



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E
INDUSTRIAS**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA SILLA PARA
BIPEDESTACIÓN**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

WILLIAM JAVIER JÁCOME COLLAGUAZO

DIRECTOR: FREIRE CARRERA FAUSTO RODRIGO PhD

Quito, Enero 2018

© Universidad Tecnológica Equinoccial 2018.
Reservados todos los derechos de reproducción

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100331774-8
APELLIDO Y NOMBRES:	Jácome Collaguazo William Javier
DIRECCIÓN:	Humberto Albornoz y Ugarte y Sarabia
EMAIL:	javo-1990@hotmail.com
TELÉFONO FIJO:	02-3211061
TELÉFONO MOVIL:	0996001822

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Diseño y Construcción de una Silla para Bipedestación
AUTOR O AUTORES:	Jácome Collaguazo William Javier
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	30 de Enero del 2018
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Freire Carrera Fausto Rodrigo PhD
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
RESUMEN:	<p>El objetivo de este trabajo, es el diseño y la construcción de una silla para bipedestación, una silla que será de gran utilidad para el desarrollo personal de personas con problemas en sus extremidades inferiores que los ayudara a ser más autosuficientes y realizar actividades que en una silla de ruedas normal los limita a hacerlas.</p> <p>Se inició el trabajo buscando el mecanismo que va a realizar la bipedestación en la silla, después de realizar varios diseños basados en el cumplimiento de los requerimientos impuestos en el desarrollo de la metodología. Siendo el mecanismo que más se sujeta a los requerimientos un actuador lineal.</p> <p>Para la adaptación del actuador lineal a la silla, se procedió a realizar los cálculos de las vigas de sujeción del actuador tanto superior como inferior, vigas diseñadas para soportar un peso de una persona promedio de 65 kg.</p> <p>Una vez realizados los cálculos de las vigas, se procedió a modelar la estructura principal de la silla en un software CAD Solidworks 2016. De esta manera el diseño de toda la estructura de la silla quedó completo para proceder a la implementación del prototipo.</p>

PALABRAS CLAVES:

ABSTRACT:

El prototipo fue construido en acero a36 en toda la estructura principal de sujeción del actuador lineal. El actuador lineal es alimentado con una batería de 12 Voltios DC y con un mando de tipo Switch UP/Down para el control de salida y entrada del vástago del actuador.

Para la estabilidad y sujeción de la persona, se construyó fajas de sujeción para el pecho, muslos y piernas, de esta manera se garantiza la seguridad de la persona en todo el periodo de Bipedestación de la silla.

Una vez construido el prototipo se realizó pruebas a diferentes pesos para obtener datos de consumo de energía, tiempos de trabajo y rendimiento del sistema. Las pruebas fueron exitosas, lo que indica que el diseño cumple con los requerimientos para este tipo de Sillas.

- Silla para Bipedestación
- Bipedestación
- Diseño Mecánico de Sillas para Bipedestación
- Diseño Eléctrico de Sillas para Bipedestación
- Simulación de un actuador lineal

The objective of this work is the design and the construction of a standing chair, a chair will be very useful for the personal development of people that have problems in their lower extremities. A chair will help this people to be more self-sufficient and to do activities that in a normal wheel chair they cannot do. The work began looking for the mechanism that will do the standing in the chair, after to do many designs based in the fulfillment with the requirements imposed in the development methodology. The mechanism that more subject to the requirements is a linear actuator.

For the adaptation of the linear actuator to the chair, we proceeded to do the calculations of the upper and lower actuator clamping beams, the beams are designed to support a weight of an average 65 kg person.

Once the beams were calculated, the main structure of the chair was modeled in Solidworks 2016 CAD software. In this way, the design of the structure of the chair was complete to proceed with the prototype's implementation.

The prototype was built in a3 steel in all the linear actuator structure.

The linear actuator is powered by a 12 volt DC battery and with a switch up / down to control the output and input of the actuator stem.

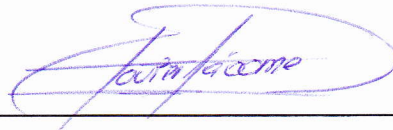
For the stability and subjection of the person, straps were constructed for the chest, thighs and legs, in this way the safety of the person is guaranteed in the period of standing of the chair.

Once the prototype was built, tests were completed at different weights to obtain data on energy consumption, work times and system performance.

The tests were successful, which indicates that the

KEYWORDS	design meets the requirements for this type of chairs
	<ul style="list-style-type: none">• Standing Chair• Standing• Mechanical Design of Chairs for Standing• Electric Design of Chair for Standing• Linear actuator simulation

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.



Jácome Collaguazo William Javier

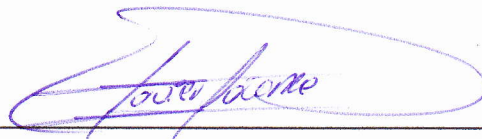
C.I. 1003317748

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **JÁCOME COLLAGUAZO WILLIAM JAVIER**, CI 100331774-8 autor del proyecto titulado: **Diseño y Construcción de una Silla para Bipedestación** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN MECATRÓNICA** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, 30 de Enero del 2018



Jácome Collaguazo William Javier

C.I. 100331774-8

DECLARACIÓN JURAMENTADA DEL AUTOR

Yo **JÁCOME COLLAGUAZO WILLIAM JAVIER**, portador de la cedula de identidad N° 100331774-8 declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



Jácome Collaguazo William Javier

C.I. 100331774-8

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor de tesis certifico que el presente trabajo que lleva por título **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA SILLA PARA BIPEDESTACIÓN”**, que, para aspirar al título de **INGENIERO EN MECATRÓNICA** fue desarrollado por **WILLIAM JAVIER JÁCOME COLLAGUAZO** bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería; y que dicho trabajo cumple con las condiciones para ser sometidos a la presentación pública y evaluación por parte del Jurado examinador que se designe.



Ing. Fausto Freire PhD
DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I.180242473-7

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo de titulación a mis padres, gracias a su esfuerzo y sacrificio, he podido salir adelante y crecer como persona, en lo personal y lo profesional. Una entrega total de amor y comprensión hacia mí, han sido aspectos claves para tener la fuerza y la convicción para culminar mis estudios profesionales.

Mi padre, mi mayor ejemplo, un hombre entregado a su familia en cuerpo y alma, me ha sabido guiar por el camino correcto para llegar a estas instancias y poder ser un profesional.

Mi madre, el amor más incondicional que tengo, siempre ha tenido los mejores consejos y palabras para no dejarme caer ante los obstáculos que la vida me ha puesto a lo largo de este periodo.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios, por darme la vida y la salud para cumplir mis metas.
A mis padres, por el apoyo emocional y económico para formarme como profesional, sin ustedes no hubiera sido posible cumplir esta meta.

A mis tíos Henry, Maribel, Norma y Germania, personas fundamentales que me brindaron su apoyo, un hogar en Quito donde me sentí en casa cada día de todo este periodo de estudios en la Universidad.

Al Ing. Fausto Freire, por los conocimientos a mi impartido a lo largo del desarrollo de este trabajo de titulación.

A mis amigos, mi segunda familia, gracias por apoyarme siempre y estar en las buenas y malas.

A todos mis profesores de la carrera de Ing. Mecatrónica por compartir sus conocimientos para poder desenvolverme en el campo profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	PÁGINA
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. METODOLOGÍA Y DISEÑO	10
2.1. MÉTODOS	11
2.1.1. Recolección de Requerimientos:.....	11
2.1.2. Especificaciones del sistema	12
2.1.3. Análisis funcional	13
2.1.4. Integración	14
2.1.5. Verificación.....	15
2.1.6. Validación.....	16
2.1.7. Producto.....	16
2.2. DISEÑO	16
2.2.1. DISEÑO MECÁNICO	16
2.2.2. DISEÑO ELÉCTRICO	24
2.2.3. SIMULACIÓN DEL SISTEMA	27
3. ANALISIS DE RESULTADOS	32
3.1. Implementación.....	33
3.2. Rendimiento del Actuador Lineal	37
3.3. Duración de la Batería	39
3.3.1. Consumo de energía del actuador	40
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	41
CONCLUSIONES	42
RECOMENDACIONES.....	43
BIBLIOGRAFÍA	44

ÍNDICE DE TABLAS

PÁGINA

Tabla 1 Silla de bipedestación LCEV y LSE	6
Tabla 2 Datos Técnicos Silla Levo	6
Tabla 3 Datos Técnicos Silla semi-eléctrica LSE	7
Tabla 4 Datos técnicos silla para Bipedestación	16
Tabla 5 Datos técnicos Actuador Lineal ECO-WOETHY	25
Tabla 6 Datos tiempo vs Peso	38
Tabla 7 Datos consumo de energía.....	40

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Silla de Bipedestación con propulsión manual.....	5
Figura 2. Silla de Bipedestación con propulsión eléctrica	5
Figura 3. Camilla de Bipedestación con Verticalización Motorizada	8
Figura 4. Grúa de Bipedestación FORTA	8
Figura 5. Metodología en V.....	11
Figura 6 Partes de la Silla de Bipedestación.....	13
Figura 7 Partes del mecanismo de bipedestación.....	13
Figura 8. Diagrama de flujo del sistema mecánico.....	14
Figura 9. Diagrama del sistema de control.....	15
Figura 10. Viga empotrada con carga puntual	16
Figura 11. Gráficas de cortantes y momentos	17
Figura 12. Viga de soporte inferior	18
Figura 13. Simulación- Distribución de cargas sobre la viga inferior.....	19
Figura 14. Simulación Viga inferior	19
Figura 15. Viga de soporte superior	20
Figura 16. Simulación- Cargas aplicadas sobre la viga superior	20
Figura 17. Simulación Viga superior	21
Figura 18. Pieza y ensamble para la articulación de la silla en las rodillas .	21
Figura 19. Piezas para la articulación de la cintura.....	22
Figura 20. Ensamble de la articulación de la silla a nivel de la cintura.....	22
Figura 21. Vista explosionada de la estructura de la silla	23
Figura 22. Estructura Principal de la Silla de Bipedestación	23
Figura 23. Estructura Principal en Bipedestación.....	24
Figura 24. Diagrama de cuerpo libre de la carga P.....	24
Figura 25. Diagrama de conexión del módulo DLRM MPC 0462.....	26
Figura 26. Diseño eléctrico para accionar el Actuador Lineal	27
Figura 27. Partes del actuador lineal.....	27
Figura 28. Sistema masa amortiguador resorte	28
Figura 29. Posición inicial del actuador.....	28
Figura 30. Posición final del actuador	28
Figura 31. Diagrama de bloques del sistema	29
Figura 32. Resorte	30
Figura 33. Amortiguador	30
Figura 34. Simulación del sistema	31
Figura 35. Estructura principal de la silla de ruedas.....	33
Figura 36. Cortes en los tubos para las articulaciones.....	33
Figura 37. Adaptación de las piezas	34
Figura 38. Articulación completa de la silla	34
Figura 39. Vigas de soporte para el actuador lineal	35
Figura 40. Actuador Lineal instalado en la silla para bipedestación.....	35
Figura 41. Silla de ruedas para bipedestación	36
Figura 42 Posición vertical de la silla	36
Figura 43. Cableado de la silla para bipedestación.....	37
Figura 44. Grafica Tiempo en función del Peso	38

Figura 45. Energía consumida en función del tiempo del ciclo 40

ÍNDICE DE ECUACIONES

	PÁGINA
Ecuación 1. Momento Máximo.....	17
Ecuación 2. Esfuerzo permisible.....	17
Ecuación 3. Módulo de Sección.....	18
Ecuación 4. Peso.....	25
Ecuación 5. Ley de Hooke.....	30
Ecuación 6. Coeficiente de fricción viscosa.....	30
Ecuación 7. Potencia.....	39

RESUMEN

El objetivo de este trabajo, es el diseño y la construcción de una silla para bipedestación. Una silla que será utilidad para el desarrollo en la sociedad de personas con problemas en sus extremidades inferiores. La silla ayudará a la persona a ser más autosuficiente y realizar actividades que en una silla de ruedas normal los limita a hacerlas.

