



**Facultad de Ingeniería
Ingeniería Mecatrónica**

**Programa Especial de Titulación:
“DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS
BIPEDA PARA PERSONAS CON
DISCAPACIDAD MOTRIZ DE LAS
EXTREMIDADES INFERIORES”**

Autor: Alex Aguilar Pomalima

**Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Mecatrónico**

Lima – Perú

2020

DEDICATORIA

El presente trabajo de Grado está dedicado a mis padres, licenciada Vilma Pomalima Nájera y al ingeniero civil Alejandro Aguilar Ludeña quienes me brindaron un apoyo incondicional en la elaboración del presente trabajo de grado, a mis Profesores de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica, quienes me apoyaron con abnegación y esfuerzo para la feliz culminación de mis estudios universitarios, y para la elaboración de la investigación que a continuación se expone. También dedico este trabajo de investigación a las personas con paraplejía quienes son la razón de ser del presente trabajo de investigación

RESUMEN

El reciente trabajo de grado contiene la propuesta y diseño para la bipedestación de una silla de ruedas dirigida a las persona con paraplejia con un peso de 150 Kg, este sector de la población al hacer sus labores cotidianas y ocupaciones tienen que usar constantemente la silla de ruedas común el cual origina fatigas musculares, con esta propuesta se busca eliminar estas incomodidades. Para inducir en este sector de la población mayor seguridad y autoestima, la silla de ruedas bípoda permite el cambio de posición sedente a bípoda mejorando la salud y su calidad de vida en comparación de una silla de ruedas común. Para obtener las necesidades del usuario de la silla de ruedas en un inicio se desarrolló el análisis modular para conseguir un pre – diseño con sus respectivas soluciones. Para la estructura principal de la silla se realizó las medidas antropométricas de los usuarios de la provincia de Lima. Para poder garantizar al usuario de la silla de ruedas características como ergonomía, seguridad además de una adecuada funcionalidad se empleó CAD para el diseño definitivo del mecanismo bipedestador y la estructura principal. Haciendo uso de la herramienta de elementos finitos de programa SOLIDWORKS se estableció los diferentes elementos y cuantifico los componentes que constituyen la silla bípoda. La elección de los actuadores fue en base a las necesidades de los usuarios de la silla de ruedas además su disponibilidad en el mercado peruano. Por último, la estructura principal de la silla cuenta con las medidas básicas de una silla de ruedas según la norma A.120 del reglamento nacional de edificaciones.

INDICE DE CONTENIDO

INDICE DE FIGURAS	VI
INDICE DE TABLAS	X
INTRODUCCIÓN	XII
CAPÍTULO 1	14
ASPECTOS GENERALES	14
1.1 Planteamiento del Problema	14
1.2 Definición de objetivos	15
1.2.1 Objetivo general	15
1.2.2 Objetivos específicos	15
1.3 Alcances y Limitaciones	16
1.3.1 Alcances	16
1.3.2 Limitaciones	16
1.4 Justificación	16
1.5 Estudios de viabilidad	17
CAPÍTULO 2	18
MARCO TEÓRICO	18
2.1 Antecedentes	18
2.2 Tecnologías/técnicas de sustento	22
2.2.1 Concepto de Discapacidad	23
2.2.2 Normativas y leyes sobre accesos y discapacidad	25
2.2.3 Definición de la silla de ruedas	28
2.2.4 Componentes Importantes	29
2.2.5 Consideraciones biomecánicas	37
2.2.6 Modelos de dispositivos para bipedestación	46
2.2.7 Estática, Cinemática y Dinámica	48
2.2.8 Esfuerzos Von Misses	48
2.2.9 Límite de fluencia	49
2.2.10 Diseño Mecánico	50
CAPÍTULO 3	53
DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN	53
3.1 Análisis	55
3.2 Selección de Material	58

3.2.1 Estructura o Chasis	59
3.2.2 Material	59
3.2.3 Reposabrazos	60
3.2.4 Asiento	60
3.2.5 Actuador Motriz	61
3.2.6 Ruedas Motrices	62
3.3 Cálculos	62
3.4 Diseño Electrónico de Control y Potencia	84
3.5.1 Etapas del diseño:	85
3.5.2 Lógica funcional de los pulsadores	96
3.6 Simulación	102
CAPÍTULO 4	109
RESULTADOS	109
4.1. Resultados	109
4.2. Presupuesto	112
CONCLUSIONES	115
BIBLIOGRAFIA	118
ANEXOS	121

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Números globales de personas con alguna discapacidad.....	23
Figura 2. Personas que tienen una limitación permanente que no les permite moverse y/o utilizar piernas y brazos	24
Figura 3. Asiento de silla de ruedas	29
Figura 4. Respaldo.....	30
Figura 5. Ruedas Traseras	31
Figura 6. Rueda delantera 150mm.....	32
Figura 7. Propiedades mecánicas promedio para materiales de ingeniería típicos	33
Figura 8. Silla de ruedas con armazón rígido	33
Figura 9. Silla de ruedas con armazón plegable	34
Figura 10. Freno de zapata.....	35
Figura 11. Reposabrazos móvil.....	35
Figura 12. Reposapiés móvil.....	36
Figura 13. Arnés abdominal	36
Figura 14. Altura y posición de la rueda.....	39
Figura 15. Alineación Rueda motriz	40
Figura 16. Angulo de las ruedas	41
Figura 17. Postura en el asiento	42
Figura 18. Profundidad corta del asiento.....	42
Figura 19. Profundidad excedida del asiento	43
Figura 20. Profundidad óptima del asiento.....	43
Figura 21. Angulo del asiento y Asiento asimétrico.....	44
Figura 22. Respaldo inclinado ligeramente hacia atrás, Respaldo vertical y Respaldo inclinado hacia atrás	44
Figura 23. Recargo en la columna según la postura	45
Figura 24. Posición reposabrazos.....	46

Figura 25. Diagrama esfuerzo-deformación unitario, convencional y real	50
Figura 26. Imagen de una pieza en CAD	51
Figura 27. Imagen de la plataforma de Solidworks.....	52
Figura 28. Datos Técnicos de una silla de ruedas.....	55
Figura 29. Especificaciones técnicas del tubo redondo para las vigas longitudinales y transversales de la estructura inferior	67
Figura 30. Especificaciones técnicas del tubo redondo para las columnas de la estructura inferior.....	68
Figura 31. Cinemática mecanismo bipedestador - Silla de ruedas bipedestadora.....	69
Figura 32. Trayectoria actuador lineal.....	70
Figura 33. Representación preliminar para el análisis estático.....	71
Figura 34. Barra del asiento cojín	72
Figura 35. Diagrama de cuerpo libre: Barra asiento - cojín.....	72
Figura 36. Descripción del componente: pasador B.....	74
Figura 37. Diagrama de cuerpo libre: Pasador B	74
Figura 38. Descripción del componente: Pivote bipedestador	76
Figura 39. Diagrama de cuerpo: Pivote bipedestador	77
Figura 40. Descripción del componente: barra horizontal bipedestadora	79
Figura 41. Diagrama de cuerpo libre: Barra horizontal bipedestadora.....	79
Figura 42. Gráfica de la fuerza del actuador eléctrico	81
Figura 43. Posición de la carrera del cilindro eléctrico	82
Figura 44. Posición de bipedestación	83
Figura 45. Diseño electrónico de control y simulación de 2 motores eléctricos de 12 Vcc y un pistón eléctrico de 12 Vcc	84
Figura 46. Etapas del diseño electrónico	85
Figura 47. Microcontrolador PIC16F877A.....	86
Figura 48. Lógica de control.....	86

Figura 49. Etapa de configuración e inicialización de registros	87
Figura 50. Etapa de rutinas de testeo de pulsadores: Avance, retroceso y giro de motores y pistón eléctrico.....	89
Figura 51. Etapa de subrutinas anidadas.....	90
Figura 52. Conexión eléctrica de pulsadores	90
Figura 53. Conexión Pull-Down.....	91
Figura 54. Interfaz de potencia, transistor - relé.....	92
Figura 55. Conexión eléctrica de motores y pistón eléctricos.....	93
Figura 56. Motor de 12 Vcc con engranaje para silla de rueda.....	94
Figura 57. Actuador lineal 12 Vcc	94
Figura 58. Batería 12 V, 36 Ah.....	94
Figura 59. Circuito regulador de voltaje fijo de 5 Vcc	95
Figura 60. Silla de ruedas avanza.....	96
Figura 61. Pines involucrados del PIC16F877A.....	97
Figura 62. Silla de ruedas retrocede	97
Figura 63. Pines involucrados del PIC16F877A.....	98
Figura 64. Silla de ruedas gira a la derecha.....	98
Figura 65. Pines involucrados del PIC16F877A.....	99
Figura 66. Silla de ruedas gira a la izquierda	100
Figura 67. Pines involucrados del PIC16F877A.....	101
Figura 68. Silla de sube / baja.....	101
Figura 69. Esquemático para el diseño del PCB	103
Figura 70. Capas y ruteado de las pistas del PCB.....	104
Figura 71. Capa top del PCB y vista en 3D.....	104
Figura 72. Capa bottom del PCB y vista en 3D	105
Figura 73. Capa top del PCB y vista en 3D de componentes.....	106
Figura 74. Boceto preliminar silla de ruedas	107

Figura 75. Dimensiones silla de ruedas	108
Figura 76. Reparación de la Geometría	108
Figura 77. Análisis de elementos finitos Solidworks	109

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Variación de Pendientes Validas en Rampas.....	27
Tabla 2 Componentes de una Silla de Ruedas	28
Tabla 3 Los Coeficientes de Resistencia a la Rodadura en Distintos Clases de Suelo ...	38
Tabla 4 Bipedestadores Encontrados Internacionalmente	47
Tabla 5 Valoración de Fiabilidad.....	56
Tabla 6 Ponderación Parámetros de Diseño.....	56
Tabla 7 Módulo de Selección de Soluciones – Parte Mecánica	57
Tabla 8 Módulo de Selección de Soluciones – Parte Eléctrica.....	58
Tabla 9 Selección Estructura	59
Tabla 10 Selección Material.....	59
Tabla 11 Selección Reposabrazos.....	60
Tabla 12 Selección Asiento.....	61
Tabla 13 Selección Actuador Motriz.....	61
Tabla 14 Selección de Ruedas Motrices	62
Tabla 15. Planilla de medidas de la persona con paraplejia.....	63
Tabla 16 Cálculos para seleccionar el perfil tubular redondo para las vigas de la estructura.....	67
Tabla 17 Cálculos para seleccionar el perfil tubular redondo para las columnas de la estructura inferior	68
Tabla 18. Estado lógico, modo AVANZA.....	96
Tabla 19. Estado lógico, modo RETROCEDE.....	98
Tabla 20. Estado lógico, modo gira DERECHA.....	99
Tabla 21. Estado lógico, modo gira IZQUIERDA.....	100
Tabla 22. Estado lógico, modo SUBE	102
Tabla 23. Estado lógico, modo BAJA	102
Tabla 24 Costos de Ingeniería	112

Tabla 25 Recursos de materiales.....	112
Tabla 26 Recurso Humano	113
Tabla 27 Costo de la tarjeta Electrónica.....	113
Tabla 28 Costo de Actuadores Eléctricos y Batería	114
Tabla 29 Inversión	114

INTRODUCCIÓN

En el siguiente proyecto de investigación se busca mejorar la calidad de vida de las personas con paraplejía de la ciudad de Lima, este sector de la población tiene problemas como por ejemplo falta de circulación en los miembros distales, perturbaciones óseas, dificultades endocrinas y úlceras debido a la presión ejercida, lo anteriormente dicho se mejora con el cambio de posición de sedente a bípeda del mecanismo bipedestador de la silla.

La silla bipedestadora ayudara a la persona con paraplejia en su actividad diaria como ponerse en posición erguida, romperá esa barrera estructural e individual al momento del cambio de posición además de mejorar en sus actividades diarias como ir al supermercado, actividades sociales, cocinar, proteger su salud y aumentar su seguridad de sí mismo, pudiendo llevar una vida más alegre al aumentar su integración a la sociedad.

Hay empresas extranjeras que diseñan sillas bipedestadora para mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad. Pero estas sillas no están adaptadas para la antropometría y área geográfica del Perú, además de su alto costo se hace difícil poder

comprarla. Este proyecto va dirigido a las personas con paraplejia en el Perú para mejorar su condición postural y así poder integrarse mucho más a su medio en que se encuentran.

Se dividen en 4 capítulos que nos muestran la situación actual, los fundamentos teóricos mediante el cual se desarrolló el proyecto la metodología usada para la elaboración de todo el proyecto.

Capítulo 1.- En este capítulo se analiza el desarrollo de la tecnología a nivel nacional sobre la silla de ruedas y la problemática de la no evolución y/o actualización con las técnicas modernas de fabricación y se justifica el proyecto.

Capítulo 2.- Analizaremos la evolución de la silla de ruedas a nivel mundial hasta la actualidad, se sustentan las bases teóricas que fundamentan este proyecto y se brinda características de la tecnología y componentes que se usaron en este proyecto.

Capítulo 3.- Se describe los pasos seguidos para la solución del problema y el desarrollo del proyecto

Capítulo 4.- Se muestra el resultado, se valida el presupuesto y los costos del proyecto

CAPÍTULO 1

ASPECTOS GENERALES

1.1 Planteamiento del Problema

Según la OMS (Organización Mundial de la Salud), en los años 1970 estimó que aproximadamente el 10% de la población mundial vivía con algún tipo de discapacidad, sin embargo, según las estimaciones de la población mundial en el 2010, más de 1000 millones de personas presentan dicha condición; es decir aproximadamente el 15% de la población mundial, lo que nos sugiere un aumento de 5 puntos porcentuales en un periodo de 40 años. Asimismo, la Encuesta Mundial de Salud, señala que cerca de 785 millones de personas de 15 años a más viven con una discapacidad, lo que representa el 15,6%. A nivel nacional los datos del INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017) muestran estadísticamente que el número de personas con alguna discapacidad son 3051612 personas, de acuerdo al tipo de discapacidad, el 48,3% (1 millón 473 mil 583) presenta dificultad para ver, el 15,1% (462 mil 60) para moverse o caminar, el 7,6% (232 mil 176) problema para oír, el 4,2% (127 mil 947) dificultad para entender o aprender, el 3,2% (98 mil 836) dificultad para relacionarse con los demás, el 3,1% (93 mil 88) dificultad para hablar o comunicarse . Es un reto físico para las personas con paraplejía realizar sus actividades cotidianas, tareas como levantarse de la cama o ir al baño le causan mucho

desgaste físico si se compara con una persona que no tenga complicaciones físicas, esto lo lleva a realizar muchísimo esfuerzo de los músculos que están en los miembros superiores. Además no pueden ejecutar tareas por si solas ni son capaces de moverse así los considera la sociedad, esto ocasiona alejamiento social y una disminución en su autoestima empeorando su integración a la sociedad. Además pasan mucho tiempo en una posición que puede causarles otras enfermedades como problemas distales, etc. Actualmente en el Perú hay pocas investigaciones, prototipos de silla bipedestadora que permitan funcionalidad, amplitud de movimientos y una mayor autonomía de este sector de la población, solo se puede encontrar prototipos básicos y remotos que no cumplen con la demanda actual de la sociedad.

1.2 Definición de objetivos

1.2.1 Objetivo general

Diseñar una silla de ruedas bípoda para personas con discapacidad motriz de las extremidades inferiores.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Diseñar un equipo electromecánico para el libre tránsito vertical de personas con movilidad reducida y la estructura fija móvil para el desplazamiento vertical para el edificio multifamiliar DIANA.
2. Diseñar un equipo electromecánico para el libre tránsito vertical de personas con movilidad reducida con el diseño y selección de elementos de transmisión de potencia para generar el desplazamiento de la estructura para el edificio multifamiliar DIANA.

1.3 Alcances y Limitaciones

1.3.1 Alcances

El presente estudio se basará en la fisionomía del ciudadano peruano para el análisis y diseño del proyecto.

El Análisis de percepciones se realizará con personas discapacitadas, acerca de las características importantes de la silla, ubicados en la ciudad de Lima.

1.3.2 Limitaciones

La falta de actualización de los registros de las instituciones encuestadoras en el área.

El período de tiempo de recolección de la información comprende unos meses de duración a partir de octubre de 2019.

1.4 Justificación

En el Perú actualmente las personas con paraplejia tienen que mantener una misma posición por mucho tiempo, el cual provoca distintas patologías en los músculos esqueléticos, articulaciones y problemas cutáneos además de afectar su salud mental disminuyendo su participación en la sociedad.

En el siguiente proyecto se creará una silla bípoda que otorga mayor autonomía en cuanto al cambio de posición y desplazamiento de la persona con paraplejia de un lugar a otro, generando mayor confianza en ellos mismos además de una mejora en sus actividades diarias esto ayudará en el aumento de su autoestima al sentirse activos y beneficiosos para la sociedad.

1.5 Estudios de viabilidad

1.5.1 Viabilidad técnica

El Proyecto reúne características, condiciones técnicas y operativas que aseguran el cumplimiento de sus metas y objetivos. (Ver ANEXO A)

Es técnicamente posible el desarrollo del proyecto ya que existen los materiales y software necesarios para el desarrollo del diseño.

1.5.2 Viabilidad Económica

Sera costado por medio de recursos propios del investigador, de manera que, el proyecto no requiere de un financiamiento mayor o ser auspiciado por alguna entidad.

Los gastos de los equipos, software, libros, etc. no incluyen sumas muy elevadas ni grandes requerimientos.

Tomando en cuenta como tasa de descuento, el valor del COK (2%) y basándonos en la fórmula VNA en Excel se obtuvo como VAN \$535,73. (Ver ANEXO C) Tomando en cuenta la Ecuación fórmula TIR en Excel, se obtiene como valor correspondiente al TIR económico el valor de 7%.(ver ANEXO B)

1.5.3 Viabilidad Medio ambiental

Con la ejecución de nuestra investigación no se altera ni causara ningún daño a un individuo, comunidad, ni ambiente, mas tiene la finalidad de mejorar la calidad de vida de las personas discapacitadas.

1.5.4 Viabilidad Social

Beneficiará a personas con discapacidad que forman un 5.2% del total de la población nacional con esto se mejora la autonomía y dependencia de este sector de la población.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

La silla de ruedas modernas comenzó a tomar forma a finales del siglo XIX y principios del siglo XX con la inclusión de ruedas con aro para auto – impulso y la sustitución de elementos de madera con reforzados con elementos metálicos. (Mozartcultures, 2018)

La primera patente sobre una silla de ruedas data de 1889. Se trataba de un modelo bimanual impulsado por ruedas traseras. Al poco tiempo surgieron nuevos modelos de tres ruedas y con otras modificaciones, como eran la adaptación de las ruedas para poder ser utilizada mono - manualmente o tri- manualmente. (Barbano Martinez & Diaz Portillo, 2017) El primer modelo impulsado eléctricamente data de 1924, modelo que no resulto llamativo para el público por hacer mucho ruido.

Hoy en día, existe empresas y una gran variedad de marcas dedicadas a la fabricación de silla de ruedas, en diferentes tipos: manuales, eléctricas, deportivas, ultraligeras e infantiles, pero estos productos comerciales han dejado de lado el gran tiempo que pasan los discapacitados en una sola posición (sedente).

El proceso de desarrollo de las sillas fue incentivado en los últimos 20 años. Aplicando el uso de componentes más ligeros, con un alto rendimiento y eficiencia.

Existen muchas posibilidades para mejorar la calidad de manejo, desde suspensiones que ayudan a remover vibraciones, eslabones ultra ligeros que permiten un mejor desempeño y movilidad, hasta diseños especiales para cada gusto y necesidades individuales.

Braulio, Edgar y José, en el 2013 (Zepeda Villar, Nuñez Soto, & Hernandez Rubio, 2013) investigaron las propiedades del aluminio y del nylamid para poder hacer la estructura de la silla de ruedas. Estos autores trabajaron con estas materiales que son bajo peso y alta resistencia.

En el estudio, Isabel y Manuel (Hernandez Gutierrez & Samano Hernandez, 2016) la resistencia y el peso de la estructura de la silla de ruedas utilizaron el acero AISI – 1020. Aunque el acero utilizado no es muy pesado tiene muy poca resistencia.

El peso de la estructura y la resistencia de la silla de ruedas, fue estudiado por Geovanny (Pabón, 2017), empleando el acero AST – 500 como material. El autor utilizo un material pesado.

El material que utilizo Oscar (Suarez, 2017) para la silla de ruedas en su estructura y peso seria el aluminio 6063 – T5. El autor también utilizo un material pesado.

En su trabajo de tesis Carlos (Meza, 2018), analizaron los diferentes tipos de acero para elegir con cual hacer la estructura de silla de ruedas móvil, para la cual eligieron acero AISI – 4340. Pero, no incluyeron en su investigación el aluminio ni el nylamid.

Realizado un recorrido por las principales bibliotecas de las Universidades, existe una tesis cuyo tema es: “Diseño de silla bipedestadora de baño para pacientes con discapacidad de miembro inferior” (Giraldo Gómez, 2.012), que dentro de sus conclusiones principales menciona:

- ✓ Con la silla bipedestadora los usuarios podrán ingresar a los espacios reducidos como los baños donde hay diferentes muebles, el lavamanos, la ducha y el sanitario. También les permitirá realizar la sedestacion y la bipedestación.

- ✓ Se sigue las especificaciones determinadas en la norma acopla 95 para el diseño del dispositivo con las medidas antropométricas de una persona estándar, por ello la silla es adaptable a otras normas diferentes pero al utilizar otros métodos como el descrito en el libro Biomecánica articular y sustentaciones protésicas o tomando las medidas antropométricas de un usuario, se puede desarrollar una silla a medida.

- ✓ Por medio del análisis de elementos finitos se simuló el comportamiento mecánico del dispositivo y tanto la simulación de esfuerzos como el desplazamiento evidencian que el dispositivo cumple con las mínimas especificaciones de aceptación.

En la investigación de Giraldo, la ventaja es poder adaptarse a diferentes normas, por lo contrario, la desventaja es que no se pudo determinar la vida útil del dispositivo con pruebas de fatiga.

La tesis cuyo tema es: “Construcción de una silla bipedestadora del prototipo LILIBOT” (Michael Geovanny Morillo Pabón, 2017), que dentro de sus conclusiones principales menciona:

- ✓ Aplicando el modelo de elementos finitos del programa Soliwork se pudo validar la congruencia con los cálculos analíticos obtenidos. Todo bajo condiciones críticas de operación.

- ✓ Se simuló el ensamblado de cada parte de la silla bipedestadora en el software Solidworks con éxito con lo cual se empezó a crear los planos mecánicos.

- ✓ Para mejorar el diseño de la silla bipedestadora se establece realizar la toma de medidas antropométricas del usuario y tomar en cuenta las medidas de una silla estándar básica.

En el trabajo de Geovanny se puede observar que se ayudó de un diseño anterior llamado LILIBOT para adaptarla, si se quisiera usar en otro tipo de normas se tendría que hacer un total rediseño de la silla bipedestadora.

Trabajos de investigación relacionados al tema, se ha encontrado un artículo de la revista INGENIERÍA UC de la Universidad de Carabobo, con el tema “Diseño de un equipo de bipedestación” (Saavedra, García, & San Antonio, 2013), cuyas conclusiones más relevantes de la investigación son:

- ✓ En la elaboración y comprobación de los cálculos con el modelo de elementos finitos fueron verdaderos y coincidieron con los cálculos analíticos, que nos confirma que al emplear una herramienta CAD están aptas para las operaciones críticas de diseño.

- ✓ Se concluyó que las características mecánicas del material como la dureza, porcentaje de deformación y el esfuerzo de influencia sobrepasan la condición crítica de trabajo analizándolo del punto de vista del diseño, según los médicos estos resultados generan seguridad y mejoran la terapia de los pacientes.

- ✓ El prototipo proyectado reducirá el tiempo y esfuerzo en las terapias de bipedestación, lo que nos permite aprovechar en forma más eficiente las áreas de fisioterapia y realizar las terapias con menos terapeutas.

En el trabajo de Saavedra, García y Antonio se pudo observar que la silla está hecha para la rehabilitación de personas y no para la movilidad en la vía pública.

Otro artículo de XIV International Congress on Project Engineering, con el tema "Equipamiento para la discapacidad: Propuesto de un bipedestador eléctrico infantil" (Aros Oñate & Aros Beltran, 2010), concluye dentro de su investigación:

- ✓ En relación con la propuesta de diseño del presentado en este trabajo, se concluye que es posible realizar cambios en el prototipo actual, que permitan obtener un modelo más competitivo en el mercado y con mayor proyección. Diseño final muy compacto. Ventaja a la hora de maniobrar en espacios reducidos, sin embargo, se puede mejorar.

Al momento de diseñar la silla fue adecuada para niños así que el tamaño es muy beneficioso al momento de pasar por espacios reducidos pero desventajosos en la vía públicas aunque es adaptable.

2.2 Tecnologías/técnicas de sustento

En esta etapa del presente trabajo de investigación, se expone una breve descripción del concepto de discapacidad, sus antecedentes y/o causa que la originan.

Se evalúa la posible cantidad de personas que padecen esta dificultad en el país, sus leyes y normas que tratan de aliviar la vida de esas personas. Se analizan las teorías existentes y sus elementos que lo componen en el diseño final de este tipo de sillas.

2.2.1 Concepto de Discapacidad

En la ley general de la persona con discapacidad en su Capítulo I – Disposiciones generales (LEY N° 29973, 2012), define de forma clara quienes son las personas que se encuentran y tengan los beneficios de esta ley. Las personas discapacitadas tienen deficiencias físicas, mentales, y su capacidad intelectual está limitada como consecuencia estas personas tienen barreras actitudinales y dificultad para interrelacionarse con su entorno. Como consecuencia no ejerce y está impedido de su ejercicio de sus derechos y que le impiden desenvolverse con igualdad de condiciones en la sociedad. Para aminorar las barreras físico urbanas y hacer cumplir a establecimientos públicos y privados ciertas características arquitectónicas (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2006), en el Perú existe leyes que benefician a las personas con discapacidad física y sensorial. Los diversas instituciones del estado siguen sin concientizarse con los problemas de los discapacitados, en el reglamento nacional de construcción se considera los espacios destinados para el tránsito de los discapacitados, su zona de parqueo y sus servicios sanitarios especiales pero a falta de una supervisión más eficiente no se cumple con dichas normas. Según el Perfil Sociodemográfico (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017) nos demuestra que el 35.4% de población peruana conformado por mayores de 60 años a más sufre alguna discapacidad.

PERÚ: POBLACIÓN CENSADA CON ALGUNA DISCAPACIDAD, 2017
(Absoluto y porcentaje)

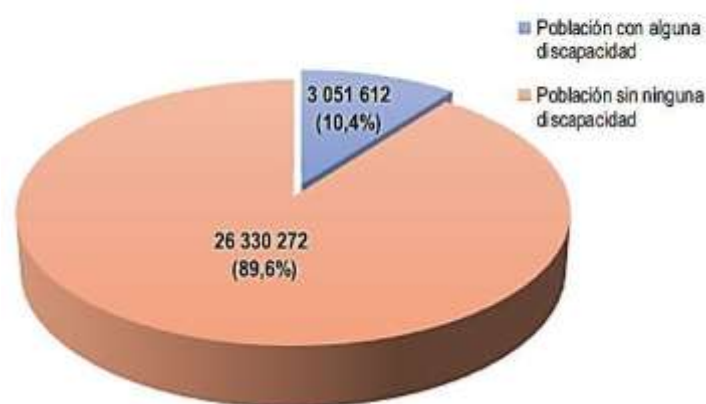


Figura 1. Números globales de personas con alguna discapacidad
Fuente. (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017)

De la figura 1 nos muestra datos que son resaltantes como:

- Que del total de personas encuestadas, el 89.6% no tienen alguna discapacidad.
- En consecuencia al existir una gran cantidad de personas que no tienen alguna discapacidad, el 10.4% tiene una o más discapacidades.

