operating mode, the potentiometer is in the middle so that resistor1=resistor2, so that the voltage will equally split to both resistors - e.g. Measurement of +V=5V -> 2,5V.

If one of the axis changes, like the x-axis for example, the values of the resistors will change - e.g. value of resistor 1 will raise than the value of resistor 2 will fall or the value of resistor 1 will fall and the value of resistor 2 will raise.

According to the division of the resistor values, you can measure a specific voltage value between the resistors and locate the position of the axis.

Pinout



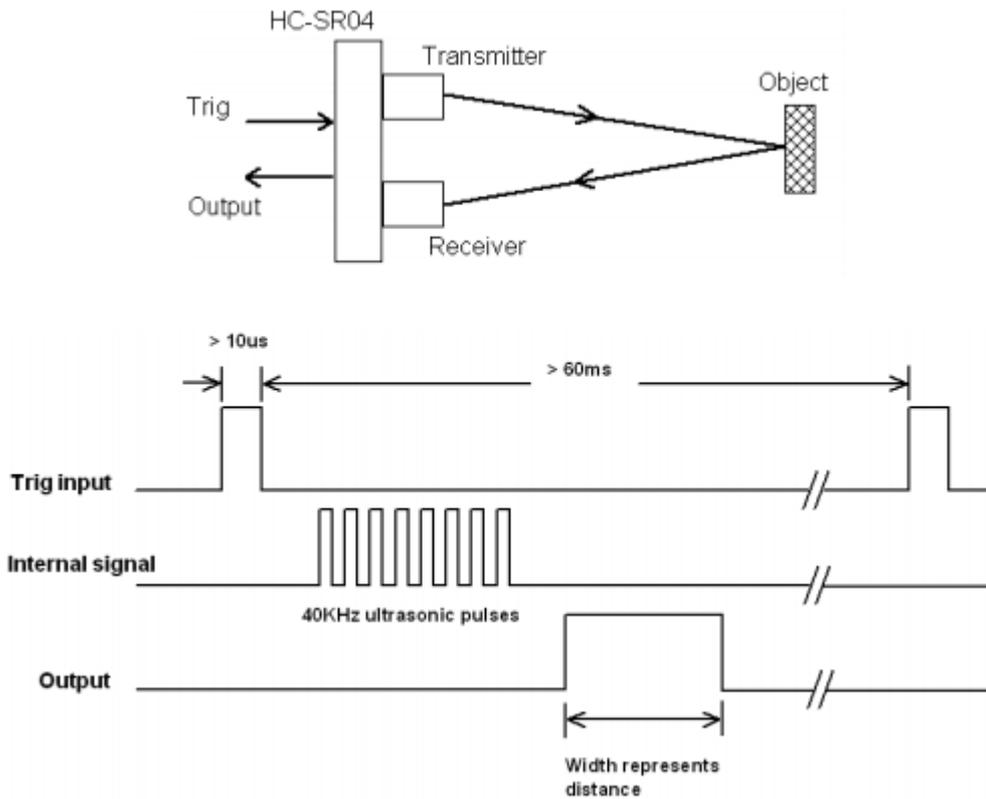


Fig. 4

- Notes:**
1. The width of trig signal must be greater than 10us
 2. The repeat interval of trig signal should be greater than 60ms to avoid interference between connective measurements.

Specifications

Parameters	Specification
Operating Voltage	+5V DC
Operating Current	15mA
Operating Frequency	40KHz
Maximum Distance	400cm
Minimum Distance	2cm
Detect Angle	15 degree
Resolution	0.3cm
Input Trig Signal	>10us TTL pulse
Output Signal	TTL pulse with width representing distance
Weight	
Dimension	45 x 20 x 15 mm

