



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BIPEDESTADOR
AUTOMÁTICO PARA LA MOVILIDAD DE ADULTOS
MAYORES DEL HOGAR DE VIDA “LUIS MALDONADO
TAMAYO” UBICADO EN EL CANTON PUJILI**

**AUTORES: ERIKA KATHERINE PAREDES TORRES
JESSICA ESTEFANIA TOAPANTA QUIMBITA**

DIRECTOR: ING. ACUÑA FAUSTO

LATACUNGA

2018



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BIPEDESTADOR AUTOMÁTICO PARA LA MOVILIDAD DE ADULTOS MAYORES DEL HOGAR DE VIDA “LUIS MALDONADO TAMAYO” UBICADO EN EL CANTON PUJILI**” realizado por las señoritas **ERIKA KATHERINE PAREDES TORRES, JESSICA ESTEFANIA TOAPANTA QUIMBITA**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **ERIKA KATHERINE PAREDES TORRES, JESSICA ESTEFANIA TOAPANTA QUIMBITA** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 09 de febrero del 2018

ING. FAUSTO VINICIO ACUÑA COELLO
DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE ELECTRICA Y ELECTRONICA

CARRERA DE INGENIERIA ELECTROMECHANICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, la señorita **ERIKA KATHERINE PAREDES TORRES** Y la señora **JESSICA ESTEFANIA TOAPANTA QUIMBITA**, con cédula de identidad N° 1804759825 y 000000, declaramos que este trabajo de titulación "**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BIPEDESTADOR AUTOMÁTICO PARA LA MOVILIDAD DE ADULTOS MAYORES DEL HOGAR DE VIDA "LUIS MALDONADO TAMAYO" UBICADO EN EL CANTON PUJILI**" ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 09 de febrero del 2018

ERIKA KATHERINE PAREDES TORRES

C.C.:1804759825

JESSICA ESTEFANIA TOAPANTAN QUIMBITA

C.C.:0503847352



DEPARTAMENTO DE ELECTRICA Y ELECTRONICA

CARRERA DE INGENIERIA ELECTROMECANICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, la señorita **ERIKA KATHERINE PAREDES TORRES** y la señora **JESSICA ESTEFANIA TOAPANTA QUIMBITA**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en el repositorio institucional el trabajo de titulación "**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BIPEDESTADOR AUTOMÁTICO PARA LA MOVILIDAD DE ADULTOS MAYORES DEL HOGAR DE VIDA "LUIS MALDONADO TAMAYO" UBICADO EN EL CANTON PUJILI**" cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, 09 de febrero del 2018

ERIKA KATHERINE PAREDES TORRES

C.C.:1804759825

JESSICA ESTEFANIA TOAPANTAN QUIMBITA

C.C.:0503847352

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación va dedicado en primera a Dios, por ser nuestro guía en cada momento, situación y toma de decisiones, dándonos las fuerzas necesarias para seguir día con día y no desmayar en los problemas que se presentan.

A nuestros padres por ser los impulsores en nuestra vida diaria, dándonos los mejores valores y educación; siempre siendo pilares fundamentales en nuestras vidas, nos han brindado todo su apoyo tanto económico como moral y siendo un ejemplo de lucha insaciable para demostrarnos que con empeño y coraje se puede alcanzar el éxito.

Los resultados de este proyecto están dedicados a todas esas personas que de alguna u otra forma, son parte de su culminación.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos profundamente a Dios, por ser la guía constante por los senderos correctos, iluminando así todo nuestro desempeño en todo lo que realizamos en el convivir diario.

Gracias a nuestros padres que fueron nuestros mayores promotores durante este proceso, porque creyeron en nosotros, dándonos ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte, gracias a ustedes, hoy vemos nuestra meta alcanzada, ya que su impulso fue constante y nunca nos dejaron desmayar.

A nuestras familias, ya que siempre nos brindaron palabras de aliento, aportes y con ello se pudo ver el día de hoy reflejado en la culminación de este proyecto. A nuestros compañeros por siempre estar juntos, compartiendo a diario y siempre apoyándonos en los momentos más difíciles.

A nuestros queridos docentes, por siempre tener paciencia e inculcar todos sus conocimientos, para día con día aprender nuevos temas y podernos enfrentar al campo laboral.

ÍNDICE DE CONTENIDO	
CERTIFICACIÓN.....	II
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	III
AUTORIZACIÓN	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
ÍNDICE DE CONTENIDO	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
RESUMEN.....	XIV
ABSTRACT	XV
CAPITULO I	16
GENERALIDADES.....	16
1.1. Antecedentes	16
1.2. Planteamiento del Problema	16
1.3. Justificación e importancia	17
1.4. Objetivos	17
1.5. Hipótesis	18
CAPITULO II	19
ESTADO DEL ARTE	19
2.1. Estudios de bipedestadores realizados	19
2.2. Bipedestación.....	25
2.3. Tipos de bipedestación.....	26
2.4. Importancia de la bipedestación.	28
2.5. Ergonomía.....	28

2.5.1. Antropometría	29
2.6. Reseña histórica del Hogar de Vida “Luis Maldonado Tamayo”	32
2.7. Estado actual de la Geriatria	33
2.8. Experiencia según la voz de los profesionales	34
2.9. Materiales utilizados en la construcción de sistemas.....	35
2.10. Actuadores utilizados en la construcción del bipedestador.....	36
2.11. Baterías utilizadas en la construcción del bipedestador	37
2.12. Revestimientos utilizados en el bipedestador	38
2.13. Controladores.....	39
2.14. Sistema de transmisión.	40
2.15. Línea base del beneficiario.....	41
2.16. Análisis de alternativas.....	43
CAPITULO III	45
DISEÑO Y SELECCIÓN DE MATERIALES	45
3.1. Parámetros del diseño.	45
3.1.1. Peso a soporta el sistema de bipedestación	45
3.1.2. Material de la estructura.	46
3.1.3. Mecanismo de elevación y descenso.....	47
3.1.4. Tipos de motores	48
3.1.5. Controlador.....	48
3.1.6. Revestimiento	49
3.1.7. Baterías	49
3.2.8. Sistema de transmisión.	50
3.2.9. Dimensiones del sistema de bipedestación.	50
3.2.10. Desarrollo de la estructura del sistema de bipedestación	53
3.2. Análisis Cinemático.....	56

a) Análisis manual de posición del mecanismo del bipedestador.....	56
b) Análisis computarizado del mecanismo de 4 barras	62
3.3 Análisis Fuerza, Velocidad en el Sistema.	72
3.3. Análisis Estático.....	77
3.4. Análisis computacional del sistema de Bipedestación.....	86
CAPITULO IV.....	108
CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN	108
4.1. Construcción de la estructura	108
4.2. Implementación del sistema eléctrico	111
4.3. Ensamblaje del sistema bipedestador.....	112
CAPITULO V.....	115
PRUEBAS Y RESULTADOS	115
5.1. Pruebas de Funcionamiento	115
5.2. Validación de la Hipótesis	130
5.3. Análisis económico del bipedestador.....	134
5.4. Análisis costo-beneficio	135
CAPITULO VI.....	138
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	138
6.1. Conclusiones.....	138
6.2. Recomendaciones.....	139
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	140

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. BIPEDESTADOR INFANTIL PARA PACIENTES CON PARÁLISIS CEREBRAL ..	20
FIGURA 2. SILLA DE RUEDAS BIPEDESTACIÓN TRANSFORMER.....	21
FIGURA 3. BIPEDESTADOR AUTOMÁTICO PARA NIÑOS.....	22
FIGURA 4. PROTOTIPO DE PLATAFORMA AUTOBALANCEADA Y EXOESQUELETO.....	23
FIGURA 5. BIPEDESTADOR ERGONÓMICO PARA UN NIÑO	24
FIGURA 6. PROPUESTA FINAL.....	25
FIGURA 7. FORMA BIPODAL PARA REHABILITACIÓN	26
FIGURA 8. EQUILIBRIO DEL CUERPO EN FORMA ESTÁTICA	27
FIGURA 9. BIPEDESTACIÓN DINÁMICA	27
FIGURA 10. ANCHURA PÉLVICA	29
FIGURA 11. LONGITUD DEL MUSLO	30
FIGURA 12. LONGITUD DE LA PANTORRILLA.....	30
FIGURA 13. ALTURA DEL HOMBRO.....	31
FIGURA 14. ESQUEMA DE DIMENSIÓN SEGÚN MARIO DALL FABRO.....	31
FIGURA 15. HOGAR DE VIDA "LUIS MALDONADO TAMAYO"	32
FIGURA 16. ANCHURA PÉLVICA	51
FIGURA 17. LONGITUD TOTAL DE LA SILLA.....	51
FIGURA 18. LONGITUD DEL MUSLO	52
FIGURA 19. LONGITUD DE LA PANTORRILLA.....	52
FIGURA 20. ALTURA DEL HOMBRO.....	53
FIGURA 21. BASE PRINCIPAL	53
FIGURA 22. BASE PRINCIPAL	54
FIGURA 23. BASE PRINCIPAL	54
FIGURA 24. FUNCIÓN DEL MECANISMO DE 4 BARRAS.....	55
FIGURA 25 MECANISMO DE 4 BARRAS	56
FIGURA 26. DESPLAZAMIENTO ANGULAR DEL ESLABÓN 4	64
FIGURA 27. DESPLAZAMIENTO ANGULAR DEL ESLABÓN 3	65
FIGURA 28. DESPLAZAMIENTO ANGULAR DEL ESLABÓN RESULTANTE	67
FIGURA 29. DESPLAZAMIENTO DEL ESLABÓN RP	68
FIGURA 30. POSICIONAMIENTO DEL ESLABÓN.....	69
FIGURA 31. DESCENSO DEL MECANISMO	70
FIGURA 32. TRAYECTORIA LINEAL.....	71
FIGURA 33. TRAYECTORIA CURVA	71

FIGURA 34. ESLABONAMIENTO	72
FIGURA 35. MECANISMO PROPUESTO.....	72
FIGURA 36. ÁNGULOS DEL MECANISMO	73
FIGURA 37. VARIACIONES DE LOS ÁNGULOS RESPECTIVAMENTE	74
FIGURA 38. GRÁFICA DEL ESTUDIO EL ESLABÓN DE SALIDA.....	75
FIGURA 39. DESPLAZAMIENTO DE FORMA PAUSADA	76
FIGURA 40. GRÁFICA DEL ESTUDIO DE LA VELOCIDAD EN EL ESLABÓN DE SALIDA ..	76
FIGURA 41. GRÁFICA DEL ESTUDIO DE LA ACELERACIÓN EN EL ESLABÓN.....	77
FIGURA 42. BASE PRINCIPAL	78
FIGURA 43. DIMENSIONAMIENTO DE LA BASE PRINCIPAL.....	78
FIGURA 44. CARGAS PUNTUALES.....	79
FIGURA 45. DIAGRAMA DE ESFUERZOS CORTANTES.....	81
FIGURA 46. MOMENTO MÁXIMO DE LA VIGA	82
FIGURA 47. - EVALUACIÓN DE ESFUERZOS MEDIANTE VON MISES	85
FIGURA 48. CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD	86
FIGURA 49. ESPALDAR DE LA ESTRUCTURA DEL BIPEDESTADOR.....	87
FIGURA 50. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE VON MISES DEL BIPEDESTADOR	87
FIGURA 51. CALCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL SISTEMA BIPEDESTADOR.	88
FIGURA 52. DATOS DE CILINDRO ELÉCTRICO	90
FIGURA 53. CILINDRO ELÉCTRICO	92
FIGURA 54. ANÁLISIS DE CARGA MUERTA EN SOLID WORKS.....	93
FIGURA 55. MOTOR A UTILIZAR EN LA CONSTRUCCIÓN	96
FIGURA 56. JOYSTICK PARA EL CONTROL DE LOS MOTORES DEL BIPEDESTADOR ..	96
FIGURA 57 ESQUEMA ELÉCTRICO	97
FIGURA 58. BATERÍA SELECCIONADA.....	99
FIGURA 59. LLANTA SELECCIONADA	101
FIGURA 60. DIAGRAMA DE POTENCIA CILINDRO ELÉCTRICO 12 V	105
FIGURA 61. DIAGRAMA DE CONTROL DEL SISTEMA DE 12 V	105
FIGURA 62. DIAGRAMA DE POTENCIA 24V DC	106
FIGURA 63. DIAGRAMA DE CONTROL DE 24 V	107
FIGURA 64. ENSAMBLAJE Y TAPIZADO.....	113
FIGURA 65. ACOPLAMIENTO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN EL BIPEDESTADOR	113
FIGURA 66. SISTEMA DE BIPEDESTACIÓN TOTAL.....	114
FIGURA 67. PRUEBA SIN CARGA.....	115

FIGURA 68. SISTEMA ELEVADO EN BIPEDESTADOR	116
FIGURA 69. GRAFICA DE ASCENSO DEL CILINDRO ELÉCTRICO	118
FIGURA 70. GRAFICA DE DESCENSO.....	118
FIGURA 71. GRAFICA DE ASCENSO A PLENA CARGA.....	119
FIGURA 72. GRAFICA DE DESCENSO A PLENA CARGA.....	119
FIGURA 73. USUARIO Nº 1	120
FIGURA 74. USUARIO Nº2	121
FIGURA 75. USUARIO Nº3	121
FIGURA 76. USUARIO Nº4	122
FIGURA 77. USUARIO Nº5	123
FIGURA 78. USUARIO Nº6	123
FIGURA 79. USUARIO Nº7	124
FIGURA 80. USUARIO Nº8	125
FIGURA 81. USUARIO Nº9	125
FIGURA 82. USUARIO Nº10	126
FIGURA 83. USUARIO Nº11	126
FIGURA 84. USUARIO Nº12	127
FIGURA 85. USUARIO Nº13	128
FIGURA 86. USUARIO Nº14	129
FIGURA 87. CURVA DE SENSACIONES.....	130
FIGURA 88. SILLA DE RUEDAS PARA ADULTO	135
FIGURA 89. BIPEDESTADOR SEMIAUTOMÁTICO	135

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS	41
TABLA 2. TIPOS DE MATERIAL PARA SISTEMAS DE BIPEDESTACIÓN.....	46
TABLA 3. TIPOS DE MECANISMO DE ELEVACIÓN Y DESCENSO	47
TABLA 4. ESTUDIO DE MOTORES	48
TABLA 5. ESTUDIO DEL CONTROLADOR.....	48
TABLA 6. ESTUDIO DE REVESTIMIENTOS	49
TABLA 7. ESTUDIO DE BATERÍAS.....	49
TABLA 8. ESTUDIO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN	50
TABLA 9. COMPARACIÓN DE DATOS.....	70
TABLA 10. PARÁMETROS DEL ACTUADOR.....	89
TABLA 11. COMPARACIÓN DE MODELOS DE CILINDROS ELÉCTRICOS	91
TABLA 12. COMPARACIÓN DE MODELOS DE MOTORES	95
TABLA 13. COMPARACIÓN DE BATERÍAS.....	98
TABLA 14. COMPARACIÓN DE BATERÍAS.....	100
TABLA 15. SUJETADOR DE RODILLAS.....	102
TABLA 16. SUJETADOR DE PIERNAS	103
TABLA 17 SUJETADOR DE TÓRAX.....	104
TABLA 18. COMPONENTES MECÁNICOS DEL BIPEDESTADOR.....	108
TABLA 19. PROCESO DE ELABORACIÓN DE LAS PARTES MECÁNICAS	109
TABLA 20. IMPLEMENTACION DEL SISTEMA ELÉCTRICO	111
TABLA 21. DATOS SIN CARGA	116
TABLA 22 DESPLAZAMIENTO DEL SISTEMA DE ELEVACIÓN.....	117
TABLA 23. FRECUENCIA OBSERVADA	131
TABLA 24. FRECUENCIA ESPERADA	132
TABLA 25 VALORES CALCULADOS CHI-CUADRO	133
TABLA 26. LISTADO DE MATERIALES	134
TABLA 27. ANÁLISIS CUANTITATIVO.....	136
TABLA 28 ANÁLISIS CUANTITATIVO	136

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación, se describe un estudio donde se pretende implementar un sistema de bipedestación tipo silla, que permitirá alcanzar que adultos mayores lleguen a una forma bipodal a pesar de sus múltiples discapacidades físicas y enfermedades acarreadas por la edad como es osteoporosis, amputación de extremidades inferiores, siendo la causa más común el desgaste de sus huesos y articulaciones. En consecuencia se tiene que estas personas pasan todo el tiempo postradas a una cama o una silla de ruedas, por lo que su circulación sanguínea es poca, su respiración es con fatiga, presentan estados de ánimo deprimentes, así como también aparición de escaras en su piel. Entonces se implementa una silla bipedestadora para conseguir ayuda en la rehabilitación, mejorar el estado de ánimo al momento de poner de pie al usuario. Como las medidas antropométricas varían entre los adultos mayores, se procede a tomar una media para al momento de la elevación y descenso sea de trayectoria curva, para evitar movimientos bruscos en las articulaciones. A través del uso continuo del bipedestador, la rehabilitación de los adultos mayores será más factible, mostrando así cambio en el estado de ánimo y disminuyendo el sedentarismo.

PALABRAS CLAVE:

- **BIPEDESTACIÓN**
- **SEDENTARISMO**
- **ADULTOS MAYORES**
- **SILLA BIPEDESTADOR**

ABSTRACT

In the present work of qualification, described a study which intends to implement a system of standing type Chair, which allow older adults to reach a form bipodal despite its multiple physical disabilities and diseases carried by the age such as osteoporosis, amputation of limbs, being the most common cause of your bones and joints wear. Result is that these people are all the time prostrate to a bed or a wheelchair, so that blood circulation is low, your breath is with fatigue, depressing mood states, as well as appearance of scars on your skin. Then implements a bipedestadora Chair to get help in rehabilitation, improve the mood at the time of stand users. Anthropometric measures vary among older adults, proceed to take an average for at the time of the lifting and descent are of curved path, to avoid sudden movements in the joints. Through the continuous use of the Stander, the rehabilitation of older adults will be more feasible, thus showing change in mood and decreasing sedentary.

KEY WORDS:

- BIPEDESTATION
- SEDENTARISM
- OLDER ADULTS
- BEDEDESTOR CHAIR

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. Antecedentes

Los Bipedestador son equipos mecánicos cuya función principal es ayudar a erguir a una persona que no puede hacerlo por si misma con el fin de evitar la pérdida de masa ósea, mejorar la circulación sanguínea, mejorar las funciones digestivas, respiratorias, renales y urinarias, permitir el uso de los miembros inferiores y generar el beneficio psicológico asociado a encontrarse a la misma altura de sus interlocutores.

Mediante la búsqueda de solución de necesidades se pretende ayudar a mejorar el sistema de vida hacia los residentes del Hogar de Vida “Luis Maldonado Tamayo” de la ciudad de Pujilí, permitiendo facilitarles una movilidad con mayor autonomía, en especial brindar un apoyo en cuanto a los fisioterapeutas y residentes del lugar.

1.2. Planteamiento del Problema

El Hogar de Vida “Luis Maldonado Tamayo” ubicado en la provincia de Cotopaxi, en el cantón Pujilí, consta con 50 adultos mayores, 2 personas encargadas del cuidado de los mismos, 2 fisioterapeutas; este lugar cuenta con 600 m² de construcción donde se ubican áreas recreativas, áreas de rehabilitación, área de comida y dormitorios, cada adulto mayor debe movilizarse a cada lugar con la ayuda de una persona, pero con algunos contratiempos.

Los adultos mayores, que por su situación de discapacidad motora no pueden adoptar la posición bípeda, existen un 50% de personas que utilizan sillas de ruedas para poder movilizarse y muchas de ellas se encuentran de muy mal estado, dando problemas mayores. Se puede también observar que el personal no es suficiente para la movilidad de adultos mayores, en lo que

conlleva en contratiempos en los traslados hacia lugares necesarios como: baño, comedor y algunas veces salir hacia caminatas.

1.3. Justificación e importancia

El proyecto busca realizar actividades investigativas realizando un adecuado diseño de un Bipedestador para adaptarlo a los adultos mayores residentes de la casa hogar, este sistema permitirá que: terapias de rehabilitación pueda ser más factibles , ayuda a estirar los músculos y tendones del adulto mayor, mejora la circulación, refuerza a que la cavidad abdominal se extienda y por lo tanto mejora la respiración, previene la osteoporosis , facilita la función de los procesos digestivos ayudando en la evacuación, permite estar de pie seguro, estable e independiente además de todo lo mencionado anteriormente mejora el estado emocional de la persona permitiéndole llevar una vida plena y llena de felicidad.

Con la construcción del bipedestador se lograra la movilidad independiente de los residentes por todos los espacios disponible y así lograr que las 50 personas en silla de ruedas puedan ser independientes en su estadía, permitiendo que el personal no se vea afectado en cuanto a su salud.

1.4. Objetivos

1.4.1. General

- Diseñar e implementar un bipedestador automático para la movilidad de adultos mayores del Hogar de Vida “Luis Maldonado Tamayo” de la ciudad de Pujilí.

1.4.2. Específicos

- Investigar la bipedestación y los tipos de bipedestadores existentes.

- Investigar las necesidades de los adultos mayores.
- Diseñar el bipedestador y simular su modelo en el software indicado.
- Construir el bipedestador con la selección del material adecuado.
- Realizar protocolos de prueba en el sistema de bipedestación.

1.5. Hipótesis

Mediante el diseño e implementación de un bipedestador automático mejorará la movilidad de adultos mayores en el Hogar de Vida “Luis Maldonado Tamayo” de la ciudad de Pujilí.

1.5.1. Variables de la investigación

- **VARIABLE INDEPENDIENTE:** la movilidad de adultos mayores y facilidad de desplazamiento de un lugar a otro
- **VARIABLE DEPENDIENTE:** Diseño e implementación de un sistema de bipedestación.

1.6. Metodología de desarrollo del proyecto

El proyecto se desarrollará metodológicamente de la siguiente manera:

- Método documental-bibliográfica: ésta investigación hará uso de diferentes fuentes bibliográficas de los cuales se obtendrá información de la bipedestación y de los tipos de bipedestadores existentes.
- Método de campo: Mediante esta investigación se propone investigar las necesidades de los adultos mayores y por ende nos proporciona el desarrollo los parámetros de diseño del bipedestador.

CAPITULO II

ESTADO DEL ARTE

2.1. Estudios de bipedestadores realizados

La bipedestación ha tenido su desarrollo basado en problemas de salud que se presentan a medida que avanza la edad en los adultos mayores ya que los sistemas que conforman el cuerpo se deteriora; esto se debe a la aparición de enfermedades y el estado emocional, estos factores impiden que puedan realizar las actividades cotidianas. (Leyva, 2008)

En el mundo existen los siguientes países que se han desarrollado esta tecnología: España, Estados Unidos, México, Chile, Costa Rica, Venezuela; por consiguiente a continuación se describe algunas soluciones de los trabajos más relevantes con el afán de utilizar sus resultados para establecer una base que permita desarrollar un diseño apropiado de bipedestador.

2.1.1. Selección, Diseño y Construcción de bipedestador infantil para pacientes con Parálisis Cerebral, Alma Espejel; Universidad de Monterrey, México, diciembre 2013

En este documento de tesis se presenta el diseño del bipedestador infantil para pacientes con parálisis Cerebral (ver Figura 1), donde la construcción es con perfiles tubulares de aluminio AA 5086 y acero rolado; sin embargo se recomienda que los perfiles tubulares sean reforzados para evitar accidentes de los usuarios. En la base de los pies utilizan un material resistente, duradero por cierto tiempo como es la madera de pino, para uniones más fáciles con los perfiles tubulares. (Espejel, 2013)

Para el tórax utilizan un conjunto de perfiles tubulares para unir con el tronco; que tiene un conjunto de dos cojinetes unidos en una pechera de material polipiel resistente al exterior, dándole así soporte al paciente. Para las agarraderas se utiliza un tubo en forma de “U” que está construido de

perfiles de acero rectangulares soldados entre sí; atravesando a uno de los tubos por la base. (Espejel, 2013)



Figura 1. Bipedestador infantil para pacientes con parálisis cerebral

Fuente: (Espejel, 2013)

2.1.2. Medlinne, empresa dedicada a la construcción Silla de ruedas eléctricas, Santiago –Chile , 2014

En Chile existe la empresa llamada Medlinne que se dedica a la producción de “Silla de ruedas bipedestación transformer” elaboradas para uso de personas adultas como se observa en la Figura 2, tienen las siguientes características: baterías de 12 voltios y 55 Ah por dos horas; consta de un motor 24 v con una potencia de 320 vatios por dos horas, su tiempo de carga es de 8 a 10 horas aproximadamente; posee un cargador de 24 voltios a 6 amperios, pesa alrededor de 85 Kg. Cumple con varias funciones como: bipedestación, sillín, elevación, descansa pies, movimiento reversa, movimiento izquierda y derecha; tiene cinturones de seguridad; para la función de bipedestación solo se puede realizar en los interiores y con desplazamiento menor a los 3 metros.



Figura 2. Silla de ruedas bipedestación transformer

Fuente: (Medline, 2014)

2.1.3. Evaluación de un Bipedestador móvil infantil, Aros Nelson, Aros Marcela; Universidad de la Frontera, julio del 2011.

Este documento de artículo científico presenta el diseño de un bipedestador donde existe la ventaja de maniobrar en espacios reducidos, teniendo un bajo costo en materiales; posee como usuarios a niños desde 9 meses hasta 12 años; permitiéndoles tener una columna vertebral lineal, los pies apoyados a 90° y una facilidad de recorrer su entorno de manera independiente con un fácil manejo del bipedestador. (Aros & Aros, 2011)

La propuesta presenta un diseño (ver Figura 3), con dos fases principales: la primera un sistema mecánico que consta de un chasis formado de una estructura de hierro galvanizado de perfiles tubulares de 4 cm de diámetro con 3 mm. de espesor de pared. La segunda fase es un sistema eléctrico que consta de una batería de clico profundo de 12 Volt y 34 Ah; también tiene un motor electico de 350 Watt de imán permanente y un control sobre los movimientos de la plataforma con el mínimo esfuerzo posible. (Aros & Aros, 2011)

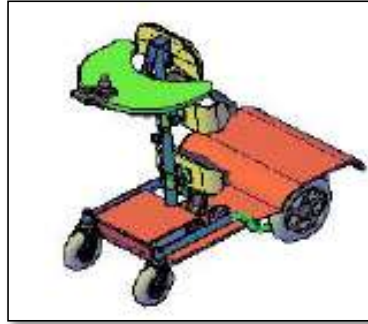


Figura 3. Bipedestador automático para niños

Fuente: (Aros & Aros, 2011)

2.1.4. Diseño e Implementación en FPGA de un Sistema de Control para bipedestador móvil, José Torres; Instituto Tecnológico La Paz, México, agosto 2015

En este documento de tesis se describe un dispositivo donde los terapeutas encargados de este proyecto especifican a usuarios como adultos con edad promedio de 30 años; la estructura exoesquelética presentada en la Figura 4, tiene una sujeción adecuada para el usuario, brindando un soporte en la transición sentado-parado para evitar accidentes graves; permite a la vez una mejoría en personas con debilidad muscular, logrando efectuar ejercicios para la relajación de los músculos con la ayuda del terapeuta. (Gómez, 2015)

Este diseño tiene como base dos actuadores lineales de 180lb; a la vez para el exoesqueleto tiene 4 encoders absolutos de 4096 pulsos, sujetos a un perfil tubular de una pulgada de diámetro. En el sistema eléctrico se usa 2 motores DC de 24 voltios, con sus respectivas baterías de 12 V de ciclo profundo. Para el sistema de control tiene una tarjeta Soc Zybo de Xilinx que se la puede programar en casi cualquier lenguaje utilizando herramientas bien desarrolladas para el control. (Gómez, 2015)



Figura 4. Prototipo de plataforma autobalanceada y exoesqueleto.

