



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 EN ELECTROMECAÁNICA**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIPEDESTADOR
AUTOSUSTENTABLE PARA EL DESPLAZAMIENTO AUTÓNOMO DE
PERSONAS CON PARAPLEJIA**

AUTOR: CÁRDENAS GABELA, ÁLVARO ANDRÉS

DIRECTOR: ING. ACUÑA COELLO, FAUSTO VINICIO

LATACUNGA

2020



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIPEDESTADOR AUTOSUSTENTABLE PARA EL DESPLAZAMIENTO AUTÓNOMO DE PERSONAS CON PARAPLEJIA”** fue realizado por el señor **CÁRDENAS GABELA ÁLVARO ANDRÉS**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 22 de Enero del 2020.

ING. ACUÑA COELLO FAUSTO VINICIO

C.C.: 0501510267



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Cárdenas Gabela, Álvaro Andrés, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIPEDESTADOR AUTOSUSTENTABLE PARA EL DESPLAZAMIENTO AUTÓNOMO DE PERSONAS CON PARAPLEJIA”**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan el pie de las páginas correspondiente, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 22 de enero del 2020.

Álvaro Cárdenas

CÁRDENAS GABELA ÁLVARO ANDRÉS

C.C.: 0604066035



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, Cárdenas Gabela, Álvaro Andrés, autorizo a la Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIPEDESTADOR AUTOSUSTENTABLE PARA EL DESPLAZAMIENTO AUTÓNOMO DE PERSONAS CON PARAPLEJIA”**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 22 de enero del 2020.

Firma manuscrita en tinta azul que dice "Álvaro Cárdenas".

CÁRDENAS GABELA ÁLVARO ANDRÉS

C.C.: 0604066035

DEDICATORIA

Primero dedico este trabajo a Dios, por haberme dado salud y vida, por haberme entregado una oportunidad de superación en mi vida profesional. Gracias Dios por haberme guiado y apoyado cuando más lo necesitaba.

A mis padres José y Rosita, por haberme acompañado en el transcurso de mi etapa de estudios, por haber depositado confianza en mí y haberme brindado su apoyo cuando las cosas se pusieron difíciles, ustedes fueron uno de mis pilares fundamentales durante la culminación de este proyecto, gracias por su infinito amor y comprensión.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por todas las bendiciones que me ha brindado a lo largo de mi vida y por permitirme culminar esta etapa de mi vida estudiantil.

A mis padres por el esfuerzo y sacrificio que día a día realizan para que sea una persona de bien, y productiva para la sociedad. Por su apoyo, confianza e infinita paciencia durante el proceso de este proyecto de grado.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT	xvii

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema.....	1
1.2. Antecedentes.....	2
1.3. Justificación e Importancia	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. Objetivo General.....	4
1.4.1. Objetivos Específicos	4

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes Investigativos	5
2.1.1. Introducción	5
2.1.2. Causas de la Paraplejía.....	5

2.1.3. Consecuencias de la Parapleja.....	6
2.1.4. Sedestación.....	6
2.1.5. Bipedestación.....	7
2.1.6. Transición sit to stand.....	7
2.2. Fundamentación Teórica.....	8
2.2.1. Introducción.....	8
2.2.2. Bipedestador.....	9
2.2.3. Tipos de Bipedestadores Autosustentables.....	9
a. EasyStand Mobile 5000 Stander.....	9
b. Manual Power-Assist Standing Wheelchair.....	11
c. Leo II (Lightest Standing Wheelchair).....	13
d. Silla de Ruedas de Bipedestación Desarrollada en el Hospital VA.....	14
e. Manual Stand Wheelchair.....	15
f. XO-55 Manual Sit to Stand Wheelchair.....	15
g. CMED Standing Wheelchair.....	16
2.2.4. Principios Antropométricos.....	17
2.2.5. Percentiles.....	18
2.2.6. Principios Antropométricos.....	18
a. Altura Posición Sentado Relajado.....	18
b. Altura de la Rodilla.....	18
c. Altura de la poplítea.....	18
d. Longitud glúteo - rodilla.....	18
e. Longitud glúteo - poplítea.....	19
f. Ancho de la cadera.....	19
2.2.7. Biomecánica de las Personas.....	19
a. Postura en la Posición de Sedestación.....	19
a.1. Inclinação del espaldar.....	19

a.2.	Inclinación Rodilla - Cadera.....	20
a.3.	Inclinación Tobillo - Rodilla	22
b.	Postura en la Posición de Bipedestación.....	24
b.1.	Inclinación Rodilla - Cadera.....	24
b.2.	Inclinación Tobillo - Rodilla	24
c.	Antropometría de una silla de ruedas	25
d.	Biomecánica en la Transición Sit to Stand	26
2.3.	Hipótesis.....	28
2.4.	Sistema de Variables.....	28
2.5.	Cuadro de Operacionalización de las Variables	28

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.	Modalidad de Investigación	30
3.1.1.	Investigación Documental.....	30
3.1.2.	Investigación Experimental	30
3.1.3.	Investigación de Campo	31
3.2.	Tipos de Investigación	31
3.2.1.	Investigación Aplicada	31
3.2.2.	Investigación de Método Deductivo	31
3.3.	Diseño de la Investigación.....	32
3.4.	Niveles de Investigación	32
3.4.1.	Nivel Exploratorio.....	32
3.4.2.	Nivel Descriptivo	32
3.5.	Población y Muestra	33
3.6.	Técnica de recolección de datos	33
3.7.	Técnicas de análisis de datos.....	33

3.8. Técnicas de Comprobación de la Hipótesis.....	34
--	----

CAPÍTULO IV

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Recopilación de Información.	35
4.1.1. Estadísticas	35
4.1.2. Posiciones de sedestación y bipedestación	37
4.2. Evaluación de las características de los bipedestadores.....	40

CAPÍTULO V

PROPUESTA

5.1. Generalidades	46
5.1.1. Antecedentes de la propuesta	46
5.1.2. Justificación de la propuesta	46
5.1.2. Objetivos de la propuesta	46
5.2. Diseño de la propuesta.....	47
5.2.1. Síntesis del mecanismo por aumento de palanca	47
5.2.2. Modelamiento matemático del mecanismo por reducción de palanca.....	66
5.2.3. Análisis de fuerza de operación del mecanismo por reducción de palanca....	73
5.2.4. Diseño mecánico del equipo.....	88
a. Componentes del equipo.....	88
a.1. Bloqueo del asiento	88
a.2. Platinas de acople	89
a.3. Acoples internos	89
a.4. Llantas	89
a.5. Base estructural.....	89
a.6. Plataforma	90

a.7. Frenos	90
b. Fuerzas que actúan en el equipo.....	91
c. Cálculo de esfuerzos de la estructura.....	98
5.3. Desarrollo de la propuesta.....	111
5.3.1. Construcción e implementación.....	111
5.3.2. Pruebas de funcionamiento	118
5.4. Comprobación de la hipótesis	120
5.5. Evaluación socio - económica de la propuesta.....	123

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES.....	130
RECOMENDACIONES	132
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	133
ANEXOS.....	138

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Características del Easy Stand Mobile 5000 Stander.</i>	10
Tabla 2. <i>Características del LifeStand LS</i>	12
Tabla 3. <i>Características del modelo Leo II (Lightest Standing Wheelchair)</i>	13
Tabla 4. <i>Características del CMED Standing Wheelchair LS</i>	17
Tabla 5. <i>Operacionalización de la Variable Independiente</i>	28
Tabla 6. <i>Operacionalización de la Variable Dependiente</i>	29
Tabla 7. <i>Medidas consideradas para el diseño redondeadas en mm</i>	36
Tabla 8. <i>Promedio de las inclinaciones entre articulaciones.</i>	37
Tabla 9. <i>Promedio de las inclinaciones de los eslabones.</i>	39
Tabla 10. <i>Clasificación de los bipedestadores según el mecanismo de levante y accionamiento</i>	41
Tabla 11. <i>Asignación de ponderaciones.</i>	44
Tabla 12. <i>Evaluación de los tipos de bipedestadores.</i>	45
Tabla 13. <i>Resultados de las Ecuaciones 3 y 4.</i>	50
Tabla 14. <i>Evaluación del aumento de palanca para cada alternativa</i>	53
Tabla 15. <i>Resultados para las variaciones de x y θ_5.</i>	57
Tabla 16. <i>Resultados de las Ecuaciones 12 y 13.</i>	59
Tabla 17. <i>Resultados del mecanismo de 4 barras.</i>	71
Tabla 18. <i>Resultados considerando el ángulo de bancada</i>	72
Tabla 19. <i>Resortes de gas existentes en el mercado.</i>	73
Tabla 20. <i>Parámetros de ubicación para los diferentes resortes de gas.</i>	77
Tabla 21. <i>Tabla de Fuerzas correspondiente a F_2 para un $F_0 = 600\text{ N}$</i>	82
Tabla 22. <i>Tabla de Fuerzas correspondiente a F_2 para un $F_0 = 720\text{ N}$</i>	82
Tabla 23. <i>Tabla de Fuerzas correspondiente a F_2 para un $F_0 = 800\text{ N}$</i>	83
Tabla 24. <i>Ángulo de la palanca θ_3 en función del ángulo del asiento θ_4.</i>	85
Tabla 25. <i>Tabla de Fuerzas correspondiente a F_2 para un $F_0 = 600\text{ N}$</i>	86
Tabla 26. <i>Tabla de Fuerzas correspondiente a F_2 para un $F_0 = 720\text{ N}$</i>	87
Tabla 27. <i>Tabla de Fuerzas correspondiente a F_2 para un $F_0 = 800\text{ N}$</i>	88
Tabla 28. <i>Piezas manufacturadas de la estructura.</i>	111
Tabla 29. <i>Componentes del Equipo</i>	113
Tabla 30. <i>Datos arrojados de las Pruebas de Funcionamiento</i>	123
Tabla 31. <i>Costo de los materiales y componentes ocupados en el equipo.</i>	124
Tabla 32. <i>Costo de mano de obra</i>	125
Tabla 33. <i>Costo total del Proyecto</i>	125
Tabla 34. <i>Porcentajes de los objetivos.</i>	126

Tabla 35. <i>Resultados del CE para el Objetivo 1</i>	128
Tabla 36. <i>Resultados del CE para el Objetivo 2</i>	128
Tabla 37. <i>Resultados del CE a nivel general</i>	129

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Transición sit to stand	8
Figura 2. EasyStand Mobile 5000 Stander.....	9
Figura 3. LifeStand LS.....	11
Figura 4. Leo II (Lightest Standing Wheelchair)	13
Figura 5. Silla de ruedas de bipedestación desarrollada en el Hospital VA.....	14
Figura 6. LifeStand Helium LS	15
Figura 7. XO-55 Manual Sit to Stand Wheelchair.....	15
Figura 8. CMED Standing Wheelchair	16
Figura 9. Altura adecuada de respaldo	20
Figura 10. Posición adecuada de sedestación.....	20
Figura 11. Transición sit-stand-sit.....	21
Figura 12. Transición stand-sit-stand.....	21
Figura 13. Inclinación del asiento.....	22
Figura 14. Inclinación de las pantorrillas	23
Figura 15. Inclinación del tobillo en sedestación	23
Figura 16. Inclinación del tobillo en bipedestación	24
Figura 17. Dimensiones de una silla de ruedas con brazos	25
Figura 18. Vista transversal superior	26
Figura 19. Vista frontal.....	26
Figura 20. Vista lateral.....	26
Figura 21. Trayectoria Lineal	27
Figura 22. Trayectoria Curva	27
Figura 23. Porcentajes correspondientes a los grupos étnicos: mestizos, indígenas y afroecuatorianos	35
Figura 24. Dimensiones del cuerpo humano (Sedestación).....	38
Figura 25. Dimensiones del Cuerpo Humano (Bipedestación).....	39
Figura 26. Inclinaciones de los eslabones (Sedestación).....	40
Figura 27. Inclinaciones de los Eslabones (Bipedestación).....	40
Figura 28. Bosquejo General del Mecanismo	47
Figura 29. Inclinaciones de los eslabones (Sedestación).....	48
Figura 30. Inclinaciones de los eslabones (Bipedestación)	48
Figura 31. Esquema tentativo de fuerzas.....	52
Figura 32. Esquema de acople entre el asiento y espaldar (Sedestación)	54
Figura 33. Esquema de acople entre el asiento y espaldar (Bipedestación)	55

Figura 34. Representación del laso formado por el asiento, eslabón auxiliar y apoyo (Sedestación).....	55
Figura 35. Representación del laso formado por el asiento, eslabón auxiliar y apoyo (Bipedestación)	58
Figura 36. Programación en Matlab correspondiente a las Ecuaciones 12 y 13	59
Figura 37. Representación del sólido rígido del espaldar (Sedestación)	61
Figura 38. Representación del sólido rígido del espaldar (Bipedestación)	61
Figura 39. Representación del sólido rígido del espaldar (Bipedestación)	62
Figura 40. Representación del sólido rígido del espaldar (Bipedestación)	63
Figura 41. Representación de la montura en posición de bipedestación.....	64
Figura 42. Representación del sólido rígido del espaldar (Sedestación)	65
Figura 43. Esquema correspondiente al eslabonamiento de 4 barras para el análisis	66
Figura 44. Esquema correspondiente a la nueva bancada	67
Figura 45. Nuevo esquema sintetizado.....	68
Figura 46. Esquema sintetizado con referencia a θ_1 (Sedestación).....	68
Figura 47. Esquema sintetizado con referencia a θ_1 (Bipedestación).....	69
Figura 48. Identificación de parámetros del mecanismo de 4 barras	70
Figura 49. Modelamiento Matemático en Software	71
Figura 50. θ_4 en función de θ_2	73
Figura 51. Parámetros a tomarse en cuenta para la ubicación del resorte con cámara de gas (Bipedestación).....	75
Figura 52. Parámetros a tomarse en cuenta para la ubicación del resorte con cámara de gas (Sedestación).....	75
Figura 53. Parámetros para identificar la síntesis del laso (asiento-resorte con cámara de gas) cuando $w=0$	77
Figura 54. Programa para determinar la inclinación del resorte de 300 N, en función de la inclinación del asiento.....	78
Figura 55. Programa para determinar la inclinación del resorte de 360 N, en función de la inclinación del asiento.....	78
Figura 56. Programa para determinar la inclinación del resorte de 400 N, en función de la inclinación del asiento.....	79
Figura 57. Fuerzas que actúan en la Sedestación.	79
Figura 58. Fuerzas que actúan en la Bipedestación.	80
Figura 59. Programa para determinar las Fuerzas según las diferentes posiciones de θ_4 ..	81
Figura 60. Bosquejo de las dimensiones de la palanca.	84
Figura 61. Palanca considerando fuerzas y distancias respectivas.....	86
Figura 62. Esquema de los elementos del equipo.	90

Figura 63. Diagrama de Cuerpo libre cuando la máquina no es utilizada.....	92
Figura 64. Diagrama de cuerpo libre (Sedestación).....	93
Figura 65. Diagrama de cuerpo libre al realizar la bipedestación.....	95
Figura 66. Fuerzas que se ejercen cuando la persona se encuentra de pie.....	97
Figura 67. Fuerzas que actúan en la barra del asiento.....	98
Figura 68. Fuerzas que actúan en la barra del asiento.....	99
Figura 69. Diagrama de Fuerzas cortantes en el eslabón 3.....	101
Figura 70. Diagrama de Fuerzas cortantes en el eslabón 3.....	102
Figura 71. Diagrama de Fuerzas cortantes en el eslabón 3.....	103
Figura 72. Diagrama de Fuerzas cortantes en el eslabón 3.....	103
Figura 73. Diagrama de Fuerzas cortantes en el eslabón 3.....	106
Figura 74. Trazado de Tensiones de Von Miseses en el asiento.....	109
Figura 75. Trazado de Factor de Seguridad en el Asiento.....	109
Figura 76. Trazado de Tensiones de Von Miseses en el bloqueo.....	110
Figura 77. Trazado de Factor de Seguridad en el bloqueo.....	111
Figura 78. Ensamblaje de las 3 piezas principales de la silla bipedestadora.....	115
Figura 79. Ensamblaje de las 3 piezas principales de la silla bipedestadora.....	115
Figura 80. Montaje del resorte de gas.....	116
Figura 81. Montaje de llantas y frenos.....	116
Figura 82. Pintado del equipo.....	117
Figura 83. Bipedestador terminado.....	117
Figura 84. Pruebas de Funcionamiento realizadas en el hospital IESS Latacunga.....	118
Figura 85. Pruebas de funcionamiento realizadas en el Patronato Municipal de Amparo Social de Cotopaxi.....	119
Figura 86. Pruebas de funcionamiento realizadas a Pacientes del MIES.....	120

RESUMEN

Un bipedestador es un equipo que permite adoptar una postura bípeda, por lo que su uso está orientado hacia personas que padecen paraplejía, diplejía espástica, hemiplejía, cuadriplejía, etc. En el mercado existen varios grupos y patentes de estos equipos, sin embargo, no se ha encontrado una metodología exacta para el desarrollo de un bipedestador manual. La presente tesis consiste en el “Diseño y construcción de un Bipedestador Autosustentable para el desplazamiento autónomo de personas con paraplejía”. Donde el diseño buscará que las personas con paraplejía puedan realizar la transición de sentado a pie de manera autónoma mediante el uso de su propia fuerza, a su vez que también que puedan desplazarse hacia varios sitios según sean sus necesidades. El equipo se basa principalmente en la multiplicación de Fuerza por medio de la disposición de eslabonamientos, cuya estructura incluirá una base principal, el asiento, eslabonamientos para transferir movimiento, eslabonamientos de apoyo para ejercer palanca, palancas de accionamiento, soportes para cada uno de los eslabones, llantas, y resortes con cámara de gas. Una vez que se implementó el equipo, se ha realizado pruebas de funcionamiento, donde se evaluó el desempeño del mismo para verificar que realmente puede ser operado por personas parapléjicas, con relativa facilidad.

PALABRAS CLAVE

- **BIPEDESTADORES**
- **PLARAPLEJIA**
- **BIOMECÁNICA**

ABSTRACT

A bipedestador is a team that allows you to adopt a bipedal posture, so its use is oriented towards people suffering from paraplegia, spastic diplegia, hemiplegia, quadriplegia, etc. In the market there are several groups and patents of these equipments, however, an exact methodology for the development of a manual standing machine has not been found. This thesis consists in the "Design and construction of a Self-sustaining Standing Stand for the autonomous movement of people with paraplegia." Where the design will seek that people with paraplegia can make the transition from sitting on foot autonomously through the use of their own strength, while also allowing them to move to various sites according to their needs. The equipment is mainly based on the multiplication of Force through the provision of links, whose structure will include a main base, the seat, links to transfer movement, support links to exert leverage, operating levers, supports for each of the links, tires, and gas chamber springs. Once the equipment was implemented, performance tests have been carried out, where its performance was evaluated to verify that it can really be operated by paraplegic people, with relative ease.

KEYWORDS

- **STANDING FRAME**
- **PARAPLEGIA**
- **BIOMECHANIC**

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema

Según el Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (CONADIS) en Ecuador existen 196.758 personas con discapacidad física, de los cuales un 25% posee inmovilidad motriz a nivel de extremidades inferiores. Este tipo de paciente posee muchos problemas de salud tales como: insuficiencias renales, fragilidad ósea, pérdida de masa muscular, entre otras. En los años futuros, la paraplejia será un motivo de preocupación aún mayor, pues su prevalencia está aumentando. Ello se debe a que la población está envejeciendo y el riesgo de atrofia muscular es superior entre los adultos mayores. (CONADIS, 2019)

La falta de un tratamiento adecuado para personas con paraplejia por lo general está relacionada a la falta de recursos económicos, lo que obliga a las personas incapacitadas físicamente a buscar instituciones de ayuda social que solucionen o disminuyan la falta de movilidad y sensibilidad en la parte del torax y los miembros inferiores; sin embargo no todas las instituciones cuentan con los equipos que proporcionen una correcta rehabilitación, debido a la complejidad para realizar ciertos movimientos.

Las personas con paraplejia, carecen de facilidades para realizar sus actividades cotidianas por sí mismos, dado que la silla de ruedas convencional, no está adecuada para ciertas actividades donde se requiera la bipedestación de la persona, esta debe necesitar la ayuda de otros, lo que la hace dependiente de la vigilancia de las personas que le rodean.

1.2. Antecedentes

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud, en su informe global sobre discapacidad de 2011, alrededor de mil millones de personas (15% de la población mundial), presenta algún tipo de discapacidad. (OMS, 2011)

Las discapacidades físicas existen por diferentes causas y afecciones produciendo deficiencias motrices y dificultades para desplazarse originándose por defectos congénitos, enfermedades, envejecimiento o accidentes; presentan deficiencias motrices, el desplazamiento es muy difícil para poder realizar ocupaciones tanto en lo social y físico. (Jesucristo.I.D, 2018)

Conforme pasa el tiempo, es de vital importancia la bipedestación en una persona, ya que un estado de sedestación permanente, trae como consecuencias, la pérdida de masa ósea, problemas de circulación sanguínea, problemas con las funciones digestivas, respiratorias, renales y urinarias, a su vez que no dispone del uso de los miembros inferiores, por lo cual depende de otra persona para llevar a cabo sus actividades diarias.

Los Bipedestadores 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. Actualmente se han implementado una serie de éstos equipos, los cuales han ayudado a la mejora de la calidad de vida del individuo, sin embargo, cabe recalcar que, en algunos casos, la persona aun así depende de la ayuda de otra para su desplazamiento, o en un respectivo caso, depende de la energía

eléctrica del dispositivo para realizar sus actividades, lo cual en ciertos casos es un limitante.

1.3. Justificación e Importancia

La mayoría de los médicos recomiendan tratamientos avanzados y rehabilitación, para que las personas recuperen su movilidad, a su vez 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.

Actualmente existen dispositivos de asistencia, sin embargo, varios de estos no están adaptados para personas con discapacidad física, ya que su enfoque está relacionado a la terapia, y en algunos casos, no se ha tomado en cuenta a las personas que no pueden adoptar una posición bípeda por sus propios medios, razón por la cual últimamente se han implementado varios bipedestadores, que sirven como dispositivos de asistencia para que éstas puedan adoptar una posición bípeda, evitando de esta forma, varios problemas en su salud.

Muchas de las actividades cotidianas requieren que la persona esté de pie, y a su vez pueda desplazarse autónomamente, razón por la cual surge la necesidad de diseñar y construir un bipedestador autosustentable, a fin de que la persona parapléjica pueda adoptar una postura bípeda por sus propios medios, así como también su desplazamiento hacia diferentes lugares de manera autónoma, logrando que esta no dependa, tanto de las personas que le rodean, como de fuentes de energía.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Diseñar y construir un bipedestador autosustentable para el desplazamiento autónomo de personas con paraplejia.

1.4.1. Objetivos Específicos

- Analizar las necesidades y requerimientos del bipedestador.
- Diseñar un mecanismo autosustentable de bipedestación para el desplazamiento autónomo de personas con paraplejia.
- Construir un bipedestador, de forma tal que sea manipulado por la fuerza de la persona, sin el uso de ningún actuador.
- Comprobar el funcionamiento de los sistemas del equipo mediante pruebas de funcionamiento en personas con paraplejia.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes Investigativos

2.1.1. Introducción

Existen varias causas por las cuales las personas pierden la movilidad en los miembros inferiores, las cuales son dadas ya sea por problemas en el nacimiento de la persona, problemas con el desarrollo del cerebro en el nacimiento (diplejía espástica), lesiones en la médula espinal (paraplejía), lesiones de cuello (cuadriplejía), etc.

Cabe destacar, de los problemas anteriormente mencionados, todos estos atacan a las extremidades inferiores, pero a su vez existe una probabilidad que también haya una afectación en las extremidades superiores, con excepción de la paraplejía, que solo ataca desde la médula espinal hacia abajo, dejando inmóviles las extremidades inferiores, pero las extremidades superiores sin ninguna afectación. Por tal motivo en esta sección, se realizará una breve descripción de la paraplejía, y los problemas que provoca en la persona.

2.1.2. Causas de la Paraplejía

La causa más frecuente es el trauma en la estructura de la médula espinal, en los segmentos torácicos, lumbares o sacros; también, puede ser secundaria a trastornos congénitos, neoplasias, enfermedades degenerativas, trastornos vasculares de la aorta, problemas infecciosos e inmunológicos. (Ceransky, 2004)

También se da por resultados de accidentes de tránsito. Es una enfermedad permanente y no progresiva en las que hay pérdidas de sensibilidad en los miembros paralizados. (Ronald Saavedra, 2019)

2.1.3. Consecuencias de la Paraplejía

Mientras que algunas personas que padecen paraplejía pueden caminar hasta cierto punto, la mayoría dependen de una silla de ruedas, prótesis o de otros dispositivos para disponer de movilidad. Impotencia y varios niveles de incontinencia urinaria y fecal son muy comunes en los afectados. Muchos de ellos tienen que usar catéteres y/o programas de gestión del intestino (normalmente administrando enemas, supositorios o estimulación digital de los intestinos) para solucionar este problema. Con una gestión exitosa de la vejiga y del intestino el paciente puede prevenir todos los problemas de los sistemas digestivos y urinarios, como pueden ser las infecciones que además son una de las principales causas de mortalidad en este colectivo.

Debido a la reducción de la movilidad y a la pérdida de la capacidad de caminar, la paraplejía puede causar numerosas complicaciones médicas, muchas de las cuales se pueden evitar con unos mínimos auto-cuidados. Entre algunas de las complicaciones más comunes se encuentran las trombosis, la impotencia, la neumonía y la úlcera de decúbito. La fisioterapia y algunos dispositivos tecnológicos, sirven para prevenir estas complicaciones. (PARAPLEJIAS.es, 2019)

2.1.4. Sedestación

La sedestación es una de las posiciones anatómicas básicas; mantenerse sentado de forma autónoma es una capacidad fundamental para la salud y el bienestar de las personas.

Muchas personas con movilidad reducida precisan de silla de ruedas para poder desplazarse; permanecen largos períodos en sedestación (posición sentada), por lo que es esencial que el individuo desarrolle sus actividades cotidianas con total

normalidad y se mueva cómodamente en su entorno, mediante una posición en la silla de ruedas que maximice su capacidad funcional y cognitiva. (OTOPRONO, 2017)

2.1.5. Bipedestación

Bipedestación significa estar o permanecer de pie. Una actividad tan cotidiana y, en principio, tan sencilla como permanecer en equilibrio sobre los pies, puede resultar muy complicada e incluso a veces imposible para un paciente tras una lesión neurológica. (Vithas, 2019)

2.1.6. Transición sit to stand

En términos generales, los médicos y los fisioterapeutas hacen hincapié en el entrenamiento “sit to stand” y en el entrenamiento de reposo para la rehabilitación de pacientes parapléjicos que tiene un deterioro en sus piernas debido a una lesión de médula espinal, un accidente cerebrovascular, etc.

El apoyo físico de los miembros inferiores durante las transferencias del sit to stand y stand to sit es importante para una vida independiente de pacientes con paraplejia. (Tsukahara, 2009)

El entrenamiento “sit to stand” trae varias ventajas tales como la extensión de la gama del movimiento, la activación de los sistemas circulatorio y respiratorio, el alivio de la espasticidad, y la prevención de la escoliosis. Dicho entrenamiento consiste en realizar la bipedestación, durante varias veces, durante varios minutos al día, ya sea por medio de la asistencia de una máquina o una persona.

Dicha transición, tal y como se describe en la Figura 1 , empieza con la intención de ponerse de pie, para lo cual la persona toma un impulso con las piernas, luego se puede identificar el cambio a la posición vertical, para lo cual se ve un movimiento ascendente de los glúteos, respecto a la articulación de la rodilla, en la posición

vertical, ya realizó toda la bipedestación, para continuar el entrenamiento, se regresa nuevamente a la posición de sedestación, para lo cual, se realiza un movimiento descendente respecto a la articulación de la rodilla, hasta llegar nuevamente al apoyo del asiento.

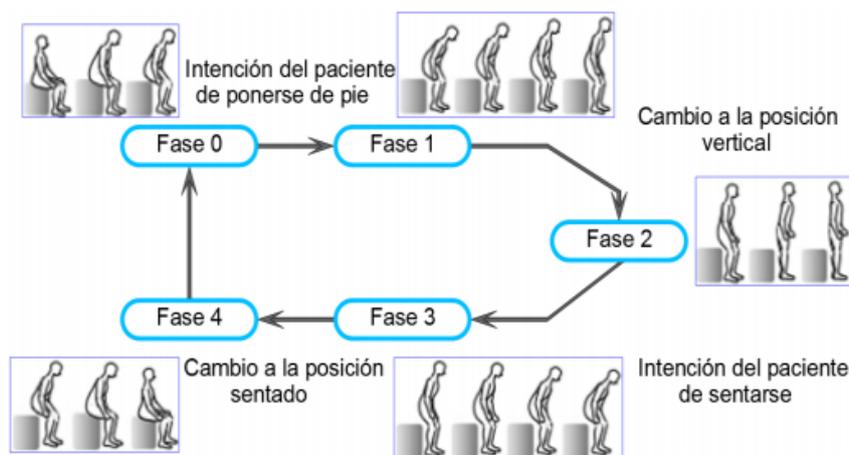


Figura 1. Transición sit to stand

Fuente: (Tsukahara, 2009)

2.2. Fundamentación Teórica

2.2.1. Introducción

Una vez que se ha determinado los diferentes aspectos relacionados a la paraplejía, y haber descrito las soluciones respectivas, se procede a realizar una investigación documentada, donde se destacará los diferentes tipos de bipedestadores autosustentables existentes en el mercado, con la finalidad de identificar: mecanismo, trayectoria de movimiento, materiales, y la seguridad que estos brindan en la persona. Además se describirán los parámetros necesarios para el diseño del bipedestador autosustentable, siendo estos los principales para obtener las medidas del mismo.

2.2.2. Bipedestador

Un bipedestador es una máquina la cual le permite al individuo facilitar la adaptación de la postura bípeda, a fin de solucionar varios problemas de salud, como en este caso: mejora la regularidad del intestino y la vejiga, reducción de los cálculos urinarios, fortalecimiento del sistema cardiovascular, ayuda para mantener los pulmones despejados, entre otros beneficios. (Glenn D. Fortner. Standing lift and support for wheelchair user, 1990, 8-10)

2.2.3. Tipos de Bipedestadores Autosustentables

a. EasyStand Mobile 5000 Stander



Figura 2. EasyStand Mobile 5000 Stander

Fuente: (EASY STAND, 2019)

El bastidor de pie EasyStand 5000, mostrado en la Figura 2, es un bipedestador que funciona por medio de un gato hidráulico, es de accionamiento manual por medio de una palanca vertical, la cual debe moverse varias veces hasta llegar a la posición de bipedestación. A su vez, también incluye un mecanismo de transmisión de movimiento hacia las ruedas de la parte inferior, permitiendo que las personas puedan moverse por la habitación mientras están de pie. (EASY STAND, 2019)

El diseño modular se adapta a los individuos de 152 cm hasta 188 cm, y soporta hasta 280 lb. Tiene un rango de ajuste de profundidad del asiento (desde el pivote del asiento) 18"-23" 45-59cm. En la Tabla 1 se muestran las características del producto. (Southwest Medical, 2019)

Tabla 1.
Características del Easy Stand Mobile 5000 Stander.