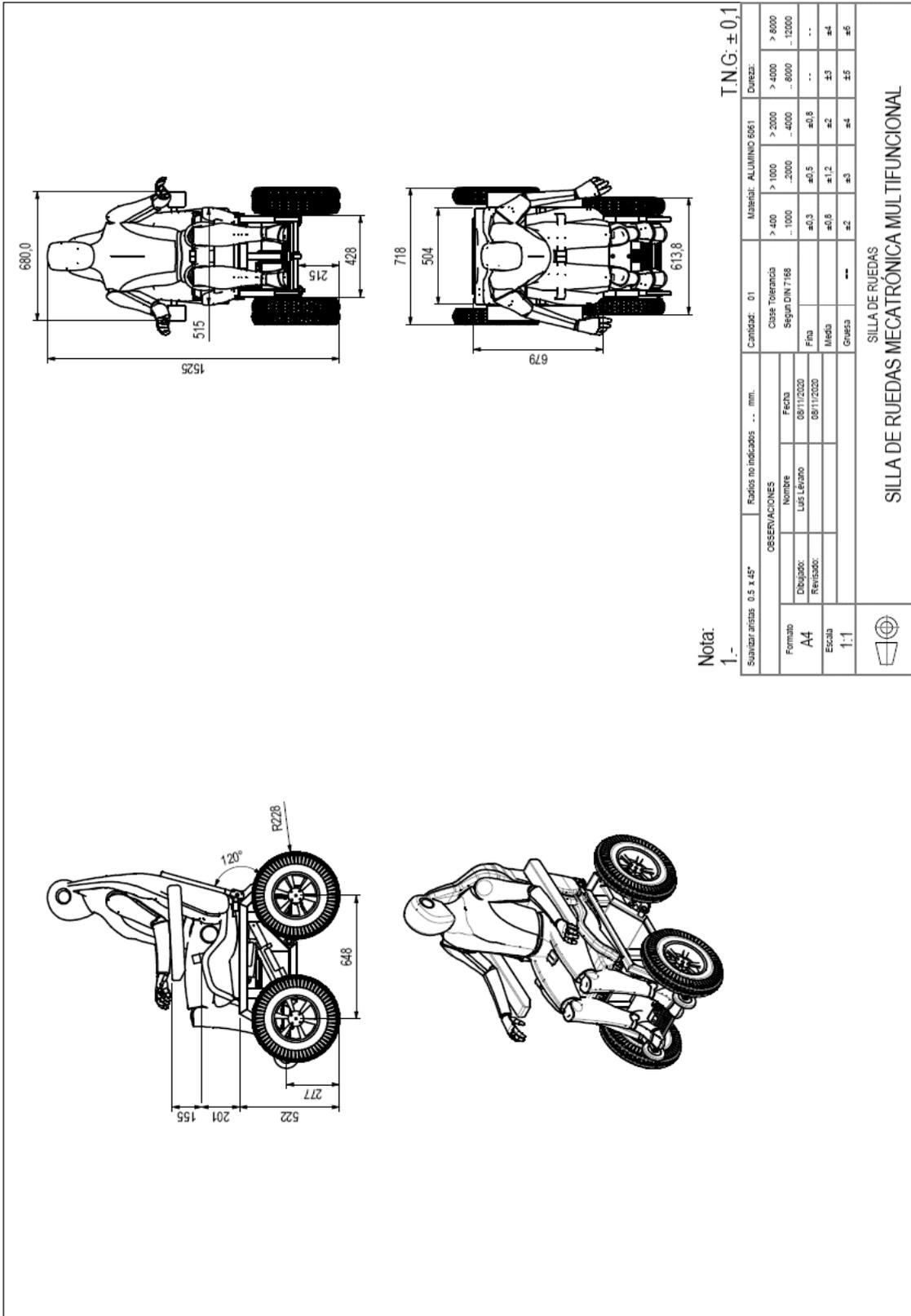
Anexo 11: Especificaciones técnicas del sensor de presión MF01

MF01-N-220-A01 規格書

SPECIFICATION

檢驗項目 Inspection Item	規格 SPEC.	備註 Notes
起始按壓力 Actuation Force	30g min.	
按壓力靈敏度範圍 Force Sensitivity Range	30~1000g	
再現性 Force repeatability (Single part)	±5%	
再現性 Force repeatability (Part to Part)	±20%	
絕緣阻抗 Ins. Resistance	>20MΩ	Without loading
遲滯 Hysteresis (Rf+)-(Rf-)/Rf+	10%	
反應時間 Response time	<1ms	
操作溫度 Operation Temp	-30~70°C	
使用壽命 Life Cycle	1 million	
厚度 Thickness	0.43±0.05mm	

APÉNDICES



Nota:

1.-

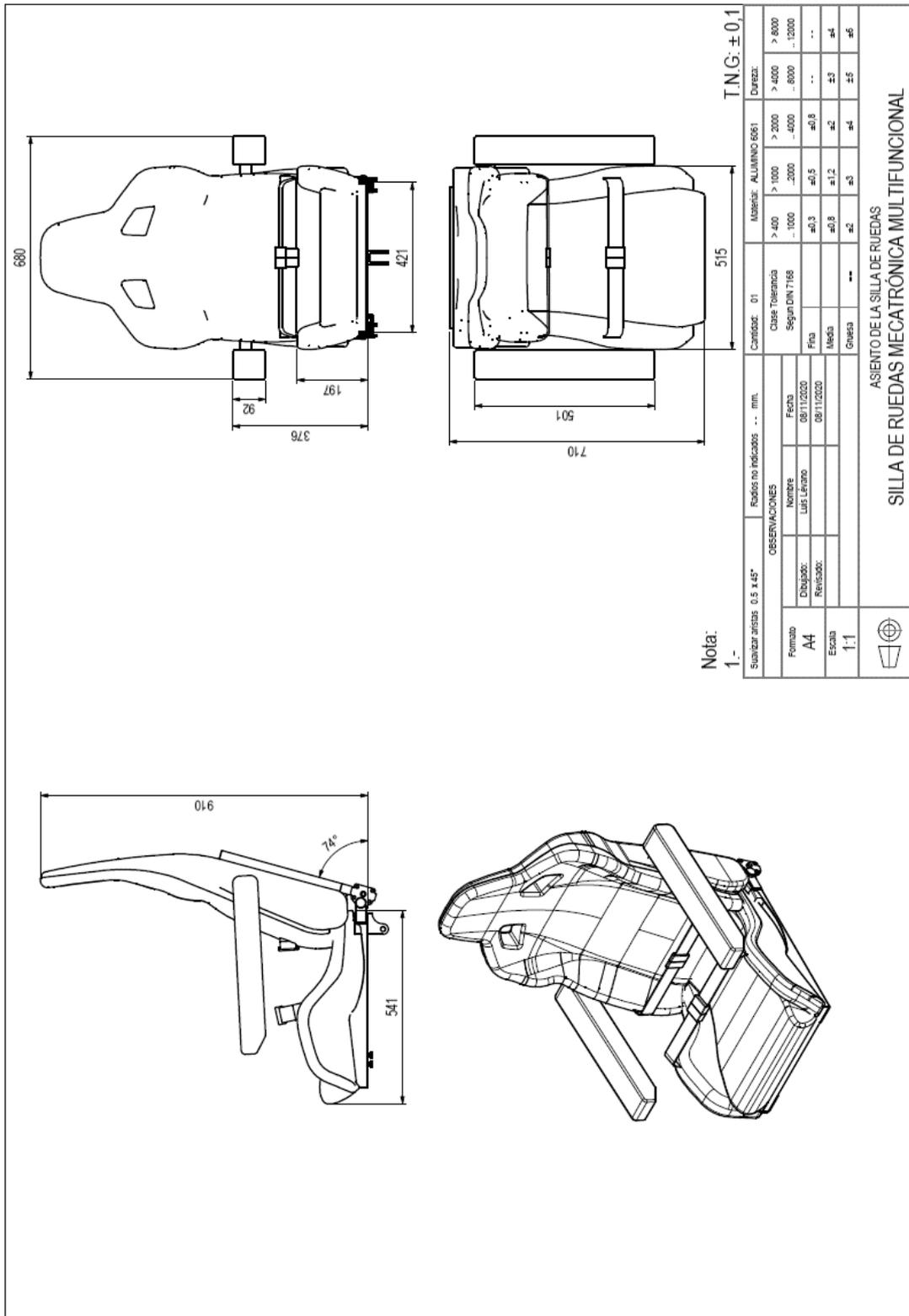
Suavizar aristas 0,5 x 45°		Radios no indicados ... mm.		Cantidad: 01	Material: ALUMINIO 6061		Dureza:		
OBSERVACIONES		Clase Tolerancia		> 400	> 1000	> 2000	> 4000	> 6000	
Nombre		Segun DIN 7188		.. 1000	.. 2000	.. 4000	.. 8000	.. 12000	
Dibujado:		Fecha		Fla		Medi		Grueta	
Revisado:		08/11/2020		±0,3		±0,8		±1,2	
		08/11/2020		±0,8		±1,2		±2	
				±2		±3		±4	
				±4		±5		±6	