Fuente: (Gómez, 2015)

2.1.5. Diseño de un bipedestador ergonómico para un niño con parálisis cerebral distónica, Fernández Francisco, Engelberger Carlos y Sasseti Fernando; UNER Facultad de Ingeniería, septiembre 2014.

El documento de artículo científico presenta un diseño de bipedestador ergonómico para un niño con parálisis cerebral distónica, construido con un tipo de motor de corriente continua que consta de un sistema de transmisión de engranajes con una relación de 1:32, necesita un control de giro en dos sentidos utilizando una señal de corriente de 20A; implementando un circuito de potencia con un relé de capacidad necesaria. Para el mando se utiliza un tipo de control On-Off sobre un motor de elevación, a la vez acondicionados por los switch tipo fines de carrera ubicados de forma correcta en el equipo; el asiento tiene una inclinación de 3 a 4 grados por debajo de la horizontal (ver Figura 5). (Fernández- Engelberger & Sasseti, 2014)

Con este diseño se obtuvo un dispositivo potente en el campo de la rehabilitación y fisioterapia, con resultados que permiten al niño pasar de un estado sentado a parado por sí solo; mejorando sus movimientos musculares, fusionado con la postura, la tonificación y la elongación de los músculos.

También concede mejorar la circulación periférica y aumentar la densidad ósea. (Fernández- Engelberger & Sassetti, 2014)

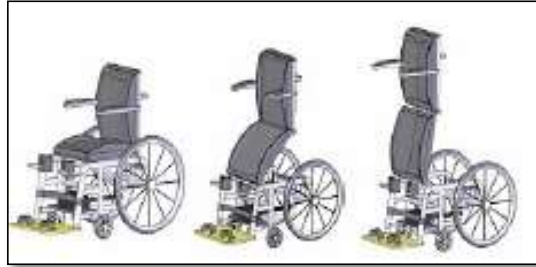


Figura 5. Bipedestador ergonómico para un niño con Parálisis Cerebral distónica

Fuente: (Fernández- Engelberger & Sassetti, 2014)

2.1.6. Bipedestación para niños con parálisis cerebral espástica, Carlos Andrés Quintero Diaztagle , Universidad Católica de Pereira , 2011

Este proyecto de tesis se realizó una propuesta de construcción de bipedestador mecánico para niños con parálisis cerebral espástica, el cual está compuesto de un sistema de posicionamiento mixto que se describe a continuación: el primer mecanismo corresponde al sedentario, permitiendo la sedestación y la bipedestación del niño; el sistema es impulsado por un gato hidráulico. El segundo sistema es el del espaldar vertical de rotación, y el tercer sistema es de mesa plegable de ajuste de rodillas, todas estas partes se pueden observar en la Figura 6. (Quintero Diaztagle, 2011)

Los materiales empleados para el diseño estructural de este bipedestador son de fácil manejo y modificación; en el bastidor se aplica aluminio, en las barras de soporte se utilizó hierro acerado, para el sentadero y la estructura del espaldar implementaron tubos de hierro curvados que facilitan la soldadura y soporta el peso del usuario; para el revestimiento del sistema tiene propileileno inyectado. (Quintero Diaztagle, 2011)



Figura 6. Propuesta Final

Fuente: (Quintero Diaztagle, 2011)

2.2. Bipedestación.

Se conoce que la bipedestación consiste en que la persona debe ponerse de pie con el fin de responder a constantes necesidades médicas (ver Figura 7), sociales o psicológicas. Cabe recalcar desde el nacimiento el estar de pie es de gran importancia ya que el ser humano está diseñado desde una temprana edad a obtener una postura bípeda desde los 9 meses aproximadamente. (Espejel, 2013)

Es considerada como una discapacidad que el ser humano no se encuentre de pie, esto viene a dar por causas musco-esqueléticas; considerando así que se encuentren demasiado tiempo sentadas en una silla de ruedas o a su vez en cama; causando muchos trastornos asociados a tener muy poca actividad y una sola posición. Si existen estos casos se recurre a fisioterapia, sabiendo que la bipedestación es primordial para lograr una rehabilitación. (Espejel, 2013)



Figura 7. Forma bipodal para rehabilitación

Fuente: (Kastola, 2012)

2.3. Tipos de bipedestación.

Existen tipos de bipedestación que facultan una mejor calidad de vida en el ser humano:

2.3.1. Bipedestación estática o fija

Esta forma bípoda permite obtener una postura de pie con una seguridad total gracias a apoyos anteriores y posteriores, consigue con un peso distribuido entre las extremidades inferiores; logrando un centro de gravedad del cuerpo alineado; se conoce al existir una línea imaginaria que da en la reacción del peso del cuerpo con el suelo; la línea se forma desde la cabeza del ser humano hasta la punta de los pies, cruzando así por el orificio occipital, pasando por la columna dorsal y termina en la articulación del tobillo (ver Figura 8). (Gómez, 2015)

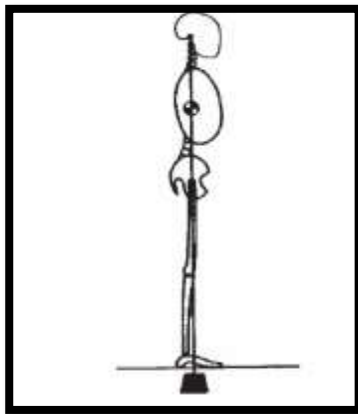


Figura 8. Equilibrio del cuerpo en Forma estática

Fuente: (Perry, 1992)

2.3.2. Bipedestación Dinámica

En esta forma bipedal se tiene la posibilidad de un control total en el nivel de bipedestación como se muestra en la Figura 9, pudiendo elegir el tiempo y la forma que desea tener el cuerpo. A la vez aprueba que exista estabilidad a nivel del tronco; concediendo que las personas sean capaces de mantener una forma estable en sus piernas, caderas y se puedan desplazar de un lado al otro. Teniendo una rehabilitación entretenida mediante el movimiento de vaivén desde un extremo al otro, permitiendo practicar deportes como ping pong y así el adulto mayor pueda ejercitarse acorde los métodos terapéuticos adecuados para él. (Gómez, 2015)



Figura 9. Bipedestación dinámica

Fuente: (Ayudas Dinámicas, 2013)

2.4. Importancia de la bipedestación.

Para el análisis de cuán importante es la bipedestación existen investigaciones médicas formadas por criterios en base a prácticas evidenciadas para tomar decisiones clínicas y rehabilitar con terapias. Aunque en la actualidad existen pocos estudios estadísticos, sabiendo la ayuda potencial para adultos mayores que se obtiene al estar de forma bípeda, sin embargo los bipedestadores se encuentran fuera del alcance de clínicas por su elevado costo; pues se defiende que al tener una postura bípeda desde temprana edad proporciona evitar algún tipo de discapacidad, también ayuda para personas que por su complejidad en edad no se puedan poner de pie por si solas, facultando una salud mejorada y estado de ánimo enorme. (P.G, 2008)

Según (P.G, 2008) “Una Buena postura bípeda ayuda a realizar actividades coordinadas más fácilmente. Por lo que se debe colocar en línea recta alineando oídos, hombros, caderas y tobillos; así podrá obtener los múltiples beneficios de permanecer de pie.”

2.5. Ergonomía

Ciencia que estudia la relación entre el individuo y los factores presentes en la realización de sus actividades. Además estudia la adaptación de las maquinas, muebles y utensilios a la persona que los emplea habitualmente, para lograr una mayor comodidad y eficacia.

Esta disciplina relaciona aspectos como la antropometría que se describe a continuación:

2.5.1. Antropometría

Estudia las dimensiones morfológicas del cuerpo humano. Se encarga de la medición de las variaciones de las medidas del cuerpo humano en sus diferentes etapas de crecimiento. (Giraldo Gomez, 2012)

2.5.1.1. Medidas antropométricas para el desarrollo de un sistema de bipedestación.

- **Anchura Pélvica**

Esta dimensión pertenece al ancho del asiento. Se determina midiendo el ancho de la cadera con el paciente sentado como se puede observar en la Figura 10. (Giraldo Gomez, 2012)

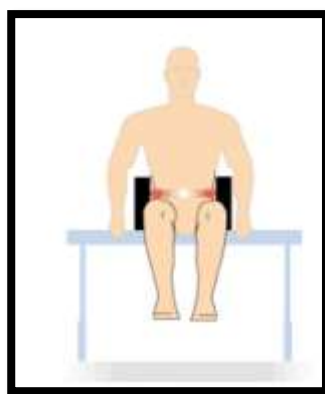


Figura 10. Anchura Pélvica

Fuente: (Giraldo Gomez, 2012)

- **Longitud del muslo**

Corresponde a la profundidad del asiento. Se realiza con la medición de la longitud de dos muslos para evitar problemas en medidas. Esta medida sirve para determinar la posición pélvica, la estabilidad y longitud total de la silla como se observa en la Figura 11. (Giraldo Gomez, 2012)



Figura 11. Longitud del muslo

Fuente: (Giraldo Gomez, 2012)

- **Longitud de la pantorrilla**

Corresponde a la longitud del reposapiés; es la longitud entre la flexura de la rodilla hasta el apoyo del talón en flexión, esta medida se observa en la Figura 12, si la medida es muy larga se produce una retroversión pélvica, si son cortos no se apoyan los muslos y el peso se distribuye en las tuberosidades isquiáticas y en el coxis provocando la formación escara. (Giraldo Gomez, 2012)



Figura 12. Longitud de la pantorrilla

Fuente: (Giraldo Gomez, 2012)

- **Altura del hombro**

Corresponde a la altura del espaldar del paciente con poco control del tronco como se muestra en la Figura 13, de esta medida depende la estabilidad escapular y de movilidad, el soporte torácico y lumbar, además se adiciona el control de la cabeza. (Giraldo Gomez, 2012)

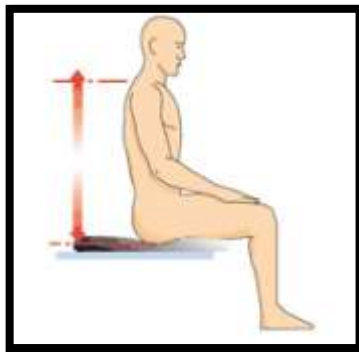


Figura 13. Altura del hombro

Fuente: (Giraldo Gomez, 2012)

Basándose en datos estadísticos se elaboran tablas que sirven a los diseñadores como referencia para el diseño de elementos

Por ejemplo, para las sillas sin brazos (ver Figura 14), según el diseñador Mario Dal Fabbro (Baliña, 2013), las dimensiones deben ser:

- La altura medida desde el suelo debe estar en torno a 43 -46 cm
- La profundidad del asiento debe estar en torno a los 43-46 cm. (Teniendo en cuenta que a una altura más baja la profundidad debe ser mayor y menor a una altura más alta)
- El ancho del asiento debe estar alrededor de los 45 cm como media y la altura del respaldo debe alcanzar los 95 y el asiento debe estar ligeramente inclinado hacia el fondo.

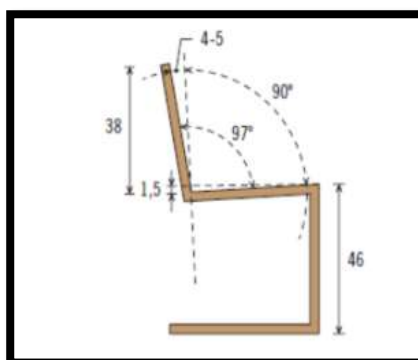


Figura 14. Esquema de dimensión según Mario Dall Fabbro

Fuente: (Baliña, 2013)

2.6. Reseña histórica del Hogar de Vida “Luis Maldonado Tamayo”

El Hogar de Vida “Luis Maldonado Tamayo” es una organización de ayuda social, ya que trabaja con Adultos Mayores y personas con discapacidad residentes y procedentes de otros países (ver Figura 15), se encuentra ubicado en el barrio “Isinche Grande” a pocos metros de la entrada al barrio la Gloria. Entró en funcionamiento el 1 de Diciembre del 2009, estuvo a cargo del Patronato Municipal de Amparo Social Niño de Isinche; iniciando con 9 Adultos mayores como usuarios albergados, recibiendo atención integral mediante la prevención, asistencia y rehabilitación para contribuir un envejecimiento saludable y una vejez satisfactoria en lo que se refiere a la atención. (Hinojosa, 2014)

En la actualidad es una casa de acogida que ha superado el límite de ingresos ya que el espacio es para 42 adultos mayores e individuos con discapacidad pero atienden a más de 48 personas desde el año 2012. Además tiene un centro diurno donde atiende a 10 usuarios, que les brindan una atención en cuanto a terapias de rehabilitación y cuidado mientras sus familias se encuentran ocupadas; los usuarios acuden a la institución de manera casi normal en el recorrido que la furgoneta realiza por sus domicilios. (Hinojosa, 2014)



Figura 15. Hogar de Vida "Luis Maldonado Tamayo"

Fuente: (Hinojosa, 2014)

2.7. Estado actual de la Geriátría de los Adultos Mayores del Hogar de Vida “Luis Maldonado Tamayo”

La evaluación geriátrica a los adultos mayores es diferente a la convencional porque es un grupo de riesgo por su edad avanzada que se encuentra en el punto de mira de algunas enfermedades y afecciones. Los adultos mayores presentan problemas de salud diferentes, a menudo más complejos, como múltiples enfermedades, que pueden requerir varios fármacos, fisioterapias y un estímulo en sus extremidades. (Besdine, 2017)

En este Hogar de Vida se presentan como más comunes las siguientes enfermedades:

2.7.1. Arterioesquelosis de las extremidades

Este síndrome está caracterizado por depósito de sustancias lípidas en paredes de arterias de mediano y grueso calibre. Provocando en los adultos mayores la disminución de flujo sanguíneo, dañando a los nervios y otros tejidos. Los problemas comunes por esta enfermedad se producen en las extremidades como las piernas o los pies y se sabe que la edad es uno de los factores de riesgo más importante. (Besdine, 2017)

2.7.2. Artrosis

Esta enfermedad es común más en mujeres que en hombres, llega a partir de los 75 años, usualmente todas las personas poseen artrosis en alguna articulación. La edad, el sedentarismo, la falta de ejercicio son factores que predisponen a sufrirla. Se trata de una degeneración en cartílagos articulares por el paso de los años, que desvuelven en dificultades de movilidad y dolor articular con los movimientos. En casos extremos cuando son adultos mayores y no existe cura con rehabilitación, se recurre a sustituir articulaciones por prótesis artificiales. (Kenilworth, 2017)

2.7.3. Artritis

Se produce al inflamarse una articulación, caracterizada por dolor, limitación a los movimientos de extremidades y causada por numerosas enfermedades con sus síndromes; se suele detectar pasando los 40 años, radiografías, sin que antes se haya presentado ningún síntoma. (Kenilworth, 2017)

2.7.4. Osteoporosis

Es una enfermedad donde disminuye la cantidad de minerales en los huesos, perdiendo fuerza de huesos trabecular reduciéndose la zona cortical por un defecto en la absorción el calcio, volviéndose quebradizos y susceptibles de fracturas. Es frecuente sobre todo en mujeres tras la menopausia debido a carencias hormonales, de calcio y vitaminas por malnutrición. Los ejercicios de bipedestal y la gimnasia para tercera edad son una manera de luchar contra la osteoporosis llevando una vida sana. (Besdine, 2017)

2.8. Experiencia según la voz de los profesionales en el Hogar de Vida “Luis Maldonado Tamayo”

Para el diseño es necesario conocer como uno de los argumentos la voz del usuario y de las personas encargadas de la rehabilitación en los Adultos mayores de la casa hogar, según el Dr. José Ramírez médico del lugar recomienda que el sistema a implementar debe ser seguro, confiable, con una manipulación fácil para el usuario y el terapeuta encargado. También recomienda tomar las medidas adecuadas de las extremidades del cuerpo e identificar a las personas adecuadas debido a sus condiciones físicas para utilizar el bipedestador.

La fisioterapeuta Jenny Pérez, define que si una persona pasa tiempo prolongado en cama, lleva muchas complicaciones que después es necesario tener adaptaciones de recuperar la forma vertical. Una de las complicaciones importantes es la hipotensión ortostática que aumenta de una forma frecuente el ritmo cardíaco y la respiración de forma muy rápida; con una sensación de mareo, por ende recomienda que el bipedestador sea adaptable al usuario.

2.9. Materiales utilizados en la construcción de sistemas de bipedestación

En la construcción de sólidos existe una diversa cantidad de materiales con función resistente. Su empleo se logra desde materiales comunes que se encuentran en la naturaleza como la piedra o madera, hasta los modernos elaborados por el ser humano, como: acero, aluminio y aleaciones metálicas. En estructuras industriales se usa materiales como acero y hormigón. A continuación se presenta los más comunes por sus características y su resistividad:

2.9.1. Acero A36

Ampliamente recomendado para diseñar y construir estructuras, posee las siguientes características:

- Fácil soldabilidad.
- Módulo de elasticidad $20,7 \times 10^4$ Mpa
- Módulo de Cizalla dura $8,3 \times 10^4$
- Esfuerzo a la fluencia 36 Ksi (250 Mpa).
- Esfuerzo último 50 - 80 Ksi (400-550 Mpa).

Las aplicaciones más comunes es en la construcción, y el moldeo en perfiles y láminas, usadas en edificios, láminas plegables usadas para techos y pisos. (Callister, 2007)

2.9.2. Aluminio

Es usado en todo el mundo para moldes de inyección y soplado, construcción de estructuras de aeronaves, como las alas, en piezas de automóviles, en la manufactura elaboración de latas. Es fácil de maquinar y resistente a la corrosión, pero se debe tener un molde para realizar cualquier tipo de pieza (Callister, 2007). Posee las siguientes características.

- Soldabilidad mediante gas inerte (TIG O MIG)
- Módulo de elasticidad $6,9 \times 10^4$ Mpa
- Módulo de cizalla dura $2,6 \times 10^4$

2.10. Actuadores utilizados en la construcción del bipedestador

Se denomina actuadores a los componentes que pueden transmitir la energía necesaria para mover un sistema en forma rotacional o lineal. Los más utilizados en este caso son los cilindros y motores DC que se describe a continuación:

- **Cilindros eléctricos**

Para el funcionamiento de este pistón es necesario energizar los bordes correspondientes para que el motor actúe en dirección apropiada. Prácticamente no hay restricciones respecto a la distancia entre la fuente de poder y el cilindro eléctrico. Pueden soportar cargas pesadas, tienen excelente comportamiento dinámico, gran precisión y configurables de manera individual. Para que funcione este cilindro se debe considerar las conexiones de fuerza, señales de límites de carrera y torque, señales análogas o digitales. (Sánchez, 2008)

- **Cilindros neumáticos**

Son de mayor antigüedad, para su funcionamiento se debe conectar aire comprimido a uno de los lados del embolo; el torque que genera es directamente proporcional a la presión de la aire comprimido, pero depende de su diseño para para que sea variable. Puede ser insertado fácilmente en cualquier posición, su accionamiento es de forma mecánica y sus características constructivas implican que tenga mayor rendimiento, larga vida y bajo costo de mantenimiento. (Enriquez, 2011)

- **Motor eléctrico de imanes permanentes**

Los motores de imán permanente dentro de la tecnología de motores eléctrico es un desarrollo innovador, tiene una velocidad de operación y par controlado a todas las velocidades; tiene alta relación de potencia sobre peso y par sobre inercia. Tiene par electromagnético suave, mejorando el control de las armónicas lo que disminuye las pulsaciones del torque. Tiene un diseño compacto con alto rendimiento y factor de potencia. (ABB, 2008)

- **Servomotores**

Un servomotor está conformado por un motor, una caja reductora y un circuito de control. Tiene un consumo de energía reducido, hoy en día los servomotores pueden ser controlados su posición y velocidad en los 360 grados. Su costo es elevado, de diseño con tamaño pequeño; para su funcionamiento recibe impulsos de entrada y ubica así al motor en su nueva posición dependiendo de los pulsos recibidos. (García, 2016)

2.11. Baterías utilizadas en la construcción del bipedestador

Las baterías se presentan en muchas formas y tamaños, constituidas de celdas en miniatura hasta lograr grandes escalas, utilizadas en maquinaria industrial; a continuación se presentan los siguientes tipos:

- **Baterías de ciclo profundo de Gel**

Para eliminar la necesidad de agregar agua a las baterías, existen las baterías del gel. Son más seguras, tolerantes a las vibraciones y soportan abusos con descargas profundas sin daño. La tensión de carga está regulada cuidadosamente; además se puede cargar rápidamente y requiere menos energía para recargar completamente; mantienen un voltaje más alto mientras se descargan, los aparatos de D.C trabajan mejor; producen menos gas de hidrogeno al cargar, a la vez no necesitan mantenimiento y tienen una vida de 350-500 ciclos; se configuran en campos de 6 voltios, 12 voltios, 24 voltios y 48 voltios. (Cavasassi, 2016)

- **Baterías del ciclo profundo de Ácido**

Las baterías de ciclo profundo de ácido son capaces de soportar 350-700 ciclos completos si están mantenidas correctamente. Estas baterías vienen generalmente de campos de la energía industrial y se configuran en campos de 2 voltios, 6 voltios, o 12 voltios. Estas baterías deben tener mantenimiento agregando agua periódicamente, en especial cuando las baterías envejecen. Sustancialmente su costo es mucho menos que el de baterías de gel. (Cavasassi, 2016)

2.12. Revestimientos utilizados en el bipedestador

- **Polipiel**

Es un material artificial para diversos usos como la tapicería o decoración del hogar. Se encuentra en todo tipo: metalizado, elástico, con aspecto granulado, con distintos relieves. La polipiel está compuesta por fibras sintéticas como poliéster recubiertas de una o varias capas de polímero por

inducción, forro o encolado para darle una apariencia de cuero que resulte difícil distinguir del cuero verdadero. Presenta características de elevada elasticidad, resistencia al uso, a la abrasión y una micro-porosidad adecuada. Es un material lavable y puede ser limpiado en seco. (CASALS, 2013)

- **Piel natural**

Es un material caro, resistente y más delicado de mantener, pues absorbe rápidamente las manchas al no llevar protección, es de color uniforme y calidad extrema. Posee un grosor entre 1 y 2 cm; sus propiedades de transpiración y flexibilidad permiten un nivel de confort al 100%. (CASALS, 2013)

2.13. Controladores

Para lograr una adecuada selección de control para los motores del bipedestador, es necesario establecer las distintas características que tiene cada sistema disponible en el mercado, que a continuación daremos a conocer.

- **Tarjeta Soc Zybo de Xilinx**

También considerado como una plataforma de desarrollo de circuitos digitales y de software incorporado, lleno de funciones y de fácil acceso, cuando se combina con conjunto de periféricos multimedia y de conectividad disponible en el Zybo, puede alojar un diseño de sistema completo. Esta tarjeta tiene un sistema integrado con diferentes entradas y plataformas de desarrollo de circuitos digitales sobre la Z-7010 de Xilinx, conformada con una arquitectura AP Soc con procesador ARM Cortex-A9 dual-core de 650 MHz y Fpga Xilinx serie 7. (SUCONEL, 2017)

- **Palanca de control Joystick**

Esta palanca es la encargada de regular la electricidad y velocidad del sistema; posee controles internos como: VR2, VSI o con tarjetas S-DRIVE.

Permite girar el bipedestador de un lado al otro, siendo controlado correctamente; tiene 2 conectores Anderson con una R para el motor derecho y una L para el motor izquierda los cuales son los encargados de controlar el freno y el mando del motor, adicional a estos dos cables posee uno para la alimentación de las baterías al sistema.. (DYNAMIC, 1998)

- **Tarjeta Raspberry**

Esta es una tarjeta que actúa en el control de motores DC o motor paso a paso. Es una gran opción de movilidad para robots; consta de un circuito multiprotección, proporcionando una estabilidad excelente, su voltaje de entrada es de 7 a 40 V y su corriente de salida llega hasta 5 A; está constituido de dos pines de salida, uno para direccionar y otro para controlar la velocidad. Su programación permite controlar otros aspectos del sistema como: la temperatura, el voltaje y las frecuencias ultrasónicas que permite el funcionamiento de los motores más silenciosos; es muy poco didáctica al momento de su uso. (BricoGeek, 2016)

2.14. Sistema de transmisión.

- **Reductores con sistema de tornillo sin fin y corona**

Es el más comercial, tiene un bajo rendimiento para la transmisión y la pérdida de tiempo entre ciclos, tiene un atoramiento que se debe a la fuerza de fricción entre las roscas del sin fin y los dientes de la corona; esto depende mucho del ángulo de avance. (Márquez, 2009)

- **Reductores de engranajes**

Es un sistema muy frecuente para la transmisión de movimientos de árboles de ejes paralelos, tienen un alto rendimiento para la transmisión y su bajo costo en mantenimiento, presentan costes de instalación muy elevados y un excesivo nivel de ruido. (Márquez, 2009)

2.15. Línea base del beneficiario

El proyecto a desarrollar busca procurar que los adultos mayores puedan movilizarse a pesar de problemas con sus extremidades inferiores, permitiendo realizar sus terapias continuamente y sin mucho esfuerzo muscular de los fisioterapeutas. El bipedestador será utilizado en la ciudad de Pujili, en un Hogar de Vida. Dicho centro cuenta con 53 usuarios, de los cuales 15 requieren del bipedestador.

Es necesario realizar una recolección exhaustiva de datos en el área, para lo cual es necesario establecer objetivos (ver Tabla 1) con el fin de obtener medidas, tipos de enfermedades y un amplio conversatorio con los usuarios para despejar todo tipo de dudas y lograr obtener su opinión del equipo.

Tabla 1.

Formulación de objetivos

Objetivos	Indicativo	Datos
Definir la cantidad de usuarios que usen el bipedestador	Número exacto de usuarios	Se encuentra un total de 15 usuarios con la factibilidad para el uso del bipedestador
	Tiempo de usos de cada usuario	Según Jenny Pérez la fisioterapeuta recomienda un tiempo de uso de 1 hora por cada usuario.
Definir enfermedades comunes de los usuarios	Causas que ocasionan las más de los	En el Capítulo 2, literal 2.7 describe las enfermedades más comunes que en si afectan al deterioro de los huesos.