Tipo	Silla de ruedas manual
Características	Función de levantamiento manual, actualización de opción móvil.
País de fabricación	Estados Unidos
Marca	Easystand
Tamaño	Usuarios de hasta 6'5"
Modelo	Soporte MOVIL Serie 5000
Capacidad de peso	280 lb
Material	Acero

Fuente: (Southwest Medical, 2019)

Componentes:

- Dos ruedas traseras giratorias de 5" con freno
- Dos ruedas delanteras de 5 "
- Actuador hidráulico manual con asa
- Asiento-planar 21.5" x 19" W
- Reposapiés multiajustables
- Correa de pecho - velcro ajustable
- Correas de pie - velcro ajustable

(EASY STAND, 2019)

b. Manual Power-Assist Standing Wheelchair



Figura 3. LifeStand LS

Fuente: (Permobil, 2011)

La silla de ruedas manual LifeStand LS, mostrada en la Figura 3, tiene una función que le permite elevarse hasta una posición vertical completa con un esfuerzo físico reducido. Esto se debe a que en la parte inferior, existen 2 resortes con cámara de gas, los cuales aportan parte de la fuerza necesaria para poder levantar a la persona, a su vez posee un mecanismo de aumento de palanca, que también está acoplado en varios puntos de la estructura, este mecanismo permite principalmente ejercer una pequeña fuerza, para poder movilizar toda la estructura, y también controlar la posición mediante el accionamiento de la palanca. En la

Tabla 2, se muestran las características del producto. (Permobil, 2011)

Tabla 2.
Características del LifeStand LS

Tipo	Silla de ruedas manual
Características	Respaldo abatible hacia abajo, Ruedas traseras ultraligeras, Función de pie manual asistida, Reposabrazos acolchado, reposa piernas abatibles.
País de fabricación	Francia
Marca	Permobil
Grupo de edad	Adulto
Modelo	Lifestand LS
Capacidad de peso	250 lbs
Material	Acero

Fuente: (Permobil, 2011)

Componentes:

- Marco modular ajustable.
- Asiento de profundidad: 16", ajustable desde 15" hasta 21", ancho: 15", y una altura de respaldo de 14".
- Llantas traseras ultraligeras Primo "Sentinel" de 12" de radio.
- Neumáticos traseros Premium Primo "Sentinel".
- Cojín de asiento Comfort "Curve" de 16" de ancho.
- Ruedas giratorias de rodillo.

(Permobil, 2011)

c. Leo II (Lightest Standing Wheelchair)



Figura 4. Leo II (Lightest Standing Wheelchair)

Fuente: (Foldawheel, 2017)

Leo II, mostrado en la Figura 4, es una silla de ruedas liviana y fácil de usar, tiene mecanismos de bipedestación controlados por el usuario. Está compuesto de ruedas delanteras y traseras de liberación rápida para un fácil manejo y almacenamiento durante el viaje. El componente principal es el resorte con cámara de gas, el cual aporta una parte de la fuerza necesaria para poder levantar a la persona, la fuerza adicional la persona debe ejercerla en los triseps hasta realizar toda la transición.

El peso operativo total es de 26 kg (57 lbs), disminuyendo a solo 21 kg (46 lbs) después de desmontar las ruedas. En la Tabla 3 se muestran las características del producto. (Foldawheel, 2017)

Tabla 3.

Características del modelo Leo II (Lightest Standing Wheelchair)

Tipo	Silla de ruedas manual- Silla de ruedas reclinable
Características	Liviano
MPN	STD-LEO-18
Marca	Foldawheel
Grupo de edad	Adulto
Material	Aleación de aluminio de alto grado

Fuente: (Foldawheel, 2017)

Componentes:

- Opciones de ancho de asiento: 16"
- Largo Total: 40 "
- Altura total (ajustable): 33.5 "- 37.4"
- Altura del respaldo (ajustable): 13.8 "- 17.7"
- Profundidad del asiento (ajustable): 18 ", 19", 20 "
- Ancho total: 25.8"
- Peso total: 27 KG

(Fodawheel, 2017)

d. Silla de Ruedas de Bipedestación Desarrollada en el Hospital VA

Figura 5. Silla de ruedas de bipedestación desarrollada en el Hospital VA

Fuente: (CBS Minnessota, 2016)

El diseño de la silla de ruedas, mostrado en la Figura 5, es un modelo muy similar al descrito en la Figura 4, con la excepción de que también tiene un mecanismo de transmisión de movimiento, permitiendo el desplazamiento de las personas hacia varios lugares. (CBS Minnessota, 2016)

e. Manual Stand Wheelchair



Figura 6. LifeStand Helium LS

Fuente: (Medgadget, 2019)

El Instituto Shirley Ryan AbilityLab desarrolló una silla de ruedas, mostrada en la Figura 6, la cual permite a sus usuarios cambiar entre una posición sedente a bípeda, al tiempo que conserva la capacidad de moverse y dirigir la silla en cualquier dirección. El dispositivo utiliza cadenas de bicicleta para transferir la potencia de las barras de empuje hacia las ruedas, a su vez tiene un acople que permite accionar un sistema de bandas y poleas, el cual realiza la bipedestación del usuario. (Medgadget, 2019)

f. XO-55 Manual Sit to Stand Wheelchair



Figura 7. XO-55 Manual Sit to Stand Wheelchair

Fuente: (PHOENIX, 2016)

En el prototipo mostrado en la Figura 7, el mecanismo, permite ponerse a la persona de pie, sin ejercer mucho esfuerzo físico, por otro lado, presenta una rueda adicional a la silla de ruedas convencional, la cual sirve para ofrecer mayor estabilidad al equipo, sin la necesidad del movimiento del apoya pies.

De la misma forma, como en los anteriores equipos descritos, posee resortes de gas, los cuales ayudan al trabajo de elevación de la persona, permitiendo que la fuerza realizada por esta sea mínima. (PHOENIX, 2016)

g. CMED Standing Wheelchair



Figura 8. CMED Standing Wheelchair

Fuente: (CMED, 2017)

The Standing Wheelchair, es una silla de bipedestación desarrollada en Taiwán, la cual tal y como se puede ver en la Figura 8, consta de un mecanismo de levantamiento utilizando resortes con cámara de gas, a su vez de un mecanismo de aumento de palanca, los cuales permiten la bipedestación de la persona sin ejercer mucho esfuerzo, también posee un mecanismo de estabilidad, en los apoyapiés, por su parte una de las principales características del modelo, es la facilidad de manufactura de

sus componentes. En la Tabla 4 se muestran las características del producto. (CMED, 2017)

Tabla 4.
Características del CMED Standing Wheelchair LS

Material	Aluminio 6061
Peso de la estructura	21 Kg
Dimensiones (sedestación)	62*118*90
Dimensiones (bipedestación)	62*118*145
Inclinación del asiento	80°
Peso que soporta	50-85 Kg

Fuente: (CMED, 2017)

2.2.4. Principios Antropométricos

- **Antropología física:** Es una ciencia que trata del estudio de las características físicas del ser humano. (Fernandez, 2008)
- **Antropometría:** Es parte de la antropología física, y trata de mediciones y dimensiones del cuerpo humano en particular de las medidas del cuerpo humano, forma, resistencia y capacidad de trabajo (Fernandez, 2008).
- **Antropometría estática o estructural:** Tiene como fin la medición de dimensiones estáticas, es decir, se toman con el cuerpo en una posición fija y determinada. (Fernandez, 2008)

El conocimiento de las dimensiones estáticas es básico para el diseño de los puestos de trabajo ya que estas permiten establecer las distancias necesarias entre el cuerpo y lo que le rodea, estas dimensiones son tomadas de diferentes segmentos del cuerpo ya sean en posturas estáticas o dinámicas, de pie o sentado. (Ministerio de Trabajo e Inmigración, 2012)

2.2.5. Percentiles

En la evaluación de mediciones antropométricas de una población, se considera los percentiles 5, 50 y 95, sin embargo, dado que existe un porcentaje de personas que son mucho más pequeñas o mucho más grandes en comparación con el percentil 50 (media de los datos), estos son conocidos como valores extremos y habitualmente están ubicados en las colas izquierda y derecha de la distribución. Por lo cual es recomendable obtener información sobre el quinto percentil por ejemplo para hombres y mujeres pequeñas y el 95 percentil por ejemplo para hombres y mujeres grandes; esta información podría ser usada para el diseño de puertas, altura anaqueles, etc. (Fernandez, 2008)

Según Pheasant (1996), estos quintiles pueden interpretarse por ejemplo para la altura: 5 quintil, exactamente el 5% de las personas son más pequeñas que este; para el 95 quintil, sólo el 5% de las personas son más altas que este. Finalmente, se puede deducir el 90% de la población se encontraría entre estos quintiles. (Pheasant, 1996)

2.2.6. Principios Antropométricos

a. Altura Posición Sentado Relajado

Distancia vertical desde el nivel superior de la cabeza a la superficie de asiento en posición normal. (Lema, 2013)

b. Altura de la Rodilla

Distancia vertical desde el nivel de la rótula hasta el suelo normal. (Lema, 2013)

c. Altura de la poplítea

Distancia vertical desde la poplítea al piso, ángulo recto entre la parte inferior de las rodillas y los tobillos. (Lema, 2013)

d. Longitud glúteo - rodilla

Distancia horizontal desde la parte posterior del glúteo hasta la rótula. (Lema, 2013)

e. Longitud glúteo - poplítea

Distancia horizontal desde la parte posterior del glúteo hasta la poplítea. (Lema, 2013)

f. Ancho de la cadera

En posición sentado, es la distancia horizontal máxima de las caderas. (Lema, 2013)

2.2.7. Biomecánica de las Personas

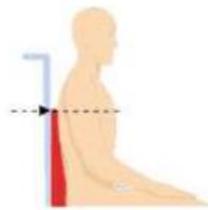
Dado que se va a diseñar y construir un bipedestador, el cual pase de la posición de sedestación a la de bipedestación, debe tenerse bien en claro las respectivas inclinaciones o posturas del cuerpo en dicha transición. Esto servirá para poner varias limitantes al mecanismo de bipedestación.

a. Postura en la Posición de Sedestación

Como anteriormente se había indicado, la posición de sedestación, es cuando la persona se encuentra en su posición de descanso, para lo cual se procede a determinar las diferentes inclinaciones tanto de los muslos, la espalda y las pantorrillas, respecto a las articulaciones, la rodilla y la cadera. Los parámetros en la posición de sedestación son los siguientes:

a.1. Inclinación del espaldar

Es de vital importancia conocer la inclinación, así como la altura del espaldar, debido a que esto permite estabilizar la región lumbar superior, y hacer que la fuerza de gravedad caiga sobre el pecho, en la Figura 9 y Figura 10, se puede apreciar de mejor forma, los efectos tanto de la inclinación como del apoyo. (Ortopedia Aeropuerto, 2019)

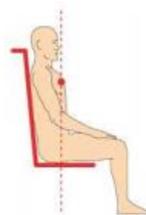


Altura adecuada para
estabilizar la región
lumbar superior

Figura 9. Altura adecuada de respaldo

Fuente: (Ortopedia Aeropuerto, 2019)

Tal y como se puede identificar, es necesario que el apoyo del espaldar cubra una altura determinada desde el asiento hasta el pecho.



Debe estar ligeramente
reclinado para que la
fuerza de gravedad recaiga
sobre el pecho

Figura 10. Posición adecuada de sedestación

Fuente: (Ortopedia Aeropuerto, 2019)

Se puede identificar que existe un pequeño ángulo de inclinación en el espaldar, esto ayuda principalmente a que la fuerza de gravedad recaiga sobre el pecho.

a.2. Inclinación Rodilla - Cadera

Según Yu- Sheng Yang, en su investigación "Sliding and Lower Limb Mechanics during Sit-Stand-Sit Transitions with a Standing Wheelchair", se puede identificar tanto las inclinaciones del espaldar, respecto al asiento, como las longitudes del deslizamiento, provocado por dichos movimientos, cabe destacarse que en este caso el espaldar siempre estuvo a un ángulo de 90°. Por lo cual se puede determinar los ángulos de

sedestación y bipedestación, siendo los mostrados en la Figura 11 y Figura 12. (Yu-Sheng Yang, 2014)

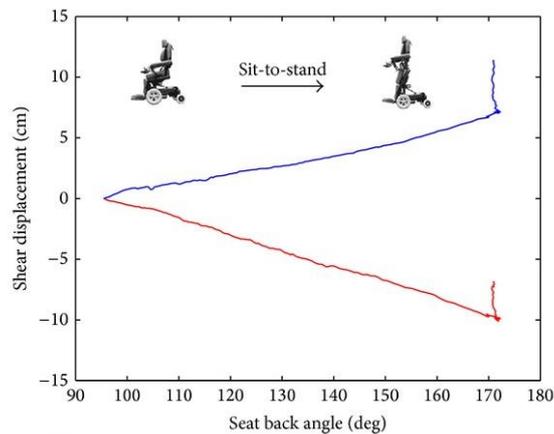


Figura 11. Transición sit-stand-sit

Fuente: (Yu-Sheng Yang, 2014)

En la transición sit to stand, tal y como se puede ver, se tomó de referencia la vertical (ángulo del espaldar), con lo que la inclinación del asiento cuando la persona está en sedestación, es aproximadamente 95° .

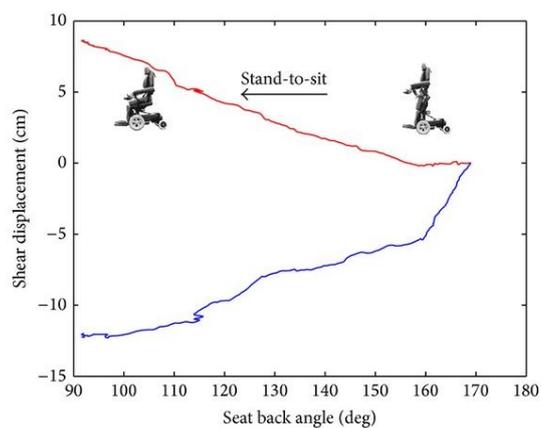


Figura 12. Transición stand-sit-stand

Fuente: (Yu-Sheng Yang, 2014)

Sin embargo, en la transición stand to sit, debido a los respectivos deslizamientos de la persona, esta vez se llega a una inclinación aproximadamente de 92° .

Según Diometrio Pérez Viguera, en su investigación “Biomechanical analysis of sit-to-stand transition for control of exoskeletons”, se da a conocer las posiciones que adopta el cuerpo humano en la transición sit to stand, sin embargo esta investigación, no aplica en una persona parapléjica, pero se pueden obtener las inclinación en sedestación, siendo esta de: 96° , según la Figura 13. (Demetrio Pérez Viguera, 2018)

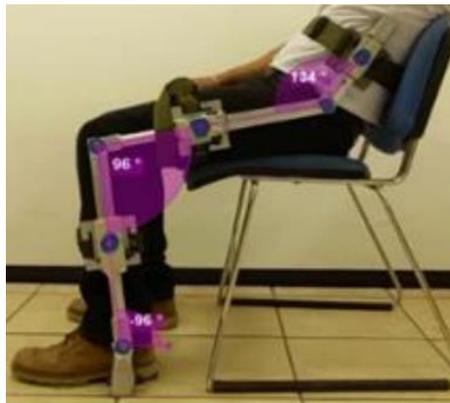


Figura 13. Inclinación del asiento

Fuente: (Demetrio Pérez Viguera, 2018)

a.3. Inclinación Tobillo - Rodilla

Cabe destacar que el apoyo pie es principalmente un apoyo de descanso para las extremidades inferiores. Según el Instituto Ecuatoriano de Normalización, en su documento “Accesibilidad de las Personas al medio físico”, establece que dicha inclinación es de 20.22° , tal y como se indica en la Figura 14, cabe recalcar que dicho resultado se tiene restando $110.22^\circ - 90^\circ$. (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2000)

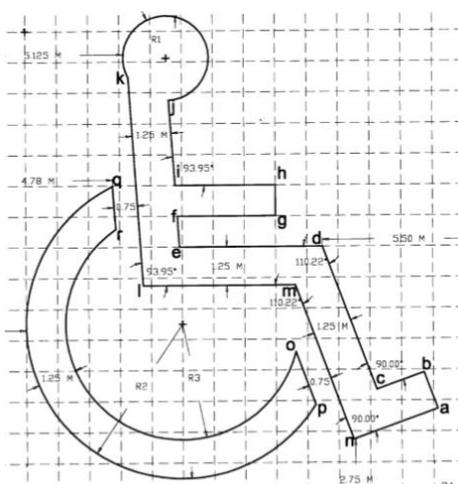


Figura 14. Inclinación de las pantorrillas

Fuente: (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2000)

Del mismo modo, según Yu- Sheng Yang en su investigación previamente citada, también indica las respectivas inclinaciones que adopta tanto la cadera, las rodillas y el tobillo, en función del ángulo del respaldo del asiento. Las cuales varían en gran parte debido al deslizamiento del cuerpo en las transiciones. Dichas inclinaciones se pueden obtener de la Figura 15.

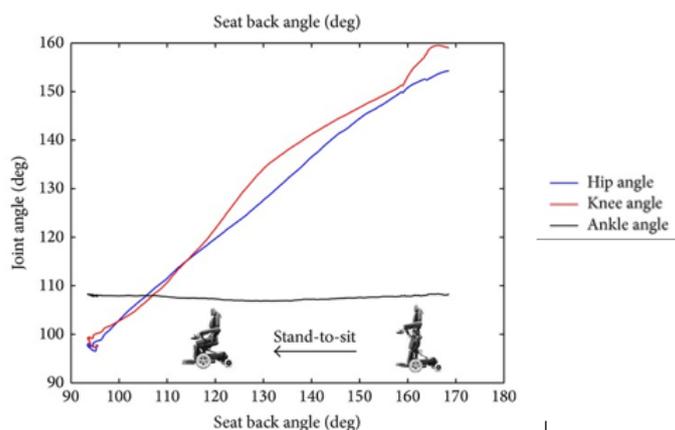


Figura 15. Inclinación del tobillo en sedestación

Fuente: (Yu-Sheng Yang, 2014)

Tal y como se puede ver, la inclinación del tobillo, respecto al respaldo del asiento es 110°, lo que sirve para corroborar el dato anterior.

b. Postura en la Posición de Bipedestación

Una vez que se determinó las inclinaciones en la posición de sedestación, se procede a hacer exactamente lo mismo para la posición de bipedestación, tomando en cuenta los mismos parámetros que en la investigación anterior.

b.1. Inclinación Rodilla - Cadera

Es importante saber, la inclinación a la cual deben posicionarse los muslos una vez realizada la bipedestación, ya que dicho ángulo permitirá establecer la inclinación a la cual se quiere posicionar el asiento al momento de diseñar el mecanismo de elevación. Tal y como se ve en la Figura 11, en la transición sit-stand-sit, el ángulo es de 169° respecto a la vertical, mientras que en la transición stand-sit-stand, mostrado en la Figura 12, este se asemeja a 169° .

b.2. Inclinación Tobillo - Rodilla

A diferencia de la posición de sedestación, en bipedestación el apoyapié tiende a ser casi vertical, debido a la estabilidad postural, el cuerpo necesita un punto de apoyo en la parte inferior, en el cual esté contenido el centro de gravedad de la persona, la posición de los tobillos tiende a ser casi horizontal, tal y como se muestra en la Figura 16. (Blog para Fisioterapeutas, 2015)

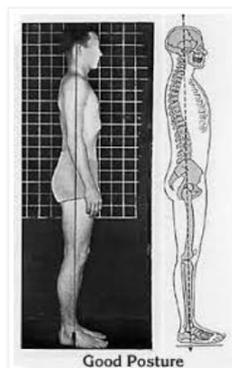


Figura 16. Inclinación del tobillo en bipedestación

Fuente: (Blog para Fisioterapeutas, 2015)

c. Antropometría de una silla de ruedas

La silla de ruedas con brazos debe cumplir los parámetros mostrados en la Figura 17.

- 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 inclinación del respaldo debe estar alrededor de los 95° , y el asiento debe estar ligeramente inclinado hacia el fondo. (Baliña, 2013)

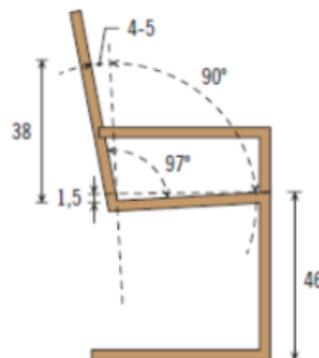


Figura 17. Dimensiones de una silla de ruedas con brazos

Fuente: (Baliña, 2013)

Existen otros parámetros que debe considerarse, para lo cual se ha tomado la vista superior, en la Figura 18, la vista frontal en la Figura 19, y la vista lateral en la Figura 20, cuyas dimensiones son las siguientes:, (Gobierno de la Ciudad de México, 2016)

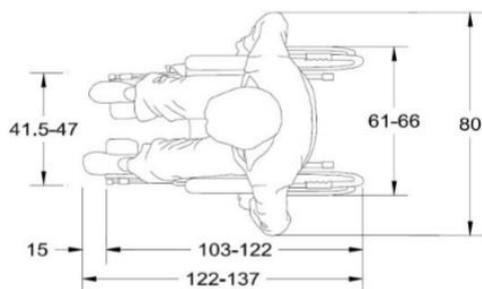


Figura 18. Vista transversal superior

Fuente: (Gobierno de la Ciudad de México, 2016)

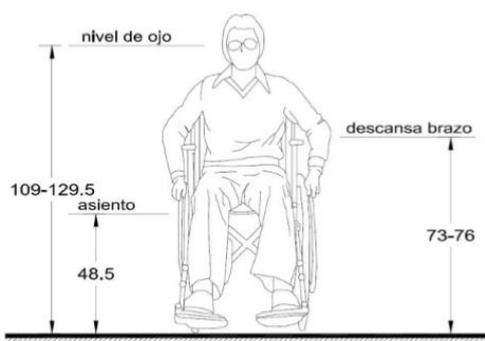


Figura 19. Vista frontal

Fuente: (Gobierno de la Ciudad de México, 2016)

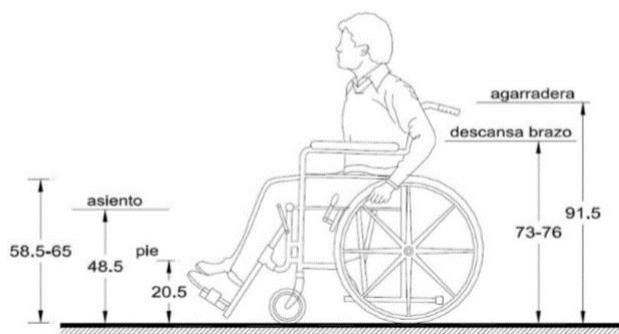


Figura 20. Vista lateral

Fuente: (Gobierno de la Ciudad de México, 2016)

d. Biomecánica en la Transición Sit to Stand

Existen varios tipos de trayectoria que presentan cierta geometría en la fuerza de levantamiento que influyen en la carga sobre las rodillas y caderas, es importante

tomar en cuenta la trayectoria adecuada de bipedestación, la cual ayudará a no producir lesiones y compresiones. (Chinesport, 2016)

Durante el levantamiento lineal, mostrado en la Figura 21, se presenta una alta compresión sobre el fémur y la pelvis causando una afectación grave en el usuario.



Figura 21. Trayectoria Lineal

Fuente: (Chinesport, 2016)

Durante el levantamiento en trayectoria curva, mostrado en la Figura 22, existe una geometría variable, permitiendo que la compresión sea sobre articulaciones de rodillas y en la cadera sea relativamente pequeña.



Figura 22. Trayectoria Curva

Fuente: (Chinesport, 2016)

2.3. Hipótesis

Mediante el diseño y construcción de un bipedestador autosustentable, las personas con paraplejia podrán desplazarse autónomamente.

2.4. Sistema de Variables

Variable Independiente: Diseño y Construcción de un Bipedestador Autosustentable.

Variable Dependiente: Desplazamiento autónomo de personas con paraplejia.

2.5. Cuadro de Operacionalización de las Variables

En las siguientes tablas se muestran los cuadros de operacionalización de las variables, en la Tabla 5 se muestra el cuadro de operacionalización de la variable Independiente, y en la

Tabla 6 se muestra el cuadro de operacionalización de la variable dependiente.

Tabla 5.

Operacionalización de la Variable Independiente

Variable (Independiente)	Definición	Dimensión	Indicador	Instrumento
Diseño y Construcción de un Bipedestador Autosustentable	Diseñar y construir un bipedestador, el cual el usuario pueda operarlo por sus propios medios.	Diseño Mecánico de la estructura	Factor de seguridad	Cálculos Software CAE
		Medidas de los eslabones	Medidas antropométricas	Tablas de datos
		Mecanismo de bipedestación	Inclinaciones de los eslabones	Software matemático

Tabla 6.
Operacionalización de la Variable Dependiente

Variable (Dependiente)	Definición	Dimensión	Indicador	Instrumento
Desplazamiento autónomo de las personas con paraplejia	Las personas que tengan afectadas sus extremidades inferiores, puedan utilizar sus extremidades superiores para su desplazamiento autónomo por medio del bipedestador.	Transición sit to stand	Fuerza requerida para accionar el mecanismo de levante	Tabla de datos
		Transición stand to sit	Fuerza requerida para realizar el descenso de la persona	Tabla de datos

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Modalidad de Investigación

El presente proyecto se deberá realizar una investigación referente al diseño del bipedestador autosustentable, para lo cual deben tomarse en cuenta parámetros técnicos que sean de gran utilidad para la elaboración del mismo, así como también varios criterios para la selección de la propuesta a desarrollar, para lo cual se utiliza las siguientes modalidades.

3.1.1. Investigación Documental

El proyecto inicia con la recolección de información en materiales bibliográficos, artículos científicos, catálogos, páginas web y libros de ingeniería, en los que se logre obtener parámetros referentes a la construcción de los bipedestadores autosustentables realizados, siendo estos: tamaño, peso, material, mecanismo, y seguridad. Con lo cual se podrá establecer varias alternativas de solución.

De la misma forma la investigación documentada aplica también para la adquisición de información acerca de las medidas antropométricas de la población de la región Sierra, la biomecánica de las personas, y la antropometría de una silla de ruedas. Dichos parámetros serán de vital importancia para establecer las medidas del diseño.

3.1.2. Investigación Experimental

Una vez se haya realizado la recolección de información, se procede a comparar cada uno de los modelos de bipedestación, considerando las características determinadas anteriormente, y evaluando ciertos detalles de estos. Para dicho análisis se tomará en cuenta los siguientes parámetros:

- Mecanismo de bipedestación
- Costo
- Seguridad

3.1.3. Investigación de Campo

La investigación de campo se realizará una vez que se haya construido el bipedestador autosustentable, con el cual se realizará pruebas de funcionamiento con varias personas parapléjicas en la provincia de Cotopaxi, con la finalidad de comprobar la hipótesis.

3.2. Tipos de Investigación

3.2.1. Investigación Aplicada

En el proyecto principalmente se buscará diseñar un mecanismo autosustentable de bipedestación, en base a patentes investigadas previamente, a su vez se utilizará los conocimientos adquiridos en el área mecánica para fundamentar el diseño del modelo.

3.2.2. Investigación de Método Deductivo

Se identificará las características de cada uno de los bipedestadores analizados anteriormente, para en base a ello determinar las más relevantes, y cuáles son los modelos más adecuados. Además se evaluará las curvas de bipedestación obtenidas en varios modelos, con la cual se buscará la más adecuada para realizar el diseño.

3.3. Diseño de la Investigación

Como se dijo en los anteriores apartados, primero se realizará una investigación documentada para establecer los modelos de bipedestación autosustentable, medidas antropométricas y trayectorias de bipedestación adecuadas, posteriormente se evaluará cada uno de los tipos de bipedestadores, considerando varios parámetros referentes a la parte física del mismo. Una vez realizado este proceso, se discriminará varios modelos, llegando a tener unos pocos, entre los cuales se procederá a realizar una evaluación mecánica con ayuda de software, donde se procede a evaluar la trayectorias de bipedestación, y la fuerza que la persona debe realizar para accionar el mecanismo, con lo cual se podrá definir el mejor modelo. Posteriormente se realizará el diseño mecánico, tomando en cuenta también que en este pueden presentarse ciertas modificaciones, las cuales permitan mejorar el equipo, para la implementación del mismo. Por último se realizará pruebas de funcionamiento para determinar la confiabilidad y utilidad.

3.4. Niveles de Investigación

3.4.1. Nivel Exploratorio

Este nivel se utiliza para identificar las diferentes causas y consecuencias de la paraplejia, de donde se puede tomar en cuenta principalmente que es necesario que la persona adopte periódicamente una postura bípeda, para prevenir problemas de salud, por otra parte se sabe que las personas parapléjicas necesitan ayuda de otras persona para realizar sus actividades diarias.

3.4.2. Nivel Descriptivo

Este nivel se utiliza para el planteamiento de la hipótesis que surge del nivel exploratorio, con esta investigación se define concretamente los objetivos del

proyecto, dado que se realizará el diseño y construcción de un bipedestador autosustentable, el objetivo principal será el desplazamiento autónomo de personas parapléjicas, con la finalidad de que éstas puedan realizar sus actividades diarias sin depender de ningún otro medio.

3.5. Población y Muestra

El diseño del bipedestador autosustentable está orientado hacia las personas adultas de la zona 3 del Ecuador.

3.6. Técnica de recolección de datos

Existen diferentes datos determinantes para el diseño del bipedestador, para este caso, en las medidas antropométricas y posturas de la persona, se utilizará tablas donde se muestre los valores de varias fuentes de investigación, los cuales serán promediados para obtener los valores definitivos.

Para la evaluación de los parámetros mecánicos como: la curva de bipedestación, y la fuerza de accionamiento del mecanismo, se utilizará software matemático, tablas y gráficas.

Para la obtención de las fuerzas y esfuerzos a los que estará sometidos la estructura, se utilizará cálculos matemáticos y software CAE.

3.7. Técnicas de análisis de datos

Como se vio en el ítem 2.2.7, donde se identifica las posiciones de la transición sit to stand, para lo cual se hará una comparación entre los mecanismos seleccionados, para escoger el que cumple una curva de bipedestación aceptable, ya que en caso de no cumplir, causaría lesiones al usuario. A su vez mediante las tablas realizadas sobre las fuerzas que deben ejercerse para accionar el mecanismo, de la misma forma se

realizará una comparación de la más óptima, debe tomarse en cuenta que dichos mecanismos se pueden modificar para obtener un mejor resultado.