T.N.G: ±0,1

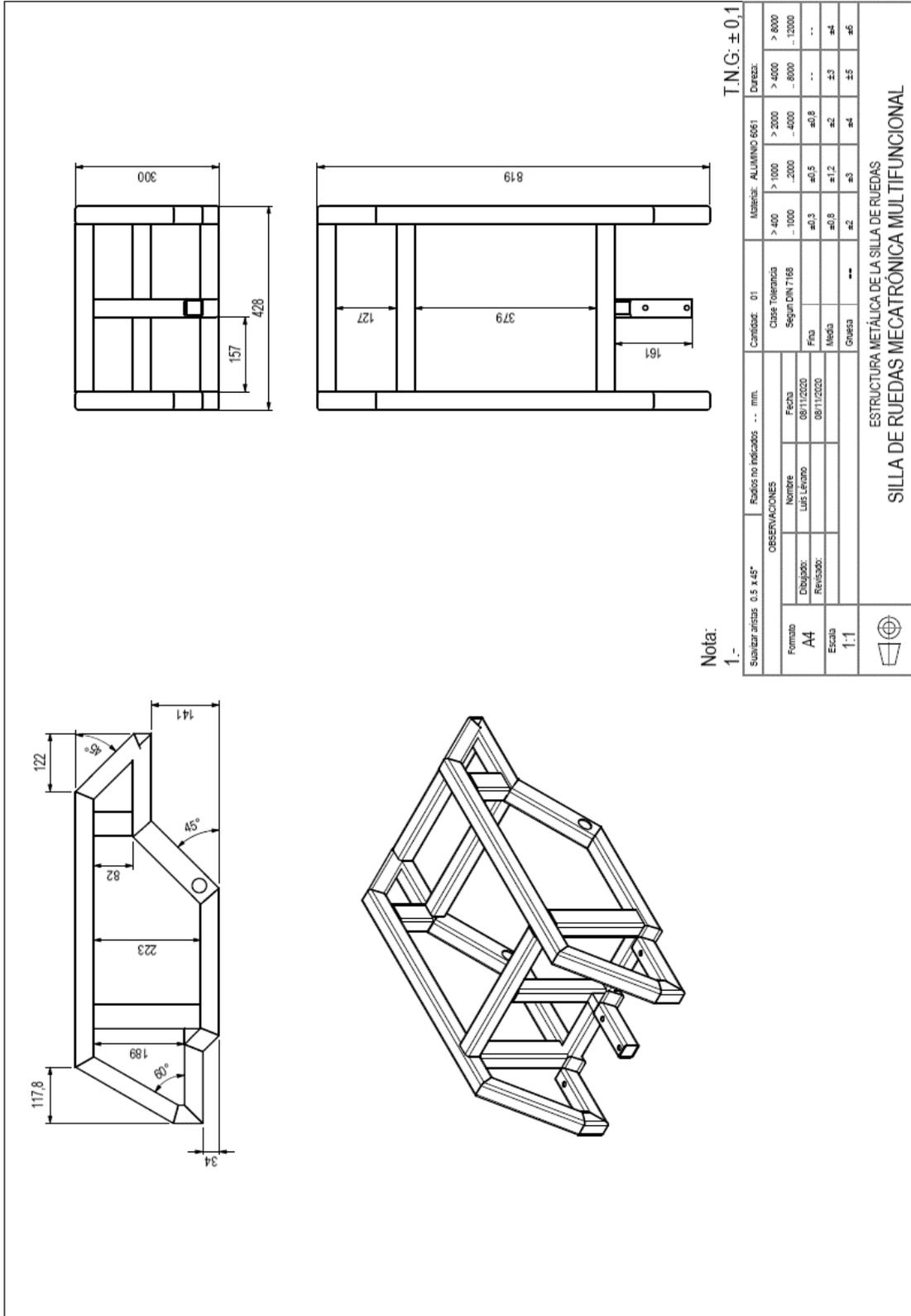
SILLA DE RUEDAS MECATRONICA MULTIFUNCIONAL