Se inició el trabajo buscando el mecanismo que va a realizar la bipedestación en la silla, de acuerdo al cumplimiento de los requerimientos, se optó por utilizar un actuador lineal como motor principal del mecanismo.

Para la adaptación del actuador lineal a la silla, se realizó el dimensionamiento de las vigas de sujeción del actuador tanto superior como inferior. Las vigas fueron diseñadas para soportar un peso de una persona promedio de 65 kg. Una vez obtenidas las medidas de las vigas, se procedió a modelar la estructura principal de la silla en un software CAD. De esta manera el diseño de toda la estructura de la silla quedó completo para proceder a la implementación del prototipo.

El prototipo fue construido en acero A36 en toda la estructura principal de sujeción del actuador lineal.

El actuador lineal es alimentado con una batería de 12 Voltios DC. Cuenta con un mando de tipo switch UP/Down para el control de salida y entrada del vástago del actuador.

Para la estabilidad y sujeción de la persona, se construyó fajas de sujeción para el pecho, muslos y piernas. De esta manera se garantiza la seguridad de la persona en todo el periodo de bipedestación de la silla.

Una vez construido el prototipo se realizó pruebas con diferentes pesos para obtener datos de consumo de energía, tiempos de trabajo y rendimiento del sistema. Las pruebas fueron exitosas, lo que indica que el diseño cumple con los requerimientos para este tipo de sillas.

ABSTRACT

The objective of this work is the design and construction of a standing chair. A chair that will be useful for the personal development of people that have problems in their lower limbs. The chair will help these people to be more self-sufficient and to do activities that in a normal wheel chair they cannot do.

The work began looking for the mechanism that will do the standing in the chair, according to the fulfillment of the requirements, it was decided to use a linear actuator as the main engine of the mechanism.

For the adaptation of the linear actuator to the chair, the sizing of the upper and lower actuator clamping beams was performed. The beams were designed to support a person average weight of 65 kg. Once the beams were calculated, the main structure of the chair was modeled in CAD software. In this way, the design of the structure of the chair was complete to proceed with the prototype implementation.

The prototype was built in A36 steel in all the linear actuator structure.

The linear actuator is powered by a 12 volt DC battery. It has a switch up/down to control the output and input of the actuator stem.

For the stability and subjection of the person, straps were constructed for the chest, thighs and legs. In this way the safety of the person is guaranteed in the period of standing of the chair.

Once the prototype was built, tests were completed at different weights to obtain data of energy consumption, work times and system performance. The tests were successful, which indicates that the design meets the requirements for this type of chairs.

1. INTRODUCCIÓN

En el Ecuador, el número de personas con discapacidad física, es decir, en sus extremidades inferiores, es de 197657; el cual equivale al 47% del total de personas discapacitadas en el Ecuador. (CONADIS, 2017). La mayor parte de personas con discapacidad en sus extremidades inferiores lleva su vida cotidiana sentada en una silla de ruedas. Es evidente la dificultad para desenvolverse por sí solas en la sociedad y realizar cierto tipo de actividades que requieren del uso de sus extremidades inferiores. Si bien es cierto la existencia de la Ley Orgánica de Discapacidades vigente desde el 2013, la cual muestra preocupación sobre el sustento de personas con discapacidad en el ámbito económico, para mejorar su estilo de vida, requiere también mostrar una preocupación en cuanto a su movilidad y cómo estas personas puedan desarrollarse por sí solas y no se vean en la necesidad de únicamente llevar una vida sentados en la silla de ruedas.

El motivo del desarrollo de este proyecto es buscar un modelo de silla de ruedas que disminuya las limitaciones que una persona con discapacidad sufre al pasar únicamente sentada en una silla. Una silla equipada con mecanismos que le permita al paciente cambiar de posición y realizar otro tipo de actividades antes imposibles de hacerlas. La búsqueda de este prototipo de silla abre al campo de la Mecatrónica la posibilidad de diseñar y construir una silla para bipedestación.

Una silla para bipedestación no solo mejora la capacidad del paciente para realizar ciertas actividades que en una silla de ruedas normal puede hacerlas. El uso de este tipo de dispositivos ayuda a la persona con problemas de salud como son: la digestión, la presión sanguínea, reduce la espasticidad, reduce las contracturas de los músculos y además reduce el riesgo de la aparición de escaras y osteoporosis en el paciente. (Tekbo-Bioingeniería, 2016).

SILLAS DE BIPEDESTACION

La silla de ruedas para bipedestación, es una silla capaz de poner de pie al paciente en su propia silla, por lo cual cuentan con mayores medidas de sujeción para el paciente tales como: petos, cinturones pélvicos y apoyos de rodilla, mientras mayor sea la discapacidad del paciente, mayores serán las medidas de sujeción.

El mecanismo de bipedestación para la silla es totalmente eléctrico.

- **Sillas de Bipedestación con propulsión manual**

Este tipo de sillas dan la posibilidad al paciente ponerse de pie como indica la figura 1, mediante un mecanismo eléctrico pero el desplazamiento de la silla se la realiza de forma manual.



Figura 1. Silla de Bipedestación con propulsión manual
(Invacare, 2017)

En la figura 1 se muestra una silla para bipedestación con propulsión manual convencional, las principales características a destacar son:

1. Fajas de sujeción
2. Sistema de bipedestación

- **Silla de Bipedestación con propulsión eléctrica**

En este tipo de sillas tanto el mecanismo de bipedestación como el de propulsión es eléctrico, es decir, el dispositivo en conjunto es automatizado. De igual manera su principal función es poner de pie a la persona como indica la figura 2.



Figura 2. Silla de Bipedestación con propulsión eléctrica
(Permobil, 2017)

En la figura 2 se muestra una silla de bipedestación con propulsión eléctrica con las siguientes características a destacar:

1. Control mediante una interfaz gráfica
2. Sistema de bipedestación
3. Propulsión de la silla mediante motores

En la actualidad existe en el mercado dos marcas destacadas de sillas bipedestadoras manuales con bipedestación eléctrica como indica la tabla 1.

Tabla 1 Silla de bipedestación LCEV y LSE

Silla de ruedas Levo LCEV	Silla semi-eléctrica LSE
	

Las características de las dos sillas mostradas den la tabla 1 son similares, es preciso destacar las siguientes:

- Ajuste del ángulo del respaldo
- Altura de los reposabrazos
- Profundidad del asiento
- Plegado de los reposapiés

La tabla 2 muestra los datos técnicos de la silla Levo LCEV.

Tabla 2 Datos Técnicos Silla Levo

Característica	Especificación
Ancho total	68 cm
Longitud total	90 cm
Altura total	80 cm
Peso total	25 kg
Baterías	2 Baterías 12V/2,7 A
Peso máximo del usuario	120 kg
Inclinación de pie	86°

(LCEV, 2016)

La tabla 3 muestra los datos técnicos de la silla semi-electrica LSE.

Tabla 3 Datos Técnicos Silla semi-eléctrica LSE

Característica	Especificación
Ancho asiento	36-40-44-48 cm
Ancho total	ancho asiento + 21 cm
Altura de asiento	51 cm
Ruedas traseras diámetro	600 mm
Ruedas delanteras diámetro	150 mm
Profundidad de asiento	41 a 55 cm
Largo total sentado	96 a 108 cm
Altura de respaldo	30/40/50 cm
Altura total(respaldo incluido)	84/92/104 cm
Peso máximo	120 kg

(LIFESTAND, 2016)

MÁQUINAS PARA BIPEDESTACIÓN

En la actualidad, además de las sillas para bipedestación se puede encontrar otro tipo de máquinas y aparatos utilizados para erguir al paciente y ponerlo en una posición vertical.

- **Camilla de Bipedestación con Verticalización Motorizada**

Este tipo de máquina de bipedestación, comúnmente es utilizada en personas que padecen daño cerebral, lo que les obliga a permanecer en una cama, perdiendo la mayor parte de movilidad en su cuerpo. Permanecer en una cama por un tiempo prolongado, conlleva a una serie de complicaciones para el paciente, una de las más comunes es la hipotensión ortostática; por lo tanto, el uso de una camilla de bipedestación, ayuda a mejorar la digestión, respiración y la circulación de la sangre hacia sus extremidades inferiores.

Este tipo de aparatos para bipedestación, generalmente soportan un peso de 150 kg, su funcionamiento, al igual que la mayoría de este tipo de máquinas para bipedestación, funciona con actuadores lineales.

Una de sus desventajas es el tamaño de la camilla, su peso y la dificultad de transporte de la misma como se muestra en la figura 3.



Figura 3. Camilla de Bipedestación con Verticalización Motorizada
(Mobercas, 2017)

Entre las características principales, se destacan las que muestra la figura 3:

1. Motor y mecanismo de bipedestación.
2. Espaldar reclinable
3. Reposo pies

- **Grúas de bipedestación**

Las grúas de bipedestación o también conocidas como grúas cambian pañales esto es debido a que facilitan realizar actividades de aseo para el paciente. Normalmente cuentan con una plataforma para el apoyo de los pies, una zona para el apoyo de las rodillas y un arnés de sujeción para la parte de la espalda a la hora de realizar la bipedestación.