Continua 

	Frecuencia de las afectaciones	Las diferentes enfermedades se van presentando a partir de los 65 años con una frecuencia de cada año va disminuyendo más la cantidad de minerales en los huesos.
	Forma de su movilización	En este momento para movilizarse los adultos mayores lo hacen mediante sillas de ruedas poco seguras y otros deben ser trasladados por los fisioterapeutas.
Definir las medidas correspondientes de las extremidades para la construcción del bipedestador	Corroborar información ergonómica	En el Anexo 3, se obtiene las medidas principales tomando como dato las medidas mayores que serán utilizadas en el diseño.
	Obtener un peso estándar a soportar del bipedestador	El peso obtenido es de 72 Kg obtenidos de datos de la Casa Hogar.
	Tipo de bipedestador con mayor factibilidad	Según el Doctor José Ramírez el sistema más factible será un tipo silla por motivo de seguridad para los usuarios
Definir los ejercicios mayormente comunes en los usuarios	Procedimiento para facilitar los ejercicios	Entre los ejercicios comunes se encuentra que es necesaria la movilidad de las extremidades inferiores, dando facilidad a que cada ejercicio se pueda ejecutar en el tiempo estimado de 15 minutos.
	Factibilidad del fisioterapeuta con el usuario	El usuario podrá estar de forma bipodal sin la necesidad que otra persona lo levante.

En la tabla anterior se determina una investigación de campo necesaria con todos los datos a usar, realizando una recopilación adecuada; siendo el universo los adultos mayores que necesitan moverse con el bipedestador. Para obtener toda la información se realizó un conversatorio conjuntamente con el especialista y la fisioterapeuta donde se despejaron las dudas necesarias del diseño factible, permitiendo una rehabilitación tanto física como psicológica y dejando un lado el sedentarismo.

2.16. Análisis de alternativas

Al culminar la investigación en el estado de arte, se puede obtener alternativas de solución como: bipedestador tipo silla, bipedestador de correas y bipedestador tipo grúa.

El sistema empleado comúnmente para adultos mayores es un bipedestador tipo silla donde se tomarán en cuenta varios parámetros entre ellos: el material que se utiliza para la estructura es tubular de Acero de construcción; el dispositivo será de tipo dinámico, el cual se ejecutará desde una posición sentada hasta lograr una posición bípeda; para ejecutar el movimiento de bipedestación se deberá bloquear totalmente, asegurar al usuario, sujetar los tobillos, rodillas, cadera y si es necesario la cabeza.

Cuando el adulto mayor esté totalmente seguro se procederá a elevarlo; controlando la velocidad y aceleración del movimiento del bipedestador; una vez alcanzada la posición bípeda de la persona, se activará la función movilidad; direccionando y desplazando el sistema; para regresar a la posición inicial del adulto mayor de igual manera se bloqueará el dispositivo y el mecanismo de elevación servirá como descenso a la vez.

El pistón será eléctrico, en cuanto se refiere a motores son servos, con sus respectivas baterías; para el control del sistema la mayoría de casos, se utiliza joystick o a la vez tarjetas controladas y si es necesario un revestimiento para la estructura se utilizará el material de polipiel.

Al recopilar la información necesaria tanto de los profesionales como del usuario, se establece parámetros para el diseño y construcción del bipedestador como su estatura máxima que es 159,5 cm.; con un peso promedio de 72 Kg.; longitud de la pantorrilla 40 cm.; longitud del muslo 47cm.; altura del espaldar 60cm.; sabiendo que la estructura debe ser liviana, con una proyección a nuevos usuarios en un futuro. Es necesario de manera progresiva lograr una posición bipodal, teniendo como parámetro fundamental la seguridad tanto en sus soportes y al momento de moverse; identificando así las zonas más críticas para asegurar.

CAPITULO III

DISEÑO Y SELECCIÓN DE MATERIALES

3.1. Parámetros del diseño.

Partiendo de la alternativa de solución, se analizará los parámetros más adecuados, tomando en cuenta la investigación realizada Capítulo II donde se tiene lo siguiente:

3.1.1. Peso a soportar el sistema de bipedestación

El sistema está diseñado para soportar una carga de 100 Kg, de acuerdo a los datos obtenidos en la Casa Hogar, el peso más relevante es de 158 lb que equivalen a 71,82Kg (Ver Anexo 1). Como se mencionó en el capítulo II literal 2.8, el hogar de vida acoge a adultos mayores residentes de otros países, por la cual se tomó valores de referencia de la tabla proporcionada por la organización Mundial de la salud (OMS) donde el peso más crítico es de 81 Kg (Ver Anexo 2), además de ellos se consideró un dato muy importante que se obtuvo en la investigación según (ENSANUT-ECU, 2014) el 59 % de adultos mayores sufren de sobrepeso y obesidad.

Para el diseño del sistema se tomará los valores más críticos es decir el valor del peso de una persona obesa, según la OMS para el cálculo del Índice de Masa Corporal IMC que nos muestra si la persona es o no obesa se da mediante la fórmula de masa corporal que se presenta:

$$IMC = \frac{masa(Kg)}{estatura(m^2)} \quad \leftrightarrow \quad Ec. 1$$

Cuando el IMC tiene un valor ≥ 25 es un peso ideal

Cuando el IMC tiene un valor ≥ 30 se considera como obesidad leve

Como se quiere determinar el valor del peso en condiciones extremas se reemplazara en la ecuación la estatura promedio que es de 1.80 m y el IMC con un valor de 30.

$$30 = \frac{\text{masa}(Kg)}{(1.80 * 1.80)m^2}$$

$$\text{masa}(Kg) = 30 * (1.80 * 1.80)m^2$$

$$\text{masa}(Kg) = 97,20Kg \approx 100Kg$$

Dándonos como resultado 97,20 Kg que debe soportar el sistema de bipedestación, pero para facilidad de cálculos se aproximara este valor a 100 Kg.

3.1.2. Material de la estructura.

Después del desarrollo del estado del arte, se realizó cuadros comparativos para seleccionar los parámetros de diseño correctos.

Para armar dichas tablas se dará valores desde 0% al 100% de acuerdo a la importancia de cada parámetro, después se ponderara del 1 al 10 siendo 1 el valor más bajo y 10 el valor más alto; estos valores será dado de acuerdo a la investigación que se realizó en el Capítulo II. Luego de dar las ponderaciones respectivas se procederá a ubicar el valor del porcentaje multiplicado por el valor dado, al final de la columna se realizara la sumatoria de cada opción, el valor más alto será la solución óptima.

Tabla 2.

Tipos de material para sistemas de bipedestación.

Elementos de Evaluación	Porcentaje	Acero A36		Aluminio 6061	
		Valor	Total	Valor	Total
Costo menor	20%	9	1.8	8	1.6
Resistencia a la tracción	20%	8	1.60	6	1.2

Elasticidad	15%	8	1.2	5	0.75
Resistencia	15%	8	1.2	6	0.9
Dureza	15%	8	1.2	6	0.9
reciclable	15%	8	1.2	6	0.9
TOTAL	100%		8,2		7,15

De acuerdo a la tabla 2, se determinó que el material a utilizar será el acero A36, debido a su resistencia superior a la del aluminio, permitiendo que el sistema sea más rígido y de fácil construcción.

3.1.3. Mecanismo de elevación y descenso

Tabla 3.

Tipos de Mecanismo de elevación y descenso

Elementos de Evaluación	Porcentaje	Cilindro Neumático		Cilindro Eléctricos	
		Valor	Total	Valor	Total
Costo menor	30%	9	2.7	7	2.1
Precisión	20%	5	1	9	1.8
Facilidad de control	15%	6	0.9	8	1.2
Nivel bajo de ruido	15%	4	0.6	8	1.2
Fiabilidad	10%	6	0.6	9	0.9
Instalación especial	10%	8	0.8	4	0.4
TOTAL	100%		6,6		7,6

De acuerdo a la tabla 3, se determinó que el actuador adecuado, es un eléctrico ya que no es necesario aumentar un sistema de alimentación adicional.

3.1.4. Tipos de motores

Tabla 4.

Estudio de Motores

Elementos de Evaluación	Porcentaje	Servomotores		Motor eléctrico de imanes permanentes	
		Valor	Total	Valor	Total
Costo menor	20%	9	1.8	7	1.4
Precisión alta	20%	8	1.6	9	1.8
Alto torque	15%	7	1.05	7	1.05
Baja velocidad	10%	7	0.70	7	0.8
Control de giro	15%	8	1.2	6	0.9
Facilidad de control	10%	8	0.8	6	0.6
Fijación en una posición	10%	8	0.8	6	0.6
TOTAL	100%		7,95		7,15

De acuerdo a la tabla 4, se determinó que el motor adecuado, es un servomotor ya que su costo es menor y un torque alto.

3.1.5. Controlador

Tabla 5.

Estudio del controlador

Elementos de Evaluación	Porcentaje	Tarjeta Soc Zybo de Xilinx		Palanca de control Joystick		Tarjeta Raspberry	
		Valor	Total	Valor	Total	Valor	Total
Costo menor	20%	5	1.0	9	1.8	6	1.2
Precisión alta	20%	8	1.6	7	1.4	8	1.6
Calidad de control	15%	8	1.2	8	1.2	8	1.2
Tecnología	10%	9	0.90	7	0.7	9	0.90
Facilidad de uso	15%	6	0.9	8	1.2	7	1.05
Facilidad de programación	20%	5	1	9	1.8	7	1.40
TOTAL	100		6,60		8.1		7.35

De acuerdo a la tabla 5, se determinó que el control Joystick, es adecuado para el bipedestador ya que es de fácil uso y un costo mucho menor.

3.1.6. Revestimiento

Tabla 6.

Estudio de revestimientos

Elementos de Evaluación	Porcentaje	Polipiel		Piel Natural	
		Valor	Total	Valor	Total
Costo menor	30%	9	2.7	5	1.5
Calidad del material	20%	6	1.2	8	1.6
Confortabilidad al usuario	15%	7	1.05	8	1.2
Poca afectación al Medio Ambiente	20%	8	1.6	3	0.6
Facilidad de limpieza	15%	8	1.2	4	0.6
TOTAL	100%		7.75		5.5

De acuerdo a la tabla 6, como revestimiento se utilizara la polipiel ya que es de costo menor y para su limpieza es fácil, si existen manchas.

3.1.7. Baterías

Tabla 7.

Estudio de Baterías

Elementos de Evaluación	Porcentaje	Baterías de ciclo profundo de Gel		Baterías de ciclo profundo de Acido	
		Valor	Total	Valor	Total
Costo menor	30%	5	1.5	9	2.7
Soportar vibraciones	20%	9	1.8	5	1.0
Soportar abusos de descargas	15%	9	1.35	6	0.9
Poco mantenimiento	20%	8	1.6	3	0.6
Tensión de carga regulada	15%	8	1.2	7	1.05
TOTAL	100%		7,45		6,25

De acuerdo a la tabla 7, las baterías de gel son las mayormente recomendadas, ya que soportan abusos de descargas abruptas y vibraciones altas.

3.2.8. Sistema de transmisión.

Tabla 8.

Estudio del sistema de transmisión

Elementos de Evaluación	Porcentaje	Sistema de transmisión por engranajes		Sistema de transmisión de tornillo sin fin y corona	
		Valor	Total	Valor	Total
Costo menor	30%	5	1.5	8	2.4
Eficiencia de transmisión	40%	10	4	6	1.6
Bajo Mantenimiento	15%	4	0.6	5	0.75
Costos de instalacion	15%	4	0.6	5	0.75
TOTAL	100%		6,7		5.5

De acuerdo a la tabla 8, el sistema de transmisión por engranajes son los ideales, debido a su eficiencia de transmisión alta.

3.2.9. Dimensiones del sistema de bipedestación.

Con la ayuda de la Fisioterapeuta se toma medidas de interés a los adultos mayores de la casa hogar "Luis Maldonado Tamayo" obteniendo los resultados siguientes.

- **Anchura Pélvica**

Esta medida se obtuvo mediante la recomendación del Anexo 4, donde nos indica que esta longitud puede estar en un rango de 65 cm y 70cm cabe resaltar que estas medidas son para una silla manual, donde recomiendan

éstas mediciones para que la persona puede alcanzar con sus manos las ruedas y movilizarse, como el sistema que se realizara es automático y no es necesario que la persona realice dicho proceso se ha elegido un valor de 60 cm., como se muestra en la Figura 16.

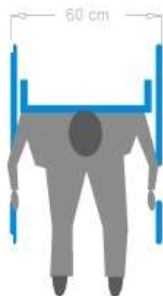


Figura 16. Anchura Pélvica

- **Longitud total de la silla.**

Esta medida se obtuvo mediante el Anexo 4, donde nos indica la longitud aproximada de 1.21m., como se muestra en la Figura 17.



Figura 17. Longitud total de la silla

- **Longitud del muslo.**

De acuerdo al Anexo 3, se obtiene una medida máxima de 47 cm., desde la espina anterior superior de la rodilla hasta la cresta iliaca anterior superior como se muestra en la Figura 18.



Figura 18. Longitud del muslo

- **Longitud de la pantorrilla.**

De acuerdo al Anexo 3, se obtiene una medida máxima de 40 cm., desde el maléolo externo hasta la espina anterior superior de la rodilla como se muestra en la Figura 19.



Figura 19. Longitud de la pantorrilla

- **Altura del Espaldar.**

De acuerdo al Anexo 3, se obtiene una medida máxima de 60 cm., como se muestra en la Figura 20.



Figura 20. Altura del hombro

3.2.10. Desarrollo de la estructura del sistema de bipedestación

- **Base principal**

El diseño de la estructura de la base principal se realizó a partir de diferentes modelos comunes existentes en el mercado.

En el Modelo 1 que se presenta en la Figura 21, se puede observar que la base principal tiene una forma de L, dentro del criterio de distribución de esfuerzos la barra ubicada verticalmente está sometida a pandearse si los elementos estructurales no son bien seleccionados, además en caso de fallar el sistema de elevación podría ocurrir algún accidente.



Figura 21. Base principal

Fuente: (GÓMEZ, 2012)

En el modelo 2 que se presenta en la Figura 22, la base principal tiene 3 eslabones donde el esfuerzo principal se ubica en un punto de ellos distribuyendo así la carga a los demás elementos.



Figura 22. Base principal

Fuente: (CHILE, 2014)

En el modelo 3 que se presenta en la Figura 23, es el habitual en la mayoría de sillas de ruedas, consta de 4 eslabones, la fuerza aplicada es en toda la longitud de la barra, esta distribución de elementos brinda mayor estabilidad y los esfuerzos se distribuyen en las 4 barras además si el sistema de elevación llega a fallar tendrá donde apoyarse y no se caerá.



Figura 23. Base principal

Fuente: (GEREATRIA, 2015)

Para el diseño de la base principal se elige el modelo 3 debido a su distribución de esfuerzos en su estructura de 4 barras, su manera fácil de armar.

- **Apoya pies**

El modelo 1 y 3 poseen el mismo sistema de apoya pies, el soporte es individual para cada pie, además son removibles y están unidos a la bases principal y se ayudan con un eslabón, formando un triángulo para mejorar la distribución de esfuerzos. El modelo 2 posee un apoya pies en forma de cuadrado con divisiones en él, brinda menor concentración de esfuerzos, está unida a la base principal.

Para el diseño se elige la opción 2, además se ubicara una barra más como se observa en el modelo 1 para así formar un triángulo y mejorar la distribución de esfuerzos.

- **Asiento móvil**

Según la investigación realizada la mayoría de sistemas de bipedestación se basan en un mecanismo de 4 barras como se observa en la Figura 24, donde la barra 1 será el pistón, la barra 2 el asiento donde se ubicara el adulto mayor (longitud del muslo) y la barra 3 corresponde a la longitud de la pantorrilla de la persona.

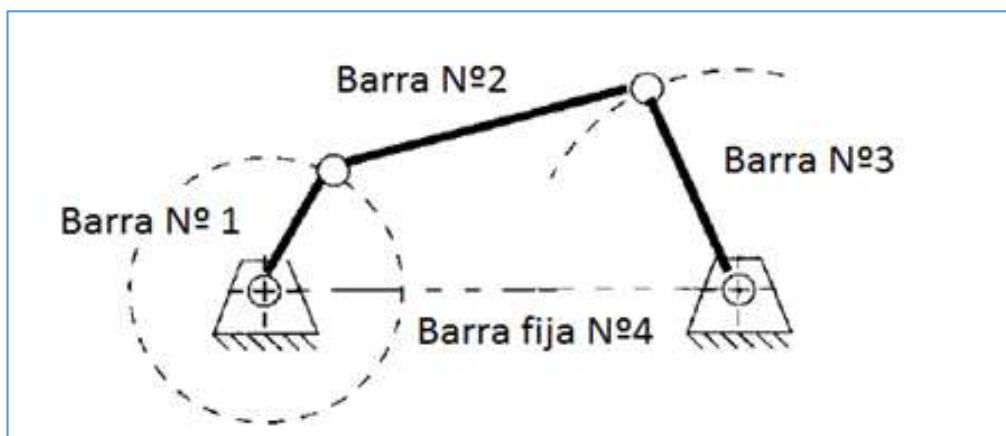


Figura 24. Función del mecanismo de 4 barras

3.2. Análisis Cinemático

a) Análisis manual de posición del mecanismo del bipedestador

Para el análisis del sistema se procede a identificar como mecanismo de 4 barras, donde se conoce los siguientes parámetros:

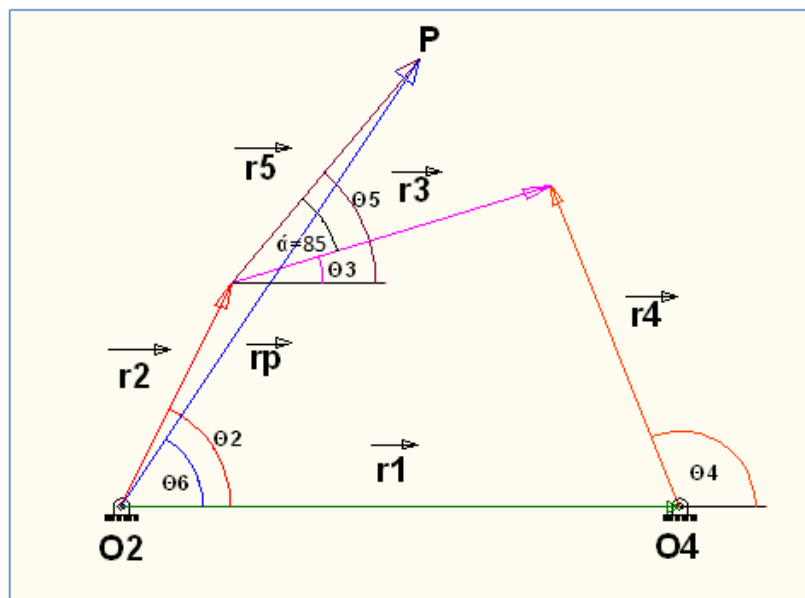


Figura 25. Mecanismo de 4 barras

Datos de eslabones con sus unidades:

$$r_1 = 465,03 \text{ mm (Bastidor)}$$

$$r_2 = 100 \text{ mm (Impulsor)}$$

$$r_3 = 225,24 \text{ mm (Acoplador)}$$

$$r_4 = 383,59 \text{ mm (Seguidor)}$$

$$r_5 = 200 \text{ mm (Barra Soldada al Acplador)}$$

$$\alpha = 90^\circ.$$

$$\theta_2 = 0 \dots 90^\circ. \text{ y } \Delta\theta_2 = 5^\circ, \theta_5 = \theta_3 + \alpha.$$

Teniendo valores por conocer como:

$$\theta_5 = ?, \theta_4 = ?, r_b = ? \text{ y } \theta_6 = ?.$$

$$r_1 + r_3 = r_2 + r_4 \quad \rightarrow \text{Ec. 2}$$

$$r_2 + r_5 = r_P \leftrightarrow \text{Ec. 3.}$$

Sabiendo que la ecuación de Euler es:

$$r = r e^{\theta} \rightarrow \text{Ec. 4}$$

$$e^{i\theta} = \cos(\theta) + i \operatorname{sen}(\theta)$$

$$\begin{aligned} r_1(\cos(\theta_1) + i \operatorname{sen}(\theta_1)) + r_3(\cos(\theta_3) + i \operatorname{sen}(\theta_3)) \\ = r_2(\cos(\theta_2) + i \operatorname{sen}(\theta_2)) + r_4(\cos(\theta_4) + i \operatorname{sen}(\theta_4)) \end{aligned}$$

Separamos las ecuaciones entre:

$$r_1 \cos(\theta_1) + r_3 \cos(\theta_3) = r_2 \cos(\theta_2) + r_4 \cos(\theta_4) \rightarrow (\text{Real}, \theta_1 = 0)$$

$$r_1 \operatorname{sen}(\theta_1) + r_3 \operatorname{sen}(\theta_3) = r_2 \operatorname{sen}(\theta_2) + r_4 \operatorname{sen}(\theta_4) \rightarrow (\text{Imag. } \theta_1 = 0)$$

Procedemos a la resolución de las ecuaciones:

$$(r_3 \cos \theta_3)^2 = (r_1 + r_4 \cos \theta_4 - r_2 \cos \theta_2)^2 \quad (3).$$

$$(r_3 \sin \theta_3)^2 = (r_4 \sin \theta_4 - r_2 \sin \theta_2)^2 \quad (4).$$

Elevamos al cuadrado y sumamos la ecuación (3) y (4)

$$r_3^2[(\cos \theta_3)^2 + (\sin \theta_3)^2] = (r_1 + r_4 \cos \theta_4 - r_2 \cos \theta_2)^2 + (r_4 \sin \theta_4 - r_2 \sin \theta_2)^2.$$

$$\begin{aligned} r_3^2 = r_1^2 + r_4^2(\cos \theta_4)^2 + r_2^2(\cos \theta_2)^2 + 2r_1r_4 \cos \theta_4 - 2r_1r_2 \cos \theta_2 \\ - 2r_2r_4 \cos \theta_4 \cos \theta_2 + r_4^2(\sin \theta_4)^2 - 2r_2r_4 \sin \theta_2 \sin \theta_4 + r_2^2(\sin \theta_2)^2. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_3^2 = r_1^2 + r_4^2 + r_2^2 + 2r_1r_4 \cos \theta_4 - 2r_1r_2 \cos \theta_2 - 2r_2r_4(\cos \theta_2 \cos \theta_4 \\ + \sin \theta_2 \sin \theta_4). \end{aligned}$$

$$r_1^2 + r_2^2 - r_3^2 + r_4^2 + 2r_1r_4 \cos \theta_4 - 2r_1r_2 \cos \theta_2 = 2r_2r_4 \cos(\theta_2 - \theta_4).$$

$$\frac{r_1^2 + r_2^2 - r_3^2 + r_4^2}{2r_2r_4} + \frac{2r_1r_4 \cos \theta_4}{2r_1r_4} - \frac{2r_1r_2 \cos \theta_2}{2r_2r_4} = \cos(\theta_2 - \theta_4).$$

$$\frac{r_1^2 + r_2^2 - r_3^2 + r_4^2}{2r_2r_4} + \frac{r_1 \cos \theta_4}{r_2} - \frac{r_1 \cos \theta_2}{r_4} = \cos(\theta_2 - \theta_4).$$

A continuación se procede a utilizar la ecuación de Freudenstein para la resolución del mecanismo

$$k_1 = \frac{r_1}{r_4} ; k_2 = \frac{r_1}{r_2} ; k_3 = \frac{r_1^2 + r_2^2 - r_3^2 + r_4^2}{2r_2r_4}$$

Reemplazando valores se tiene:

$$k_1 = \frac{465,03}{383,59} = 1,21 \text{ mm} ; k_2 = \frac{465,03}{100} = 4,65 \text{ mm}$$

$$k3 = \frac{(465,03)^2 + (100)^2 - (225,24)^2 + (383,59)^2}{2(100)(383,59)} = 4,20mm$$

Se presenta la ecuación de Freudenstein a continuación:

$$k3 + k2 \cos \theta4 - k1 \cos \theta2 = \cos(\theta2 - \theta4). \leftrightarrow Ec. 5.$$

$$k3 + k2 \cos \theta4 - k1 \cos \theta2 = \cos \theta2 \cos \theta4 + \sin \theta2 \sin \theta4.$$

$$\cos \theta4 = \frac{1 - \left(\tan \frac{\theta4}{2}\right)^2}{1 + \left(\tan \frac{\theta4}{2}\right)^2} ; \quad \sin \theta4 = \frac{2 \left(\tan \frac{\theta4}{2}\right)}{1 + \left(\tan \frac{\theta4}{2}\right)^2}$$

$$k3 - k1 \cos \theta2 = \cos \theta4 (\cos \theta2 - k2) + \sin \theta2 \sin \theta4.$$

$$k3 - k1 \cos \theta2 = \frac{1 - \left(\tan \frac{\theta4}{2}\right)^2}{1 + \left(\tan \frac{\theta4}{2}\right)^2} (\cos \theta2 - k2) + \sin \theta2 \left(\frac{2 \left(\tan \frac{\theta4}{2}\right)}{1 + \left(\tan \frac{\theta4}{2}\right)^2} \right).$$

$$k3 - k1 \cos \theta2 = \frac{(\cos \theta2 - k2) \left(1 - \left(\tan \frac{\theta4}{2}\right)^2\right) + \sin \theta2 \left(2 \left(\tan \frac{\theta4}{2}\right)\right)}{1 + \left(\tan \frac{\theta4}{2}\right)^2}.$$

$$x = \tan \frac{\theta4}{2}.$$

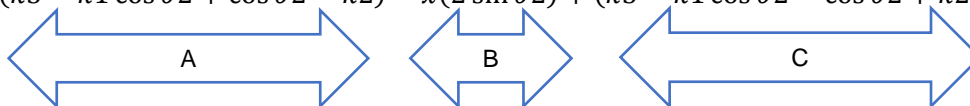
$$k3 - k1 \cos \theta2 = \frac{(\cos \theta2 - k2)(1 - x^2) + \sin \theta2 (2x)}{1 + x^2}.$$

$$(k3 - k1 \cos \theta2)(1 + x^2) = (\cos \theta2 - k2)(1 - x^2) + \sin \theta2 (2x).$$

$$k3 - k1 \cos \theta2 + x^2 k3 - x^2 k1 \cos \theta2 = 2x \sin \theta2 + \cos \theta2 - k2 - x^2 \cos \theta2 + x^2 k2.$$

En la siguiente ecuación se procede a remplazar con las letras A, B, C para agilizar la resolución de la misma:

$$x^2(k3 - k1 \cos \theta2 + \cos \theta2 - k2) - x(2 \sin \theta2) + (k3 - k1 \cos \theta2 - \cos \theta2 + k2) = 0.$$



$$A = (k3 - k1 \cos \theta2 + \cos \theta2 - k2).$$

$$B = -(2 \sin \theta2).$$

$$C = (k3 - k1 \cos \theta2 - \cos \theta2 + k2).$$

Se procede al reemplazo de los valores ya antes mencionados:

$$A = 4,20 - 1,21\cos(90) + \cos(90) - 4,65 = -0,45$$

$$B = -2 * \sin(90) = -2.$$

$$C = (4,20 - 1,21 \cos(90) - \cos(90) + 4,65) = 8,85.$$

$$x = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \leftrightarrow \tan \frac{\theta_4}{2} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}.$$

$$\theta_4(\theta_2) = 2 * \tan^{-1} \left(\frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \right).$$