Apéndice A: Silla de ruedas mecatrónica multifuncional

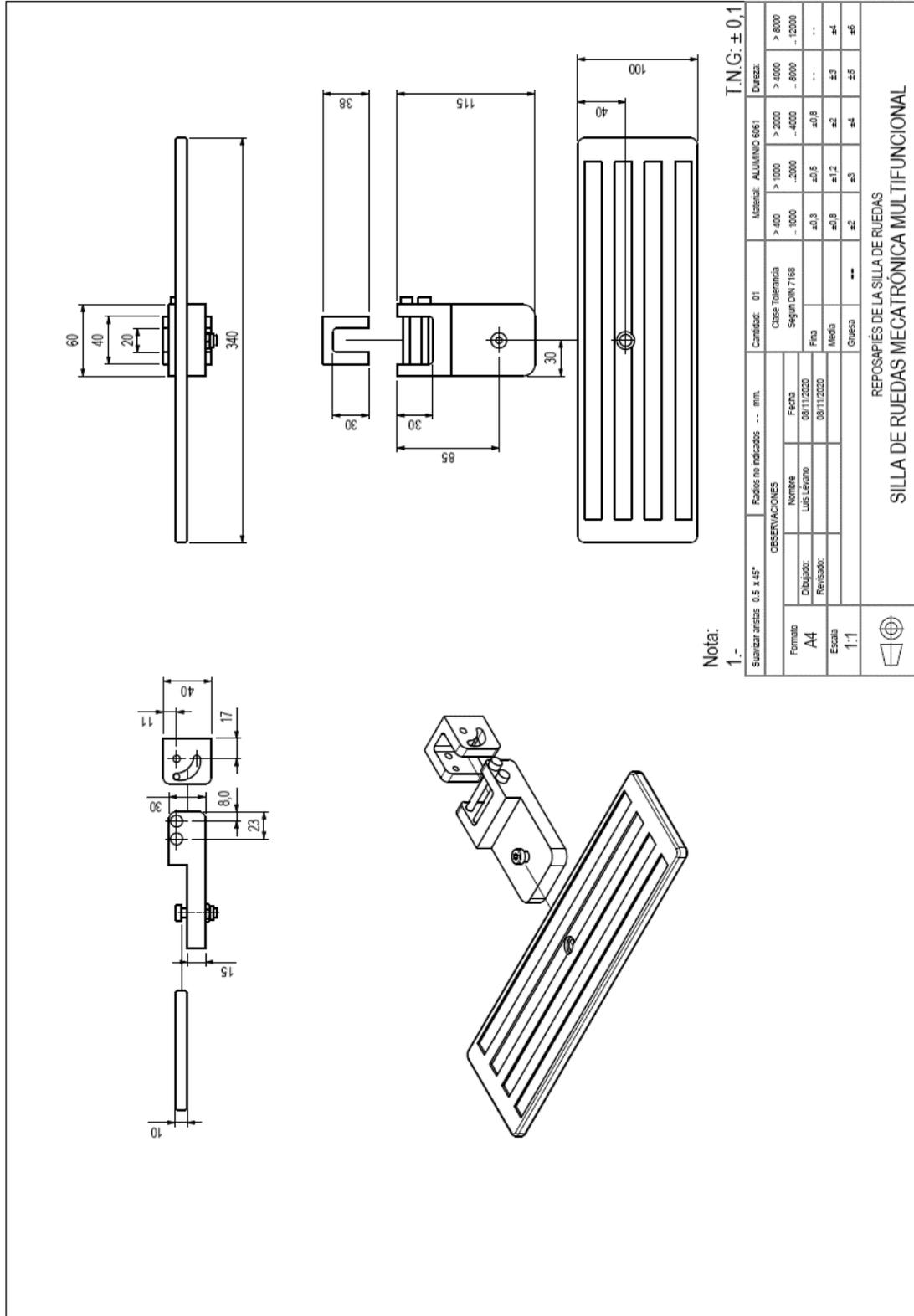
Apéndice B: Asiento de la silla de ruedas