Una de las principales marcas distribuidoras de este tipo de grúas es FORTA como indica la figura 4, la cual tiene las siguientes características técnicas.

- Capacidad de elevación de 150 kg
- Un motor de 6000 N
- Peso de la grúa 32 kg

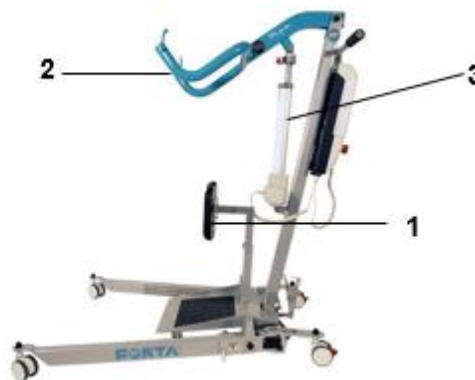


Figura 4. Grúa de Bipedestación FORTA
(FORTA, 2017)

Las principales características que se puede distinguir se muestran en la figura 4:

1. Apoyo para las rodillas
2. Apoyo para los brazos
3. Sistema de bipedestación con un actuador lineal

El mecanismo de bipedestación debe ubicar a la persona en una posición vertical y regresarla a la posición inicial, el mecanismo de bipedestación debe ser diseñado para una persona de peso promedio. La estatura de una persona en el Ecuador promedia entre 1,55 cm a 1,67 cm (BBC, 2016) Las personas que se encuentran en este intervalo de estatura pesan entre 60 y 75 kg (OMS, 2016). Por lo tanto el diseño del mecanismo será diseñado para una persona de peso promedio de 65 kg.

El sistema eléctrico y de alimentación debe ser implementado en el software de diseño eléctrico para la simulación y corrección de errores, una vez este muestre un correcto funcionamiento se procede a la implementación en la silla.

El control del sistema eléctrico y mecánico de la silla de bipedestación debe ser robusto. La selección del actuador adecuado para el accionamiento del sistema dará las garantías para su uso.

El sistema de bipedestación en conjunto con la silla debe brindar estabilidad tanto en la posición inicial así como también al momento de elevarla para evitar accidentes ante la pérdida de estabilidad.

Para el éxito en el desarrollo de este proyecto, se plantea un objetivo general que es diseñar y construir de una silla para bipedestación.

Para el cumplimiento del objetivo general, es necesario plantear objetivos específicos:

- Diseñar y construir la estructura principal del mecanismo de bipedestación, así como también las piezas necesarias para las articulaciones en las rodillas y la cintura, para de esta manera lograr verticalizar la silla.
- Diseñar y ensamblar el sistema eléctrico y de control que permitan al usuario controlar la posición del sistema de bipedestación.
- Diseñar y elaborar fajas de sujeción para que la persona tenga la seguridad durante el proceso de bipedestación.

El cumplimiento de los objetivos lleva al final del proceso de diseño y construcción a tener como resultado una silla para bipedestación segura y funcional.

2. METODOLOGÍA Y DISEÑO

2.1. MÉTODOS

Para el diseño y la construcción de la silla para bipedestación se utilizara la metodología en V; la figura 5 muestra las etapas de la metodología, su etapa inicial es la recolección de requerimientos, hasta llegar a su etapa final que es el producto, es decir la construcción de la silla para bipedestación.

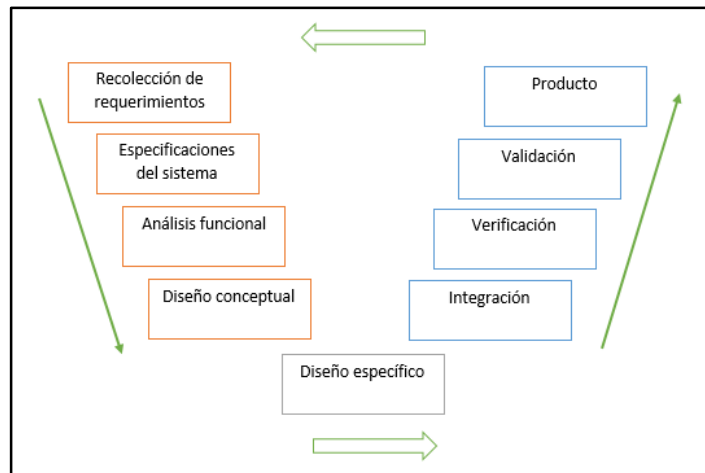


Figura 5. Metodología en V
(Panel Testing - Centro de Excelencia, 2014)

2.1.1. Recolección de Requerimientos:

El sistema a desarrollar es una silla bipedestadora capaz de cumplir con los siguientes requerimientos:

- **Sistema de control**

El sistema de control debe estar compuesto por un switch y un circuito eléctrico para controlar el proceso de bipedestación en la silla.

- **Sistema mecánico**

El sistema mecánico debe ser capaz de mover a la persona de la posición sentado a una posición vertical, el sistema debe ser capaz de regresar a la persona a la posición inicial. El peso que el mecanismo debe soportar, es el peso de una persona promedio de 65 kg. La vida útil del mecanismo de bipedestación dependerá del uso, almacenamiento, mantenimiento periódico, de las inspecciones y de la limpieza. La vida útil estimada de una silla de ruedas de este tipo es de 3 años. (SENADIS, 2016).

- **Sistema eléctrico**

El sistema eléctrico debe conectar el sistema actuador lineal con el interruptor, la fuente de alimentación debe ser una batería de voltaje continuo recargable, normalmente de 12 V DC.

- **Alimentación**

La batería que acciona el actuador debe tener una duración al menos 25 ciclos antes de que requiera ser cargada. 25 ciclos equivalen a la utilizar el mecanismo 3 veces al día durante una semana. Se denomina un ciclo completo al proceso de poner a la persona en posición vertical y regresarla a la posición sentado.

- **Estabilidad**

A la hora de utilizar este tipo de dispositivos el usuario exige estabilidad tanto en la posición sentada como en la posición vertical, así como también durante el proceso de bipedestación.

- **Materiales Resistentes**

La estructura del mecanismo de bipedestación de la silla debe ser diseñada con un factor de seguridad de 3. Esto asegura que en la implementación del prototipo no se produzcan deformidades por las fuerzas que ejercen tanto el peso de la persona como el actuador lineal, a la hora de realizar el proceso de verticalización.

- **Mantenimiento**

La batería que alimentara el sistema debe ser recargable para evitar costos de mantenimiento. La recarga de la batería será necesaria en el momento que el mecanismo de bipedestación realice el proceso en un tiempo mayor de lo habitual o a su vez cuando el mecanismo no funcione.

2.1.2. Especificaciones del sistema

- El sistema de bipedestación debe ser alimentado con una batería 12 voltios en corriente continua. La batería debe ser desmontable del sistema para su recarga. La necesidad de una batería de estas características es debido a la disponibilidad de las mismas en el mercado.
- El diseño del sistema completo debe ser realizado tomando en consideración medidas estándar en el campo de la fabricación de sillas de ruedas.
- El mecanismo de bipedestación debe ser totalmente adaptable a sillas de ruedas normales, debido a que la construcción de este proyecto será a partir de una silla de ruedas convencional.

2.1.3. Análisis funcional

2.1.3.1. Diseño Mecánico

- Las piezas del sistema deben ser diseñadas con el objetivo de que soporten las fuerzas a las que se van a someter durante el movimiento del sistema de bipedestación.
- Es necesario rigidizar la estructura central de la silla de ruedas para obtener la estabilidad deseada en las dos posiciones en las que el usuario se encuentre.
- Las dimensiones de la silla para bipedestación y de cada pieza que la conforman serán las medidas estándar de una silla de ruedas normal. Es decir un ancho no menor a 50 cm, altura total de la silla sin verticalización no menor de 100 cm y largo no menor de 100 cm.

El diseño mecánico de la silla para bipedestación consta de las siguientes partes que indica la figura 6.



Figura 6 Partes de la Silla de Bipedestación

El diseño mecánico del mecanismo de bipedestación consta de las siguientes partes que indica la figura 7.

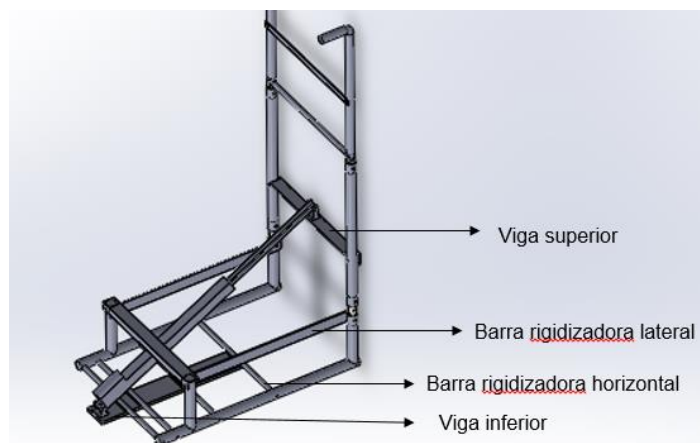


Figura 7 Partes del mecanismo de bipedestación

2.1.3.2. Diseño eléctrico

- Para la selección del actuador lineal, la fuerza de carga y descarga debe ser calculada tomando en cuenta un factor de seguridad de 2. De esta manera se asegura que el actuador lineal tenga la capacidad de carga y descarga de al menos el doble del peso promedio de la persona que es 65 kg.
- Un switch up/down es la mejor alternativa como elemento eléctrico para el control de la salida y entrada del vástago, es decir para la carga y descarga del actuador lineal en el proceso de bipedestación.

2.1.3.3. Sistema de Control

El diseño del sistema de control es un diseño en lazo abierto sin tomar en cuenta al usuario.

Una vez que el usuario controla el sistema de bipedestación, el diseño se transforma a lazo cerrado. De esta manera el sistema de bipedestación da la opción de detenerse en la posición deseada por la persona, evitando la conexión de sensores al sistema de bipedestación.

2.1.4. Integración

Se procederá a la correcta unificación de los tres sistemas: mecánico, eléctrico y de control.

El diagrama de flujo que muestra la figura 8 muestra el funcionamiento del sistema de bipedestación basándose en las dos posiciones en las que el usuario puede estar en la silla: sentado y parado (posición vertical).