PERÚ: POBLACIÓN CENSADA CON ALGUNA DISCAPACIDAD POR TIPO, 2017
(Porcentaje)



Figura 2. Personas que tienen una limitación permanente que no les permite moverse y/o utilizar piernas y brazos
Fuente: (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017)

- El 81.5% (2 millones 487 mil 690) son personas con una sola limitación. Los primeros en este registro son los que tienen dificultad para ver, 48.3% (1 millón 473 mil 583) y en segundo lugar los que tienen dificultad para moverse o caminar, 15.1% (462 mil 60).

2.2.2 Normativas y leyes sobre accesos y discapacidad

A partir del 2013 en el mes de enero esta en uso la ley general de la persona con discapacidad (LEY N° 29973, 2012). La finalidad es de fomentar el desarrollo e inclusión plena y efectiva en la vida política, social, cultural, económica y tecnológica, de los derechos de las personas con discapacidad. El objetivo es la creación del marco legal que los beneficiara en el amparo, ejecución y fomentar la igualdad de condiciones.

La ley N° 29973 en su capítulo III, nos hace mención sobre la cooperación del ministerio de vivienda con el tema de la accesibilidad a las viviendas (artículo 18), no obstante, no se señala más especificaciones sobre las edificaciones, sobre sus disposiciones técnicas. En el (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2006): título III --- Edificaciones, en el subtítulo 1 --- Arquitectura, Norma A. 120 --- Accesibilidad para personas con discapacidad menciona las reglas técnicas al momento de la construcción de un establecimiento.

Las condiciones necesarias y medios de acceso se listan en la norma A. 010 que es la guía principal para diferentes tipos de construcciones en cambio la norma A. 120 hace alusión en otras del mismo subtítulo. No obstante, existen diferentes normas que restringen ciertos parámetros dependiendo del tipo de edificación, como las que se realizan en los establecimientos en lo que respecta a vías de acceso como por ejemplo: rampas y escaleras.

i) Condiciones generales del diseño. Compendio de la Norma A.010

Escaleras – Capítulo VI, Artículo 29

Las escaleras están conformadas por tramos, descansos y barandas. Los tramos están formados por gradas. Las gradas están conformadas por pasos y contrapasos:

- a) Las escaleras contarán con un máximo de 17 pasos entre descansos

- b) La dimensión de los descansos debe tener un mínimo de 0.90 m de largo para otro tipo de escaleras el ancho del descanso no deberá ser menor al tramo de la escalera.
- c) En cada tramo de la escalera, los pasos y los contrapasos deben ser uniformes. El resultado de la regla de 2 contrapasos + 1 paso debe estar entre los 0.60m y 0.64 m. los pasos serán un mínimo de 0.25 m y los contrapasos un máximo de 0.18 m. Los dos se miden entre las proyecciones verticales de los bordes contiguos.

ii) Educación. Compendio de la Norma A.040.

Características de los componentes – Capítulo III, Artículo 12

- a) El ancho mínimo será 1.20 m entre los parámetros que conforman la escalera.
- d) Cada paso debe tener entre 28 a 30 cm. cada contra paso debe medir entre 16 a 17cm.
- e) El número máximo de contrapasos sin descanso será de 16.

iii) Salud. Compendio de la Norma A.050

Hospitales – Capítulo I --- Subcapítulo I, Artículo 14

La circulación vertical de pacientes a las unidades de hospitalización se hará por medio de escaleras, rampas y ascensores.

- a) Escaleras:
- Las escaleras de uso general tendrán un ancho mínimo de 1.8 m entre paramentos y pasamanos a ambos lados.
 - El paso de la escalera debe tener una profundidad entre 0.28 y 0.30 metros y el contrapaso entre 0.16 y 0.17 metros.

iv) Accesibilidad para personas con discapacidad y de las personas adultas mayores Compendio de la Norma A.120.

Condiciones generales – Capítulo II – Artículo 8

- El ancho mínimo de las puertas será de 1.20m para las puertas principales y de 90cm para las interiores. En las puertas de dos hojas, una de ellas tendrá un ancho mínimo de 90cm.
- El espacio libre mínimo entre dos puertas batientes consecutivas abiertas será 1.20m.

Condiciones generales – Capítulo II – Artículo 9

- El libre mínimo de una rampa será de 90cm entre los muros que lo limitan y deberá mantener los rangos de pendientes presentadas en la tabla:

Tabla 1

Variación de Pendientes Validas en Rampas

Diferencias de niveles		Variación de pendientes máx.
Mínimo	Máximo	
13mm	0.25m	12%
0.26m	0.75m	10%
0.76m	1.20m	8%
1.21m	1.80m	6%
1.81m	2.00m	4%
≥ 2.10m		2%

Nota. Fuente: (CONADIS, 2014)

Se tiene una versión de la norma A.120 que cuenta con una guía grafica para su mejor aplicación, de la cual se observaran algunas en el presente trabajo.

2.2.3 Concepto sobre silla de ruedas

Es una silla adaptada que mínimo lleva 3 ruedas, pero lo normal es que disponga de 4 ruedas además de ser un ayuda técnica. Están dirigidas para personas con problemas de locomoción, enfermedad física (paraplejia, tetraplejia, etc.), debido a una lesión o tengan problemas psicológicos que les permitan movilizarse y desplazarse. i) Conceptos generales respecto a la silla de ruedas

Hay variedad de tipos de sillas que están conformadas por distintos elementos pero hay características importantes que no deben faltar además de sus suplementos de estas mismas, este se verá en la tabla 2:

Tabla 2

Elementos de Silla de Rueda

Primordiales

tipo respaldar / asientos

Ruedas

Armazón o esqueleto

Secundarios

Freno

Apoya brazos

Reposapiés

Apoya piernas

Reposacabezas

Agarrador de las caderas

Barra antivuelco

Suplementos

Correa soporte

Saco

Nota. Fuente: Elaboración propia

2.2.4 Componentes Importantes

i) Modulo de asiento o Sillín

Pieza de la silla que sirve como base del tronco y la pelvis. El modulo deberá ser simétrico, si la persona no tiene deformidad en la parte del tronco, por el contrario, si existiera, se debe proyectar un tipo de asiento acondicionado a su medida. Está constituido por el respaldo y el asiento.

El asiento.

En esta sección de la silla va a brindar el sostén al cuerpo, particularmente al soporte pélvico. Las dimensiones del asiento deben cumplir lo siguiente: la parte posterior de la rodilla (donde se ubica el hueco poplíteo) debe sobrepasar unos 30mm el borde de la silla para no dificultar el flexionamiento de la pierna. De la misma manera el ancho del asiento de la silla tiene que exceder en 20mm a la cadera del usuario.

El asiento estará en paralelo al suelo o ligeramente elevado en la parte anterior. Tomando en cuenta la función biomédica para la cual se va emplear la silla se analiza la ubicación y elevación que tendrá la rueda.



Figura 3. Asiento de silla de ruedas
Fuente: (Ortopedia Plaza, 2015)

- Espaldar

El componente que da reposo, otorga soporte y brinda una estabilidad a la columna vertebral. La altura adecuada está en la parte inferior del omoplato, alrededor de los 25 mm.



Figura 4. Respaldo
Fuente: (Ortopedia Plaza, 2015)

ii) Concepto de ruedas

Es la que brinda movilidad a la silla. Es muy común que las sillas empleen para su sistema direccional, dos ruedas chicas y para la tracción dos ruedas posteriores grandes (impulsadoras).

Ruedas Impulsadoras

Comúnmente son grandes en comparación a las chicas por que se encargan del auto propulsión. Se pudo encontrar ruedas de 60 cm y de 65 cm de diámetro como los más usados. Hay diferentes tipos de ruedas siendo sus diferencias en el sistema de rodamiento o eje, el radio de la llanta de la silla, neumático y aros.



Figura 5. Ruedas Traseras
Fuente: (Ortopedia Plaza, 2015)

Agrupación direccional.

Las ruedas chicas son el casquillo, el fleje y horquilla sus dimensiones fluctúan entre 74, 124,149 y 199 milímetros de diámetro, las que miden 74 y 124 milímetros son mejores para suelos lisos y duros. Así mismo para ruedas de un diámetro mayor son ideales las de 150 y 200 milímetros (horquilla, vástago) para superficies irregulares. Por ultimo tenemos al casquillo que se encarga de hacer girar al vástago y posibilita el giro de la rueda en diferentes direcciones.



Figura 6. Rueda delantera 150mm
Fuente: (Ortopedia Plaza, 2015)

iii) La Estructura o Chasis

Nos posibilita unir las ruedas traseras y posteriores con la silla. El material que mayormente se usa en la fabricación de la estructura principal de la silla, es acero por su bajo costo aunque es pesado. Sin embargo el aluminio es lo opuesto es más liviano, como tercera opción tenemos a los polímeros son flexibles y muy ligeros pero su precio es alto. En la tabla siguiente se verá las propiedades de los materiales de Perú que tal vez sea la opción más conveniente.

Materiales	Densidad ρ (Mg/m ³)	Módulo de elasticidad E (GPa)	Módulo de rigidez G (GPa)	Resistencia a la cedencia (MPa) σ_y			Resistencia última (MPa) σ_u			% de elongación en probeta de 50 mm	
				Tens.	Comp. ^s	Cortante	Tens.	Comp. ^s	Cortante		
Metálicos											
Aleaciones de aluminio forjado	2014-T6	2.79	73.1	27	414	414	172	469	469	290	10
	6061-T6	2.71	68.9	26	255	255	131	290	290	186	12
Aleaciones de hierro fundido	Gris ASTM 20	7.19	67.0	27	-	-	-	179	669	-	0.6
	Maleable ASTM A-197	7.28	172	68	-	-	-	276	572	-	5
Aleaciones de cobre	Latón rojo C83400	8.74	101	37	70.0	70.0	-	241	241	-	35
	Bronce C86100	8.83	103	38	345	345	-	655	655	-	20
Aleaciones de magnesio	[Am 1004-T61]	1.83	44.7	18	152	152	-	276	276	152	1
Aleaciones de acero	Estructural A36	7.85	200	75	250	250	-	400	400	-	30
	Inoxidable 304	7.86	193	75	207	207	-	517	517	-	40
	De herramienta L2	8.16	200	75	703	703	-	800	800	-	22
Aleación de titanio	[Ti-6Al-4V]	4.43	120	44	924	924	-	1,000	1,000	-	16

Figura 7. Propiedades mecánicas promedio para materiales de ingeniería típicos Fuente. (Ortopedia Plaza, 2015)

Hay dos tipos de armazones o estructuras esta son: las plegables o rígidas.

Las de tipo armazón rígido están construidas de una sola pieza esta característica lo hace menos pesado y duraderos como también más económicos y de un mantenimiento bajo.



Figura 8. Silla de ruedas con armazón rígido Fuente: (Ortopedia Plaza, 2015)

Chasis plegable: son fáciles de transportar por su maleabilidad sin embargo esta clase de chasis provoca el desajuste de los componentes de la silla ya sea por la fricción o peso del usuario y por la misma forma de la estructura produce un hundimiento en el centro del asiento.



Figura 9. Silla de ruedas con armazón plegable
Fuente: (Ortopedia Plaza, 2015)

iv) Elementos accesorios

Para la construcción de la silla existen componentes no tan primordiales pero de equivalente importancia. Se ven algunos:

v) Freno

Es el encargado de moderar o detener las ruedas. Existen diferentes clases de freno la elección dependerá de las necesidades y del modelo de silla para su adaptación. Dependiendo de las necesidades en cuanto a la seguridad podemos encontrar frenos de manillar, frenos antivuelco y frenos de estabilidad. Los frenos de zapata son los más comunes. Los más usados son de acoplamiento alto (que se fijan en la estructura tubular en la parte inferior del asiento) y se accionan de forma manual tirando el manubrio hacia adelante o atrás.



Figura 10. Freno de zapata
Fuente: (Ortopedia Plaza, 2015)

vi) Reposabrazos.

Nos permite el descanso de los brazos y favorece a la disminución de dolores musculares debido al cambio de posición. Hay varios modelos de reposabrazos: móviles, ajustables y fijos. Nos permite el descanso de los brazos y favorece a la disminución de dolores musculares debido al cambio de posición.



Figura 11. Reposabrazos móvil
Fuente: (Ortopedia Plaza, 2015)

vii) Reposapiés

Este componente otorga el soporte a las extremidades de la parte inferior contribuyendo a la sedestacion. Para la buena circulación de las extremidades inferiores es muy importante la posición de la altitud del apoya pies. En consecuencia, si hay una mala circulación de

debe a que hay un exceso de carga en el asiento por parte de los muslos debido a la baja posición del reposapiés.

Un reposapiés colocado en una altitud alta genera que todo el peso se concentre en la parte de atrás. Se concluye que se debe conservar un ángulo de 90° en el tobillo, articulaciones de cadera y por último en la rodilla.



Figura 12. Reposapiés móvil
Fuente: (Ortopedia Plaza, 2015)

viii) Elementos de Sujeción

Para evitar caídas o accidentes, los arneses serán el principal soporte de sujeción de la silla. El arnés abdominal es el más usado se puede ver la figura 13.



Figura 13. Arnés abdominal
Fuente: (Ortopedia Plaza, 2015)

2.2.5 Consideraciones biomecánicas

El objetivo fundamental de una silla de ruedas es que debe ser práctico y utilitario, cómoda y de amplia movilidad. Por lo que la silla a diseñarse debe ser ergonómica. Y en consecuencia se evita mayor desgaste físico.

Para el óptimo rendimiento eficiente de la silla bípoda se considera el peso y la resistencia del material, a usarse en cada una de las partes de la estructura de la silla.

No obstante la postura y el asiento son factores importantes que se derivan de él, distanciamiento de ejes referente a la rueda, además de otras que seguidamente veremos:

i) Movilidad-rozamiento

El usuario requerirá de mayor energía de propulsión cuanto mayor sea el rozamiento de las ruedas al rodar porque la resistencia es superior. En esta parte veremos cómo afecta la facilidad de rodar de las ruedas por algunas causas:

Reparto entre las ruedas de adelante y de atrás en cuanto al peso

Para que la silla sea más estable el mayor peso debe caer sobre las ruedas delanteras así provoca mayor rozamiento. Es el común en las sillas de ruedas de referencia que el peso este dividido alrededor de la mitad en cada rueda. En cambio la silla ligera ajustable (depende del ajuste) se distribuye aproximadamente el peso en 80% hacia las ruedas de la parte de atrás de la silla y el 20% hacia las ruedas de la parte de adelante de la silla. Por lo cual ruedan mejor que una silla estándar pero son menos estable.

Elaborando el diagrama de fuerzas de una silla ligera ajustable, se distribuye el peso de la carga distribuida en el asiento incluido el peso de la silla en una 80% las ruedas posteriores y 20% las ruedas delanteras.

El terreno sobre el que la silla va a ser utilizada

La adhesión, roce e interconexión es una condición que determina el rozamiento en medio del neumático y pavimento. Va depender de las características del pavimento, neumático

y elementos en la superficie el lograr la transferencia máxima de la fuerza en el roce. A continuación la tabla muestra :

Tabla 3

Los Coeficientes de Resistencia a la Rodadura en Distintos Clases de Suelo

Naturaleza y Estado del Suelo	Coeficiente de Resistencia a la Rodadura(k)	Índice de Cono (CI)[kPa]	Numero Característico (Bn)
Carretera en buen estado	0.02 a 0.04	--	
Camino de tierra afirmado	0.03 a 0.05	--	
Camino de tierra	0.04 a 0.06	--	
Suelo baldío	0.06 a 0.10	1800	80
Rastrojo seco	0.08 a 0.10	1200	55
Tierra labrada	0.10 a 0.20	900	40
Arena y suelo muy suelto	0.15 a 0.30	450 - 250	20

Nota. Fuente: (Luis, 2008)

Multiplicando el peso del vehículo por el valor del coeficiente del suelo se obtiene la resistencia a la rodadura.

Centro de gravedad

Si el punto del centro de gravedad con respecto a su origen sube y retrocede, esto incrementara el peso de las ruedas posteriores en consecuencia la silla será más fácil de maniobrar pero con cierta inestabilidad.

En cambio la silla obtiene equilibrio sin embrago se complica su manejo, si el punto de centro de gravedad con respecto a su origen baja y avanza (en estos casos se llega a un acuerdo con el usuario, es posible agregar dispositivos de seguridad como ruedas anti-vuelco)

ii) Causas que influyen a la propulsión

Para una propulsión eficaz de la silla de ruedas se debe consumir poca energía. De acuerdo a la situación de cada persona, sus capacidades no son las mismas y en diversos casos condicionada. Siendo consecuente con lo dicho se tomaran los elementos que mejoren la propulsión:

Altura y posición de las ruedas

Las ruedas de la parte de atrás de la silla se debe posicionar de tal manera que se logre una propulsión eficaz para esto la persona debe dejar caer los hombros con los brazos estirados tocando con los dedos el eje de la rueda. El usuario debe flexionar mucho los brazos para propulsarse si el aro de empuje le queda alto y también el eje de la rueda. Por lo anterior la propulsión se hace incomoda e ineficiente. Por lo contrario si el usuario estira demasiado los brazos es porque la rueda queda muy por debajo con respecto a la posición de los dedos, por lo que no puede utilizar la cantidad necesaria de fuerza para impulsar la rueda.

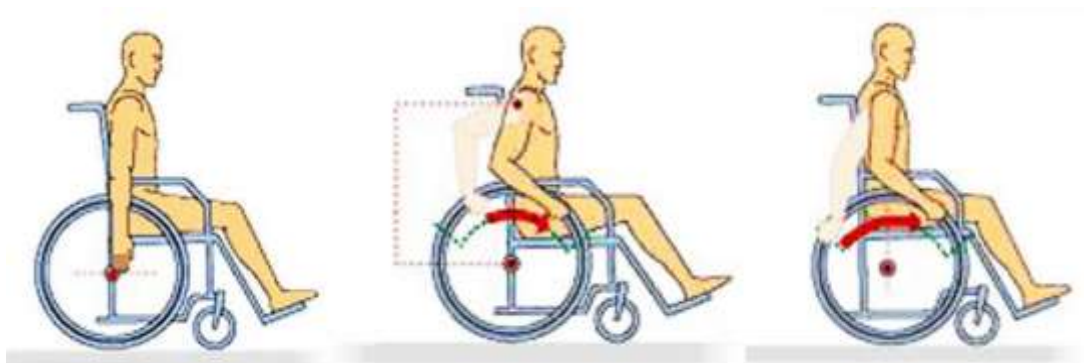


Figura 14. Altura y posición de la rueda
Fuente: (Moreno, Gustavo, & Milagros , 2004)

Con respecto a la ubicación horizontal de la rueda se aplicara la misma regla anteriormente descrita así se conseguirá la óptima posición. Al tener el eje de la rueda motriz por delante

de los dedos, la propulsión comienza muy atrás por cual no se completara el recorrido. Pero si queda el eje de la rueda motriz por atrás de los dedos, la propulsión comienza adelantada recorriendo la silla un tramo corto además de poco eficiente, ver las imágenes siguientes:

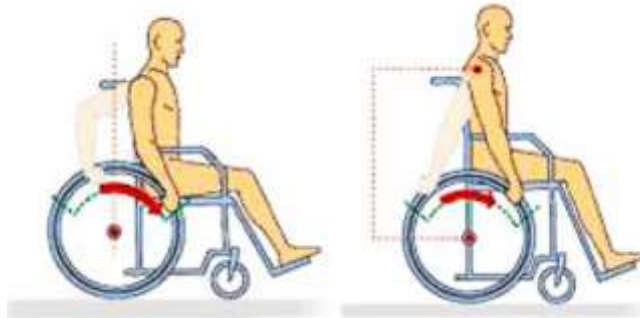


Figura 15. Alineación Rueda motriz
Fuente: (Moreno, Gustavo, & Milagros, 2004)

Alineación Rueda motriz

La estabilidad de la silla es afectada por la posición de la rueda trasera. La silla necesitará mayor energía de propulsión si la rueda está más atrasada, pero tiene más estabilidad (caso de sillas estándar). La diferencia con las sillas estándar las ligeras tienden a colocar las ruedas traseras más adelante. Por consecuencia necesitan menor energía además de que la propulsión se hará con menos fuerza.

Dimensión de las ruedas de la silla

El recorrido más corto lo realiza la más pequeña de las ruedas que se encuentra atrás, pues sobre la rueda se utilizará un disminuido esfuerzo al momento de propulsarla. Las sillas que tienen un diámetro inferior a 24" son recomendables para las personas que sufren de la columna cifótica o están limitados en el movimiento de sus hombros.

Las sillas que utilizan los niños se suelen usar ruedas más pequeñas para que la longitud de sus brazos quede a una altura adecuada al aro de empuje.

Ángulo de las ruedas motrices

Si la distancia de separación de las ruedas en la base es mayor se logra que los brazos queden más cerca al cuerpo y mayor estabilidad al desplazamiento de la silla. Para lograr un desplazamiento eficiente y el uso óptimo de energía se logra con una postura adecuada entre el brazo y el aro de la silla. Al estar los brazos alejados del cuerpo complicara mover la silla por consecuencia de juntar la rueda con la base.

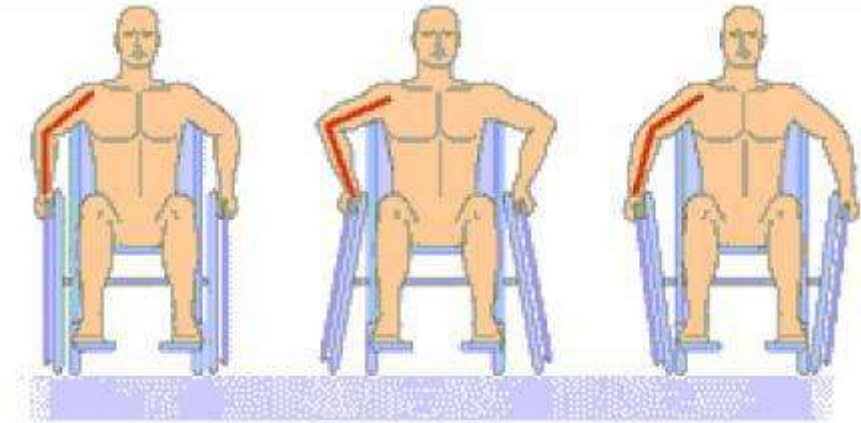


Figura 16. Ángulo de las ruedas
Fuente: (Moreno, Gustavo, & Milagros , 2004)

iii) Forma de la silla de ruedas

Para que una silla de ruedas sea considerada utilizable para un usuario tiene que brindarle una base de asiento estable y cómoda, que posibilite:

Se considera una silla de ruedas útil, si al usuario le brinda un asiento estable en la base además de cómoda, con lo cual posibilite:

- Una posición sentada simétrica por sentarse erguido.
- Por un mínimo en el gasto de energía poder alcanzar la máxima capacidad.
- Disminuir la presión que se ejerce en los muslos y glúteos.

Para poder conseguir la correcta postura del usuario en la silla se examina los distintos factores del cual depende a continuación:

Dimensión del asiento

Se optimiza la zona del cuerpo del usuario en contacto con la base del soporte asegurando la estabilidad. Al tener mayor superficie posible se distribuye la presión del peso del usuario de manera uniforme dándole alivio. Si el asiento es muy estrecho puede ocasionar escaras por presión, al contrario si es demasiado ancho el asiento el usuario no podría sentarse simétricamente.



Figura 17. Postura en el asiento
Fuente: (Moreno, Gustavo, & Milagros , 2004)

Al diseñar un asiento corto generara una elevada presión en los glúteos, por lo contrario con un asiento amplio se lograra el correcto reparto de fuerzas en toda la base del asiento.



Figura 18. Profundidad corta del asiento
Fuente: (Moreno, Gustavo, & Milagros , 2004)

Si el asiento es largo, tensiona la parte posterior de la rodilla y en consecuencia el usuario no llega a usar correctamente el respaldo, por lo que el usuario se estira o desplaza así librándose de la tensión.



Figura 19. Profundidad excedida del asiento
Fuente: (Moreno, Gustavo, & Milagros , 2004)

Se coloca a la persona en una posición erguida correcta y se deja 3 cm de longitud aproximadamente entre la zona interna de la rodilla del usuario y el final del asiento así se podrá alcanzar la óptima longitud del asiento.



Figura 20. Profundidad óptima del asiento
Fuente: (Moreno, Gustavo, & Milagros , 2004)

El ángulo y aspecto del asiento

Debe estar a un nivel uniforme y ser firme. Si las rodillas y muslos se empujan es consecuencia de la asimetría del usuario por una mala tapicería de un asiento hundido. Que produce un rozamiento y exceso de presión. Para determinar la estabilidad de la pelvis es importante la posición que toma los muslos y el tronco, se logra manteniendo una buena postura.

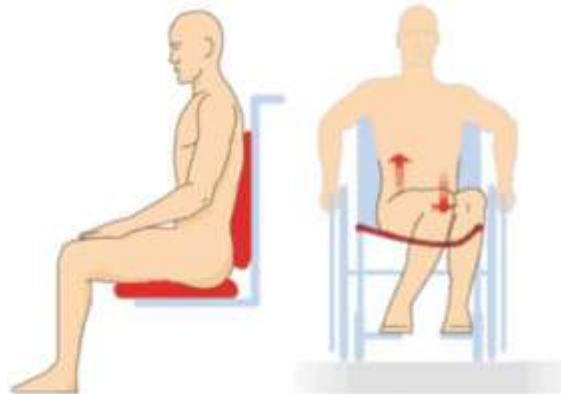


Figura 21. Ángulo del asiento y Asiento asimétrico
Fuente: (Moreno, Gustavo, & Milagros, 2004)

Forma del respaldo y ángulo

Para poder mantener la estabilidad de la silla, el respaldo de la silla estará mínimamente inclinado con esto se logra que la gravedad actúe encima del pecho de la persona, con esto se consigue que la zona superior se estabilice y consecuentemente el dorso descanse.

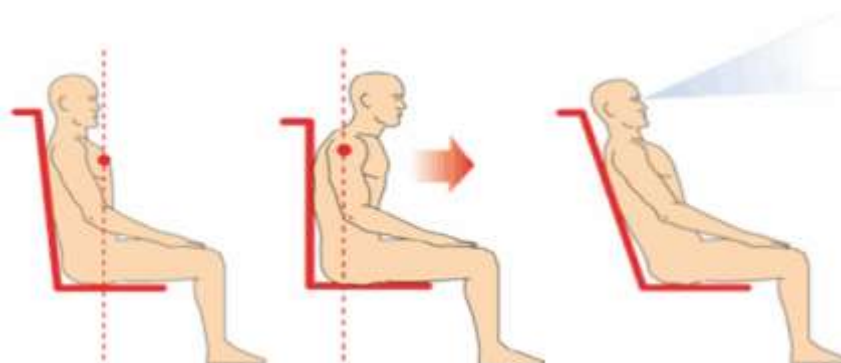


Figura 22. Respaldo inclinado ligeramente hacia atrás, Respaldo vertical y Respaldo inclinado hacia atrás
Fuente: (Moreno, Gustavo, & Milagros, 2004)

Si el respaldo de la silla es totalmente recto el usuario se inclinara hacia adelante por causa de gravedad ejercida en sus hombros. Si el respaldo esta muy inclinado hacia atrás la visión del usuario se verá reducida. El ángulo que forma el respaldo con el cojín del asiento cambia de acuerdo a la actividad a realizar. Expertos consideran 93° a 97° ideal, con esto disminuimos la carga en la columna vertebral. A continuación se muestra en la figura el porcentaje de esfuerzo sobre la columna de acuerdo a la posición de alineamiento.