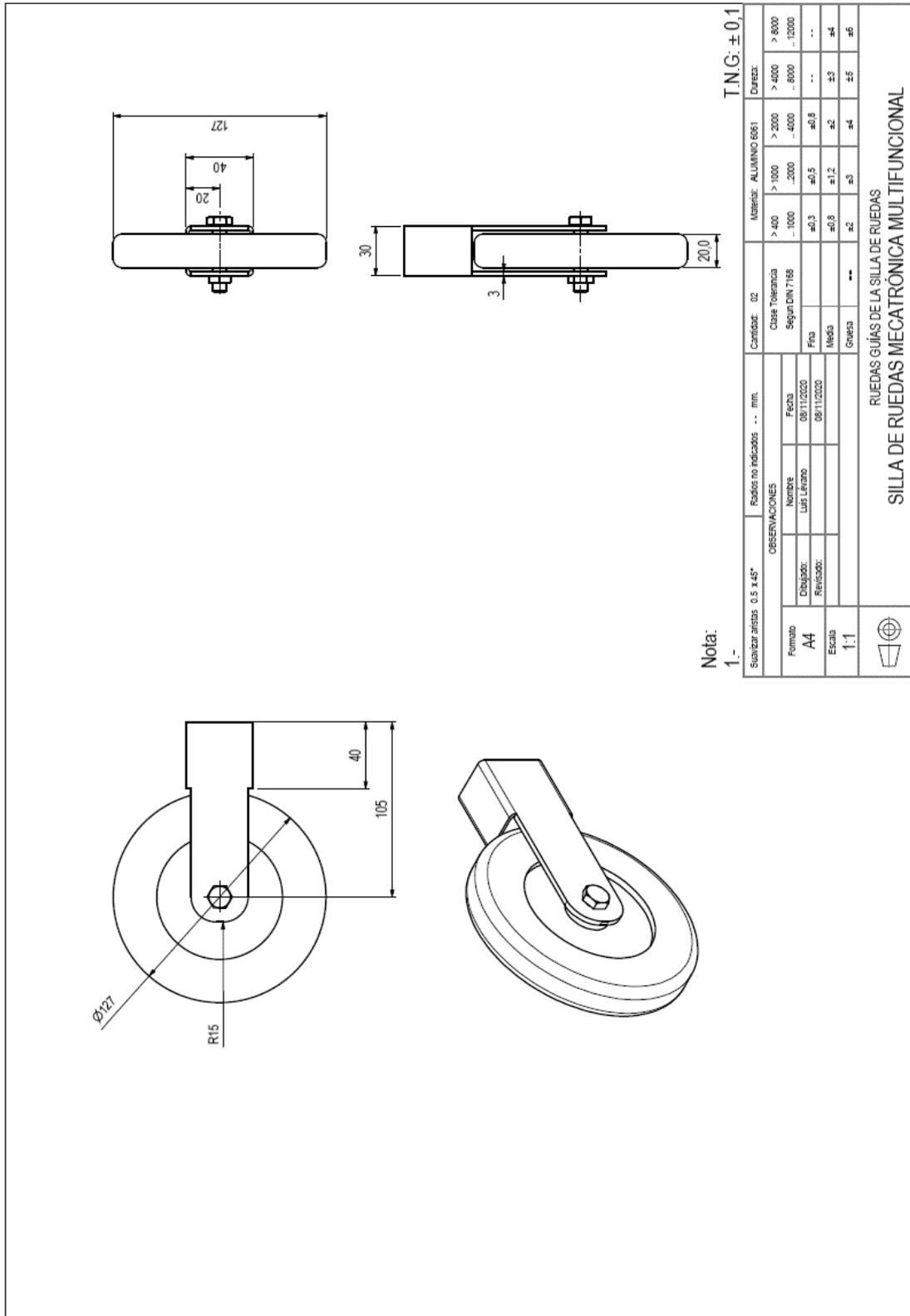
Apéndice C: Estructura metálica de la silla de ruedas



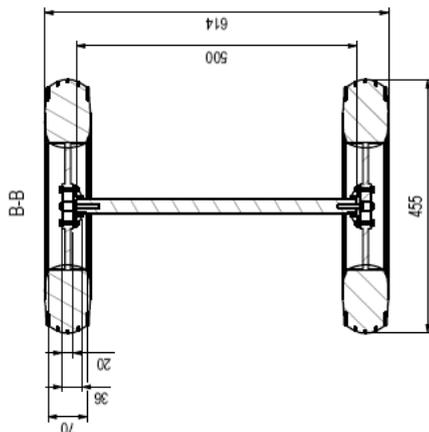
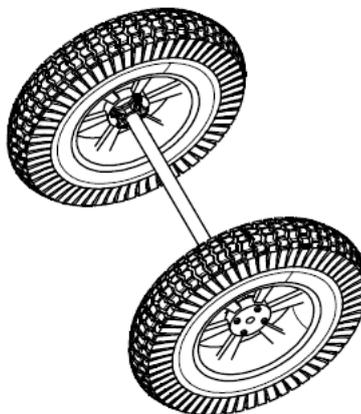
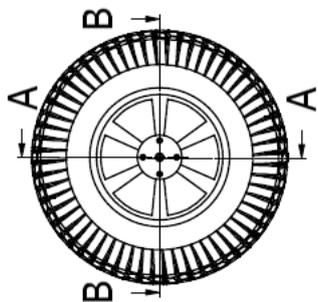
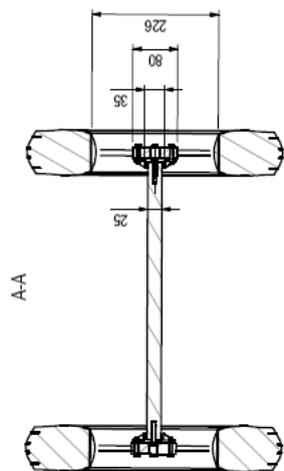
Apéndice D: Reposapiés de la silla de ruedas