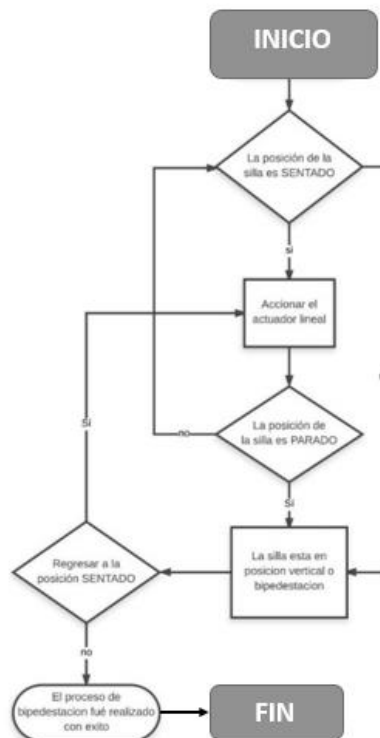


Figura 8. Diagrama de flujo del sistema mecánico

El proceso inicia verificando la posición en la que se encuentra la silla de bipedestación, si la posición de la persona es sentada se procede a accionar el actuador lineal mediante el switch up/down. Una vez el actuador haya realizado la bipedestación y la persona se encuentre en posición vertical, se muestra la opción de regresar a la posición inicial que es sentado, para lo cual es necesario volver accionar el actuador.

El diagrama de la figura 9 indica el flujo de información y alimentación en todo el sistema de bipedestación. En el diagrama se representa todos sus componentes y la interacción Hombre y Máquina para controlarlo.

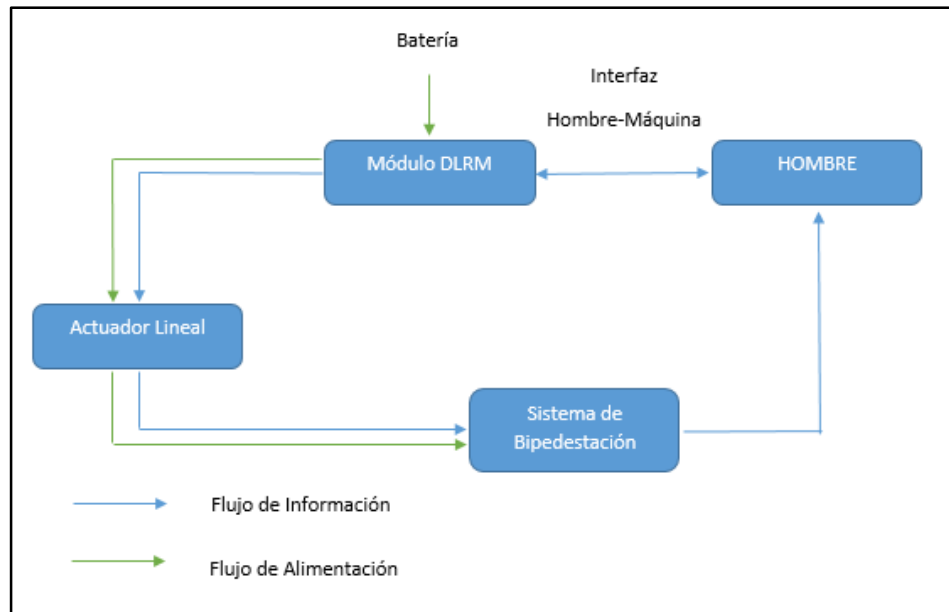


Figura 9. Diagrama del sistema de control

En el diagrama el proceso inicia cuando la persona toma el control de la silla mediante el switch, el cual al ser pulsado envía la señal al módulo DLRM que controla al actuador lineal para realizar la bipedestación de la misma.

2.1.5. Verificación

Una vez implementado el prototipo se verificará el correcto funcionamiento del sistema en conjunto, para la verificación se realizará las siguientes pruebas:

- El actuador lineal será sometido a trabajo con pesos de 60, 70 y 80 kg con el objetivo de verificar la capacidad de carga y descarga del actuador lineal, cronometrando el tiempo que tarda en el ciclo completo de trabajo.
- Se debe realizar el cálculo del consumo de la batería para obtener un aproximado del tiempo de vida útil de la misma.
- Se realizará un análisis de las zonas donde el usuario requiera el uso de las fajas de sujeción.

2.1.6. Validación

En base a las pruebas que se realizará y el análisis de los datos obtenidos se realizará la validación de los mismos tomando en cuenta el siguiente parámetro:

- Los tiempos cronometrados con los pesos de 60, 70 y 80 kg, deberán ser iguales o aproximados al tiempo de carga y descarga que indica la tabla de datos técnicos del actuador lineal seleccionado.

2.1.7. Producto

Se obtiene la silla para bipedestación con características que muestra la tabla 4.

Tabla 4 Datos técnicos silla para Bipedestación

Característica	Especificación
Ancho asiento	50 cm
Altura de asiento	50 cm
Largo total sentado (con reposapiés)	100 cm
Altura de respaldo	48 cm
Altura total (sin verticalización)	100 cm
Angulo de inclinación en bipedestación	90°
Peso máximo del usuario	65 kg
Baterías	12V /4 A recargable
Fajas de sujeción	Dorso-Muslos-Piernas

2.2. DISEÑO

2.2.1. DISEÑO MECÁNICO

2.2.1.1. Dimensionamiento y selección de la viga superior del mecanismo de bipedestación.

La figura 10 muestra una viga empotrada en los extremos con una carga puntual en el centro. La carga puntual corresponde al peso de la persona que se encentra sentada en la silla de bipedestación.

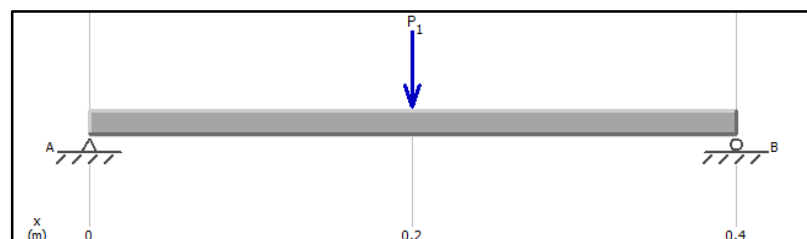


Figura 10. Viga empotrada con carga puntual

Datos:
P1= 637 N
L= 0.4 m

Se determina las reacciones en A y B

$$\sum Fy = 0$$
$$RA + RB - P1 = 0$$
$$RA + RB = 637 N$$

Pero:
 $RA = RB$

Por lo tanto:
 $RA = 318,5 N$
 $RB = 318,5 N$

La figura 11 muestra las gráficas de cortantes y momentos de la viga.

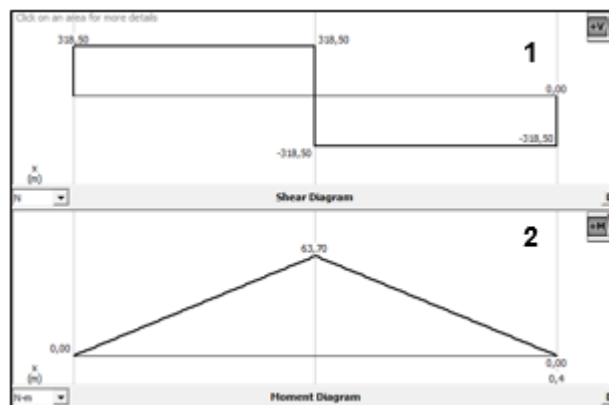


Figura 11. Gráficas de cortantes y momentos

La figura 11 muestra:

1. El diagrama de cortante de la viga
2. El diagrama de momento de la viga

$$M_{max} = \frac{P1 * L}{4} \quad [1]$$

$$M_{max} = 63,7 N * m$$

Se toma el valor de $Sy=241$ MPa. Mott (2006, p. 304)

$$\sigma_{permi} = \frac{Sy}{fs} \quad [2]$$

Se usa un factor de seguridad de 3

$$fs = 3$$

$$\sigma_{permi} = 80333333,33 \text{ N/m}^2$$

$$S = \frac{M}{\sigma_{permi}} \quad [3]$$

$$S = 0.04 \text{ pulg}^3$$

Se elige un perfil estructural de acero que cumple con las características de diseño:

24 × 3 × 1/4 Mott (2006)

Donde:

24= longitud del lado mayor en pulgadas

3= longitud del lado menor en pulgadas

1/4= espesor de la viga en pulgadas

2.2.1.2. Diseño de las vigas de soporte para el empuje y alado del actuador.

Una vez realizado los cálculos para que las vigas de empuje y alado soporten las fuerzas a las que van a ser sometidas es necesario realizar el diseño.

- **Viga de soporte inferior**

La viga de soporte inferior esta acoplada con un pasador para la sujeción del actuador como indica la figura 12.

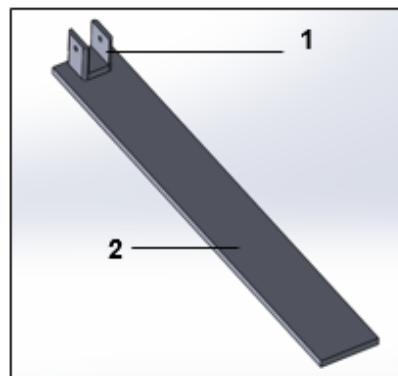


Figura 12. Viga de soporte inferior

En la figura 12 se indica dos partes de la viga:

1. Pasador para el actuador lineal
2. Viga inferior

La figura 13 muestra la fuerza aplicada de 65 kg sobre la viga de soporte inferior cuando el actuador realiza el trabajo de bipedestación.

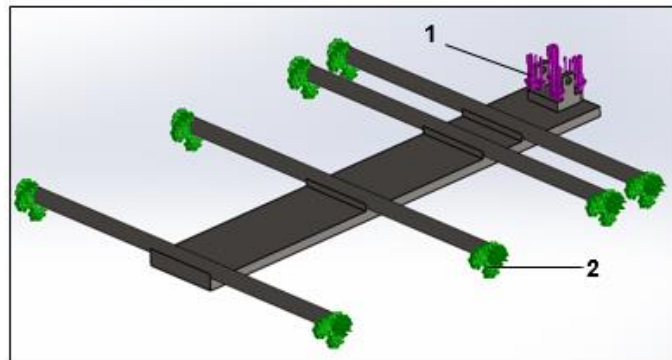


Figura 13. Simulación- Distribución de cargas sobre la viga inferior

La figura 13 muestra las siguientes características a destacar.

1. Punto donde se aplica la carga al elevar a la persona.
2. Puntos fijos de unión de la viga con la estructura de la silla

Se realiza la simulación estática de la viga inferior como se muestra en la figura 14, se aplica la fuerza aplicada sobre el pasador para obtener el factor de seguridad y la deformación.