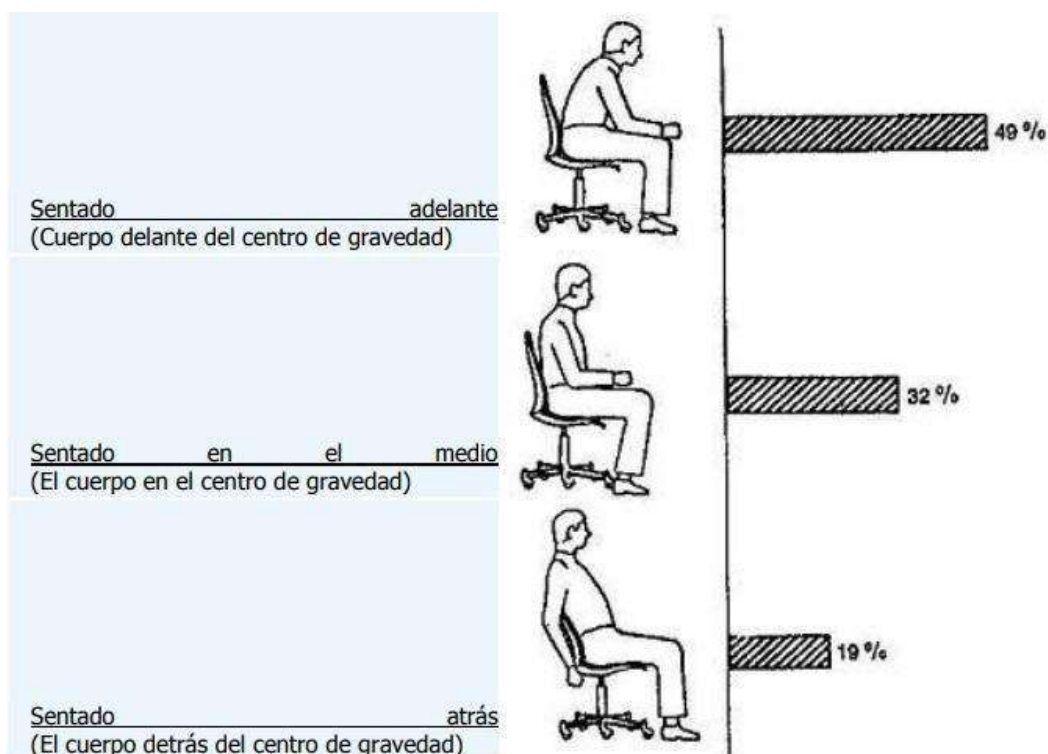


Figura 23. Recargo en la columna según la postura
Fuente: (Charris)

Soporte de los brazos

Los posabrazos dan apoyo a los músculos del cuello por que procuran el descanso de los brazos. Debe quedar a 90° del codo ajustándolo correctamente.

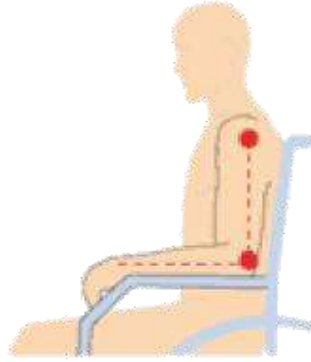


Figura 24. Posición reposabrazos
Fuente: (Moreno, Gustavo, & Milagros , 2004)

Ocasiona dolor muscular en la parte vertical si son demasiados altos los apoyabrazos por que los hombros están forzados hacia arriba. Al contrario si están demasiados bajos el cuerpo del usuario se deja caer al momento de usarlos. Un asiento de base estable para usuarios activos eliminaría la necesidad de apoyabrazos.

2.2.6 Modelos de dispositivos para bipedestación

Tabla 4

Bipedestadores Encontrados Internacionalmente

Tipología	Imagen	Datos de los bipedestadores
Bipedestador fijo pediátrico		<p>“El bipedestador fijo de madera con barrales de tubo de acero pintado, soportes para pies ajustables, con apoyo posterior para piernas regulable en altura. Sujeciones pélvicas y torácicas con correas con cierre de velcro, regulables en altura, estos sirven únicamente como seguros posturales” (Universidad de Buenos Aires Facultad de Medicina Escuela de Kinesiología y Fisiatría Cátedra Oficial de Ortesis y Prótesis BIPEDESTADORES, 2003).</p>
Levo LCEV: Silla Eléctrica		<p>“Es una silla eléctrica con función de bipedestación. Lleva incorporado un pequeño mando, por medio de un botón se procederá a la posición bípeda”</p>
EasyStand 5000 mobile		<p>“Una de las empresas es la EasyStand diseñadora de bipedestadores móviles manuales, este bipedestador es diseñado para satisfacer las necesidades de una amplia variedad de personas. Los ajustes se realizan sin herramientas y una gama de opciones de soporte que es ideal para el usuario”. (CATÁLOGO DE PRODUCTOS EASYSTAND & OVATION).</p>
LIFESTAND LSA		<p>“La silla de bipedestación LifeStand Compact (LSC) es una silla innovadora con soporte a ambos lados desarrollada con la asistencia de centros de rehabilitación de alto nivel, donde se establecieron los estándares de seguridad y fiabilidad”. (Catalogo LIFESTAND® LSA,2006)</p>

Nota. Fuente: Elaboración propia

2.2.7 Estática, Cinemática y Dinámica

i. Estática

Es parte de la física que estudia las fuerzas y momentos que actúan sobre un cuerpo cuyas resultantes son nulas, por consecuencia permanecen en movimiento no acelerado o reposo. El objetivo de la estática es identificar las fuerzas resultantes y el momento resultante de todas las fuerzas al actuar sobre un cuerpo y así establecer las condiciones de equilibrio.

ii. Cinemática

La cinemática (del griego κινέιν *kinéin* 'mover, desplazar) es una rama de la física y parte de la mecánica que estudia las leyes del movimiento, los parámetros que toma son los cambios de posición, velocidad y aceleración mas no las fuerzas que las causan, centrándose solo en el estudio de la trayectoria en función al tiempo. Siendo el ritmo con el cual cambia su rapidez, la aceleración (módulo de velocidad). Las principales cantidades que nos describen su cambio de posición en función al tiempo son las aceleración y su rapidez.

iii. Dinámica

Es el campo de la mecánica que estudia la acción de la fuerza sobre los cuerpos en movimiento. La dinámica se divide en dos partes la cinética que enlaza los movimientos resultantes con la acción de las fuerzas que actúan sobre los cuerpos y la cinemática que estudia el movimiento de los cuerpos sin tomar en cuenta su origen.

2.2.8 Esfuerzos Von Misses

Es un esfuerzo efectivo que se aplica en una combinación de esfuerzos, estos serían de tensión y cortantes sobre un mismo punto. Una manera adecuada de hacerlo sería el procedimiento de energía de distorsión. Para generar esa misma energía de distorsión que se origina por la combinación real de los esfuerzos aplicados se produce un esfuerzo a tensión uniaxial que es como se define al Esfuerzo efectivo de Von Mises (σ'). Con lo cual

permite emplear esfuerzos combinados multiaxiales de tensión como si fueran cargas de tensión, para el esfuerzo efectivo de Von Mises (σ') en este caso tridimensional:

$$\sigma' = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6\tau_{xy}^2 + 6\tau_{yz}^2 + 6\tau_{zx}^2 \right]^{1/2} \quad 1$$

La fórmula se reduce si nos encontramos en un estado de esfuerzo de dos dimensiones a la siguiente expresión:

$$\sigma' = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 3\tau_{xy}^2 \right]^{1/2}$$

2.2.9 Límite de fluencia

Si se sobrepasara el límite elástico por un ligero aumento en el esfuerzo como consecuencia causaría que se deforme permanentemente el material. Se llama fluencia a este tipo de comportamiento y se indica en la parte más oscura de la figura 25. El punto de fluencia o esfuerzo de fluencia (σ_y) se produce por un esfuerzo y la deformación plástica ocurre por una deformación. Las propiedades del material no cambiarán permanentemente por la fluencia originada por una carga sino cambiará las propiedades del mismo material, al contrario de la carga elástica. Hay dos valores para el punto de fluencia de los aceros bajo en carbono o rolados en caliente o aquellos son laminados. Primeramente ocurre que el punto superior de fluencia disminuye su resistencia a cargas entonces rápidamente llega a un punto inferior de fluencia. Se puede aplicar más carga a la probeta solo cuando la fluencia ha terminado, el esfuerzo máximo σ_u se logra cuando la curva elevada llega a aplanarse en la cima. Se llama Endurecimiento por deformación a la elevación en la curva.

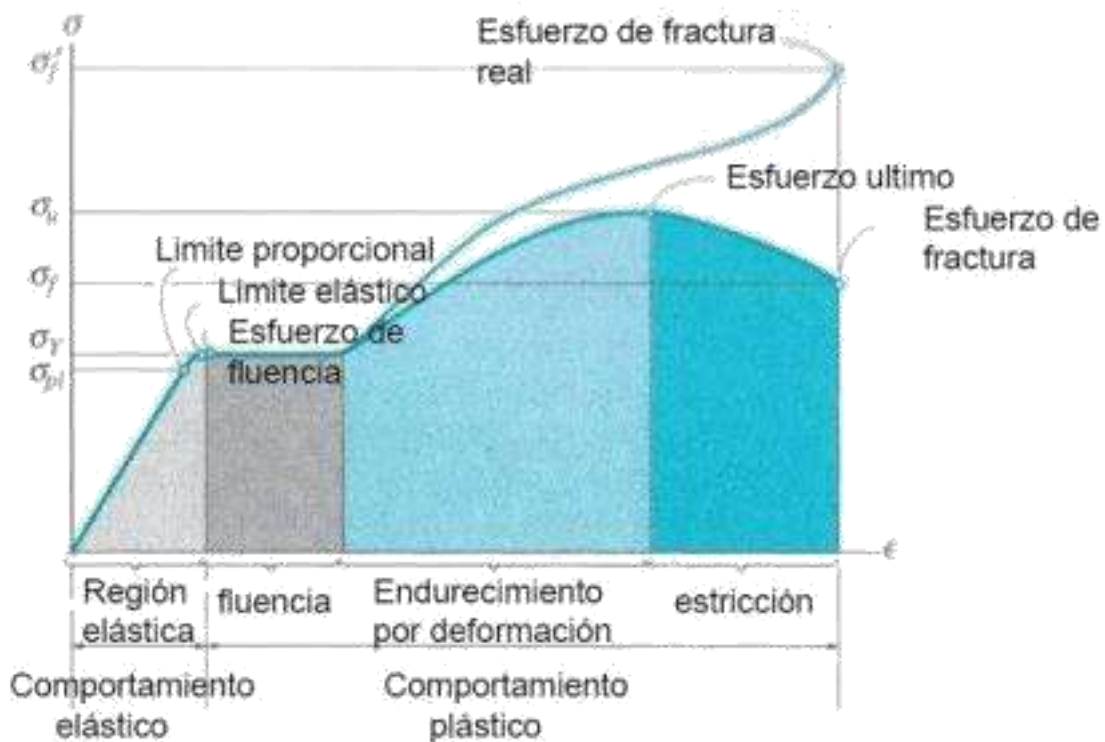


Figura 25. Diagrama esfuerzo-deformación unitario, convencional y real
Fuente: (Beer, 1993)

2.2.10 Diseño Mecánico

Para facilitar las operaciones de diseño, hoy en día han aparecido numerosas aplicaciones informáticas, que se hacen posibles por los recientes avances tecnológicos. Como son: Diseño asistido por computadora, Ingeniería asistida por computadora y fabricación asistida por computadora.

i. Diseño Asistido por Computadora (CAD)

Es un sistema bastante utilizado y conocido, aumenta en gran medida las posibilidades del sistema tradicional de dibujo y la diferencia ha cuando lo realizaban en papel, la principal ventaja reside en lo rápido que se puede hacer modificaciones al diseño. El sistema CAD tiene muchas opciones de realizar tareas, mencionaremos algunas:

- Se pueden observar cualquier modelo en las tres dimensiones y en perspectiva.
- En cada superficie se puede utilizar distintos colores
- Automáticamente se elimina superficies ocultas y líneas
- Trasladar y rotar la pieza
- Automáticamente se puede visualizar cualquier sección de un dibujo de planta o alzado.
- Se puede obtener la superficie, inercia, centro de gravedad, volumen, etc., de cada pieza.

El CAD también es conocido como Elaboración Virtual de Prototipos o Virtual Prototyping, debido a que permite simular el comportamiento de la pieza de forma virtual. (Barba, 1993)

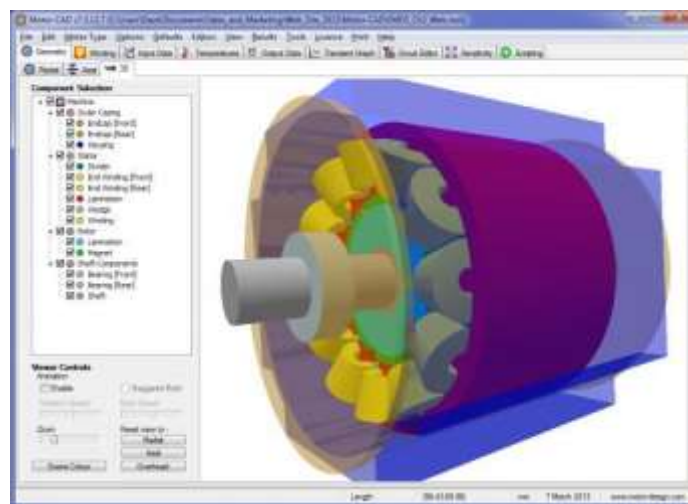


Figura 26. Imagen de una pieza en CAD
Fuente: (SolidWorks, 2020)

ii. SOLIDWORKS

Un claro ejemplo de programa de diseño asistido por computadora es solidworks sirve para el modelado mecánico y funciona en el sistema operativo Microsoft Windows y actualmente lo desarrolla la empresa Solidworks Corp. que es subsidiaria de Dassault systemes (Suresnes, Francia). El programa nos permite modelar piezas y conjuntos, además de extraer planos como también otro tipo de información necesaria para la producción. El

desarrollo radica en convertir la idea del diseñador al sistema CAD, “construyendo virtualmente” el conjunto de piezas o cada una. Luego todas las extracciones (ficheros y planos de intercambio) se hacen automáticamente.

Solidworks está basado en operaciones que aprovechan el fácil aprendizaje de la interfaz gráfica de Windows por eso es una herramienta de diseño de modelado sólido paramétrico. Se puede construir modelos sólidos en 3D totalmente asociadas sin o con restricciones además utilizar al mismo tiempo relaciones automáticas o definidas por el diseñador para capturar su intención.

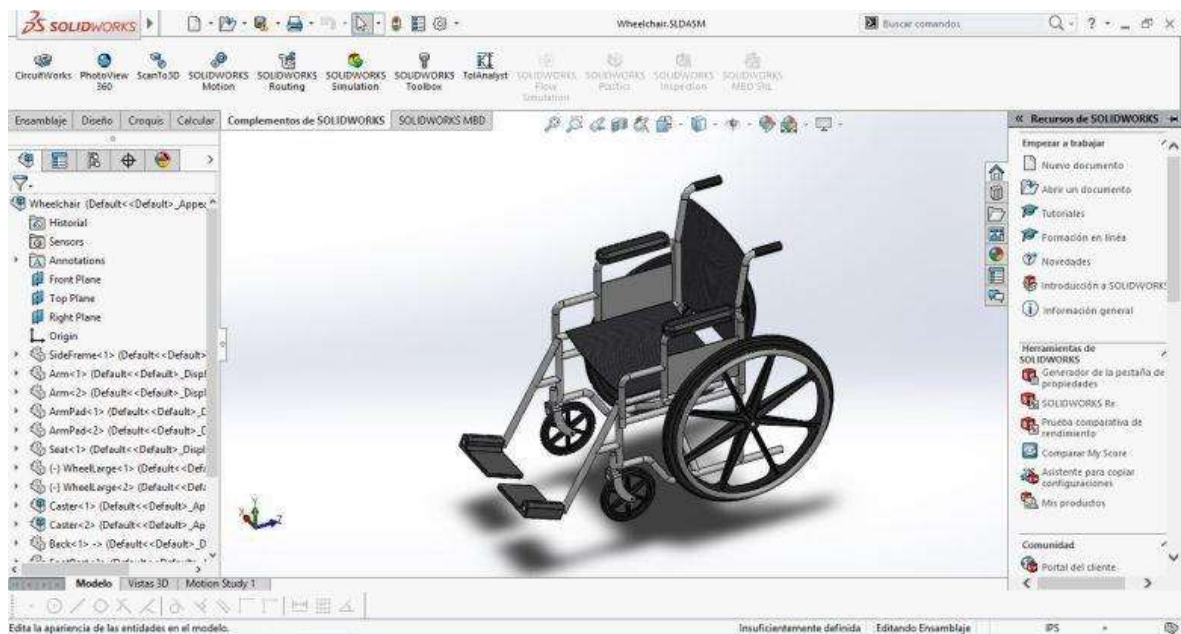
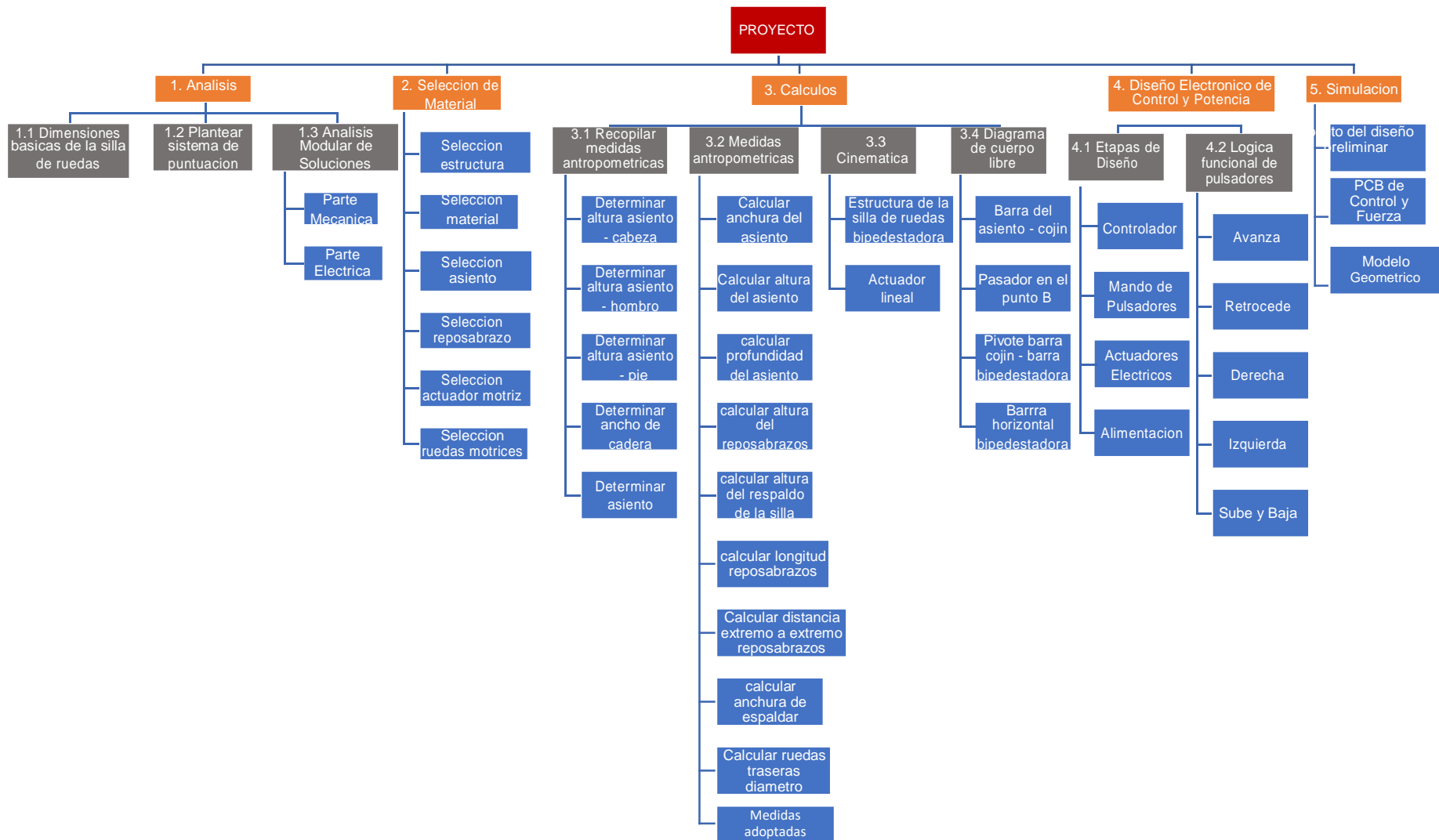


Figura 27. Imagen de la plataforma de Solidworks.
Fuente: (Montaña Morales, Ramírez Torres, & Zemanate Largo, 2017)

CAPÍTULO 3

DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

Haciendo uso de las buena práctica del PMBOK se ha elaborado una estructura de trabajo (EDT) que guiara la metodología del presente proyecto pasando por diferentes fases desde el análisis hasta la simulación, las cuales tienen su actividades que finalmente evocan en tareas (color azul).



3.1 Análisis

Se analizarán las medidas básicas de acuerdo a la norma vigente, luego se procederá a hacer tablas de ponderación de acuerdo a las características fundamentales que debe tener la silla, que se recolectó al momento de la toma de medidas con el paciente. Por último se hará un análisis modular del sistema mecánico y eléctrico.

3.1.1 Dimensiones básicas de la silla de ruedas

Antes de realizar el diseño mecánico mediante un simulador CAD se analiza las normas técnicas de una silla de ruedas, que deberá cumplir con las medidas y el peso de una silla de ruedas normal, se indicará en figura

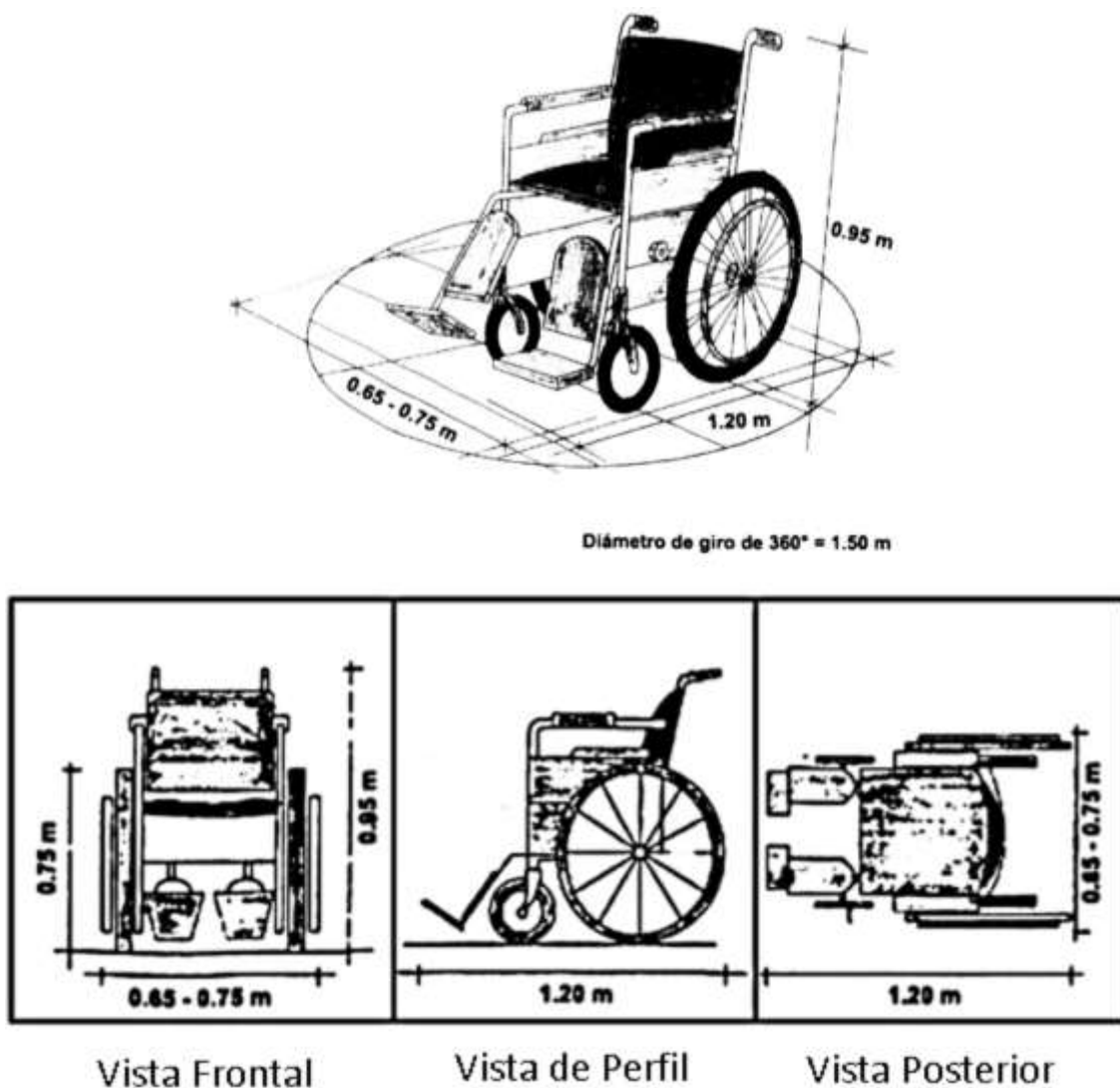


Figura 28. Datos Técnicos de una silla de ruedas
Fuente: (CONADIS, 2014)

3.1.2 Plantear sistema de puntuación

Se define el valor de la fiabilidad de la siguiente manera:

Tabla 5

Valoración de Fiabilidad

Fiabilidad	Valoración
Mayor	1
Igual	0.5
Menor	0

Nota. Fuente: Elaboración propia

A continuación en la tabla se pondera algunas sugerencias manifestada por el usuario de la silla de ruedas la cual guio al investigador para usarlos como parámetros medibles para la ingeniería.

Tabla 6

Ponderación Parámetros de Diseño

Seguridad > Ergonomía = Funcionalidad > Estética > Costo > Mantenimiento

	Seguridad	Ergonomía	Estética	Funcionalidad	Costo	Mantenimiento	1+Σ	en Ponderación % Porcentaje
Seguridad		1	1	1	1	1	6	29
Ergonomía	0		1	0.5	1	1	4.5	21
Estética	0	0		0	1	1	3	14
Funcionalidad	0	0.5	1		1	1	4.5	21
Costo	0	0	0	0		1	2	10
Mantenimiento	0	0	0	0	0		1	5
						Suma	21	100

Nota. Fuente: Elaboración propia

La tabla de ponderación de parámetros de diseño nos indica los valores de cada característica de la silla.