De la misma forma, se utilizará los datos arrojados del software CAE para la selección del material y los elementos mecánicos.

3.8. Técnicas de Comprobación de la Hipótesis

Para la comprobación de la hipótesis se utilizará el método de Validación Interna, en base a las pruebas de funcionamiento del equipo que se realicen con varias personas parapléjicas para verificar si en realidad las personas podrán desplazarse autónomamente.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Recopilación de Información.

4.1.1. Estadísticas

Los porcentajes correspondientes a los 3 principales grupos étnicos: mestizos, indígenas y afro ecuatorianos, corresponden a los mostrados en la Figura 23. (Lema, 2013)

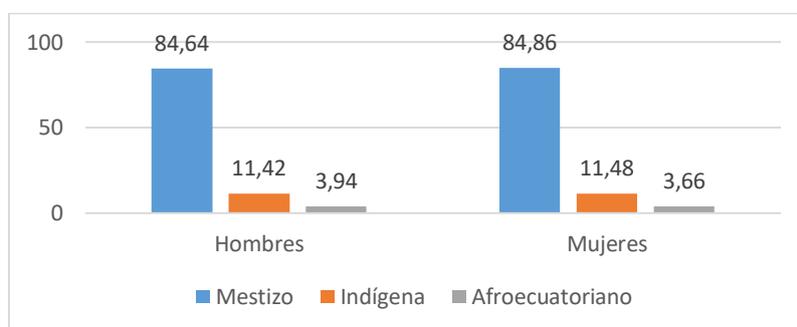


Figura 23. Porcentajes correspondientes a los grupos étnicos: mestizos, indígenas y afroecuadorianos

Fuente: (Lema, 2013)

Para obtener la antropometría de cada grupo étnico, en las provincias de Imbabura, Tungurahua, Cotopaxi y Chimborazo, Lema (2013) afirma que: debido a que la muestra de los hombres y mujeres auto identificados como mestizos es mayor a 50, se realizó un test de normalidad Anderson-Darling, donde se escogió un nivel de confianza del 95% de tal forma que la sea aceptada si el estadístico de prueba supera a 0.751, con lo cual los resultados obtenidos se representan en el Anexo A-1, donde constan las medidas antropométricas realizadas en hombres, mientras que en el Anexo A-2, donde constan las medidas antropométricas realizadas a mujeres. (p.88-154).

Una vez que se tienen las medidas antropométricas, se procede a obtener el promedio de cada una de éstas, para poder generalizar las medidas para el diseño. Dicho procedimiento se resume en los Anexos A-3 y A-4, donde constan los promedios de las medidas antropométricas en hombres y mujeres respectivamente.

Una vez que se tiene los resultados de los promedios, en el Anexo A-5 se procede a sacar un promedio total para obtener medidas generales para realizar el diseño.

Posteriormente en el Anexo A-6, se escogen únicamente las medidas más importantes a tomar en cuenta para el diseño.

En la Tabla 7 dichas medidas son transformadas a milímetros y redondeadas a su inmediato superior, para posteriormente utilizarlas en el diseño del equipo.

Tabla 7.

Medidas consideradas para el diseño redondeadas en mm

Altura posición relajado	870
Altura de la rodilla	518
Altura de la poplítea	412
Longitud glúteo-poplítea	453
Longitud glúteo-rodilla	551
Ancho de caderas, posición sentado	375

Fuente: (Becerra, 2013)

A su vez se tiene que la altura de la región lumbar es 641.57 mm y la profundidad máxima del cuerpo es 299.55 mm . (Chaurand, 2007)

Dado que dichas medidas son de México, se procede realizar una regla de 3, estableciendo como medida base la altura de la poplítea (445.59 mm), donde se obtiene:

$$\text{altura de la región lumbar} = 641.57 * \frac{412}{445.59} = 593.206 \text{ mm}$$

$$\text{profundidad máxima del cuerpo} = 299.55 * \frac{412}{445.59} = 276.97 \text{ mm}$$

4.1.2. Posiciones de sedestación y bipedestación

Tal y como se pudo ver en el apartado 2.2.7, se identificó las diferentes posturas en la transición sedente a bípeda según varias investigaciones, para posteriormente obtener las inclinaciones que adoptará la máquina.

En la Tabla 8 se procedió a realizar un promedio de dichos valores mencionados, donde las columnas M1, M2 Y M3 son los valores de cada una de las medidas referenciadas, mientras que la columna Promedio, son las medidas finales que se tomará en cuenta para realizar el diseño.

Tabla 8.
Promedio de las inclinaciones entre articulaciones

Articulaciones	Posición	M1	M2	M3	Promedio
Espalda-Cadera	Sedente	4°	-	-	4°
Cadera-Rodilla	Sedente	92°	95°	96°	94.333°
Rodilla-Tobillo	Sedente	20°	20°	-	20°
Espalda-Cadera	Bípedo	-	-	-	-
Cadera-Rodilla	Bípedo	169°	169°	-	169°
Rodilla-Tobillo	Bípedo	-	-	-	0°

Las inclinaciones para el espaldar y él apoya pies son las mismas que las inclinaciones de las articulaciones Espalda-Cadera y Rodilla-Tobillo respectivamente, debido a que es despreciable la variación de longitud de la superficie de contacto, respecto a las articulaciones. Sin embargo la transición sit to stand en las articulaciones rodilla- cadera, influyen en la articulación del asiento.

Para tener una mejor apreciación, en la Figura 24 se muestra un esquema de las dimensiones del cuerpo humano, especificadas anteriormente, y también se asume los puntos medios como los puntos centros de las articulaciones.

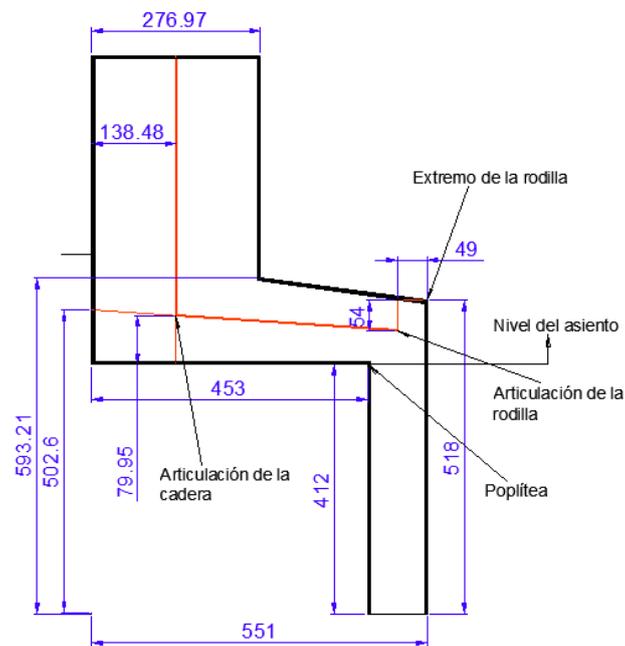


Figura 24. Dimensiones del cuerpo humano (Sedestación)

De la Figura 24 se establece que la articulación de la cadera está situada a una distancia vertical de 79.95 mm respecto al asiento, y a una distancia horizontal de 138.48 mm respecto al espaldar, además se tiene una distancia de 364.59 mm respecto a la articulación de la rodilla. Posteriormente se utiliza dichos valores para realizar el esquema mostrado en la Figura 25 en la posición de bipedestación, con la finalidad de obtener principalmente el ángulo del asiento.

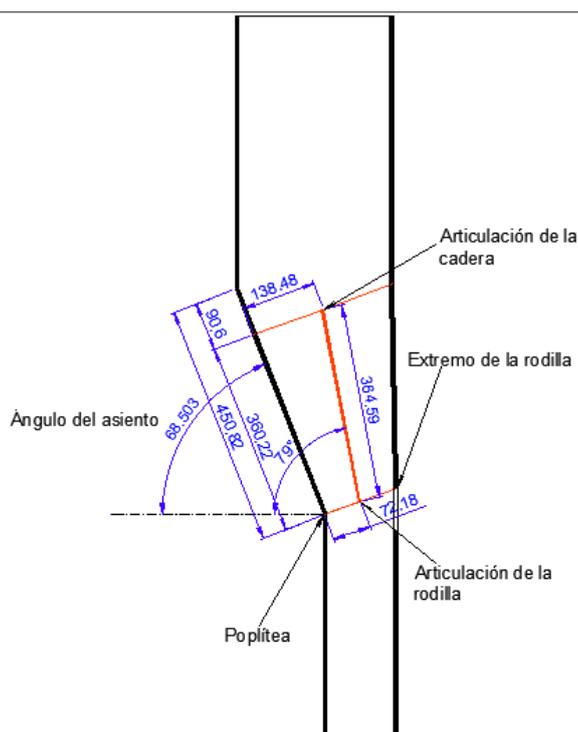


Figura 25. Dimensiones del Cuerpo Humano (Bipedestación)

Tal y como se puede visualizar en la Figura 25, se llegó a determinar una longitud glúteo poplíteo de 450.82 mm , que coincide con el valor inicial 453 mm , por tal motivo se da por válido el ángulo obtenido de 68.503° .

En la Tabla 9 se muestran las inclinaciones definitivas que adoptarán los eslabones de la máquina.

Tabla 9.

Promedio de las inclinaciones de los eslabones

Eslabón	Posición Sedente	Posición Bípeda
Espaldar	4°	—
Asiento	94°	158°
Apoya pie	20°	0°

En la Figura 26 se procede a bosquejar la posición de la máquina cuando el usuario está sentado (Sedestación).

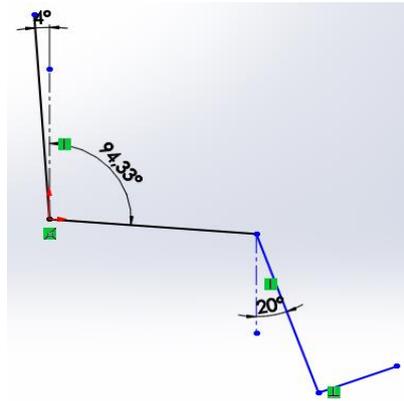


Figura 26. Inclinações de los eslabones (Sedestación)

De la misma forma, en la Figura 27 se procede a bosquejar la posición de la máquina cuando el usuario está de pie (Bipedestación).

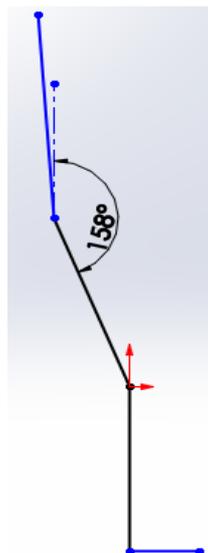


Figura 27. Inclinações de los Eslabones (Bipedestación)

4.2. Evaluación de las características de los bipedestadores

En el ítem 2.2.3, se realizó una investigación de varios bipedestadores autosustentables existentes en el mercado, donde se describió sus principales características; sin embargo dado que existen una gran variedad de éstos en diferentes marcas y con diferentes componentes, para facilitar la evaluación, se han

agrupado cada uno de éstos bipedestadores en la Tabla 10, según su mecanismo de levante y accionamiento.

Tabla 10.

Clasificación de los bipedestadores según el mecanismo de levante y accionamiento

Mecanismo de levante	Mecanismo de accionamiento	Modelo
Resorte de gas	Aumento de Palanca	Figura 2.3
	(multiplicación de fuerza)	Figura 2.7
		Figura 2.8
Gato hidráulico	Palanca	Figura 2.2
Bandas y poleas	Cadenas y catarinas	Figura 2.6
Resorte de gas	Soporte ajustable	Figura 2.4
		Figura 2.5

Una vez que se han clasificado los bipedestadores, se procede a analizar cada uno de éstos tomando en cuenta varios criterios específicos del equipo, razón por la cual se establecen varios parámetros importantes para la construcción, los cuales serán posteriormente evaluados, dichos parámetros son:

Seguridad: Como parámetro fundamental se tomará en cuenta el nivel de seguridad del mecanismo en la persona, tomando en cuenta principalmente que no haya impactos bruscos en la máquina por algún daño en alguno de sus elementos.

Costo: Uno de los parámetros fundamentales es el costo, el cual estará determinado principalmente por el tipo de mecanismo, actuador de asistencia, número de componentes y accesorios para la adaptación de dichos componentes.

En caso de los sistemas que utilizan resorte con cámara de gas, como actuador de asistencia, se requiere que estos tengan alta fuerza, pero a su vez tengan un desplazamiento considerable, lo cual les hace medianamente costosos.

En los sistemas que utilizan gato hidráulico como actuador de asistencia, este es económico, sin embargo debe tomarse en cuenta que el acople de un gato hidráulico al mecanismo de elevación y su accionamiento, hacen que el equipo sea costoso debido a mayor cantidad de componentes para los acoples.

En caso de los sistemas que utilizan cadenas y poleas debe tenerse en cuenta que tanto las cadenas, poleas y bandas son económicas, sin embargo adaptar la máquina a un sistema de bandas resulta más costoso que los sistemas mostrados anteriormente.

Operación: En este parámetro se tomará en cuenta la facilidad para manipular el equipo, dado que existen varios mecanismos de accionamiento, se evaluará cualitativamente, y según la percepción del autor, tanto la postura como el nivel de fuerza requerido.

Traslado: Pese a que no influye directamente en la función del equipo, es importante que el equipo pueda trasladarse hacia varios sitios, por lo cual a su vez tiene un poco de relación con la sencillez del modelo, sin embargo en este parámetro se busca principalmente que el equipo sea ligero.

Mantenimiento: En caso de ocurrir algún daño con el equipo, es importante que éste pueda ser reparado, para lo cual se precisa principalmente del reemplazo de componentes, estos deberán ser de fácil adquisición.

En los sistemas que utilizan resorte con cámara de gas como actuador de asistencia, debe tenerse presente que debe hacerse recargas periódicamente para que éste no pierda su fuerza, sin embargo hay intervalos de tiempo en los cuales el resorte debe ser cambiado.

En los sistemas que utilizan gato hidráulico como actuador de asistencia, debe tenerse presente el derramamiento del fluido de trabajo, el cual es necesario recargar con mucho más frecuencia que los resortes de gas, en caso de su reemplazo, debe tomarse en cuenta que al ir previamente fijado a la estructura, ya sea por medio de acoples, o soldas, el desmontaje es sumamente complicado.

En los sistemas que utilizan cadenas y poleas como medio de transferencia de movimiento y multiplicación de fuerza, debe tomarse en cuenta que las bandas deben ser cambiadas periódicamente, ya que tienden a sufrir fracturas en su operación, pese a que poseen un alto grado de durabilidad, hay que tomar en cuenta que su función es levantar la carga.

Durabilidad: Este parámetro se basa en la vida útil del equipo, en este parámetro intervienen dichos factores como el tipo de sistema y componente a utilizar.

Cuando se utiliza un resorte con cámara de gas como actuador de asistencia, al no realizar la recarga correspondiente de gas, simplemente el equipo no funcionaría, pero no habría ningún otro tipo de problema.

Al utilizar un gato hidráulico como actuador de asistencia, a más del derramamiento de fluido, se presentan impactos bruscos del actuador sobre el mecanismo, los cuales tienden a afectar el funcionamiento del equipo.

Cuando se trabaja con cadenas y poleas debe tenerse en cuenta que en caso de la rotura de una banda, el equipo puede sufrir fuertes impactos que lo deterioren.

Una vez que se han conocido los parámetros a evaluarse, es necesario asignar una ponderación a cada uno de éstos según su importancia, para lo cual se han realizado varias entrevistas a personas especializadas en fisioterapia en diferentes instituciones

de la provincia de Cotopaxi, de donde se pudo conocer su opinión, dichas entrevistas constan en el Anexo B.

De las entrevistas anteriormente realizadas, en el Anexo C se establecen las ponderaciones para cada uno de los parámetros, según la opinión de los especialistas, dicha asignación se resume en la Tabla 11.

Tabla 11.
Asignación de ponderaciones

Parámetros	Ponderación
Seguridad	2.8
Operación	2.4
Costo	1.7
Traslado	0.8
Mantenimiento	1.3
Durabilidad	1

Una vez que se tiene los puntajes de los criterios a evaluarse, en la Tabla 12 se procede a aplicar la matriz de Pugh, en donde se evalúa varios criterios en función de los parámetros anteriormente seleccionados, en la evaluación se tiene que:

- 1 corresponde a que si cumple el parámetro de la mejor forma.
- 0 corresponde a que medianamente cumple el parámetro
- -1 corresponde a que el parámetro no se cumple, o en caso de llegar a cumplirse, no es muy convincente.

(Instituto de Biomecánica de Valencia, 2001)

Tabla 12.
Evaluación de los tipos de bipedestadores

Parámetros	Tipos de bipedestador autosustentable			
	Mecanismo por aumento de palanca	Mecanismo por gato hidráulico	Mecanismo por poleas y bandas	Mecanismo por Soporte ajustable
Seguridad (2.8)	1	0	1	1
Operación (2.4)	0	1	1	-1
Costo (1.7)	1	0	0	1
Traslado (0.8)	1	-1	1	1
Mantenimiento (1.3)	1	-1	0	1
Durabilidad (1)	1	-1	0	1
Total Positivos	7.6	2.4	6	7.6
Total Negativos	0	-3.1	0	-2.4
Total neutros	0	0	0	0
Total	7.6	-0.7	6	5.2

De los resultados arrojados en la Tabla 12, se identifica que el mejor modelo en cuanto a los criterios evaluados, es el mecanismo por aumento de palanca asistido por resorte de gas, el cual será realizado en este proyecto.

CAPÍTULO V

PROPUESTA

5.1. Generalidades

5.1.1. Antecedentes de la propuesta

Tras las evaluaciones realizadas en el ítem 4.2, se determinó que el mejor modelo de bipedestador autosustentable es el mecanismo por reducción de palanca asistido por resorte con cámara de gas, dado que es un mecanismo seguro, poco costoso, de fácil operación, traslado y mantenimiento.

5.1.2. Justificación de la propuesta

La presente propuesta busca que la persona parapléjica pueda adoptar una postura bípeda, así como también puedan realizar desplazamientos hacia diferentes lugares de manera autónoma.

La operación del equipo se realizará de forma mecánica, utilizando accionamientos, bloqueos y desplazamientos, sin depender de ningún tipo de energía, ni la ayuda de una persona adicional, lo que ayudará a las personas a realizar sus actividades cotidianas.

5.1.2. Objetivos de la propuesta

- Diseñar y construir un bipedestador autosustentable para el desplazamiento autónomo de personas con paraplejia.
- Comprobar el funcionamiento de los sistemas del equipo mediante pruebas de funcionamiento en personas con paraplejia.

5.2. Diseño de la propuesta

5.2.1. Síntesis del mecanismo por aumento de palanca

Anteriormente, en los apartados 4.1.1 y 4.1.2 se obtuvieron las medidas e inclinaciones definitivas de los eslabonamientos, razón por la cual se realizará una breve síntesis del mecanismo por aumento de palanca, además en el apartado 2.2.7.3 se obtuvieron las medidas correspondientes a una silla de ruedas estándar.

En la Figura 28, se puede visualizar de mejor manera el mecanismo por aumento de palanca asistido por resorte con cámara de gas, donde se explica cada una de las partes que lo constituyen.

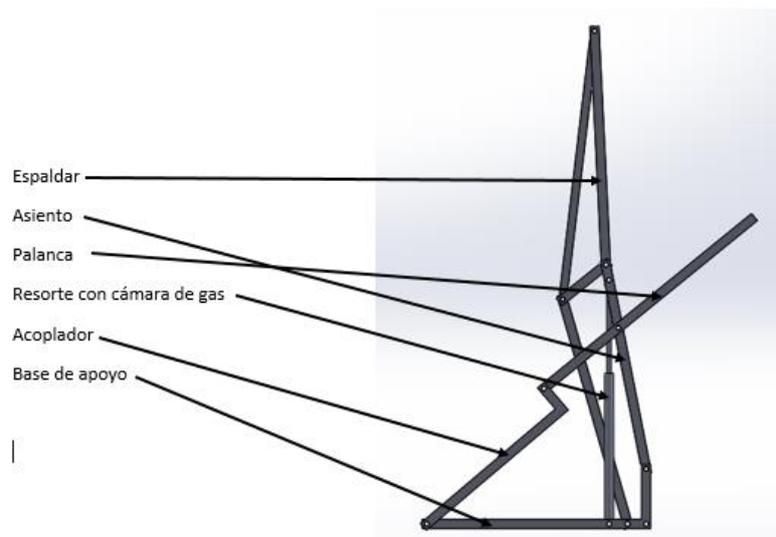


Figura 28. Bosquejo General del Mecanismo

Para la sintetización de dicho mecanismo se procede a identificar los puntos de pivote, los eslabones que cumplen las funciones anteriormente descritas, y las posiciones determinadas en el Apartado 4.1.2, donde principalmente se destaca el ángulo del asiento, el cual varía entre ($176^\circ - 112^\circ$).

En la Figuras 29 y 30, se muestra el mecanismo principal (elevación y accionamiento) en las posiciones inicial (Sedestación) y final (Bipedestación), sintetizados en un eslabonamiento de 4 barras.

Posición inicial:

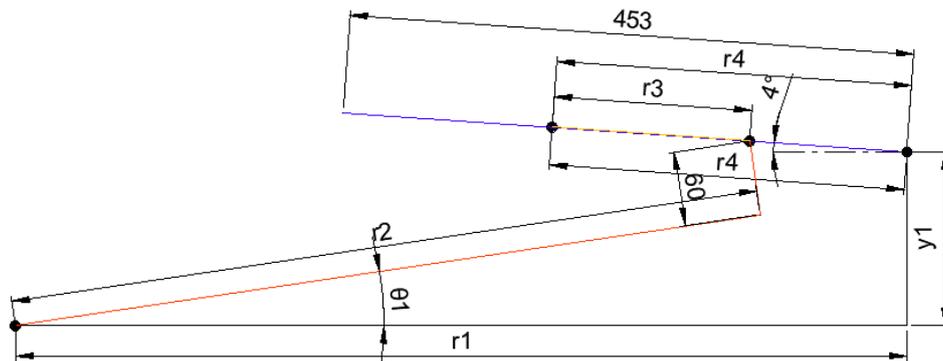


Figura 29. Inclinações de los eslabones (Sedestación)

Posición Final

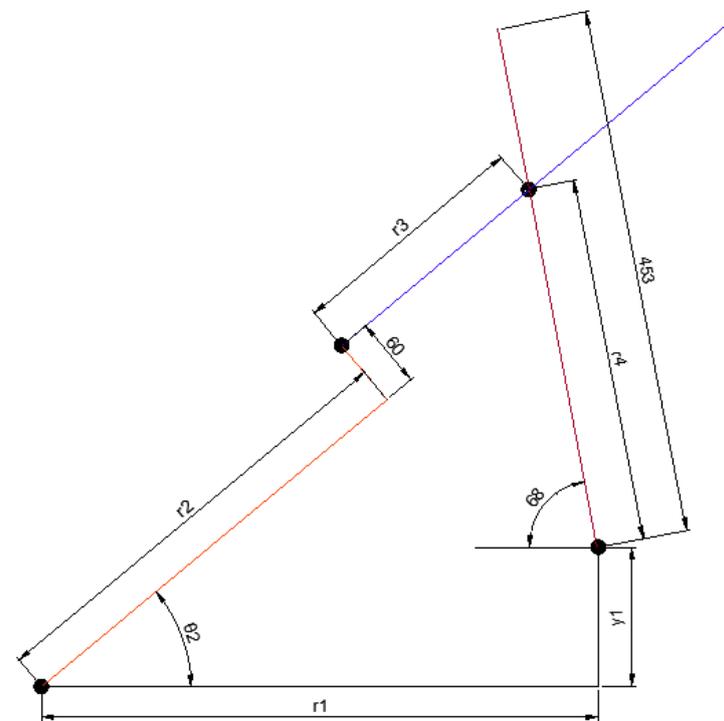


Figura 30. Inclinações de los eslabones (Bipedestación)

De las Figuras 29 y 30, debe tomarse en cuenta los valores de y_1 , r_4 , θ_2 y θ_3 anteponiendo los siguientes criterios:

- La dimensión y_1 comprende la longitud entre el punto de pivote del asiento, y la bancada principal. Del apartado 2.2.7.3, se extrae que se tiene una altura de 460 – 485 mm desde el piso hasta el punto de pivote del asiento, hay que considerar dejar espacio para el apoyapiés y las llantas delanteras, por lo que se procederá a evaluar y_1 en un intervalo entre 130 – 150 mm, en recorridos de 5 mm.
- La longitud r_4 (distancia entre el punto de pivote y la palanca), debe ser mayor a la mitad de la longitud del asiento (226.5 mm), sin embargo hay que considerar los puntos de pivote y componentes adicionales, por tal motivo se considera una longitud máxima de 351.4 mm, por lo que la evaluación se realizará en recorridos de 12.49 mm.
- El ángulo θ_2 debe ser mayor o igual 30°, considerando que debe ser adecuado para que la persona pueda alcanzar la palanca para posteriormente realizar la sedestación, por tal razón se realizará un análisis para θ_2 en un rango de [30° – 40°] en recorridos de 2°.
- La dimensión total de una silla de ruedas en vista lateral, debe ser máximo de 122 cm entre ruedas delanteras y traseras, por lo que en este caso, r_1 deberá comprender una distancia cercana a 700 mm, considerando un rango validado entre (680 mm – 720 mm)

Posteriormente se plantean las ecuaciones vectoriales para la posición de bipedestación mostrado en la Figura 30.

En el eje x:

$$(r_3 + r_2) * \cos \theta_2 - 60 * \sin \theta_2 + r_4 * \cos 68 = r_1 \quad (\text{Ec.1})$$

En el eje y:

$$(r_2 + r_3) * \sin \theta_2 + 60 * \cos \theta_2 = r_4 * \sin 68 + y_1 \quad (\text{Ec.2})$$

De la misma forma se extraen las ecuaciones vectoriales correspondientes a la posición de sedestación mostrado en la Figura 29.

En el eje x:

$$r_2 * \cos \theta_1 - 60 * \sin \theta_1 + (r_4 - r_3) * \cos 4 = r_1 \quad (\text{Ec.3})$$

En el eje y:

$$y_1 = r_2 * \sin \theta_1 + 60 * \cos \theta_1 - (r_4 - r_3) * \sin 4 \quad (\text{Ec.4})$$

Como se puede identificar, se tiene las siguientes incógnitas: r_1 , r_2 , r_3 y θ_1 , y los parámetros conocidos, los cuales debe evaluarse en los intervalos descritos anteriormente.

En el Anexo D, se muestra la resolución de las ecuaciones 1 y 2, para obtener los valores de r_1 y $r_2 + r_3$, donde se han resaltado los valores de r_1 que cumplen la condición propuesta anteriormente, los cuales se procederán a reemplazar en las ecuaciones 3 y 4, conjuntamente con los valores de $r_2 + r_3$, y_1 y r_4 , obteniéndose en la Tabla 13 los resultados para r_2 , r_3 y θ_1 .

Tabla 13.
Resultados de las Ecuaciones 3 y 4

y1	r4	r1	r2+r3	r2	r3	θ1
150	276,46	687,3465	708,7355	569,4855	139,25	10,181
135	288,95	686,1014	701,8955	557,3455	144,55	8,846
140	288,95	694,7616	711,8955	567,4705	144,425	9,22
145	288,95	703,4218	721,8955	577,1855	144,71	9,56
150	288,95	712,0821	731,8955	587,1705	144,725	9,904
130	301,44	702,1771	715,0555	564,2055	150,85	8,24

CONTINÚA



135	301,44	710,8374	725,0555	573,7555	151,3	8,61
140	301,44	719,4976	735,0555	583,5855	151,47	8,98
150	301,44	687,0315	714,4677	558,0927	156,375	9,503
135	313,93	686,2369	708,0138	547,5638	160,45	8,641
140	313,93	694,2387	717,4493	556,3893	161,06	8,94
145	313,93	702,2404	726,8848	565,7048	161,18	9,12
150	313,93	710,2422	736,3203	574,7803	161,54	9,35
130	326,42	701,4472	720,4309	554,8009	165,63	8,15
135	326,42	709,449	729,8664	563,8564	166,01	8,49
140	326,42	717,4508	739,3019	572,8519	166,45	8,704
150	326,42	686,0791	720,5286	553,7286	166,8	9,03
135	338,91	685,6916	714,4161	542,7261	171,69	8,55
140	338,91	693,1046	723,3577	551,3077	172,05	8,82
145	338,91	700,5176	732,2993	559,9893	172,31	9,19
150	338,91	707,93	741,24	568,64	172,6	9,56
130	351,40	700,1241	726,1797	550,2597	175,92	8,37
135	351,40	707,5371	735,1213	559,0913	176,03	8,616
140	351,40	714,95	744,063	566,483	177,58	8,854
150	351,40	684,4811	726,93	548,29	178,64	9,052

Posteriormente, se procede a seleccionar cuál es la mejor distribución de eslabonamientos, para lo cual se utiliza el método de la palanca mostrado en la Figura 31, donde W representa el peso de la persona, mientras que F_1 representa la fuerza ejercida en el punto de unión palanca- asiento, y F_2 , representa la Fuerza que debe ejercerse a una distancia aleatoria del punto de pivote de la palanca (B)

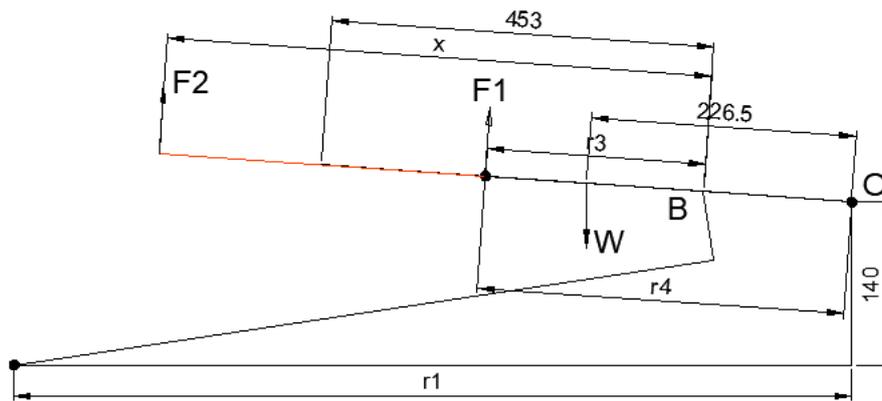


Figura 31. Esquema tentativo de fuerzas

Se procede a determinar la sumatoria de momentos en O (punto de pivote del asiento).

$$\sum MO = 0$$

$$W * \cos 4 * 226.5 = F_1 * r_4$$

$$F_1 = \frac{W * \cos 4 * 226.5}{r_4} \quad (\text{Ec. 5})$$

Del mismo modo, aplicando sumatoria de momentos en B (punto de pivote de la palanca), se tiene:

$$\sum MB = 0$$

$$F_2 * x = F_1 * r_3 \quad (\text{Ec. 6})$$

Reemplazando la ecuación 5 en la ecuación 6, se tiene:

$$F_2 = \frac{225.95 * W * r_3}{x * r_4} \quad (\text{Ec. 7})$$

Para determinar cuál es la mejor alternativa de multiplicación de fuerza, debe considerarse que el valor de F_2 debe ser lo menor posible. En la Tabla 14, se procede a realizar la evaluación para cada una de las alternativas, donde se resalta el menor valor para F_2 , siendo dicha disposición de eslabonamientos:

$$r_1 = 694.7616 \text{ mm}$$

$$r_2 = 567.4705 \text{ mm}$$

$$r_3 = 144.425 \text{ mm}$$

$$r_4 = 288.95 \text{ mm}$$

$$y_1 = 140 \text{ mm}$$

$$\theta_1 = 9.22^\circ$$

Tabla 14.