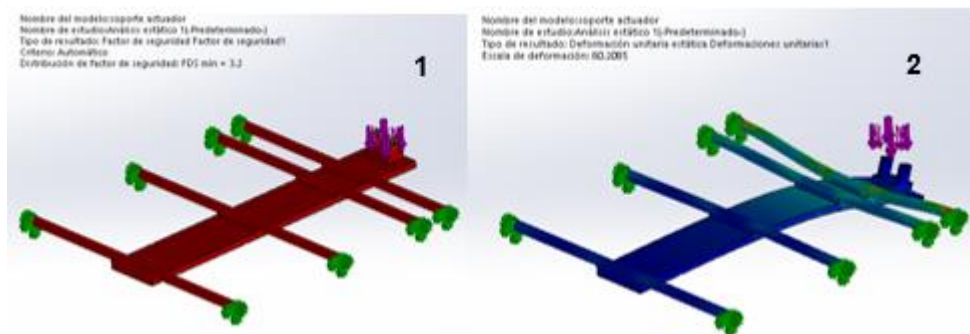


Figura 14. Simulación Viga inferior

Se puede observar en la figura 14:

1. El factor de seguridad de 3, coincidente con el utilizado al realizar el dimensionamiento.
2. La posible deformación de la viga al aplicar las cargas correspondientes.

- **Viga de soporte superior**

La viga de soporte superior al igual que la viga inferior esta acoplada con un pasador para la sujeción del actuador lineal como indica la figura 15.

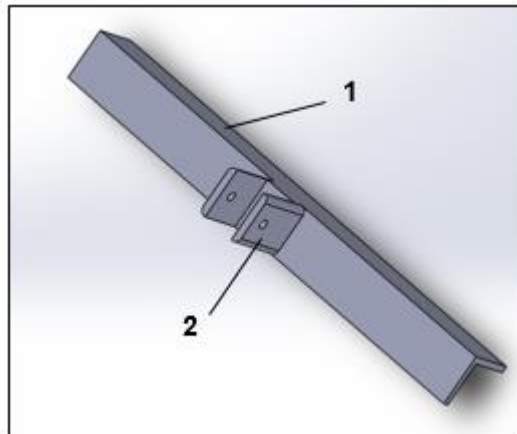


Figura 15. Viga de soporte superior

La figura 15 muestra dos partes de la viga:

1. Viga superior con un perfil en forma de L
2. Pasador superior para el actuador lineal

Se realiza la simulación estática de la viga de soporte superior aplicando la fuerza de 65 kg, que en este caso es el peso del paciente como se muestra en la figura 16.

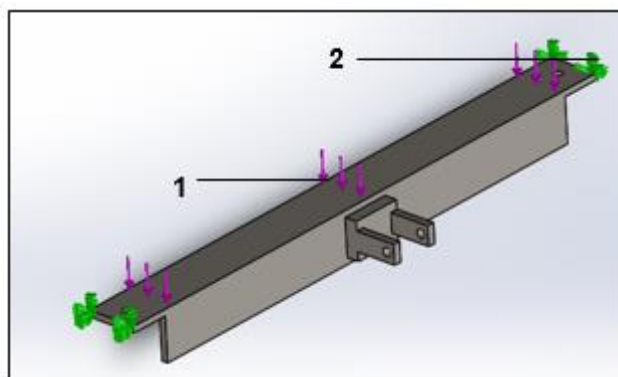


Figura 16. Simulación- Cargas aplicadas sobre la viga superior

La figura 16 muestra las siguientes características:

1. Punto donde se aplica la carga que en este caso es el peso del paciente.
2. Puntos fijos y de empotramiento de la viga

Se realiza la simulación estática de la viga superior como se indica en la figura 17, para obtener el factor de seguridad y la deformación.

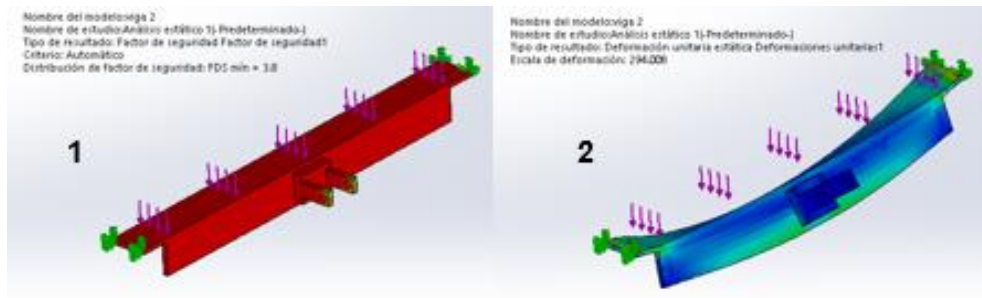


Figura 17. Simulación Viga superior

La figura 17 muestra la simulación de la viga superior con las siguientes características:

1. El factor de seguridad es 3 aproximadamente, el cual coincide con el factor utilizado en el dimensionamiento de la viga.
2. La posible deformación de la viga con las cargas aplicadas sobre ella.

2.2.1.3. Diseño de las piezas para las articulaciones

El diseño de las piezas para las articulaciones es elaborado en el software CAD.

- **Articulación de la Silla en la zona de las Rodillas**

El diseño de las piezas para la articulación de la silla en la zona de las rodillas es el que indica la figura 18.

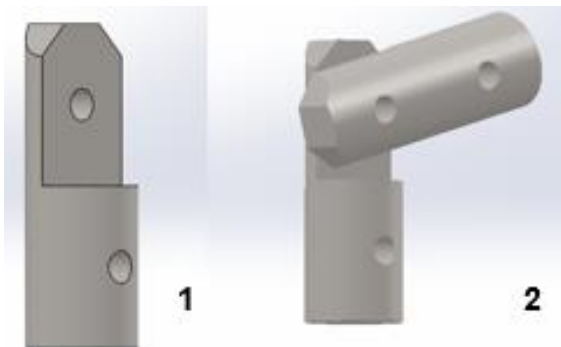


Figura 18. Pieza y ensamble para la articulación de la silla en las rodillas

La figura 18 se muestra la articulación en la zona de las rodillas:

1. Pieza de articulación con un corte de chaflán para evitar fricción en el ensamble.
2. Ensamble de dos piezas para lograr la articulación en la zona de las rodillas.

- **Articulación de la Silla en la zona de la cintura**

La articulación de la silla a nivel de la cintura consta de dos piezas para lograr el movimiento como se muestra en la figura 19.

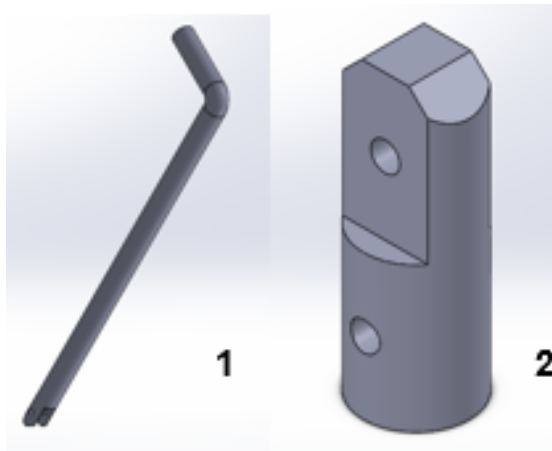


Figura 19. Piezas para la articulación de la cintura

En la figura 19 se detalla las dos piezas necesarias para la articulación de la silla en la cintura.

1. Tubo del espaldar
2. Pieza de unión para la articulación de la cintura.

Se realiza el ensamblaje de las dos piezas de la articulación como se muestra en la figura 20.

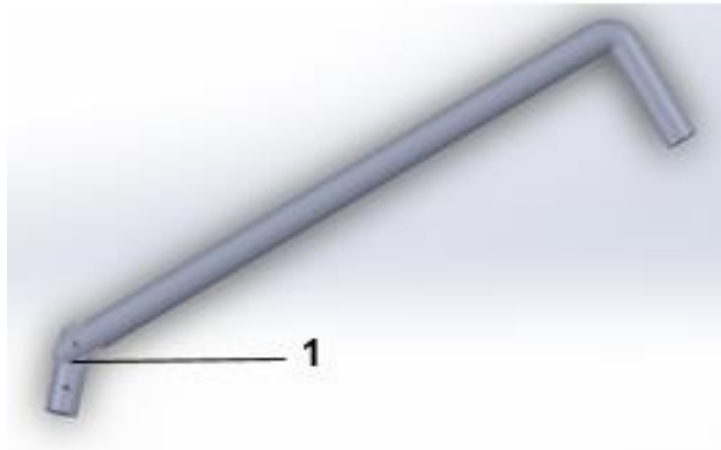


Figura 20. Ensamble de la articulación de la silla a nivel de la cintura

La figura 20 indica:

1. El ensamble de la articulación, esta articulación es necesaria para lograr la verticalización de la silla debido a que en las sillas convencionales esta zona es fija.

2.2.1.4. Diseño completo de la estructura de la Silla de Bipedestación

El diseño de la estructura metálica de la silla de bipedestación es simulada en el software CAD como indican las figuras 21 y 22 respectivamente.

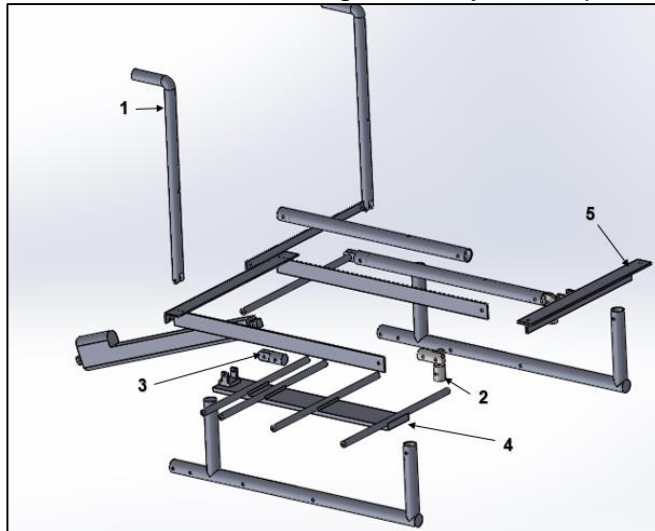


Figura 21. Vista explosionada de la estructura de la silla

La vista explosionada que muestra la figura 21, indica partes de las articulaciones y las vigas en la estructura de la silla de bipedestación.

1. Tubo del espaldar
2. Piezas de articulación de la rodilla
3. Pieza de articulación de la cintura
4. Viga inferior
5. Viga superior



Figura 22. Estructura Principal de la Silla de Bipedestación

La figura 23 muestra la vista isométrica del ensamble de la estructura principal de la silla de bipedestación.



Figura 23. Estructura Principal en Bipedestación

La figura 23 muestra la estructura de la silla en posición vertical o de bipedestación.