Apéndice E: Ruedas guías de la silla de ruedas



Apéndice F: Ensamble de ruedas delanteras de la silla de ruedas



Nota:

1.- T.N.G. ± 0,1

Suavizar aristas: 0,5 x 45°		Radios no indicados: ... mm.		Cantidad: 01		Material: ALUMINIO 6061		Dureza:	
OBSERVACIONES		Clase Tolerancia		Según DIN 7168					
Formato	A4	Nombre	Luis Lafuente	Fecha	08/11/2020				
Dibujado:		Revisado:		Fecha	08/11/2020				
Escala	1:1	Medida	±0,8	Medida	±1,2	±2	±3	±4	±5
		Grueso	±2	±3	±4	±5	±6		

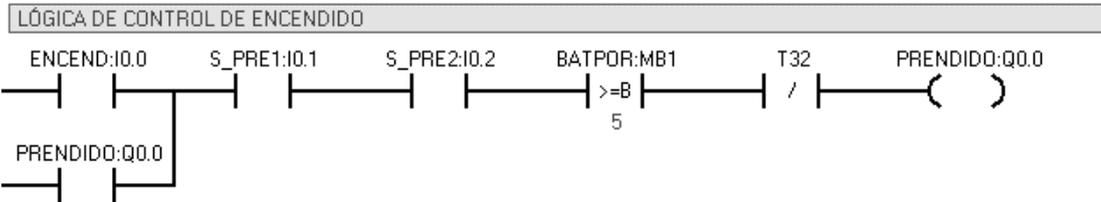
ENSAMBLE DE RUEDAS DELANTERAS
SILLA DE RUEDAS MECATRÓNICA MULTIFUNCIONAL

Apéndice I: Tabla de símbolos de la programación

			Símbolo	Dirección	Comentario
1			BAT	VD100	PORCENTAJE DE BATERÍA
2			LED	Q0.6	LED INDICADOR DE BATERÍA BAJA
3			EMERGENCIA	Q0.5	PARADA DE EMERGENCIA
4			AL2	Q0.4	ACTUADOR LINEAL DEL RESPALDAR
5			AL1	Q0.3	ACTUADOR LINEAL DEL ASIENTO
6			M2DIR	Q0.2	DIRECCIÓN DEL MOTOR 2
7			M1DIR	Q0.1	DIRECCIÓN DEL MOTOR 1
8			PRENDIDO	Q0.0	SILLA DE RUEDAS PRENDIDA
9			DIST	MD10	DISTANCIA SENSADA
10			VEJEY	MD3	VALOR DEL EJE Y
11			VEJEX	MD2	VALOR DEL EJE X
12			BATPOR	MB1	BATERÍA EN PORCENTAJE
13			PARADA	I0.6	PULSADOR DE PARADA DE EMERGENCIA
14			FC2	I0.5	FINAL DE CARRERA DEL RESPALDAR
15			FC1	I0.4	FINAL DE CARRERA DEL ASIENTO
16			BIPE	I0.3	FUNCIÓN DE BIPEDESTACIÓN
17			S_PRE2	I0.2	SENSOR DE PRESIÓN DEL RESPALDAR
18			S_PRE1	I0.1	SENSOR DE PRESIÓN DEL ASIENTO
19			ENCEND	I0.0	PULSADOR DE ENCENDIDO
20			M2PWM	AQW10	VELOCIDAD DEL MOTOR 2
21			M1PWM	AQW0	VELOCIDAD DEL MOTOR 1
22			EJEY	AIW30	EJE Y DEL JOYSTICK
23			EJEX	AIW20	EJE X DEL JOYSTICK
24			ULTRA	AIW10	VALOR SENSADO POR EL ULTRASONIDO
25			BATERÍA	AIW2	NIVEL DE BATERÍA

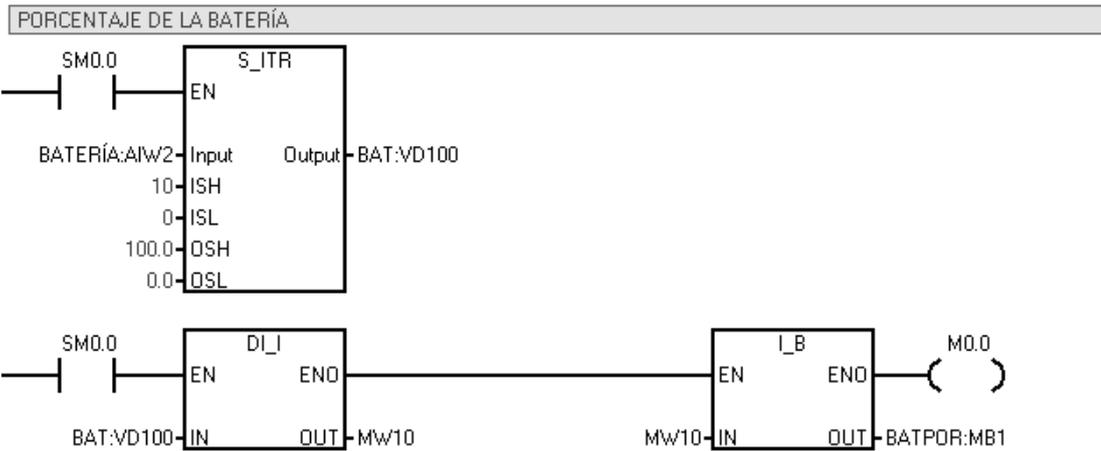
Apéndice J: Programación de la silla de ruedas I