Evaluación del aumento de palanca para cada alternativa

r4	r3	F2 (N)
276,46	139,25	113,33014
288,95	144,55	112,5584
288,95	144,425	112,46107
288,95	144,71	112,68299
288,95	144,725	112,69467
301,44	150,85	112,59703
301,44	151,3	112,93292
301,44	151,47	113,05981
301,44	156,375	116,72099
313,93	160,45	114,99777
313,93	161,06	115,43497
313,93	161,18	115,52098
313,93	161,54	115,779
326,42	165,63	114,1681
326,42	166,01	114,43003
326,42	166,45	114,73332
326,42	166,8	114,97457
338,91	171,69	113,9838
338,91	172,05	114,2228
338,91	172,31	114,39541
338,91	172,6	114,58794
351,40	175,92	112,64087
351,40	176,03	112,7113
351,40	177,58	113,70376
351,40	178,64	114,38247

En la transición sit to stand, existe movimiento en el apoya pies, pero el espaldar de preferencia debe quedar en la misma inclinación, de forma que se utiliza un eslabón auxiliar (r_6), el cual se muestra de mejor forma en la Figura 32 y la Figura 33, en las posiciones de sedestación y bipedestación respectivamente, dicho eslabón servirá para transferir el movimiento generado sobre el asiento, hacia el espaldar y el apoyapiés, de forma que se debe tratar de cumplir las posiciones identificadas en el Apartado 4.1.2.

Debe considerarse que la medida del asiento debe ser 453 mm , sin embargo dado que va articulado al espaldar, se agranda esta longitud en 25.4 mm , de forma que la longitud del asiento no sea reducida.

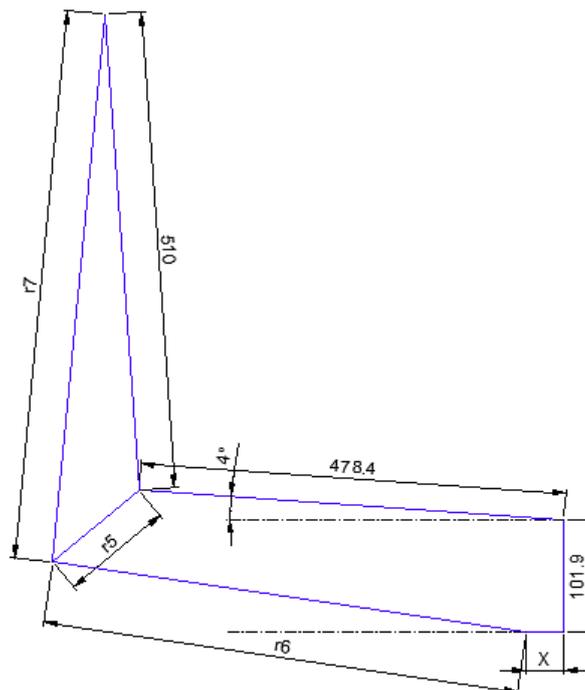


Figura 32. Esquema de acople entre el asiento y espaldar (Sedestación)

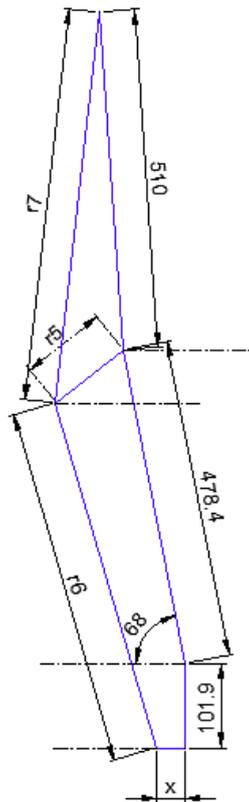


Figura 33. Esquema de acople entre el asiento y espaldar (Bipedestación)

Para la síntesis primero se tomará en cuenta el lazo formado por el asiento, el eslabón auxiliar, y el apoyo, el cual de la misma forma se representa por un eslabonamiento de 4 barras en la Figura 34.

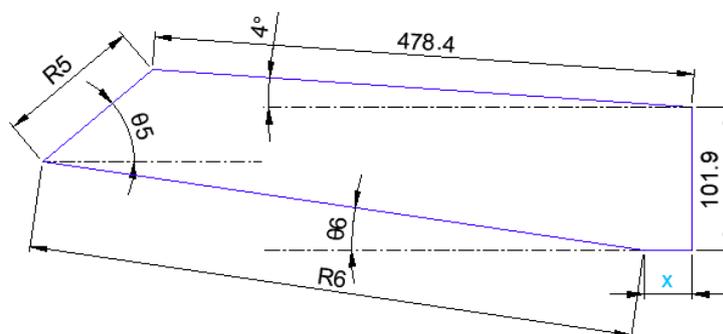


Figura 34. Representación del lazo formado por el asiento, eslabón auxiliar y apoyo (Sedestación)

Se proceden a obtener las ecuaciones vectoriales:

En el eje y:

$$r_6 * \sin \theta_6 + r_5 * \sin \theta_5 - 478.4 * \sin 4 = 101.9$$

En el eje x:

$$x + r_6 * \cos \theta_6 = r_5 * \cos \theta_5 + 478.4 * \cos 4$$

A su vez debe tomarse en cuenta los valores de θ_5 , r_3 y x , anteponiendo los siguientes criterios:

El valor de x es una compensación de distancia, el cual sirve para que los desplazamientos angulares de se realicen de una forma correcta, a esta distancia se le asina un rango entre $30 - 50 \text{ mm}$.

El valor de r_5 , debe ser lo más parecido posible a la dimensión h_1 calculada anteriormente, la cual es 140 mm , sin embargo hay que considerar que la articulación de realiza en una platina cuyo centro se ubica a 38.1 mm de la bancada, por lo que se tiene 101.9 mm , tomando para r_5 un valor de 110 mm .

Por otro lado se buscará que al momento de calcular los ángulos, θ_5 y θ_7 , no exista una variación significativa entre ellos, por lo que se realizará una evaluación para θ_5 entre $40^\circ - 50^\circ$.

Reemplazando dichos valores se tiene:

$$r_6 * \sin \theta_6 + 110 * \sin \theta_5 = 135.2715 \quad (\text{Ec.8})$$

$$x + r_6 * \cos \theta_6 = 110 * \cos \theta_5 + 477.2346 \quad (\text{Ec.9})$$

Éstas ecuaciones serán evaluadas en un rango para x de $(30 - 50 \text{ mm})$, en recorridos de 5 mm , mientras que para θ_5 ($40^\circ - 50^\circ$) en recorridos de 5° , dichos resultados se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15.
Resultados para las variaciones de x y θ_5

x=30		
θ_5	r6	θ_6
40	535,407	6,9261
45	528,154	6,2489
50	520,447	5,6247
x=35		
θ_5	r6	θ_6
40	530,444	6,99
45	523,184	6,308
50	515,47	5,679
x=40		
θ_5	r6	θ_6
40	525,4815	7,0576
45	518,215	6,37
50	510,495	5,7347
x=45		
θ_5	r6	θ_6
40	520,52	7,121
45	513,246	6,431
50	505,52	5,7913
x=50		
θ_5	r6	θ_6
40	515,558	7,1942
45	508,278	6,494
50	500,546	5,85

Lo siguiente que debe realizarse es obtener las ecuaciones en la posición de bipedestación, Figura 35, la cual también servirá para determinar los desplazamientos angulares de los eslabones.

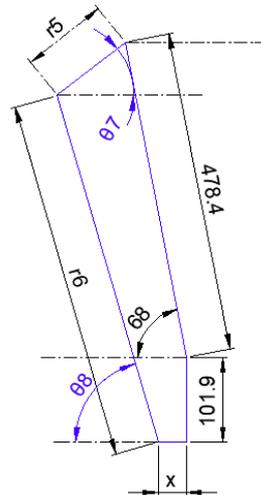


Figura 35. Representación del laso formado por el asiento, eslabón auxiliar y apoyo (Bipedestación)

Una vez que se tiene en cuenta cuales deben ser los desplazamientos finales, se procede a plantear las siguientes ecuaciones vectoriales.

En el eje y:

$$r_6 * \sin \theta_8 + r_5 * \sin \theta_7 - 478.4 * \sin 68 = 101.9 \quad (\text{Ec. 10})$$

En el eje x:

$$x + r_6 * \cos \theta_8 = r_5 * \cos \theta_7 + 478.4 * \cos 68 \quad (\text{Ec. 11})$$

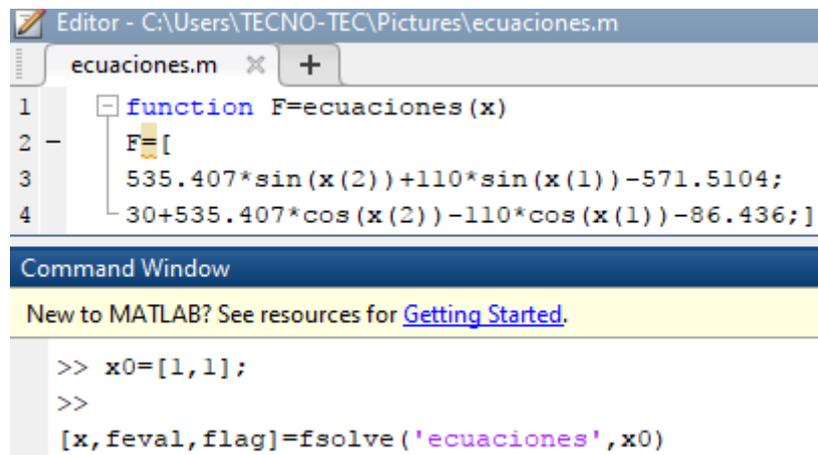
Dado a que anteriormente se obtuvo varios valores para r_6 , se procede a reemplazarlos en las ecuaciones 10 y 11 para calcular los ángulos θ_7 y θ_8 .

Reemplazando valores conocidos, y despejando las variables, se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$r_6 * \sin \theta_8 + 110 * \sin \theta_7 - 545.465 = 0 \quad (\text{Ec. 12})$$

$$x + r_6 * \cos \theta_8 - 110 * \cos \theta_7 - 179.212 = 0 \quad (\text{Ec. 13})$$

En la Figura 36, se muestra las ecuaciones 12 y 13 planteadas en el software, considerando los valores para $x = 30 \text{ mm}$ y $r_6 = 535.407$, las variables x_1 , x_2 corresponden a θ_7 y θ_8 respectivamente.



```

Editor - C:\Users\TECNO-TEC\Pictures\ecuaciones.m
ecuaciones.m x +
1 function F=ecuaciones(x)
2 F=[
3 535.407*sin(x(2))+110*sin(x(1))-571.5104;
4 30+535.407*cos(x(2))-110*cos(x(1))-86.436;]

Command Window
New to MATLAB? See resources for Getting Started.

>> x0=[1,1];
>>
[x,feval,flag]=fsolve('ecuaciones',x0)
  
```

Figura 36. Programación en Matlab correspondiente a las Ecuaciones 12 y 13

En la Tabla 16, se tiene los resultados de las Ecuaciones 12 y 13, donde la mejor alternativa presenta los siguientes valores: $r_6 = 513.426 \text{ mm}$ $\theta_7 = 45.132^\circ$ y $\theta_8 = 65.626^\circ$, para los parámetros: $\theta_5 = 45^\circ$ y $x = 45 \text{ mm}$, cumpliéndose la condición $\theta_5 = \theta_7$.

Tabla 16.

Resultados de las Ecuaciones 12 y 13

x=30				
θ5	r6	θ6	θ7	θ8
40	535,407	6,9261	31,5699007	73,710848
45	528,154	6,2489	35,5290298	73,9572193
50	520,447	5,6247	39,854851	74,2952636
x=35				
θ5	r6	θ6	θ7	θ8
40	530,444	6,99	33,5179526	74,3468296
45	523,184	6,308	37,5458365	74,6333079

CONTINÚA



50	515,47	5,679	41,9633308	75,0229183
x=40				
05	r6	06	07	08
40	525,4815	7,0576	35,5290298	75,0057296
45	518,215	6,37	39,631398	75,3380443
50	510,495	5,7347	44,1634836	75,7849503
x=45				
05	r6	06	07	08
40	520,52	7,121	37,6031322	75,6990069
45	513,246	6,431	41,8086325	76,0828877
50	505,52	5,7913	46,4782277	76,5985485
x=50				
05	r6	06	07	08
40	515,558	7,1942	39,7574484	75,9682964
45	508,278	6,494	44,0775401	76,867838
50	500,546	5,85	48,9190222	77,4522536

En la Figura 37, se puede apreciar el acople de los eslabones determinados anteriormente, al espaldar, cuya medida se ha tomado de 510 *mm*, y a su vez se utilizó la estructura de sólido rígido representado por un triángulo.

El desplazamiento angular del espaldar estará determinado por el movimiento del ángulo θ_7 obtenido anteriormente, que varía desde: $45^\circ - 45.132^\circ$, siendo una variación pequeña, se procede a validar dichos valores para los posteriores cálculos.

Es de gran importancia determinar tanto: r_7 y θ_9 , los cuales representan la medida del eslabón de acople y el ángulo de desplazamiento final del espaldar, θ_9 debe tener una ligera variación respecto a 94° , pero debe ser mayor a 90° , caso contrario se tendrá una inclinación inadecuada del espaldar respecto al usuario, lo que causará incomodidades.

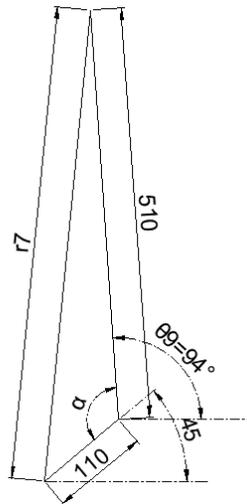


Figura 37. Representación del sólido rígido del espaldar (Sedestación)

Primero se debe encontrar el valor de α que está formado por la suma del suplemento de θ_9 , y el ángulo alterno interno de 45° , teniendo:

$$\alpha = 45^\circ + 180^\circ - 94^\circ = 131^\circ$$

La longitud del eslabón r_7 se obtiene de la siguiente forma:

$$r_7^2 = 510^2 + 110^2 - 2 * 510 * 110 * \cos 131$$

$$r_7 = 588.056 \text{ mm}$$

En la Figura 38, se ha bosquejado el sólido rígido en su posición final, donde anteriormente calculados α y r_7 , se procede a buscar el ángulo θ_{10} .

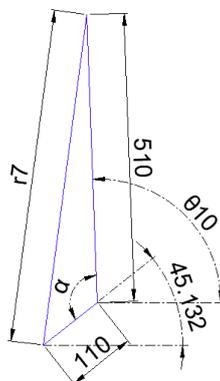


Figura 38. Representación del sólido rígido del espaldar (Bipedestación)

El ángulo θ_{10} , puede encontrarse utilizando la misma ecuación que se utilizó para hallar α , ya que como se indicó antes al ser un sólido rígido, no existe desplazamientos angulares entre eslabones.

$$\alpha = 45.132^\circ + 180^\circ - \theta_{10}$$

$$131^\circ = 225.757^\circ - \theta_{10}$$

$$\theta_{10} = 94.757^\circ$$

Una vez que se ha determinado los lasos correspondientes al accionamiento, asiento y espaldar, se procede a determinar la síntesis para el apoyapiés, el cual como se había indicado anteriormente en la posición de sedestación tiene inclinación de 20° para dar mayor comodidad al usuario, y en la posición de bipedestación éste debe ser totalmente vertical, razón por la cual se utiliza el mismo eslabón auxiliar (r_6) para transferir el movimiento al apoyapiés de forma que se alcancen las posiciones anteriormente explicadas, las cuales se encuentran en las Figura 39 y 40.

En la Figura 39, se identifica un eslabonamiento de 4 barras correspondiente al apoyapié de la persona, teniendo como referencia $\theta_6 = 6.431^\circ$ en la posición de sedestación.

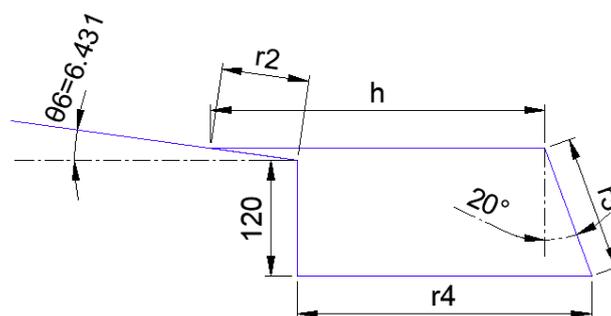


Figura 39. Representación del sólido rígido del espaldar (Bipedestación)

Para obtener las dimensiones correspondientes a los parámetros: h, r_2, r_3 y r_4 , se determinan las ecuaciones vectoriales siendo:

En el eje x:

$$r_2 * \cos \theta_6 + r_4 = h + r_3 * \sin 20$$

En el eje y:

$$120 + r_2 * \sin \theta_6 = r_3 * \cos 20$$

De la misma forma, en la Figura 40, se identifica el mismo eslabonamiento de 4 barras, teniendo como referencia $\theta_6 = 65.626^\circ$ en la posición de bipedestación.

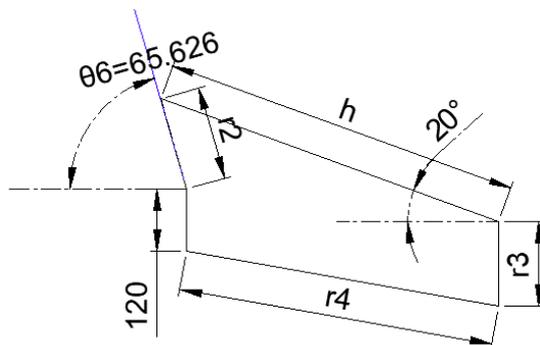


Figura 40. Representación del sólido rígido del espaldar (Bipedestación)

Las ecuaciones vectoriales son:

En el eje x:

$$h * \cos 20 = r_2 * \cos \theta_6 + r_4 * \cos \theta_4$$

En el eje y:

$$r_4 * \sin \theta_4 + 120 + r_2 * \sin \theta_6 = h * \sin 20 + r_3$$

Reemplazando los datos conocidos, se tiene el siguiente sistema de ecuaciones:

$$120 + 0.112 * r_2 = 0.94 * r_3 \quad (\text{Ec.14})$$

$$0.9937 * r_2 + r_4 = h + r_3 * 0.342 \quad (\text{Ec.15})$$

$$0.087156 * r_4 + 120 + 0.91087 * r_2 = 0.342 * h + r_3 \quad (\text{Ec.16})$$

$$0.94 * h = 0.4127 * r_2 + 0.9962 * r_4 \quad (\text{Ec.17})$$

De la resolución de las ecuaciones 14, 15, 16 y 17, se tienen los siguientes resultados:

$$h = 296.6484 \text{ mm}$$

$$r_2 = 112.117 \text{ mm}$$

$$r_3 = 141.018 \text{ mm}$$

$$r_4 = 233.4660 \text{ mm}$$

De la Figura 41, se obtienen las siguientes ecuaciones vectoriales:

En el laso conformado por el eslabón de acople, r_4 , y el asiento:

$$101.9 + 350 * \sin 68 - x * \sin 65.626 = r_{4y} \quad (\text{Ec.18})$$

$$45 + x * \cos 65.626 - 350 * \cos 68 = r_{4x} \quad (\text{Ec.19})$$

En el laso correspondiente a la montura se tiene:

$$r_{4x} = r_3 * \cos \theta_3 - 220 \quad (\text{Ec.20})$$

$$r_{4y} = r_3 * \sin \theta_3 \quad (\text{Ec.21})$$

Reemplazando la ecuación 18 en la ecuación 21, y la ecuación 19 en la ecuación 20, reemplazando los datos conocidos, y simplificando. Se tiene:

$$426.414 - 0.911 * x = r_3 * \sin \theta_3 \quad (\text{Ec.22})$$

$$133.887 + 0.4127 * x = r_3 * \cos \theta_3 \quad (\text{Ec.23})$$

De la misma forma, en la Figura 42, se tiene el esquema de la montura para la posición de sedestación, considerando que la posición del asiento de la montura, se encuentra a la misma inclinación que el asiento de la máquina.

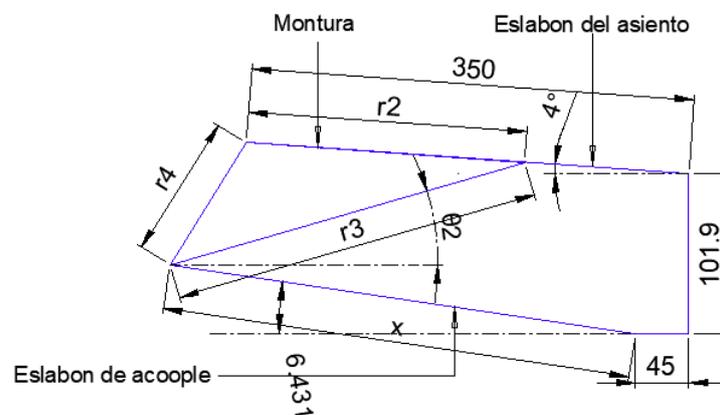


Figura 42. Representación del sólido rígido del espaldar (Sedestación)

De la Figura 42, se obtienen las siguientes ecuaciones vectoriales:

En el laso conformado por el eslabón de acople, r_4 , y asiento:

$$101.9 + 350 * \sin 4 - x * \sin 6.431 = r_{4y} \quad (\text{Ec.24})$$

$$45 + x * \cos 6.431 - 350 * \cos 4 = r_{4x} \quad (\text{Ec.25})$$

En el laso correspondiente a la montura se tiene:

$$r_{4x} = r_3 * \cos \theta_2 - r_2 * \cos 4 \quad (\text{Ec.26})$$

$$r_{4y} = r_3 * \sin \theta_2 + r_2 * \sin 4 \quad (\text{Ec.27})$$

Reemplazando la ecuación 24 en la ecuación 27, y la ecuación 25 en la ecuación 26, reemplazando los datos conocidos, y simplificando. Se tiene:

$$110.96 - 0.112 * x = r_3 * \sin \theta_2 \quad (\text{Ec.28})$$

$$0.9937 * x - 84.683 = r_3 * \cos \theta_3 \quad (\text{Ec.29})$$

Resolviendo el sistema conformado por las ecuaciones 22, 23, 28 y 29, se obtiene los siguientes resultados para las medidas de los eslabones faltantes:

$$r_3 = 301.665 \text{ mm}$$

$$x = 380.911 \text{ mm}$$

Con lo cual se da por finalizado la síntesis de todo el mecanismo de bipedestación.

5.2.2. Modelamiento matemático del mecanismo por reducción de palanca

Con las medidas anteriormente obtenidas, y considerando para este análisis el mecanismo principal de 4 barras mostrado en las Figuras 29 y 30, se procede a realizar el modelamiento con la ayuda de un software matemático, donde para obtener las ecuaciones que rigen el mecanismo, en la Figura 43, se procede a realizar un bosquejo para entender la estructura de mejor forma.

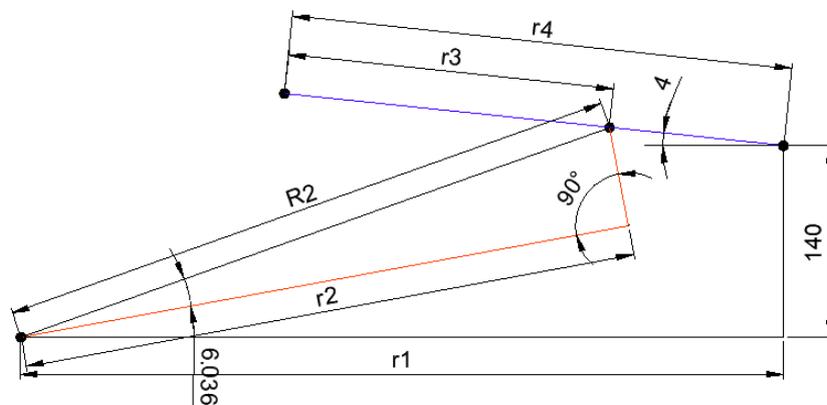


Figura 43. Esquema correspondiente al eslabonamiento de 4 barras para el análisis

Con dichos valores calculados, el nuevo esquema se sintetiza en la Figura 45.

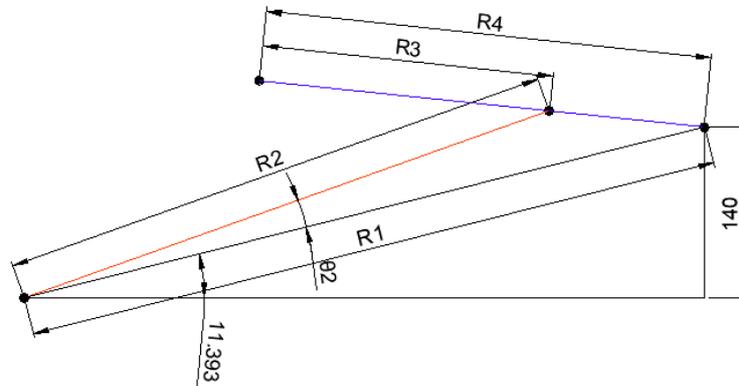


Figura 45. Nuevo esquema sintetizado

La bancada está respecto a una pendiente cuyo ángulo se toma en cuenta como referencia para las posiciones del resto de los eslabones, tal y como se muestra en las Figuras 46 y 47.

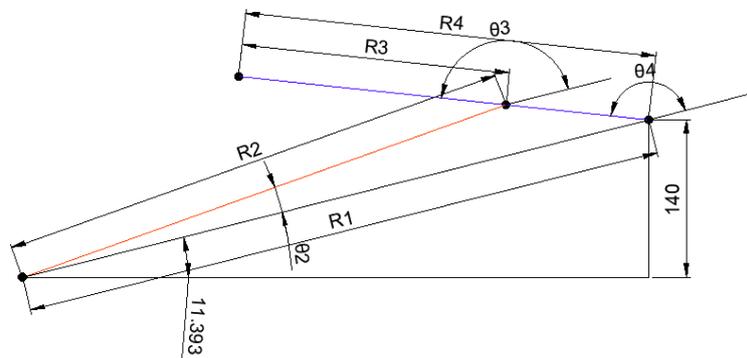


Figura 46. Esquema sintetizado con referencia a θ_1 (Sedestación)

De la Figura 46, se puede decir que se tomará el ángulo de referencia de 11.393° anteriormente calculado, para lo cual se tiene una posición inicial para θ_2 de:

$$\theta_2 = 6.036^\circ + 9.22^\circ - 11.393^\circ = 3.86^\circ$$

Mientras que para la Figura 47, se tiene un θ_2 de:

$$\theta_2 = 6.036^\circ + 30^\circ - 11.393^\circ = 24.643^\circ$$

Por lo que se concluye que para la resolución del mecanismo, se tomará valores para θ_2 desde $3.863^\circ - 24.643^\circ$, en recorridos de 2.078° .

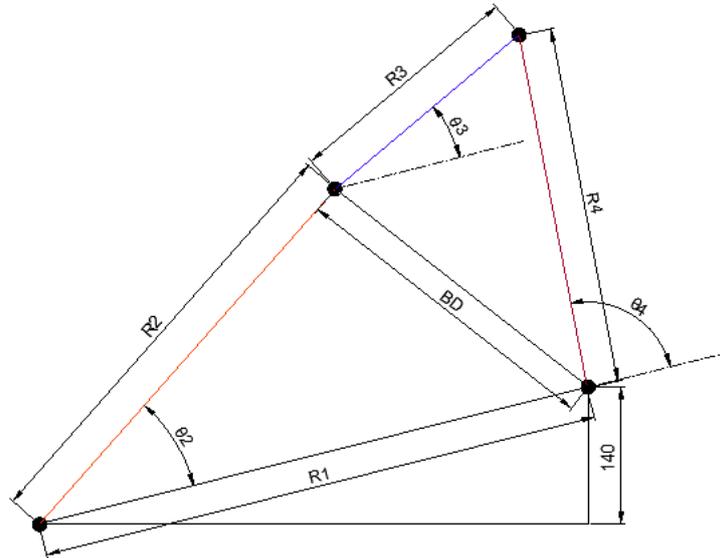


Figura 47. Esquema sintetizado con referencia a θ_1 (Bipedestación)

Una vez identificados los valores para el análisis, se procede a obtener las ecuaciones que rigen el mecanismo. Para una mayor facilidad de identificación de eslabonamientos y ángulos, se utilizará la posición final únicamente para la obtención de los nuevos parámetros.

Tal y como se indica en la Figura 48, lo primero que se hace es asignar una letra a cada punto, posteriormente se une el punto B, con el punto D, formando el segmento BD, dicho segmento divide el sistema en 2 triángulos, los cuales pueden resolverse aplicando la Ley de Cosenos, donde al analizar el Triángulo inferior, el ángulo opuesto a este segmento es θ_2 , mientras que al analizar el Triángulo Superior, el ángulo opuesto a este segmento es x .