Se procede al reemplazo de los valores ya antes mencionados:

$$\theta_4(\theta_2) = 2 * \tan^{-1} \left(\frac{-(-2) \pm \sqrt{(-2)^2 - 4(-0,45)(8,85)}}{2(-0,45)} \right) = 139,97$$

Análisis de la posición del acoplamiento (ecuación de cierre 2)

$$(r_4 \cos \theta_4)^2 = (r_2 \cos \theta_2 + r_3 \cos \theta_3 - r_1)^2 \quad (5).$$

$$(r_4 \sin \theta_4)^2 = (r_2 \sin \theta_2 + r_3 \sin \theta_3)^2 \quad (6).$$

$$(5) + (6)$$

$$r_4^2 [(\cos \theta_4)^2 + (\sin \theta_4)^2] = (r_2 \cos \theta_2 + r_3 \cos \theta_3 - r_1)^2 + (r_2 \sin \theta_2 + r_3 \sin \theta_3)^2.$$

$$r_4^2 = r_2^2 (\cos \theta_2)^2 + r_3^2 (\cos \theta_3)^2 + r_1^2 + 2r_2 r_3 \cos \theta_2 \cos \theta_3 - 2r_1 r_2 \cos \theta_2 - 2r_1 r_3 \cos \theta_3 + r_2^2 (\sin \theta_2)^2 + 2r_2 r_3 \sin \theta_2 \sin \theta_3 + r_3^2 (\sin \theta_3)^2.$$

$$r_4^2 = r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 + 2r_2 r_3 (\cos \theta_2 \cos \theta_3 + \sin \theta_2 \sin \theta_3) - 2r_1 r_2 \cos \theta_2 - 2r_1 r_3 \cos \theta_3.$$

$$r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 - r_4^2 - 2r_1 r_2 \cos \theta_2 - 2r_1 r_3 \cos \theta_3 = -2r_2 r_3 (\cos \theta_2 \cos \theta_3 + \sin \theta_2 \sin \theta_3)$$

$$\frac{r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 - r_4^2}{-2r_2 r_3} - \frac{2r_1 r_2 \cos \theta_2}{-2r_2 r_3} - \frac{2r_1 r_3 \cos \theta_3}{-2r_2 r_3} = \cos(\theta_2 - \theta_3).$$

$$\frac{r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 - r_4^2}{-2r_2 r_3} + \frac{r_1 \cos \theta_2}{r_3} + \frac{r_1 \cos \theta_3}{r_2} = \cos(\theta_2 - \theta_3).$$

$$k_2 = \frac{r_1}{r_2} ; k_4 = \frac{r_1}{r_3} ; k_5 = \frac{r_4^2 - r_1^2 - r_2^2 - r_3^2}{2r_2 r_3}$$

$$k_2 = \frac{465,03}{100} = 4,65mm ; k_4 = \frac{465,03}{225,24} = 2,06mm$$

$$k_5 = \frac{(383,59)^2 - (465,03)^2 - (100)^2 - (225,24)^2}{2(100)(225,24)} = -2,88mm$$

$$k5 + k4 \cos \theta 2 + k2 \cos \theta 3 = \cos(\theta 2 - \theta 3).$$

$$k5 + k4 \cos \theta 2 + k2 \cos \theta 3 = \cos \theta 2 \cos \theta 3 + \sin \theta 2 \sin \theta 3.$$

$$\cos \theta 3 = \frac{1 - \left(\tan \frac{\theta 3}{2}\right)^2}{1 + \left(\tan \frac{\theta 3}{2}\right)^2} ; \quad \sin \theta 3 = \frac{2 \left(\tan \frac{\theta 3}{2}\right)}{1 + \left(\tan \frac{\theta 3}{2}\right)^2}$$

$$k5 + k4 \cos \theta 2 = \cos \theta 3 (\cos \theta 2 - k2) + \sin \theta 2 \sin \theta 3.$$

$$k5 + k4 \cos \theta 2 = \frac{1 - \left(\tan \frac{\theta 3}{2}\right)^2}{1 + \left(\tan \frac{\theta 3}{2}\right)^2} (\cos \theta 2 - k2) + \sin \theta 2 \left(\frac{2 \left(\tan \frac{\theta 3}{2}\right)}{1 + \left(\tan \frac{\theta 3}{2}\right)^2} \right).$$

$$k5 + k4 \cos \theta 2 = \frac{(\cos \theta 2 - k2) \left(1 - \left(\tan \frac{\theta 3}{2}\right)^2\right) + \sin \theta 2 \left(2 \left(\tan \frac{\theta 3}{2}\right)\right)}{1 + \left(\tan \frac{\theta 3}{2}\right)^2}.$$

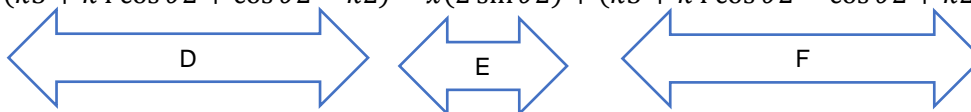
$$y = \tan \frac{\theta 3}{2}.$$

$$k5 + k4 \cos \theta 2 = \frac{(\cos \theta 2 - k2)(1 - y^2) + \sin \theta 2 (2y)}{1 + y^2}.$$

$$(k5 + k4 \cos \theta 2)(1 + y^2) = (\cos \theta 2 - k2)(1 - y^2) + \sin \theta 2 (2y).$$

Reemplazo de las letras D, E, F para la facilidad de la resolución de la ecuación de cierre 2.

$$x^2(k5 + k4 \cos \theta 2 + \cos \theta 2 - k2) - x(2 \sin \theta 2) + (k5 + k4 \cos \theta 2 - \cos \theta 2 + k2) = 0.$$



$$D = (k5 + k4 \cos \theta 2 + \cos \theta 2 - k2).$$

$$E = -(2 \sin \theta 2).$$

$$F = (k5 + k4 \cos \theta 2 - \cos \theta 2 + k2).$$

$$D = (-2.88 + 2.06 \cos(90) + \cos(90) - 4.65) = -7.53 \text{ mm}.$$

$$E = -(2 \sin(90)) = -2 \text{ mm}.$$

$$F = (-2.88 + 2.06 \cos(90) - \cos(90) + 4.65) =$$

$$y = \frac{-E \pm \sqrt{E^2 - 4DF}}{2D} \leftrightarrow \tan \frac{\theta 3}{2} = \frac{-E \pm \sqrt{E^2 - 4DF}}{2D}.$$

$$\theta_3(\theta_2) = 2 * \tan^{-1} \left(\frac{-E \pm \sqrt{E^2 - 4DF}}{2 * D} \right).$$

$$\theta_3(\theta_2) = 2 * \tan^{-1} \left(\frac{-(-2) \pm \sqrt{(-2)^2 - 4(-7.53)(1.77)}}{2 * (-7.53)} \right) = 40.59.$$

$$r_2 + r_5 = rb. \quad r_2 e^{i\theta_2} + r_5 e^{i\theta_5} = r b e^{i\theta_6}; \quad r = r e^{i\theta} \leftrightarrow Ec. \quad 6.$$

$$e^{i\theta} = \cos \theta + i \sin \theta.$$

$$r_2(\cos \theta_2 + i \sin \theta_2) + r_5(\cos \theta_5 + i \sin \theta_5) = rb(\cos \theta_6 + i \sin \theta_6).$$

$$r_2 \cos \theta_2 + r_5 \cos \theta_5 = rb \cos \theta_6 \rightarrow (\mathbf{Real.})$$

$$r_2 \sin \theta_2 + r_5 \sin \theta_5 = rb \sin \theta_6 \rightarrow (\mathbf{Imag.})$$

$$(rb \cos \theta_6)^2 = (r_2 \cos \theta_2 + r_5 \cos \theta_5)^2 \quad (7).$$

$$(rb \sin \theta_6)^2 = (r_2 \sin \theta_2 + r_5 \sin \theta_5)^2 \quad (8).$$

$$(7) + (8)$$

$$rb^2 [(\cos \theta_6)^2 + (\sin \theta_6)^2]$$

$$= r_2^2 (\cos \theta_2)^2 + 2r_2 r_5 \cos \theta_2 \cos \theta_5 + r_5^2 (\cos \theta_5)^2 + r_2^2 (\sin \theta_2)^2 + 2r_2 r_5 \sin \theta_2 \sin \theta_5 + r_5^2 (5)^2.$$

$$rb^2 = r_2^2 + r_5^2 + 2r_2 r_5 (\cos \theta_2 \cos \theta_5 + \sin \theta_2 \sin \theta_5).$$

$$rb^2 = r_2^2 + r_5^2 + 2r_2 r_5 \cos(\theta_2 - \theta_5).$$

$$rb = \sqrt{r_2^2 + r_5^2 + 2r_2 r_5 \cos(\theta_2 - \theta_5)}.$$

$$\text{pero: } \theta_5 = \theta_3 + \alpha.$$

$$rb = \sqrt{r_2^2 + r_5^2 + 2r_2 r_5 \cos \left(\theta_2 - \tan^{-1} \left(\frac{-E \pm \sqrt{E^2 - 4DF}}{2 * D} \right) - \alpha \right)}.$$

$$\frac{rb \sin \theta_6}{rb \cos \theta_6} = \frac{r_2 \sin \theta_2 + r_5 \sin \theta_5}{r_2 \cos \theta_2 + r_5 \cos \theta_5}$$

$$\tan \theta_6 = \frac{r_2 \sin \theta_2 + r_5 \sin \theta_5}{r_2 \cos \theta_2 + r_5 \cos \theta_5}$$

$$\theta_6 = \tan^{-1} \left\{ \frac{r_2 \sin \theta_2 + r_5 \sin \left[\tan^{-1} \left(\frac{-E \pm \sqrt{E^2 - 4DF}}{2 * D} \right) + \alpha \right]}{r_2 \cos \theta_2 + r_5 \cos \left[\tan^{-1} \left(\frac{-E \pm \sqrt{E^2 - 4DF}}{2 * D} \right) + \alpha \right]} \right\}.$$

θ_6

$$= \tan^{-1} \left\{ \frac{100 \sin(90) + 200 \sin \left[2 * \tan^{-1} \left(\frac{-(-2) \pm \sqrt{(-2)^2 - 4(-7.53)(1.77)}}{2 * (-7.53)} \right) + 90 \right]}{100 \cos(90) + 200 \cos \left[2 * \tan^{-1} \left(\frac{-(-2) \pm \sqrt{(-2)^2 - 4(-7.53)(1.77)}}{2 * (-7.53)} \right) + 90 \right]} \right\}$$

$$= -62.6723$$

Ya una vez obtenidos todos los resultados de forma manual se procede a verificar mediante software que en este caso utilizaremos el Mathcad 14, sabiendo que los resultados obtenidos se encuentran encerrados en rectángulos de distintos colores, que se verifican con los resultados que obtendremos a continuación:

b) Análisis computarizado del mecanismo de 4 barras

ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO DEL MECANISMO

Mecanismo de cuatro barras

Datos

$r_1 := 465.03$	mm	$w_2 := 2.0943951$	$\frac{\text{rad}}{\text{s}}$
$r_2 := 100$	mm	$\alpha_2 := 0$	
$r_3 := 225.24$	mm		
$r_4 := 383.59$	mm		
$r_5 := 200$	mm		
$\alpha := 90 \cdot \frac{\pi}{180}$			

$$\alpha = 1.571 \quad \text{rad}$$

$$\theta_2 := 0, 0.2617993878.. 1 \cdot \pi$$

$\theta_2 \cdot \left(\frac{180}{\pi}\right) =$	$\theta_2 =$
0	0
15	0.262
30	0.524
45	0.785
60	1.047
75	1.309
90	1.571
105	1.833
120	2.094
135	2.356
150	2.618
165	2.88
180	3.142

$$A(\theta_2) := k_3 - k_2 \cdot \cos(\theta_2) + \cos(\theta_2) - k_1$$

$$B(\theta_2) := -2 \cdot \sin(\theta_2)$$

$$C(\theta_2) := k_3 - k_2 \cdot \cos(\theta_2) - \cos(\theta_2) + k_1$$

ANALISIS DE POSICIONES ANGULARES

$$\theta_4(\theta_2) := 2 \cdot \text{atan} \left(\frac{-B(\theta_2) - \sqrt{B(\theta_2)^2 - 4 \cdot A(\theta_2) \cdot C(\theta_2)}}{2 \cdot A(\theta_2)} \right)$$

$\theta_2 \cdot \left(\frac{180}{\pi}\right) =$	$\theta_2 =$	$\theta_4(\theta_2) =$	$\theta_4(\theta_2) \cdot \frac{180}{\pi} =$
0	0	2.532	145.092
15	0.262	2.465	141.234
30	0.524	2.413	138.242
45	0.785	2.383	136.54
60	1.047	2.379	136.32
75	1.309	2.401	137.544
90	1.571	2.444	140.018
105	1.833	2.504	143.468
120	2.094	2.576	147.583
135	2.356	2.653	152.023
150	2.618	2.73	156.419
165	2.88	2.799	160.371
180	3.142	2.854	163.518

$$k_1 := \frac{r_1}{r_2}$$

$$k_2 := \frac{r_1}{r_4}$$

$$k_3 := \frac{r_1^2 + r_2^2 - r_3^2 + r_4^2}{2 \cdot r_2 \cdot r_4}$$

$$k_4 := \frac{r_1}{r_3}$$

$$k_5 := \frac{r_4^2 - r_1^2 - r_2^2 - r_3^2}{2 \cdot r_2 \cdot r_3}$$



Figura 26. Desplazamiento angular del eslabón 4

En la Figura 26, se observa el desplazamiento del eslabón 4 verificando que al llegar que a los 0 ° inicia con una perdida por motivo de aplicación de una fuerza externa, pasando a sus 90° y llega a la posición final sin sufrir ninguna perdida.

$$D(\theta_2) := k_5 + k_4 \cdot \cos(\theta_2) + \cos(\theta_2) - k_1 \quad E(\theta_2) := -2 \cdot \sin(\theta_2)$$

$$F(\theta_2) := k_5 + k_4 \cdot \cos(\theta_2) - \cos(\theta_2) + k_1$$

$$\theta_3(\theta_2) := 2 \cdot \text{atan} \left(\frac{-E(\theta_2) - \sqrt{E(\theta_2)^2 - 4 \cdot D(\theta_2) \cdot F(\theta_2)}}{2 \cdot D(\theta_2)} \right)$$

$\theta_2 \cdot \left(\frac{180}{\pi}\right) =$	$\theta_2 =$	$\theta_3(\theta_2) =$	$\theta_3(\theta_2) \cdot \frac{180}{\pi} =$
0	0	1.345	77.054
15	0.262	1.258	72.068
30	0.524	1.149	65.813
45	0.785	1.03	59.035
60	1.047	0.914	52.341
75	1.309	0.805	46.116
90	1.571	0.708	40.565
105	1.833	0.625	35.798
120	2.094	0.557	31.903
135	2.356	0.506	29.011
150	2.618	0.477	27.343
165	2.88	0.475	27.205
180	3.142	0.504	28.893



Figura 27. Desplazamiento angular del eslabón 3

En la Figura 27, se verifica que el eslabón 3 tanto al momento de su incremento como de su descenso existe la misma coherencia permitiendo demostrar que el sistema se encuentra óptimo para su utilización.

$$\theta_5(\theta_2) := \theta_3(\theta_2) + \alpha$$

$\theta_2 \cdot \left(\frac{180}{\pi}\right) =$	$\theta_2 =$	$\theta_5(\theta_2) =$
0	0	2.916
15	0.262	2.829
30	0.524	2.719
45	0.785	2.601
60	1.047	2.484
75	1.309	2.376
90	1.571	2.279
105	1.833	2.196
120	2.094	2.128
135	2.356	2.077
150	2.618	2.048
165	2.88	2.046
180	3.142	2.075

$$rpx(\theta_2) := r_2 \cdot \cos(\theta_2) + r_5 \cdot \cos(\theta_5(\theta_2))$$

$$rpy(\theta_2) := r_2 \cdot \sin(\theta_2) + r_5 \cdot \sin(\theta_5(\theta_2))$$

$\theta_2 \cdot \left(\frac{180}{\pi}\right) =$	$\theta_2 =$	$\text{rpx}(\theta_2) \cdot 1000 =$	$\text{rpy}(\theta_2) \cdot 1000 =$
0	0	$-9.492 \cdot 10^4$	$4.481 \cdot 10^4$
15	0.262	$-9.369 \cdot 10^4$	$8.746 \cdot 10^4$
30	0.524	$-9.584 \cdot 10^4$	$1.319 \cdot 10^5$
45	0.785	$-1.008 \cdot 10^5$	$1.736 \cdot 10^5$
60	1.047	$-1.083 \cdot 10^5$	$2.088 \cdot 10^5$
75	1.309	$-1.183 \cdot 10^5$	$2.352 \cdot 10^5$
90	1.571	$-1.301 \cdot 10^5$	$2.519 \cdot 10^5$
105	1.833	$-1.429 \cdot 10^5$	$2.588 \cdot 10^5$
120	2.094	$-1.557 \cdot 10^5$	$2.564 \cdot 10^5$
135	2.356	$-1.677 \cdot 10^5$	$2.456 \cdot 10^5$
150	2.618	$-1.785 \cdot 10^5$	$2.277 \cdot 10^5$
165	2.88	$-1.88 \cdot 10^5$	$2.038 \cdot 10^5$
180	3.142	$-1.966 \cdot 10^5$	$1.751 \cdot 10^5$

$$\text{rp}(\theta_2) := \sqrt{\text{rpx}(\theta_2)^2 + \text{rpy}(\theta_2)^2}$$

$\theta_2 \cdot \left(\frac{180}{\pi}\right) =$	$\theta_2 =$	$\text{rp}(\theta_2) =$
0	0	104.96
15	0.262	128.169
30	0.524	163.078
45	0.785	200.746
60	1.047	235.225
75	1.309	263.29
90	1.571	283.525
105	1.833	295.624
120	2.094	299.963
135	2.356	297.41
150	2.618	289.269
165	2.88	277.257
180	3.142	263.3

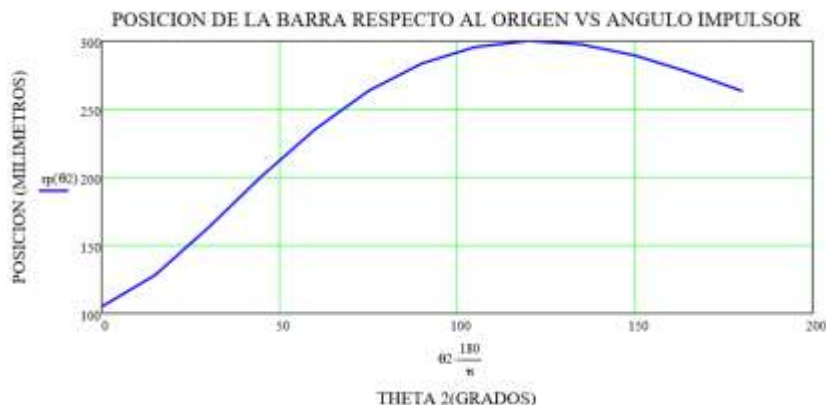


Figura 28. Desplazamiento angular del eslabón resultante

En la Figura 28, se observa el eslabón resultante, donde tanto el desplazamiento del eslabón 2 coincide con el desplazamiento del eslabón 5, permitiendo que el resultado sea el eslabón r_p , que a los 90° termine la elevación del mecanismo.

$$\theta_6(\theta_2) := \text{atan}\left(\frac{r_2 \cdot \sin(\theta_2) + r_5 \cdot \sin(\theta_5(\theta_2))}{r_2 \cdot \cos(\theta_2) + r_5 \cdot \cos(\theta_5(\theta_2))}\right)$$

$\theta_2 \cdot \left(\frac{180}{\pi}\right) =$	$\theta_2 =$	$\theta_6(\theta_2) =$	$\theta_6(\theta_2) \cdot \left(\frac{180}{\pi}\right) =$
0	0	-0.441	-25.27
15	0.262	-0.751	-43.029
30	0.524	-0.943	-54.006
45	0.785	-1.045	-59.864
60	1.047	-1.092	-62.578
75	1.309	-1.105	-63.308
90	1.571	-1.094	-62.695
105	1.833	-1.066	-61.101
120	2.094	-1.025	-58.732
135	2.356	-0.972	-55.675
150	2.618	-0.906	-51.906
165	2.88	-0.826	-47.299
180	3.142	-0.728	-41.685

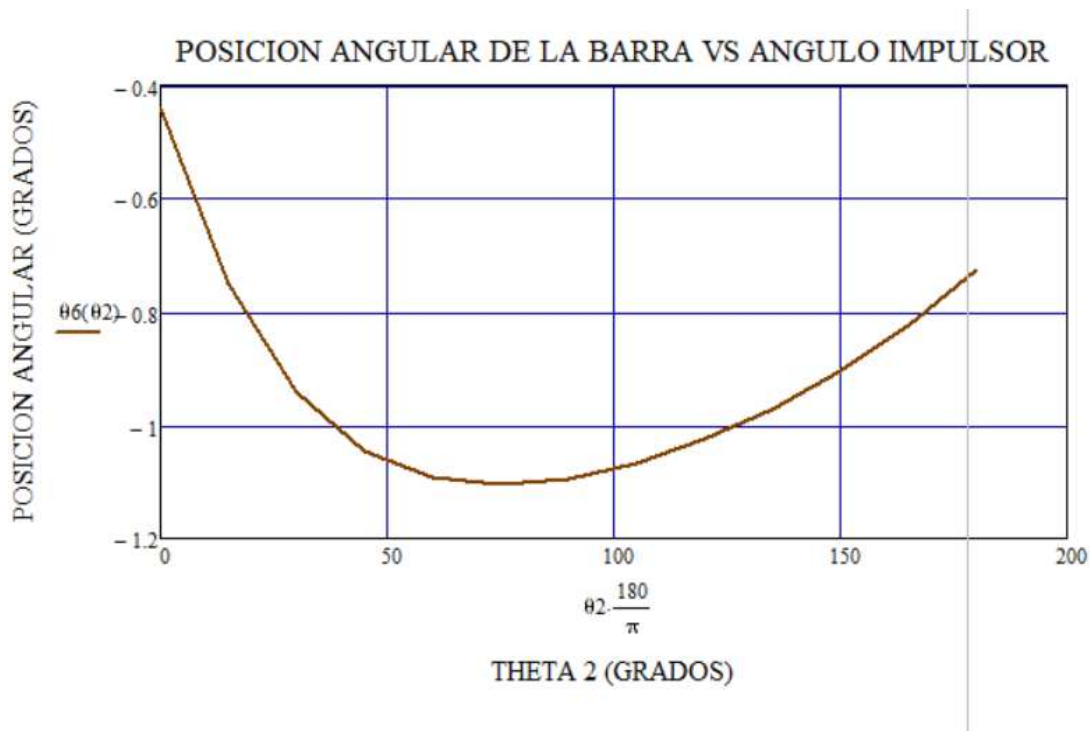
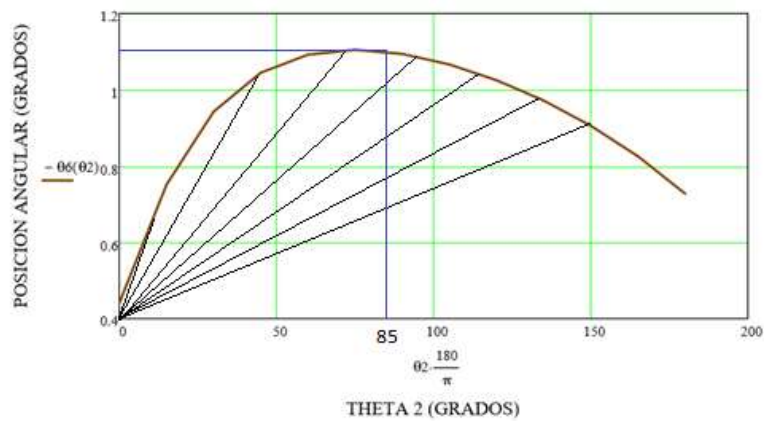


Figura 29. Desplazamiento del eslabón Rp

En la Figura 29, se observa el eslabón resultante, donde existe el descenso del eslabón rp, demostrando que se realiza de forma longitudinal evitando así algún tipo de accidente.

Se termina analizando en el software obteniendo los resultados, sabiendo que son el mismo que se obtuvo de forma manual y con esto se procede a graficar el posicionamiento de elevación presentado en la Figura 27; permitiendo que exista una ventaja mecánica que cuando las fuerzas de fricción e inercia son despreciables con respecto a la fuerza externa que se aplica en un mecanismo se puede decir que la potencia de entrada es igual a la potencia de salida.

Posicionamiento de elevación mediante el impulsor al sistema



Posicionamiento de elevación mediante el impulsor al sistema

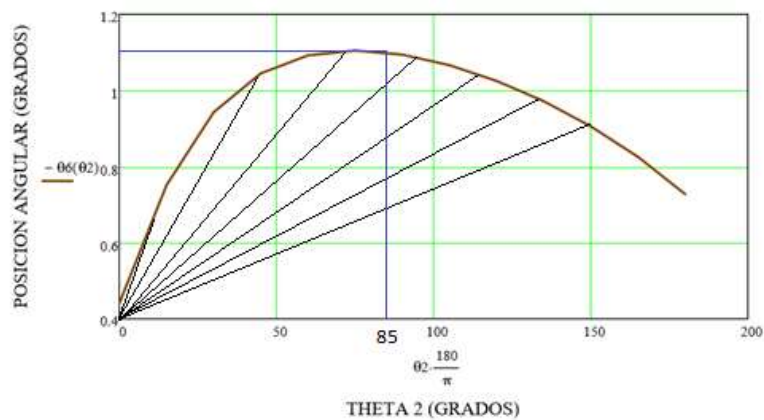


Figura 30. Posicionamiento del eslabón

$$P_e = P_s.$$

$$T_2 n_2 = T_4 n_4.$$

$$\frac{T_4}{T_2} = \frac{n_2}{n_4}$$

$$\frac{T_4}{T_2} = -\frac{W_2}{W_2} = -\frac{r_4 \sin(\theta_4 - \theta_3)}{r_2 \sin(\theta_2 - \theta_3)}$$

$$VM = \frac{\sin \gamma}{\sin \beta}$$

$$\text{Si } \sin \beta = 0^0 \rightarrow VM = \infty.$$

$$\beta = 0^0 \leftrightarrow \beta = 180^0 \rightarrow VM = \infty.$$

Cuando el mecanismo se encuentra en la posición de volquete se produce las máximas fuerzas principio que es aprovechado por los multiplicadores de fuerza, permitiendo observar en la Figura 31, los puntos clave al momento de descenso y verificando que va a ser de forma longitudinal.