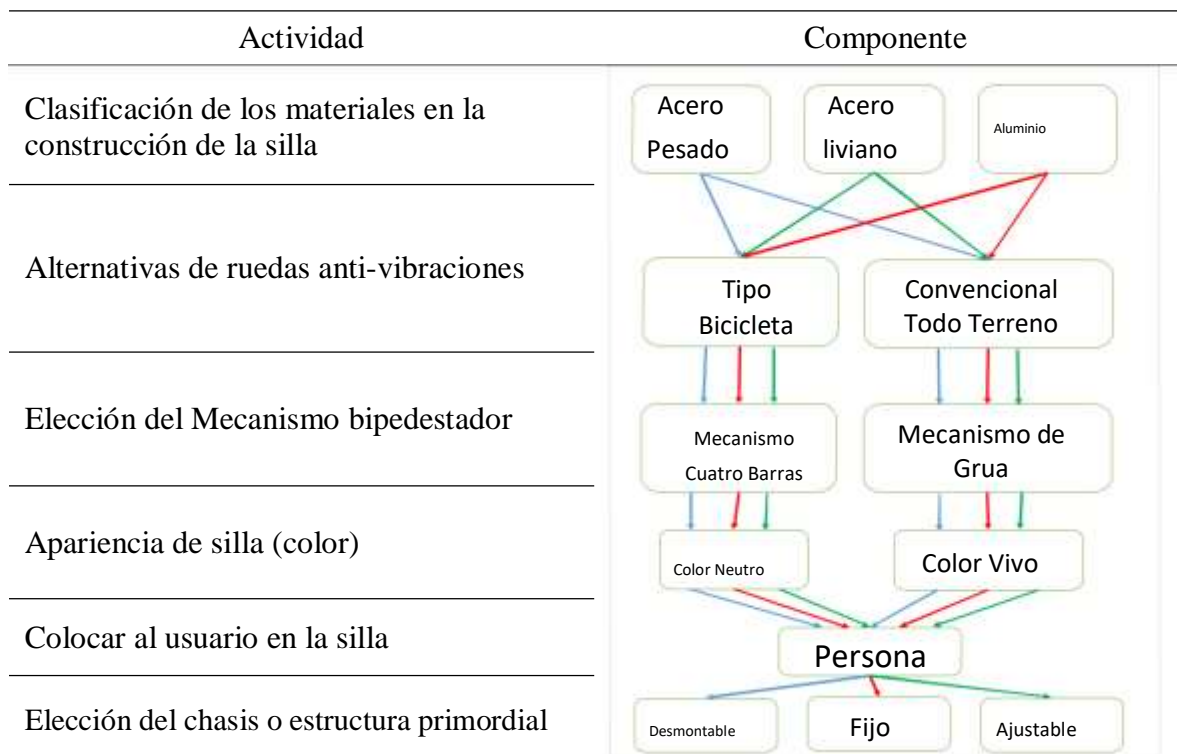
3.1.3 Análisis modular de soluciones

Se plantea las soluciones a los dos sistemas que tiene la silla escogiendo al final uno que entre varios componentes que están ligados a una función determinada satisfaga las exigencias del usuario de la silla.

La silla de ruedas eléctrica para bipedestación tiene dos módulos el primero la parte mecánica y segundo la parte eléctrica donde se verá los actuadores eléctricos que serán instalados en la silla.

En la tabla 7 se muestra el módulo de selección de soluciones parte mecánica.

Tabla 7
Módulo de Selección de Soluciones – Parte Mecánica



Nota. Fuente: Elaboración propia

En la tabla 8 se muestra el módulo de selección de soluciones parte eléctrica de acuerdo a la disponibilidad de los componentes eléctricos en el mercado peruano.

Tabla 8

Módulo de Selección de Soluciones – Parte Eléctrica

Actividad	Componente
Tipos de mando	
Modo de manejo de silla manual	
Modo de manejo de silla automático	
Elección del impulsor	
Alternativas de impulsores	
Clasificación de parada	

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.2 Selección de Material

En esta sección se hará tablas de ponderación a cada uno de los elementos esenciales además de accesorios de la silla. Cabe mencionar el trabajo se realizó en conjunto con los usuarios de la silla de ruedas con el propósito de guiar al investigador de acuerdo a las necesidades del usuario. Se tomó en cuenta características biomédicas y parámetros de cualquier producto.

Cuadro ponderado de soluciones de los elementos de la silla.

3.2.1 Estructura o Chasis

Para escoger el tipo de estructura o chasis vamos a relacionar las características que debe tener la silla de ruedas, con las alternativas propuestas y le pondremos un porcentaje de ponderación.

Tabla 9

Selección Estructura

Tipo	Seguridad	Ergonomía	Estética	Funcionalidad	Costo	Mantenimiento	porcentaje final Ponderación	Prioridad
Fijo	19	8	9	14	7	3	60	1
Plegable	10	13	5	7	3	2	40	2

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Material

Para la elección del material vamos a considerar, los materiales tipo acero pesado, acero inoxidable y aluminio, para el cual en la tabla adjunta le damos las ponderaciones de acuerdo a las características de seguridad, ergometría, etc.

Tabla 10

Selección Material

Tipo	Seguridad	Ergonomía	Estética	Funcionalidad	Costo	Mantenimiento	porcentaje final Ponderación	Prioridad
Acero pesado	12	4	2	8	2	1	29	3
Acero inoxidable	12	7	6	9	4	2	40	1

Aluminio	5	10	6	4	4	2	31	2
----------	---	----	---	---	---	---	----	---

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Reposabrazos

Para la elección del reposabrazos vamos a considerar, los de tipo fijo, desmontable y ajustable, para el cual en la tabla adjunta le damos las ponderaciones de acuerdo a las características de seguridad, ergometría, etc.

Tabla 11

Selección Reposabrazos

Tipo	Seguridad	Ergonomía Estética	Funcionalidad	Costo	Mantenimiento	ponderación final	Prioridad
Fijo	15	4	2	4	4	32	2
Desmontable	4	6	5	7	4	27	3
Ajustable	10	11	7	10	2	41	1

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.2.4 Asiento

Para la elección del asiento vamos a considerar los de tipo fijo y ajustable, para el cual en la tabla adjunta le damos las ponderaciones de acuerdo a las características de seguridad, ergonomía, etc.

Tabla 12

Selección Asiento

Tipo	Ergonomía Seguridad	Estética	Funcionalidad	Costo	Mantenimiento	porcentaje final ponderación	Prioridad
Fijo	19	7	9	7	3	52	1
Ajustable	10	14	5	14	3	48	2

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.2.5 Actuador Motriz

Para la elección del actuador motriz vamos a considerar los de tipo DC convencional y DC brushless, para el cual en la tabla adjunta le damos las ponderaciones de acuerdo a las características de seguridad, ergonomía, etc.

Tabla 13

Selección Actuador Motriz

Tipo	Ergonomía Seguridad	Estética	Costo Funcionalidad	Mantenimiento	porcentaje final ponderación	Prioridad		
DC Convencional	15	14	5	7	7	2	50	2
DC Brushless	15	7	9	14	3	3	51	1

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.2.6 Ruedas Motrices

Para la elección de las ruedas motrices vamos a considerar los de tipo bicicleta y tipo todo terreno, para el cual en la tabla adjunta le damos las ponderaciones de acuerdo a las características de seguridad, ergonomía, etc.

Tabla 14

Selección de Ruedas Motrices

Tipo	Seguridad	Ergonomía	Estética	Funcionalidad	Costo	Mantenimiento	Porcentaje final ponderación	Prioridad
Tipo bicicleta	10	14	9	14	7	2	56	1
Todo terreno eléctrico	19	7	5	7	3	3	44	2

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.3 Cálculos

Para esta etapa del diseño de la silla bipedestadora se ha tomado datos de campo en los centros hospitalarios del Hospital Dos de Mayo de Lima, Hospital D. Alcides Carrión de Huancayo y centros de rehabilitación. Con estos datos determinaremos las medidas de la silla bipedestadora luego se efectúa el mecanismo cinemático de lasilla, de igual forma con el actuador lineal además se realiza el diagrama de cuerpo libre de las cargas de acción y reacción de las partes que constituye la estructura la silla.

3.3.1 Recopilar medidas antropométricas

Esta planilla se obtendrá las medidas antropométricas de la persona con paraplejía para poder desarrollar el diseño de la silla bipedestadora como se observará en la tabla

Tabla 15. Planilla de medidas de la persona con paraplejia

Nombres y Apellidos: Sr. Aguilera P.		
Fecha: 20/11/2019	Domicilio: Jr. Camino Real	
Edad: 53	Localidad: Lima	
Diseño de medidas cuando el paciente se encuentra sentado		
Altura Asiento – Cabeza [cm]	54.4	
Altura Asiento – Hombro [cm]	34.4	
Altura Asiento – Pie [cm]	38.5	
Ancho de cadera [cm]	45	
Asiento [cm]	41.3	

Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Medidas de la silla

La toma de muestra de personas parapléjicas, definición de las medidas del chasis de la silla. A continuación se va determinar:

i. Amplitud del asiento

Son las dimensiones del ancho de cadera (CdCd) del usuario que serán las mismas al cambiar de posición la silla, de bípeda a sedente. Para lo cual se toma el percentil 95 y 5 (anexo B) para establecer la medida final y se dejara un espacio de 2.5cm por cada lado.

Anchura asiento = ancho de cadera + espacio

$$43,7 \text{ cm} + 5 \text{ cm} = 49 \text{ cm.}$$

ii. Elevación del asiento

Es la distancia entre el reposapiés y la parte de atrás de la rodilla (llamada poplíteo). Emplearemos la distancia que está en el percentil 5 (Anexo B) asumiendo que los usuarios de un tamaño menor llegan al reposapiés y también se considera 10 cm extra por ser el material del asiento especial.

$$\text{Altura del asiento} = \quad + \text{ alto asiento especial} = 40,5 \text{ cm} + 10 \text{ cm} = 50,5 \text{ cm}.$$

iii. Profundidad del asiento.

Estando sentado el usuario, la medición va desde el respaldar de la silla hasta la zona poplíteica (parte de atrás de la rodilla). Se trabajara con el percentil 95 de la tabla (ver anexo B) por ende se analizara al grupo más grande el cual debe llegar a caber en el asiento adecuadamente. Se tendrá en cuenta dejar 3 cm de espacio entre el borde del asiento y la zona poplíteica.

Entonces, se determina:

$$\text{Profundidad del asiento} = \text{-- holgura} = 45,9 - 3 \text{ cm} = 43 \text{ cm}.$$

iv. Elevación del reposabrazos.

Es la longitud empieza en el suelo llegando a la parte del codo que se encuentra en un ángulo de 90 grados con respecto al hombro, el usuario está en posición sedente. Consideramos esta vez usar el percentil 5 de la tabla (Anexo B) para que los usuarios de menor medida puedan acomodar correctamente la parte superior de sus extremidades.

$$\text{Altura reposabrazos} = \text{CS} + \text{holgura} = 64,5 \text{ cm} + 2 \text{ cm} = 66,5 \text{ cm}.$$

v. Elevación del respaldar de la silla.

Es la longitud que empieza en el piso llegando al omoplato en su parte baja, el usuario se encuentra en posición sedente.

Utilizaremos el percentil 95 de la tabla (ver anexo B) usando las medidas del grupo grande además se debe restar 2 cm.

$$\text{Altura del respaldo} = \quad - \text{holgura} = 90,8 \text{ cm} - 2 \text{ cm} = 88,8 \text{ cm.}$$

vi. Dimensión del reposabrazos.

Es la longitud que va a partir del codo hasta la punta de los dedos (CM). Aplicaremos el percentil 95 de la tabla (anexo B) por ser las medidas más grandes.

$$\text{Distancia horizontal reposabrazos} = \text{CM} = 47,9 \text{ cm} = 48 \text{ cm.}$$

vii. Longitud entre los reposabrazos

Nos referimos al espacio que hay entre los dos reposabrazos más específicamente los codos en su zona externa (CC). Se empleara percentil 95 para lo anterior. Se usara el percentil 5 para la zona interior del reposabrazos disminuyéndole unos 2 cm a cada lado.

$$\text{Distancia reposabrazos caras externas} = \text{CC P95} + \text{holgura} = 63 \text{ cm} + 2 \text{ cm} = 65 \text{ cm.}$$

$$\text{Distancia reposabrazos caras internas} = \text{CC P5} - \text{holgura} = 54,5 \text{ cm} - 2 \text{ cm} = 52,5 \text{ cm.}$$

viii. Amplitud del espaldar.

Es la distancia que hay entre hombros (HH) tomaremos el percentil 95 por ser las medidas más grandes.

$$\text{Anchura del espaldar} = \text{Anchura de los hombros} + \text{holgura} = 48,3 \text{ cm.}$$

ix. Diámetro de las ruedas traseras:

Es la distancia que va desde el piso hasta el hombro en posición vertical (HS) adicionándole la medida del suelo al reposapiés y restándole el máximo alcance del brazo (AmaxBa) por ultimo multiplicándolo por 2.

$$HS + 12\text{cm} - \text{AmáxBa} = 90,9\text{ cm} + 12\text{ cm} - 70\text{ cm} = 32,9\text{ cm} * 2 = 65,8\text{ cm} = 66\text{ cm}.$$

x. Medidas Adoptadas.

Altitud del reposapiés (12cm)

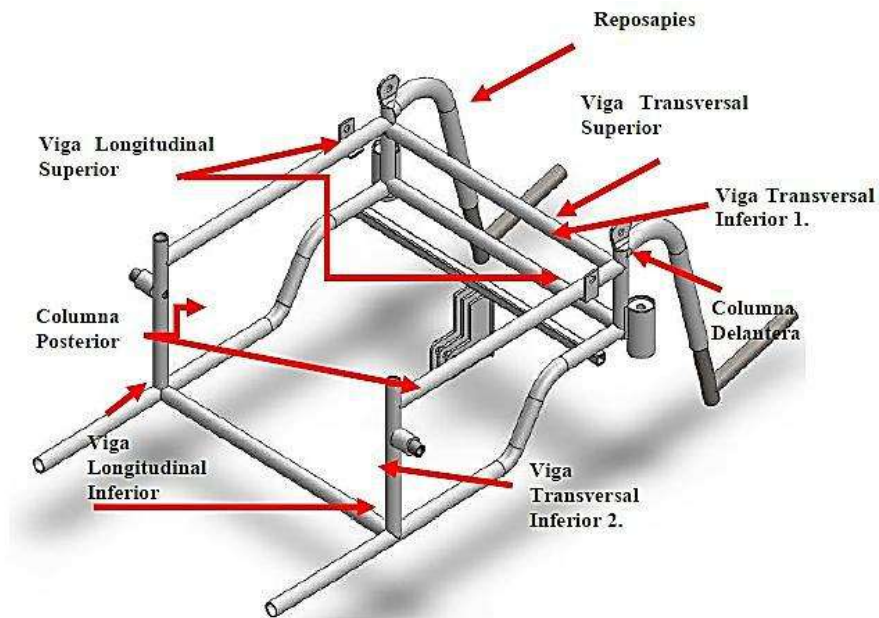
Angulo del respaldo (90° - 100°)

Angulo asiento (4°).

Medidas de ruedas delanteras (50 mm x 200 mm).

Distancia del reposapiés = Medida de la altura rodilla suelo (RS) (P5) = 43,6 cm.

3.3.3 Diseño de la estructura inferior



Determinación de los parámetros para el diseño y selección del perfil

El diseño de los elementos/vigas para la estructura inferior en forma resumida se encuentra descritos en la Tabla 16, como el material a utilizar, un Acero AISI 304, y además son elementos empotrados.

Tabla 16

Cálculos para seleccionar el perfil tubular redondo para las vigas de la estructura

ELEMENTO /VIGA	q Kg/cm	L cm	$= \frac{\times^2}{\cdot}$ Kg.cm	Fb Kg/cm ²	$= \frac{\cdot}{\cdot}$ cm ³	$\frac{\text{Disecciónado}}{\text{plg}}$	Sx tablas cm ³	req<Sx Cumple tab
Longitudinal superior	1,955	44	473,1	2.139	0,2211	0,75	0,34	SI
Transversal superior	4,468	35	684,2	2.139	0,3198	0,75	0,34	SI
Transversal inferior 1	3,258	48	737,3	2.139	0,3446	0,75	0,34	SI
Longitudinal inferior	1,227	65	648,0	2.139	0,3029	0,75	0,34	SI
Transversal inferior 2	3,322	48	691,2	2.139	0,3231	0,75	0,34	SI

Nota. Fuente: Elaboración propia

Selección del perfil

En base al Módulo de Sección (Sxreq) dado en la Figura 29, y mediante el Catálogo de Productos DIPAC (Anexo E) se selecciona un Tubo Redondo con las siguientes características:

Diámetro Exterior (D)		Espesor		Peso		Propiedades	
		e	P	A	I	W	i
Pulg	mm	mm	Kg/6m	cm	cm ⁴	cm ³	cm
3/4	19.05	0.95	2.70	0.54	0.22	0.23	0.64
		1.10	3.18	0.62	0.25	0.26	0.63
		1.50	4.20	0.83	0.32	0.34	0.62

Figura 29. Especificaciones técnicas del tubo redondo para las vigas longitudinales y transversales de la estructura inferior

Fuente: (DIPAC PRODUCTOS DE ACERO, 2016)

Determinación de los parámetros para el diseño y selección del perfil

El diseño de los elementos/columnas para la estructura inferior se en forma resumida se encuentran descritos en la Tabla 17, bajo las consideraciones descritas, como el material

a utilizar, un Acero AISI 304 con una Relación de Esbeltez $KL/r = 50$ se establece que $F_a = 22,39\text{Kpsi}$, y además son elementos cuyos condiciones de extremos sea según el caso que se analice.

Tabla 17

Cálculos para seleccionar el perfil tubular redondo para las columnas de la estructura inferior

Elementos/ columna	P		Perfil seleccionado D=3/4" e=1.5mm				1ra comprobación			2da comprobación			
	lb	cm2	Área Ag cm2	R de giro Ry cm	Mod. de Sección St cm3	—	Fa lb	$P_c = \frac{AF}{a}$	Cc	Fa Lb	Pc lb	Pc>P	
Posterior	173,77	0,05	0,83	0,62	0,34	20	26,11	3,35 8	SI	113,19	26,0 91	3,3 55	SI
Delantera	173,77	0,05	0,83	0,62	0,34	20	26,11	3,35 8	SI	113,19	26,0 91	3,3 55	SI
Reposapiés	53,24	0,015	0,83	0,62	0,34	60	21,28	2,73 7	SI	113,19	21,3 70	2,7 48	SI

Nota. Fuente: Elaboración propia

Selección del perfil

En base a la sección determinada (A), y mediante el Catálogo de Productos DIPAC (Figura 29) se selecciona un Tubo Redondo con las siguientes características:

Especificaciones técnicas del tubo redondo para las columnas de la estructura inferior

Diámetro Ø	Espesor e	Área Ag	Radio de Giro ry	Módulo de Sección St
3/4"	1,5 mm	0,83 cm2	0,62 cm	0,34 cm3

Figura 30. Especificaciones técnicas del tubo redondo para las columnas de la estructura inferior

Fuente: (DIPAC PRODUCTOS DE ACERO, 2016)

Por lo que el tubo seleccionado y apropiado para todas las columnas de la estructura inferior, es el:

Tubo Redondo: $\varnothing = 3/4"$ y $e = 1,5\text{ mm}$

3.3.4 Cinemática

Estructura de la silla de ruedas bipedestadora

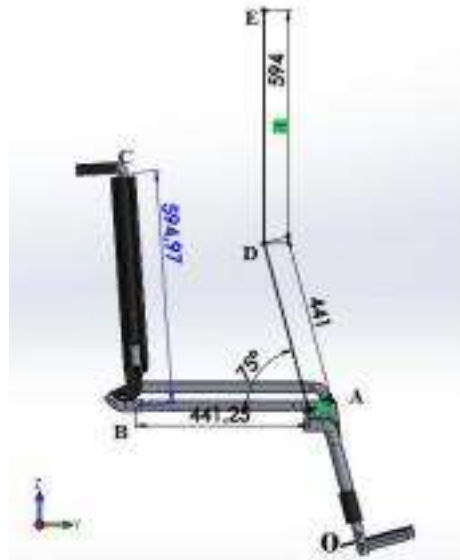


Figura 31. Cinemática mecanismo bipedestador - Silla de ruedas bipedestadora Fuente: Elaboración propia

Vectores de posición relativa

$$= [0, 380 \times \sin(-15^\circ), 380 \times \cos(-15^\circ)]$$

$$= [0, -440, 0]$$

$$= [0, 0, 590]$$

Matrices de rotación con respecto al eje "x"

$$= [0, 113.9, 425]$$

$$= [0, -212.3, 792]$$

$$= [0, 212.3, 1382]$$

Actuador lineal

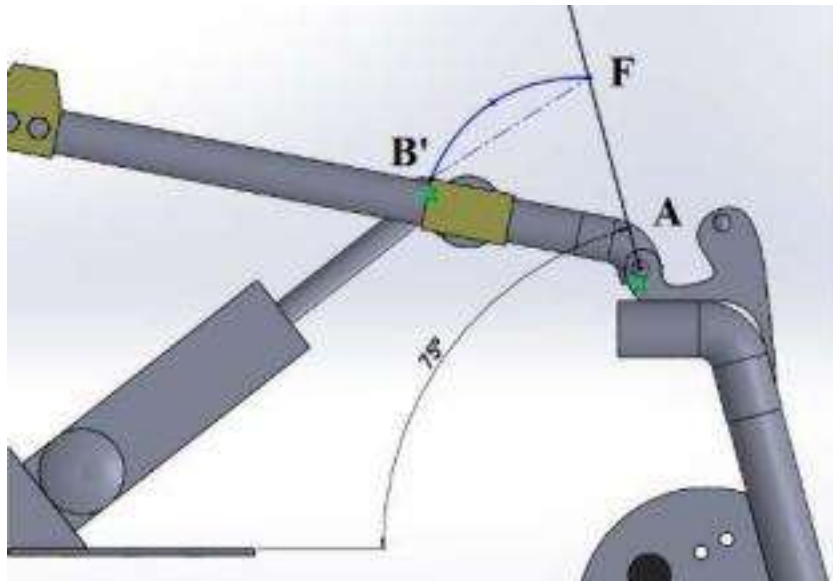


Figura 32. Trayectoria actuador lineal
Fuente: Elaboración propia

Posición del punto B' con respecto al punto A. Posición de la punta del vástago del actuador con respecto al eje de giro del mecanismo bipedestador.

$$= [0, -160, 0] \dots (1)$$

Posición del punto F con respecto al punto A. Posición final del extremo del vástago con una rotación de 75° necesaria para la bipedestación de la silla de ruedas.

$$= [0, -41.41, 154.55] \dots (2)$$

Posición del punto final del extremo del vástago con respecto al punto inicial. Restamos (1) – (2)

$$= [0, 118.59, 154.55] \dots (3)$$

Distancia de recorrido para el actuador lineal.

$$= \sqrt{2 + 2 + 2 \dots (4)}$$

Reemplazamos (3) en (4):

$$= \sqrt{[0^2, 118.59^2, 154.55^2]}$$

$$D = 194.8 \text{ mm}$$

Estos datos obtenidos son los vectores de posición de la estructura y del actuador lineal respecto al sistema de referencia u origen, para este caso será la silla de ruedas en

posición sedente y el lugar ocupado por el cuerpo o la posición final será la silla de ruedas en posición bípeda.

3.3.5 Diagrama de cuerpo libre

Por tener una gran cantidad de piezas la máquina, se simplificará el análisis estático analítico por piezas y luego se hará el análisis estático usando software al ensamblar las piezas y así validar el diseño.



Figura 33. Representación preliminar para el análisis estático
Fuente: Elaboración propia

Seguidamente se verá el análisis estático de las primordiales partes sometidas a los esfuerzos:

Barra del asiento-cojín.



Figura 34. Barra del asiento cojín
Fuente: Elaboración propia

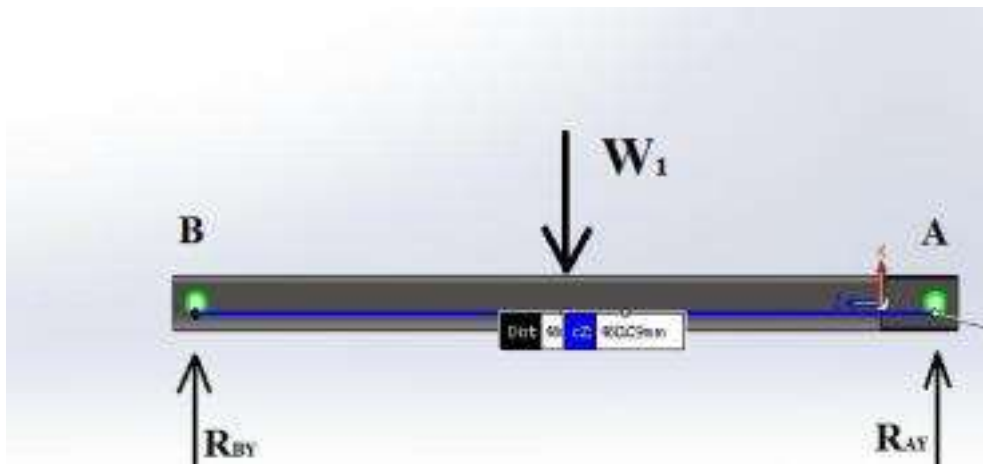


Figura 35. Diagrama de cuerpo libre: Barra asiento - cojín
Fuente: elaboración propia

Análisis de cargas.

$$\Sigma y = 0$$

$$-1 + y + y = 0$$

$$\Sigma = 0$$

$$x_1 + x \quad y = 0$$

$$\Sigma = 0$$

$$x_1 + x \quad y = 0$$

$$y = 490$$

$$y = 490$$

Análisis momento flector.

$$B = \frac{M_{AB}}{EI}$$

$$B = 58.8 \quad \text{m... (1)}$$

Análisis de esfuerzos

$$= 207 \text{ MPa... (2)}$$

$$= 25.4 \text{ mm... (3)}$$

$$= 22.4 \text{ mm... (4)}$$

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{32 \times M_{AB} \times D}{\dots (5)}$$

Reemplazando (1), (2), (3) y (4) en (5)

$$\sigma_{\text{maxAB}} = 63.41 \text{ MPa....(6)}$$

Reemplazando (2) y (6) en (8)

$$f_{SAB} = \dots(8)$$

$$f_{SAB} = 3.26$$

Pasador en el punto B

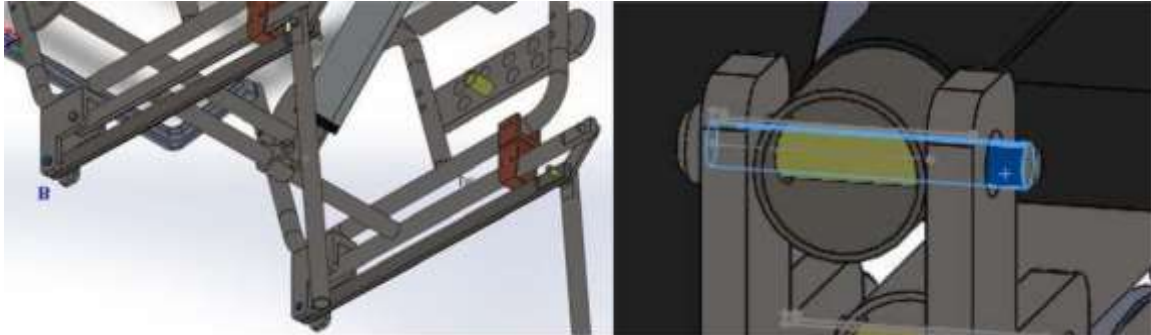


Figura 36. Descripción del componente: pasador B
Fuente: Elaboración propia

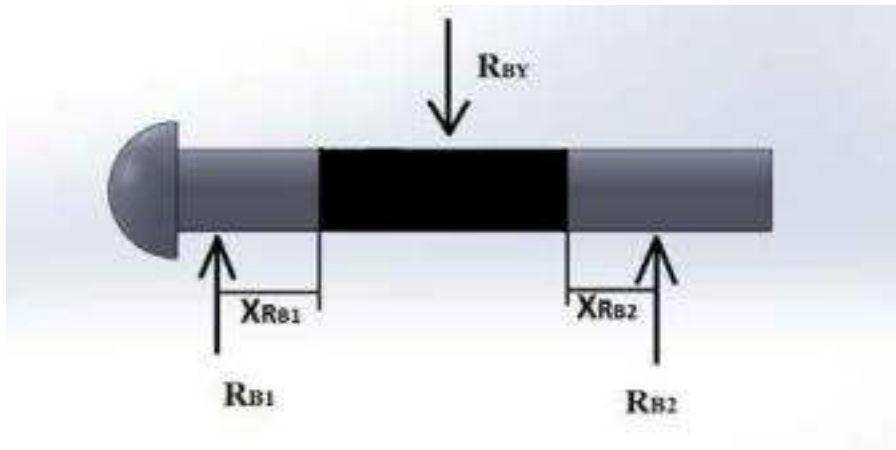


Figura 37. Diagrama de cuerpo libre: Pasador B
Fuente: Elaboración propia

Datos:

$$L_P = 0.038\text{m}$$

$$X_{RB1} = 0.004\text{m} \dots (1)$$

$$X_{RB2} = 0.004\text{m} \dots (2)$$

$$X_{RB} = X_{RB1} + X_{RB2} \dots (3)$$

$$X_{RB} = 0.008\text{m}$$

Análisis de Carga

$$= 0$$

$$- + 1 + 2 = 0$$

$$1 = \frac{1+2}{2}$$

$$1 = 0$$

$$\frac{1}{2} = \frac{1+2}{2} \dots (6)$$

Reemplazamos (2) y (4) en (5)
 $2 = 245 \dots (6)$

Análisis momento flector.

$$= 2 \times 1 \dots (7)$$

Reemplazamos (1) y (6) en (7)
 $= 0.98$

Análisis de esfuerzos

$$= 207 \dots (8)$$

$$= 0.006 \dots (9)$$

Esfuerzo por flexión

$$\sigma_{\max B} = 32 \times \dots (10)$$

Reemplazamos (8) y (9) en (10)

$$\sigma_{\max B} = 46.21 \text{ MPa} \dots (11)$$

Esfuerzo cortante

$$= 2 \times 2 \dots (12)$$

Reemplazamos (9) en (12)
 $= 8.67 \dots (13)$

Von Mises

$$\sigma_{\text{von Mises}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \dots (14)$$

Reemplazamos (11) y (13) en (14)
 $\sigma_{\text{von Mises}} = 48.59 \dots (15)$

Factor de seguridad

$$f = \dots (16)$$

Reemplazamos (8) y (15) en (16)
 $f = 4.26$

Pivote barra cojín – barra bipedestadora.