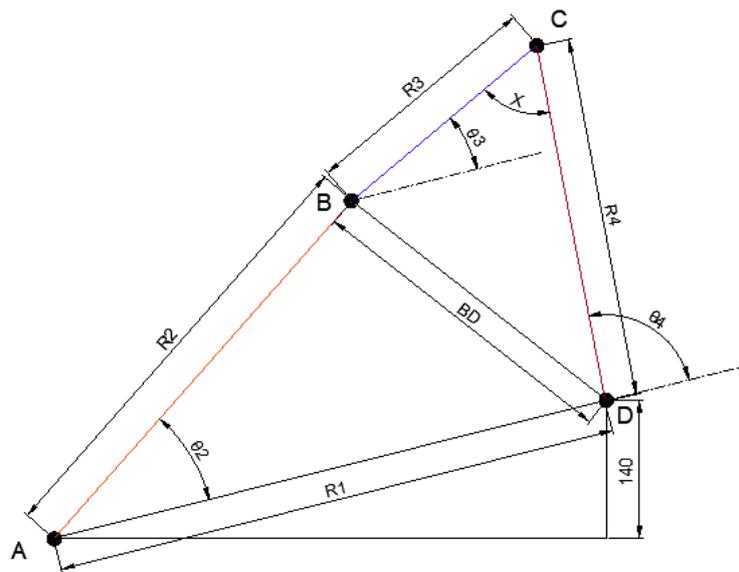


Figura 48. Identificación de parámetros del mecanismo de 4 barras

Lo siguiente que se realiza es extraer las ecuaciones que rigen el mecanismo de 4 barras: (Mizhka, 2005)

$$BD = \sqrt{R_1^2 + R_2^2 - 2 * R_1 * R_2 * \cos \theta_2}$$

$$X = \cos^{-1}\left(\frac{R_3^2 + R_4^2 - BD^2}{2 * R_3 * R_4}\right)$$

Con dichos parámetros pueden obtenerse las posiciones tanto para θ_3 como para θ_4 .

$$\theta_3 = 2 * \tan^{-1}\left(\frac{-R_2 * \sin \theta_2 + R_4 * \sin x}{R_1 + R_3 - R_2 * \cos \theta_2 + R_4 * \sin x}\right)$$

$$\theta_4 = 2 * \tan^{-1}\left(\frac{R_2 * \sin \theta_2 - R_3 * \sin x}{-R_1 + R_4 + R_2 * \cos \theta_2 - R_3 * \sin x}\right)$$

Aplicando dichas ecuaciones en el software Matemático, tal y como se muestra en la Figura 49, se tiene:

Análisis Mecanismo de 4 barras.

```

In[79]:=
r1 = 708.7268;
r2 = 570.633;
r3 = 144.425;
r4 = 288.95;
θ2 = (Range[3.863 * π / 180, 24.643 * π / 180, 2.078 * π / 180]) // N
      |rango                                     |v
BD = √(r12 + r22 - 2 * r1 * r2 * Cos[θ2])

Out[83]= {0.0674221, 0.10369, 0.139958, 0.176226, 0.212494, 0.248762, 0.28503, 0.321298, 0.357566, 0.393834, 0.430101}
Out[84]= {144.595, 153.017, 164.253, 177.755, 193.035, 209.685, 227.385, 245.889, 265.006, 284.59, 304.527}

In[85]:= x = ArcCos[ $\frac{r3^2 + r4^2 - BD^2}{2 * r3 * r4}$ ]
      |arco coseno
      |
θ3 = 2 ArcTan[ $\frac{-r2 * Sin[θ2] + r4 * Sin[x]}{r1 + r3 - r2 * Cos[θ2] - r4 * Cos[x]}$ ]
      |arco tangente
θ4 = 2 ArcTan[ $\frac{r2 * Sin[θ2] - r3 * Sin[x]}{r1 + r4 + r2 * Cos[θ2] - r3 * Cos[x]}$ ]
      |arco tangente

Export["modelamiento_dos_.xlsx", {θ2, θ3, θ4}]
      |exporta
Dictionary[]

Out[85]= {0.0219607, 0.246688, 0.384419, 0.512165, 0.637131, 0.761985, 0.888244, 1.01708, 1.14962, 1.28713, 1.43119}
Out[86]= {2.82859, 2.26605, 1.91518, 1.62213, 1.37006, 1.14985, 0.95464, 0.778852, 0.617838, 0.46764, 0.324733}
Out[87]= {2.85055, 2.51274, 2.2996, 2.1343, 2.00719, 1.91183, 1.84288, 1.79593, 1.76746, 1.75477, 1.75593}

```

Figura 49. Modelamiento Matemático en Software

Se obtiene la compilación de estos resultados en la Tabla 17.

Tabla 17.
Resultados del mecanismo de 4 barras

θ2	θ3	θ4	θ2'	θ3'	θ4'
0,06742207	2,828585	2,85054608	3,86299097	162,065626	163,323878
0,10369001	2,266051	2,51273916	5,94098611	129,834849	143,969012
0,13995795	1,915178	2,29959674	8,01898125	109,731366	131,75688
0,17622589	1,622133	2,13429835	10,0969764	92,9411786	122,286002
0,21249384	1,370057	2,00718787	12,1749715	78,4983186	115,003125
0,24876178	1,149847	1,91183157	14,2529667	65,8812288	109,539624
0,28502972	0,95464	1,8428844	16,3309618	54,6967108	105,589251
0,32129766	0,778852	1,79593235	18,408957	44,6248197	102,899103

CONTINÚA



0,3575656	0,617838	1,76745821	20,4869521	35,3994269	101,267659
0,39383355	0,46764	1,75477056	22,5649472	26,7937476	100,540712
0,43010149	0,324733	1,75592652	24,6429424	18,6057888	100,606944

La curva más importante a conocer es θ_4 , debido a que en esta se refleja la bipedestación de la persona, primero debe considerarse que todo está en base a un ángulo 11.393° , para lo cual en la Tabla 18, se procede a cambiar todos los valores obtenidos en función del origen de coordenadas, restando dicho valor, a su vez dado que se requiere conocer la posición de θ_4 , de izquierda a derecha, se procede a restar dicho ángulo de 180° .

Tabla 18.

Resultados considerando el ángulo de bancada

θ_2''	θ_3''	θ_3'''	θ_4''	θ_4'''
15,255991	173,458626	6,54137385	174,716878	5,28312225
17,3339861	141,227849	38,7721512	155,362012	24,6379877
19,4119812	121,124366	58,8756336	143,14988	36,8501204
21,4899764	104,334179	75,6658214	133,679002	46,3209983
23,5679715	89,8913186	90,1086814	126,396125	53,6038751
25,6459667	77,2742288	102,725771	120,932624	59,0673762
27,7239618	66,0897108	113,910289	116,982251	63,0177487
29,801957	56,0178197	123,98218	114,292103	65,7078967
31,8799521	46,7924269	133,207573	112,660659	67,3393411
33,9579472	38,1867476	141,813252	111,933712	68,0662883
36,0359424	29,9987888	150,001211	111,999944	68,0000563

Una vez que se ha obtenido la tabla de posiciones, se procede a graficar la curva correspondiente a θ_4 , que se muestra en la Figura 50, de la cual se puede concluir que la trayectoria de bipedestación es adecuada según la Figura 22.

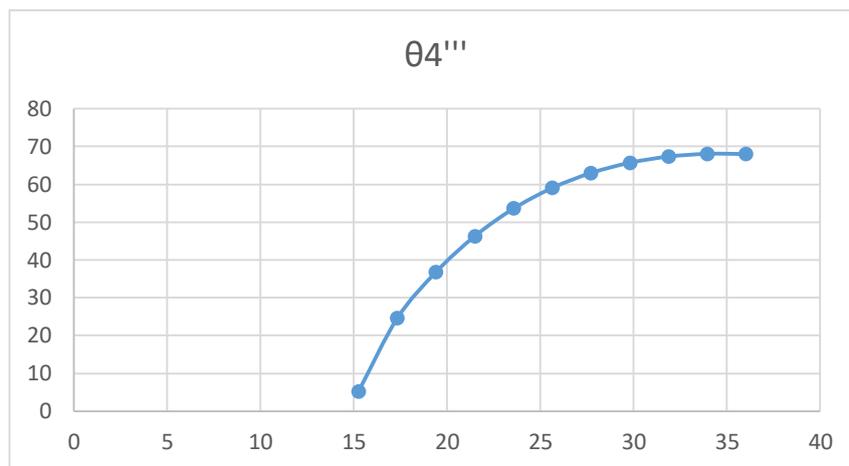


Figura 50. θ_4 en función de θ_2

5.2.3. Análisis de fuerza de operación del mecanismo por reducción de palanca

Tal y como se explicó anteriormente, este mecanismo además de la palanca de accionamiento, también se tiene la asistencia de resortes con cámara de gas, los cuales ayudarán en gran parte a levantar el peso de la persona.

Antes de nada, debe tomarse en cuenta los parámetros específicos de estos resortes, tales como: ubicación, longitud del cilindro retraído, longitud del cilindro contraído, y fuerza del cilindro.

En el mercado existen resortes con cámara de gas los cuales presentan las características resumidas en la Tabla 19, entre los cuales se realizará un breve análisis para determinar el más óptimo.

Tabla 19.

Resortes de gas existentes en el mercado

Fuerza del resorte	Longitud total (cilindro retraído) ($h1$)	Longitud del cilindro contraído ($h2$)	Carrera
300 N	504 mm	298 mm	206 mm
360 N	546 mm	338 mm	208 mm
400 N	604 mm	356 mm	248 mm

En la Figura 51, se pueden identificar los parámetros de ubicación del resorte: x , y , z , θ , w y α_1 .

Donde cada uno de estos hace referencia a:

x = Distancia horizontal desde el vértice de la base, hasta la articulación del resorte con cámara de gas.

y = Longitud del eslabón de acople del asiento, se sitúa a una distancia z del vértice del asiento, y se articula con la otra punta del resorte con cámara de gas, esta distancia debe ser pequeña, y el extremo anclado al asiento será fijado para que no tenga rotación, ésta medida será adecuada de $1\ 1/2''$.

z = Distancia desde el vértice del asiento, hacia el punto donde el resorte con cámara de gas ejerce la fuerza para el levantamiento de la persona, debido a la tubería usada, se considera una medida de $3''$.

w = Distancia de compensación desde la base hacia abajo.

θ = Ángulo formado entre el eslabón del asiento, y el eslabón de acople, para las posteriores evaluaciones se estimará un valor de 90° .

h_1 = Distancia del resorte con cámara de gas, cuando se encuentra retraído, esta distancia, según el tipo de resorte de la Tabla 19 que se desee evaluar, no debe pasar su longitud total.

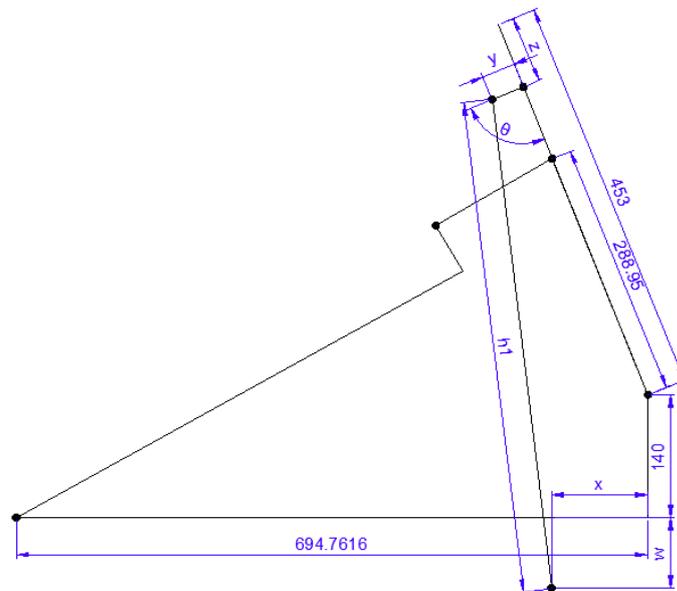


Figura 51. Parámetros a tomarse en cuenta para la ubicación del resorte con cámara de gas (Bipedestación).

En la Figura 52, se tiene los parámetros descritos anteriormente en la posición de sedestación.

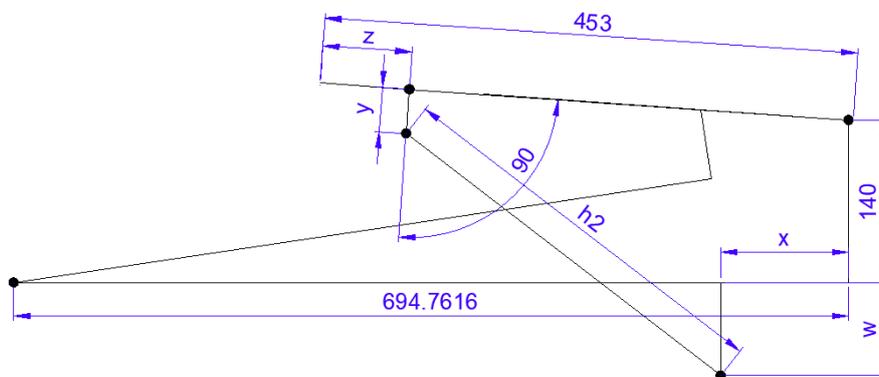


Figura 52. Parámetros a tomarse en cuenta para la ubicación del resorte con cámara de gas (Sedestación).

Al igual que h_1 , h_2 es la longitud del resorte con cámara de gas, cuando se encuentra contraído, de la misma forma, esta distancia no debe ser menor a los valores indicados en la Tabla 19.

Una vez determinados todos los parámetros, es importante determinar una ubicación, donde se tenga el mejor aprovechamiento de la fuerza del resorte de gas para la propulsión de la persona. Para determinar dicha ubicación es importante que el resorte de gas trabaje con las longitudes descritas en la Tabla 19, por lo que se tienen las siguientes ecuaciones:

$$h_{1x}^2 + h_{1y}^2 = h_1^2 \quad (\text{Ec.30})$$

$$h_{2x}^2 + h_{2y}^2 = h_2^2 \quad (\text{Ec.31})$$

Posteriormente se procede a encontrar las ecuaciones vectoriales de la Figura 51, tanto en el eje x como en el eje y.

En el eje x:

$$x + h_{1x} = (453 - z) * \cos 68 + y * \sin 68$$

En el eje y:

$$h_{1y} = w + 140 + (453 - z) * \sin 68 - y * \cos 68$$

De la misma forma, se encuentran las ecuaciones vectoriales de la Figura 52, tanto en el eje x como en el eje y.

En el eje x:

$$x + h_{2x} = (453 - z) * \cos 4 + y * \sin 4$$

En el eje y:

$$h_{2y} = w + 140 + (453 - z) * \sin 4 - y * \cos 4$$

Dado que se tiene 3 valores conocidos: $z = 76.2 \text{ mm}$, $y = 38.1 \text{ mm}$, los cuales reemplazando en las ecuaciones anteriormente encontradas se tiene:

$$h_{1x} = 176.77 - x \quad (\text{Ec.32})$$

$$h_{1y} = w + 475.09 \quad (\text{Ec.33})$$

$$h_{2x} = 378.54 - x \quad (\text{Ec.34})$$

$$h_{2y} = w + 128.277 \quad (\text{Ec.35})$$

En la Tabla 20, se muestra los resultados para x y w , de las ecuaciones 30, 31, 32, 33, 34 y 35, para cada uno de los valores de h_1 y h_2 , indicados en la Tabla 19.

Tabla 20.

Parámetros de ubicación para los diferentes resortes de gas

Fuerza	(h1)	(h2)	x	w
300 N	504 mm	298 mm	123.665 mm	26.136 mm
360 N	546 mm	338 mm	101.79 mm	65.78 mm
400 N	604 mm	356 mm	130.57 mm	127.16362

Para conocer la inclinación del resorte de gas respecto al movimiento del asiento, se procede a sintetizar dicho lazo, para lo cual, en la Figura 53, se tiene identificados los parámetros hallados anteriormente, de donde se obtienen las ecuaciones vectoriales para el caso de un resorte con cámara de gas de 300 N:

En el eje x:

$$x + h_2 * \cos \theta_2 = (453 - z) * \sin \theta_4 + y * \sin(90 - \theta_4)$$

En el eje y:

$$h_2 * \sin \theta_2 = w + 140 + (453 - z) * \cos \theta_4 - y * \cos(90 - \theta_4)$$

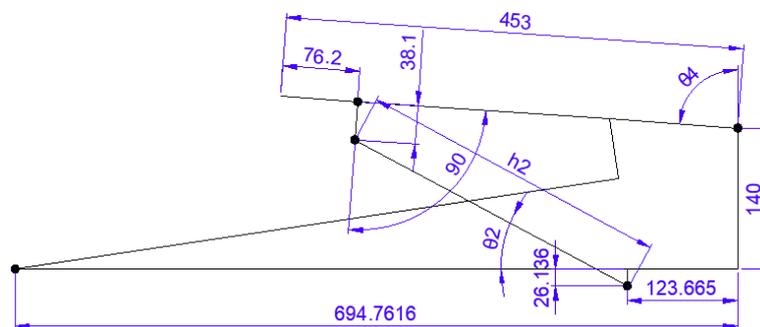


Figura 53. Parámetros para identificar la síntesis del lazo (asiento-resorte con cámara de gas) cuando $w=0$.

Despejando h_2 de ambas ecuaciones se tiene:

$$h_2 * \cos \theta_2 = 376.8 * \sin \theta_4 + 38.1 * \sin(90 - \theta_4) - 123.665 \quad (\text{Ec.36})$$

$$h_2 * \sin \theta_2 = 26.136 + 140 + 376.8 * \cos \theta_4 - 38.1 * \cos(90 - \theta_4) \quad (\text{Ec.37})$$

Dividiendo la ecuación 37 para la ecuación 36, se tiene:

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{26.136 + 140 + 376.8 * \cos \theta_4 - 38.1 * \cos(90 - \theta_4)}{376.8 * \sin \theta_4 + 38.1 * \sin(90 - \theta_4) - 123.665} \right)$$

Con la ayuda de un software matemático, se encuentran los valores de θ_2 en función de θ_4 , dicho análisis se representa en la Figura 54.

```
Análisis laso de 3 barras.

In[1]:=
 $\theta_4 = (\text{Range}[22 * \pi / 180, 86 * \pi / 180, 6.4 * \pi / 180]) // \text{N}$ 
Out[1]= {0.383972, 0.495674, 0.607375, 0.719076, 0.830777, 0.942478, 1.05418, 1.16588, 1.27758, 1.38928, 1.50098}

In[2]:=
 $\theta_2 = \text{ArcTan} \left[ \frac{26.136 + 140 + (376.8) * \text{Cos}[\theta_4] - 38.1 * \text{Cos}[1.5708 - \theta_4]}{\text{arco tangente}(376.8) * \text{Sin}[\theta_4] + 38.1 * \text{Sin}[1.5708 - \theta_4] - 123.665} \right]$ 
```

Figura 54. Programa para determinar la inclinación del resorte de 300 N, en función de la inclinación del asiento.

De la misma forma en las Figuras 55 y 56, se muestra la síntesis al utilizarse resortes de 360 N y 400 N respectivamente.

```
Análisis laso de 3 barras.

In[11]:=
 $\theta_4 = (\text{Range}[22 * \pi / 180, 86 * \pi / 180, 6.4 * \pi / 180]) // \text{N}$ 
Out[11]= {0.383972, 0.495674, 0.607375, 0.719076, 0.830777, 0.942478, 1.05418, 1.16588, 1.27758, 1.38928, 1.50098}

In[12]:=
 $\theta_2 = \text{ArcTan} \left[ \frac{65.78 + 140 + (376.8) * \text{Cos}[\theta_4] - 38.1 * \text{Cos}[1.5708 - \theta_4]}{\text{arco tangente}(376.8) * \text{Sin}[\theta_4] + 38.1 * \text{Sin}[1.5708 - \theta_4] - 101.79} \right]$ 
```

Figura 55. Programa para determinar la inclinación del resorte de 360 N, en función de la inclinación del asiento.

Análisis laso de 3 barras.

```

In[21]=
   $\theta_4 = (\text{Range}[22 * \pi / 180, 86 * \pi / 180, 6.4 * \pi / 180]) // N$ 
Out[21]= {0.383972, 0.495674, 0.607375, 0.719076, 0.830777, 0.942478, 1.05418, 1.16588, 1.27758, 1.38928, 1.50098}

In[22]=
   $\theta_2 = \text{ArcTan} \left[ \frac{127.16362 + 140 + (376.8) * \text{Cos}[\theta_4] - 38.1 * \text{Cos}[1.5708 - \theta_4]}{(376.8) * \text{Sin}[\theta_4] + 38.1 * \text{Sin}[1.5708 - \theta_4] - 130.57} \right]$ 

```

Figura 56. Programa para determinar la inclinación del resorte de 400 N, en función de la inclinación del asiento.

Una vez que se tiene el ángulo de inclinación del resorte con cámara de gas, se procede a graficar las Fuerzas que actúan en el sistema, tanto en la posición de sedestación, como en la de bipedestación, tal y como se muestra en las Figuras 57 y 58 respectivamente.

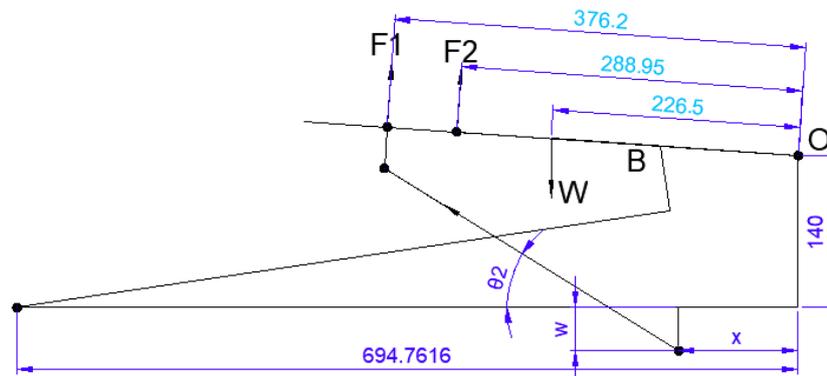


Figura 57. Fuerzas que actúan en la Sedestación.

En la Figura 57, se ubican las Fuerzas que actúan en el sistema, donde W representa el peso de la persona, F_1 representa la Fuerza ejercida por el resorte con cámara de gas respecto del asiento, F_2 representa la Fuerza que debe ejercerse en dicha articulación para poder levantar a la persona, F_0 representa la Fuerza lineal que ejerce el resorte con cámara de gas. Cabe destacar que en la posición inicial, la Fuerza F_2 es la fuerza necesaria para que la persona pueda ponerse de pie.

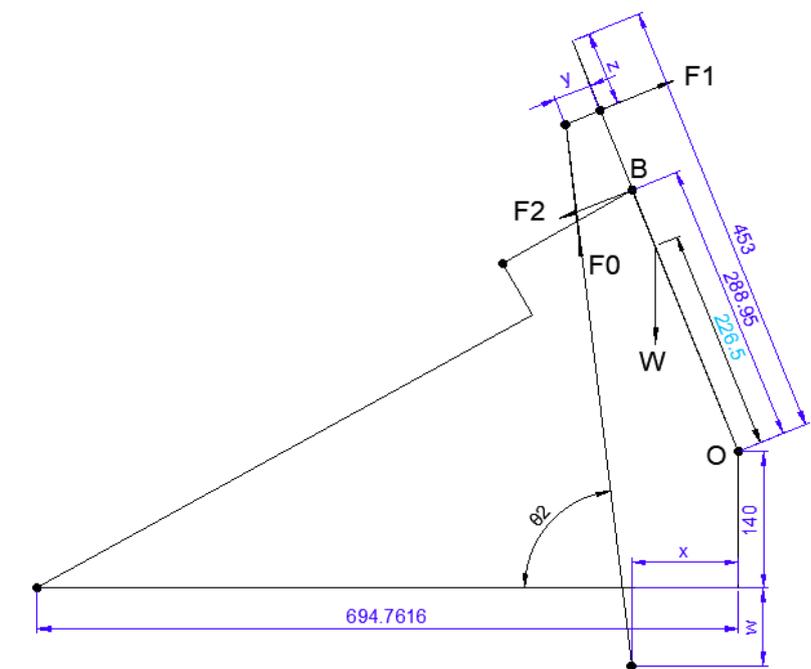


Figura 58. Fuerzas que actúan en la Bipedestación.

En la Figura 58, de la misma forma, se grafican las fuerzas identificadas en el gráfico anterior. Hay que tomar en cuenta que para este caso, el resorte de gas ejercerá toda su fuerza lineal, mientras que el peso de la persona quedará parcialmente reducido, razón por la cual no es necesario ejercer ninguna fuerza adicional para que la persona se quede arriba. Sin embargo, debe aplicarse una Fuerza hacia abajo para poder realizar el descenso de la persona. Razón por la que F_2 está en sentido contrario respecto a la Figura 57.

Tomando en cuenta estos criterios, se procede a sacar la sumatoria de Momentos en el punto O.

$$\sum M_O = 0$$

$$F_1 * 376.8 + F_2 * 288.95 = W * \sin \theta_4 * 226.5$$

Es necesario expresar F_1 en función de F_0 , ya que F_1 es la Fuerza ejercida por el resorte con cámara de gas sobre el asiento.

$$F_1 = F_0 * \sin(\theta_2 - 90^\circ + \theta_4)$$

Reemplazando F_1 en la ecuación anterior:

$$F_0 * \sin(\theta_2 - 90^\circ + \theta_4) * 376.8 + F_2 * 288.95 = W * \sin \theta_4 * 226.5$$

Una vez que se tiene la expresión matemática final, debe considerarse valores para F_0 y W .

La masa m de una persona promedio, varía entre los 50 – 80 Kg , para lo cual se realizará un análisis para personas de 50 – 60 – 70 y 80 Kg .

Como se explicó anteriormente, se utilizará 2 resortes con cámara de gas, donde se puede evaluar las combinaciones de: 2 resortes de 300 N , 360 N y 400 N , en sus posiciones respectivas, por lo que para F_0 se tendrá valores de 600 N , 720 N y 800 N .

De la misma forma, se procede a realizar dicho análisis con la ayuda de un software matemático en la Figura 59.

```
Análisis laso de 3 barras.

In[121]=
   $\theta_4 = (\text{Range}[22 * \pi / 180, 86 * \pi / 180, 6.4 * \pi / 180]) // N$ 
Out[121]= {0.383972, 0.495674, 0.607375, 0.719076, 0.830777, 0.942478, 1.05418, 1.16588, 1.27758, 1.38928, 1.50098}

In[122]=
   $\theta_2 = \text{ArcTan}\left[\frac{26.136 + 140 + (376.8) * \text{Cos}[\theta_4] - 38.1 * \text{Cos}[1.5708 - \theta_4]}{\text{arco tangente}(376.8) * \text{Sin}[\theta_4] + 38.1 * \text{Sin}[1.5708 - \theta_4] - 123.665}\right]$ 

  F0 = 600;
  m = 50;
  W = m * 9.8
   $F_2 = \frac{W * \text{Sin}[\theta_4] * 226.5 - F_0 * \text{Sin}[\theta_4 + \theta_2 - 1.5708] * 376.8}{288.95}$ 

  Export["modelamiento_tres_.xlsx", { $\theta_4$ ,  $\theta_2$ , F2}]
  Diectory[]

Out[122]= {1.46582, 1.38713, 1.3068, 1.22449, 1.13983, 1.05231, 0.96135, 0.866191, 0.765887, 0.659234, 0.544701}

Out[125]= 490.

Out[126]= {-71.5805, -57.491, -44.2032, -31.953, -20.9071, -11.1453, -2.63608, 4.79309, 11.4972, 18.0687, 25.412}

Export: Cannot open modelamiento_tres_.xlsx.

Out[127]= $Failed

Out[128]= Diectory[]
```

Figura 59. Programa para determinar las Fuerzas según las diferentes posiciones de θ_4 .

Los datos del análisis se copilan en las Tablas 21, 22 y 23, para Fuerzas correspondientes a 600 N, 720 N y 800 N respectivamente.

Tabla 21.

Tabla de Fuerzas correspondiente a F_2 para un $F_0 = 600$ N

		m=50 Kg	m=60 Kg	m=70 Kg	m=80 Kg
		F0= 600 N			
θ_4	θ_2	F2	F2	F2	F2
86,00	31,21	25,41195	102,044	178,6767	255,3091
79,60	37,77	18,06871	93,6262	169,1837	244,7412
73,20	43,88	11,49716	85,038	158,5788	232,1196
66,80	49,63	4,793092	75,4006	146,0082	216,6157
60,40	55,08	-2,63608	64,1581	130,9523	197,7465
54,00	60,29	-11,1453	51,003	113,1513	175,2996
47,60	65,31	-20,9071	35,8206	92,54843	149,2762
41,20	70,16	-31,953	18,6473	69,24746	119,8477
34,80	74,87	-44,2032	-0,36127	43,48067	87,32261
28,40	79,48	-57,491	-20,9538	15,58341	52,12063
22,00	83,98	-71,5805	-42,8034	-14,0263	14,75077

Tabla 22.

Tabla de Fuerzas correspondiente a F_2 para un $F_0 = 720$ N

		m=50 Kg	m=60 Kg	m=70 Kg	m=80 Kg
		F0= 720 N			
θ_4	θ_2	F2	F2	F2	F2
86,00	35,04	-100,941	-24,309	52,32341	128,9558
79,60	40,60	-94,5374	-18,9799	56,5776	132,1351
73,20	45,86	-88,4088	-14,868	58,67285	132,2137
66,80	50,88	-83,1749	-12,5673	58,04019	128,6477
60,40	55,71	-79,2161	-12,422	54,37222	121,1664
54,00	60,37	-76,7348	-14,5865	47,56179	109,7101

CONTINÚA



47,60	64,91	-75,7963	-19,0685	37,6593	94,38708
41,20	69,34	-76,3586	-25,7584	24,84182	75,44203
34,80	73,67	-78,2942	-34,4522	9,389711	53,23165
28,40	77,94	-81,4066	-44,8693	-8,33211	28,20511
22,00	82,14	-85,444	-56,6669	-27,8898	0,887259

Tabla 23.

Tabla de Fuerzas correspondiente a F_2 para un $F_0 = 800 N$

		m=50 Kg	m=60 Kg	m=70 Kg	m=80 Kg
		F0= 800 N			
θ_4	θ_2	F2	F2	F2	F2
86,00	45,85	-312,86	-236,228	-159,595	-82,96299
79,60	50,33	-291,777	-216,219	-140,662	-65,10418
73,20	54,62	-271,981	-198,441	-124,9	-51,35899
66,80	58,77	-253,787	-183,179	-112,572	-41,96411
60,40	62,81	-237,347	-170,553	-103,759	-36,9647
54,00	66,75	-222,702	-160,553	-98,4049	-36,25662
47,60	70,63	-209,797	-153,07	-96,3418	-39,61406
41,20	74,45	-198,51	-147,91	-97,3096	-46,70938
34,80	78,21	-188,655	-144,813	-100,971	-57,12869
28,40	81,94	-179,997	-143,46	-106,922	-70,38513
22,00	85,64	-172,262	-143,485	-114,708	-85,93089

Una vez que se tiene la Fuerza necesaria F_2 para poder levantar a la persona, es necesario conocer la Fuerza F_3 que la persona debe realizar por medio de una palanca. Es muy importante determinar la ubicación adecuada de la palanca, sobre todo en el primer impulso que realiza la persona, ya que es donde se requiere mayor fuerza.

Por otro lado, debe conocerse que una persona parapléjica no puede apoyarse en sus piernas para realizar fuerza, por tanto es recomendable que la fuerza de accionamiento la realice apoyándose con la espalda, por lo que la fuerza de accionamiento sería horizontal.