Network 1 PROGRAMACIÓN DE LA SILLA DE RUEDAS MECATRÓNICA



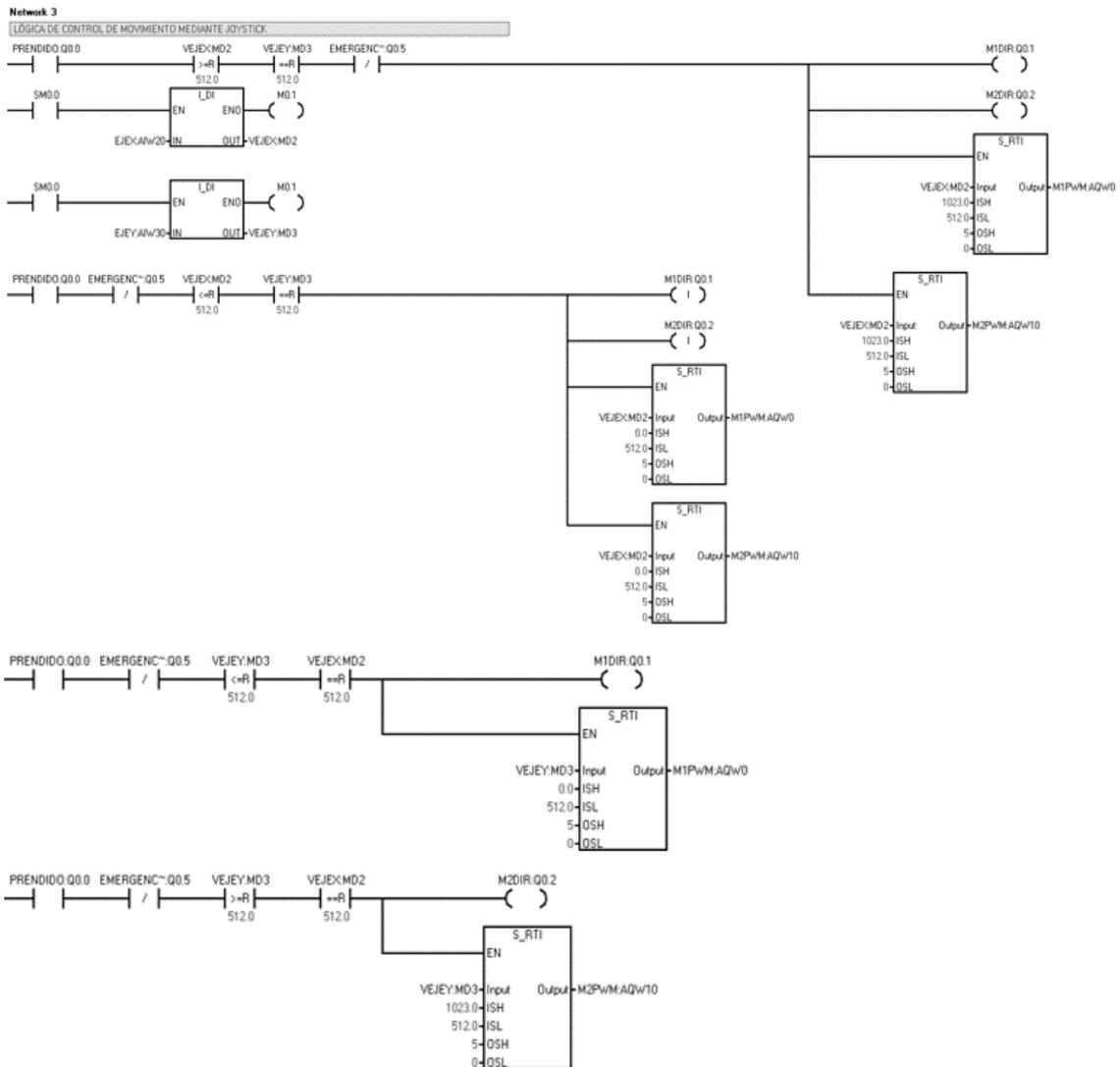
Símbolo	Dirección	Comentario
BATPOR	MB1	BATERÍA EN PORCENTAJE
ENCEND	IO.0	PULSADOR DE ENCENDIDO
PRENDIDO	Q0.0	SILLA DE RUEDAS PRENDIDA
S_PRE1	IO.1	SENSOR DE PRESIÓN DEL ASIENTO
S_PRE2	IO.2	SENSOR DE PRESIÓN DEL RESPALDAR