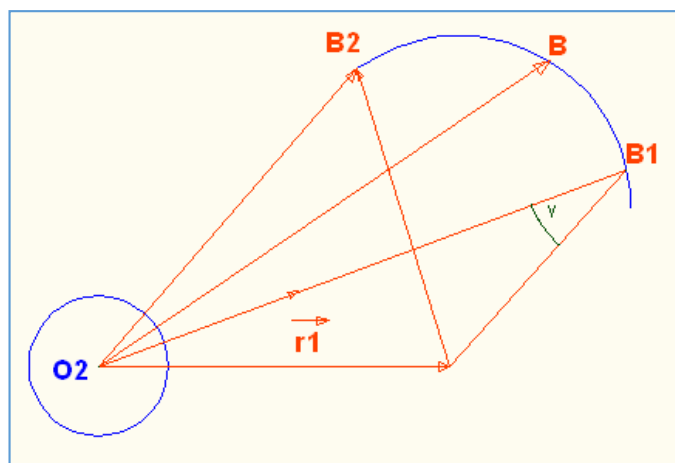


Figura 31. Descenso del mecanismo

En una comparación tanto de forma manual como por medio del computador se va obtener la Tabla 9 donde compararemos resultados y buscaremos el error existente:

Tabla 9.

Comparación de datos

Resultados	Resultados de forma manual	de Resultados de forma computarizada	Error %
Variación de θ_4 con respecto a θ_2	139.97	140.018	4.8
Variación de θ_3 con respecto a θ_2	40.59	40.565	2.5
Variación de θ_6 con respecto a θ_2	-62.6723	-62.695	2.27

Con estos resultados se observa que existen errores mínimos permitiendo que el análisis computarizado sea factible su uso para los siguientes procesos.

Como resultado final se obtiene que existan dos formas de geometría en la fuerza de levantamiento que incluye cargas sobre rodillas y caderas, presentando así:

Durante el levantamiento lineal presente en la Figura 32, se presenta una alta compresión sobre el fémur y la pelvis causando una afectación grave en el usuario.



Figura 32. Trayectoria Lineal

Fuente: (Chinesport, 2016)

En la trayectoria curva presente en la Figura 33, existe una geometría variable, permitiendo que la compresión sea sobre articulaciones de rodillas y en la cadera sea relativamente pequeña. En el análisis anterior se obtuvo el mecanismo que es apto para la bipedestación.



Figura 33. Trayectoria Curva

Fuente: (Chinesport, 2016)

3.3 Análisis Fuerza, Velocidad en el Sistema.

Para proceder con el análisis se usa el software Matcad 14, donde al actuador se aplica la configuración manivela corredera, que permite lograr la incorporación del paciente al accionar el eslabonamiento. En base a una síntesis del movimiento requerido, se obtiene el mecanismo de la Figura 34.

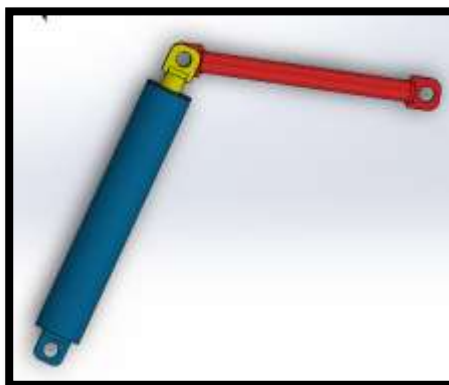


Figura 34. Eslabonamiento

Se efectúa el ingreso del modelo al software especializado en estudio de mecanismos como se muestra en la Figura 35, con el fin de obtener el análisis cinemático y cinético del mecanismo propuesto para esta aplicación:



Figura 35. Mecanismo propuesto

Según el dimensionamiento seleccionado como se muestra en la Figura 36, el cálculo para determinar la variación del ángulo θ_2 con referencia al ángulo θ_3 en el mecanismo será el siguiente:

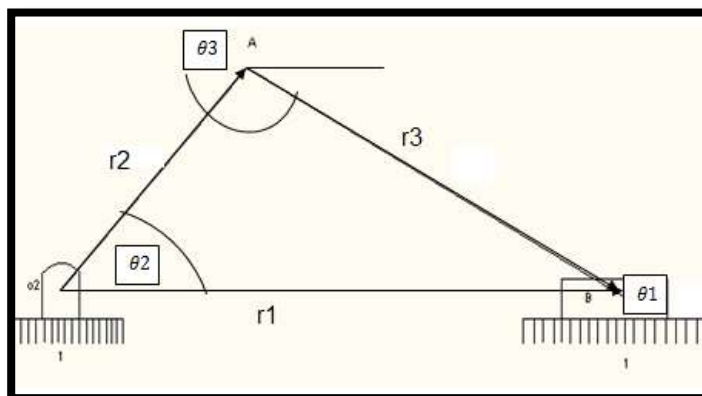


Figura 36. Ángulos del mecanismo

$$r_2 := 30 (*cm*)$$

$$r_3 := 62.6 (*cm*)$$

$$\theta_2 := 28.7^\circ \text{ hasta } 90^\circ$$

$$\Delta\theta_2 := 5^\circ$$

$$r_1 := 28.5 (*cm*)$$

$$\theta_3 := ?$$

$$r_1 = r_2 + r_3$$

Ecuación de cierre del circuito :

$$r_1 - r_2 + r_3 = 0$$

$$r_1 e^{i\theta_1} = r_2 e^{i\theta_2} + r_3 e^{i\theta_3} ; r = re^{i\theta} \leftrightarrow \text{Ecuación de Euler}$$

$$e^{i\theta} = \text{Cos}[\theta] + i\text{Sin}[\theta]$$

$$r_1 (\text{Cos } \theta_1 + i \text{Sin } \theta_1) = r_2 (\text{Cos } \theta_2 + i \text{Sin } \theta_2) + r_3 (\text{Cos } \theta_3 + i \text{Sin } \theta_3)$$

$$r_1 \text{Cos } \theta_1 = r_2 \text{Cos } \theta_2 + r_3 \text{Cos } \theta_3 \rightarrow \text{Parte Real } (\theta_1 = 0)$$

$$r_1 \text{Sin } \theta_1 = r_2 \text{Sin } \theta_2 + r_3 \text{Sin } \theta_3 \rightarrow \text{Parte Imaginaria } (\theta_1 = 0)$$

$$r_1 = r_2 \text{Cos } \theta_2 + r_3 \text{Cos } \theta_3 \quad \text{Ec.(1)}$$

$$0 = r_2 \text{Sin } \theta_2 + r_3 \text{Sin } \theta_3 \quad \text{Ec.(2)}$$

$$r_3 \text{Sin } \theta_3 = -r_2 \text{Sin } \theta_2$$

$$\theta_{3(\theta_2)} = \text{Sin}^{-1} \left(\frac{-r_2 \text{Sin } \theta_2}{r_3} \right) \quad \text{Ec.(3)}$$

Reemplazando (3) en (1)

$$r_{1(\theta_2)} = r_2 \cos(\theta_2) + r_3 \cos\left(\sin^{-1}\left(\frac{-r_2 \sin\theta_2}{r_3}\right)\right) \quad \text{Ec.(4)}$$

$$28.70 \leq \theta_2 \leq 90^\circ$$

$$\theta_2 = \text{Range}[28.7^\circ, 90^\circ, 5^\circ] // N;$$

$$\theta_3 = \text{ArcSin}\left[\frac{(r_2 * \text{Sin}[\theta_2])}{r_3}\right] // N;$$

Tabla =

0.500909	0.232221
0.588176	0.269137
0.675442	0.304312
0.762709	0.337463
0.849975	0.368301
0.937242	0.396538
1.02451	0.42189
1.11177	0.444079
1.19904	0.462847
1.28631	0.477962
1.37357	0.489226
1.46084	0.496486
1.54811	0.49964

ListLinePlot[Tabla, Axes → All, AxesOrigin → Automatic,
 AxesLabel → {"θ₂", "θ₃"}, PlotLabel → "VARIACIÓN DE θ₂ RESPECTO A θ₃"]

VARIACIÓN DE θ₂ RESPECTO A θ₃

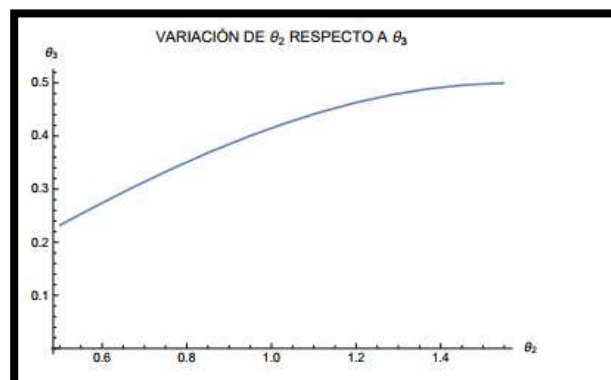


Figura 37. Variaciones de los ángulos respectivamente

La relación entre el ángulo como se muestra en la Figura 38, de la manivela y el ángulo del eslabón de salida es apropiada, los dos son incrementales y guardan relación entre sí según el tamaño de los eslabones.



Figura 38. Gráfica del desplazamiento en el eslabón de salida

En la Figura 38, se determina que, la trayectoria de desplazamiento del eslabón de salida con respecto al tiempo, es la que se requiere para que el mecanismo Bipedestador accione apropiadamente. Se observa que parte de una posición donde el eslabón marca una coordenada en $y=422$ mm y mientras acciona el actuador (pasa el tiempo de simulación), la coordenada incrementa exponencialmente lográndose la trayectoria antes indicada. El usuario pasa de una posición bipodal a una posición sentado.

Los mismos datos cinemáticos se pueden considerar para la variación de posición de sentado a bipodal.

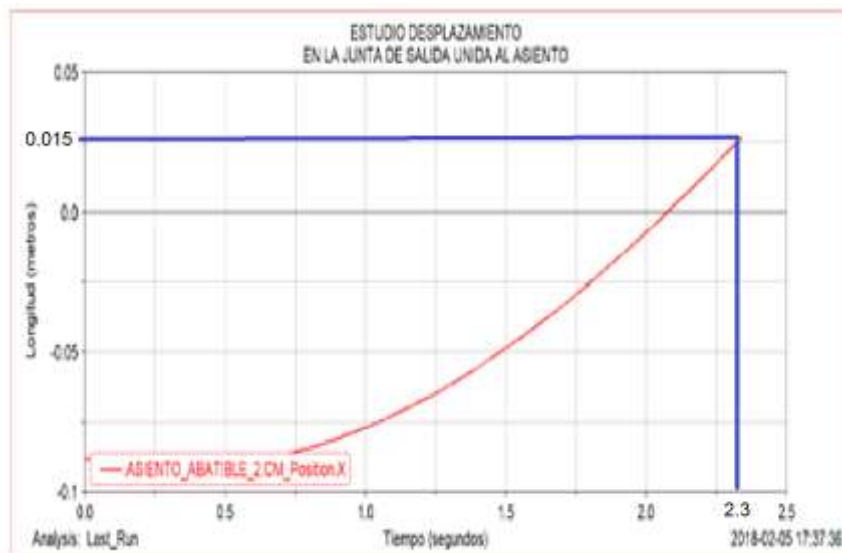


Figura 39. Desplazamiento de forma pausada

En la Figura 39 se presenta el desplazamiento pausado del cilindro eléctrico al momento de su elevación, esto va a permitir comparar con los datos que se obtendrá en las pruebas y calcular el error que existe.

- **Calculo de velocidad**



Figura 40. Gráfica del estudio de la velocidad en el eslabón de salida

Inicia desde una posición en reposo, en donde la velocidad es cero, avanza en función del tiempo hasta cumplirse el suceso de simulación, llegando a una velocidad de 0.13 m/s (130 mm/s). Este dato permite la

calibración en el momento de programar el control del sistema Bipedestador (Ver Figura 40).

- **Calculo de aceleración**



Figura 41. Gráfica del estudio de la aceleración en el eslabón de salida

El sistema parte del reposo, cuando la persona se halla en posición bipodal, inicia el descenso hasta la posición sentado, mediante el incremento de la velocidad del actuador, variación que permite la generación de una aceleración que resulta ser aproximadamente 150 mm/s^2 ($0,15\text{m/s}^2$). (Ver Figura 41)

3.3. Análisis Estático

- **Análisis Manual – Barra horizontal de la base principal.**

Definidos los parámetros de diseño y la alternativa de solución para el sistema de bipedestación, se procederá a realizar un bosquejo de la estructura principal, para realizar un análisis de esfuerzo. Para el cálculo manual se elegirá una de las barras ubicadas horizontalmente que soportaran el peso del adulto mayor.

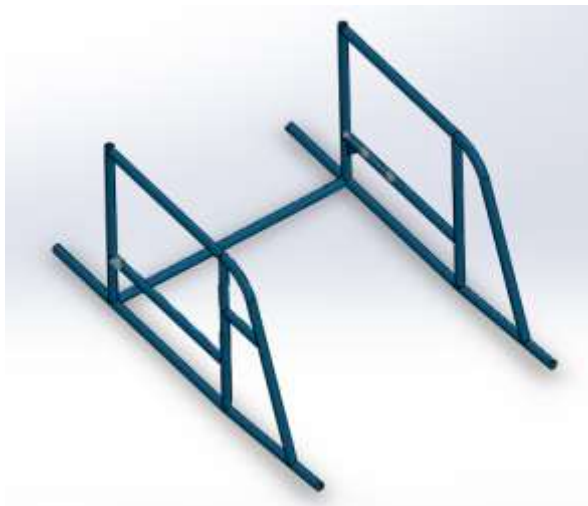


Figura 42. Base principal

Para ello se tomara en cuenta, que el peso total de 490 N se divide en dos para cada barra, la mitad de la carga actuara como una carga distribuida en toda la barra, por tanto el peso aplicarse en la barra será de 490 N, además se considerara que la viga esta sujeta los dos extremos mediante puntos de suelda, la longitud del tubo será de $L=51$ cm. La Figura 43, muestra la dimensión de dicho segmento a ser analizado.

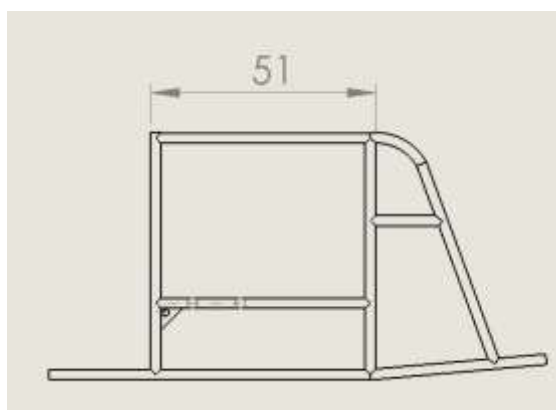


Figura 43. Dimensionamiento de la base principal

En el siguiente diagrama se muestra la barra hiperestática con su respectiva carga puntual, momentos y reacciones.

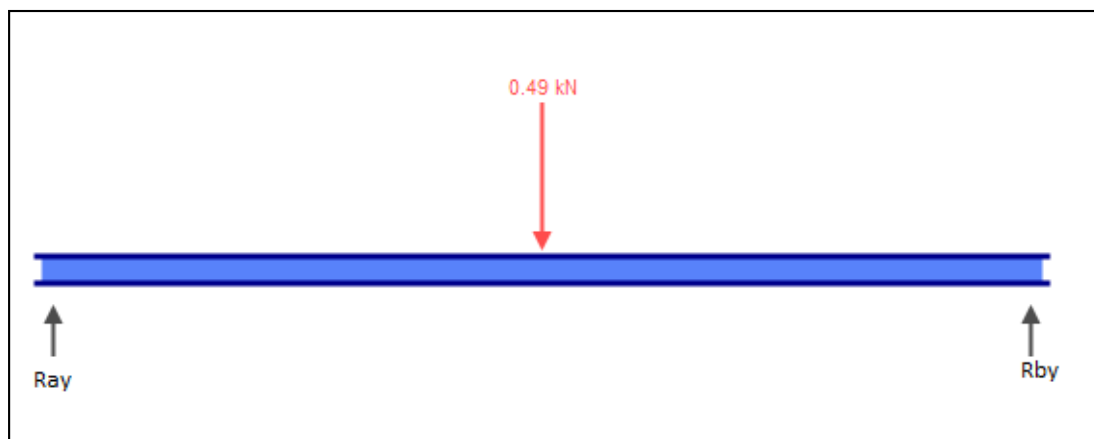


Figura 44. Cargas puntuales

$$P_{\text{peso adulto mayor}} = 490N$$

Para el cálculo de reacciones se utilizara las ecuaciones de equilibrio en el eje “y”, de la siguiente manera como cargas negativas las que actúan hacia abajo y las positivas las que actúan hacia arriba.

$$\Sigma F_y = 0$$

$$R_{ay} + R_{by} - P = 0 \quad \leftrightarrow \text{Ec. 7.}$$

Reemplazando en la ecuación 7 los datos conocidos quedando de la siguiente manera.

$$R_{ay} + R_{by} - 490N = 0$$

A continuación se utilizara la ecuación 8 la cual indica la sumatoria de momentos en el punto A, para determinar el valor de R_{by} tomando en cuenta como valores positivos los valores en sentido anti horario.

$$\Sigma M_A = 0$$

$$+(R_{by} * 0,50) - P(0,25) = 0 \quad \leftrightarrow \text{Ec. 8.}$$

De la ecuación 8, despejando R_{by} se tiene:

$$+(R_{by} * 0.50) - (490N)(0.25m) = 0$$

$$R_{by} = 245N$$

Reemplazando el valor de R_{by} en la ecuación 7 se obtiene el valor de R_{ay} .

$$R_{ay} = 490N - 245N$$

$$R_{ay} = 245N$$

Con los valores de las reacciones calculas se obtendrá el diagrama de cortantes, para ello, se realiza un corte a la viga, para obtener el valor del esfuerzo cortante, se parte de la ecuación de equilibrio en el eje "Y"

$$\Sigma F_y = 0$$

$$-V + R_{ay} - Wx = 0 \leftrightarrow Ec. \quad 9.$$

Despejando V de la ecuación 9 se tiene:

$$-V + 245N - 980x = 0$$

$$V = 245N - 980x$$

Se reemplaza los valores de x en los puntos más significados siendo estos en los extremos y en el centro de la barra.

$$V(0) = 245 - 980(0) = 245$$

$$V(0,175) = 245 - 980(0.25) = 0$$

$$V(0,35) = 245 - 980(0,50) = -245$$

En la Figura 45, se muestra el diagrama de esfuerzos cortantes.



Figura 45. Diagrama de esfuerzos cortantes

El momento máximo en el tubo se obtiene mediante la ecuación 10.

$$M = R * L \quad \leftrightarrow \text{Ec. } 10.$$

Donde

R = La reacción obtenida puede ser cualquiera de las dos para este caso

L = La longitud donde fue aplicada la carga

Reemplazando datos en la ecuación anterior:

$$M = R * L$$

$$M = (245\text{N}) * 0.25\text{m}$$

$$M = 61.25\text{Nm}$$

El diagrama del momento máximo de la viga se muestra en la Figura 46.

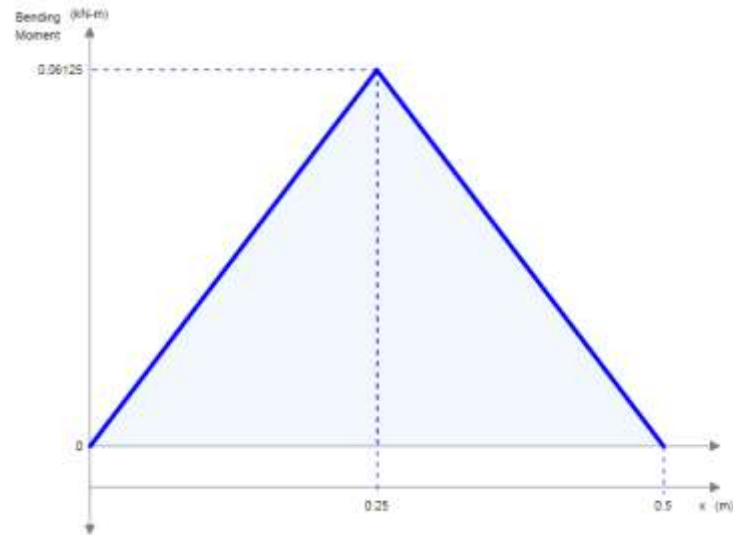


Figura 46. Momento máximo de la viga

Para encontrar el módulo de la sección adecuado al diseño se aplicara la ecuación 11.

$$\sigma_{max} = \frac{S_y}{n} \leftrightarrow Ec. \quad 11.$$

Donde:

n = factor de seguridad

S_y =Resistencia a la fluencia del material

σ_{max} = Esfuerzo normal máximo

De acuerdo a las recomendaciones de (Mott, 2006) para un diseño de estructuras bajo cargas estáticas el factor de diseño debe ser de 1.25 a 2, el valor de la resistencia a la fluencia en acero estructurales número ASTM A-36 tiene un valor de 250 Mpa, reemplazando estos valores en la ecuación tenemos:

$$\sigma_{max} = \frac{250Mpa}{2}$$

$$\sigma_{max} = 125Mpa$$

Para hallar el perfil adecuado que soporte un esfuerzo máximo de 125 Mpa aplicaremos la fórmula que nos ayuda a encontrar el módulo de la sección.

$$S = \frac{M}{\sigma_{max}} \leftrightarrow Ec. \quad 12.$$

Donde:

S = Módulo de sección

M = Momento flector máximo

σ_{max} = Esfuerzo normal máximo

El momento flector tiene un valor de 61.25 y el esfuerzo máximo es que debe soportar la barra es de 125 Mpa reemplazando datos en la ecuación se obtiene:

$$S = \frac{61,25Nm}{125Mpa}$$

$$S = 4.6 * 10^{-7}m^3$$

$$S = 0.46cm^3$$

Lo cual nos indica que el módulo de sección apropiado tiene que ser mayor a 0.46 cm^3 , con este valor nos dirigimos al Anexo 5 y buscamos un valor que se aproxime al calculado, elegimos un módulo de sección de 0,47 el cual corresponde a un tubo redondo de 7/8 de pulgada de diámetro con 1.5 de espesor.

Para verificar que el tubo seleccionado es el correcto y no exista falla en el sistema se procede a calcular el esfuerzo de von mises y el factor de diseño con el tubo seleccionado.

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \leftrightarrow Ec. \quad 13.$$

Donde:

M = Momento flector máximo

σ = Esfuerzo Flector

c = Distancia desde el centro de gravedad hacia sus extremos

Como datos se tiene

$$M = 61,25$$

$$C = 8.9 \text{ mm}$$

$$I = 0.81 \text{ cm}^4$$

$$\sigma = \frac{61.25 * 8.9 * 10^{-3}}{8.1 * 10^{-9}}$$

$$\sigma = 68,63 \text{ Mpa}$$

Posteriormente se reemplaza los valores en la siguiente ecuación la cual nos permite determinar los esfuerzos principales de Von Misses.

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma}{2} + \sqrt{\tau^2 + \frac{\sigma^2}{4}}$$

El elemento estará sometido a flexión pura por ello no existe esfuerzo cortante por lo tanto:

$$\sigma_1 = \sigma = 68,63 \text{ Mpa}$$

Para determinar el factor de seguridad utilizamos la ecuación:

$$n = \frac{250 \text{ Mpa}}{68.63 \text{ Mpa}} = 1.71$$

$$n = 3,64$$

El factor de seguridad es mayor a 2, esto nos da la certeza que el perfil seleccionado cumplirá con las especificaciones requeridas en el diseño.

- **ANÁLISIS COMPUTACIONAL DE LA BARRA APOYA PIES MEDIANTE EL SOFTWARE ANSYS.**

En la actualidad existen software que nos permiten analizar a toda la estructura y observar sus puntos críticos y los que tienden a fallar para verificar los datos obtenidos se procede a obtener datos con el software ANSYS

En el cálculo manual se obtuvo los siguientes valores

$$\sigma_{max} = 68,63 \text{ Mpa}$$

$$n = 3,64$$

En la Figura 47, se observa el esfuerzo de Von Mises donde nos da un valor de 65.22 Mpa, el esfuerzo calculado es de 68,63 Mpa, lo que nos indica que hay una diferencia de 3.41 Mpa

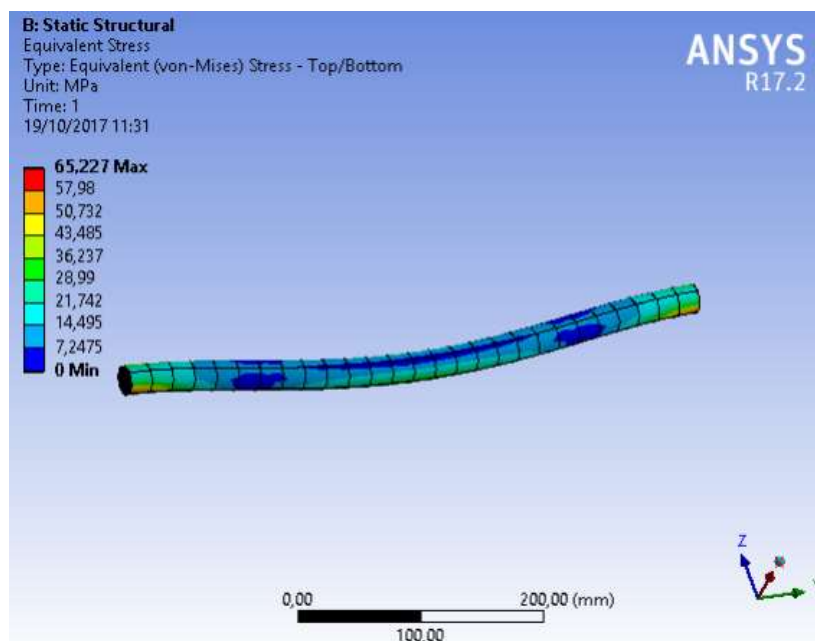


Figura 47. Evaluación de esfuerzos mediante Von Mises

En la Figura 48, se observa el factor de seguridad donde nos da un valor de 3.83, el factor de seguridad calculado es de 3.64, lo que nos indica que hay una diferencia de 0.19

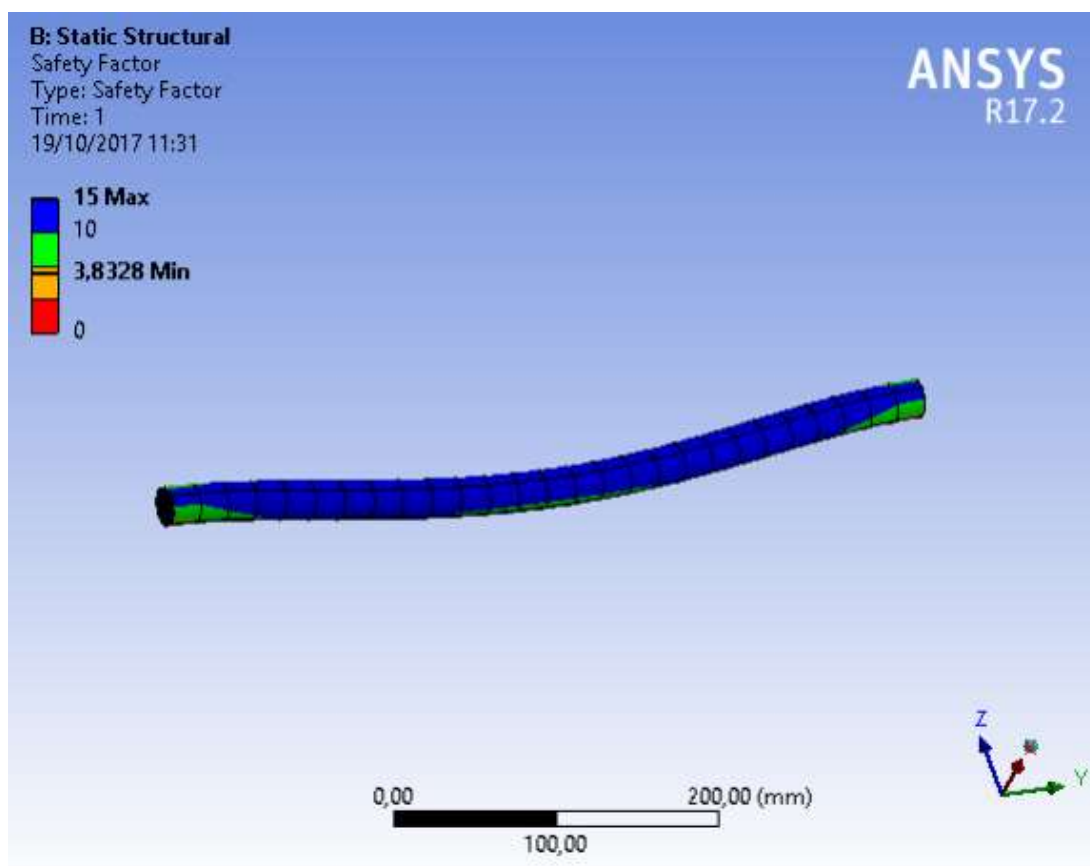


Figura 48. Cálculo del factor de seguridad

Por lo tanto el programa será utilizado para hacer los esfuerzos de von mises y el factor de seguridad de la estructura del Bipedestador

3.4. Análisis computacional del sistema de Bipedestación

Se efectúa la simulación de los elementos estructurales del Bipedestador más críticos es decir los que se encuentran directamente involucrados en la resistencia del sistema.