La altura de la palanca debe ser máximo de: $760 - 485 = 275 \text{ mm}$ respecto al filo del asiento. (Gobierno de la Ciudad de México, 2016).

La ubicación del tubo vertical para el accionamiento debe estar situado a la altura del abdomen: 276.97 mm desde el espaldar. (Chaurand, 2007)

En la Figura 60, se tiene un bosquejo de las dimensiones adecuadas para la palanca.

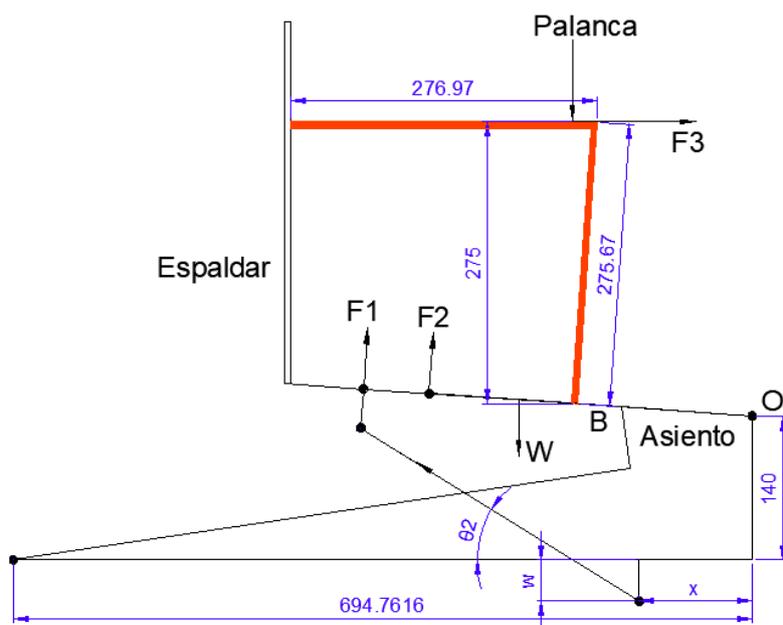


Figura 60. Bosquejo de las dimensiones de la palanca.

En primera instancia, F_3 está colocado de forma horizontal, ya que es la fuerza de impulso para realizar la bipedestación, sin embargo debe tenerse en cuenta que la inclinación de la palanca de accionamiento varía respecto a la inclinación del asiento, lo que implica que en la transición no siempre se ejerza toda la fuerza que la persona pueda aplicar.

Para calcular la Fuerza que se debe ejercer en cada una de las posiciones conforme se realice la transición, en la Tabla 24 se procede a sintetizar el ángulo de la palanca, identificado en el apartado 5.2.2 como θ_3 , en función del ángulo del asiento θ_4 , mediante el método de la interpolación.

$$y = y_1 + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_1)$$

Tabla 24.

Ángulo de la palanca θ_3 en función del ángulo del asiento θ_4

θ_4	θ_3
86,00	176
79,60	164,937599
73,20	154,280102
66,80	143,622606
60,40	133,059716
54,00	122,524243
47,60	111,15815
41,20	99,262174
34,80	86,2072942
28,40	70,1073075
22,00	30

Para comprender esto de mejor manera, en la Figura 61 se procede a bosquejar únicamente la palanca, y las Fuerzas a las que está sometida.

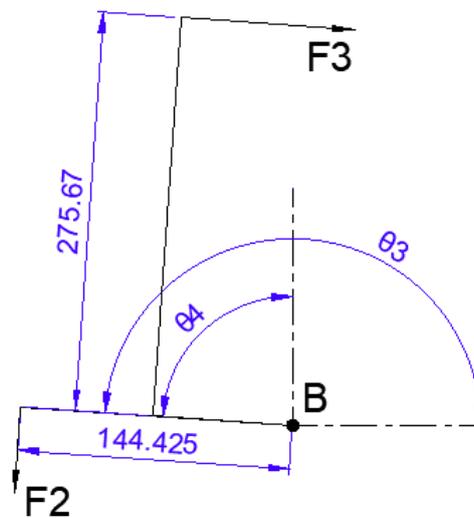


Figura 61. Palanca considerando fuerzas y distancias respectivas.

Aplicando la Sumatoria de momentos en el punto B, se tiene:

$$\sum M_B = 0$$

$$F_3 * 275.67 = F_2 * 144.425 * \cos(90 - \theta_3 + \theta_4)$$

En los las Tablas 25, 26 y 27, se puede ver la Fuerza de accionamiento F_3 en Kgf, para cada una de las posiciones y diferentes valores de peso y Fuerza del resorte de gas, de donde se determinó que la mejor alternativa es utilizar un resorte de 360 N, debido a que las fuerzas de operación tanto para subida como para la bajada, son relativamente bajas.

Tabla 25.

Tabla de Fuerzas correspondiente a F_2 para un $F_0 = 600$ N

		m=50 Kg	m=60 Kg	m=70 Kg	m=80 Kg
		F0= 600 N			
θ_4	θ_3	F3	F3	F3	F3
86,00	176,00	1,357	5,450	9,542	13,635
79,60	164,90	0,962	4,984	9,005	13,027
73,20	153,98	0,607	4,487	8,367	12, 248

CONTINÚA



66,80	143,06	0,249	3,920	7,592	11,263
60,40	132,12	-0,134	3,270	6,675	10,080
54,00	121,17	-0,554	2,535	5,623	8,711
47,60	109,67	-1,000	1,713	4,426	7,138
41,20	97,65	-1,448	0,845	3,138	5,431
34,80	84,34	-1,845	-0,015	1,815	3,645
28,40	68,08	-2,043	-0,744	0,554	1,852
22,00	30,00	-0,531	-0,318	-0,104	0,109

Tabla 26.

Tabla de Fuerzas correspondiente a F_2 para un $F_0 = 720 N$

		m=50 Kg	m=60 Kg	m=70 Kg	m=80 Kg
		F0= 720 N			
θ_4	θ_3	F3	F3	F3	F3
86,00	176,00	-5,391	-1,298	2,794	6,887
79,60	164,90	-5,032	-1,010	3,012	7,033
73,20	153,98	-4,665	-0,784	3,096	6,976
66,80	143,06	-4,325	-0,653	3,018	6,689
60,40	132,12	-4,038	-0,633	2,772	6,176
54,00	121,17	-3,813	-0,725	2,364	5,452
47,60	109,67	-3,625	-0,912	1,801	4,514
41,20	97,65	-3,461	-1,167	1,126	3,419
34,80	84,34	-3,268	-1,438	0,392	2,222
28,40	68,08	-2,892	-1,594	-0,296	1,002
22,00	30,00	-0,634	-0,421	-0,207	0,007

Tabla 27.

Tabla de Fuerzas correspondiente a F_2 para un $F_0 = 800\text{ N}$

		m=50 Kg	m=60 Kg	m=70 Kg	m=80 Kg
		F0= 800 N			
θ_4	θ_3	F3	F3	F3	F3
86,00	176,00	-16,708	-12,616	-8,523	-4,431
79,60	164,90	-15,531	-11,509	-7,487	-3,465
73,20	153,98	-14,351	-10,471	-6,590	-2,710
66,80	143,06	-13,196	-9,524	-5,853	-2,182
60,40	132,12	-12,099	-8,694	-5,289	-1,884
54,00	121,17	-11,067	-7,978	-4,890	-1,802
47,60	109,67	-10,032	-7,320	-4,607	-1,894
41,20	97,65	-8,996	-6,703	-4,410	-2,117
34,80	84,34	-7,875	-6,045	-4,215	-2,385
28,40	68,08	-6,395	-5,097	-3,799	-2,501
22,00	30,00	-1,279	-1,065	-0,852	-0,638

5.2.4. Diseño mecánico del equipo

a. Componentes del equipo

Anteriormente se realizó la síntesis del mecanismo de bipedestación (transición sit to stand), donde se pudo identificar los eslabones importantes del mecanismo, y a su vez las respectivas dimensiones, sin embargo deben tenerse en cuenta elementos adicionales de la máquina importantes en la composición del bipedestador, entre los cuales se citan los siguientes:

a.1. Bloqueo del asiento

El asiento debe estar en la posición inicial antes de que el usuario se suba al bipedestador y empiece a operarlo, sin embargo debe tenerse en cuenta que el equipo tiene 2 resortes con cámara de gas, los cuales empujan el asiento hacia arriba,

ejerciendo una fuerza combinada de 413 N. En caso que no haya carga (nadie se haya subido al bipedestador), el asiento, así como el resto de componentes pasarán a la posición final, donde los resortes ejercerán su máxima fuerza, 720 N, complicando que el mecanismo pueda volver a la posición inicial, y necesitando la ayuda de otra persona para hacerlo. Es por ello que en la parte inferior del asiento, existe un tubo fuera de la base, acoplado a un bloqueo para evitar que el asiento no se mueva de su posición original, dejando la máquina completamente estática, dicho bloqueo puede ser desactivado fácilmente por medio del desplazamiento horizontal de una corredera, el cual debe hacerse cuando la persona ya esté operando el bipedestador.

a.2. Platinas de acople

Dado que toda la estructura se realizará por medio de tubo estructural, en ciertas partes es necesario aumentar elementos que puedan acoplarse a las articulaciones, por lo que se utiliza platinas, las cuales facilitan este trabajo. Debe tenerse en cuenta que algunas de estas platinas deben estar fijadas a la estructura, pero otras pueden permanecer articuladas.

a.3. Acoples internos

En caso del asiento, es necesario que gire sobre la base, pero a su vez que pueda asentarse en ella, para facilitar dicha tarea se realizan unos acoples internos por medio de platinas.

a.4. Llantas

Las llantas permiten el desplazamiento horizontal del equipo.

a.5. Base estructural

Es necesario tener una base donde se puedan apoyar todos los componentes de la máquina.

a.6. Plataforma

Es un soporte para los pies, comúnmente conocido en la silla de ruedas como el descanso.

a.7. Freno

Es necesario detener el movimiento de las llantas para evitar el desplazamiento del equipo, en caso que el usuario no requiera realizarlo, para lo cual se utiliza un freno de zapata.

En la Figura 62, se puede identificar de mejor forma todos los componentes anteriormente descritos y una tentativa de sus ubicaciones.

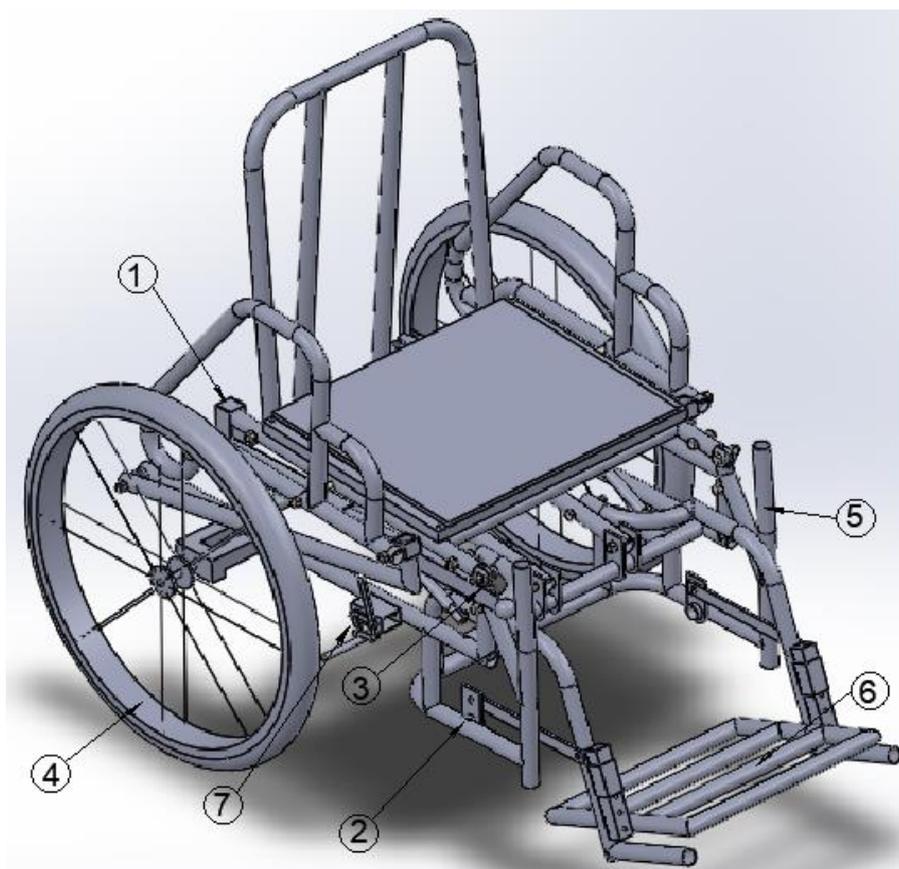


Figura 62. Esquema de los elementos del equipo.

Una vez que se hayan determinado cada uno de los componentes que se van a utilizar, se procede a realizar el análisis y diseño de cada uno de estos elementos, de forma que pueda cumplir las necesidades anteriormente explicadas.

b. Fuerzas que actúan en el equipo

Lo primero que debe realizarse es identificar todas las fuerzas que actúan en el equipo a nivel general para cada uno de los siguientes casos:

- Máquina sin carga (no se ha subido ninguna persona al bipedestador).
- Máquina con carga (sin operar).
- Máquina con carga (operando).
- Máquina con carga (posición de bipedestación).

En la Figura 63 se identifican las fuerzas que actúan en el bipedestador cuando se encuentra sin carga, primero se han designado números a los elementos considerados para el análisis, siendo éstos: 1) base principal, 2) resorte de gas soldado al acoplador, 3) asiento, 4) bloqueo. En este análisis se busca determinar las reacciones en los apoyos al aplicarse la fuerza ejercida por los resortes de gas: F_R , las fuerzas y reacciones en los apoyos se nombran de la siguiente manera: fuerza del bloqueo de movimiento F_{34} , la fuerza que ejerce el resorte de gas sobre el asiento: $F_{32} = F_R = 720 \text{ N}$, y las reacciones en la estructura: F_{12x} , F_{12y} , F_{13x} y F_{13y} .

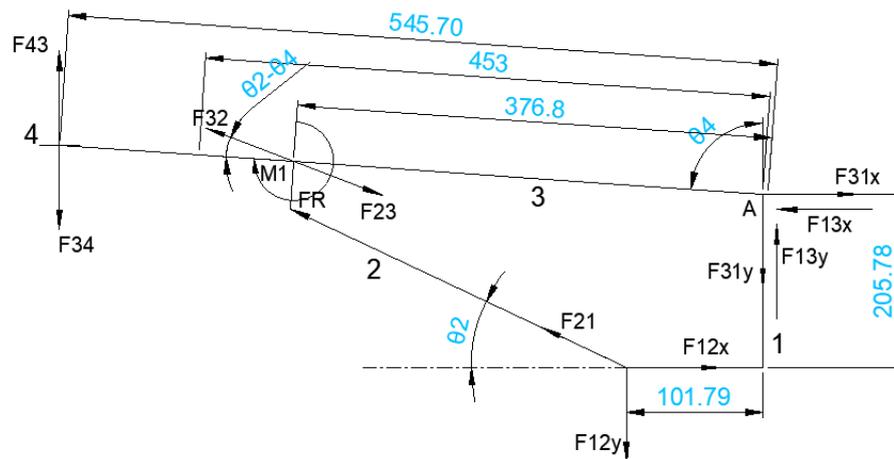


Figura 63. Diagrama de Cuerpo libre cuando la máquina no es utilizada.

Primero debe tomarse en cuenta que el resorte de gas ejerce fuerza hacia una barra soldada a la estructura, por lo cual en la barra del asiento (eslabón 3) se transmite la misma fuerza F_R , y un par M_1 igual a:

$$M_1 = 720 \text{ N} * \sin 31.04 * 0.0381 \text{ m} = 14.145 \text{ N} * \text{m} \curvearrowright$$

Aplicando sumatoria de Momentos en A:

$$\curvearrowright + \sum M_A = 0$$

$$M_1 + F_{32} * \sin(35.04 - 4) * 0.3768 - F_{34} * 0.5457 * \sin 86 = 0$$

$$14.145 \text{ N} * \text{m} + F_{32} * \sin(35.04 - 4) * 0.3768 - F_{34} * 0.5457 * \sin 86 = 0$$

$$F_{34} = 282.96 \text{ N} \downarrow$$

$$F_{43} = 282.96 \text{ N} \uparrow$$

Para calcular las reacciones que ejerce la base sobre el asiento, se aplica sumatoria de fuerzas, considerando únicamente las fuerzas que actúan en el asiento (eslabón 3).

$$\leftarrow + \sum F_x = 0$$

$$F_{32} * \cos 35.04 = F_{31x}$$

$$F_{31x} = 589.50 \text{ N} \rightarrow$$

$$\uparrow + \sum F_y = 0$$

$$F_{32} * \sin 35.04 = F_{31y} + F_{34}$$

$$F_{31y} = 130.426 \text{ N} \downarrow$$

Por tanto las reacciones en la base estructural, tienen la misma magnitud, pero sentido contrario, tal y como indica la Figura 63.

$$F_{13x} = 589.50 \text{ N} \leftarrow$$

$$F_{13y} = 130.426 \text{ N} \uparrow$$

De la misma forma, se tiene que el eslabón 2, conformado por el resorte de gas, soldado al acoplador, se encuentra a compresión, cuyas fuerzas son:

$$F_{23} = F_{21} = 720 \text{ N}$$

Por último se calculan las fuerzas que ejerce el resorte de gas sobre la base estructural, las cuales son:

$$720 * \cos 35.04 = F_{12x}$$

$$720 * \sin 35.04 = F_{12y}$$

$$F_{12x} = 589.50 \text{ N} \rightarrow$$

$$F_{12y} = 413.386 \text{ N} \downarrow$$

En la Figura 64, se identifican las fuerzas que actúan en el bipedestador cuando la persona se sienta, al igual que la Figura 63, se han asignado números cada uno de los elementos, con la excepción de que en este caso el bloqueo de movimiento queda fuera del análisis. De la misma forma, se busca determinar las fuerzas y reacciones en los apoyos, los cuales se describieron anteriormente, con la diferencia que en este caso se tienen 2 cargas: La fuerza ejercida por el resorte de gas: $F_R = 720 \text{ N}$, y el peso de la persona de 80 kg: $W = 80 \text{ Kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 784.8 \text{ N}$. Por otro lado, se utiliza el mismo par M_1 calculado anteriormente.

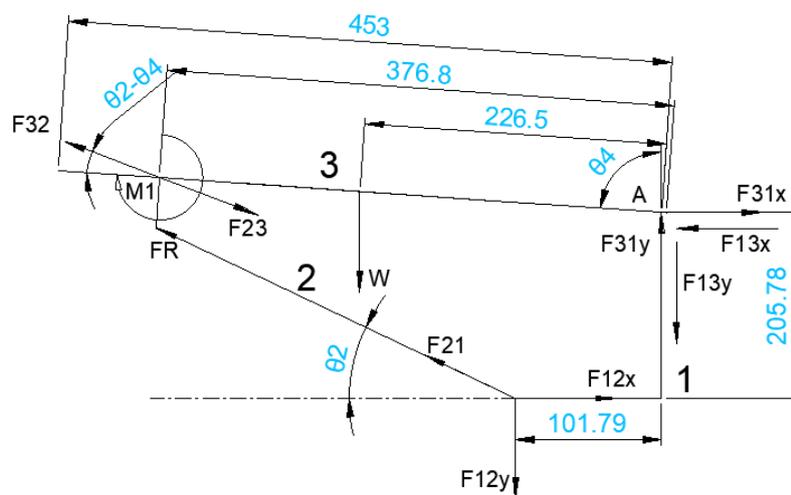


Figura 64. Diagrama de cuerpo libre (Sedestación).

Aplicando sumatoria de Momentos en A:

$$\cup + \sum M_A = 0$$

$$W * \cos 4 * 0.2265 = (F_{32} + F_R) * \sin(35.04 - 4) * 0.3768 + M_1$$

$$177.324 N * m = (F_{32} + F_R) * \sin(35.04 - 4) * 0.3768 + 14.145 N * m$$

$$F_{32} = (839.865 - 720)N = 119.865 N$$

Para calcular las reacciones que ejerce la base sobre el asiento, se aplica sumatoria de fuerzas, considerando únicamente las fuerzas que actúan en el asiento (eslabón 3).

$$\leftarrow + \sum F_x = 0$$

$$\uparrow + \sum F_y = 0$$

$$839.865 * \cos 35.04 = F_{31x}$$

$$839.865 * \sin 35.04 - W_y + F_{31y} = 0$$

$$F_{31x} = 687.64 N \rightarrow$$

$$F_{31y} = 302.59 N \uparrow$$

Por tanto las reacciones en la base estructural, tienen la misma magnitud, pero sentido contrario, tal y como indica la Figura 64.

$$F_{13x} = 687.64 N \leftarrow$$

$$F_{13y} = 302.59 N \downarrow$$

De la misma forma, se tiene que el eslabón 2, conformado por el resorte de gas, soldado al acoplador, se encuentra a compresión, cuyas fuerzas son:

$$F_{23} = F_{21} = 839.865 N$$

Por último se calculan las fuerzas que ejerce el resorte de gas sobre la base estructural, las cuales son:

$$839.865 * \cos 35.04 = F_{12x}$$

$$839.865 * \sin 35.04 = F_{12y}$$

$$F_{12x} = 687.64 N \rightarrow$$

$$F_{12y} = 482.207 N \downarrow$$

En la Figura 65, se representa el esquema cuando la persona opera la máquina, (se realizan los cálculos con las Fuerza de operación máxima $F_2 = 128.96 N$, calculada en el apartado 5.2.3. Por otro lado, al igual que los casos anteriores, se ha enumerado cada uno de los elementos que componen el análisis para identificar las fuerzas con

mayor facilidad. Se procede a calcular las fuerzas y reacciones en los respectivos apoyos.

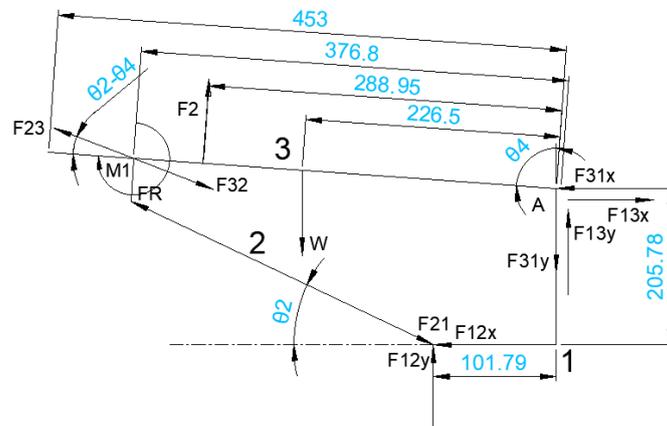


Figura 65. Diagrama de cuerpo libre al realizar la bipedestación.

Aplicando sumatoria de Momentos en A:

$$\sum M_A = 0$$

$$W * \cos 4 * 226.5 = (-F_{32} + F_R) * \sin(35.04) * 376.8 + F_2 * 288.95$$

$$F_{32} = \left(\frac{F_2 * 288.95 - W * \cos 4 * 226.5}{\sin(35.04 - 4) * 376.8} \right)$$

$$F_{32} = \left(\frac{128.96 * 288.95 - 784.8 * \cos 4 * 226.5}{\sin(31.04) * 376.8} \right) + 720$$

$$F_{32} = 0 \text{ N}$$

Dado que la tendencia de movimiento es hacia arriba, es eslabón 2 está a tracción, dado que se aplica únicamente la fuerza necesaria para realizar el levantamiento, la fuerza F_{32} es casi nula, sin embargo al aplicarse una fuerza mayor a la necesaria, habrá mayor fuerza de tracción, por lo cual únicamente se conservan las fuerzas ejercidas por el resorte de gas.

$$F_{23} = F_{21} = 720 \text{ N}$$

Para calcular las reacciones que ejerce la base sobre el asiento, se aplica sumatoria de fuerzas, considerando únicamente las fuerzas que actúan en el asiento (eslabón 3).

$$\leftarrow + \sum F_x = 0$$

$$\uparrow + \sum F_y = 0$$

$$720 * \cos 35.04 - F_2 * \cos 86 = F_{31x} \quad 720 * \sin 35.04 - W_y + F_{2y} + F_{31y} = 0$$

$$F_{31x} = 580.505 \text{ N } \rightarrow$$

$$F_{31y} = 242.453 \text{ N } \uparrow$$

Por tanto las reacciones en la base estructural, tienen la misma magnitud, pero sentido contrario, tal y como indica la Figura 65.

$$F_{13x} = 580.505 \text{ N } \leftarrow$$

$$F_{13y} = 242.453 \text{ N } \downarrow$$

Por último se calculan las fuerzas que ejerce el resorte de gas sobre la base estructural, las cuales son:

$$720 * \cos 35.04 = F_{12x}$$

$$720 * \sin 35.04 = F_{12y}$$

$$F_{12x} = 589.50 \text{ N } \leftarrow$$

$$F_{12y} = 413.386 \text{ N } \uparrow$$

A su vez debe considerarse que hay un momento ejercido por el resorte de gas sobre el acoplador, el cual se transmite al asiento (eslabón 3).

$$M_1 = 720 \text{ N} * \sin 31.04 * 0.0381 \text{ m} = 14.145 \text{ N} * \text{m } \curvearrowright$$

Cuando la persona se encuentra de pie, se puede identificar que toda la carga cae sobre la montura, tal y como se muestra en la Figura 66, se ha representado un bosquejo de las fuerzas que se ejercen, donde se puede destacar principalmente el peso de la persona de 80 Kg, y las reacciones en cada uno de los eslabones.

$$W = 80 * 9.81$$

$$W = 784.8 \text{ N}$$

También hay que considerar que el valor de $\theta_3 = 13.08^\circ$

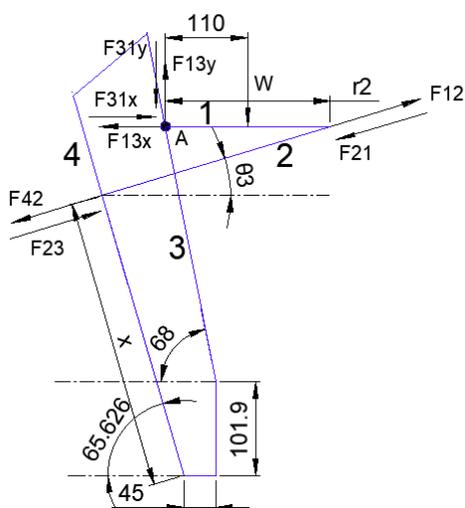


Figura 66. Fuerzas que se ejercen cuando la persona se encuentra de pie.

Tal y como se hizo anteriormente, se procede a realizar la sumatoria de momentos en el punto A.

$$\sum M_A = 0$$

$$784.8 \cdot 110 = F_{12} \cdot \sin \theta_3 \cdot 220$$

$$F_{12} = 1733.89 \text{ N}$$

Dado que el eslabón 2, está sometido a cargas axiales, se tiene que las Fuerzas:

$$F_{21} = 1733.89 \text{ N}$$

$$F_{23} = 1733.89 \text{ N}$$

Por lo que la barra 2 está a compresión, y a su vez:

$$F_{42} = 1733.89 \text{ N}$$

Para calcular las reacciones que ejerce el asiento sobre la montura, se procede a realizar sumatoria de Fuerzas, teniendo:

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F_{13x} = F_{12} \cdot \cos 13.08$$

$$F_{13y} = W - F_{12} \cdot \sin 13.08$$

$$F_{13x} = 1688.904 \text{ N} \leftarrow$$

$$F_{13y} = 392.40 \text{ N} \uparrow$$

Por tanto las reacciones en el asiento, tienen la misma magnitud, pero sentido contrario, tal y como indica la Figura 66.

$$F_{31x} = 1688.904 \text{ N} \rightarrow$$

$$F_{31y} = 392.40 \text{ N} \downarrow$$

c. Cálculo de esfuerzos de la estructura

Para realizar el análisis de esfuerzos, se tomará en cuenta las fuerzas del segundo caso, debido a que es donde mayor carga soporta la estructura, para lo cual se toma en cuenta principalmente la barra del asiento, la barra de la base estructural donde se articula el asiento, y los pernos donde se coloca el resorte con cámara de gas.

Considerando la barra del asiento (eslabón 3) como cuerpo libre, en la Figura 67 se tienen las siguientes fuerzas que anteriormente se habían calculado.

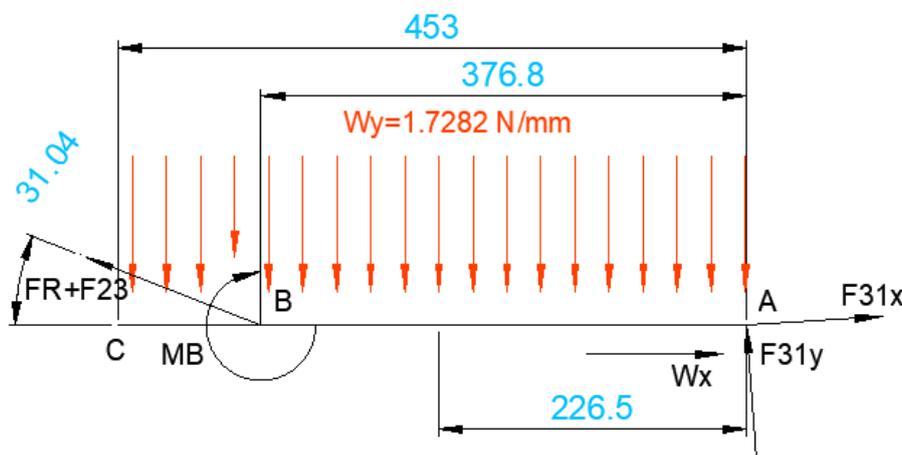


Figura 67. Fuerzas que actúan en la barra del asiento.

Como se puede identificar, se tiene la carga distribuida del peso de 80 Kg en una barra de 453 mm, por tanto la carga distribuida es:

$$W_y = 80 * 9.81 * \frac{\cos 4}{453 \text{ mm}} = 1.7282 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Por otro lado, en el punto A también actúa una componente en x del peso cuyo valor es:

$$W_x = 80 * 9.81 * \sin 4 = 54.745 \text{ N}$$

Para poder realizar el análisis de mejor manera, en la Figura 68, se transforma todas las fuerzas a sus equivalentes en Fuerzas axiales designadas por la letra P y reacciones horizontales designadas por la letra R .