2.2.2. DISEÑO ELÉCTRICO

- **Selección del Actuador Lineal**

Para la selección del Actuador Lineal se toma en cuenta la carga nominal que el actuador está en la capacidad de soportar, para esto se define una carga P equivalente a una persona promedio de 65 kg y se grafica el diagrama de cuerpo libre como se muestra en la figura 24.

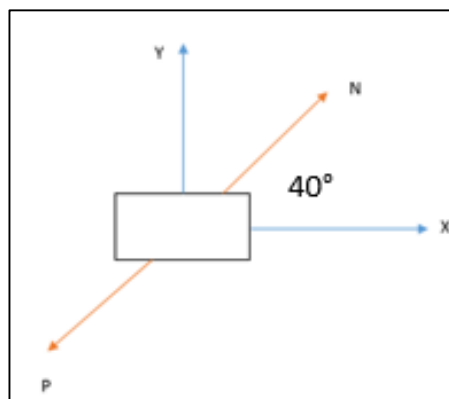


Figura 24. Diagrama de cuerpo libre de la carga P

El actuador forma un ángulo de 40° con el eje longitudinal de la silla, el diagrama de cuerpo libre de la carga P es decir el peso del paciente aplicada sobre el actuador lineal como se indica en la figura 24.

Las componentes en X y Y de la fuerza P son:

$$P_x = P \cos(40^\circ)$$

$$P_y = P \sin(40^\circ)$$

$$P = m \times g$$

[4]

- m es la masa en kilogramos de la persona
- g es la gravedad

Por lo tanto:

$$P_x = 65 \text{ kg} * \cos(40^\circ) * 9.8 \text{ m/s}^2 = 488 \text{ N}$$

$$P_y = 65 \text{ kg} * \sin(40^\circ) * 9.8 \text{ m/s}^2 = 409 \text{ N}$$

Se observa que la mayor carga se encuentra en el eje X por lo tanto se toma el valor de esta carga para continuar con el diseño utilizando un factor de seguridad de 2:

$$P = N \times 2$$

$$P = 976 \text{ N}$$

Una vez obtenida la carga, se adquiere el actuador lineal con las características que indica la tabla 5.

ECO-WOETHY LINEAR ACTUATOR

Tabla 5 Datos técnicos Actuador Lineal ECO-WOETHY

ESPECIFICACIONES	ECO-300
Longitud de la Carrera	300 mm
Velocidad de Recorrido	5,7 mm/s
Carga Nominal	1500 N
Voltaje Nominal	12 VDC
Corriente nominal	3 A
Temperatura de Operación	De 20 a 65 °C
Protección	IP65
Nivel de Ruido	<=50 dB

(Eco-Woethy, 2017)

- **Módulo DLRM MPC 0462**

Es un módulo utilizado para el funcionamiento de un actuador lineal de 12 V. Consta de:

- Cableado personalizado y kit de interruptores.
- Interruptor de balanceo Arriba / Abajo.
- 2 relés y arnés de relé precableado.

- **Diagrama de conexión del módulo DLRM MPC 0462**

La conexión del módulo al actuador lineal se representa en el diagrama que indica la figura 25, la fuente de alimentación es una batería de 12 VDC/5 Amperios, controlado por un interruptor de balanceo Arriba/Abajo.

El funcionamiento del sistema inicia por el switch, el cual envía una señal a los relés de subida y bajada, dependiendo el caso, los cuales envían están conectados al motor DC del actuador para realizar el funcionamiento de salida y entrada del vástago.

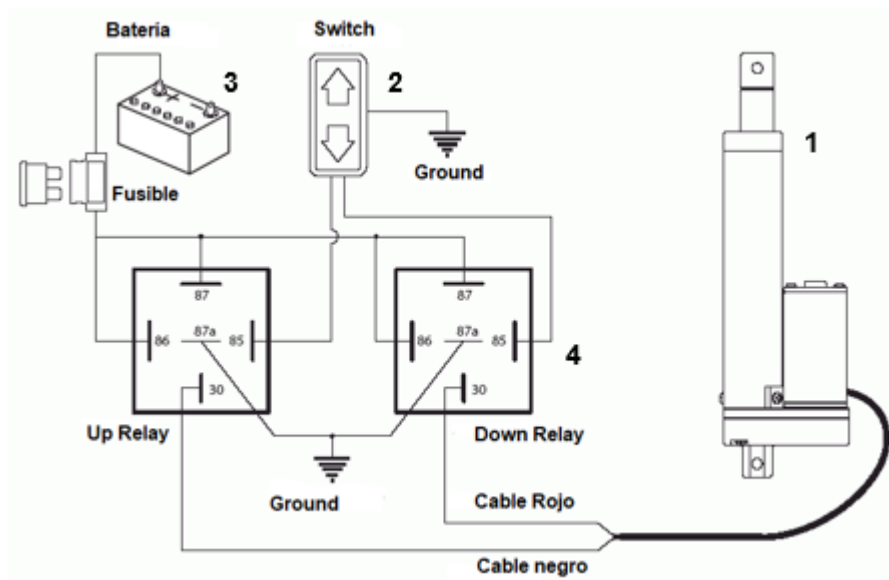


Figura 25. Diagrama de conexión del módulo DLRM MPC 0462

El diagrama de la figura 25 muestra los siguientes componentes:

1. Actuador lineal
2. Switch
3. Batería
4. Relés del módulo DLRM

- **Circuito de conexión Actuador Lineal-Modulo DLRM**

La simulación del circuito diseñado en un software de simulación eléctrica como indica la figura 26. El circuito inicia por la fuente de alimentación, el cual envía el voltaje a los diferentes componentes, el switch controla el funcionamiento del relé de subida y el relé de bajada, los cuales van conectados al motor DC.

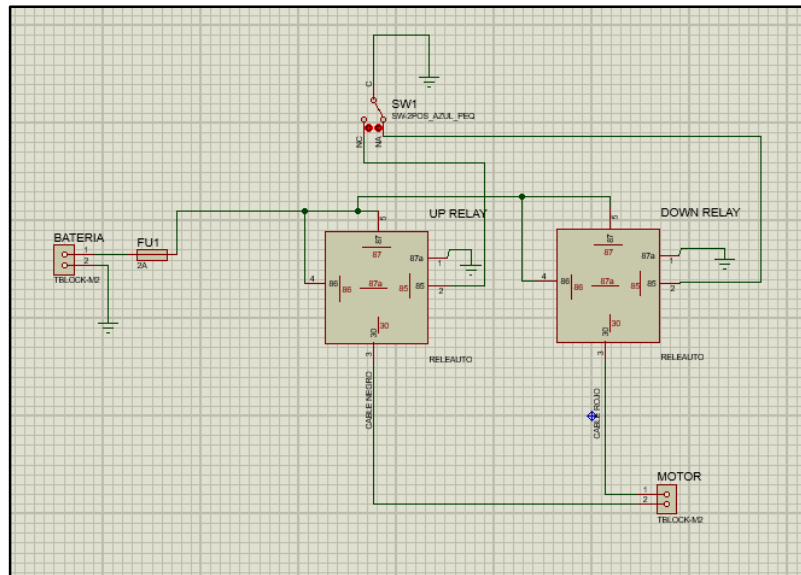


Figura 26. Diseño eléctrico para accionar el Actuator Lineal

2.2.3. SIMULACIÓN DEL SISTEMA

2.2.3.1. Modelo Matemático

La bipedestación, en la silla, se realiza a través de un actuador lineal. El actuador será analizado como un sistema masa amortiguador resorte con las partes que indica la figura 27.

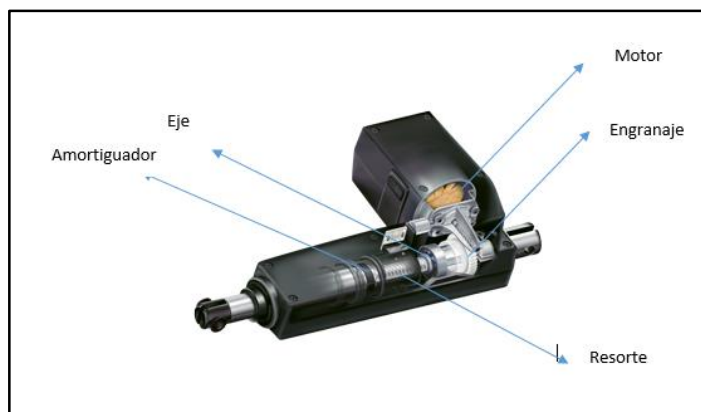


Figura 27. Partes del actuador lineal

Un actuador lineal consta de un motor, un engranaje y una rosca de eje que incluye una tuerca como muestra la figura 27. El engranaje transforma el movimiento rotatorio del motor en un movimiento mecánico lineal, donde un sistema de resorte y amortiguador controlan la velocidad y la estabilidad del sistema durante el movimiento de salida del vástago en base al peso que el vástago debe soportar.

Es decir el sistema resorte amortiguador evita que el movimiento lineal del vástago se produzca de manera brusca en base a los diferentes pesos con el que este trabaja.

Para el sistema se define las variables y constantes que muestra la figura 28.

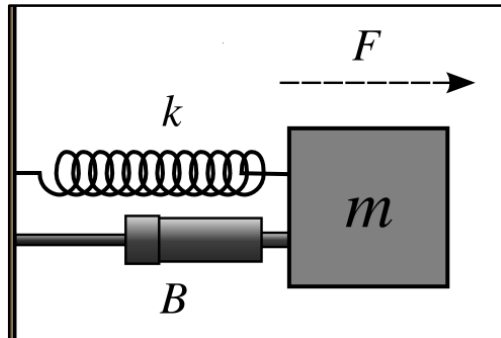


Figura 28. Sistema masa amortiguador resorte

- m : es la masa de la persona sentada en la silla, [Kg]
- B : es el coeficiente de fricción viscosa, [Kg/s]
- k : es la constante del resorte, [N/m]
- F : es la fuerza aplicada por el actuador en [N], para este caso la fuerza máxima del actuador es 1500 [N]

En el sistema la masa no es perpendicular al resorte y el amortiguador, la masa se encuentra inicialmente a 70° sobre el eje longitudinal del actuador como se muestra en la figura 29.

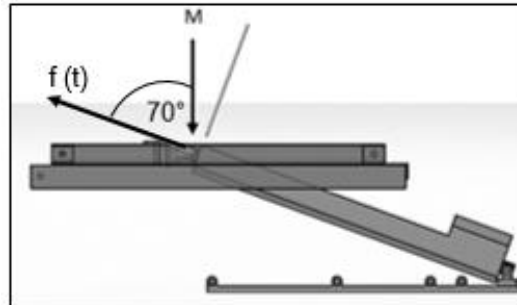


Figura 29. Posición inicial del actuador

En la posición final la masa se encuentra a 40° sobre el eje longitudinal del actuador como indica la figura 30.