Siendo así se calcula la resistencia del espaldar o estructura superior (Ver Figura 49). En el caso que la persona apoye totalmente su peso sobre los apoyos en voladizo.

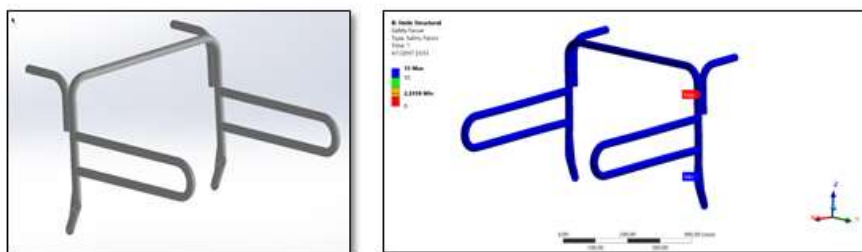


Figura 49. Espaldar de la estructura del bipedestador

Se obtiene un factor de diseño de dos punto tres lo que implica que la estructura soporta hasta el 200% del peso de la persona, esto asegura el diseño.

Para realizar el análisis del sistema de bipedestación completo se aplicó la carga de 100 Kg en la estructura, en la Figura 50, se observa la tensión de Von Mises indicando un valor de 181,89 Mpa.

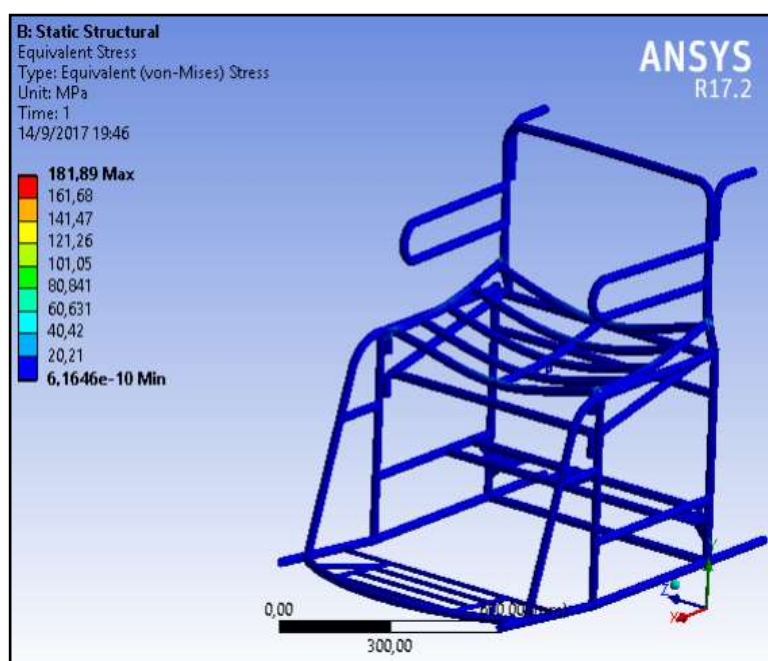


Figura 50. Análisis estructural de Von Mises del bipedestador

En la Figura 51, se observa la distribución del factor de seguridad siendo 1,3 el mínimo, según las tablas de factores de seguridad, se debe trabajar con un factor de seguridad mayor a 1

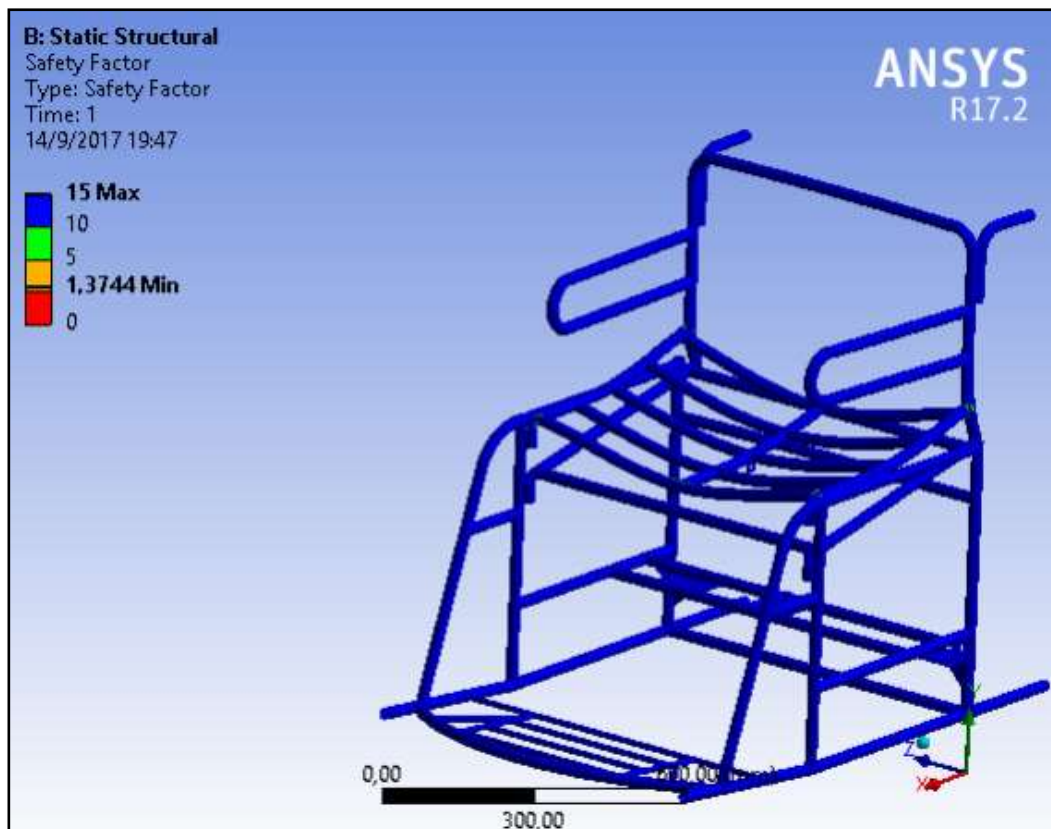


Figura 51. Cálculo del Factor de Seguridad del Sistema Bipedestador

3.5. Selección de los actuadores, baterías, drive y llantas

- **CILINDROS ELECTRICOS**

Para proceder a la selección del cilindro eléctrico apropiado se procede mediante la Tabla 9, verificar los parámetros necesarios con respecto al sistema que actúa como elevador; existen así las siguientes leyes que se refieren a los modelos de cilindros con vástago existentes en el mercado.

Se procede a verificar las características comunes como la presencia de un mecanismo de bloqueo para prevención de caídas y todos los modelos se pueden suministrar con los parámetros del controlador ya pre configurados, de forma que sólo es necesario verificar la velocidad y la posición para seleccionar el apropiado.

Tabla 10.

Parámetros del actuador

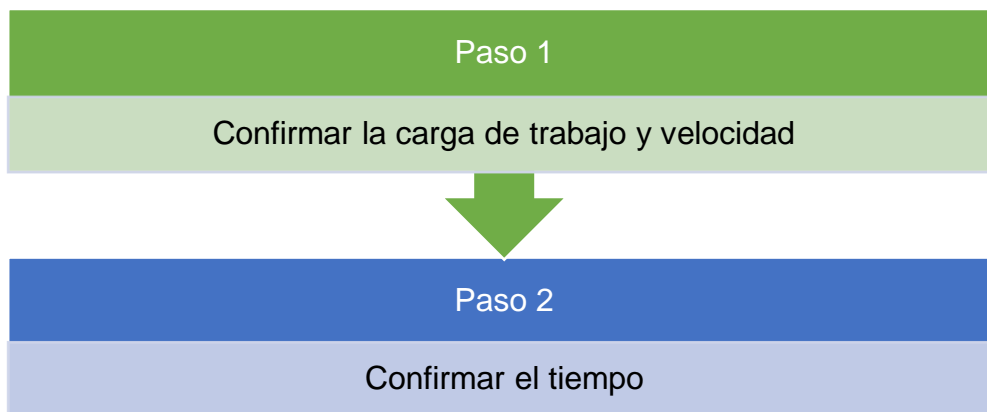
Modelo	Paso del husillo	Fuerza de empuje [N]		Carga de trabajo vertical [kg]		Velocidad máx. [mm/s]	Carrera [mm]	Página de referencia
		Motor paso a paso	Servomotor	Motor paso a paso	Servomotor			
LEY16□A	10	38	30	2	2	500	50 a 300	
	5	74	58	4	4	250		
	2.5	141	111	8	8	125		
LEY25□A	12	122	35	8	3	500	50 a 400	Pág. 4
	6	238	72	16	6	250		
	3	452	130	30	12	125		
LEY32□A	16	189		11		500	50 a 500	
	8	370		22		250		
	4	707		43		125		

Fuente: (SMC, 2016)

Para la selección de la ley correspondiente se verifica los parámetros anteriores obtenidos en el análisis fuerza, velocidad en el sistema que a continuación procede a enlistar:

Carga de trabajo	100 kg
Tiempo de subida	3 s
Coordenada de subida del cilindro (carrera)	450 mm
Velocidad	250 mm/s
Aceleración	150 mm/s ²

Con estos parámetros vamos a trabajar con el siguiente procedimiento:



- **Paso 1**

Para este paso se selecciona los parámetros como la carga de trabajo que en este caso es 100 kg. y la velocidad con la que debe actuar el cilindro eléctrico que es 250 mm/s para obtener así en la siguiente gráfica la ley correspondiente:

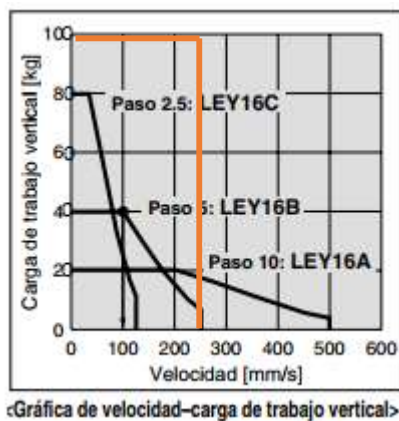


Figura 52. Datos de cilindro eléctrico

Fuente: (SMC, 2016)

A partir de estos datos se va ya seleccionando el modelo adecuado temporalmente hasta confirmar los demás parámetros.

- **Paso 2**

Para el cálculo de tiempo de ciclo que va a utilizar el sistema se procede a las siguientes ecuaciones:

$$T = T1 + T2 + T3 + T4 \leftrightarrow Ec. \quad 13.$$

Donde:

T1= tiempo de aceleración

T3= tiempo de desaceleración

$$T1 = \frac{v}{a1} \leftrightarrow Ec. \quad 14. ; \quad T2 = \frac{v}{a2} \leftrightarrow Ec. \quad 16.$$

$$T1 = \frac{250}{1500} = 0.17s$$

$$T2 = \frac{250}{150} = 0.17s$$

T2= tiempo de velocidad constante

$$T2 = \frac{L - 0.5v(T1 + T3)}{v}$$

$$T1 = \frac{450 - 0.5(250)(0.33)}{250} = 1.63s$$

T4= el tiempo de estabilización varía en función de condiciones como tipo de cilindro, la carga y la posición de entrada de datos. La referencia es de 0.3s que se obtiene de catálogos. (SMC, 2016)

$$T = 0.17 + 0.17 + 1.63 + 0.3 = 2.30 s$$

Con el análisis ya realizado se procede a verificar todos los requerimientos para la selección del cilindro eléctrico procediendo con una comparación entre las diferentes marcas y modelos existentes. Para lo cual se arma tablas de comparación dando valores del 1 al 10, siendo 10 el más alto; procediendo a escoger la suma de dichos valores para que sea el correcto modelo el de mayor puntuación.

Para comparar y seleccionar el cilindro adecuado se utiliza los catálogos ubicados como Anexo 6, 7, 8, considerando las características esenciales.

Tabla 11.

Comparación de Modelos de Cilindros eléctricos

Elementos de evaluación	Modelo ECO-WORTHY 12"	Modelo MMAC300	Modelo LH15
	Valor	Valor	Valor
Costo menor	9	7	5
Resistencia de la carcasa	8	8	7
Mayor capacidad de soporte en peso	8	8	5

Continua



Mayor precisión de la carga en ubicaciones variables y repetibles	8	7	3
Funcionamiento eficiente energético	9	9	6
Menor ruido al levantar peso	8	8	5
Mayor tiempo de garantía	10	8	6
TOTAL	61	56	37

Con la comparación de la tabla 11 se procede a verificar que el modelo adecuado de uso del cilindro eléctrico es el ECO-WORTHY 12" tanto por su costo menor como por su tiempo de garantía y con estos parámetros se procede a enlistar las características:



Figura 53. Cilindro eléctrico

Modelo: ECO-WORTHY 12"

Voltaje: DC 12 V

Max carga: 1500N

Max carrera: 300 mm

Max velocidad: 250 mm/s

Max corriente: 3 A

Material: aluminio

Incluye: control de mando a 100 metros de distancia

- **MOTORES**

Para el cálculo de la potencia del motor se tomara en cuenta la carga del adulto mayor y la carga muerta de la estructura, Solid Word permite obtener la carga muerta del sistema como se observa en la Figura 54, sumando las cargas o tenemos lo siguiente:

- Carga Muerta=43,1 kg
- Carga adulto mayor=71,82 Kg
- Carga total=114.92 Kg

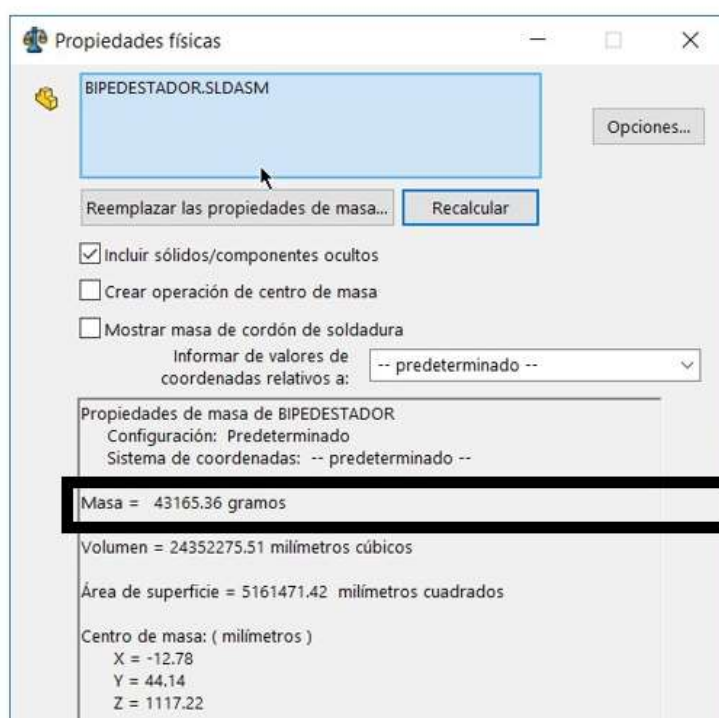


Figura 54. Análisis de carga muerta en Solid Works

Donde la fuerza total aplicada como se muestra en la ecuación 17, sobre las dos ruedas que contienen los motores tiene un valor de:

$$\Sigma Fy = carga\ total(kg) * g \left(\frac{m}{s^2} \right) \leftrightarrow Ec. 17.$$

$$\Sigma Fy = 114,92(kg) * 9.8(m/s^2)$$

$$\Sigma Fy = 1126,21N$$

Cada rueda soportara la mitad del total de la masa calculada dándonos como resultado 57,46 Kg que deberá soportar cada llanta. Según los fabricantes de sistemas de sillas eléctricas el estándar de velocidad máxima es de 2,45 m/s. (Mora & Salazar, 2014)

La capacidad de los motores se utiliza la ecuación 18, para el desplazamiento del sistema es de corriente continua de 24 Vdc. Teniendo en consideración que el factor de velocidad es considerado un rango de 1,5 a 4 m/s dependiendo el ritmo al que el adulto mayor se desplace. (Mora & Salazar, 2014)

$$Pm = \text{Velocidad máxima} * \text{fuerza máxima} \leftrightarrow \text{Ec. 18}$$

$$Pm = 3,5 \frac{m}{s} * 114,92 \text{ kgf}$$

$$Pm = 402,22 \text{ watts}$$

Donde

Pm=potencia máxima

Se debe considerar que el 10% existe en pérdidas causadas por factores mecánicos de los motores. En este caso la potencia efectiva máxima de cada rueda se muestra en la ecuación 19:

$$Pe = Pm - 10\%Pm \leftrightarrow \text{Ec. 19.}$$

$$Pe = 402,22 \text{ watts} - 402,22(10\%)$$

$$Pe = 360 \text{ watts}$$

Partiendo de esta potencia se procede a calcular la velocidad máxima de trabajo como se muestra en la ecuación 20:

$$\text{Potencia máxima del motor} = \text{Fuerza máxima} * \text{Velocidad máxima}$$

$$\text{Velocidad máxima} = \frac{\text{Potencia máxima del motor}}{\text{Fuerzamáxima}} \leftrightarrow \text{Ec. 20.}$$

$$\text{Velocidad máxima} = \frac{360 \text{ watts}}{114,97 \text{ kgf}} = 3,13 \text{ m/s}$$

En lo que se refiere a la corriente efectiva a utilizar se procede a realizar el cálculo como se muestra en la ecuación 21:

$$\text{Corriente máxima} = \frac{\text{Potencia máxima del motor}}{\text{Voltaje}} \quad \leftrightarrow \text{Ec. 21.}$$

$$\text{Corriente máxima} = \frac{400 \text{ W}}{24 \text{ V}} = 16,66 \text{ A}$$

Con las condiciones anteriores se procede a realizar una selección correcta de los motores a utilizar en cada rueda teniendo como datos:

Potencia efectiva: 400 watts

Voltaje: 24V en Dc

Velocidad máxima: 3,13 m/s

Para comparar y seleccionar el motor adecuado se utiliza los catálogos ubicados como Anexo 9, 10 y 11, considerando las características esenciales.

Tabla 12.

Comparación de Modelos de motores

Elementos de evaluación	Modelo PEWM82L	Modelo Golden-Motor 180W	Modelo Kit Allegro 24V
	Valor	Valor	Valor
Costo menor	9	6	4
Control integrado	9	1	9
Precisión de frenado	9	8	5
Bajo nivel de ruido	8	7	3
Máxima calidad e impermeabilidad	9	8	6
Alto rango de variación de velocidad	8	8	5
Mayor tiempo de garantía	9	10	6
TOTAL	61	48	38

Con la comparación de la Tabla 12 se procede a verificar que el modelo adecuado de uso del motor es el PEWM82L tanto por su costo menor como

por su precisión de frenado y con estos parámetros se procede a enlistar las características:



Figura 55. Motor a utilizar en la construcción

Modelo: PEWM82L

Voltaje: DC 24 V

Tarifa de la energía: 400 w para un lado

Velocidad: 4600 rpm

Ratio: 32: 1

Incluye: Joystick como se muestra en la Figura 56



Figura 56. Joystick para el control de los motores del bipedestador

Modelo: pps-15

Tensión de alimentación: DC24V

Voltaje de trabajo: DC18V-28V

Frecuencia de PWM: 19.5KHZ

Voltaje de frenado: DC6V-24V

Corriente de freno: máx: 1A mínimo: 0.1A (simple)

Corriente de trabajo máxima: 50^a

- **Baterías**

Para lo que se refiere a la parte de potencia del Bipedestador se procede a la selección de una batería que corresponde a las siguientes características necesarias para suministrar la corriente apropiada a los motores y al joystick como se muestra en el circuito de la Figura 57:

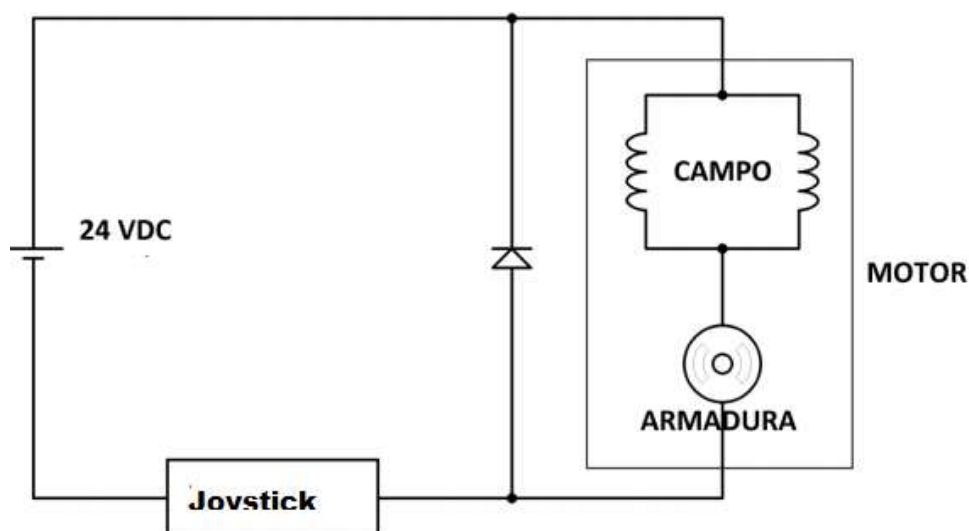


Figura 57. Esquema eléctrico

Para obtener las características adecuadas de capacidad de carga de la batería se obtiene primero la potencia efectiva del sistema mediante la ecuación 22:

$$Fma = 114,97 \text{ kgf}$$

$$Vm = 3 \frac{m}{s}$$

$$P_{efmax} = 2 * F_{ma} * V_m \leftrightarrow Ec. \quad 22.$$

$$F_{ma} = 2 * 114,97 * 3$$

$$F_{ma} = 689,82 \text{ watts}$$

Teniendo en consideración que existe una potencia efectiva, se procede a determinar el consumo de los actuadores mediante la ecuación 23:

$$I_{consumo} = \frac{P_{efmax}}{V} = \frac{344,91}{24} = 14,37 \text{ A} \quad \leftrightarrow Ec. \quad 23.$$

Para comparar y seleccionar las baterías adecuadas se utiliza los catálogos ubicados como Anexo 12, 13 y 14, considerando las características esenciales para la comparación.

Tabla 13.

Comparación de baterías

Elementos de evaluación	Modelo LiFePO4	Modelo BSLBATT 24V	Modelo Sonnenschein
	Valor	Valor	Valor
Costo menor	9	7	4
Mayor duración en la utilización	9	9	9
Carga rápida	9	8	5
Menor peso	8	7	3
Mayor seguridad contra fugas	9	9	6
Mayor estabilidad térmica	9	9	5
Mayor protección contra sobretensión	9	8	6
TOTAL	62	57	39

Con la comparación de la Tabla 13 se procede a verificar que el modelo adecuado de batería es el Modelo LiFePO4, tanto por su costo menor como por su mayor protección contra sobretensiones y con estos parámetros se procede a enlistar las características:



Figura 58. Batería seleccionada

Voltaje: 24V

Capacidad nominal (Ah): 20

Capacidad de carga (Ah): 60

Voltaje de celdas: 3.3V cell

Corriente Nominal: 6 A

Máxima corriente: 18 A

Peso: 7kgs

Incluye: su propio cargador

Sabiendo las características necesarias de la batería, se procede hacer una comparación para estimar el tiempo de duración mientras que encuentra en uso, para lo cual se toma la Norma Técnica, las baterías se considera que está cargada si su borne alcanza 13,4 V y se considera descargada cuando su borne alcanza 10,5V. Considerando que el tiempo de movilización del usuario es 1 hora por día, de esta forma se determina la capacidad para carga de la batería mediante la ecuación 24:

$$C = I * T \quad \leftrightarrow \text{Ec. } 24.$$

$$T = \frac{C}{I}$$

$$T = \frac{60Ah}{14,37} = 4,17 \text{ horas}$$

Donde:

C: capacidad de carga de la batería expresada en Ah

I: corriente de descarga

T: tiempo de descarga de la batería expresada en horas

Con esta fuente de alimentación el sistema puede funcionar cuatro horas continuamente con autonomía.

- **Llantas**

Para lo que se refiere a la movilidad se procede a escoger el tipo de llantas adecuadas, tanto para los motores como para soportar la carga del bipedestador. Para comparar y seleccionar las llantas adecuadas se utiliza los catálogos ubicados como Anexo 15, 16 y 17, considerando las características esenciales para la comparación.

Tabla 14.