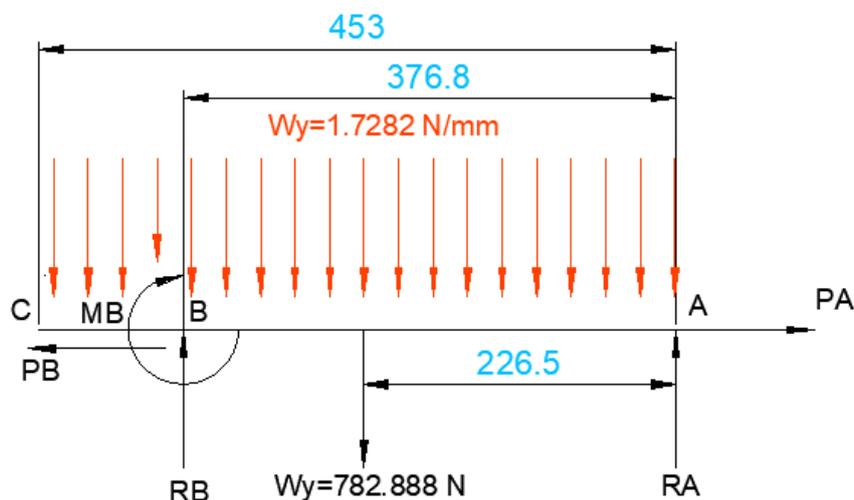


Figura 68. Fuerzas que actúan en la barra del asiento.

A continuación se muestra el cálculo de dichas fuerzas:

$$W_y = 80 * 9.81 * \cos 4 = 782.888 \text{ N}$$

$$R_B = (F_R + F_{32}) * \sin 31.04 = 839.865 \text{ N} * \sin 31.04$$

$$R_B = 433.065 \text{ N} \uparrow$$

$$R_A = F_{31y} * \sin 86 + F_{31x} * \cos 86$$

$$R_A = 302.59 \text{ N} * \sin 86 + 687.64 \text{ N} * \cos 86$$

$$R_A = 349.75 \text{ N} \uparrow$$

$$P_B = (F_R + F_{32}) * \cos 31.04 = 839.865 \text{ N} * \cos 31.04$$

$$P_B = 719.6 \text{ N} \leftarrow$$

$$P_A = F_{31x} * \sin 86 - F_{31y} * \cos 86 + W_x$$

$$P_A = 687.64 \text{ N} * \sin 86 - 302.59 \text{ N} * \cos 86 + 54.745 \text{ N}$$

$$P_A = 719.60 \text{ N} \rightarrow$$

$$M_B = 14.145 \text{ N} * m \curvearrowright$$

Con lo cual se puede decir que la barra está sometida a momentos flectores, esfuerzos cortantes, y esfuerzos a tracción cuya carga es 719.60 N.

Se procede a obtener las ecuaciones de esfuerzos cortantes:

$$V_C = 0$$

Tramo C-B: ($0 \leq x \leq 76.2 \text{ mm}$)

$$V_x - V_C = -1.72823 \frac{N}{mm} * x$$

$$V_x = -1.72823 \frac{N}{mm} * x$$

$$V_B = -1.72823 \frac{N}{mm} * 76.2 \text{ mm} = -131.69 \text{ N (antes del punto B)}$$

Tramo B-A: $76.2 \text{ mm} \leq x \leq 453 \text{ mm}$

$$V_x - V_B = -1.72823 \frac{N}{mm} * (x - 76.2) + 433.065 \text{ N}$$

$$V_x = -131.69 \text{ N} - 1.72823 \frac{N}{mm} * (x - 76.2) + 433.065 \text{ N}$$

Cuando $x = 76.2 \text{ mm}$

$$V_B = -131.69 \text{ N} - 1.72823 \frac{N}{mm} * (76.2 - 76.2) + 433.065 \text{ N}$$

$$V_B = 301.375 \text{ N}$$

En el punto A ($x = 453 \text{ mm}$):

$$V_A = -131.69 \text{ N} - 1.72823 \frac{N}{mm} * (453 - 76.2) + 433.065 \text{ N}$$

$$V_A = -349.822 \text{ N}$$

Hay que tomar en cuenta que el momento flector máximo o mínimo ocurre cuando $V = 0$, por lo que al considerar el primer tramo C-B, se tiene que el momento flector mínimo es $M_C = 0$ en $x = 0$, y al considerar el segundo tramo, B-A, para obtener el punto donde ocurre el máximo momento flector, se hace $V_x = 0$, teniendo:

$$0 = -131.69 \text{ N} - 1.72823 \frac{N}{mm} * (x - 76.2) + 433.065 \text{ N}$$

$$x = 250.583 \text{ mm}$$

En la Figura 69, se muestra el diagrama de Fuerzas cortantes en el eslabón 3.

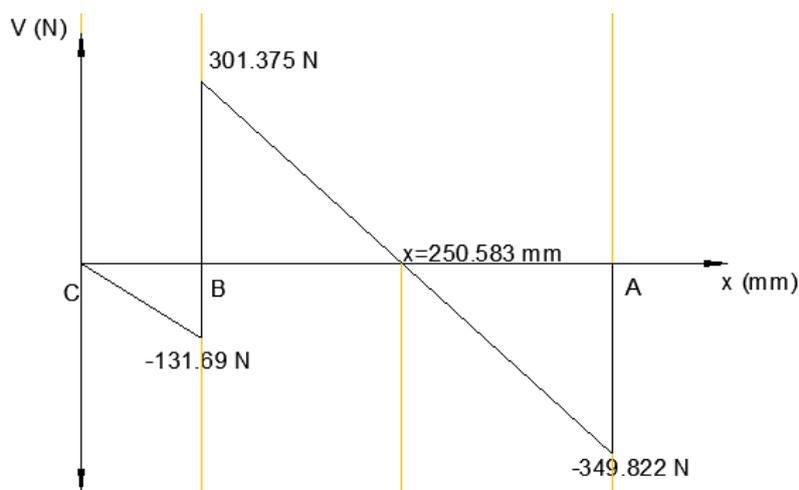


Figura 69. Diagrama de Fuerzas cortantes en el eslabón 3.

Posteriormente se procede a determinar los momentos flectores integrando las ecuaciones de Fuerza cortante para cada tramo.

Tramo C-B: ($0 \leq x \leq 76.2 \text{ mm}$)

$$M_x = \frac{-1728.23 \text{ N}}{2} \frac{1}{\text{mm}} * x^2$$

$$M_B = \frac{-1728.23 \text{ N}}{2} \frac{1}{\text{m}} * (0.0762 \text{ m})^2$$

$$M_B = -5.0174 \text{ N} * \text{m} \text{ (antes del punto B)}$$

Tramo B-A: $76.2 \text{ mm} \leq x \leq 453 \text{ mm}$

$$M_x - M_B = -\frac{1728.23 \text{ N}}{2} \frac{1}{\text{m}} (x - 0.0762)^2 + 301.38 \text{ N} (x - 0.0762) + 14.145 \text{ N} * \text{m}$$

$$M_x = M_B - \frac{1728.23 \text{ N}}{2} \frac{1}{\text{m}} * (x - 0.0762)^2 + 301.38 \text{ N} (x - 0.0762) + 14.14 \text{ N} * \text{m}$$

Cuando $x = 76.2 \text{ mm}$

$$M_B = -5.0174 - \frac{1728.23 \text{ N}}{2} \frac{1}{\text{m}} * (0)^2 + 301.38 \text{ N} (0) + 14.145 \text{ N} * \text{m}$$

$$M_B = 9.1276 \text{ N} * \text{m}$$

En el punto A ($x = 453 \text{ mm}$):

$$M_A = -5.0174 - \frac{1728.23 \text{ N}}{2} \frac{1}{\text{m}} * (0.3768)^2 + 301.38 \text{ N} (0.3768) + 14.145 \text{ N} * \text{m}$$

$$M_A = -5.0174 - 122.6855 + 113.559 + 14.145$$

$$M_A = 0 \text{ N} * \text{m}$$

Para hallar el momento flector máximo ($x = 250.583 \text{ mm}$)

$$M_{max} = -5.0174 - \frac{1728.2 \text{ N}}{2 \text{ m}} * (0.1744)^2 + 301.38 \text{ N} (0.1744) + 14.145 \text{ N} * \text{m}$$

$$M_{max} = -5.0174 - 26.2819 + 52.56 + 14.145$$

$$M_{max} = 35.406 \text{ N} * \text{m}$$

En la Figura 70, se muestra el diagrama de Momentos flectores en el eslabón 3.

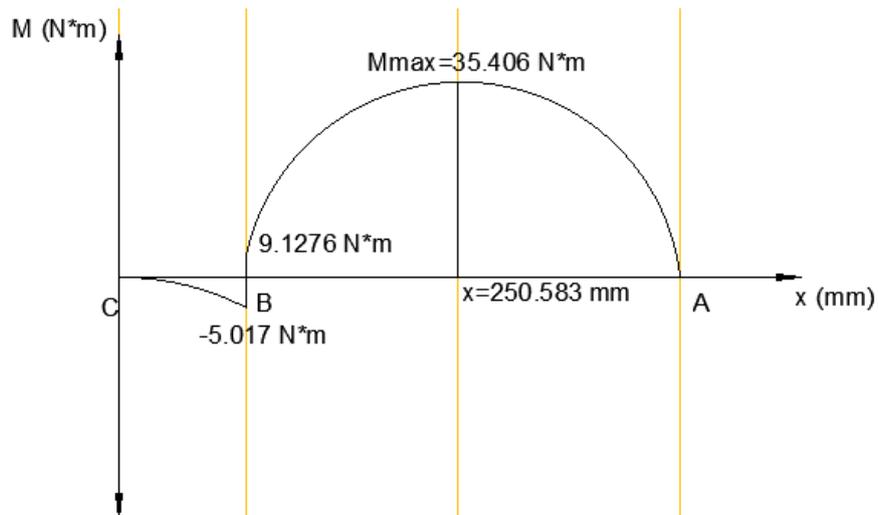


Figura 70. Diagrama de Fuerzas cortantes en el eslabón 3.

En la Figuras 71 y 72, se ha realizado la comprobación utilizando el método de elementos finitos donde se muestran los diagramas de Fuerza cortante y momento flector respectivamente.

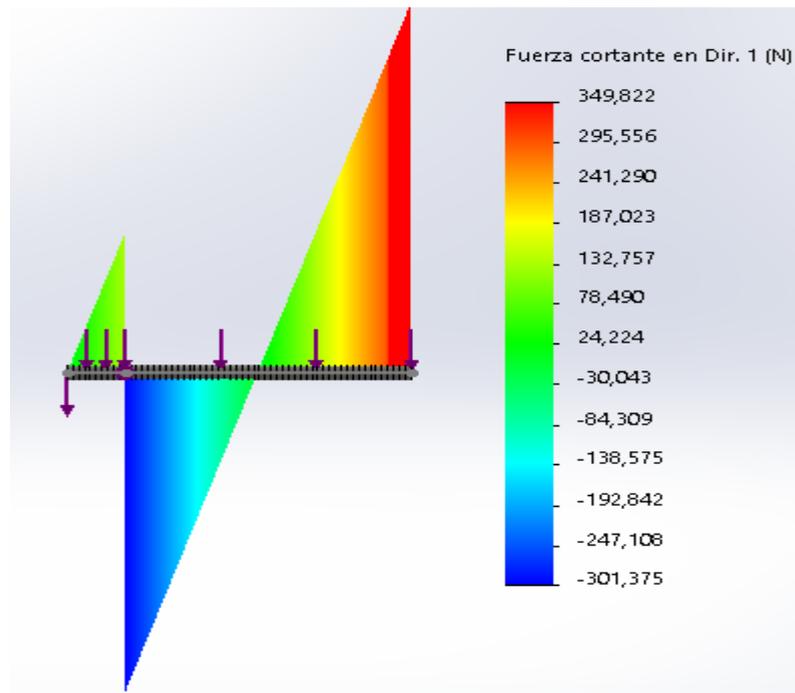


Figura 71. Diagrama de Fuerzas cortantes en el eslabón 3.

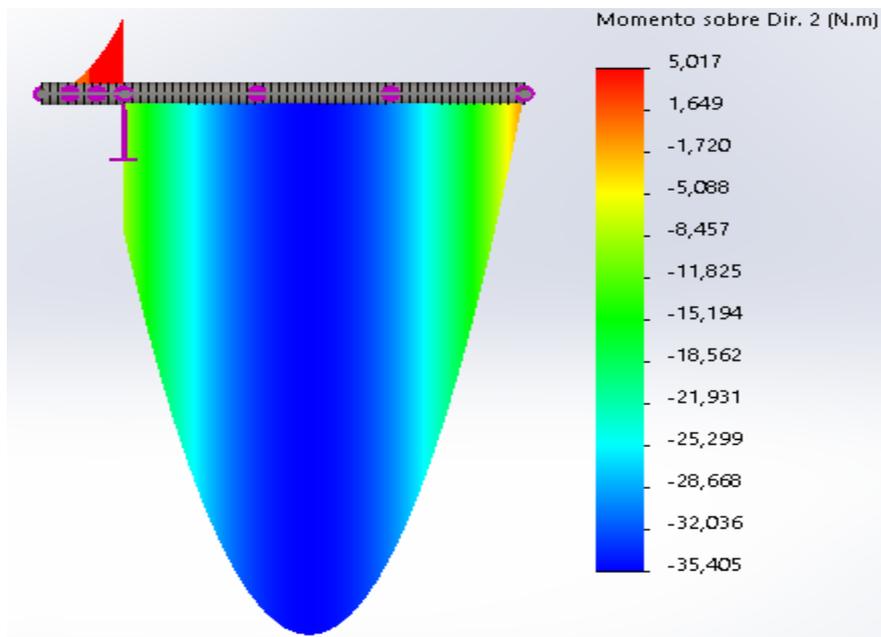


Figura 72. Diagrama de Momento sobre Dir. 2 (N.m) en el eslabón 3.

Tras el análisis realizado, se tiene que:

$$M_{max} = 35.406 \text{ N} * \text{m}$$

$$V_{max} = 349.822 \text{ N}$$

$$P = 719.60 \text{ N}$$

Posteriormente deben determinarse cada uno de los esfuerzos, para lo cual primero se debe escoger un perfil como referencia para realizar el análisis, primero debe tomarse en cuenta que debe haber un esfuerzo permisible del material.

$$\sigma_{perm} = \frac{S_y}{n}$$

Donde:

n = Factor de seguridad

S_y = Resistencia a la Fluencia del material

σ_{max} = Esfuerzo permisible

Para un diseño de estructuras bajo cargas estáticas el factor de diseño debe ser de 5 a 8, el valor de la resistencia a la fluencia en acero estructural número ASTM A36 tiene un valor de 250 MPa. (Mott R. L., 2006)

Por lo tanto reemplazando en la ecuación anterior se tiene:

$$\sigma_{perm} = \frac{250 \text{ MPa}}{5}$$

$$\sigma_{perm} = 50 \text{ MPa}$$

Lo siguiente que debe realizarse es encontrar el módulo de sección mínimo permisible, considerando además que son 2 estructuras las que soportarán la carga, por tanto:

$$S_{min} = \frac{M_{max}}{2 * \sigma_{perm}}$$

Donde:

S_{min} = Módulo de sección mínimo permisible.

$$S_{min} = \frac{35.406 \text{ N} * \text{m}}{2 * 50 \text{ MPa}}$$

$$S_{min} = 3.5406 * 10^{-7} \text{ m}^3$$

En el Anexo E, se tiene una lista de diferentes perfiles de tubería redonda tomados del Catálogo de tubería estructural de Novacero, donde se detallan las dimensiones a utilizarse en el diseño. Como se puede identificar en dicho anexo, existen varios perfiles que cumplen la condición, sin embargo dado que aún no se consideran las cargas axiales ni cortantes, se tomará para el análisis, el tubo redondo de $\varnothing = 1''$ y espesor $e = 1.5 \text{ mm}$ cuyo módulo de sección es $S = 5.053 * 10^{-7} \text{ m}^3$ y su área $A = 11.263 * 10^{-5} \text{ m}^2$.

Posteriormente se procede a verificar el tubo seleccionado para que no exista falla en el diseño, para lo cual se calculan los esfuerzos producidos por las cargas.

Esfuerzo flector:

$$\sigma_f = \frac{M_{max}}{S}$$

$$\sigma_f = \frac{35.406 \text{ N} * \text{m}}{5.053 * 10^{-7} \text{ m}^3}$$

$$\sigma_f = 70.07 \text{ MPa}$$

El esfuerzo de tracción:

$$\sigma_{tracción} = \frac{P}{A}$$

$$\sigma_{tracción} = \frac{719.60 \text{ N}}{11.263 * 10^{-5} \text{ m}^2}$$

$$\sigma_{tracción} = 6.389 \text{ MPa}$$

Para el cálculo del esfuerzo normal total, debe tomarse en cuenta que ambos esfuerzos calculados anteriormente son de tensión, por tanto ambos esfuerzos se suman teniendo:

$$\sigma_x = \sigma_f + \sigma_{tracción}$$

$$\sigma_x = 70.07 \text{ MPa} + 6.389 \text{ MPa} = 76.459 \text{ MPa}$$

Esfuerzo cortante: Para el cálculo del esfuerzo cortante, debe tomarse en cuenta el área transversal de la barra menos el área que ocupa el perno, para el caso actual se utilizarán pernos de $\phi = 3/8''$.

$$\tau_{xy} = -\frac{V_{max}}{A_T}$$

$$\tau_{xy} = -\frac{349.822 \text{ N}}{11.263 * 10^{-5} \text{ m}^2 - 2 * (1.5 * 10^{-3} \text{ m}) * (9.525 * 10^{-3})}$$

$$\tau_{xy} = -4.1618 \text{ MPa}$$

Para el cálculo del esfuerzo máximo, se procede a utilizar el círculo de Mohr, donde el punto X de las coordenadas es: $\sigma_x = 76.459 \text{ MPa}$ y $-\tau_{xy} = 4.1618 \text{ MPa}$, y para el punto Y de las coordenadas es: $\sigma_y = 0$ y $+\tau_{xy} = -4.1618 \text{ MPa}$, y se dibuja el círculo de diámetro XY en la Figura 73.

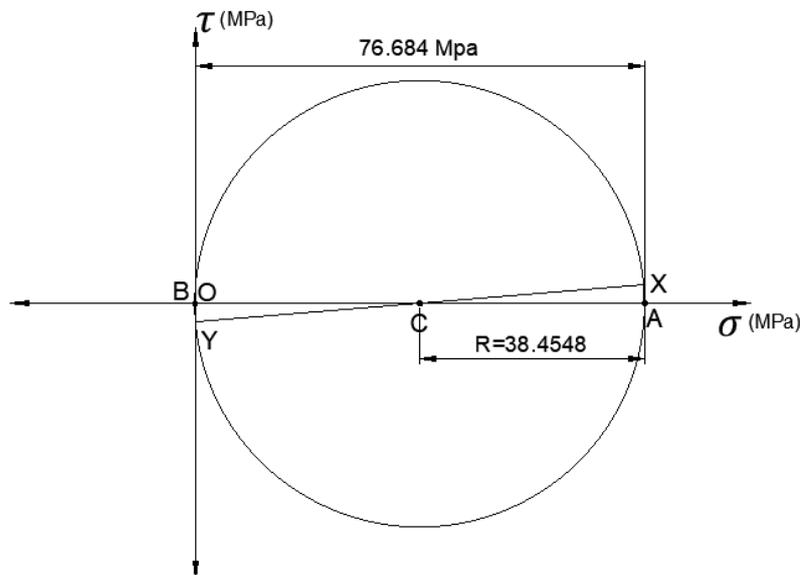


Figura 73. Diagrama de Fuerzas cortantes en el eslabón 3.

El centro del círculo (punto C), se calcula de la siguiente forma:

$$C = \frac{X + Y}{2}$$

$$C = \frac{76.459\vec{i} + 4.1618\vec{j} + 0\vec{i}, -4.1618\vec{j}}{2} (\text{MPa})$$

$$C = 38.229 \text{ (MPa)}$$

Entonces el esfuerzo máximo es:

$$\begin{aligned}\sigma_{max} &= \overline{OC} + R \\ \sigma_{max} &= 38.229 \text{ (MPa)} + 38.4548 \text{ MPa} \\ \sigma_{max} &= 76.684 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Debido a que existen 2 vigas sobre las cuales se apoyan todas estas cargas, se divide el esfuerzo máximo a la mitad teniendo:

$$\sigma_{max,por\ barra} = 38.342 \text{ MPa}$$

Por último se procede a sacar el factor de seguridad, el cual como se vio anteriormente está dado por la siguiente fórmula:

$$f_s = \frac{\sigma_{perm}}{\sigma_{max}} = \frac{250 \text{ MPa}}{38.342 \text{ MPa}} = 6.52$$

Por lo cual se puede decir que con las dimensiones del tubo estructural especificado anteriormente, el diseño no fallará.

Del mismo modo, se procede a analizar los pernos mediante esfuerzo cortante, como se pudo ver en la Figura 66, es el caso donde en la montura existe mayor carga axial siendo esta de $F_{21} = 1733.89 \text{ N}$, por lo que el esfuerzo cortante es:

$$\tau = \frac{V}{A}$$

Para buscar los pernos más adecuados para la máquina, primero debe tomarse en cuenta que el acero estructural ASTM A36, tiene una resistencia al corte de 145 MPa. (Ferdinand P. Beer, 2007)

Como se dijo anteriormente, el factor de seguridad debe ser de 5 a 8, por tanto:

$$\tau_{perm} = \frac{145 \text{ MPa}}{5} = 29 \text{ MPa}$$

Posteriormente se procederá a buscar el diámetro adecuado para el perno.

$$A = \frac{V}{\tau}$$

$$A = \frac{1733.89 \text{ N}}{29 \text{ MPa}} = 5.979 * 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\frac{\pi}{4} \phi^2 = 5.979 * 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\phi = 8.725 * 10^{-3} \text{ m} = 8.725 \text{ mm}$$

Los pernos que más se aproximan a dicho valor, son los pernos de diámetro $\phi = 3/8''$ (9.525 mm), los cuáles serán utilizados para la construcción.

De la misma forma, se procede a dimensionar el espesor de las platinas de acople, tomando en cuenta que en el peor caso, están sometidas a la misma fuerza cortante determinada anteriormente, donde el largo transversal es $t = 0.0381 \text{ m}$, por tanto se tiene:

$$A = \frac{V}{\tau} = \frac{839.865 \text{ N}}{29 \text{ MPa}} = 2.89608 * 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$(t - 0.009525) * e = 2.89608 * 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$e = \frac{2.89608 * 10^{-5} \text{ m}^2}{0.028575 \text{ m}} = 10.135 \text{ mm}$$

Dado que son 2 platinas las que soportan dicho esfuerzo, cada platina tendrá un espesor de $e = 5 \text{ mm}$.

Posteriormente, se procede a realizar la comprobación mediante software CAE, considerando el método de Análisis estático por elementos finitos.

Se procede a colocar los contactos, sujeciones y cargas externas que actúan en el asiento, donde se tuvo los resultados mostrados en las Figuras 74 y 75.

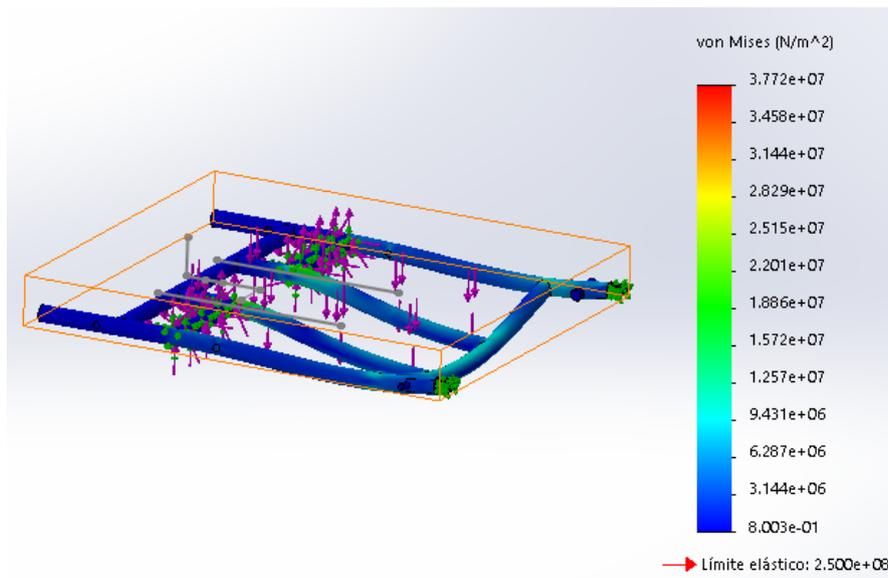


Figura 74. Trazado de Tensiones de Von Mises en el asiento.

Tal y como se puede visualizar en la Figura 74, se tiene una tensión máxima de Von Mises de 37.72 MPa , comparado con el calculado de 38.342 MPa , se tiene un error de 1.62%.

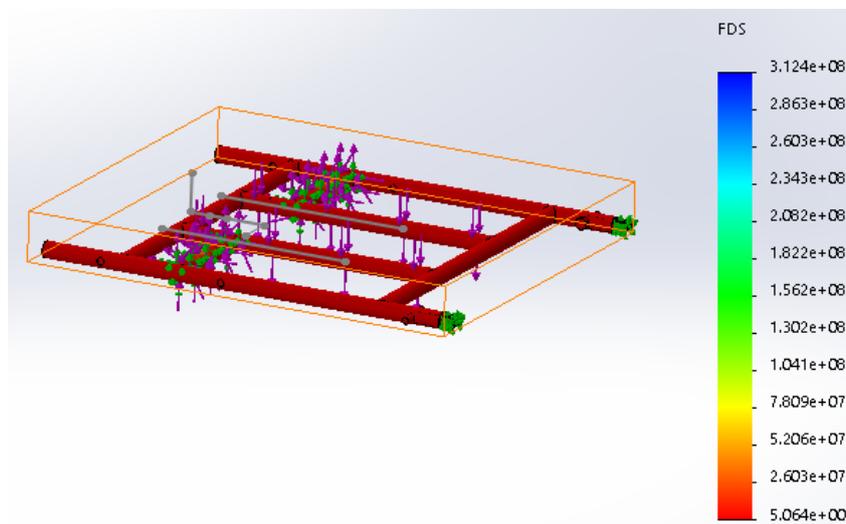


Figura 75. Trazado de Factor de Seguridad en el Asiento.

Tal y como se puede visualizar en la Figura 75, se tiene un factor de seguridad mínimo de 5.064, comparado con el calculado de 6.52, se tiene un error de 22.33%. Esto se debe a que en el ensamble existen varios contactos, a la vez que no solo se

está analizando la barra como tal, también existen otros componentes sometidos a las mismas cargas como los pernos y los acoples internos, lo cuales están sometidos principalmente a esfuerzos cortantes.

Anteriormente se explicó que el ASTM A36, tiene una resistencia al corte de 145 MPa , por tanto es lógico que el factor de seguridad se reduzca en dichas partes. Anteriormente se había determinado que el espesor de las platinas de acople es $e = 5 \text{ mm}$. Dicho espesor se utiliza también para realizar el bloqueo de movimiento, teniendo los resultados mostrados en las Figuras 76 y 77.

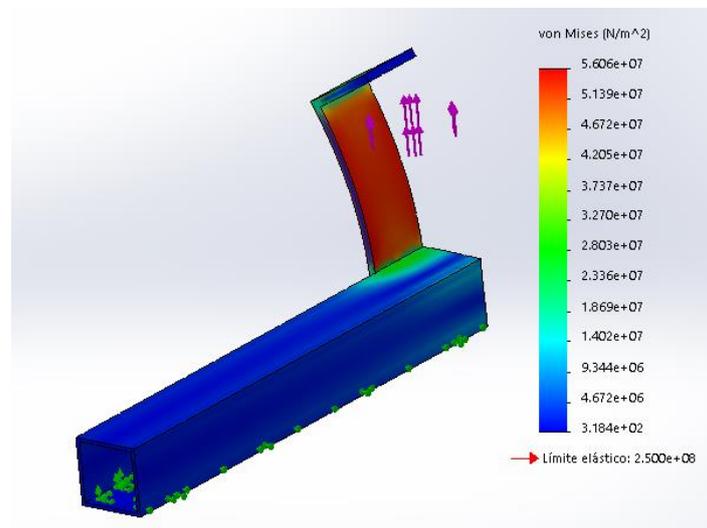


Figura 76. Trazado de Tensiones de Von Mises en el bloque.

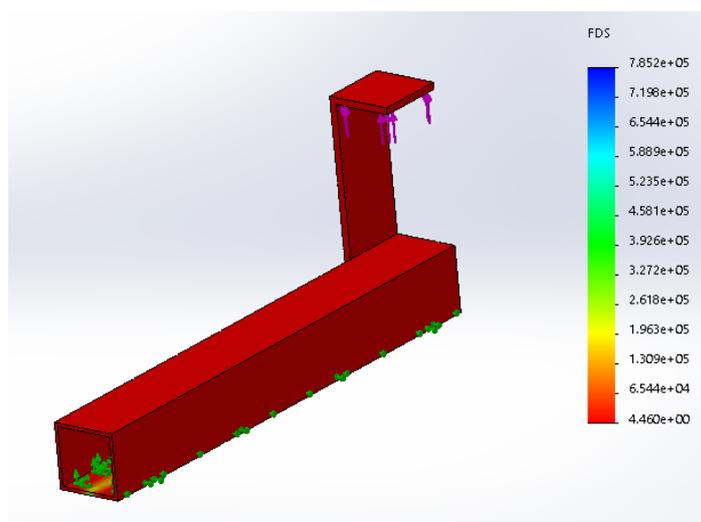


Figura 77. Trazado de Factor de Seguridad en el bloqueo.

Como se puede visualizar en la Figura 76 , se tiene una tensión máxima de Von Miseses de 56.06 MPa, y en la Figura 77, se visualiza un factor de seguridad mínimo de 4.46, por lo cual se puede utilizar la misma platina de 5 mm para realizar los bloqueos, y otras partes concernientes a la estructura.

5.3. Desarrollo de la propuesta

5.3.1. Construcción e implementación

En la Tabla 28, se muestran las piezas que componen la parte estructural de la máquina, y una breve descripción, detallando la acción que cumplen en el equipo, y a su vez los procesos de manufactura que fueron aplicados para su construcción.

Tabla 28.

Piezas manufacturadas de la estructura

Pieza	Ilustración	Descripción
Base principal		La base principal está formada por tubería redonda de 1 pulgada de diámetro y un espesor de 1.5 mm, para la construcción de esta pieza, se realizaron una serie de cortes en la tubería, posteriormente se realizaron sueldas para su conformación, y sus

CONTINÚA



pulidas respectivas, por último se procedió a realizar varios taladrados para su posterior ensamblaje con otras piezas por medio de uniones de perno. Cabe destacar que en esta base también se alojan varios componentes como: ruedas, frenos y resortes de gas.

Asiento



El asiento está conformado por tubería de la misma dimensión que la base, cabe destacar que en ambos laterales, están soldadas 2 platinas de acople, para la realización de esta pieza se realizaron los mismos procesos de manufactura que en la base.