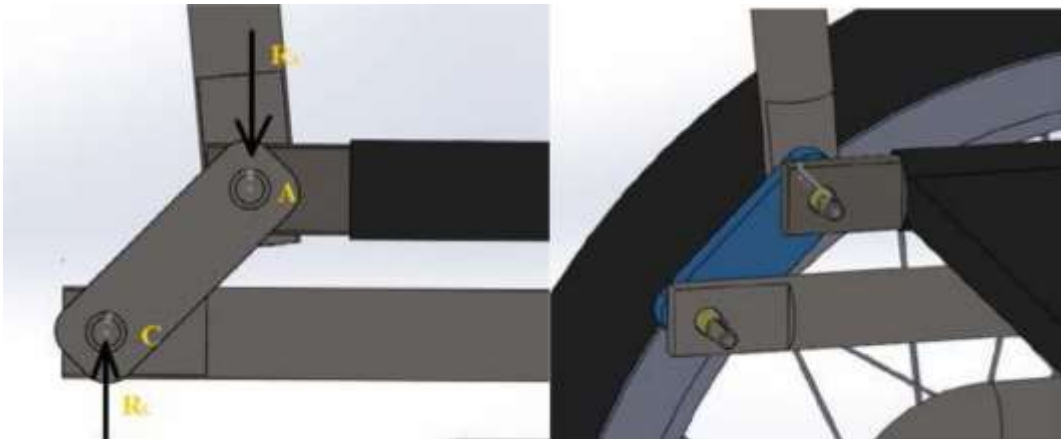


Figura 38. Descripción del componente: Pivote bipedestador
 Fuente: Elaboración propia

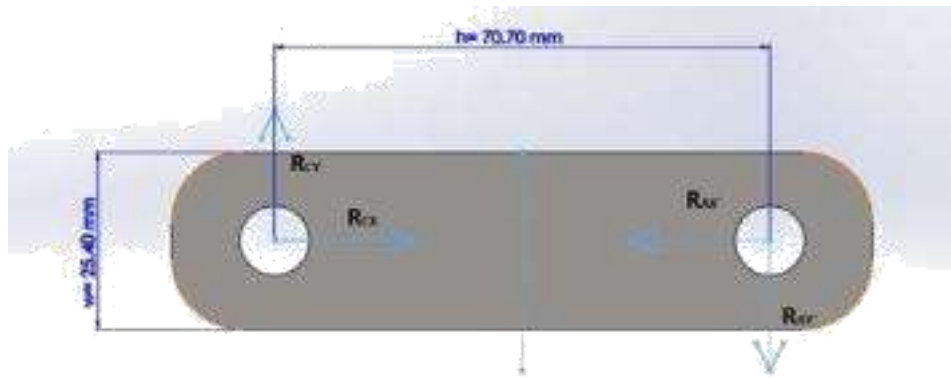


Figura 39. Diagrama de cuerpo: Pivote bipedestador
Fuente: Elaboración propia

Datos:

$$\text{Espesor} = e = 0.006\text{m} \dots (14)$$

$$w = 0.0254\text{m}$$

$$h = 0.0707 \dots (1)$$

$$r = 490 \dots (2) \times \cos 45^\circ \dots (3)$$

Reemplazamos (2) en (3)

$$r = 346.48 \dots (4)$$

$$r = \dots \times \sin 45^\circ \dots (5)$$

Reemplazo (2) en (5)

$$r = 346.48 \dots (7)$$

Análisis de cargas.

$$+ \dots = 0 \dots (6)$$

Reemplazamos (4) en (6)

$$= 346.48 \dots (9)$$

$$+ \dots = 0 \dots (8)$$

Reemplazamos (7) en (8)
= 346.48

Análisis momento flector

$$= \times h \dots (10)$$

Reemplazamos (9) y (1) en (10)

$$= 24.5 \dots (13)$$

Análisis de Esfuerzo

$$= 207 \dots (22)$$

$$e = 0.006 \text{ m}$$

$$w = 0.0254 \text{ m}$$

$$h = 0.0707$$

Esfuerzo cortante máximo

$$= 3 \times \dots (11) \quad \frac{\quad}{\quad}$$

Reemplazamos (9) en (11)

$$= 3.41 \dots (19)$$

Esfuerzo por flexión

$$\frac{\quad}{\quad}$$

Reemplazamos (13), (14) y (1) en (12)

$$= 57.75 \dots (18)$$

Esfuerzo carga axial

$$= \dots (15)$$

Reemplazo (9) en (15)

$$= 2.27 \dots (16)$$

Von Mises

$$\sqrt{\frac{\sigma^2}{2} + \tau^2} \dots (17)$$

Reemplazamos (16), (18) y (19) en (17)
 $\sigma = 56.95 \dots (21)$

Factor de seguridad

$$f = \dots (20)$$

Reemplazamos (22) y (21) en (20)
 $f = 3.63$

Barra horizontal bipedestadora.

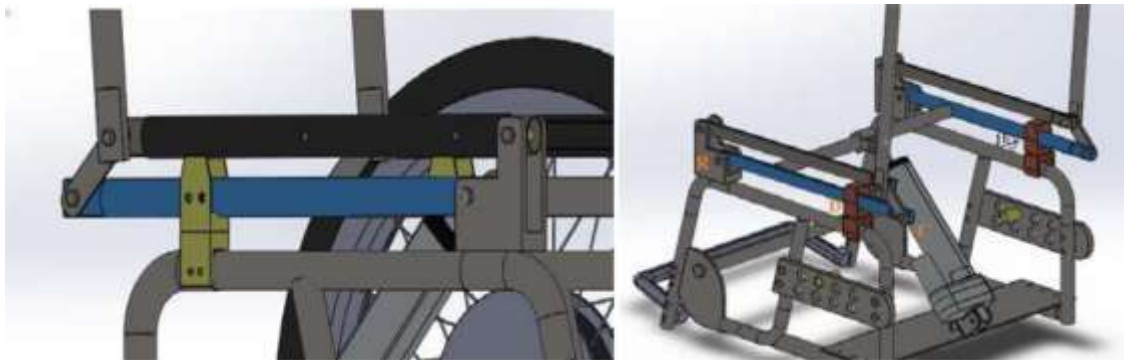


Figura 40. Descripción del componente: barra horizontal bipedestadora
 Fuente: Elaboración propia

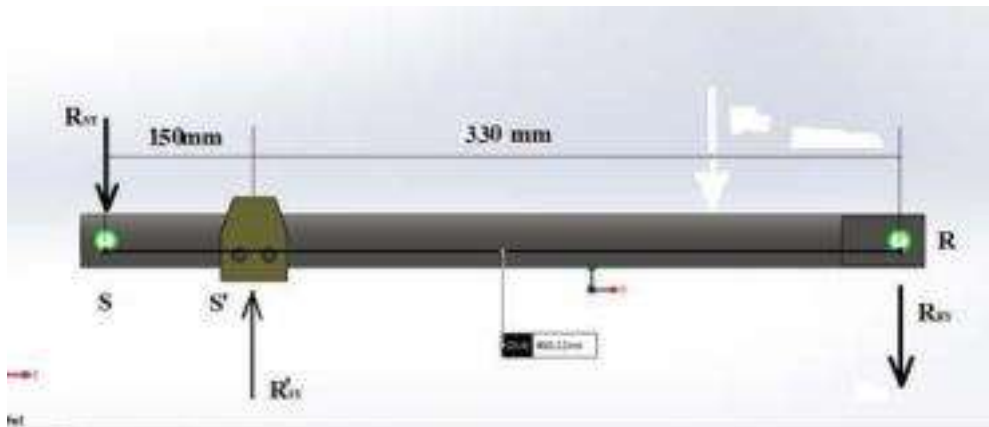


Figura 41. Diagrama de cuerpo libre: Barra horizontal bipedestadora
 Fuente: Elaboración propia

Datos:

$$= 0.15 \dots(1)$$

Análisis de cargas

$$+ \begin{matrix} = 0 \\ = 346.48 \end{matrix}$$

Análisis momento flector

$$= \dots(2)$$

Reemplazo (1) en (2)

$$= 51.97$$

Análisis de esfuerzos

$$= 207 \dots(3)$$

Esfuerzo por flexión

$$= 81.76 \dots(4)$$

Esfuerzo carga axial

$$= 3.08$$

$$= \dots(5)$$

Von Mises

$$= \sqrt{\frac{\sigma^2}{2} + \tau^2} \dots(6)$$

Reemplazamos (4), (5) en (6)

$$= 80.26 \dots(7)$$

Factor de seguridad

$$f = \dots (8)$$

Reemplazamos (7) y (3) en (8)
 $f = 2.58$

Los datos obtenidos son el análisis de carga, momento flector, esfuerzos, esfuerzo por flexión, esfuerzo carga axial, von mises y el factor de seguridad.

Selección del pistón eléctrico

Para poder seleccionar un cilindro eléctrico se realizará las siguientes consideraciones:

- Seleccionar el cilindro eléctrico adecuado para la aplicación.
- Selección de los accesorios necesarios para la activación del cilindro.

Estos dos ítems son indispensables para la selección del actuador eléctrico, utilizando un simulador de movimiento, nos permito observar la fuerza con la que debe realizar la bipedestación y esto se indicará en la figura 42.

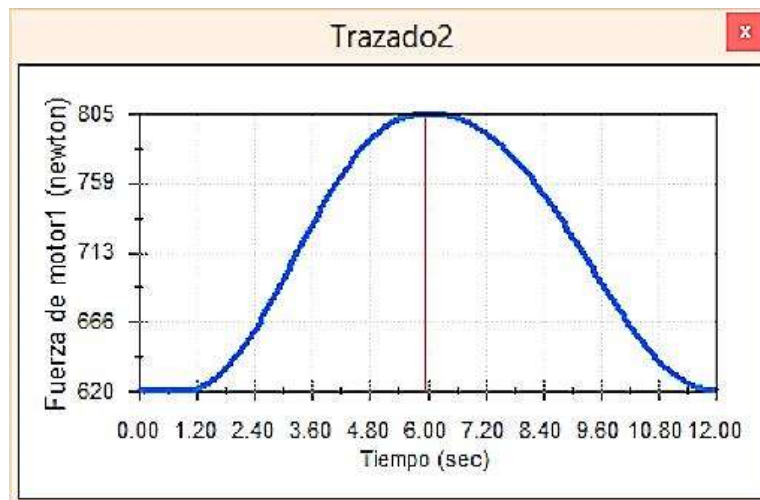


Figura 42. Grafica de la fuerza del actuador eléctrico
Fuente: Elaboración propia

Se calculará mediante geometría plana la carrera del pistón cuando la silla este en posición final como se observará en la figura 43.

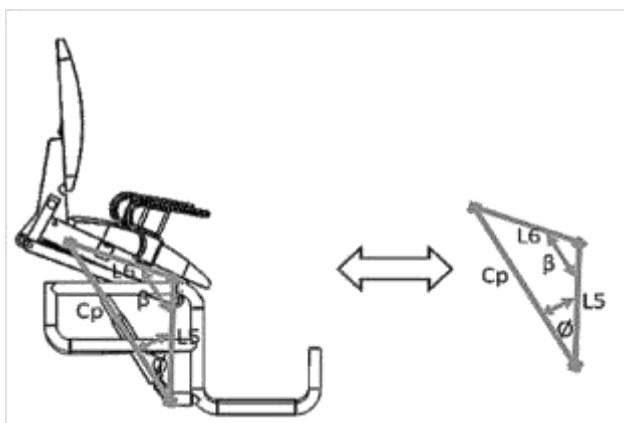


Figura 43. Posición de la carrera del cilindro eléctrico
Fuente: elaboración propia

Calculo carrera pistón

$$2 = 6^2 + 5^2 - 2 \times 5 \times 6 \times \cos$$

Se indicará los ángulos inicial y final de la bipedestación.

Datos de CP con el ángulo inicial y final de la bipedestación.

$$\beta = 90^\circ \rightarrow CP = 494 \text{ mm}$$

$$\beta = 180^\circ \rightarrow CP = 694 \text{ mm}$$

Para el cálculo de la carrera del pistón tendrá que realizar la siguiente ecuación:

$$= \quad - \quad = 694 \quad - 494$$

$$\mathbf{CP = 200mm}$$

La fuerza que necesita el actuador eléctrico, para levantar a la persona con paraplejía y cambiar su posición se indicará en la figura 44.

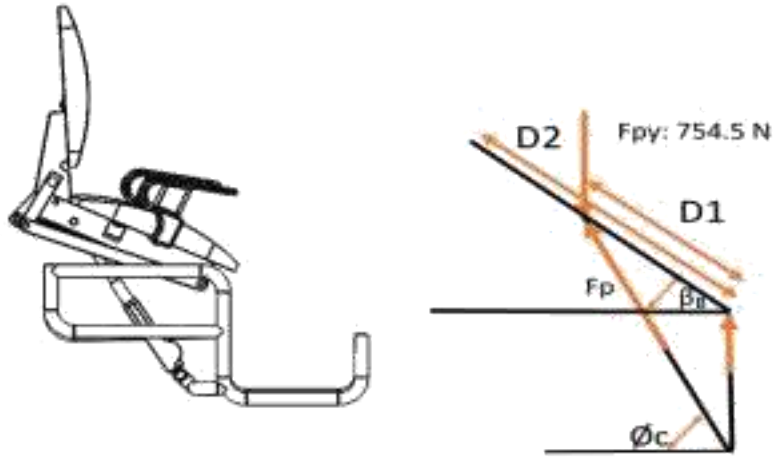


Figura 44. Posición de bipedestación
Fuente: Elaboración propia

Donde:

F_{py} = Fuerza del peso de la persona con paraplejía.

F_p = Fuerza del pistón para levantar la persona.

F_A = Fuerza de la componente en x de la fuerza del pistón

θ y ϕ = el Angulo que forman al bipedestar.

Con la Figura anterior se procesadora a calcular la fuerza del pistón utilizando método virtual

$$- F_{py} \times 2 \times \cos \theta + F_p \times \sin \theta \times 1 \times \cos \phi = 0$$

Reduciendo

$$F_p = \frac{F_{py} \times 2 \times \cos \theta}{\sin \theta \times \cos \phi}$$

Si pondrá el Angulo θ igual a 45 grados reemplazando en la ecuación se obtiene:

$$F_p = \frac{754.5 \times 2 \times \cos 45^\circ}{\sin 45^\circ \times \cos \phi}$$

En base a la carga de 1366 N que equivale a 139 Kg, y la carrera del actuador seleccionado que es de 200 mm, se seleccionará el cilindro que se ajuste a los requerimientos, para esto se revisará los catálogos de LINAK, de lo cual se obtendrá el actuador lineal LA35 que se indicara en ANEXOS (anexo F) que es el más favorable.

3.4 Diseño Electrónico de Control y Potencia

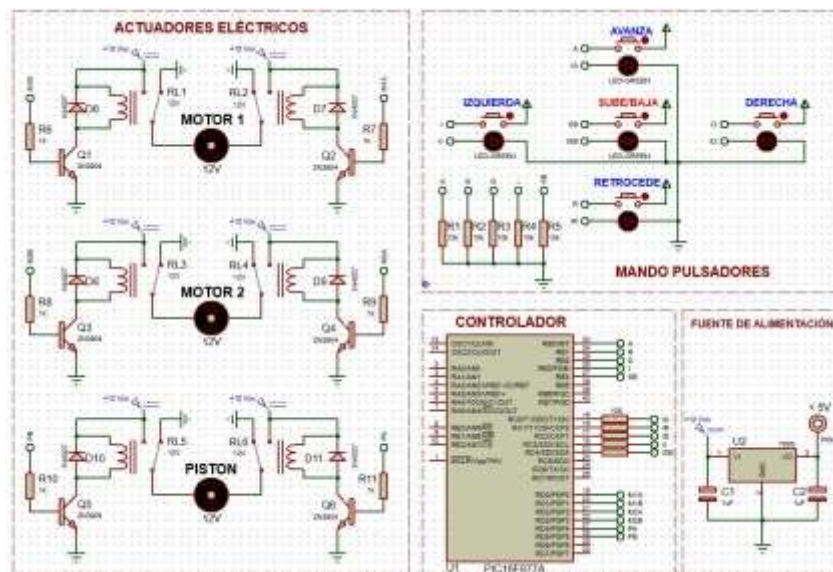


Figura 45. Diseño electrónico de control y simulación de 2 motores eléctricos de 12 Vcc y un pistón eléctrico de 12 Vcc
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 42 se observa el diseño electrónico para la manipulación de dos motores de voltaje de corriente continua y para un pistón eléctrico. El diseño electrónico con su respectiva simulación se realizó utilizando el software Proteus Profesional, este software es muy estable al momento de realizar simulaciones en el ámbito digital y cuenta con muchas herramientas de soporte para realizar una adecuada simulación.

El diseño electrónico está conformado por 4 etapas muy importantes: Controlador, mando pulsadores, actuadores eléctricos y fuente de alimentación.

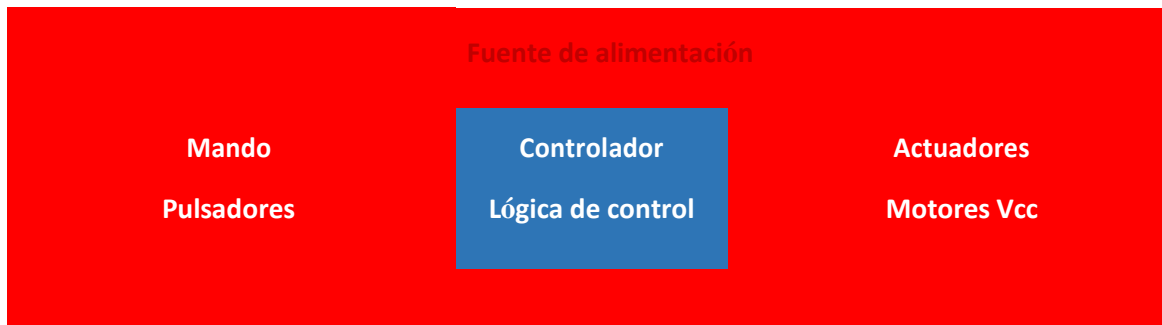


Figura 46. Etapas del diseño electrónico
Fuente: Elaboración propia

3.5.1 Etapas del diseño:

- i. **Controlador:** Conformado por el microcontrolador PIC16F877A el cual será el encargado de recibir los estados lógicos provenientes de los pulsadores y de acuerdo a su programación dada este manipulará la activación y desactivación de relés para el control del sentido de giro de 2 motores y de un pistón eléctrico, todos de 12 Vcc.

En la figura 44 se observa que los pines del PUERTO B están designados para la recepción de estados lógicos provenientes de los pulsadores, el PUERTO C es utilizado para los diodos LEDs que servirán como indicadores de uso de los pulsadores y finalmente el PUERTO D se utilizará para la manipulación de los relés y estos a la vez servirán para controlar el sentido de giro los motores y el pistón eléctrico.

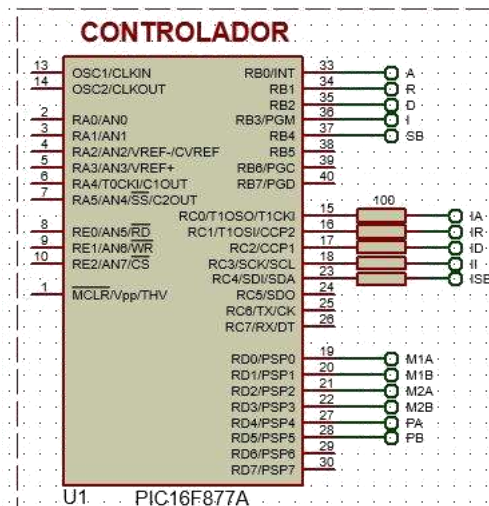


Figura 47. Microcontrolador PIC16F877A
Fuente: Elaboración propia

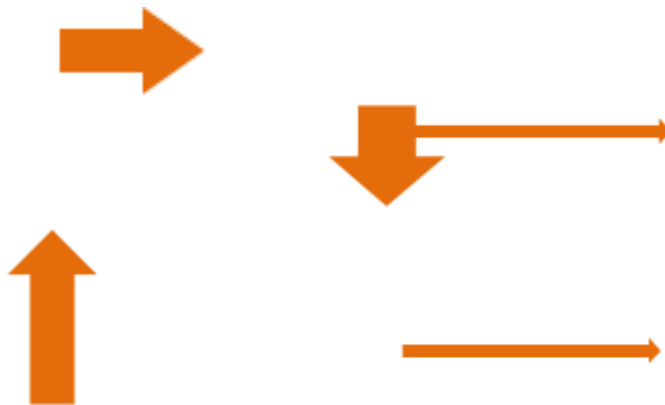


Figura 48. Lógica de control
Fuente: elaboración propia

En la figura 45 se muestra la lógica de control el cual será programado en el microcontrolador PIC. En todo momento el microcontrolador estará testeando el pulsador que el usuario usará para llevar a cabo el movimiento de los motores, el sistema electrónico cuenta con diodos leds el cual indica al usuario que se está llevando a cabo el movimiento respectivo.

A continuación se mostrará el programa de control el cual se realizó en lenguaje Assembly.

```

;-----
;Controlar: avance, retroceso, sentido de giro y pistón eléctrico
;de una silla de ruedas con motor eléctrico de Vcc.
;-----
    List P=16F877A
    Include<P16F877A.inc>
    Include<Macro16F877A.inc>
__Config 0x3F32

#define PulsadorAvanza      PORTB,0    ;A
#define PulsadorRetrocede  PORTB,1    ;R
#define PulsadorDerecha    PORTB,2    ;D
#define PulsadorIzquierda  PORTB,3    ;I
#define PulsadorSubeBaja   PORTB,4    ;SB

#define IndicadorAvanza    PORTC,0    ;IA
#define IndicadorRetrocede PORTC,1    ;IR
#define IndicadorDerecha   PORTC,2    ;ID
#define IndicadorIzquierda PORTC,3    ;IZ
#define IndicadorSubeBaja  PORTC,4    ;ISB

#define Motor1A    PORTD,0    ;M1A
#define Motor1B    PORTD,1    ;M1B
#define Motor2A    PORTD,2    ;M2A
#define Motor2B    PORTD,3    ;M2B
#define PistonA    PORTD,4    ;PA
#define PistonB    PORTD,5    ;PB

Tiempo EQU .100
Cblock 0x20
RegPiston
endc

    org    0x00
;-----
;Configuración e inicialización de registros
    banco    1
    clrf    TRISC
    clrf    TRISD
    banco    0
    clrf    PORTC
    clrf    PORTD
    clrf    RegPiston
    call    Motor1_OFF
    call    Motor2_OFF
    call    Piston_OFF
;-----

```

Figura 49. Etapa de configuración e inicialización de registros
Fuente: Elaboración propia

En el sector de programa que se muestra en la figura 46 se muestra la declaración de variables e inicialización de registros a utilizar en la estructura lógica.

```

;-----
;Programa principal
TesteaAvanza
    btfss    PulsadorAvanza
    goto     TesteaRetrocede
    call     SillaAvanza
    bsf      IndicadorAvanza
    Milisegundo Tiempo
    bcf      IndicadorAvanza
    Milisegundo Tiempo
    goto     TesteaAvanza
;-----
TesteaRetrocede
    btfss    PulsadorRetrocede
    goto     TesteaDerecha
    call     SillaRetrocede
    bsf      IndicadorRetrocede
    Milisegundo Tiempo
    bcf      IndicadorRetrocede
    Milisegundo Tiempo
    goto     TesteaRetrocede
;-----
TesteaDerecha
    btfss    PulsadorDerecha
    goto     TesteaIzquierda
    call     SillaDerecha
    bsf      IndicadorDerecha
    Milisegundo Tiempo
    bcf      IndicadorDerecha
    Milisegundo Tiempo
    goto     TesteaDerecha
;-----
TesteaIzquierda
    btfss    PulsadorIzquierda
    goto     TesteaSubeBaja
    call     SillaIzquierda
    bsf      IndicadorIzquierda
    Milisegundo Tiempo
    bcf      IndicadorIzquierda
    Milisegundo Tiempo
    goto     TesteaIzquierda
;-----
TesteaSubeBaja
    btfss    PulsadorSubeBaja
    goto     TesteaFin
    btfss    RegPiston,0
    goto     IrPistonSube
    goto     IrPistonBaja

```



```

IrPistonSube
    call    PistonSube
    bsf     IndicadorSubeBaja
    Segundo .5
    bcf     IndicadorSubeBaja
    incf    RegPiston
    goto    TesteaSubeBaja
IrPistonBaja
    call    PistonBaja
    bsf     IndicadorSubeBaja
    Segundo .5
    bcf     IndicadorSubeBaja
    incf    RegPiston
    goto    TesteaSubeBaja
;-----
TesteaFin
    call    SillaPara
    call    Piston_OFF
    goto    TesteaAvanza

```

Figura 50. Etapa de rutinas de testeo de pulsadores: Avance, retroceso y giro de motores y pistón eléctrico.
Fuente: Elaboración propia

```

;-----
;*****
;Rutinas
Motor1_OFF
    bcf     Motor1A
    bcf     Motor1B
    return
Motor2_OFF
    bcf     Motor2A
    bcf     Motor2B
    return
Piston_OFF
    bcf     PistonA
    bcf     PistonB
    return
SillaAvanza
    bcf     Motor1A
    bcf     Motor2A
    bsf     Motor1B
    bsf     Motor2B
    return
SillaRetrocede
    bcf     Motor1B
    bcf     Motor2B
    bsf     Motor1A
    bsf     Motor2A
    return
SillaDerecha
    bcf     Motor1A
    bsf     Motor1B
    bsf     Motor2A
    bcf     Motor2B
    return

```

```

SillaIzquierda
    bsf    Motor1A
    bcf    Motor1B
    bcf    Motor2A
    bsf    Motor2B
    return

SillaPara
    call   Motor1_OFF
    call   Motor2_OFF
    return

PistonSube
    bcf    PistonA
    bsf    PistonB
    return

PistonBaja
    bsf    PistonA
    bcf    PistonB
    return

;*****
;-----
Include<PIC16F877A.asm>
End

```

Figura 51. Etapa de subrutinas anidadas
Fuente: Elaboración propia

- ii. **Mando pulsadores:** Conformado por 5 pulsadores, la configuración de cada pulsador es Pull-Down y están conectados a los pines RB0, RB1, RB2, RB3 y RB4 del PORTB del microcontrolador.