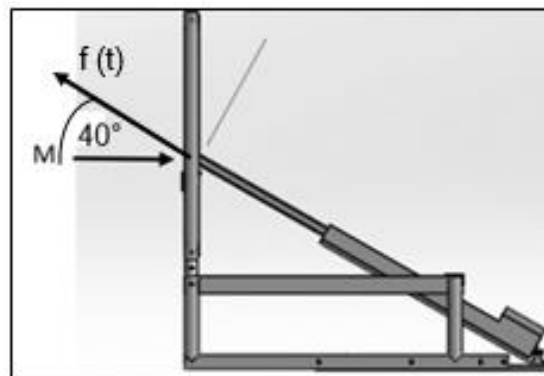


Figura 30. Posición final del actuador

Al analizar las dos posiciones, se define un ángulo θ , el cual va de 40° a 70° en el periodo de tiempo que el actuador demora en realizar la bipedestación.

Se considera:

- $f(t)$: fuerza aplicada
- $y(t)$: salida
- $\theta(t)$: ángulo que forma la masa con el eje longitudinal del actuador.

Por lo tanto:

$$M \cos(\theta(t)) \ddot{y} + B\dot{y} + Ky = F(t)$$

$$\ddot{y} = \frac{f(t) - B\dot{y} - Ky}{M \cos(\theta(t))}$$

$$\ddot{y} = \frac{f(t)}{M \cos(\theta(t))} - \frac{B\dot{y}}{M \cos(\theta(t))} - \frac{Ky}{M \cos(\theta(t))}$$

2.2.3.2. Simulación del sistema en Matlab

Para la simulación del sistema, se utilizó la herramienta Simulink para representar el diagrama de bloques a partir del modelo matemático encontrado.

El diagrama de bloques completo del modelo matemático se plantea como se indica en la figura 31.

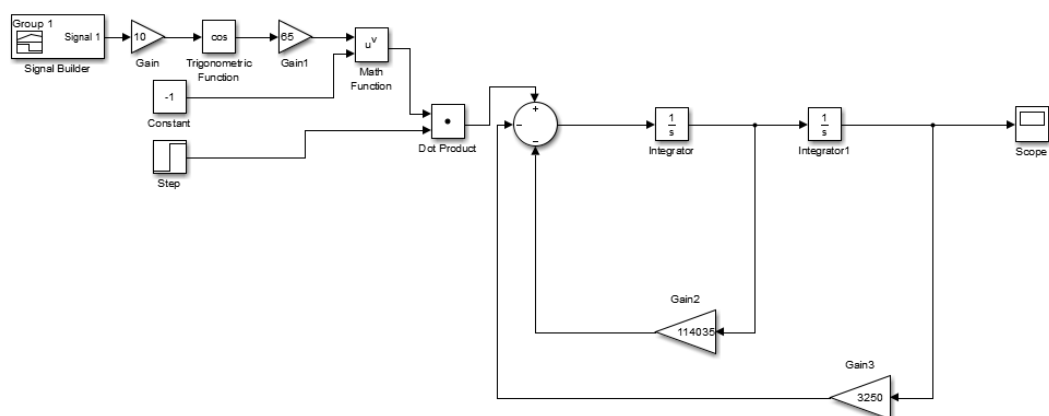


Figura 31. Diagrama de bloques del sistema

Para calcular la constante elástica del resorte K se plantea la ecuación de la Ley de Hooke para la masa de la persona 65 Kg , es decir un peso de 650 N .

La figura 32 muestra un resorte en estado inicial A y estado final B luego de ser sometido a una fuerza.

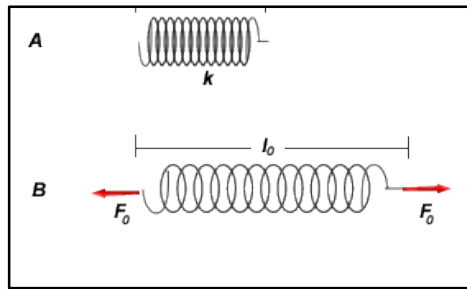


Figura 32. Resorte

$$F = K\Delta x \quad [5]$$

Δx : es la diferencia entre la longitud final y la longitud inicial del resorte

$$650 = K(0.30 - 0.10)$$

$$K = 3250 \text{ N/m}$$

La figura 33 muestra las constantes y variables para determinar el coeficiente de fricción viscosa.

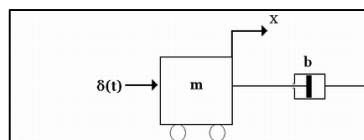


Figura 33. Amortiguador

El coeficiente de fricción viscosa o constante de amortiguamiento B se la obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$F = Bv \quad [6]$$

v : es la velocidad de salida del vástago del actuador.

$$650 \text{ N} = B(0.0057)$$

$$B = 114035 \text{ kg/s}$$

La figura 34 muestra el comportamiento del sistema en un periodo de 40 segundos.

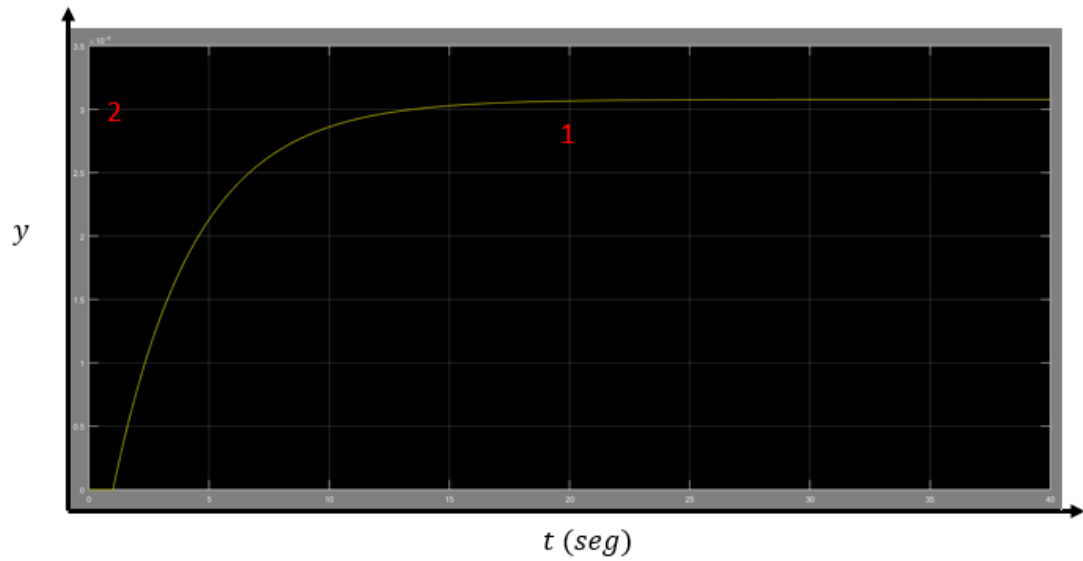


Figura 34. Simulación del sistema

Se puede observar en la figura 34:

1. El sistema se estabiliza aproximadamente a partir de los 20 segundos.
2. EL valor de la señal en 20 segundos es de 3×10^{-4} .

3. ANALISIS DE RESULTADOS

3.1. IMPLEMENTACIÓN

La implementación del prototipo se desarrolla a partir de una silla de ruedas con propulsión manual sin mecanismos de bipedestación.

La construcción de la silla para bipedestación consta de seis etapas:

3.1.1. Etapa 1

En esta etapa se procede desarmar por completo la silla como se indica la figura 35 para realizar un análisis de las modificaciones que esta requiere en su estructura para adaptar el mecanismo de bipedestación.



Figura 35. Estructura principal de la silla de ruedas

La figura 35 muestra las siguientes partes:

1. Estructura principal ensamblada, donde se eliminara los tubos para plegar la silla.
2. Estructura desarmada, partes laterales.

3.1.2. Etapa 2

Una vez realizado el análisis de la estructura original de la silla de ruedas se procede a realizar las modificaciones en la estructura para la adaptación del mecanismo de bipedestación como muestra la figura 36.



Figura 36. Cortes en los tubos para las articulaciones

La figura 36 muestra la modificación de los tubos en las zonas de:

1. Espalda-Cintura
2. Rodillas

Los cortes en estas zonas son necesarios para obtener la movilidad deseada y lograr la verticalización completa de la silla.

3.1.3. Etapa 3

Tras realizar las modificaciones en la estructura original de la silla de ruedas, se procede a elaborar las piezas diseñadas, en el apartado de diseño mecánico.

Una vez elaboradas las piezas, la figura 37 muestra la instalación en la estructura de la silla, logrando de esta manera la articulación y movimiento en las dos zonas de la silla.



Figura 37. Adaptación de las piezas

La figura 37 muestra:

1. Adaptación de las piezas en la zona de la espalda-cintura
2. Adaptación de las piezas en la zona de la rodilla

De esta manera la silla tiene la movilidad para realizar la bipedestación y la silla se verticaliza como indica la figura 38.



Figura 38. Articulación completa de la silla

Al realizar la adaptación en la figura 38 se indica las siguientes partes:

1. Articulación en la zona de la cintura
2. Articulación en la zona de las rodillas

3.1.4. Etapa 4

En la etapa 4 realizo la instalación del mecanismo de bipedestación, para lo cual es necesario el empernado y soldadura de las vigas tanto superior como inferior que se enumera en la figura 39.

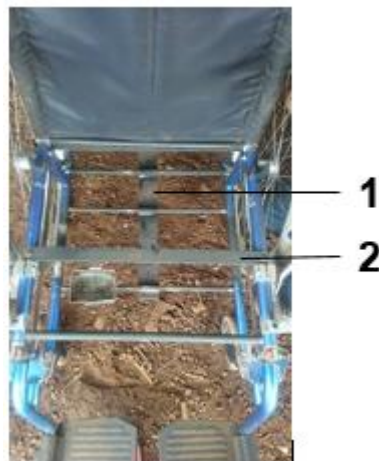


Figura 39. Vigas de soporte para el actuador lineal

La figura 39 muestra las dos vigas instaladas:

1. Viga inferior
2. Viga superior

Una vez instaladas las vigas, se procede a colocar en los pasadores de las vigas el actuador lineal como se observa en la figura 40.



Figura 40. Actuador Lineal instalado en la silla para bipedestación

La figura 40 muestra los pasadores donde se instala el actuador lineal:

1. Pasador de la viga superior
2. Pasador de la viga inferior

3.1.5. Etapa 5

Luego del proceso de pintura que tiene la estructura de la silla, se procede al ensamble total de la silla para bipedestación como indica la figura 41.