Network 2



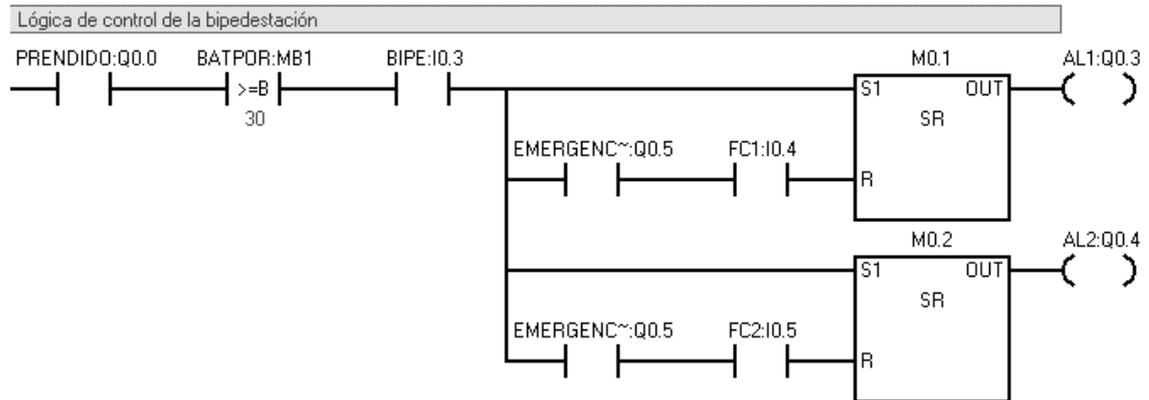
Símbolo	Dirección	Comentario
BAT	VD100	PORCENTAJE DE BATERÍA
BATERÍA	AIW2	NIVEL DE BATERÍA
BATPOR	MB1	BATERÍA EN PORCENTAJE

Apéndice K: Programación de la silla de ruedas II



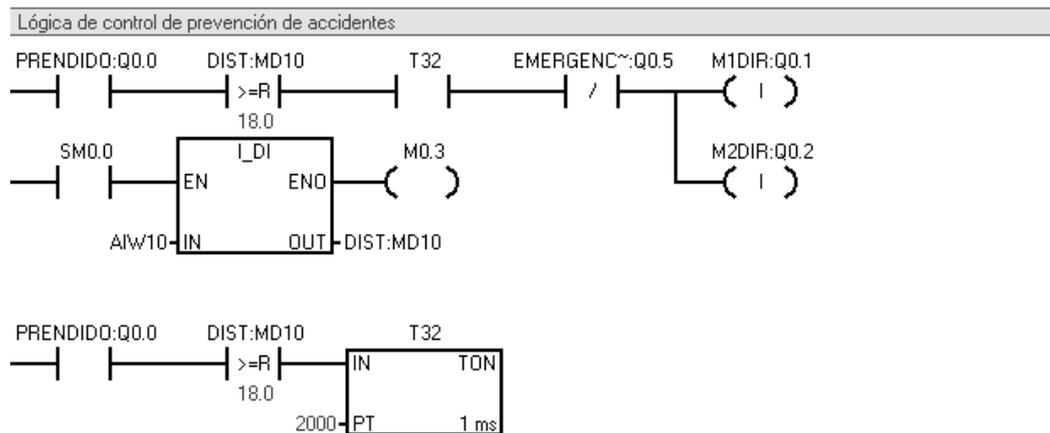
Apéndice L: Programación de la silla de ruedas III

Network 4



Símbolo	Dirección	Comentario
AL1	Q0.3	ACTUADOR LINEAL DEL ASIENTO
AL2	Q0.4	ACTUADOR LINEAL DEL RESPALDAR
BATPOR	MB1	BATERÍA EN PORCENTAJE
BIPE	I0.3	FUNCIÓN DE BIPEDESTACIÓN
EMERGENCIA	Q0.5	PARADA DE EMERGENCIA
FC1	I0.4	FINAL DE CARRERA DEL ASIENTO
FC2	I0.5	FINAL DE CARRERA DEL RESPALDAR
PRENDIDO	Q0.0	SILLA DE RUEDAS PRENDIDA

Network 5



Apéndice M: Programación de la silla de ruedas IV

Símbolo	Dirección	Comentario
DIST	MD10	DISTANCIA SENSADA
EMERGENCIA	Q0.5	PARADA DE EMERGENCIA
M1DIR	Q0.1	DIRECCIÓN DEL MOTOR 1
M2DIR	Q0.2	DIRECCIÓN DEL MOTOR 2
PRENDIDO	Q0.0	SILLA DE RUEDAS PRENDIDA

Network 6

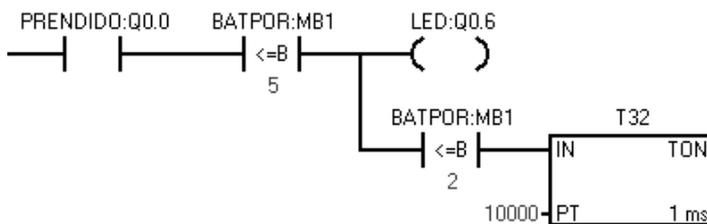
Lógica de control de parada de emergencia



Símbolo	Dirección	Comentario
EMERGENCIA	Q0.5	PARADA DE EMERGENCIA
PARADA	I0.6	PULSADOR DE PARADA DE EMERGENCIA
PRENDIDO	Q0.0	SILLA DE RUEDAS PRENDIDA

Network 7

Lógica de control de batería



Símbolo	Dirección	Comentario
BATPOR	MB1	BATERÍA EN PORCENTAJE
LED	Q0.6	LED INDICADOR DE BATERÍA BAJA
PRENDIDO	Q0.0	SILLA DE RUEDAS PRENDIDA