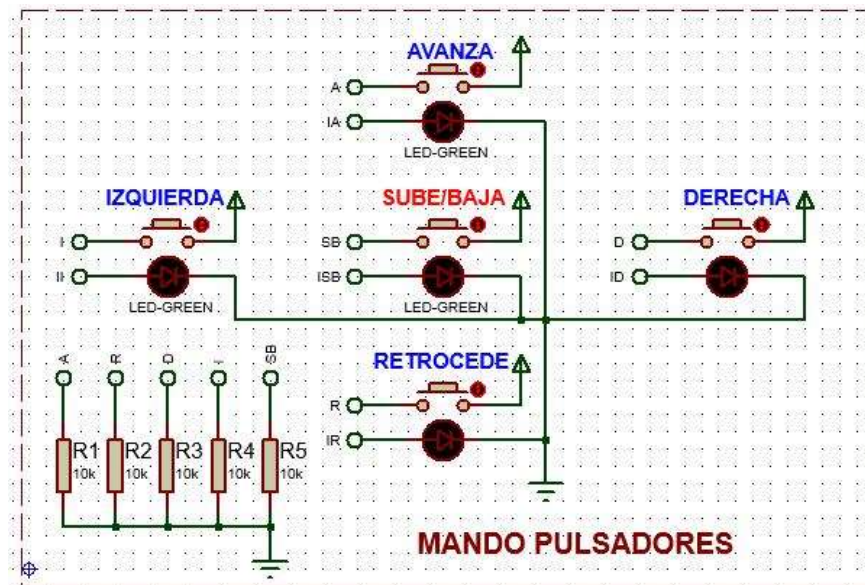


Figura 52. Conexión eléctrica de pulsadores
Fuente: elaboración propia

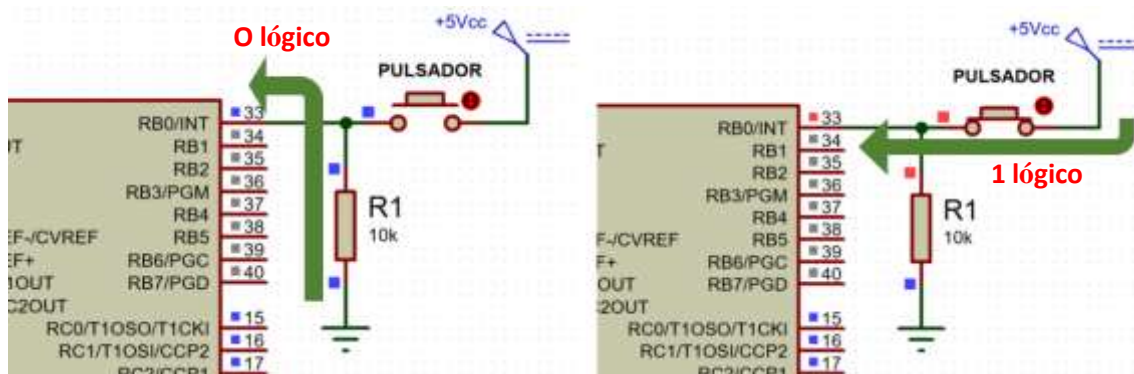


Figura 53. Conexión Pull-Down
Fuente: Elaboración propia

Se observa en la figura 50 la conexión Pull-Down en la cual se muestra que cuando el pulsador se encuentra inactivo el estado lógico que ingresa al pin del microcontrolador es 0 (BAJO) y cuando el pulsador se encuentra cerrado el estado lógico que ingresa al pin es 1 (ALTO).

El tipo de configuración indicado anteriormente es la que usa el diseño de este proyecto.

- iii. **Actuadores eléctricos:** Conformado por 2 motores eléctricos de 12 Vcc y un pistón eléctrico de 12 Vcc. Los motores eléctricos para las llantas de la silla de rueda piden 8 A aproximadamente por lo que se decidió utilizar relés de 12 Vcc con un aguante de hasta 10 A y transistores 2N3904 para la interfaz de potencia.

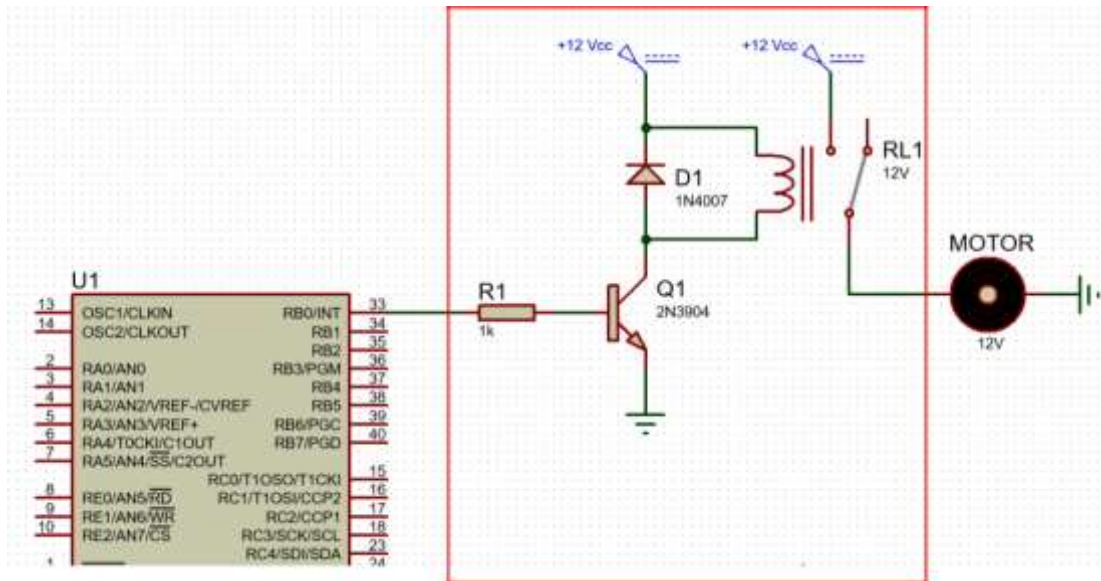


Figura 54. Interfaz de potencia, transistor - relé
Fuente: Elaboración propia

En la figura 51 se muestra el tipo de interfaz de potencia que se utiliza en este proyecto, conformado por transistor – relé. Sólo es una muestra del tipo de interfaz a utilizar ya que en la figura 52 se muestra el diseño final utilizado como interfaz de potencia para la manipulación de los dos motores de 12 Vcc y el pistón eléctrico de 12 Vcc.

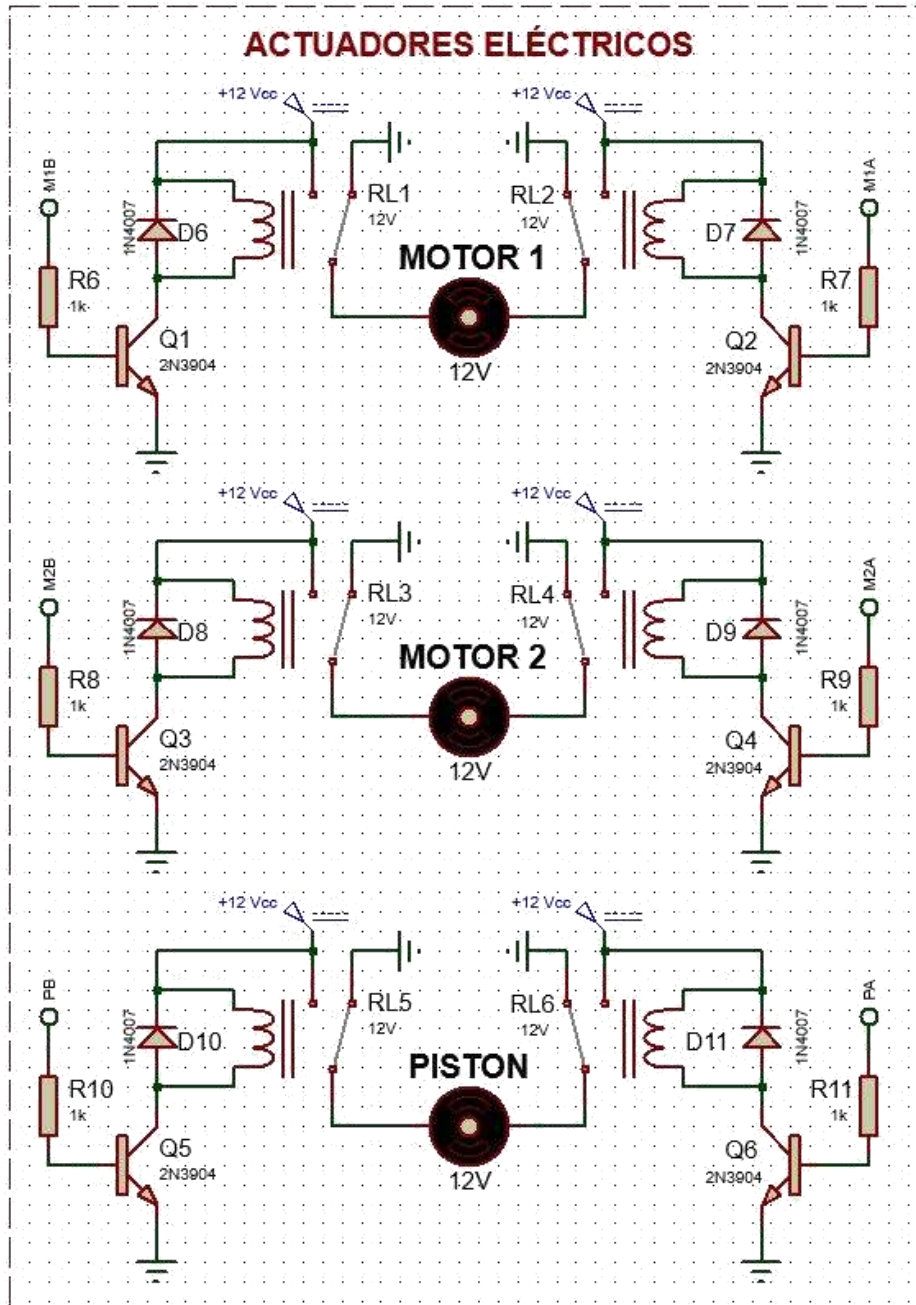


Figura 55. Conexión eléctrica de motores y pistón eléctricos
Fuente: Elaboración propia

En la figura 52 se observa que se usan 6 relés de 12 Vcc para realizar el control del giro (horario, antihorario) de los 3 motores, los pines asociados al microcontrolador son el RD0, RD1, RD2, RD3, RD4 y RD5 del PUERTD del PIC16F877A.



Modelo de producto	73ZYJ
NW	11 kg
Tamaño	43*38,5*22 cm
Color	Blanco plata
Voltaje	12 V DC
Velocidad de carga	28 ± 1,5 RPM
Reductor	1/50
Par nominal	11 Nm
Potencia nominal de salida	25 W
Corriente nominal	3,7 A

Figura 56. Motor de 12 Vcc con engranaje para silla de rueda
Fuente: (ALIBABA, s.f.)



Modelo de producto	LA35
Ma. Velocidad	19,5 mm/s
Tipo	Actuador lineal
Max. Empuje	6000N
Voltaje	12 V DC
Corriente	0,8 A
Color	Negro
Max. Traccion	4000N

Figura 57. Actuador lineal 12 Vcc
Fuente: (ALIBABA, s.f.)

- iv. **Alimentación:** Conformado por una batería de 12 V, 36 Ah y una etapa de regulación de voltaje con el circuito integrado 7805.



Figura 58. Baría 12 V, 36 Ah
Fuente: (Mercado Libre, s.f.)

En la figura 55 se muestra una batería especial para silla de ruedas eléctrica, la nominación 36 Ah es recomendable para dar una adecuada capacidad de tiempo de uso a la tarjeta electrónica y actuadores. El uso a plena carga del sistema es aproximadamente 12 A (2 Motores: 10 A y Pistón: 2 A), por lo tanto si se asume el uso sin pausas la batería daría 3 horas continuas de corriente, pero eso es asumiendo que en todo momento se use a plena carga, en lo real se estima el uso pausado del sistema llevando a la batería dar la suficiente corriente para dar funcionalidad a la silla de ruedas durante todo el día.

En la figura 56 se muestra la conexión del circuito integrado regulador de voltaje fijo 7805 el cual fijará un voltaje de 5 V a 1 A para energizar a la tarjeta electrónica.

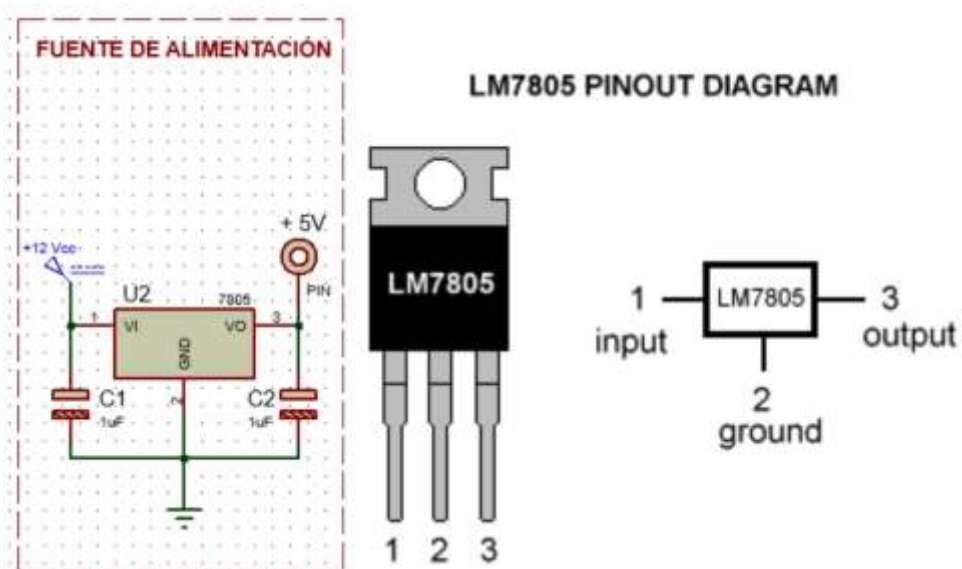


Figura 59. Circuito regulador de voltaje fijo de 5 Vcc
Fuente: Elaboración propia

3.5.2 Lógica funcional de los pulsadores

- Pulsador AVANZA:

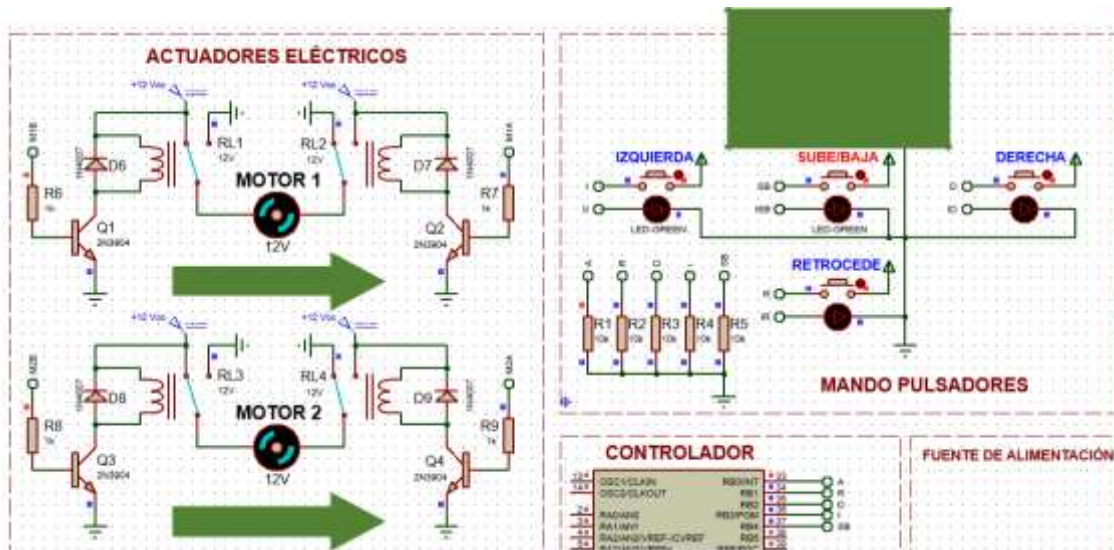


Figura 60. Silla de ruedas avanza
Fuente: Elaboración propia

En la figura 57 se observa que cuando se mantenga pulsado el pulsador **AVANZA**, el diodo led asociado al respectivo modo estará parpadeando a intervalos de 100 ms, mientras se activan los relés RL1 y RL3 de tal modo que las llantas de la silla de rueda empezarán a girar en un mismo sentido logrando el avance respectivo.

En la tabla 18 se muestra la lógica del modo AVANZA, intervienen los motores 1 y 2.

Tabla 18. Estado lógico, modo AVANZA

Actuador	Relé	Estado	Relé	Estado	Sentido silla de ruedas
Motor 1	RL1	ON	RL2	OFF	AVANZA
Motor 2	RL3	ON	RL4	OFF	
Pistón	RL5	OFF	RL6	OFF	

Los pines del microcontrolador involucrados son: RB0, RC0, RD1, RD3 tal como se muestra en la figura 58

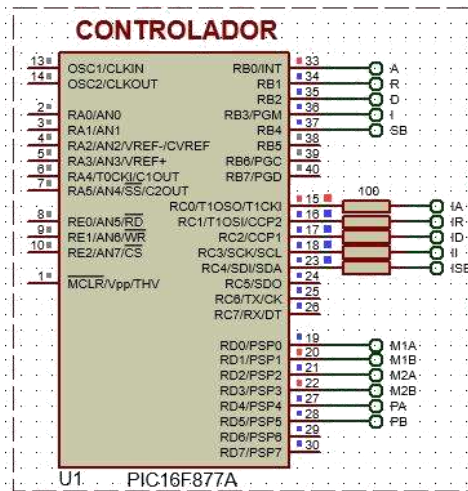


Figura 61. Pines involucrados del PIC16F877A
Fuente: Elaboracion propia

- **Pulsador RETROCEDE:**

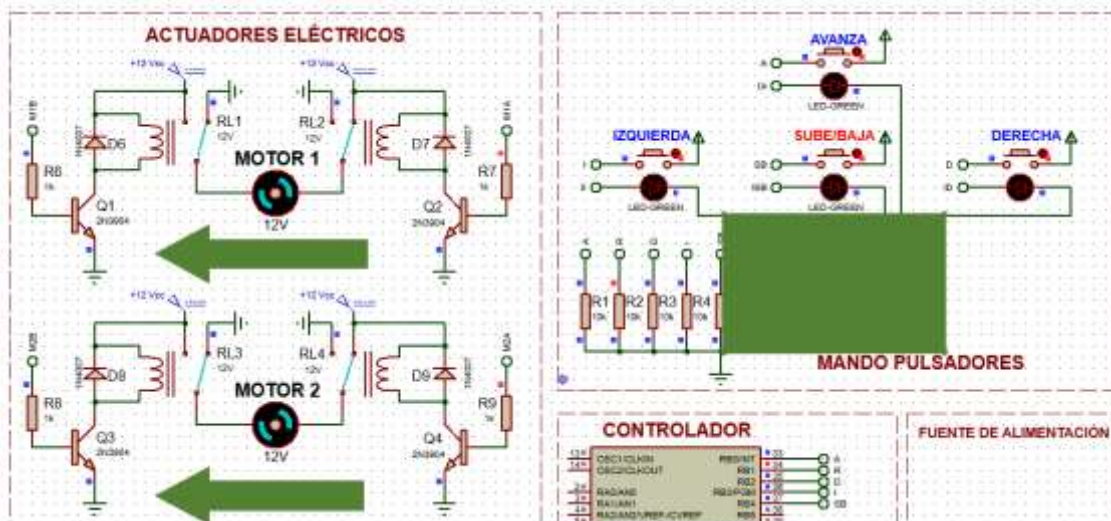


Figura 62. Silla de ruedas retrocede
Fuente: Elaboración

En la figura 59 se observa que cuando se mantenga pulsado el pulsador **RETROCEDE**, el diodo led asociado al respectivo modo estará parpadeando a intervalos de 100 ms, mientras se activan los relés RL2 y RL4 de tal modo que las llantas de la silla de rueda empezarán a girar en un mismo sentido logrando el retroceso respectivo.

En la tabla 19 se muestra la lógica del modo **RETROCEDE**, intervienen los motores 1 y 2.

Tabla 19. Estado lógico, modo RETROCEDE

Actuador	Relé	Estado	Relé	Estado	Sentido silla de ruedas
Motor 1	RL1	OFF	RL2	ON	RETROCEDE
Motor 2	RL3	OFF	RL4	ON	
Pistón	RL5	OFF	RL6	OFF	

Los pines del microcontrolador involucrados son: RB1, RC1, RD0, RD2 tal como se muestra en la figura 60

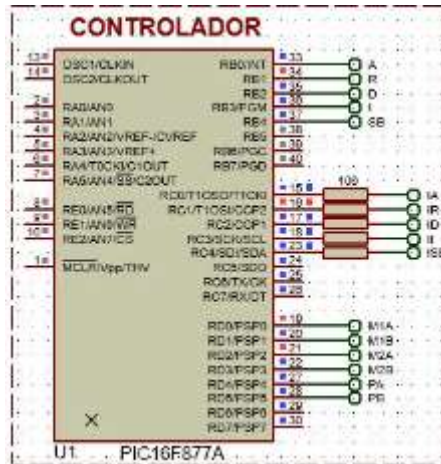


Figura 63. Pines involucrados del PIC16F877A
Fuente: Elaboración propia

- **Pulsador DERECHA:**

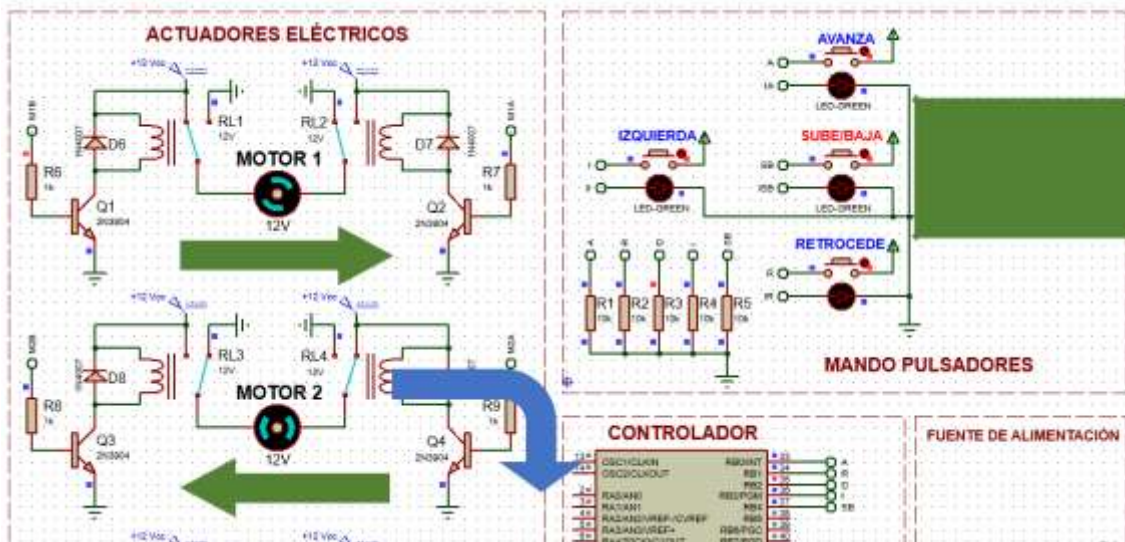


Figura 64. Silla de ruedas gira a la derecha
Fuente: Elaboración propia

- Pulsador IZQUIERDA:

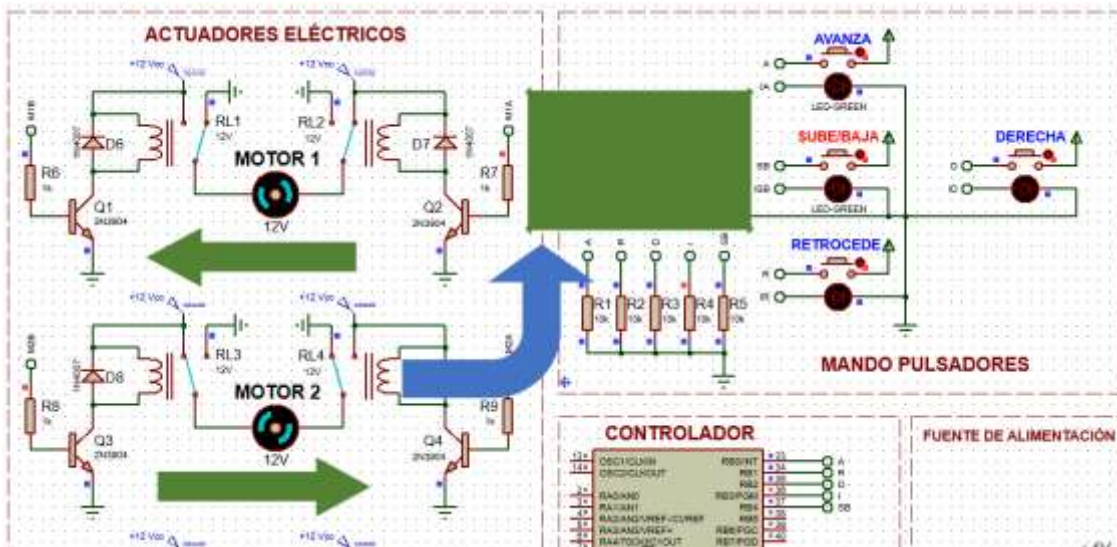


Figura 66. Silla de ruedas gira a la izquierda
Fuente: Elaboración propia

En la figura 63 se observa que cuando se mantenga pulsado el pulsador **IZQUIERDA** el diodo led asociado al respectivo modo estará parpadeando a intervalos de 100 ms, mientras se activan los relés RL2 y RL3 de tal modo que las llantas de la silla de rueda empezarán a girar en diferentes sentidos logrando el giro respectivo.

En la tabla 21 se muestra la lógica del modo IZQUIERDA, intervienen los motores 1 y 2.