Figura 41. Silla de ruedas para bipedestación

En la figura 41 se puede distinguir las partes de la silla

1. Apoya brazos
2. Ruedas traseras
3. Ruedas delanteras
4. Apoya pies
5. Asiento
6. Espaldar

La figura 42 muestra la vista frontal y posterior de la silla en posición vertical.



Figura 42 Posición vertical de la silla

En la figura 42 se muestra la silla luego de haber realizado el proceso de bipedestación.

1. Vista posterior
2. Vista frontal

3.1.6. Etapa 6

En esta etapa se encuentra la implementación eléctrica la cual consta de las conexiones entre el modulo DLRM MPC 0462 y el actuador

El cableado de la silla, está elaborado de tal manera que no presente problemas en el desplazamiento de la silla y en el movimiento del mecanismo de bipedestación. El cableado se muestra en la figura 43.



Figura 43. Cableado de la silla para bipedestación

La figura 43 muestra las partes del sistema eléctrico:

1. Actuador lineal
2. Batería
3. Módulo DLRM

3.2. RENDIMIENTO DEL ACTUADOR LINEAL

El rendimiento del actuador lineal es medido en función del peso del paciente que el actuador debe elevar para realizar la bipedestación y el tiempo que este demora en realizar el ciclo completo (subida y bajada).

El vástago del actuador se mueve 5,7 mm/s, es decir un ciclo completo de empuje y alado lo realiza en 1 minuto y 50 segundos sin ser sometido a una carga.

Se realizaron pruebas con tres personas de un peso diferente y se puede tabular los datos que indica la tabla 6.

Tabla 6 Datos tiempo vs Peso

PESO (kg)	TIEMPO DEL CICLO (seg)
0	110
60	160
70	175
80	180

La figura 43 que se muestra a continuación indica que el rendimiento del Actuador disminuye a medida que el peso de la carga a la que es sometida aumenta, es decir, mientras la carga es mayor, el tiempo que demora en cumplir un ciclo el actuador aumenta por lo tanto el rendimiento del actuador disminuye.



Figura 44. Grafica Tiempo en función del Peso

Se calcula el rendimiento del actuador lineal en base a la potencia nominal, el peso de la persona, la distancia y el tiempo.

- Pn es la potencia nominal del actuador lineal 5,5 W
- P es el peso del paciente 60 Kg
- D es la distancia que recorre el vástago del actuador 0,3 m.
- T tiempo que demora el proceso 80 seg.

Se calcula la potencia útil

$$Pu = \frac{P * g * D}{T} = 2,25 W$$

Se obtiene el rendimiento:

$$\%R = \frac{P_u}{P_n} * 100$$

$$\%R = 41.5$$

Este porcentaje de rendimiento indica que el motor va a transformar en trabajo el 41,5% de la energía utilizada.

3.3. DURACIÓN DE LA BATERÍA

En el mercado se dispone de baterías de 12 VDC y 5 Amperios.

Se calcula la potencia nominal de la Batería W_1 , entonces:

$$W_1 = 12V \times 5 A \quad [7]$$

$$W_1 = 60 W$$

Es necesario calcular el consumo real de energía en vista de que el actuador lineal del sistema de mecanismo funciona con 12 VDC y 3 Amperios.

Se calcula el consumo real de batería del actuador W_2 , entonces:

$$W_2 = 12V \times 3 A$$

$$W_2 = 36 W$$

Se hace una relación del consumo en horas:

$$\frac{W_2}{W_1} = \frac{36}{60} = 1.66 \text{ horas } \acute{o} \text{ 1 hora y 40 minutos}$$

Se conoce que el vástago del actuador se mueve 5,7 mm/s, es decir un ciclo completo de empuje y alado lo realiza en 1 minuto y 50 segundos. Por lo tanto:

- 1 hora y 40 minutos equivalen a 100 minutos
- 1 minuto y 50 segundos equivalen a 1.75 minutos

Se hace una relación y se obtiene:

$$\frac{100}{1.75} = 57.1$$

Es decir la batería dura aproximadamente para 57 ciclos completos del actuador antes de que requiera ser cargada.

3.3.1. Consumo de energía del actuador

A medida que aumenta la carga de trabajo para el actuador el actuador requiere de más consumo de energía para completar el ciclo en base a esto se puede tabular datos que indica la tabla 7.

Tabla 7 Datos consumo de energía

TIEMPO DEL CICLO (seg)	ENERGIA CONSUMIDA (w)
110	36
160	52,36
175	57,27
180	58,91

En la figura 45 que se indica a continuación se observa como aumenta el consumo de energía debido al aumento del tiempo de un ciclo a diferentes pesos.

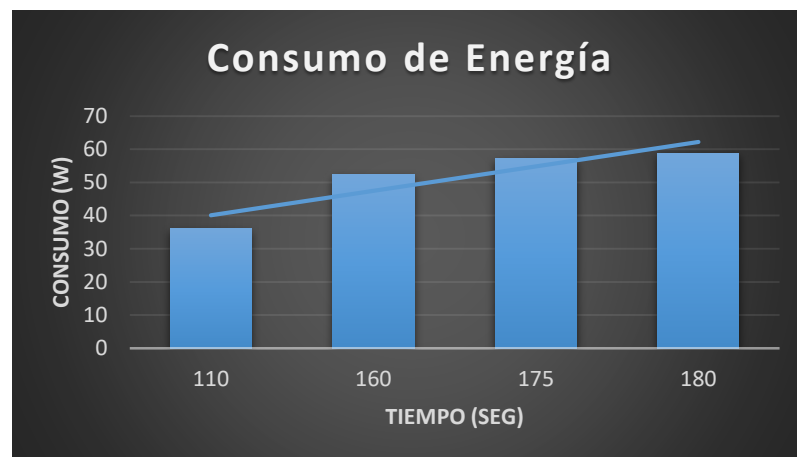


Figura 45. Energía consumida en función del tiempo del ciclo

Esto quiere decir que mientras más alta sea la carga, más energía consume el actuador.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- La selección de un actuador lineal disminuye la utilización de materiales en el sistema de bipedestación, además que brinda al usuario la facilidad de maniobrabilidad del sistema.
- La silla de bipedestación funciona sin que requiera carga de batería luego de haber realizado 57 ciclos de trabajo, tomando en cuenta que un ciclo es pasar de la posición sentado a de pie y volver a la posición inicial.
- El tiempo de un ciclo de trabajo del sistema de bipedestación aumenta a medida que el peso de la persona aumenta también, es decir el tiempo de trabajo es directamente proporcional al peso de la persona.
- El diseño del mecanismo de bipedestación es totalmente adaptable a una silla de ruedas convencional.
- El sistema cuenta con un factor de seguridad de 3 en los cálculos de diseño, lo que evita que el mecanismo y la estructura principal de la silla de bipedestación sufran deformidades a futuro.
- El uso del factor de seguridad en los cálculos de selección del motor para el actuador lineal, permite establecer un valor máximo de carga que en este caso es 150 kg.

RECOMENDACIONES

- La implementación de sensores en el mecanismo de bipedestación, tales como fines de carrera, pueden ayudar a la persona a tener una percepción de la posición en la que se encuentran durante el proceso de trabajo del mecanismo.
- La adaptación de fajas fijas en la silla de bipedestación brindan estabilidad y seguridad a la persona que utiliza la silla de bipedestación.
- En el mercado hay a disposición actuadores lineales con las mismas características requeridas en el diseño que realizan el trabajo en menos tiempo, pero a un costo más alto.
- La implementación de apoya brazos móviles o desmontables ayuda a la persona en el momento de incorporarse en la silla, así como también al momento de salir de la misma para dejar de utilizarla.
- El desarrollo de una interfaz gráfica para el mando de control mediante el uso de una aplicación para celular, facilita a la persona el control del mecanismo.

BIBLIOGRAFÍA

- Budynas, R., Nisbett J. (2006). Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley. México D, F: Pearson Educación.
- Mott, R. (2006). Diseño de elementos de máquina. México D, F: Pearson Educación.
- Ogata, k. (2003). Ingeniería de Control Moderna. (4ta ed.). Universidad de Minnesota: Pearson Prentice Hall.
- Alciatore, D., Hystand M. (2015). Introducción Mecatrónica y los sistemas de medición (3ra ed.). Colorado: McGraw-Hill interamericana.
- Rashid, M. (2004). Electrónica de Potencia, Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones. (3ra ed.) México D, F: Pearson Educación.
- Kalpakjian, S. Schmid, R.S. (2008). Manufactura, ingeniería y tecnología. México D.F: Pearson Educación.
- Salazar, E. (2007). Resistencia de Materiales Básica para estudiantes de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales.
- Armstrong, W., Borg, J., Krizack, M., Lindsley, A., Mines, K., Pearlman, J., Reisinger, K., Sheldon, S. (2008) Pautas para el suministro de sillas de ruedas manuales en entornos de menores recursos. Organización Mundial de la Salud. Recuperado de http://www.who.int/disabilities/publications/technology/wheelchairguidelines_sp_finalforweb.pdf?ua=1
- Castellero, M. (2017). Tipos de Discapacidad Física. Barcelona. Recuperado de <https://psicologiaymente.net/salud/tipos-de-discapacidad-fisica#!>
- LEVO. (2017). LEVO Compact easy LcEV. Suiza. Recuperado de http://www.lohmedical.com/sites/lohmedical.com/files/LEVO%20LCEV%20Product%20Brochure%20%28Metric%29_0.pdf
- Troya, C. (2016). Simulink: Simulación sistema Masa-Resorte-Amortiguador. Recuperado de <https://cesartroyasherdek.wordpress.com/2016/01/22/simulink-simulacion-sistema-masa-resorte-amortiguador/>
- CONADIS. (2017). Personas con Discapacidad Registradas. Ecuador. Recuperado de <http://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadistica/index.html>
- Masoller, F. (2012). Oscilaciones Amortiguadas. Catalunya. Recuperado de http://www.fisica.edu.uy/~cris/teaching/oscilaciones_parte2_2012.pdf
- Mosquera, G. (2012). Automatización de una lavadora industrial en el "hotel 6 de diciembre". (Tesis de Pregrado). Universidad Tecnológica Equinoccial. Quito, Ecuador.
- SCI, Geriatria. (2017) Catálogo de Sillas Action Vertic. Recuperado de <https://www.sci-geriatria.com/catalogo/sillas-ruedas/plegables/aluminio/bipedestacion-electrica/>
- Panel Testing - Centro de Excelencia. (2014). Pruebas software y el modelo de capas de cebolla. Recuperado de <https://www.panel.es/blog/pruebas-software-modelo-capas-cebolla>