Espaldar



Se procede a embarolar 2 tubos, para tener la curvatura en las esquinas, a su vez debe tenerse en cuenta que antes de realizar la soldadura, se debe insertar por el tubo más pequeño, 4 platinas de acople, terminando las soldaduras de la pieza, se procede a realizar los taladrados.

Acoples internos



Estos acoples permiten la unión de varias piezas para la movilidad del mecanismo, su uso es importante tanto para ahorro de espacio, como para que tanto el asiento como la base principal, se encuentren verticalmente en la misma posición. Estos acoples se obtienen mediante la unión de varias platinas.

Palanca



La palanca es el elemento en donde la persona realiza la Fuerza para levantarse, ésta se compone principalmente de varios dobleces en la tubería, a su vez está unido a una barra en la cual se han realizado varios taladrados para su samblaje con el asiento y con los acoples internos.

CONTINÚA



<p>Platinas de acople</p>		<p>Son platinas delgadas de 4 mm, tiene 2 taladrados, uno de 3/8", y otro de 1", están distanciados 38.1 mm. Estas platinas sirven para crear articulaciones, dado que en ciertas partes del mecanismo, hay piezas que rotan con respecto al tubo de 1" ubicado transversalmente, de forma que es imposible realizar un taladrado, por tal motivo, se utiliza ésta platina de acople la cual entra en el tubo por el agujero de 1", y el agujero de 3/4", sirve para unión con cualquier otra pieza.</p>
<p>Montura</p>		<p>Debido a consideraciones de espacio, la montura fue realizada con tubo cuadrado de 3/4", las uniones se realizaron mediante ejes roscados, y se utilizaron bocines de hierro para evitar el deslizamiento.</p>

Posteriormente, en la Tabla 29, se muestran los componentes adicionales que se utilizaron para la construcción del equipo.

Tabla 29.
Componentes del Equipo

Instrucción	Ilustración	Descripción
<p>Llantas traseras</p>		<p>Llantas de 24" de diámetro, están acopladas a una rueda, la cual permite la manipulación del usuario. Dichas llantas permiten el desplazamiento del vehículo.</p>
<p>Ruedas delanteras</p>		<p>Son ruedas locas de 7" de diámetro y una altura del conjunto de 10 1/2"</p>

CONTINÚA



Freno de mano		Es un freno manual, el cual está ubicado de forma que el usuario pueda accionarlo, ya sea para evitar el movimiento de la silla al realizar la bipedestación, o para detener la máquina. Se utiliza uno por cada llanta.
Amortiguadores de compuerta		Amortiguadores marca Shibumi, 360 N y 205 mm de recorrido, es un dispositivo de ayuda para el levantamiento de la persona.
Correas		Permiten la sujeción de la persona, tanto al espaldar como al asiento y al apoya pies, de forma que al momento de realizar la bipedestación, no permitan que la persona se incline hacia adelante, o que los pies dejen de estar en contacto con la plataforma.

Posteriormente se realiza el ensamble del equipo, por lo que primero se realizan las uniones de las piezas más elaboradas: base estructural, asiento, espaldar, y sus respectivos acoples, ya que constituyen la base para el ensamblaje de otro tipo de componentes, dichas uniones se puede visualizar en la Figura 78.



Figura 78. Ensamblaje de las 3 piezas principales de la silla bipedestadora.

Posteriormente se ensamblan las demás piezas por medio de las platinas de acople y uniones de perno, es recomendable realizar el ensamble con la máquina en la posición de bipedestación, tal y como se muestra en la Figura 79.



Figura 79. Ensamblaje de las 3 piezas principales de la silla bipedestadora.

El montaje del resorte de gas, se realiza por medio de unas calaveras, donde la parte roscada se pone en contacto con la platina de acople, mientras que la parte cilíndrica se acopla al resorte de gas, tal y como se muestra en la Figura 80.



Figura 80. Montaje del resorte de gas.

Posteriormente se ensambla el resto de componentes adicionales tales como las llantas y frenos tal y como se puede ver en la Figura 81.



Figura 81. Montaje de llantas y frenos.

Por último y una vez que se ha verificado que el funcionamiento del equipo sea el correcto, se procede a pintar la estructura, para lo cual anteriormente debió haberse quitado las llantas, frenos y resortes de gas, tal y como se puede ver en la Figura 82.



Figura 82. Pintado del equipo.

En la Figura 83, se muestra el equipo terminado.



Figura 83. Bipedestador terminado.

5.3.2. Pruebas de funcionamiento

Las pruebas de funcionamiento del equipo fueron realizadas con varios pacientes parapléjicos en las instituciones: IESS Latacunga, Patronato Municipal de Amparo Social Cotopaxi, y el MIES.

En la Figura 84 se puede ver a un paciente del hospital IESS Latacunga realizar la prueba de funcionamiento del equipo, donde se pudo apreciar que, siendo un señor de aproximadamente 80 Kg, no tuvo dificultad alguna en manipular el equipo y ponerse en la posición de bipedestación, por otro lado también pudo movilizarse satisfactoriamente. Cabe destacar que en pruebas anteriores realizadas en esta institución, se dieron a conocer varias observaciones para realizar las mejoras de la máquina, entre ellas principalmente fue una montura móvil.



Figura 84. Pruebas de Funcionamiento realizadas en el hospital IESS Latacunga.

En la Figura 85 se puede ver a una paciente del Patronato Municipal de Amparo Social de Cotopaxi realizar la prueba de funcionamiento del equipo, la señorita pesa aproximadamente 55 Kg, sin embargo y dado que la fuerza que realiza una mujer es considerablemente menos que la de un hombre, no se presentó ningún inconveniente en la manipulación de la máquina.

De la misma forma, se realizaron pruebas de funcionamiento anteriormente a la definitiva, donde se pudieron establecer varias alternativas de solución para mejorar la forma de la palanca, y a su vez establecer varias medidas de seguridad.



Figura 85. Pruebas de funcionamiento realizadas en el Patronato Municipal de Amparo Social de Cotopaxi.

En la Figura 86 se puede ver la manipulación del equipo una persona parapléjica que recibe el bono Joaquín Gallegos Lara por parte del MIES, quienes también le brindan terapia física en su domicilio ubicado en el pueblo de Tilipulo. De la misma forma, el señor pudo manipular la máquina sin dificultades, a su vez que presento una gran satisfacción al momento de realizar las pruebas, ya que nunca antes había podido mantenerse de pie por varios minutos.



Figura 86. Pruebas de funcionamiento realizadas a Pacientes del MIES.

5.4. Comprobación de la hipótesis

La Hipótesis del Presente Proyecto es: “Mediante el diseño y construcción de un bipedestador autosustentable, las personas con paraplejia podrán desplazarse autónomamente”.

Para realizar la comprobación de la hipótesis primero debe considerarse los siguientes aspectos:

- Debido a la dificultad para encontrar personas parapléjicas, se ha podido realizar únicamente 3 pruebas de funcionamiento, por lo que se carece de datos para aplicar un método estadístico.
- La evaluación de la hipótesis se realizará en base al desplazamiento autónomo de personas parapléjicas, por lo que no se tiene un indicador o variable cuantitativa.

Por tales motivos, para la comprobación de la hipótesis se utilizará el Método de Validez Interna, aplicando los siguientes procedimientos:

Descripción de los Participantes (Contraste continuo): Antes de realizar las pruebas de funcionamiento del equipo, primero se debe analizar la situación de cada una de las personas para identificar si puede realizar la bipedestación, ya que muchas personas, además de la paraplejía, presentan otros problemas de salud, diálisis, cirugías, etc.

Una vez que se deciden cuáles son las personas que pueden realizar la bipedestación, se les explicó brevemente como es la forma de operación del equipo.

Observación Detallada: Una vez que la persona se subió al bipedestador para realizar la Prueba 1, se pudo observar que al momento de realizar dicha prueba, debido a no comprender en primera instancia cómo funciona el equipo, hubo ciertas dificultades en la operación del equipo tales como: el uso del bloqueo, y la correcta manipulación de la palanca, por otro lado también otras personas presentaban miedo de irse para adelante o no tener estabilidad pensando que no había ningún apoyo, sin embargo pese a todo eso, las personas realizaron la Prueba 1 de forma aceptable al darles varias sugerencias. Al momento de realizar el descenso, ocurrió lo mismo,

muchas personas pensaban que descenderían de golpe, sin embargo al momento de realizarlo, pudieron ver que en realidad todo su peso es amortiguado.

Posteriormente se realizó la Prueba 2, donde esta vez con mayor conocimiento y confianza respecto a la operación, pudieron realizar la bipedestación y sedestación, sin presentar ningún problema. De la misma forma sucedió al momento de realizar la Prueba 3.

Triangulación: Dado que se realizaron pruebas de funcionamiento con 3 personas de diferentes instituciones, para la recolección de datos, se procede a evaluar su desempeño en cada una de las 3 pruebas realizadas, la evaluación se realiza en la escala del 1 al 5, donde:

- 5 corresponde a una excelente operación del equipo, sin ninguna dificultad.
- 4 corresponde a que la bipedestación fue realizada correctamente, sin embargo la persona tuvo que ejercer más fuerza de la debida para operar la máquina.
- 3 corresponde a una bipedestación realizada correctamente, sin embargo se tuvo varias dificultades.
- 2 corresponde a una operación que presenta varias dificultades al momento de realizar la bipedestación, pero al final se logró de forma autónoma.
- 1 corresponde al caso que la persona no pudo realizar la bipedestación por su cuenta, y necesitó la ayuda de otra persona para realizarla.

En la Tabla 30, se muestra los resultados de las pruebas realizadas, y el promedio de cada individuo al realizar sus 3 pruebas.

Tabla 30.
Datos arrojados de las Pruebas de Funcionamiento

Persona	Institución	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
1	IESS Latacunga	5	5	5	5
2	Patronato Municipal	4	5	5	4.666
3	MIES	3	4	4	3.666

Posteriormente para calificar el desempeño del equipo, se obtiene un promedio general de los 3 valores obtenidos anteriormente:

$$\bar{x} = \frac{5 + 4.666 + 3.666}{3} = 4.333$$

Comparando dicho valor, con las ponderaciones declaradas anteriormente, se tiene que el bipedestador es de fácil operación permitiendo realizar una fuerza de accionamiento parcialmente reducida, con lo que se da por validada la hipótesis, ya que el bipedestador permite el desplazamiento autónomo de personas con paraplejia.

5.5. Evaluación socio - económica de la propuesta

5.5.1. Análisis costo - efectividad

Para realizar este análisis, es necesario comparar 2 alternativas, para ello se recurrirá a un antes y un después de la realización del proyecto, teniendo las siguientes alternativas:

- Adquisición de una silla de ruedas convencional.
- Adquisición de la silla bipedestadora propuesta.

Posteriormente se procede a establecer varios objetivos que se pretenden alcanzar con la compra de un bipedestador:

- Realizar la bipedestación de forma autónoma.

- Desplazamiento autónomo hacia varios sitios.

En caso de una persona que compre una silla de ruedas convencional, en caso de querer realizar la bipedestación o simplemente ponerse de pie, necesitará ya sea de otro tipo de dispositivos como: barras paralelas, o en caso de no tenerlas, de la ayuda de otra persona, por lo que se puede apreciar que la bipedestación realizada de esta forma presentará varios inconvenientes al igual que será de tiempos muy cortos.

Primero se procede a determinar los costos de ambas alternativas:

En la Tabla 31 se presenta el listado de materiales y componentes con sus respectivos precios; para establecer un análisis económico en cuanto se requiere para la construcción del bipedestador propuesto.

Tabla 31.

Costo de los materiales y componentes ocupados en el equipo

Cantidad	Componente	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
6	Tubo estructural redondo (6 metros)	15\$/metro	90
2	Llantas aro 24"	30	60
2	Amortiguadores de compuerta Shibumi	15	30
1	Correa de sujeción de las rodillas	7	7
1	Correa de sujeción del pecho	10	10
1	Correa de sujeción de los pies	5	5
5	Platina de 4 mm de espesor	3	15
1	Platina de 10 mm de espesor	3	3
1	Platina de 8 mm de espesor	5	5
1	Eje roscado de acero inoxidable de ¾" de diámetro	7	7
30	Pernos y tuercas	0.30	9
4	cáncamos	0.25	1
4	Arandelas planas 3/8"	0.10	0.40
4	Arandelas de presión	0.12	0.48
2	Ruedas locas	10	20
2	Freno de zapata	15	30
1	Tapicería	60	60
	Total		352.88

En la Tabla 32, se presentan los costos de mano de obra, con los diferentes procesos que se aplicaron en la construcción del equipo.

Tabla 32.
Costo de mano de obra

Cantidad	Item	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
1	Corte perfiles	15	15
1	Soldadura SMAW	140	140
1	Soldadura Oxiacetilénica	7	7
1	Doblado de tubos	40	40
1	Corrección de fallas	50	50
2	Machuelado	3.50	7
1	Proceso de acabados	40	40
1	Proceso de pintura	35	35
1	Diseño mecánico	200	200
	Total		534

En la Tabla 33, se muestra el costo total del proyecto.

Tabla 33.
Costo total del Proyecto

Detalle	Costo (\$)
Materiales y componentes	352.88
Mano de obra	534
Total	886.88

Por otro lado, se tiene que el costo de una silla de ruedas promedio es de \$170.

Una vez que se tiene en cuenta los costos, se procede a determinar el indicador de efectividad para cada una de las alternativas respecto a los objetivos, en base a los resultados obtenidos.

Antes que nada, se debe asignar porcentajes a cada uno de los objetivos propuestos anteriormente, según su nivel de importancia. Como se dijo en el capítulo 2, una silla bipedestadora sirve principalmente para que las personas puedan ponerse de pie, lo que les ayuda a evitar lesiones, prevenir enfermedades e inconvenientes en la salud,

además de poder realizar varias actividades cotidianas autónomamente, razón por la cual se han asignado los siguientes porcentajes en la Tabla 34.

Tabla 34.
Porcentajes de los objetivos

Objetivo	Porcentaje
Realizar la bipedestación de forma autónoma.	80%
Desplazamiento autónomo hacia varios sitios.	20%

Para determinar el nivel de efectividad para cada uno de los objetivos, primero se determinan la eficiencia y la eficacia, en base a los resultados arrojados en la Tabla 30, correspondiente a la evaluación de las Pruebas realizadas.

De la Tabla 30, se extrae que el equipo tuvo un desempeño de 4.333 de máximo de 5, siendo este desempeño considerado como resultado. Por tanto la eficiencia y eficacia en base al objetivo de la bipedestación, se calculan de la siguiente manera:

$$eficiencia = \frac{\frac{\text{Resultado alcanzado}}{\text{costo real}}}{\frac{\text{Resultado previsto}}{\text{costo previsto}}} = \frac{\frac{4.333}{886.88}}{\frac{5}{886.5}} = 0.8666$$

$$eficacia = \frac{\text{Resultado alcanzado}}{\text{Resultado previsto}} = 0.8666$$

Posteriormente el nivel de efectividad, se tiene al calcular mediante la multiplicación de ambos parámetros:

$$efectividad = 0.8666 * 0.8666 = 0.75$$

Se realiza el mismo procedimiento para el segundo objetivo: desplazamiento autónomo, sin embargo hay que considerar que cualquier bipedestador tiene la capacidad de moverse autónomamente, por tanto el resultado alcanzado será de 5.

$$eficiencia = \frac{\frac{\text{Resultado alcanzado}}{\text{costo real}}}{\frac{\text{Resultado previsto}}{\text{costo previsto}}} = \frac{\frac{5}{886.88}}{\frac{5}{886.88}} = 1$$

$$eficacia = \frac{\text{Resultado alcanzado}}{\text{Resultado previsto}} = 1$$

Calculando el nivel de efectividad:

$$efectividad = 1 * 1 = 1$$

Para el caso de la adquisición de una silla de ruedas convencional, debe tenerse presente que al momento que esta persona quiera ponerse de pie, necesita de la ayuda de otra persona, a su vez que no tiene un medio de soporte para cuando se encuentre de pie, razón por la cual en la escala de evaluación de la Tabla 30, el desempeño es incluso menor a 1, dado que además el hecho de poner a la persona de pie, por métodos convencionales es mucho más complicado que con la ayuda del bipedestador, por tanto para los cálculos, se utilizará un resultado alcanzado de 0.5.

Por lo que en los cálculos de eficacia y eficiencia se tiene:

$$eficiencia = \frac{\frac{\text{Resultado alcanzado}}{\text{costo real}}}{\frac{\text{Resultado previsto}}{\text{costo previsto}}} = \frac{\frac{0.5}{170}}{\frac{5}{886.88}} = 0.5214$$

$$eficacia = \frac{\text{Resultado alcanzado}}{\text{Resultado previsto}} = \frac{0.5}{5} = 0.1$$

Calculando el nivel de efectividad:

$$efectividad = 0.5214 * 0.1 = 0.05214$$

Determinando la eficiencia y eficacia respecto al desplazamiento autónomo se tiene:

$$eficiencia = \frac{\frac{\text{Resultado alcanzado}}{\text{costo real}}}{\frac{\text{Resultado previsto}}{\text{costo previsto}}} = \frac{\frac{5}{170}}{\frac{5}{886.88}} = 5.214$$

$$eficacia = \frac{\text{Resultado alcanzado}}{\text{Resultado previsto}} = \frac{5}{5} = 1$$

Calculando el nivel de efectividad:

$$efectividad = 5.214 * 1 = 5.214$$

Para realizar la comparación de ambas opciones, debe utilizar el parámetro CE (Costo de Efectividad), que se calcula de la siguiente manera:

$$CE = \frac{C}{E}$$

En la Tabla 35, se tiene la evaluación el objetivo 1, de donde se puede destacar que al utilizar el bipedestador autosustentable, se tiene un costo de \$11.825 por cada 1% respecto a la facilidad que se tiene para realizar la bipedestación, mientras que con el uso de la silla de ruedas convencional, se tiene un costo de \$32.60, lo cual resulta más caro que utilizando la silla bipedestadora.

Tabla 35.

Resultados del CE para el Objetivo 1

Opciones	C (\$)	E (%)	CE ($\frac{\$}{\%}$)
Bipedestador autosustentable	886.88	75	11.825
Silla de ruedas	170	5.214	32.604

En la Tabla 36, se tiene la evaluación para el Objetivo 2, donde se puede ver que se tiene un costo de \$8.868 por cada 1% respecto al desplazamiento autónomo, mientras que con la silla de ruedas convencional, se tiene un costo de \$0.326, por lo que utilizar una silla bipedestadora únicamente para realizar desplazamientos hacia varios sitios no resulta conveniente.

Tabla 36.

Resultados del CE para el Objetivo 2

Opciones	C (\$)	E (%)	CE ($\frac{\$}{\%}$)
Bipedestador autosustentable	886.88	100	8.868
Silla de ruedas	170	521.4	0.326

En base a los resultados obtenidos en las Tablas 22 y 23, se procede a analizar ambos equipos en general, donde se debe considerar los porcentajes determinados anteriormente para cada objetivo, los cuales corresponden un 80% para el primer

objetivo y un 20% para el segundo objetivo, obteniéndose los resultados en la Tabla 37.

Tabla 37
Resultados del CE a nivel general

Opciones	CE1 (80%)	CE2 (20%)	CET ($\frac{\$}{\%}$)
Bipedestador autosustentable	9.46	1.7736	11.2336
Silla de ruedas	26.083	0.0652	26.148

Fuente: Autor

De la Tabla 37, se obtiene que a nivel general, la adquisición de un bipedestador autosustentable resulta más económico a nivel costo-efectividad, por tanto vale la pena la compra de un bipedestador autosustentable, ya sea para una persona o una institución.

CONCLUSIONES

- Se diseñó e implementó un bipedestador autosustentable para personas con parapléjia, con una capacidad de carga de 80 Kg, factor de seguridad de 5, y un costo de 885.88\$, el cual presentó una gran aceptación entre todos los usuarios.
- Se analizaron las necesidades y requerimientos del bipedestador según entrevistas realizadas con varios expertos en Fisioterapia, donde se pudo determinar que los parámetros más relevantes son: Seguridad, Operación y Costo.
- Se diseñó un mecanismo autosustentable de bipedestación, el cual se basa en un mecanismo multiplicador de fuerza por medio de palancas y eslabonamientos, llegándose a obtener una fuerza de operación máxima de 6.887 Kg para una persona que pesa 80 Kg, lo que se puede decir que se ha multiplicado la fuerza 11.616 veces respecto al peso de la persona.
- El mecanismo diseñado cumple con todas las trayectorias que realiza en cuerpo humano en la transición sit to stand, logrando un alto factor de comodidad para las personas.
- De los análisis estructurales realizados, se llegó a determinar que el para un material ASTM A36, el perfil circular de 1" de diámetro por un 1.5 mm de espesor, es el más adecuado para la construcción de la estructura, ofreciendo un factor de seguridad de 5. Sin embargo se llegó a obtener una estructura grande y pesada.
- El bipedestador autosustentable permite la fácil manipulación de la persona por medio del accionamiento de una palanca, lo que le permite controlar las

posiciones que el usuario requiera adoptar sin realizar ningún otro accionamiento de tipo (eléctrico, neumático, hidráulico, etc).

- Como dispositivo de asistencia se utilizaron resortes con cámara de gas, los cuales ayudan a la propulsión de la persona. Pese que es un actuador hidráulico, éste dispositivo se controla únicamente por las fuerzas a las que está sometido, sin tener ningún otro tipo de accionamiento, por tanto no afecta en el uso autosustentable del equipo.
- Al realizar las pruebas de funcionamiento del equipo, se pudo identificar que en la Prueba 1 es donde mayor complicación tienen las personas al momento de realizar la bipedestación, a su vez de la preocupación sobre su estabilidad y la del equipo, sin embargo al realizar las Pruebas 2 y 3, presentaron un mejor desempeño al momento de operar la máquina, y conforme se realizaron más Pruebas, las personas podían manipular la máquina fácilmente.

RECOMENDACIONES

- Es importante que la estructura sea robusta pero a la vez ligera, por lo que se recomienda realizar el análisis con otros materiales, sin embargo hay que tomar en cuenta que ésta mejora implica un aumento de costos.
- En caso del soporte, no debe haber pernos o tuercas en contacto con la piel de la persona, ya que ésta al no poseer sensibilidad en sus miembros inferiores, fácilmente puede atascarse e incluso lastimarse seriamente, por lo que se recomienda que la montura sea lo más angosta posible.
- Al realizar la adquisición de un resorte de gas, es importante que se encuentren disponibles varios resortes de gas adicionales con los mismos parámetros de recorrido y fuerza, en caso que deban ser reemplazados.
- Si el equipo empieza a dar dificultades a la hora de realizar la bipedestación, se recomienda revisar los resortes de gas, y en caso de ser necesario, realizar su reemplazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Accesible Medical. (2013). Guia para tomar medidas de una Silla de Ruedas.

Recuperado el 25 de Mayo del 2019, de

<https://mundoaccesible.webnode.es/movilidad/guia-para-tomar-medidas-de-una-silla-de-ruedas/>

Advanced Mobility Products Ltd. (2010). Helium LS & LSE. Recuperado el 4 de Mayo

del 2019, de Helium LS & LSE: <http://advancedmobility.ca/products/manual-wheelchairs/standing-chairs/helium-ls-lse/>

Baliña, R. R. (2013). Tecnicas de tapizado de moviliario. Bogotá: Colombia.

Blog para Fisioterapeutas. (19 de 09 de 2015). Todo sobre el centro de gravedad del

cuerpo humano. Recuperado el 19 de Mayo del 2019, de

<http://fisioterapia.blogspot.com/2015/09/todo-sobre-el-centro-de-gravedad-en-el.html>

CBS Minnessota. (2016). Mpls. VA Hospital Developes New Standing Wheelchair.

Recuperado el 09 de Mayo del 2019, de Mpls. VA Hospital Developes New

Standing Wheelchair: <https://minnesota.cbslocal.com/2015/01/16/mpls-va-hospital-developes-new-standing-wheelchair/>

Ceransky, W. (2004). Quadraplejia and Paraplejia. New York.

Chaurand, R. A. (2007). Dimensiones Antropométricas de la Población

Latinoamericana. Guadalajara: Universidad de Guadalajara.

Chinesport. (06 de 2016). Recuperado el 4 de Junio del 2019, de Gracare:

http://www.gracare.com/fileadmin/user_upload/fabricantes/chinesport/Bipedestadores_Chinesport.pdf

CMED. (2017). Standing Wheelchair. Taiwan.

- Corral, Y. (2016). Validez y Confiabilidad en Investigaciones Cualitativas. ARJE, 198-199.
- Demetrio Pérez Viguera, A. B.-O. (2018). Biomechanical analysis of sit-to-stand transition for control of exoskeletons. Zacatecas: Revista de Ingeniería Biomédica y Biotecnología.
- EASY STAND. (2019). PNG50084 Evolv Grande. Recuperado el 09 de Mayo del 2019, de PNG50084 Evolv Grande: <https://easystand.com/es/product/evolv-large-2/>
- Ferdinand P. Beer, E. R. (2007). Mecánica de Materiales. México.
- Fernandez, J. M. (2008). Ergonomía Ocupacional. México: Universidad Autónoma de México.
- Fodawheel. (2017). Leo II (Lightest Standing Wheelchair). Recuperado el 10 de Mayo del 2019, de Leo II (Lightest Standing Wheelchair): <https://www.wheelchair88.com/product/leo-ii/>
- Gobierno de la Ciudad de México. (2016). Manual de Normas Técnicas de Accesibilidad. México: México.
- Instituto de Biomecánica de Valencia. (2001). Nuevas Técnicas para el Desarrollo de Productos Innovadores Orientados al Usuario. Valencia: Dialnet.
- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. (2000). ACCESIBILIDAD DE LAS PERSONAS AL MEDIO FÍSICO.
- Lema, D. V. (2013). Comparación estadística de medidas antropométricas entre mestizos, indígenas y afro ecuatorianos de la Región Sierra del Ecuador. Quito.

Medgadget. (2019). Manual Standing Wheelchair Lets Users Control It Whether Sitting or Upright. Recuperado el 08 de Mayo del 2019, de Manual Standing Wheelchair Lets Users Control It Whether Sitting or Upright: <https://www.medgadget.com/2017/05/manual-standing-wheelchair-lets-users-control-whether-sitting-upright.html>

Ministerio de Trabajo e Inmigración. (2012). Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Recuperado el 09 de Mayo del 2019, de <http://www.insht.es/Ergonomia2/Contenidos/Promocionales/Diseno%20del%20puestosto/DTEAntropometriaDP.pdf>

Mizhka, D. (2005). Teoría de Máquinas y Mecanismos.

Mott, R. (2006). Diseño de elementos de máquinas. México: PEARSON EDUCACIÓN.

Ortopedia Aeropuerto. (2019). Silla de Ruedas Posicionamiento Sedestación. VA.

OTOPRONO. (03 de 05 de 2017). Beneficios de un correcto posicionamiento en sedestación. Recuperado el 15 de Mayo del 2019, de Beneficios de un correcto posicionamiento en sedestación: <https://ortoprono.es/blog/beneficios-correcto-posicionamiento-sedestacion/>

PARAPLEJIAS.es. (18 de 03 de 2019). QUÉ ES LA PARAPLEJIA. Recuperado el 2 de Mayo del 2019, de QUÉ ES LA PARAPLEJIA: <http://www.paraplejias.es/>

Permobil. (2011). WELCOME TO OUR RANGE OF LIFESTAND PRODUCTS.

Recuperado el 07 de Mayo del 2019, de WELCOME TO OUR RANGE OF LIFESTAND PRODUCTS: <http://countries.permobil.com/Lifestand/Lifestand-UK/>

- Pheasant, S. (1996). Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and the Design of Work. London. Recuperado el 14 de Mayo del 2019, de <http://site.ebrary.com/lib/bibusfq/Doc?id=10057184&ppg=43>
- PHOENIX. (2016). Standing Wheel Chair. Recuperado el 08 de Mayo del 2019, de Standing Wheel Chair: <https://www.phoenixmedicalsystems.com/assistive-technology/standing-wheel-chair/>
- R2D2 IITM. (2013). Standing Wheelchair. Recuperado el 05 de Mayo del 2019, de Standing Wheelchair: <https://home.iitm.ac.in/r2d2/prototypes.html>
- Shirley Ryan Ability Lab. (2019). Manual Standing Wheelchair. Recuperado el 11 de Mayo del 2019, de Manual Standing Wheelchair: <https://www.sralab.org/development-of-a-manual-standing-wheelchair>
- Southwest Medical. (2019). EasyStand 5000 Standing Frame - Discontinued. Recuperado el 06 de Mayo del 2019, de EasyStand 5000 Standing Frame - Discontinued: <https://www.southwestmedical.com/Standing-Frames/EasyStand-Standing-Frames/EasyStand-5000-Standing-Frame-Discontinued/1720p>
- The Standing Company. (s.f.). Standing Wheelchairs. Recuperado el 09 de Mayo del 2019, de Standing Wheelchairs: <https://thestandingcompany.com/product/manual-power/>
- Tsukahara, A. K. (2009). Sit to stand and Stand to sit Transfer Support for Complete Paraplegic Patients with Robot Suit HAL. Iberaki: Advanced Robotics.
- Vithas. (18 de 03 de 2019). La Bipedestación. Recuperado el 03 de Mayo del 2019, de La Bipedestación: <https://neurorhb.com/blog-dano-cerebral/la-bipedestacion/>

Yu-Sheng Yang, M.-D. C.-C.-J.-C. (2014). Sliding and Lower Limb Mechanics during Sit-Stand-Sit Transitions with a Standing Wheelchair. Taiwan: PMC (Biblioteca Nacional de Medicina de los Estados Unidos).

ANEXOS



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ELECTRICA Y
ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue realizado por el Señor: **CÁRDENAS GABELA
ÁLVARO ANDRÉS**

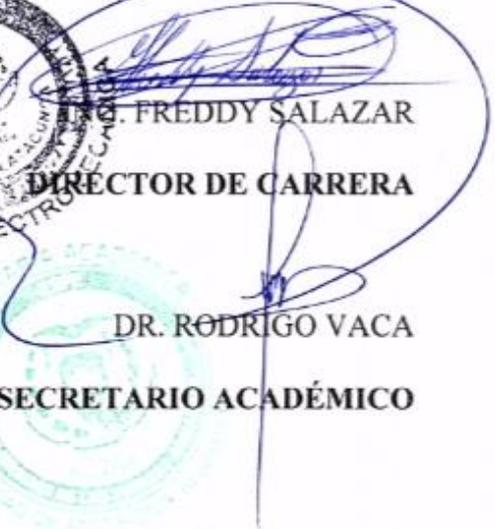
En la ciudad de Latacunga, a los 22 días de mes de Enero del 2020.

Aprobado por:


ING. FAUSTO ACUÑA.

DIRECTOR DEL PROYECTO


ING. FREDDY SALAZAR
DIRECTOR DE CARRERA


DR. RODRIGO VACA

SECRETARIO ACADÉMICO