Tabla 21. Estado lógico, modo gira IZQUIERDA

Actuador	Relé	Estado	Relé	Estado	Sentido silla de ruedas
Motor 1	RL1	OFF	RL2	ON	GIRA IZQUIERDA
Motor 2	RL3	ON	RL4	OFF	
Pistón	RL5	OFF	RL6	OFF	

Los pines del microcontrolador involucrados son: RB3, RC3, RD0, RD3 tal como se muestra en la figura 64

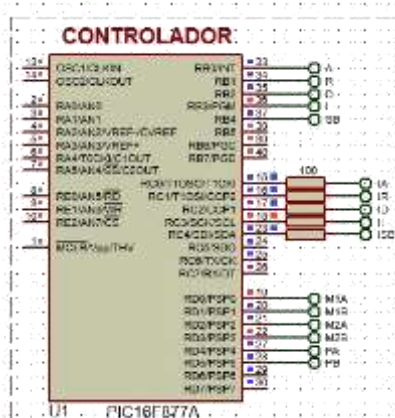


Figura 67. Pines involucrados del PIC16F877A
Fuente propia

- Pulsador SUBE/BAJA:

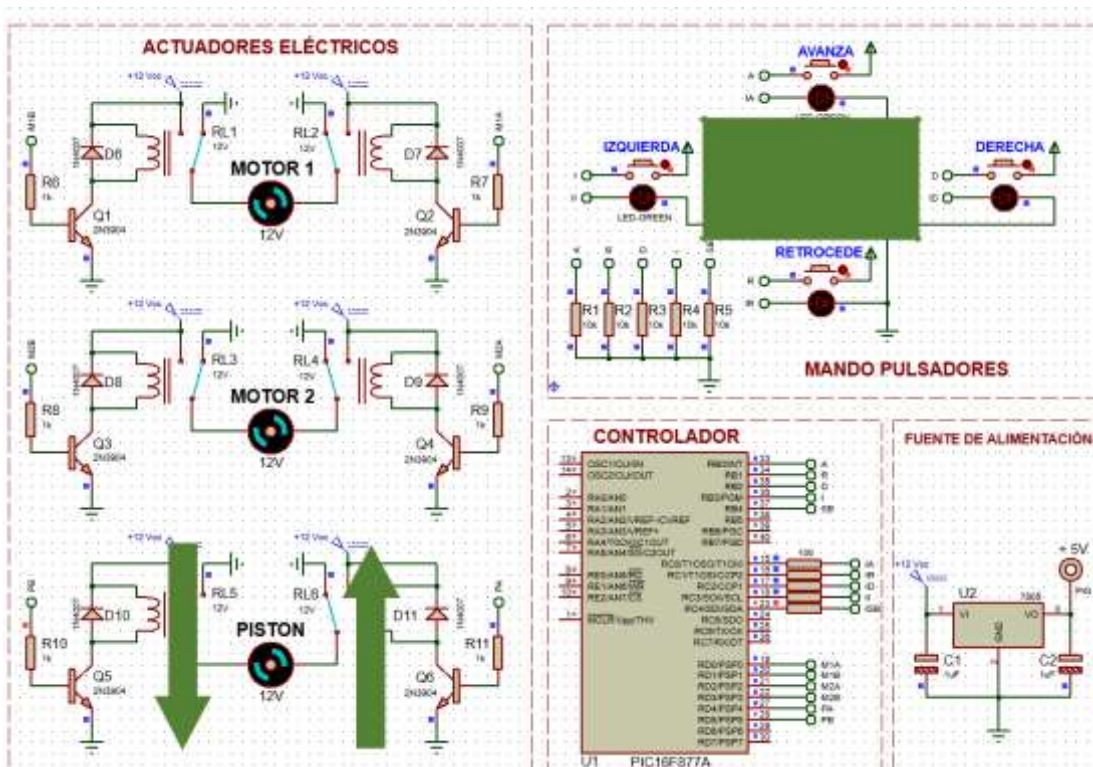


Figura 68. Silla de sube / baja
Fuente: Elaboración propia

En la figura 65 se observa que cuando se pulse una sola vez el pulsador **SUBE/BAJA** el diodo led asociado al respectivo modo estará activado durante 5 segundos mientras se activan los relés RL5 y RL6 de tal modo que el pistón eléctrico se expande, cuando se vuelve a presionar una sola vez el pulsador se vuelve a repetir el proceso pero el

pistón eléctrico se contrae. Con la expansión y contracción del pistón se logra que la silla suba o baje (posición bípeda).

En la tabla 22 y 23 se muestra la lógica del modo SUBE/BAJA, interviene el pistón eléctrico

Tabla 22. Estado lógico, modo SUBE

Actuador	Relé	Estado	Relé	Estado	Sentido silla de ruedas
Motor 1	RL1	OFF	RL2	OFF	SUBE
Motor 2	RL3	OFF	RL4	OFF	
Pistón	RL5	ON	RL6	OFF	

Tabla 23. Estado lógico, modo BAJA

Actuador	Relé	Estado	Relé	Estado	Sentido silla de ruedas
Motor 1	RL1	OFF	RL2	OFF	BAJA
Motor 2	RL3	OFF	RL4	OFF	
Pistón	RL5	OFF	RL6	ON	

Los pines del microcontrolador involucrados son: RB4, RC4, RD4 y RD5.

3.6 Simulación

En esta etapa se hará el PCB de control de fuerza en el software Proteus Profesional además del boceto de la silla de ruedas y el modelo geométrico de la silla de ruedas que se hará con el programa Solidworks.

PCB de control y fuerza

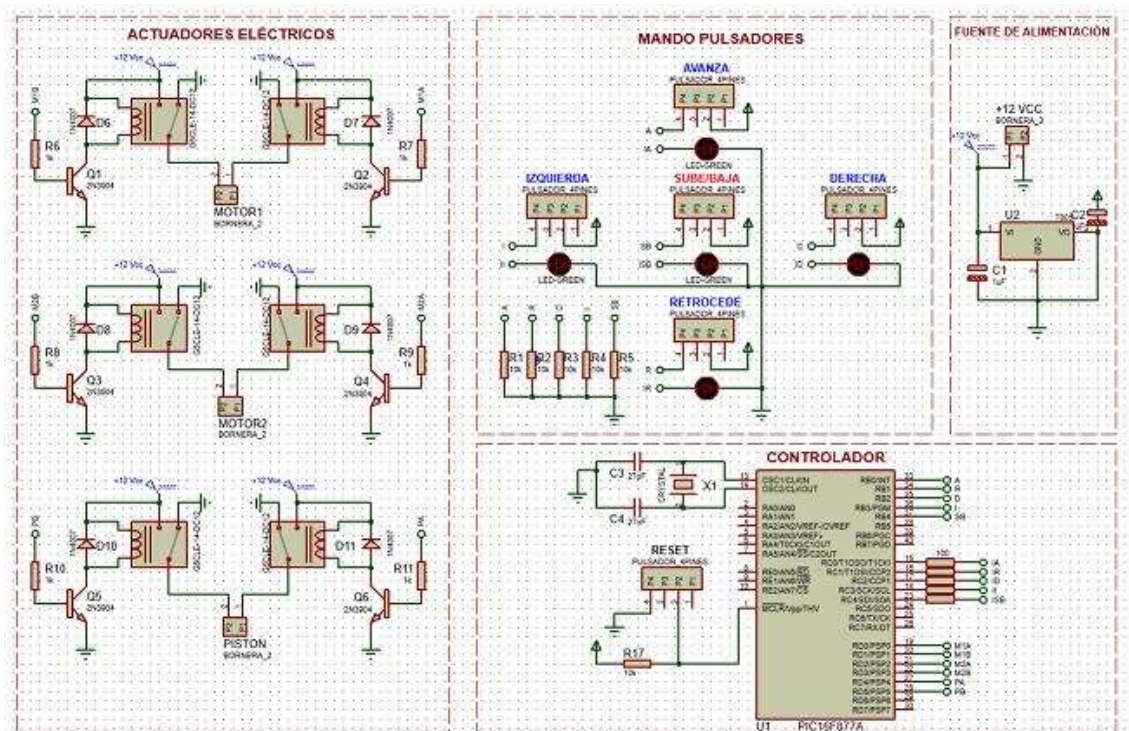


Figura 69. Esquemático para el diseño del PCB
Fuente: Elaboración propia

En la figura 66 se observa el esquemático para realizar el diseño del PCB, se pusieron conectores de 4 pines para los pulsadores y de dos pines para la conexión de fuente de voltaje, también se utilizaron conectores de 2 pines para conectar los motores. Los conectores de 2 pines a utilizar serán las borneras de conexión en el PCB. En la figura 67 se muestra las capas y ruteado de las pistas del diseño del PCB.

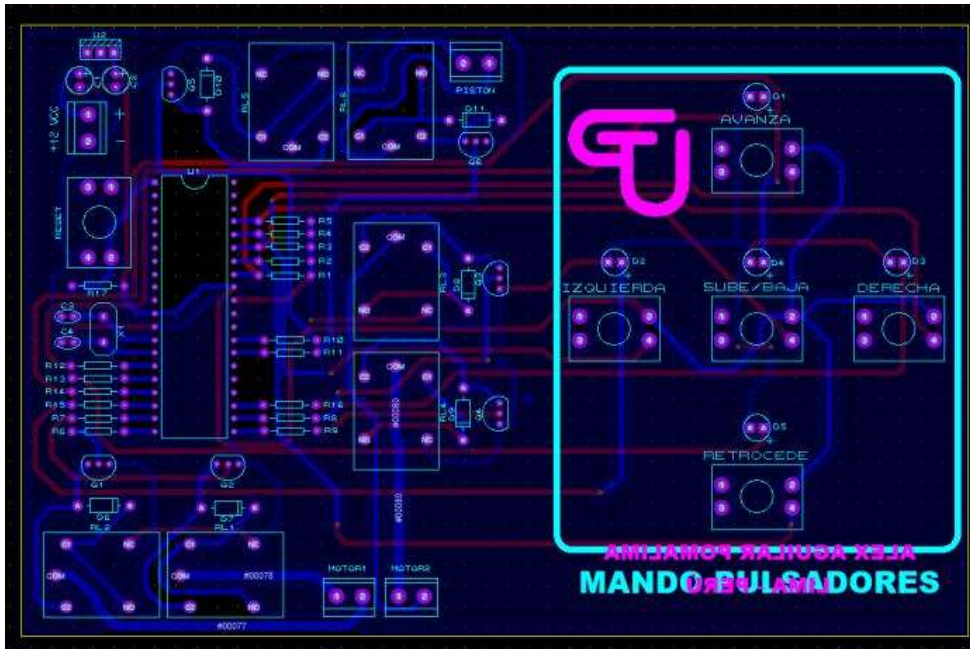


Figura 70. Capas y ruteado de las pistas del PCB
Fuente: Elaboración propia

En las figuras 68 y 69 se muestran en 3D como quedaría el PCB fabricado donde la parte de control por parte del usuario es el que se encuentra un marco con un cuadro de color blanco llamado MANDO PULSADORES.

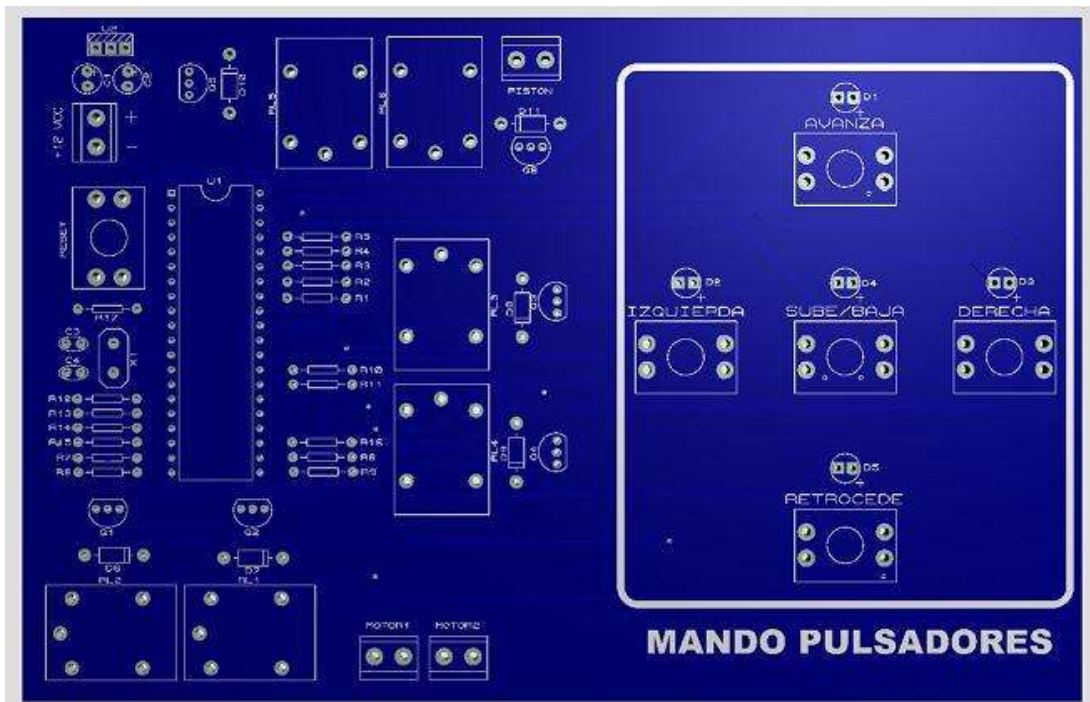


Figura 71. Capa top del PCB y vista en 3D
Fuente: Elaboración propia

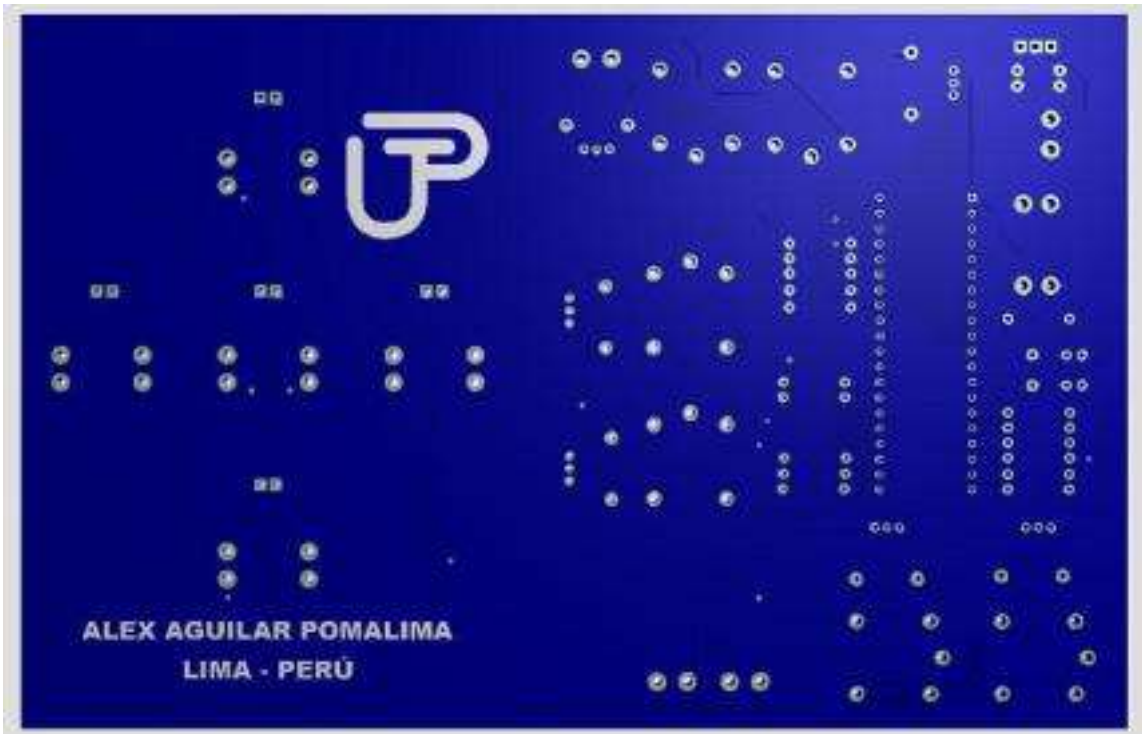


Figura 72. Capa bottom del PCB y vista en 3D
Fuente: Elaboración propia

En las figuras 70 se muestra en 3D como quedaría el PCB fabricado y soldado con los componentes eléctricos y electrónicos.

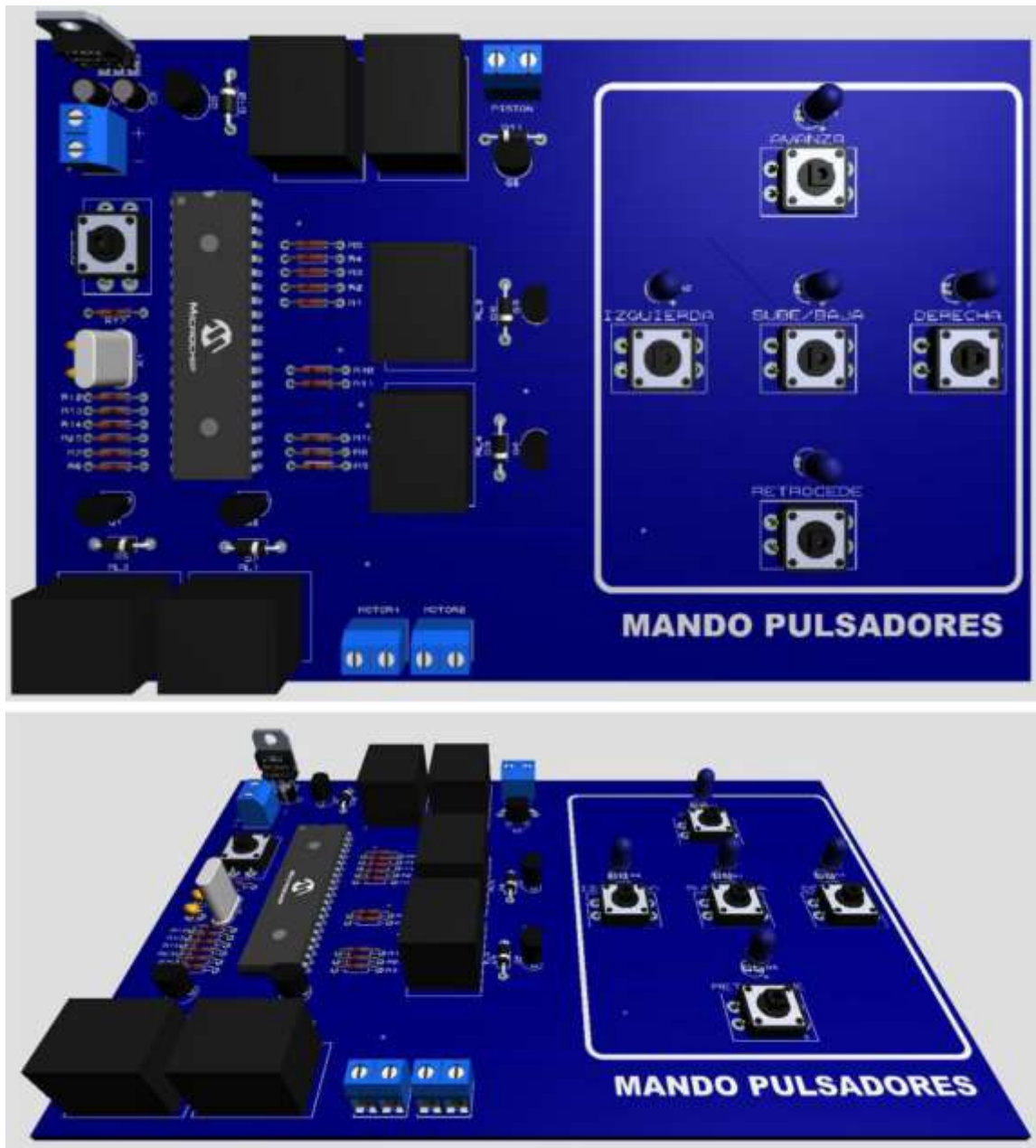


Figura 73. Capa top del PCB y vista en 3D de componentes
 Fuente: Elaboración propia

Boceto del diseño preliminar

Con el boceto preliminar hacemos mención al análisis inicial y poder comenzar con el diseño de la silla bipedestadora.

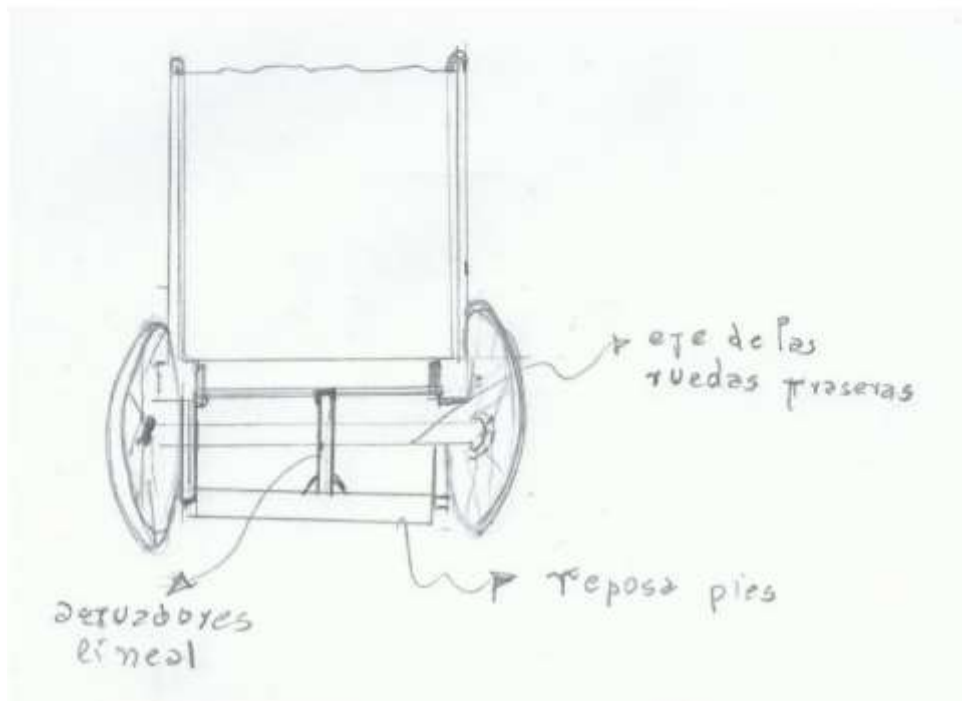
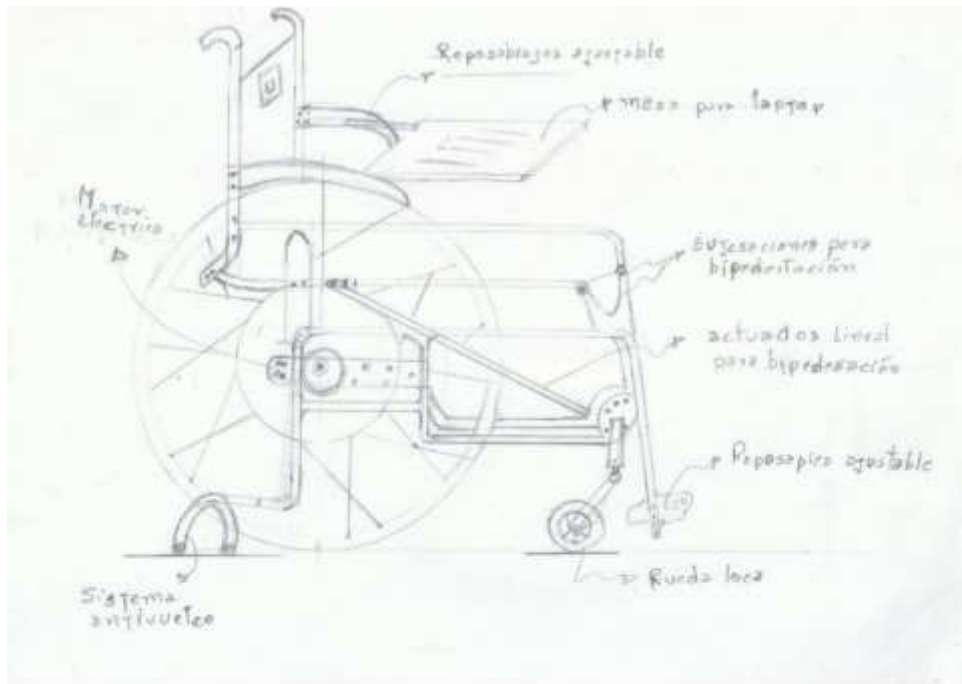


Figura 74. Boceto preliminar silla de ruedas
Fuente: Elaboración propia

Modelo Geométrico

Los modelos geométricos han sido analizados y elaborados en el programa Solidworks, que tiene herramientas adecuadas para preparar la geometría para realizar los ensayos

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

4.1. Resultados

Mediante la herramienta computacional solidworks se convalidara los resultados después del análisis técnico de las piezas que conforman el mecanismo bipedestador sometidas a cargas directas.

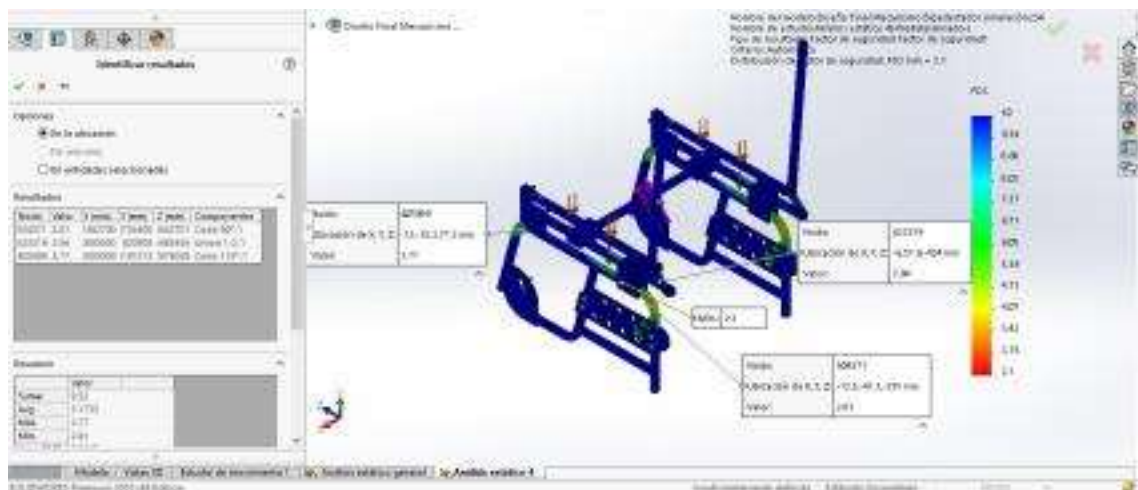
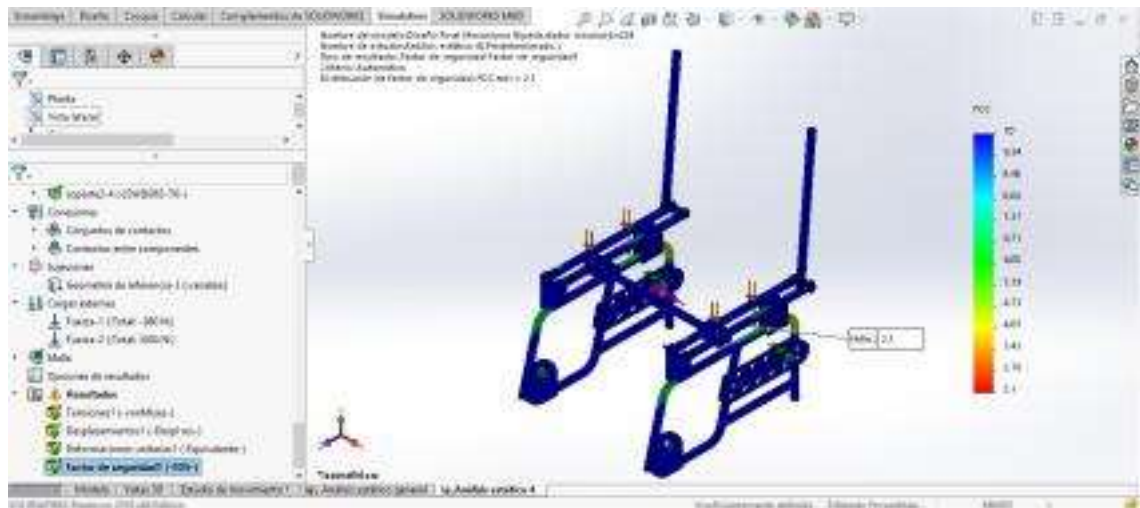


Figura 77. Análisis de elementos finitos Solidworks
Fuente: Elaboración propia

- **Factor de seguridad**

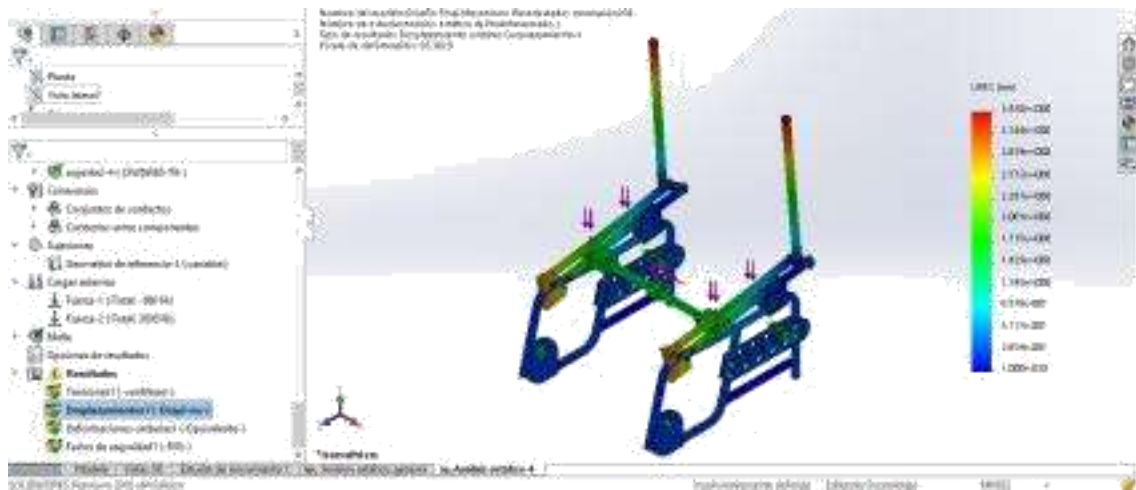
Conociendo las fuerzas que se aplican, se analiza el factor seguridad mínimo de la silla Carga máxima (peso de la persona) = 150 kg = 1470 N Empuje del actuador lineal máximo = 6000 N



Siendo el elemento principal del mecanismo bipedestador, se determina que el pasador tendrá un factor de seguridad mínimo e igual a 2.1. Al ser un componente de sujeción para un soporte emergente si se desmontara el actuador lineal.