Comparación de llantas

Elementos de evaluación	Modelo UNIWHEEL	Modelo CHEN SHIN 8*1 1/4	Modelo PHUB-02
	Valor	Valor	Valor
Costo menor	9	7	4
Mayor duración en la utilización	9	9	9
Mejor labrado y adición al piso	9	8	5
Menor peso	8	7	3
Evita menor rebote al frenado	9	9	6
Mayor garantía	9	9	5
Mayor facilidad de compra	9	8	6
TOTAL	62	57	39

Con la comparación de la Tabla 14 se procede a verificar que ellas llantas adecuadas son el Modelo UNIWHEEL, tanto por su costo menor como

por su mayor facilidad de compra y con estos parámetros se procede a enlistar las características:



Figura 59. Llanta seleccionada

Tamaño: 24-28 inches

Material: aleación de aluminio y magnesio

Asamblea: rodamiento R8

Eje: 12.7 m/m

Color: Gris

3.6. Seguridades del usuario

Después de la selección de los distintos componentes se procede a buscar la forma de seguridad que va a tener el usuario al momento que se encuentra el cilindro eléctrico actuando, para ello se procede a seleccionar las partes fundamentales que se debe aplicar la sujeción externa, siendo así las siguientes:


3.6.1 Sujeción de las rodillas del usuario

Al observar que el usuario se encuentra de forma bípeda es necesario que exista una sujeción en sus rodillas para evitar que se pueda desplazar hacia

adelante y evitar un volcamiento. Teniendo en consideración que las medidas antropométricas de cada persona del Hogar de Vida (Ver Anexo 3) se proceden a seleccionar una medida estandarizada que permite el uso para más de uno.

Tabla 15.

Sujetador de rodillas

Partes	Imagen	Descripción
Base		En la base es donde se coloca en la unión de las rodillas una junto a la otra, permitiendo tener un ajuste con respecto a la base del bipedestador y tiene un grosor de 2 cm conformado de material suave para evitar dolor en la sujeción.
Correa		Permiten la sujeción de la base con el bipedestador, constituidas de material nailon y son regulables dependiendo el tipo de persona que va a utilizar.
Buckles		Permite tensar la unión de las correas de una forma manual, pudiendo así regularlas al punto que sea necesario para cada usuario.

3.6.2 Sujeción de las piernas del usuario

Al observar que el usuario se encuentra de forma bípeda es necesario que exista una sujeción en sus piernas para evitar que se pueda desplazar hacia abajo en el momento que existe la elevación. Teniendo en consideración que las medidas antropométricas de cada persona del Hogar de Vida (Ver Anexo

3) se proceden a seleccionar una medida estandarizada que permite el uso para más de uno.

Tabla 16.

Sujetador de piernas

Partes	Imagen	Descripción
Base		Es la base es donde se coloca en la unión de las piernas una junto a la otra, permitiendo tener un ajuste con respecto al asiento del bipedestador y tiene un grosor de 2 cm conformado de material suave para evitar dolor en la sujeción.
Correa		Permiten la sujeción de la base con el asiento del bipedestador, constituidas de material nailon y son regulables dependiendo el tipo de persona que va a utilizar.
Buckles		Permite tensar la unión de las correas de una forma manual, pudiendo así regularlas al punto que sea necesario para cada usuario.

3.6.3 Sujeción del tórax del usuario

Al observar que el usuario se encuentra de forma bípeda es necesario que exista una sujeción en el tórax para evitar que su cuerpo se desplace hacia adelante en el momento que existe la elevación. Teniendo en consideración que las medidas antropométricas de cada persona del Hogar de Vida (Ver

Anexo 3) se proceden a seleccionar una medida estandarizada que permite el uso para más de uno.

Tabla 17

Sujetador de tórax

Partes	Imagen	Descripción
Base		<p>Es la base es donde se coloca en el tórax, permitiendo tener un ajuste con el espaldar del bipedestador, evitando que la parte superior proceda a irse hacia adelante y tiene un grosor de 2 cm conformado de material suave para evitar dolor en la sujeción.</p>
Correa		<p>Permiten la sujeción de la base con el espaldar del bipedestador, constituidas de material nailon y son regulables dependiendo el tipo de persona que va a utilizar.</p>
Buckles		<p>Permite tensar la unión de las correas de una forma manual, pudiendo así regularlas al punto que sea necesario para cada usuario.</p>

3.7. Protecciones eléctricas al equipo

3.7.1. Protecciones al cilindro eléctrico de 12 V

Para el sistema eléctrico de 12 voltios se procede a colocar las siguientes protecciones eléctricas como se muestra en la Figura 59, se encuentra el diagrama de potencia.

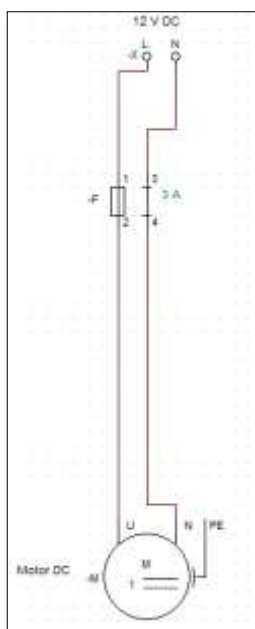


Figura 60. Diagrama de potencia cilindro eléctrico 12 V

En el diagrama de control va colocado las siguientes protecciones como se muestra en la Figura 60, donde existe un fusible de 2,5 A después del pulsador.

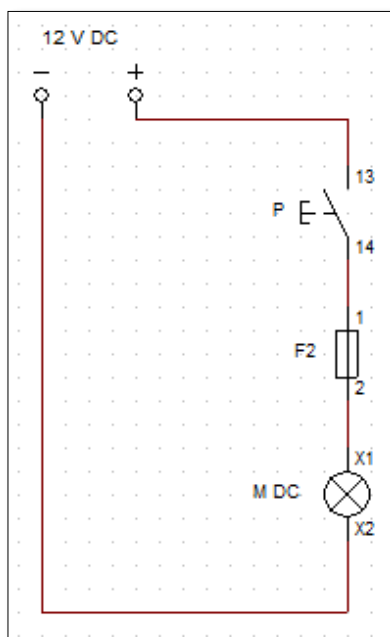


Figura 61. Diagrama de control del sistema de 12 V

3.7.2. Protecciones eléctricas circuito de 24 V DC

En el circuito eléctrico de 24 V se procede a colocar las siguientes protecciones eléctricas como se muestra en la Figura 61, para poder proteger los motores sabiendo que la $I_{max}=16,67$ A por cada motor y la batería de 24 AH.

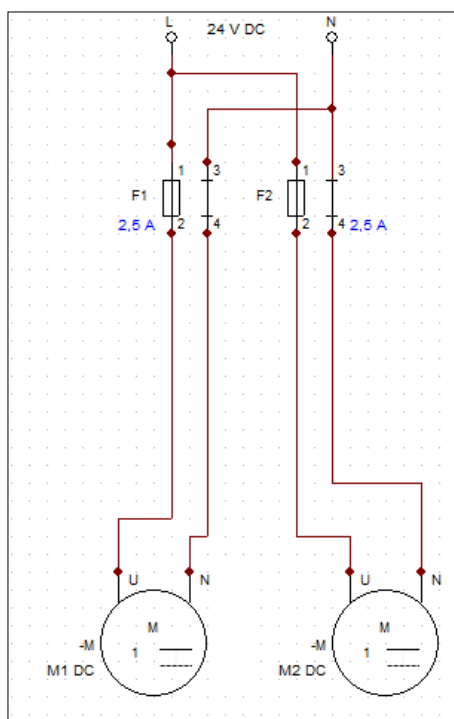


Figura 62. Diagrama de Potencia 24V DC

Para el diagrama de control se va colocado las siguientes protecciones como se muestra en la Figura 62, donde existe un el control del Joystick que ingresa la batería y su salida tiene a los motores con cada uno con su protección fusible de 15 A.

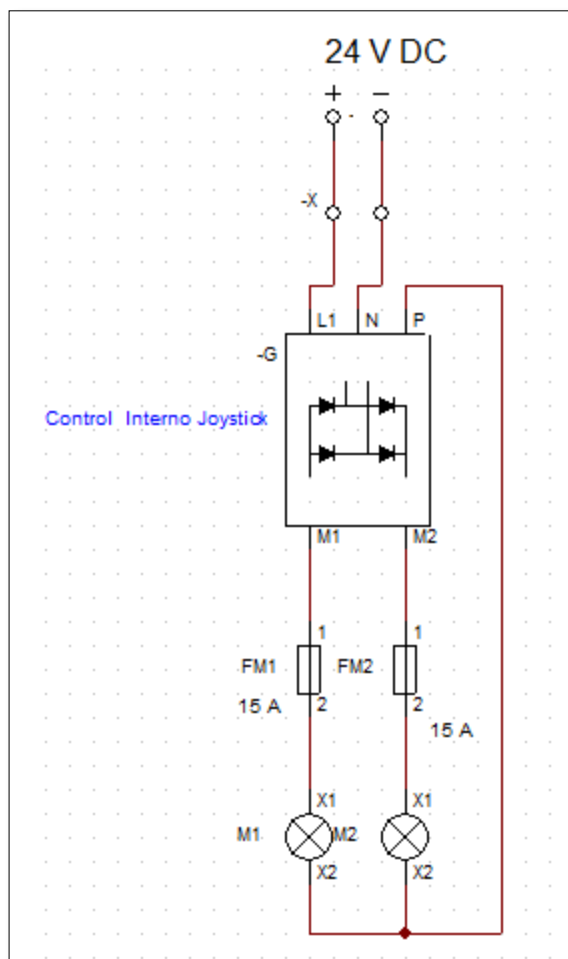


Figura 63. Diagrama de Control de 24 V

CAPITULO IV

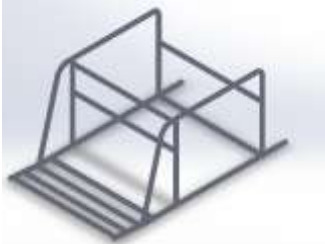



CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

4.1. Construcción de la estructura

Para la elaboración de la máquina se procede a realizar por partes para después acoplar cada componente al sistema, así tenemos lo siguiente:

Tabla 18.




Componentes mecánicos del Bipedestador.

Componente	Ilustración
Base principal	
Asiento móvil	
Espaldar	
Sistema de giro	

Para detallar el proceso de construcción de la máquina se realizara el mismo proceso de la tabla 16:

Tabla 19.

Proceso de elaboración de las partes mecánicas del Bipedestador-

COMPONENTE	ILUSTRACION	DESCRIPCION
Base principal		<p>La base está formada por tubería redonda de 7/8 de pulgada con un espesor de 1.5, a los cuales se les realizo una serie de cortes, la unión entre los tubos se realizó mediante soldadura por arco eléctrico (SMAW), con electrodos 6011.</p>
Asiento móvil		<p>Está conformado por tubos de misma dimensión de la base, el asiento que permite la elevación de la persona, posee dos cuadrados, de igual manera son soldados y pulidos.</p>
espaldar		<p>Se procede a embarolar el tubo para lograr la curvatura en las esquinas del cuadro , además se introduce unos bujes que fueron mecanizados en el torno , esto nos permite que existe la regulación al apoyar los brazos en la silla</p>


 Continua

Sistema de giro

Existen dos piezas que permiten el giro en la silla, primero un par de gonces que están ubicados en la parte delantera de la silla, y unas tipos orejas que están ubicadas en la parte de atrás, estas piezas son de una platina de 7 líneas de espesor con 50 mm de ancho, en las cuales se realizó orificios de acuerdo a los plano , para lograr la sujeción de los dos cuadros que forman el asiento móvil.

Caja de control

Esta caja está hecha de madera (MDF), aquí se armara el sistema de control y fuerza del sistema eléctrico.



Finalmente después de construir cada una de las partes mecánicas del Bipedestador se procede a ensamblar, pulir, fondear y pintar la estructura.

Continua







4.2. Implementación del sistema eléctrico

Tabla 20.

Implementación del sistema Eléctrico

Descripción	Ilustración
<p>El sistema eléctrico está formado de motores de CD, joystick, un actuador lineal, baterías de 12 y 24 voltios.</p> <p>Se procede a montar los motores en la base principal del sistema , se debe tomar en cuenta que las llantas deben estar a nivel para lograr un agarre adecuado de las llantas con el suelo</p>	 
<p>El actuador lineal se lo coloca entre la base y el asiento móvil del sistema, cabe recalcar que este actuador funciona a 12 voltios y su alimentación es independiente de los motores.</p> <p>En el joystick se realiza el corte y la extensión de cada uno de los cables que posee el mismo para lograr la</p>	

Continua

conexión hacia los motores y a la fuente de alimentación de 24 voltios.



Las baterías de 12 y 24 voltios son ubicadas dentro de la caja de madera para realizar la conexión respetiva tanto del sistema de 12 voltios como el sistema de 24 voltios.



4.3. Ensamblaje del sistema bipedestador

Una vez que se termina cada parte de la estructura, se procede a ensamblar en su totalidad, para proceder al tapizado del bipedestador y poder añadir el actuador, los motores con las llantas, el joystick y el sistema eléctrico para proceder a verificar que todo se encuentre en su posición correcta. Esto se debe realizar con las respectivas medidas de seguridad para verificar que no existan accidentes.



Figura 64. Ensamblaje y tapizado

Al tener lista la maquina se procede a colocar cada cosa en su lugar permitiendo realizar los agujeros necesarios para el cableado del sistema eléctrico como se muestra en la Figura 65.



Figura 65. Acoplamiento del sistema eléctrico en el bipedestador

Ya colocado todo el sistema tanto eléctrico, mecánico y de control (Ver Figura 66), se verifica que se encuentre en perfecto estado las conexiones para proceder a probar todo su funcionamiento.

Al final se obtiene el bipedestador completo con todos sus sistemas como se muestra en la Figura 66, terminando con la maquina por completo y listo para iniciar con las respectivas pruebas.



Figura 66. Sistema de Bipedestación total

CAPITULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1. Pruebas de Funcionamiento

Para iniciar las pruebas es necesario que la máquina bipedestadora sea verificada su funcionamiento, primero se realizará el levantamiento del sistema sin carga y luego se procederá con carga.

5.1.1. Pruebas sin carga

Al realizar las pruebas sin carga se verifica que el desplazamiento del cilindro eléctrico sea correcto tanto en el momento de elevación, como descenso; permitiendo observar que no exista ninguna traba y sea continuo. En lo que se refiere al movimiento del bipedestador se procede al manejo mediante joystick para verificar que puede ir hacia adelante y retroceder con facilidad (Ver Figura 67).



Figura 67. Prueba sin carga

Según la Figura 39, se tiene como datos que por cada 2.45 segundo de tiempo, existe un desplazamiento de 0.015m; procedemos a calcular el recorrido con el tiempo que se obtuvo en esta prueba:

$$\text{Recorrido} = \frac{15 \text{ mm}}{2.45 \text{ s}}$$

$$\text{Recorrido} = 6.12 \text{ mm/s}$$

Con los datos ya calculados, se procede a comparar con los de fábrica, tomando tiempos de elevación y descenso para calcular el desplazamiento y verificar el error existente como se muestra en la Tabla 21.

Tabla 21.

Datos sin carga

Datos	Recorrido (mm/s)	Tiempo de ascenso	Tiempo de descenso	Calculo		Error %	
				Ascenso (mm)	Descenso (mm)	A	D
Catálogo	5.7	48.29 s	45.71 s	275.25	260.54	7.4	7.2
Análisis	6.12	48.29 s	45.71 s	295.65	279.75		

Con este resultado se obtiene que el error existente en la elevación es 7,4% y descenso es 7,2 % verificando que son aceptables ya que son menores a 10% que es el máximo error que se permite en diseño.

5.1.2. Pruebas con carga

Para verificar que el sistema al incrementar su carga va a funcionar correctamente, se procedió al ascenso y descenso del equipo con diferentes pesos. También se procede a verificar que el movimiento sea continuo al desplazarse de un lugar a otro (Ver Figura 68).



Figura 68. Sistema elevado en bipedestador y sistema en forma de silla normal

A continuación en la Tabla 22, procedemos a colocar distintos pesos, para verificar el tiempo que se demora el cilindro eléctrico para ascender y

descender. Esto se lo realiza mediante pruebas, donde los usuarios son los adultos mayores del Hogar de Vida; para lo cual se utiliza 14 personas, las cuales tienen diferentes pesos, tallas y enfermedades.

Tabla 22

Desplazamiento del sistema de elevación

Cargas (lb)	Tiempo de ascenso (s)	Tiempo de descenso (s)
0	0:48:29	0:45:71
68	0:58:00	0:46:09
69,8	0:51:64	0:45:58
74	0:53:26	0:47:40
102	0:54:55	0:46:51
56	0:53:49	0:46:07
110	0:59:54	0:49:00
100	01:03:89	0:48:37
130	0:57:16	0:47:14
90	0:58:30	0:47:07
88	0:56:59	0:48:10
138	01:02:64	0:49:47
90	0:58:53	0:47:97
110	01:00:00	0:47:86
115	01:03:03	0:47:00
220	03:00:00	01:00:00

a) Comparación de pesos

Tomado los tiempos de cada usuario se procede a graficar el Tiempo VS Peso, para verificar que a mayor peso requiere mayor tiempo al ascender el cilindro eléctrico como se muestra en la Figura 69; demostrando así que su funcionamiento es correcto y soporta el peso al que está diseñado.

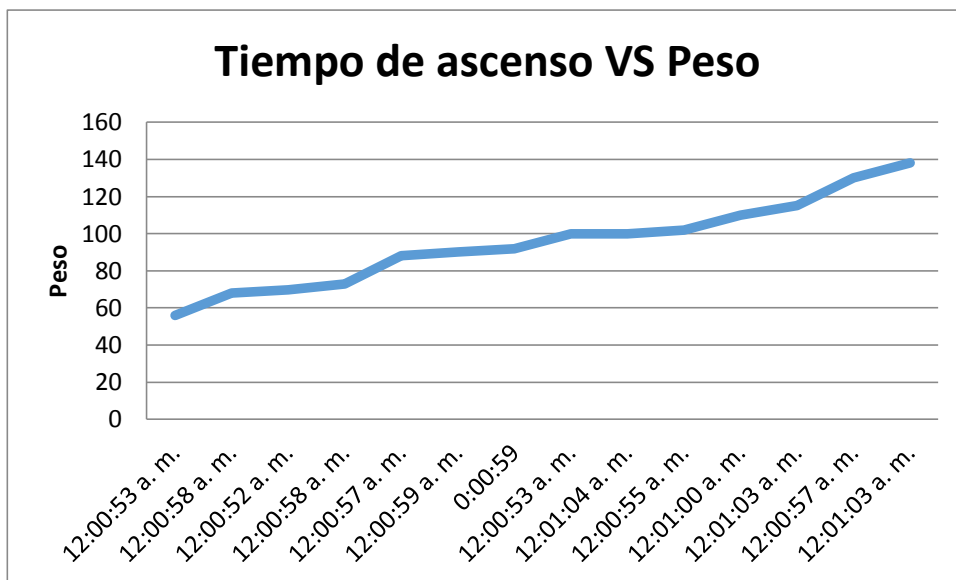


Figura 69. Gráfica de ascenso del cilindro eléctrico

En la Figura 70, se demuestra al momento del descenso del cilindro eléctrico que es mucho menor el tiempo que se demora; en algunos pesos que son cercanos en valor se utiliza el mismo tiempo y con esto se demuestra que a menor peso, menor es el tiempo de descenso.

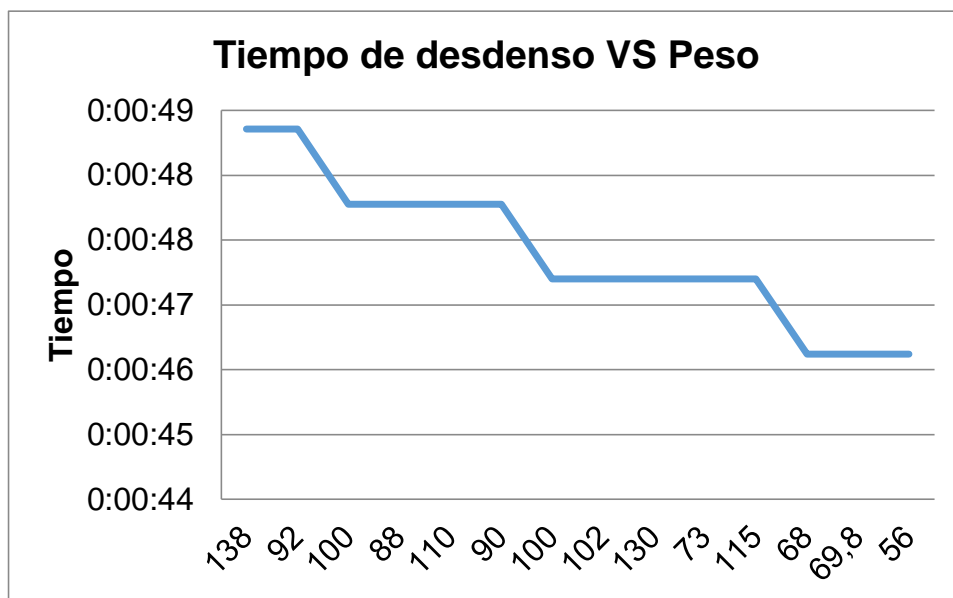


Figura 70. Gráfica de descenso

A continuación procedemos a graficar con carga completa que es 220lb y sin carga para verificar el comportamiento del ascenso y descenso del actuador:

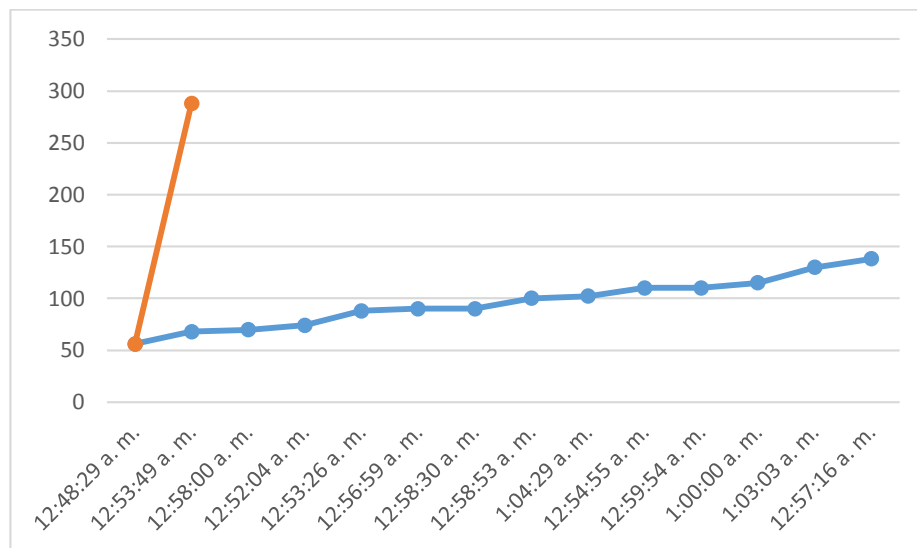


Figura 71. Grafica de ascenso a plena carga

En la Figura 71, se compara que existe una sobredimensión del sistema para los usuarios, ya que cuando se encuentra con su carga total como muestra la línea naranja, está sobre la carga del usuario como se muestra en la línea azul.

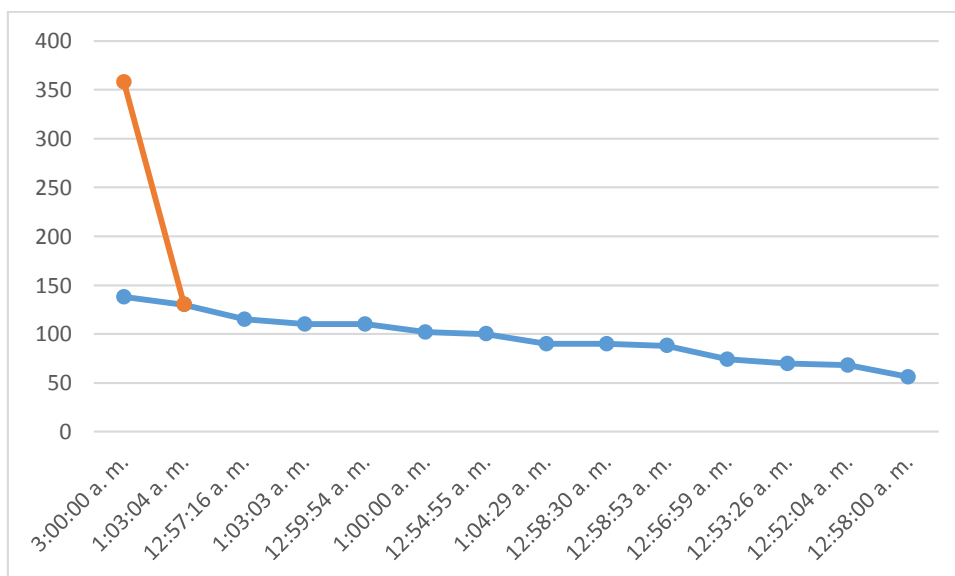


Figura 72. Grafica de descenso a plena carga

En la Figura 72, muestra mientras existe mayor peso el descenso va tomar menor tiempo y es así que cuando se encuentra en carga total como muestra la línea tomate el descenso es mucho más rápido; en la línea azul muestra el comportamiento del descenso de todas las cargas.

5.1.3. Pruebas con los usuarios del hogar de Vida “Luis Maldonado Tamayo”

Para realizar las pruebas completas, nos dirigimos al Hogar de Vida y a cada usuario proceder a levantarlo. A continuación vamos a describir a cada persona su forma de bipedestar y como se procede a colocarlo en el bipedestador. Cabe recalcar, que al subir a cada paciente se debe verificar su comportamiento para evitar miedos y la elevación debe ser lenta hasta que se sientan seguros.



Figura 73. Usuario Nº 1

Como primer usuario (Ver Figura 73), tenemos a la señora María Pérez, su edad es de 80 años, con un peso de 68 lb y una altura de 128 cm. Esta persona no se encuentra consiente, por ende es necesario que al usar el bipedestador sea acompañada por la fisioterapeuta, quien se encarga de manejar el sistema. Su actitud ante la bipedestación fue tranquila, no presento miedo, no se quejó de dolor y sonreía en la elevación.



Figura 74. Usuario N°2

Como segundo usuario (Ver Figura 74), tenemos a Tutin María, su edad 75 años, con un peso de 69,8 lb. y una altura de 127 cm. Esta persona tiene poca conciencia, la mayor parte de tiempo pasa dormida, al momento de bipedestar no presenta ningún miedo, ni tampoco sensaciones y su actitud es poco comunicativa. Fue necesario de la ayuda de la fisioterapeuta para manejo del sistema.



Figura 75. Usuario N°3

Como tercer usuario (Ver Figura 75), tenemos al señor Mateo NN, su edad es de 83 años, con un peso de 102 lb. y una altura de 135 cm. Esta persona no se encuentra consiente, por ende es necesario que al usar el bipedestador sea acompañada por la fisioterapeuta, quien se encarga de

manejar el sistema. Su actitud ante la bipedestación fue tranquila, no presento miedo, no se quejó de dolor pero tampoco se puede comunicar ya que no entiende con palabras, solo hace pocas señas.