- **Desplazamientos**

El desplazamiento de 200mm del actuador, se obtiene una deformación máxima de 0,755mm, un esfuerzo equivalente máximo de 63,182MPa, por debajo del valor teórico del esfuerzo de Von Mises. Se debe mencionar que los valores están determinados con un factor de diseño de 2, en cambio en la simulación se observa un factor de seguridad de 3,2762 muy por encima de los valores teóricos establecidos anteriormente.

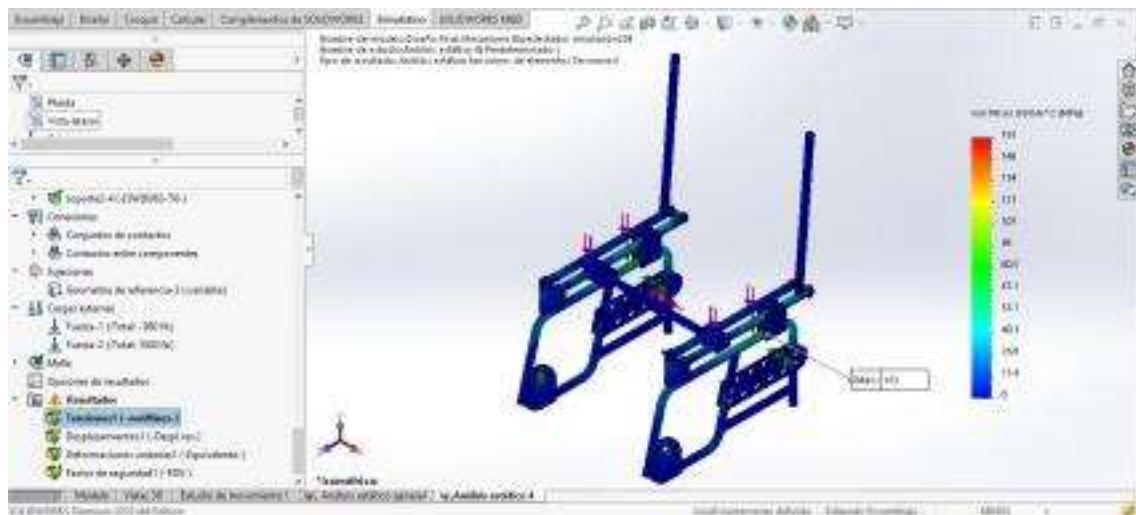


- **Von Mises**

Los límites elásticos de los elementos de la silla son mayores al máximo valor del esfuerzo elástico alcanzado para toda la máquina. Acero AISI 304 = 206 MPa

Aluminio 6063-T4 = 169 MPa

Duraluminio Prodx = 629 MPa



En los anexos se encuentran los datos de los elementos de la estructura mecánica y del mecanismo bipedestador de la silla para un mejor análisis.

4.2. Presupuesto

El presente proyecto tiene como limitante, que no esta siendo implementada, es una propuesta, sin embargo dado que es un proyecto de ingeniería se estima los costos de un proyecto orientado a este tipo de personas.

Tabla 24

<i>Costos de Ingeniería</i>					
Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo parcial
		Cant.	Unid.	C.U. (\$)	CP =CANT. X C.U. (\$)
1	Elaboración de diseño por ingeniero proyectista	300	h-h	\$ 6.00	\$ 1,800.00
2	Desarrollo de planos de componentes y de ensamble	50	h-h	\$ 4.00	\$ 200.00
3	Asesoría por profesor ingeniero UTP	20	h-h	\$ 20.00	\$ 400.00
4	Gastos por recopilación de datos	1	Glb	\$ 250.00	\$ 250.00
Coto total					\$ 2,650.00

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 25

<i>Recursos de materiales</i>			
Producto	Cantidad	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
Hojas bond paquete	1	15	15
Lapiceros	5	2.5	12.5
Marcadores	2	2.5	5
Regla de aluminio	1	5	5

Cuter	1	1	1
Fotocopias	400	0.2	80
Total			118.5

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 26

Recurso Humano

Categoría	Salario Mensual	% de jornada	Meses	Costo (\$)
Autor del proyecto	1800	50	4	3600
Total				3600

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 27

Costo de la tarjeta Electrónica

Componentes/servicio	Cantidad	Costo por unidad	Costo por cantidad
Pulsadores 4 pines	6	S/0.50	S/3.00
Regulador voltaje 7805	1	S/1.00	S/1.00
Borneras 2 pines	4	S/0.50	S/2.00
Capacitador polar 0.1 uF	2	S/0.50	S/1.00
Capacitador cerámico 27 pF	2	S/0.20	S/0.40
Diodo 1N4007	6	S/0.20	S/1.20
Cristal 20 MHz	1	S/1.00	S/1.00
Resistor ¼ W	17	S/0.10	S/1.70
Transistor 2N3904	6	S/0.50	S/3.00
PIC16F877A	1	S/15.00	S/15.00
Relé 12Vcc	6	S/2.00	S/12.00
Diodo LED	5	S/0.30	S/1.50

Diseño PCB	1	S/150.00	S/150.00
Fabricación PCB	1	S/120.00	S/120.00
Soldadura de componentes	1	S/50.00	S/50.00
Costo Total:			S/362.80

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 28

Costo de Actuadores Eléctricos y Batería

Componente/servicio	Cantidad	Costo por unidad	Costo por cantidad
Motor 12 Vcc	2	S/225.00	S/450.00
Pistón eléctrico	1	S/150.00	S/150.00
Batería yuasa 12V, 36Ah	1	S/390.00	S/390.00
Costo total:			S/990.00

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 29

Inversión

Recursos	Costos
Costos de ingeniería	S/2650.00
Recursos de materiales	S/118.5
Recurso humano	S/3600.00
Costo de la tarjeta electrónica	S/362.80
Costo de actuadores eléctricos y batería	S/990.00
Total:	S/5073.95

Nota. Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

- El diseño del prototipo de silla de ruedas con sistema de bipedestación, con tubo redondo en la mayor parte de la estructura, que se adquiere en proveedores locales, y demás elementos diseñados en base a los requerimientos de los usuarios, conjuntamente con una evaluación de alternativas de diferentes posibilidades, permiten reducir costos.
- El diseño de la estructura validado con los valores generados por el método de elementos Finitos (FEM), arroja resultados globales de la estructura con su centro de gravedad ubicado en las coordenadas de máxima estabilidad; en la simulación estática para las deformaciones mínimas de 0.755mm permisibles ubicada la viga transversal superior y esfuerzo equivalente máximo de 63,182MPa, por debajo del teórico calculado (63.410MPa). Con ello se asegura un factor de seguridad mínimo 3.2762, superior al permisible en toda la estructura analizada de 2, constituyendo parámetros que cumplen los valores correctos de deformaciones, esfuerzos (Von Misses) y factor de seguridad.
- La herramienta computacional SOLIDWORKS para el modelado de este tipo de equipos bajo las condiciones de operación críticas garantiza un diseño óptimo de la silla bipedestadora con el modelado de elementos finitos que son consistentes con los cálculos analíticos.

RECOMENDACIONES

- Usar el aluminio como material para el diseño de la silla de ruedas con sistema de bipedestación, permite optimizar el peso de la misma, así como darles otras funciones adicionales como la transportación en posición vertical.
- Validar los resultados, mediante el análisis por el método de elementos finitos (FEM) para cada uno de los elementos, facilita parametrizar diferentes variables que se constituye fundamentos para nuevos proyectos.
- Evaluar la posición de los puntos de presión de los arneses en los próximos estudios y a su vez deben ser analizados de mejor manera con la incorporación de sensores para equilibrar dichos puntos de presión.

LINEAS FUTURAS DE INVESTIGACION

- La implementación de un dispositivo que permita censar el estado de la batería en tiempo real.
- La implementación de una batería como back up.

GLOSARIO

CODIGO	MEDICION	POSICION	DEFINICION
AP	Altura poplitea	sentado	distancia vertical desde el suelo hasta la depresion poplitea
SP	Distancia sacro-poplitea	sentado	Distancia horizontal desde la depresion poplitea hasta el plano vertical de la espalda
SR	Distancia sacro-rotula	sentado	Distancia horizontal desde la rotula hasta el plano vertical de la espalda
MS	Altura muslo-suelo	sentado	Distancia vertical desde el suelo hasta la parte mas alta del muslo
RS	Altura rodilla-suelo	sentado	Distancia vertical desde el suelo hasta el punto mas alto de la rodilla
CS	Altura codo-suelo	sentado	Distancia vertical desde el suelo hasta la parte mas saliente del codo
AminBa	Alcance minimode brazo	sentado	Distancia horizontal desde el respaldo del asiento hasta el plano vertical que se produce en la mano con el puño cerrado
CM	Distancia codo-mano	sentado	Distancia horizontal desde el codo hasta la punta de los dedos con la mano extendida
AmaxBa	Alcance maximo de brazo	sentado	Distancia horizontal desde elplano vertical que pasa por las escapulas hasta el eje
HS	Altura hombros-suelo	sentado	Distancia vertical desde el suelo hasta el punto equidistante del cuello y el acromion
CdCd	Anchura de las caderas	sentado	Distancia horizontal que existe entre los muslos
RRs	Ancho rodillas	sentado	Distancia horizontal entre los puntos exteriores de la rodilla
AS	Altura subescapular	sentado	Distancia vertical desde el suelo hasta el angulo inferior de la escapula
CC	Ancho codo-codo	sentado	Distancia horizontal entre la parte externa de los codos
PP	profundidad pecho	sentado	Distancia mediada desde la escapula hasta el punto mas alejado del pecho
HH	Anchura de los hombros	sentado	Distancia horizontal entre los musculos deltoides
AT	Ancho Torax	sentado	Distancia medida en el torax enla zonas externas del pecho
PeMus	Perimetro muslo	sentado	Medida que rodea la parte mas saliente del muslo
PePan	Perimetro pantorrilla	sentado	Medida que rodea la parte mas saliente de la pantorrilla
Atro	Altura trocanter	parado	Distancia desde el suelo hasta el abultamiento del muslo trocanter
AG	Altura gluteo	parado	Distancia vertical desde el suelo hasta la parte mas saliente del gluteo
PeAb	Perimetro abdomen	parado	Medida que rodea el abdomen

BIBLIOGRAFIA

Montaño Morales, I. G., Ramírez Torres, M. A., & Zemanate Largo, A. F. (2017). *Diseño e Implementación de una adaptación de pedales a una silla de ruedas convencional para una paciente con parálisis cerebral.*

ALIBABA. (s.f.). *ALIBABA.COM*. Obtenido de https://spanish.alibaba.com/product-detail/12-v-24-v-dc-motor-tubular-mini-electric-linear-actuator-60684036382.html?spm=a2700.md_es_ES.deiletai6.3.47c3691fP5P9lr

Aluminio, C. (2016). *Catálogo de Ensamblados de Aluminio*. Ecuador.

Barba, E. (1993). *La excelencia en el proceso de desarrollo de nuevos productos*. Barcelona.

Barbano Martínez, A. D., & Díaz Portillo, A. S. (2017). *Avances tecnológicos*. Colombia.

Beer, F. y. (1993). *Mecánica de Materiales*. Bogotá, Colombia.

C.A., I. B. (2016). *Catálogo de productos*. Guayaquil, Ecuador.

Charris, J. P. (s.f.). *Diseño de una silla*.

CONADIS. (2014). *Guía Gráfica de la norma técnica A.120*. LIMA.

Consejo Nacional para la Integración de la persona con Discapacidad. (2014). Guía gráfica de la norma técnica A.120. *Accesibilidad para personas con discapacidad y de las personas adultas mayores*. Lima, Lima, Perú.

Consejo nacional para la integración de las personas con discapacidad. (2018). *INFORME ESTADÍSTICO MULTISECTORIAL*. Lima.

DIPAC PRODUCTOS DE ACERO. (2016).

Hernández Gutiérrez, I. V., & Samano Hernández, M. A. (2016). Prototipo de silla de ruedas eléctrica para bipedestación. *Trabajo de tesis*. México.

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). *Perfil Sociodemográfico del Perú*. Lima, Lima, Perú.

(2012). LEY N° 29973. *LEY GENERAL DE LA PERSONA CON DISCAPACIDAD*. Lima.

Luis, M. (2008). *Metodología para el cálculo rápido de las dimensiones de los neumáticos de tractores agrícolas*. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.

Mercado Libre. (s.f.). *MERCADO LIBRE*. Obtenido de https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-435450565-bateria-yuasa-para-sillas-de-ruedas-electricas-_JM?quantity=1#position=2&type=item&tracking_id=0755cefd-61e6-411f-98cd-4877b78673c7

Meza, C. E. (2018). Análisis Cinemático en el diseño conceptual de un mecanismo tipo cluster para el desarrollo de una silla de ruedas eléctrica con capacidad de ascenso en escaleras rectas. *Trabajo de Maestría*. Lima, Perú.

Moreno, M., Gustavo, A., & Milagros, V. (2004). *Diseño concurrente de sillas de ruedas*. Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.

Mozartcultures. (2018). *Mozartscultures*. Obtenido de Mozartcultures:

<http://mozartcultures.com/es/4526/>

Ortopedia Plaza. (2015). Obtenido de [http://www.ortopediaplaza.com/esp/1172k-](http://www.ortopediaplaza.com/esp/1172k-silla-bipedestadora-action-vertic.php?idseccion=289)

[silla-bipedestadora-action-vertic.php?idseccion=289](http://www.ortopediaplaza.com/esp/1172k-silla-bipedestadora-action-vertic.php?idseccion=289).

Pabón, M. G. (2017). Construcción de una silla bipedestadora del prototipo LILIBOT. *Trabajo de tesis*. Ibarra, Ecuador.

(2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima.

Sandor, A. G. (1998). *Diseños de mecanismos Análisis y Síntesis*. Mexico.

SolidWorks. (2020). *SolidWorks*. Obtenido de Dassault Systemes: <https://www.solidworks.com/es>

Suarez, O. G. (2017). CONSTRUCCIÓN DE UNA SILLA DE RUEDAS ELÉCTRICA PARA BIPEDESTACIÓN. *Trabajo de Tesis*. Ibarra, Ecuador.

Zepeda Villar, B., Nuñez Soto, E. A., & Hernandez Rubio, J. R. (2013). Diseño y fabricación de una silla de ruedas eléctrica modular para un paciente con Amelia Congénita. *Trabajo de tesis*. Mexico.

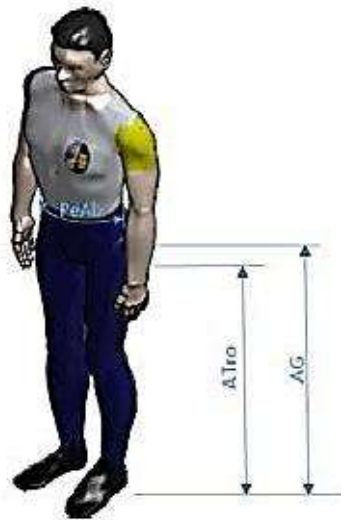
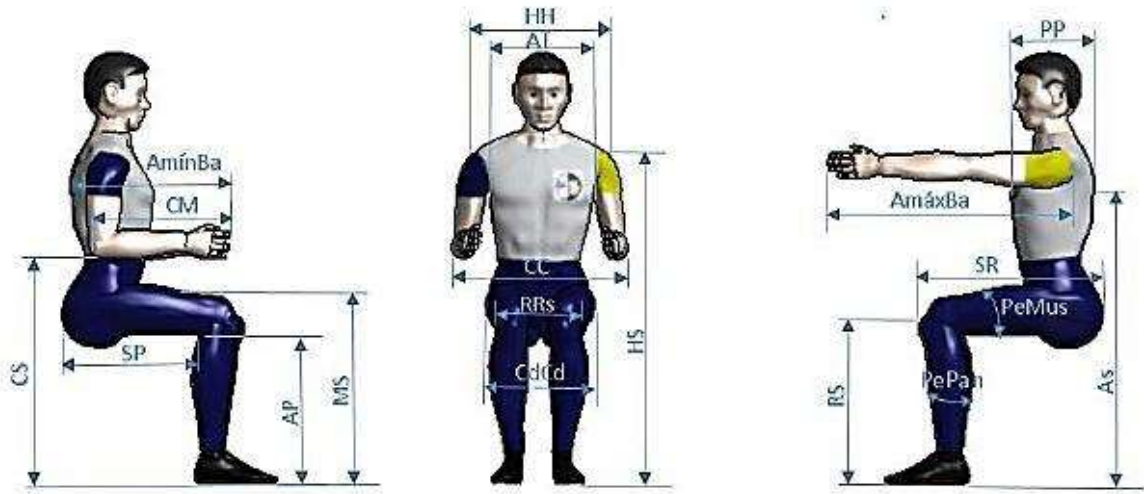
ANEXOS

ANEXO A: MATRIZ DE REQUERIMIENTO O TRAZABILIDAD

DESCRIPCION DE REQUERIMIENTO	SUSTENTO DE INCLUSION	PRIORIDAD	CRITERIO DE ACEPTACION
Cumple con la características antropométricas "PERSONAS CON DISCAPACIDAD FISICA EN SILLA DE RUEDAS"	la persona discapacitada podrá auto movilizarse con la silla bípeda estando en posición sedente en los espacios públicos sin problema	ALTA	se simulo el desplazamiento de la silla bípeda en posición sedente en diferentes espacios simulados
Cumple con la características antropométricas "PERSONAS CON DISCAPACIDAD FISICA EN SILLA DE RUEDAS (uso asistido)"	el discapacitado podrá movilizarse con una persona de apoyo en los espacios públicos	ALTA	se simulo el desplazamiento de la silla bípeda en posición sedente en diferentes espacios simulado
Cumple con la características antropométricas "DIMENSIONES BASICAS DE LA SILLA DE RUEDAS"	El diseño propuesto cumple con las norma técnica para adecuaciones urbanísticas	ALTA	se simulo el desplazamiento de la silla bípeda en posición sedente en diferentes espacios simulado
La silla soportara un peso de +/-155 kg	diseñado para personas de peso promedio en el Perú	MEDIA	se utilizara el software SOLIWORK
El proyecto permitirá la posición bípeda del discapacitado o persona mayor desde la posición sedente	Es para solucionar los problemas de personas discapacitadas por estar mucho tiempo sentado	ALTA	Se simulo el comportamiento mecánico por medio de análisis de elementos finitos
Cumple con la guía técnica para la valoración nutricional antropométrica de la persona adulta mayor NUTRICIONAL ANTROPOMÉTRICA DE LA PERSONA ADULTA MAYOR	Determinar correctamente las medidas de la persona discapacitada	ALTA	Con la ayuda del Software SOLIDWORKS se pudo ensamblar la silla bípeda

ANEXO B

Medidas antropométricas de usuarios de Lima



código	nombre:	nombre:	nombre:	nombre:			Desviación estándar	Percentil 5	Percentil 95
	Ofelia Angélica edad: 52 Patología: Paraplejia	Abilio Nicanor edad: Patología: Paraplejia	Juan Carlos edad: Patología: Paraplejia	Kristian Felipe edad: Patología: Paraplejia					
AP	46	43	40	48	44.3	12.3	3.5	40.5	47.7
SP	43	46	45	45	44.8	1.6	1.3	43.3	45.9
SR	51	52	51	53	51.8	0.9	1	51	52.9
MS	58	54	50	60	55.5	19.7	4.4	50.6	59.7
RS	49	47	43	51	47.5	11.7	3.4	43.6	50.7
CS	70	67	64	76	69.3	26.3	5.1	64.5	75.1
AminBa	49	56	54	54	53.3	8.9	3	49.8	55.7
CM	45	48	45	47	46.3	2.3	1.5	45	47.9
AmaxBa	70	70	71	77	72	11.3	3.4	70	76.1
HS	101	96	90	113	100	95.3	9.8	90.9	111.2
CdCd	35	44	37	42	39.5	17.7	4.2	35.3	43.7
RRs	35	39	36	34	36	4.7	2.2	34.2	38.6
AS	83	84	75	92	83.5	48.3	7	76.2	90.8
CC	63	61	54	57	58.8	16.3	4	54.5	62.7
PP	28	27	28	25	27	2	1.4	25.3	28
HH	49	44	43	44	45	7.3	2.7	43.2	48.3
AT35		41	38	35	37.3	8.3	2.9	35	40.6
PeMus	47	45	33	35	40	49.3	7	33.3	46.7
PePan	35	33	32	31	32.8	2.9	1.7	31.2	34.7
Atro	80	83	76	92	82.8	46.3	6.8	76.6	90.7
AG	94	96	86	99	93.8	30.9	5.6	87.2	98.6
PeAb	107	116	100	113	109	50	7.1	101.1	115.6
Altura	167	171	166	175	169.8	16.9	4.1	166.2	174.4

ANEXO C

Calculo de VAN (Valor actual neto) y TIR (Tasa interna de retorno)

	Periodo 0	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3
Inversión inicial	5213			
Flujo de caja	-5213	1500	2000	2500
COK	2%			

VAN	535.7316341
TIR	7%


ANEXO D

Ordene del 1 al 6 de acuerdo a las características más importantes en una silla de ruedas

	Seguridad	Ergonomía	Funcionalidad	Estética	Costo	Mantenimiento
Ofelia	1	2	3	4	5	6
Abilio	1	2	3	6	4	5
Carlos	1	3	2	5	6	4
Kristian	1	3	2	4	5	6

ANEXO E

TUBO MECÁNICO REDONDO



Especificaciones Generales:

Norma: NTC IND 245

Calidad: JS 314 SPCC 50

Acabado: Acero negro o galvanizado

Largo normal: 6,00m y medidas especiales

Dimensiones: Desde 1/2" o 2 1/2"

Espesores: Desde 0,80mm o 1,50mm


NOMENCLATURA

Area A : Área de resistencia transversal del tubo, cm²

M : Momento de inercia de la sección, cm⁴

I : Módulo neutro de la sección, cm³

S : Radio de giro de la sección, cm



Tubo Núm. de Perfil	Diámetro Exterior mm	Espesor		Pesa		Momento de Inercia	
		mm	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm ⁴	cm ³
1/2	12,70	0,95	1,88	0,38	0,08	0,08	0,41
		1,10	2,12	0,60	0,07	0,11	0,41
		1,50	2,82	0,63	0,08	0,13	0,39
5/8	15,88	0,95	2,28	0,44	0,13	0,15	0,51
		1,10	2,64	0,51	0,14	0,18	0,52
		1,50	3,24	0,55	0,15	0,22	0,51
3/4	19,05	0,95	2,71	0,54	0,22	0,23	0,64
		1,10	3,13	0,62	0,23	0,28	0,63
		1,50	4,28	0,63	0,23	0,34	0,63
1	25,40	0,95	3,18	0,63	0,28	0,32	0,76
		1,10	3,68	0,75	0,31	0,37	0,76
		1,50	4,82	0,84	0,33	0,47	0,74
1 1/4	31,75	0,95	3,65	0,73	0,48	0,43	0,87
		1,10	4,22	0,84	0,52	0,49	0,88
		1,50	5,64	1,12	0,47	0,64	0,82
1 1/2	38,10	0,95	4,02	0,82	0,55	0,50	1,00
		1,10	4,62	1,00	0,54	0,58	1,00
		1,50	6,08	1,43	0,55	0,83	0,87
1 3/4	44,45	0,95	4,42	1,11	0,61	0,55	1,11
		1,10	5,04	1,26	0,58	0,63	1,11
		1,50	6,48	1,72	0,60	0,88	1,00
2	50,80	0,95	4,84	1,30	0,67	0,58	1,24
		1,10	5,48	1,46	0,63	0,63	1,24
		1,50	7,36	2,17	0,78	0,83	1,03
2 1/2	63,50	0,95	5,28	1,49	0,75	0,60	1,37
		1,10	5,94	1,72	0,70	0,66	1,37
		1,50	7,90	2,52	0,86	0,88	1,16
3	76,20	0,95	5,74	1,69	0,82	0,66	1,50
		1,10	6,42	1,92	0,76	0,72	1,50
		1,50	8,40	2,82	0,94	0,94	1,29

ANEXO F

LA35

The LA35 is a very quiet and powerful actuator, and provides a practical and cost-effective solution with low power consumption. The actuator is designed for a variety of both indoor and outdoor applications.



The TORONDO actuator comes with IC - Integrated Controller.
For more information on our IC options, please visit www.torondocanada.com

Features:

- 12 or 24 V DC Permanent magnetic motor
- Thrust 6000 N in push and 4000 in pull
- Max. speed up to 19.5 mm/sec. depending on load and spindle pitch
- Stroke length from 100 to 600 mm
- Built-in endstop switches
- Stainless steel inner tube
- Protection class: IP66 (dynamic) and IP68K (static)

Options in general:

- Large variety of back fixtures and piston rod eyes
- Anti rotating piston rod eye
- Guided nut (only with 2mm pitch)
- Integrated brake for high self-locking ability
- Exchangeable cables in different lengths
- Long life absolute feedback
- Safety nut in push
- Special anodised housing for extreme environments
- Potential free endstop signals
- IC options including:
 - IC - Integrated Controller
 - Hall sensor
 - Analogue or digital feedback for precise positioning
 - Endstop signals (not potential free)
 - Ready signal for diagnostics

Usage:

- Duty cycle at 6000N and 3mm pitch's max. 10%
- Ambient operating temperature: -25° to +60°C, full performance from +5°C to +40°C.

ANEXO G

CRONOGRAMA

ID	BDI	Modificación de tarea	Duración	Contenido	Fin
1	1	Inicio	Q	lun 02/12/19	02/12/19
2	2	1. Medidas antropométricas	6 días	lun 02/12/19	09/12/19
3	3	2. Alternativa de diseño	9 días	mar 10/12/19	20/12/19
4	4	3. Boceto preliminar	3 días	lun 23/12/19	23/12/19
5	5	4. Análisis de medidas antropométricas	10 días	mar 24/12/19	06/01/20
6	6	5. Análisis Cinemático	2 días	mar 07/01/20	08/01/20
7	7	6. Diagrama de cuerpo libre	4 días	lue 09/01/20	14/01/20
8	8	7. Análisis de elementos finitos	3 días	mie 15/01/20	17/01/20
9	9	FIN	0 días	vie 17/01/20	17/01/20