Figura 76. Usuario N°4

Como cuarto usuario (Ver Figura 76), tenemos a la señora Chacón Josefina, su edad es de 68 años, con un peso de 56 lb. y una altura de 125 cm. Esta persona no se encuentra consiente, por ende es necesario que al usar el bipedestador sea acompañada por la fisioterapeuta, quien se encarga de manejar el sistema. Su bipedestación es completa aunque sus articulaciones fueron bruscas al encontrarse de forma bipodal; no se quejó de dolor, ni presenta sensación alguna y se mantuvo tranquila al recorrer en la silla bipedestadora.



Figura 77. Usuario N°5

Como quinto usuario (Ver Figura 77), tenemos al señor Juan NN, su edad es de 78 años, con un peso de 110 lb. y una altura de 144 cm. Esta persona no se encuentra consiente, por ende es necesario que al usar el bipedestador sea acompañada por la fisioterapeuta, quien se encarga de manejar el sistema. Ya no puede moverse por sí solo y estar de pie le cuesta, su bipedestación es completa y mostro un estado de ánimo satisfactorio.



Figura 78. Usuario N°6

Como sexto usuario (Ver Figura 78), tenemos a la señora Jácome Olga, su edad es de 66 años, con un peso de 100 lb. y una altura de 140 cm. Esta persona se encuentra lucida, no puede manejar sola el bipedestador por motivo de triplejía que no le permite movilizar sus extremidades superiores, necesita de la fisioterapeuta, quien se encarga de maneja el sistema. Ella conto su experiencia como satisfactoria ya que hace 33 años no podía incorporarse, tenía una inmensa alegría porque decía que se cumplió un sueño de estar de forma bipodal de nuevo. Al inicio tuvo miedo por ende se le subió de forma pausada el sistema pero ya después con las sujeciones correspondientes empezó a relajarse.



Figura 79. Usuario N°7

Como séptimo usuario (Ver Figura 79), tenemos a la señora Carúa María, su edad es de 62 años, con un peso de 130 lb. y una altura de 155 cm. Esta persona se encuentra lucida, pudo manejar por si sola el sistema, pero es necesario sea supervisada por la fisioterapeuta. Ella se comunicó con nosotros explicándonos que no puede caminar por motivo de amputación de la extremidad inferior izquierda, se mostró alegre al estar de forma bipodal y mucho más cuando manejo sola.



Figura 80. Usuario N°8

Como octavo usuario (Ver Figura 80), tenemos a la señora Chicaiza María, su edad es de 64 años, con un peso de 90 lb. y una altura de 135 cm. Esta persona tiene pérdida de conciencia, no puede manejar sola, necesita la ayuda de la fisioterapeuta. No se comunica para nada, su expresión al subir al sistema fue normal, no mostro miedo y pudo bipedestear totalmente.



Figura 81. Usuario N°9

Como noveno usuario (Ver Figura 81), tenemos al señor Fernando Tapia, su edad es de 70 años, con un peso de 88 lb. y una altura de 152 cm. Esta persona tiene pérdida de conciencia, no puede manejar sola, necesita la ayuda de la fisioterapeuta. Tiene su cadera desviada por ende le cuesta

caminar, siempre se bota al piso a dormir; su bipedestación fue completa y mostro una sonrisa cuando empezó a irse hacia adelante con la silla bipedestadora.



Figura 82. Usuario N°10

Como décimo usuario (Ver Figura 82), tenemos a la señora Sangopanta Rosa, su edad es de 70 años, con un peso de 138 lb. y una altura de 145 cm. Esta persona tiene pérdida de conciencia, no puede manejar sola, necesita la ayuda de la fisioterapeuta. Es muy alegre, dinámica; su bipedestación fue completa y mostro mucha alegría al ver que podía caminar de forma bipodal.



Figura 83. Usuario N°11

Como décimo primer usuario (Ver Figura 83), tenemos a Julio NN, su edad es de 77 años, con un peso de 110 lb. y una altura de 144 cm. Esta persona tiene poca conciencia, no puede manejar sola, necesita la ayuda de la fisioterapeuta. Es muy alegre, dinámica; su bipedestación fue completa y mostro mucha alegría al ver que podía caminar de forma bipodal. Se comunicó mediante señas agradeciendo por el paseo que le dimos.



Figura 84. Usuario N°12

Como décimo segundo usuario (Ver Figura 84), tenemos a Segovia Alfredo, su edad es de 72 años, con un peso de 90 lb. y una altura de 140 cm. Esta persona tiene poca conciencia, no puede manejar sola, necesita la ayuda de la fisioterapeuta. Su mayor problema para caminar es que sufre del corazón, presión alta y por esos motivos debe caminar lo menos posible; su bipedestación fue completa y mostro mucha alegría porque no se fatigaba al estar avanzando de un lado a otro en 5 minutos.



Figura 85. Usuario N°13

Como décimo tercer usuario (Ver Figura 85), tenemos a Almendaris Miguel, su edad es de 80 años, con un peso de 115 lb. y una altura de 159,5 cm. Esta persona tiene conciencia pero ya su vista no funciona, no puede manejar sola, necesita la ayuda de la fisioterapeuta. Su mayor problema para caminar es que sufre de los pulmones, presión alta y por esos motivos no debe caminar para evitar agitaciones; su bipedestación fue completa y mostro mucha alegría y nos comunicó que con el sistema siente que camina solo de nuevo aunque no pueda observar por donde se dirige.



Figura 86. Usuario N°14

Como décimo cuarto usuario (Ver Figura 86), tenemos a la señora Rosa Molina, su edad es de 55 años, con un peso de 74 lb. y una altura de 133 cm. Esta persona padece de retraso mental, no puede manejar sola, necesita la ayuda de la fisioterapeuta. Por el momento puede caminar pero por su condición sus extremidades empiezan a tener distrofias al pasar el tiempo, por ende va a necesitar del sistema; su bipedestación fue completa y mostro mucha alegría y su dicción permitió entender que le gusto.

A continuación se presenta una gráfica de sensaciones (Figura 87), de emociones que se pudo observar y sentir en el momento de los ensayos.

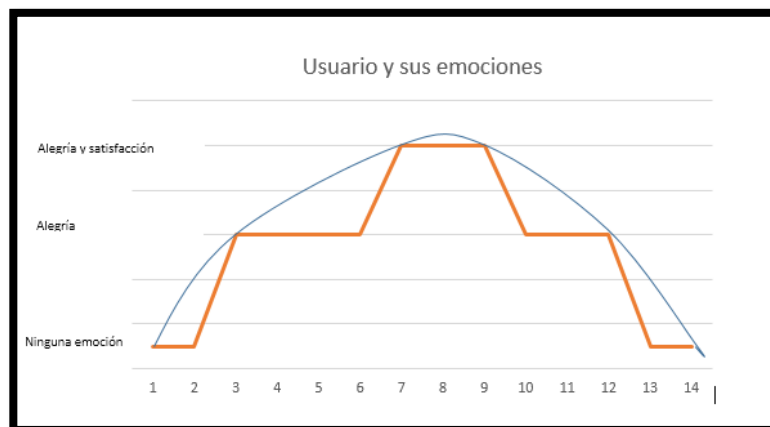


Figura 87. Curva de sensaciones

Como resultado de las pruebas tenemos que 4 personas que representan el 28,57%, no tienen ninguna emoción debido a su pérdida de conciencia, 7 personas que son el 50% de los usuarios demuestran su alegría mediante señas y su rostro, 3 personas que son el 21.42 % sienten una gran alegría y satisfacción por el sistema ya que ellas pueden utilizar el sistema sin ayuda algunas están conscientes, expresan sus emociones hablando. Cabe recalcar que el sistema en un futuro será utilizado por las 50 personas residentes en el del hogar de vida, debido a sus enfermedades degenerativas y al pasar el tiempo cada persona del asilo estará en una silla de ruedas y será necesario el uso del sistema de bipedestación para garantizar su envejecimiento sano.

5.2. Validación de la Hipótesis

- **Hipótesis**

Mediante el diseño e implementación de un bipedestador automático mejorará la movilidad de adultos mayores en el Hogar de Vida “Luis Maldonado Tamayo” de la ciudad de Pujilí.

- **VARIABLE INDEPENDIENTE:** la movilidad de adultos mayores y facilidad de desplazamiento de un lugar a otro

- **VARIABLE DEPENDIENTE:** Diseño e implementación de un sistema de bipedestación.

Para la comprobación de la hipótesis, se usa la distribución chi-cuadro (Monge & Pérez, 2002), la prueba consiste en formar un grupo de constantes de hipótesis que van a permitir la comprobación de las variables aleatorias, que a continuación se procede a describir:

Como primer paso se tiene la hipótesis nula y la de trabajo:

Hipótesis Nula (H1): el sistema de bipedestación no facilitará la movilidad de los adultos mayores en el desplazamiento de un lugar a otro.

Hipótesis de trabajo (H2): el sistema de bipedestación facilitará la movilidad de los adultos mayores en el desplazamiento de un lugar a otro

Después de establecer H1 y H2, se procedió a realizar la prueba con 14 usuarios del Hogar de Vida “Luis Maldonado Tamaño”, como se muestra en literal 5.1.2.

Una vez realizado las pruebas se procede a obtener resultados que se muestra en la Tabla 22, donde se denota las emociones de cada usuario al momento de elevación y descenso; son valores obtenidos que pertenecen a la frecuencia observada.

Tabla 23.

Frecuencia Observada

Actividad	Alegría y satisfacción	Alegría	Ninguna reacción	Total
Elevación	3	7	4	14
Descenso	3	7	4	14
Movimiento hacia adelante	3	7	4	14
Movimiento hacia atrás	3	7	4	14
Porcentaje %	21,42	50	28,57	100

Luego se calcula la frecuencia esperada, esto se logra con la frecuencia observada en las pruebas respectivas, dichos valores se proceden aplicarlos en la Ecuación 25, mostrando en la Tabla 23.

$$E_{ij} = \frac{0_i * 0_j}{0} \quad \leftrightarrow \text{Ec 25.}$$

Donde

0_i = Frecuencia Observada

E_{ij} = Frecuencia Esperada

Tabla 24.

Frecuencia Esperada

Actividad	Alegría y satisfacción	Alegría	Ninguna reacción	Total
Elevación	5,355	12,5	7,143	14
Descenso	5,355	12,5	7,142	14
Movimiento hacia adelante	5,355	12,5	7,143	14
Movimiento hacia atrás	5,355	12,5	7,142	14
Porcentaje %	21,42	50	28,57	100

Para terminar se calcula el valor chi-cuadro total, para esto se usa los datos de las frecuencias observadas y las esperadas; utilizando la Ecuación 26 que se muestra en la Tabla 24.

$$X_c^2 = \sum_{i=1}^j \frac{(0_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \quad \leftrightarrow \text{Ec 26.}$$

Donde

X_c^2 = Chi-cuadro calculado

I: Número de Filas

J= Numero de columnas

Tabla 25

Valores Calculados Chi-cuadro

Actividad	Alegría y satisfacción	Alegría	Ninguna reacción
Elevación	1,03	2,42	1,38
Descenso	1,03	2,42	1,38
Movimiento hacia adelante	1,03	2,42	1,38
Movimiento hacia atrás	1,03	2,42	1,38
Total	4,14	9,86	5,53
X2 Calculado			19,53

Los grados que se presentan de libertad en cálculos estadísticos son estimados de un número de categorías independientes que se realiza en pruebas particulares o experimento y se va a obtener mediante la Ecuación 27:

$$G_D = (I - 1) * (J - 1) \quad \leftrightarrow \text{Ec 27.}$$

$$G_D = (4 - 1) * (3 - 1)$$

$$G_D = 6$$

Como resultado se tiene que existe el grado de libertad que es 6, con una confianza estimada para el desarrollo del proyecto que es 0,05 ya que es de rendimiento aceptable, con estos datos se tiene (X_t^2) es 12,59 (Ver Anexo 18). El valor del chi-cuadro que se calculó (X_c^2) es 19,53, por lo tanto

$$X_c^2 > X_t^2$$

$$(19,53) > (12,59)$$

Con este criterio se acepta la hipótesis de trabajo y se elimina la hipótesis nula. Por lo tanto está demostrado que se verifica el cumplimiento

de la hipótesis planteada, donde el sistema de bipedestación facilita la movilidad de los adultos mayores en el desplazamiento de un lugar a otro.

5.3. Análisis económico del bipedestador

A continuación en la Tabla 25, se presenta un listado de materiales y actividades con sus respectivos precios; para establecer un análisis económico en cuanto se requiere para la construcción del bipedestador.

Tabla 26.

Listado de Materiales

Cantidad	Material	Valor unitario	Valor total
2	Motores con freno electromagnético a 24 V	350	700
1	Cilindro eléctrico a 12 V	150	150
1	Joystick	200	200
1	Batería 24 V DC	300	300
1	Batería 12 V DC	25	25
1	Cargador de batería 12 V	45	45
2	Llantas para silla de ruedas	35	70
1	Sistema de transmisión	50	50
1	Plancha de aluminio 2 mm	60	60
1	Cableado	60	60
8	Tubo de acero 7/8"	8	64
1	tapizado	55	55
3	Correas de sujeción	6	18
1	Litro de pintura	5	5
2	Borneras	2	4
1	Caja de madera	10	10
1	Juego de tornillos, tuercas, pernos	30	30
	Costos de envío y nacionalización	300	500
	Costos de construcción y montaje	200	200
	Otros	400	400
	Total		2946

El costo total es de 2946 dólares, en base a los bipedestadores que se encuentran en venta en el extranjero como se muestra en la Figura 87, se tiene que la base alrededor de 19600 dólares (S.L.L, 2017), es totalmente automático, pero no tiene la característica que sea para personas de edades mayores a los 60 años; en el país de Colombia se encuentran a 2000 dólares pero semiautomáticos como se muestra en la Figura 88. Por ende el bipedestador diseñado se encuentra con un costo módico y permite sea accesible a la adquisición.



Figura 88. Silla de ruedas para adulto

Fuente: (S.L.L, 2017)



Figura 89. BipeDESTADOR semiautomático

Fuente: (Mercao Libre Colombia, 2017)

5.4. Análisis costo-beneficio

Para realizar el análisis se procede a verificar que en la actualidad en el país no existe un bipeDESTADOR automático, de los existentes son semiautomáticos y no están diseñados para las características del adulto

mayor. Por ende es beneficioso realizar un análisis financiero donde va a permitir observar el ahorro que va a existir a futuro.

En la siguiente Tabla 26, se presenta un análisis cuantitativo con los beneficios que se tiene al encontrarse funcionando el bipedestador en el Hogar de Vida. En este análisis se ve el grupo afectado que en este caso es el hogar de vida, el Patronato, ya que es administrador. Cada recurso se procede a verificar que beneficio conlleva a los grupos afectados.

Tabla 27.

Análisis Cuantitativo

ANALISIS COSTO-BENEFICIO CUALITATIVO		
RECURSOS	GRUPO AFECTADO	
	Hogar de Vida	Patronato
Nuevas oportunidades de calidad de vida para usuarios	Positivo	
Menor número de personal		Positivo
Control en progreso de rehabilitación	Positivo	
Satisfacción de usuarios	Positivo	
Mejora en calidad de vida	Positivo	
Disminución de afectaciones en la columna del personal		Positivo
Movilidad de usuarios	Positivo	

Como resultado se tiene aspectos positivos que permiten una mejora completa en cuanto se refiere al Hogar de Vida y al Patronato que es la institución encargada de su administración.

En la tabla 27 se presenta el análisis cuantitativo en lo que se refiere a utilidad del sistema de bipedestación, permitiendo denotar que va existir un beneficio con una cantidad aproximada de 1,771 dólares mensuales.

Tabla 28

Análisis cuantitativo

ANALISIS COSTO-BENEFICIO CUANTITATIVO POR BIPEDESTADOR			
Detalle de costos	Costos	Detalle de beneficios	Beneficios económicos
Bipedestador	\$2.946	Menor lesiones en trabajadores	\$150
Carga de Baterías	\$25	Menor contratación del personal	\$400

Continua 

Repuestos básicos	\$100	Personal operativo calificado	\$1.600
Personal que maneje el sistema		Información disponible a todo el personal	\$21
Salario mensual	\$400		
Capacitación al personal encargado	\$0		
Transporte del bipedestador	\$15		
Personal encargado de capacitación	\$0		
		Total de beneficios económicos por sistema de bipedestación	\$1.771
Total costos por Bipedestador	\$3.486		
RESUMEN ANALISIS COSTO-BENEFICIO TOTAL			
Asumiendo 5 Bipedestadores			17430
Costo inicial Total			\$41.832
Costos regulares mensuales Totales			\$375
Costos totales			\$42.207
Beneficio Total			\$15.935
Recuperación de la inversión			7 meses

Como resultado en este análisis se obtiene que existiera un beneficio total de 15,935 dólares si se obtuvieran la cantidad de 5 bipedestadores, demostrando que este sistema es rentable para el uso de adultos mayores y permitiendo que la inversión que se realiza sea recuperada en siete meses para después observar beneficios.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Se diseñó e implementó un sistema de bipedestación totalmente automático para adultos mayores del Hogar de Vida “Luis Maldonado Tamayo”, el cual tiene una capacidad de carga de 100 Kg, el tiempo de ascenso y descenso promedio es de 47 segundos; logrando así una aceptación de más del 50 % de usuarios.
- Se construyó el sistema de bipedestación con las características necesarias en base a los adultos mayores, permitiendo así que 14 de ellos tengan una bipedestación completa y el uso prolongado del mismo ayude que la persona tenga mejor circulación sanguínea, evitando fatigas y un descanso al trasladarse de un lugar a otro. Cabe recalcar que el sistema debe ser usado en tiempos apropiados y siempre bajo la supervisión de la fisioterapeuta.
- El bipedestador cumple con la función de colocar a los adultos mayores en una forma bipodal a 85 grados con respecto a una persona normal, logrando así un traslado de un lugar a otro.
- El material utilizado en el sistema es acorde con la necesidad de hogar de vida, ya que los usuarios tienen un comportamiento infantil y ensucian con facilidad, por ende es necesario que el material sea de fácil limpieza y duración.
- El sistema de seguridad (correas) es reajutable tanto para las rodillas, piernas, tórax; permitiendo tener una seguridad absoluta y evitando un desplazamiento del usuario hacia adelante.
- En los usuarios de edades avanzadas existe mayor dificultad en la utilización del sistema debido a su pérdida de conocimiento, por ende es necesario que sea manejado por una persona capacitada ya que en

el trascurso desde sedentarismo a bipedestación provoca flexibilidad en los músculos, articulaciones, y cambios de presión arterial.

- Al momento de bipedestar los usuarios presentan un cambio de ánimos ya que denotan una alegría, entusiasmo y permiten que se les pueda colocar en el sistema sin ningún miedo. Es necesario que existan dos personas para la ayuda de subir al paciente al bipedestador para evitar algún tipo de accidente del mismo.

6.2. Recomendaciones

- En función de las pruebas realizadas a los usuarios es recomendable que al colocar el joystick se tome en cuenta la estatura de la persona que procederá a manejarlo para que sea con facilidad.
- En las pruebas se da la observación que las llantas patinan por motivo que las instalaciones son el piso de cerámica, por ende se recomienda usar llantas de labrado y anchura más grueso.
- Para que el sistema sea más seguro es necesario que exista una correa adicional en cuanto se refiere a la sujeción de la cabeza, debido a que algunas personas por su edad ya no tiene el control de la misma.
- Para mayor facilidad del cambio de silla al bipedestador se recomienda que el apoya pies sea desmontable para evitar tropiezos.
- A pesar que el sistema con una velocidad mínima se recomienda no cambiarla, para evitar que exista volcamientos al momento de trasladarse.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABB, D. A. (Agosto de 2008). *Electro Industria*. Recuperado el 14 de Febrero de 2017, de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1001>
- Aros & Aros, N. &. (2011). EVALUACION DE UN BIPEDESTADOR MOVIL INFANTIL. *XV Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos* (págs. 2-11). Chile: Universidad de La Frontera, Departamento de Ingeniería Eléctrica.
- Ayudas Dinámicas*. (2013). Recuperado el 14 de Julio de 2017, de <http://www.ayudasdinamicas.com/nueva-silla-maclaren-major/>
- Baliña, R. R. (2013). *Técnicas de tapizado de moviliario*. Bogota, Colombia: IC.
- Besdine, R. (Enero de 2017). *Manual MSD*. Recuperado el 24 de Agosto de 2017, de Evaluación del paciente anciano: <http://www.msmanuals.com/es-ec/professional/geriatr%C3%ADa/abordaje-del-paciente-geri%C3%A1trico/evaluaci%C3%B3n-del-paciente-anciano>
- BricoGeek*. (2016). Recuperado el 10 de Octubre de 2017, de <http://tienda.bricogeek.com/expansiones-raspberry-pi/706-controlador-de-motores-drv8835-para-raspberry-pi-b.html>
- Callister, W. D. (2007). *Ciencia e ingeniería de los Materiales*. Mexico: Reverte.
- CASALS, R. &. (8 de Agosto de 2013). *Usos y características de la polipiel*. Recuperado el 27 de Julio de 2017, de <http://www.ribescasals.com/blog/usos-y-caracteristicas-de-la-polipiel/>
- Cavasassi, L. (Marzo de 2016). *Baterías del Ciclo Profundo*. Recuperado el 4 de Septiembre de 2017, de <http://www.cavadevices.com/archivos/FOLLETOS/BATERIAS%20CICLO%20PROFUNDO.pdf>
- UP, G. (Productor), & CHILE, G. U. (Dirección). (2014). *VIDEO COMERCIAL DE SILLAS GET UP* [Película]. CHILE.
- Chinesport, G. (Junio de 2016). *Chinesports*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2017, de http://www.gracare.com/fileadmin/user_upload/fabricantes/chinesport/Bipedestadores_Chinesport.pdf
- DYNAMIC. (Mayo de 1998). *Sistema de control DL*. Recuperado el 12 de Octubre de 2017, de Sistema modular de movilidad: <https://dynamiccontrols.com/en/downloads/obsolete-product-documentation/dl/25-dl-installation-manual-spanish/file>

- Enriquez, D. (2 de Diciembre de 2011). *Tecnología*. Recuperado el 4 de Agosto de 2017, de <http://enriquezdiego.blogspot.com/2011/12/actuadores-neumaticos.html>
- ENSANUT-ECU. (2014). Encuesta Nacional de Salud y Nutrición. En W. Freire. Quito, Pichincha: ENSANUT.
- Espejel, A. (2013). Selección, Diseño y Construcción de un bipedestador para pacientes con parálisis cerebral. México: Universidad de Monterrey.
- Fernández- Engelberger & Sasseti, F. (2014). Diseño de un bipedestador ergonómico para un niño con Parálisis Cerebral distónica. España: UNER Facultad de Ingeniería.
- García, A. (2 de Diciembre de 2016). *PANAMAHITEK*. Recuperado el 2 de Septiembre de 2017, de Servomotores: <http://panamahitek.com/que-es-y-como-funciona-un-servomotor/>
- GEREATRIA, S. (5 de Agosto de 2015). *SILLAS DE RUEDAS ELECTRICAS*. Recuperado el 5 de Julio de 2017, de SILLAS DE RUEDAS ELECTRICAS: <https://www.sci-geriatria.com/catalogo/sillas-ruedas/electricas-scooters/electricas/silla-f35/>
- Giraldo Gomez, M. (2012). *Diseño de silla bipedestadora de baño para pacientes con discapacidad de miembro inferior*. Colombia: Universidad CES.
- Gómez, J. (2015). Diseño e Implementación en FPGA de un sistema de Control para bipedestador móvil. En J. Gómez. México: INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA PAZ.
- GÓMEZ, M. G. (2012). *DISEÑO DE SILLA BIPEDESTADORA DE BAÑO PARA*. ANTOQUIA: ESCUELA DE INGENIERÍA DE ANTIOQUIA-CES.
- Hinojosa, A. (2014). Atención especial para Adultos Mayores y personas con discapacida del cantón Pujilí. En G. A. Pujilí. Pujilí: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Pujilí.
- Kastola, A. (2012). *Tipos de bipedestadores*. Argentina: KASTOLA.
- Kenilworth, N. (15 de Febrero de 2017). *Enfermedades Ancianos*. Recuperado el 15 de Octubre de 2017, de <http://www.terceraedad.org/salud/enfermedades.asp>
- Leyva, M. (2008). Movilidad, equilibrio y caídas en adultos mayores. En M. Leyva, *Publicación de Gerontología y Geriatria* (págs. 1-2). Argentina: GEROINFO RNPS Vol.3.

- Márquez, P. B. (2009). *Operatividad con sistemas mecanicos,hidraulicos, neumaticos y electricos de maquinas e instalaciones para la transformacion de polimeros y su mantenimiento*. Quito: IC editorial.
- Medline. (Febrero de 2014). *Medline*. Recuperado el 14 de Abril de 2017, de Medline: <http://www.medlinne.cl/kine/bipedestador.pdf>
- Mercao Libre Colombia*. (Enero de 2017). Recuperado el 5 de Febrero de 2018, de https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-458365126-gruasilla-bipestadora-_JM
- Monge & Pérez, F. &. (2002). *UOC*. Recuperado el 4 de Febrero de 2018, de https://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Chi_cuadrado.pdf
- Mora & Salazar, J. &. (2014). *Diseño e Implementación de Sistema de Propulsión y Control para Silla de Ruedas*. Pereira: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA.
- P.G, P. (Abril de 2008). *Benefits of Standing*. Recuperado el 8 de Febrero de 2017, de <http://www.easystand.com/health-benefits-new/>
- Perry, J. (1992). *Normal and Pathological Function*. Estados Unidos: SLACK Incorporated.
- Quintero Diaztagle, C. A. (2011). *Bipedestacion para niños con parálisis cerebral espástica*. Pereira: QUINTERO.
- S.L.L, O. (2 de Febrero de 2017). *Ortojosbel S.L.L*. Recuperado el 5 de Febrero de 2018, de Silla de Ruedas Virtual: http://www.sillasderuedas.es/epages/ea0570.sf/es_ES/?ObjectPath=/Shops/ea0570/Products/30
- Sánchez, R. (2008). *Accionamientos y actuadores eléctricos*. Huelva : Universidad de Huelva .
- SMC, C. (Marzo de 2016). Recuperado el 4 de Agosto de 2017, de https://www.smc.eu/smc/ProductsRepository/LEY/catalogues/LEY_cat_es.pdf
- SUCONEL. (Enero de 2017). *Suministros y Controles Eléctricos*. Recuperado el 5 de Enero de 2018, de http://suconel.com.co/home2/suconelc/public_html/index.php?option=com_virtuemart&view=productdetails&virtuemart_product_id=6939180&virtuemart_category_id=214

ANEXOS



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por las señoritas:

ERIKA KATHERINE PAREDES TORRES y JESSICA ESTEFANÍA TOAPANTA QUIMBITA

En la ciudad de Latacunga, a los: **19 días del mes de febrero del 2018.**

Aprobado por:

Ing. Fausto Acuña

DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Katya Torres

DIRECTORA DE CARRERA

Dr. Rodrigo Vaca

SECRETARIO ACADÉMICO

